



Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap
Miljö- och energisystem

Pär Dahlén

Underlag till en standard för teknisk isolering

Basis for a standard for technical insulation

Examensarbete 22,5 hp
Högskoleingenjörsprogrammet i energi- och miljöteknik

Juni 2014
Handledare: Jan Forsberg
Examinator: Lena Stawreberg

Sammanfattning

Vid upphandling inom offentlig sektor eller större företag kan användandet av standarder vara ett viktigt redskap för att säkerställa att en produkt eller tjänst uppfyller de krav som verksamheten ställer när det gäller exempelvis kvalitet, kostnader och effekter på miljön. Stigande priser på energi och en ökad insikt om samhällets negativa inverkan på miljön gör att energieffektiviseringar blivit ett viktigt inslag i de allra flesta verksamheter och här kan användandet av standarder spela en viktig roll.

Syftet med det här examensarbetet är att utreda hur isolering av varma och kalla rör samt ventilationskanaler kan dimensioneras optimalt så att energiförluster från dessa minimeras. Hur olika faktorer och förutsättningar påverkar vad som är en optimerad isolering måste därmed även utredas så att konsekvenser av olika val kan kartläggas.

Målet är att ta fram ett underlag som kan fungera som hjälpmedel då en ny standard för dimensionering av teknisk isolering skall tas fram av Landstingsfastigheter i Värmland. Underlaget kommer att utgöras av en beräkningsmodell som skall kunna ge tillförlitliga uppgifter om hur olika yttre faktorer samt val av isoleringsmaterial dels kan påverka vilken den nödvändiga isoleringstjockleken blir och dels visa de ekonomiska konsekvenserna. En livscykelkostnadsanalys gjordes därför för olika dimensioneringsalternativ.

Arbetet resulterade i en beräkningsmodell som kan användas för att beräkna olika isoleringstjocklekar för olika typer av fall. Grundprincipen för beräkningsmodellen är att det skall gå att undersöka vilken isoleringstjocklek som behövs då en bestämd energiförlust eller temperatur på isoleringens yta skall uppnås. Isoleringen till varma rör dimensioneras för en reducerad energiförlust medan isolering till kalla rör och ventilationskanaler dimensioneras för en önskad temperatur på isoleringens yta. Livscykelkostnadsanalysen visade att dimensioneringen bör göras för en så liten energiförlust som möjligt.

Ett antal olika fall undersöktes med hjälp av beräkningsmodellen. Beräkningarna visade att val av material och ytskikt kan få en betydande inverkan på hur isoleringen måste dimensioneras för att de mål som sätts för den skall uppnås. Att välja en produkt med något lägre värmeledningsförmåga kunde exempelvis minska isoleringsbehovet med nästan 20 % på större rördimensioner. Huruvida isoleringen prioriteras i ett tidigt skede av en projektering eller ej kan också få stora konsekvenser för hur stor ett systems energiförlust blir eftersom en avgörande faktor ofta är om isoleringen får plats i utrymmet. Dimensionering av isolering för kalla system som syftar till att motverka kondensutfällning på isoleringens yta visade sig innebära förhållandevis stora energiförluster. Detta tyder på att isolering av kalla installationer istället borde dimensioneras mot energiförluster.

Abstract

For procurement in the public sector or large companies, the use of standards can be an important tool to ensure that a product or service meets the requirements of their operations in areas such as quality, cost and environmental impact. Rising energy prices and an increased awareness of society's negative impact on the environment has made energy efficiency measures to an increasingly important element in most operations and the use of standards can play an important role in achieving improvements. Landstingsfastigheter currently has standards for the majority of the components included in major new construction and renovations, but yet there is no standard available for technical insulation. The purpose of this study is to investigate how insulation of hot and cold pipes and ventilation ducts can be sized optimally so that energy losses from these are minimized. How different factors and conditions affect what is an optimized isolation must therefore also be investigated in order to recognize the consequences of different choices.

The goal of this thesis is to develop a basis that can serve as an aid when a new standard for the design of technical insulation should be provided by Landstingsfastigheter in Värmland. The base will consist of a computational model that can provide reliable data on how various external factors and choice of insulation both may influence the required insulation thickness and also show the economic impact. A life cycle cost analysis was also made for different sizing options.

The work resulted in a computational model that can be used to calculate various insulation thicknesses for different cases. The basic principle of the calculation model is that you are able to examine the insulation thickness required when you want to achieve a certain loss of energy or temperature on the surface of the insulation. The insulation of hot pipes was sized for a reduced energy loss while insulation of cold pipes and ventilation ducts was sized for a desired temperature on the surface of the insulation. The LCC analysis showed that the design should be done for as little energy loss as possible.

By using the computational model a number of different cases could be examined. The calculations showed that the choice of materials and finishes can have a significant impact on how to size the insulation in order to achieve the goals set for it. On larger pipes, the required insulation thickness can be almost 20 % less by choosing a product with a slightly lower thermal conductivity. A decisive factor on how big the energy loss will be from one system is often whether the insulation is prioritized during the early stages off a project or not. When insulation design comes in at a late stage, it sometimes happens that there is simply not enough room for the required insulation thickness. When insulation was dimensioned for cold systems to counter condensation on the surface of the insulation it was shown that it involved relatively large energy losses, suggesting that this type of insulation should be designed against energy loss instead.

Förord

Detta examensarbete har redovisats muntligt för en i ämnet insatt publik. Arbetet har därefter diskuterats vid ett särskilt seminarium. Författaren av detta arbete har vid seminariet deltagit aktivt som opponenter till ett annat examensarbete.

Jag vill rikta ett stort tack till Jonas Skalare och Anders Nordlander på Landstingsfatigheter, Håkan Gökner och Johan Gustavsson på Paroc för intressanta infallsvinklar och tips, Håkan Gustafsson på Isover för all hjälp och support med beräkningsprogrammet och slutligen min handledare Jan Forsberg på Karlstads universitet.

Innehållsförteckning

1.	INLEDNING.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte och Mål	2
1.3	Förutsättningar och avgränsningar	3
2.	TEORI OCH METOD.....	4
2.1	VVS-Systemen och indata	4
2.2	Beräkningsmodellen	7
2.3	Energitransporter.....	7
2.4	Isoleringstjocklek.....	11
2.5	Kondensation	12
2.6	Energiförlust	14
2.7	Livscykelkostnadsanalys	14
2.8	Känslighetsanalys Isoleringstjocklek	15
2.9	Känslighetsanalys Livscykelkostnad	15
3.	RESULTAT	16
3.1	<i>Varma rör</i>	16
3.2	<i>Kalla rör</i>	19
3.3	<i>Ventilationskanaler</i>	22
3.4	Livscykelkostnad	24
4.	DISKUSSION	25
4.1	Beräkningsmodellen	25
4.2	Varma rör	25
4.3	Kalla rör	27
4.4	Ventilationskanaler	29
4.5	Livscykelkostnad	29
5.	SLUTSATSER.....	31
	REFERENSLISTA	32

1. Inledning

1.1 Bakgrund

För att klara av att möta den efterfråga som finns på energi är världen idag helt beroende av olja, kol och gas. Beroendet har varit så starkt att man under en lång tid ignorerat de varningssignaler som visar att denna typ av energiförsörjning inte är hållbar på lång sikt, varken ekonomiskt eller miljömässigt. Insikten om att förbränning av dessa fossila bränslen påverkar vårt klimat och därmed vår livsmiljö har blivit allt mer accepterad runt om i världen. Allt fler ställer sig bakom de teorier som pekar på en förstärkt växthuseffekt som följd av samhällets ansträngningar att flytta kol från jordskorpan till atmosfären. I takt med att efterfrågan på energi ökar, samtidigt som utbudet minskar, stiger även priserna på energi. Detta har lett till att det i vissa delar av världen, där energipriserna är höga, har ett starkt ekonomiskt incitament till att effektivisera och minimera användandet av energi eftersom ett slöseri med energi innebär ett slöseri med pengar. Kombinationen av de ekonomiska konsekvenserna och de miljömässiga insikterna har lett till att det nu, i vissa delar av världen, blivit allt viktigare att hushålla med resurserna när det gäller energianvändandet [1].

Sveriges totala energianvändning uppgick år 2012 till cirka 600 TWh. Av dessa gick ungefär 201 TWh åt till det som, av Energimyndigheten, kallas ”Förluster och annan användning”. Inom detta begrepp ryms bland annat omvandlingsförluster och den energiproducerande sektorns egen energianvändning. Av den resterande energimängden, alltså de 377 TWh som blir tillgänglig för marknaden, går cirka 145 TWh till industrisektorn medan bostadssektorn och transportsektorn brukar cirka 86 TWh vardera. Den offentliga sektorns energianvändning uppgick år 2012 till 18 TWh, vilket motsvarar ungefär 4,7 % av det totala energianvändandet [2]. Denna andel är inte särskilt stor, men den är ändå väldigt viktig eftersom den representerar, och skall verka för, landets invånare. Offentlig sektor, som till stor del finansieras med skattemedel, har av Sveriges regering och riksdag samt av EU-kommissionen fått en uppmaning om att föregå med gott exempel när det gäller att främja miljömässigt hållbar teknik och hållbara lösningar. Den främsta möjligheten som kommuner och landsting har för att påverka denna typ av arbete ligger i hur man väljer att upphandla varor och tjänster [3].

Landstinget i Värmland har en uttalad ambition att vara ett föredöme när det gäller miljömässigt hållbar och långsiktig utveckling. De följer ett miljöpolitiskt program där flera långsiktiga miljömål slås fast, bland annat att ”Landstinget förbrukar ett minimum av energi för sina verksamheter och har mycket god kontroll över såväl produktion som energins användning”. Landstinget har kommit långt i sitt miljöarbete och ligger i framkant när det gäller miljömässigt hållbara lösningar. Ett exempel på det är att de sänkte sin klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter med ca 70 % mellan åren 2009 till 2012. Energianvändningen ligger i snitt på ca 160 kWh/m² golvyta vilket är lågt i sammanhanget, men det långsiktiga målet är att komma ner till 100 kWh/m². År 1997 låg energianvändningen på ca 270 kWh/m². All energi som idag köps in till verksamheten skall dessutom vara klimatneutral [4].

Landstingsfastigheter i Värmland är det förvaltningsbolag som ansvarar för alla de lokaler som landstinget i Värmland använder. Verksamheten omfattar och ansvarar för

allt inom planering, nybyggnation, utveckling och drift. Den totala lokalytan som inkluderas i landstingets verksamheter uppgår till ungefär 450000 kvadratmeter vilket gör landstingsfastigheter till en av Värmlands läns största fastighetsförvaltare [5].

Vid nybyggnationer och renoveringar där landstingsfastigheter är byggherre involveras ofta ett stort antal leverantörer och entreprenörer. För att säkerställa att varje del av ett byggprojekt görs enligt de önskemål, regelverk och lagar som landstinget har att förhålla sig till så används så kallade standarder. En standard utgör en beskrivning av hur en sak skall göras eller utföras, en norm som innefattar alla aspekter av ett visst föremål eller företeelse. När en vara eller tjänst som omfattas av en standard upphandlas, kan standarden alltså användas som en slags kravspecifikation för hur arbetet skall göras och om ingen annan överenskommelse har gjorts är det den som gäller. Användandet av standarder är alltså ett viktigt verktyg i arbetet med att förbättra landstingets påverkan på miljön eftersom det ger en begränsad valfrihet hos leverantörer och entreprenörer. De alternativ som har en mindre bra påverkan på miljön kan på detta sätt gallras bort i ett tidigt skede.

Det finns standarder som ger detaljerade beskrivningar och förutsättningar för specifika företeelser och föremål, men även sådana som ger mer generella bestämmelser och som kan gälla för alla projekt inom landstingsfastigheters verksamhet. En viktig sådan, när man ser till den miljömässiga aspekten, är att alla material som används skall vara klassade med omdömet A eller B i den materialdatabas som företaget SundaHus tillhandahåller. Detta innebär bland annat att det finns fullständig dokumentation angående materialets ursprung och tillverkning samt att alla material är fria från skadliga ämnen för både människa och miljö. Vidare krävs även att materialet har en mycket liten miljöpåverkan genom alla led från det att råvaran tas fram till dess att materialet kasseras och att materialets livslängd skall kunna antas vara minst 25 år [6].

I dagsläget har landstingsfastigheter standarder för det mesta som kan komma att ingå i ett byggprojekt, men en standard för hur teknisk isolering skall dimensioneras saknas. Teknisk isolering är ett begrepp som omfattar produkter som är avsedd för värme-, kyl-, brand- och ljudisolering i VVS-system eller industriella system[7]. Inom landstingets lokaler används teknisk isolering dels som brand eller djupdämpande isolering, men kanske främst som skydd mot energiförluster och kondensutfällning.

I avsaknad av en standard sköts dimensioneringen och materialvalen av den tekniska isoleringen till stor del av underentreprenörer. Detta innebär inte på något sätt att isoleringen dimensioneras felaktigt, men det leder till att Landstingsfastigheter mister en del av kontrollmöjligheterna när ett projekt planeras. Den tekniska isoleringens brand- och miljötekniska egenskaper regleras till stor del av de regelverk och riktlinjer som redan finns, men när det gäller själva dimensioneringen finns det fler valmöjligheter.

1.2 Syfte och Mål

Det kanske främsta argumentet för att man skall dimensionera isoleringen på ett sparsamt, men ändå tillräckligt sätt torde dels vara att förlorad energi innebär en ekonomisk förlust, men också att inköp av isoleringsmaterial innebär en onödig kostnad då den överdimensioneras. Att isolera på rätt sätt bör alltså innebära att kostnaderna för

själva installationen hålls nere samtidigt som den löpande energikostnaden minimeras. Ett starkt argument för att isolera på rätt sätt kan också vara att det minimerar en verksamhets belastning på miljön. I fallet med Landstingsfastigheter och liknande företag, som har en utpräglad miljöambition, kan detta förmodligen vara ett starkt argument.

Syftet med det här examensarbetet är att utreda hur isolering av varma och kalla rör samt ventilationskanaler kan dimensioneras så att energiförlusterna från dessa optimeras. Hur olika faktorer och förutsättningar påverkar vad som är en optimerad isolering måste därmed även utredas så att konsekvenser av olika val kan kartläggas.

Målet med detta examensarbete är att ta fram ett underlag som kan fungera som hjälpmedel då en ny standard för dimensionering av teknisk isolering skall tas fram av Landstingsfastigheter i Värmland. Underlaget kommer att utgöras av en beräkningsmodell som skall kunna ge tillförlitliga uppgifter om hur olika yttre faktorer samt val av isoleringsmaterial dels kan påverka vilken den nödvändiga isoleringstjockleken blir och dels visa de ekonomiska konsekvenserna. För att säkerställa beräkningsmodellens tillförlitlighet kommer den att testas och jämföras mot de beräkningssätt som idag tillämpas inom branschen. Beräkningsprogrammet Isodim kommer här att fungera som ett slags facit för hur tillförlitlig beräkningsmodellen är. Beräkningsmodellen skall även vara förhållandevis lätt att använda.

En livscykelkostnadsanalys kommer också att göras för att utreda huruvida en isoleringstjocklek blir ekonomiskt lönsam att tillämpa.

Målet med detta examensarbete kan sammanfattningsvis ställas upp i följande punkter:

- En beräkningsmodell skall skapas som Landstingsfastigheter i Värmland kan använda när en ny standard för teknisk isolering skall tas fram.
- Kartlägga hur olika förutsättningar och faktorer påverkar behovet av isolering på olika typer av installationer i olika typer av utrymmen.
- Jämföra beräkningsmodellens resultat med beräkningsprogrammet Isodim som företaget ISOVER tillhandahåller för att säkerställa att beräkningsmodellen ger realistiska och därmed användbara resultat.
- Genomföra en livscykelkostnadsanalys som visar huruvida en föreslagen isoleringsdimensionering är ekonomiskt lönsam eller inte.

1.3 Förutsättningar och avgränsningar

Så kallat värmeläckage, alltså energitransporter från ett rör eller en kanal till det utrymme som ledningen är dragen genom, kan i vissa fall ses som godtagbara om utrymmet där ledningen är dragen har ett värmebehov som gagnas av läckaget. Detta är emellertid ett osäkert sätt att betrakta oönskade och okontrollerade energitransporter eftersom värmen, i de flesta fallen, inte hamnar där den gör mest nytta. Om röret eller kanalen håller en lägre temperatur än den omgivande luften så finns det dessutom en risk för problem med kondensering av luftens fuktinnehåll. Här ses därför all form av oönskad energitransport som en förlust vilket innebär att dimensioneringen av isoleringen görs utifrån premisen att så lite energitransport som möjligt skall äga rum.

Detta examensarbete begränsas till att utreda isoleringsalternativ mot energitransporter. Isolering som syftar till att förhindra brand eller ljudspridning omfattas alltså inte här. Brandisoleringen kommenteras dock på vissa ställen i rapporten.

2. Teori och metod

2.1 VVS-Systemen och indata

2.1.1 *Varma rör*

Alla typer av rör som tillhör någon form av värmesystem och som innehåller ett medium som är varmare än rörets omgivning ingår i det som här kallas varma rör. Detta inkluderar alltså primär- och sekundärvärmesystem och varmt tappvatten. De rördimensioner som utreds ligger mellan 15 till 400 mm i diameter. För att få ett så heltäckande underlag som möjligt togs alla mått mellan dessa värden med i ett intervall med 5 mm mellanrum med i beräkningsmodellen.

Framledningstemperaturer ligger här mellan 60°C till 70°C. Lägre temperaturer skall med hjälp av underlaget kunna undersökas, men de tas inte upp i denna rapport. Den temperatur som förekommer mest antas vara 65 °C vilket gör att denna används som dimensionerande framledningstemperatur om inget annat anges.

2.1.2 *Kalla rör*

Kalla rör inkluderar alla system där medietemperaturen ligger under omgivningens temperatur. Dessa system utgörs av primär- och sekundärkretsar med köldbärare samt kallt tappvatten. Temperaturerna kan ligga mellan 5°C och 20°C och rördimensionerna ligger även här mellan 15 till 400 mm i diameter.

Isolering av kalla rör görs ofta i syfte att minimera risken för att kondens skall fällas ut på installationens yta. Det är den typen av dimensionering som här kommer att göras. Vilka energiflöden som denna dimensionering resulterar i kommer även att undersökas.

2.1.3 *Ventilationskanaler*

I ventilationskanalerna transporteras luft som håller temperaturer mellan 16 till 20°C. Den vanligast förekommande temperaturen antas vara 17°C. Volymflödet i kanalerna skall i de flesta fall vara dimensionerade så att luften håller en hastighet mellan 6-6,5 m/s. Aktuella dimensioner på ventilationskanaler bestämdes enligt ett projekteringsunderlag från Veloduct som landstingsfastigheter tillhandahöll. De cirkulära kanalerna förekommer i dimensioner från 63 mm till 1250 mm och de rektangulära förekommer med bredd- och höjdmått från 100 mm till 2000 mm.

Ventilationskanaler isoleras ofta enbart i syfte att stoppa brandspridning. Hur brandisolering skall dimensioneras undersöks inte här, men det diskuteras under 4.4.1.

Precis som för isolering av kalla rör dimensioneras isoleringen på ventilationskanaler ofta på ett sådant sätt att kondens inte skall bildas på isoleringens yta.

2.1.4 Omgivning

Tekniska installationer finns på en rad olika platser som alla ger olika förutsättningar. Här testades olika typer av förutsättningar som antogs kunna spegla förhållanden som förekommer i Landstingsfastigheters verksamheter.

För varma rör antogs den första typen av omgivning vara inomhus där temperaturen håller ca 20°C året runt och den andra antogs vara i en krypgrund eller liknande, där temperaturen antogs vara 16°C året runt.

För kalla rör som enbart skall isoleras mot kondensbildning måste isoleringen dimensioneras för tillstånd som medför den största risken för kondensbildning i ett specifikt utrymme. Här antogs ett fall där omgivningen håller en temperatur på 23°C och har en relativ luftfuktighet på 65 %, vilket kan ses som ett förhållande som gäller för en normal inomhusmiljö. Den andra typen av miljö sattes även här till en temperatur på 16°C och då med en relativ luftfuktighet på 85 %. Anledningen till att luftfuktigheten sätts på den nivån är att vissa krypgrunder ligger väldigt nära grundvattennivån, vilket kan innebära att vatten tränger upp ur marken i själva krypgrunden om denna inte är helt fuktsäkrad. För kalla rör beräknades även ett fall där den dimensionerande temperaturen låg på 25°C och den relativa luftfuktigheten på 80 % vilket kan ses som en extremt fuktig inomhusmiljö [8].

För ventilationskanaler som skall isoleras mot kondens sattes den omgivande temperaturen 25°C och den relativa luftfuktigheten till 65 %. Detta på grund av att ventilationskanaler ofta är placerade ovanför ett undertak där temperaturen kan tänkas bli relativt hög eftersom värmen stiger uppåt samtidigt som luftcirkulationen är låg.

2.1.5 Isoleringsmaterial och Värmeledningsförmåga

Ett materials förmåga att leda värme beror bland annat på vilken temperatur materialet håller. Värmeledningsförmågan hos konventionella isoleringsmaterial, såsom mineralull och cellgummi, ligger normalt sett på mellan 0,032-0,037 W/mK när de har en temperatur på 50°C. Vid ökande temperaturer ökar även ledningsförmågan och lägre temperaturer innebär en mindre ledningsförmåga. Denna temperaturberoende och ickelinjära förändring i ledningsförmåga skiljer sig åt beroende på material, densitet och fabrikat vilket gör det kan vara svårt att urskilja ett exakt värde för en viss temperatur när man beräknar isoleringstjocklekar. Till varje isoleringsprodukt finns ett produktblad som anger värmeledningsförmågan vid olika temperaturer. I beräkningen av isoleringstjockleken användes tre olika värden för värmeledningsförmågan då det ansågs vara tillräckligt noggrant.

Om ett mera exakt värde på värmeledningsförmågan önskas kan värdena från isoleringens produktblad plottas i en graf. Därifrån kan ett polynom sedan tas ut med hjälp av exempelvis Microsoft Excel. Polynomets x kan därefter bytas ut mot en

temperatur vilket ger ett mera exakt värde på λ . Detta bör antagligen göras vid beräkningar på större temperaturskillnader.

Solida material har generellt sett betydligt bättre värmeledningsförmåga än vätskor och gaser. Allra bäst isolering mot konduktion och konvektion utgörs av vakuum, men då det vore alltför krångligt och kostsamt att tillverka ett material med vakuumbaserade isoleringsegenskaper för storskaligt bruk, finns det inte på marknaden i dagsläget. Luft fungerar som en mycket bra isolator och därför tillverkar man oftast konventionella isoleringsmaterial på ett sådant sätt att luft fångas i mycket små fickor inne i materialet. Dessa små fickor kallas celler och anledningen till att man vill hålla dem väldigt små är för att förhindra att det utvecklas konvektiva luftströmmar i dem som kan påverka ledningsförmågan. På detta sätt hålls densiteten nere samtidigt som tillverkningskostnaden blir betydligt lägre än om man väljer någon annan typ av gas i isoleringen.

Isolering tillverkas i en rad olika material och utföranden. Vilket material som är bäst beror på sammanhanget. Vid isolering av varma installationer används oftast så kallade rörsålar av stenull eller glasull. Båda dessa går under samlingsnamnet mineralull och har liknande egenskaper. Stenull har däremot en högre värmetålighet än glasull vilket gör att den används på varmare installationer. Vid tillverkningen av mineralull smälts sten eller glas ned och av smältan spinner man trådliknande strukturer som sedan får smälta ihop tillsammans med någon form av ämne som härdar den bildade strukturen. På detta sätt får man en sammanhängande material, fullt av luftceller. Mineralull har däremot ingen fukttätande egenskap vilket gör att den måste kompletteras med någon form av ångbroms om den skall användas på kalla rör. Valet av material till en sådan ångbroms kan variera, men vanligen används aluminiumfolie som placeras utanpå själva rörsålen. Fördelen med en sådan ångbroms är att fukten i luften inte kan komma in i isoleringsmaterialet och kondensera. Fukt försämrar nämligen isoleringsförmågan avsevärt. Nackdelen med en utanpåliggande ångbroms är dock att den lätt kan skadas om den sitter i utrymmen där folk rör sig. Ett litet hål i ångbromsen gör den nästan helt verkningslös och därmed blir även isoleringens förmåga förstörd [7].

Ett alternativ till mineralull som ofta används för isolering av kalla installationer är cellplast som i sig självt fungerar som en ångbroms. Ett litet hack i ytan på detta material får nästan ingen betydelse alls medan ett litet hack i en aluminiumfolie kan vara förödande för isoleringsförmågan och ge problem med kondensutfällning.

2.1.6 *Ytskikt*

Ytskiktet på en teknisk isolering har olika stor betydelse för isoleringens egenskaper och funktion beroende på vilken typ av installation det är frågan om och var den är placerad. Det som oftast har störst betydelse för hur valet av ytskikt ser ut är huruvida olika krav på brandsäkerheten måste uppfyllas. Det finns olika klassificeringar på ytskikt utifrån de brandtekniska egenskaperna. Beroende på hur och var installationen är placerad måste olika klasser uppfyllas. Här gjordes ingen vidare undersökning om olika ytskikts brandegenskaper.

På varma rör är plastplåt ett vanligt ytskikt vars främsta funktion är att skydda isoleringen. Här antogs att alla varma rör var beklädda med plastplåt vars emissivitet antas till 0,41 [9].

Ytskiktet på kalla rör som måste skyddas mot kondens består oftast av aluminiumfolie i de fall där mineralull utgör isoleringsmaterialet, eftersom denna utgör en bra fuktspärr. Emissiviteten på aluminiumfolie antas vara 0,05. I de fall där cellgummi används som isoleringsmaterial behövs ingen annan form av ytskikt. Emissiviteten på cellgummi antas vara 0,94 [9].

På ventilationskanaler antas ytskiktet vara aluminiumfolie med emissiviteten 0,05.

2.2 Beräkningsmodellen

Grundprincipen för beräkningsmodellen är att det skall gå att undersöka vilken isoleringstjocklek som behövs då en bestämd energiförlust skall uppnås. Anledningen till detta är att det skall gå att bestämma en energiförlust som kan antas vara godtagbar för att sedan se vilken isoleringstjocklek som krävs för att uppnå detta. I fallet då isoleringstjocklek på kalla rör och ventilationskanaler beräknas sätts en godtagbar skillnad mellan temperaturen på isoleringens yta och den omgivande luftens temperatur.

Det datorprogram som ansågs vara bäst lämpat att skapa beräkningsmodellen i var Microsoft Excel™. Detta på grund av att det är förhållandevis enkelt att arbeta i och att de flesta som kan tänkas vilja använda beräkningsmodellen har erfarenhet av datorprogrammet. Att använda sig av ett mer avancerat beräkningsprogram ansågs här inte vara något bra alternativ, eftersom det antagligen skulle försämra möjligheten för Landstingsfastigheter att utnyttja beräkningsmodellen.

Alla system som beräknas antas vara stationära. Detta innebär också att dimensioneringen av isoleringen optimeras för ett visst förhållande. Detta förhållande skall då antas vara det dimensionerande.

I samråd med Landstingsfastigheter antogs systemtemperaturer och yttre förutsättningar som beräkningsmodellen kalibrerades mot.

Ekvationer har använts enligt svensk standard: SS-EN ISO 12241:2008 [10], om inget annat anges.

2.3 Energitransporter

När en teknisk installation skall isoleras måste samtliga former av värmetransport undersökas. Som utgångspunkt för alla energiberäkningar användes ekvation (1) som anger hur stort ett energiflöde är per kvadratmeter och tidsenhet genom ett material där \dot{q} anger den överförda värmeeffekten i enheten W/m^2 och $T_1 - T_2$ anger den temperaturskillnad som råder mellan materialets båda sidor.

$$\dot{q} = \frac{T_1 - T_2}{R} \quad (1)$$

R indikerar här ett så kallat värmeledningsmotstånd som har enheten ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$). Värmemotståndet fungerar som ett hinder för det termiska energiflödet och ju högre värde det har, desto bättre är den isolerande förmågan. Det man vill uppnå, när man isolerar en installation, är således ett så högt värde på R som möjligt.

Samtliga former av värmetransport innebär ett visst motstånd för energiflödet att passera. Ser man till ett system där samtliga former av energitransport är involverade, utgör värmemotståndet i ekvation (1) det totala, sammanlagda motståndet (R_{Tot}). Det motstånd som varje form av energitransport bidrar med måste utredas och beräknas för sig för att sedan adderas (2). $R_{isolering}$ anger här det värmeledningsmotstånd som isoleringsmaterialet ger och R_{yta} anger det värmeledningsmotstånd som energitransporten mellan ytan och omgivningen ger.

$$R_{Tot} = R_{isolering} + R_{yta} \quad (2)$$

Här skiljs energitransporten som sker inne i materialet från de som sker på ytan.

2.3.1 **Konduktion**

När man dimensionerar isolering är det av förklarliga skäl dess konduktiva egenskaper som har störst inverkan på hur energiflödena påverkas. Den isolerande funktionen ligger i materialets oförmåga att leda värme. Rör och ventilationskanaler som används i den typ av VVS-installationer som här undersöks är, i de allra flesta fallen, tillverkade i ett material med relativt goda värmeledningsegenskaper och med så pass tunt gods att de utgör ett mycket litet värmeledningsmotstånd som vid beräkningar kan försummas. Detta gör att ytan på rör och ventilationskanaler antar samma temperatur som mediet de innehåller och om inget görs, kan värmeöverföring ske genom konvektion och strålning mot omgivningen, helt obehindrat. Detta kan innebära stora energiförluster i fall då det finns en skillnad mellan mediets och omgivningens temperatur.

Värmeledningsmotståndet i ett material är beroende av dels materialets specifika konduktivitet men också av hur mycket material man använder, alltså hur lång väg energin måste gå genom materialet. Ett tjockare lager isolerar bättre än ett tunnare. Värmeledningsmotståndet per längdmeter rör, som har enheten ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) och anges som $R_{isolering}$ beräknas enligt ekvation (3).

$$R_{isolering} = \frac{\ln \frac{D_y}{D_i}}{2\pi\lambda} \quad (3)$$

D representerar här isoleringens yttre (y) respektive inre (i) diameter och λ står för materialets värmeledningsförmåga. Värmeledningsförmågan hos ett material förändras med materialets temperatur och eftersom temperaturen i en isolering sjunker ju längre från värmekälla man kommer bör inte samma värde för värmeledningsförmågan användas för hela isoleringstjockleken. Därför delades isoleringstjockleken in i sju

stycken kontrollvolymen där värdet på värmeledningsförmågan förändrades enligt isoleringsmaterialets produktinformation. Ekvation (3) skrevs om till ekvation (4). Siffrorna 1 till 5 indikerar här kontrollvolymen inne i materialet, medan i och y representerar den inre respektive yttre ytan.

$$R_{isolering} = \frac{1}{2\pi} * \left(\frac{(\ln \frac{D_4}{D_i} + \ln \frac{D_2}{D_1})}{\lambda_A} + \frac{(\ln \frac{D_3}{D_2} + \ln \frac{D_4}{D_3})}{\lambda_B} + \frac{(\ln \frac{D_5}{D_4} + \ln \frac{D_y}{D_5})}{\lambda_C} \right) \quad (4)$$

Här indikerar A den del av isoleringen som ligger närmast röret eller kanalen, B den mittersta delen och C den del som ligger längst ut och gränsar till den omgivande luften.

2.3.2 *Konvektion*

I fall med normala VVS-installationer då det är vätska som transporteras i ett rör behöver man inte ta hänsyn till någon inre värmeövergång mellan vätskan och röret. Man behöver inte heller ta hänsyn till någon konduktion genom själva rörgodset. Detta på grund av att temperaturen i den passerande vätskan samt i röret håller samma temperatur. Värmeledningsmotståndet i rörväggen är så pass litet att det kan försummas, samtidigt som vätsketemperaturprofilen i röret kan antas vara helt jämn [10].

När man undersöker VVS-system spelar det konvektiva värmeövergångstalet ofta stor roll. Särskilt när isoleringens yttre diameter blir förhållandevis stor eftersom det också innebär att den yttre arean blir stor. I de fall då röret eller ventilationskanalen sitter inomhus kan effekterna av den påtvingade konvektionen på installationens utsida oftast försummas eftersom man sällan har särskilt höga lufthastigheter i en inomhusmiljö. Om installationen istället sitter utomhus måste den påtvingade konvektionen däremot tas med i beräkningen eftersom vinden har en stor inverkan på den omgivande lufthastigheten.

Här beräknades bara värmeövergångstalet för den naturliga konvektionen (5) då beräkningsmodellen begränsas till att gälla för inomhusmiljö. Inomhustemperaturen sattes till 20°C.

$$h_{konv} = 1,25 * \sqrt[4]{\frac{T_{yta} - T_{omg}}{D_{yta}}} \quad (5)$$

Temperaturen på installationens yta beräknades enligt ekvation (6).

$$T_{yta} = T_i - \dot{q} * R_{isolering} \quad (6)$$

När det gäller ventilationskanaler måste man dessutom ta hänsyn till den konvektiva värmeövergången på insidan av kanalen. Eftersom vindhastigheten i kanalen är relativt hög antas den konvektiva energitransporten mellan luften och ventilationskanalens väggar främst vara påtvingad. Den naturliga konvektionen kan, på grund av de relativt små temperaturskillnaderna mellan luften och kanalen, antas vara så pass liten att den kan försummas.

Den påtvingade, konvektiva värmeövergången beror på flera olika faktorer. Vissa är knutna till luftens specifika egenskaper vid en viss temperatur, medan andra är knutna till flödes hastigheter och materialspecifika egenskaper i kanalgodset. Värderna för luftens densitet (ρ), specifik värmekapacitet (C_p), konduktivitet (λ), kinematiska viskositet (ν) samt prandtl-tal (Pr) måste här sättas till de värden som gäller för den temperatur som luften i kanalen håller. Storleken på luftflödet ger i kombination med kanalens diameter (D) upphov till en flödes hastighet (\dot{V}) som har en inverkan på värmeövergångstalet. Flödes hastigheten ger ett så kallat Reynoldstal (Re) som anger huruvida strömningen i kanalen sker laminärt eller turbulent. Här antas att alla ventilationsflöden är mer eller mindre turbulenta.

På de ventilationssystem som finns inom Landstingsfastigheters lokaler ligger luft hastigheten av olika drifttekniska skäl mellan 6-6,5 m/s i de flesta fallen.

$$V_{medel} = \frac{\dot{V}}{A_c} \quad (7)$$

$$Re = \frac{V_{medel} * D}{\nu} \quad (8)$$

Råheten på kanalens inneryta ger upphov till förändringar i luftströmmens turbulens vilket också har en viss inverkan på värmeövergångstalets storlek. Ytans råhet, som dels beror på vilket material kanalen är tillverkad i och dels på hur ytan är behandlad, ger upphov till en friktionskoefficient (f) som används för beräkning av värmeövergångstalet (10). Här antogs att alla ventilationskanaler var tillverkade i varmförzinkad stålplåt vars ytråhet sattes till $\epsilon = 0,15$ mm [11].

$$f = \left(\frac{1}{-1,8 * \log \left[\left(\frac{6,9}{Re} \right) + \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right]} \right)^2 \quad (9)$$

$$h_{insida} = \frac{(f/8)(Re-1000)*Pr*k}{1+12,7(f/8)^{0,5}(Pr^{2/3}-1)*D} \quad (10)$$

Vid beräkning på cirkulära kanaler används kanalens faktiska diameter, men när de rektangulära kanalerna beräknas används istället den hydrauliska diametern (11) för en rektangulär kanal med bredd och höjd = $a \times b$ [11].

$$D = D_h = 2 \frac{ab}{a+b} \quad (11)$$

Eventuella inloppslängder där gränsskiktet inte hunnit utvecklas helt antogs vara så korta i förhållande till ventilationskanalens totala längd att de här kunde försummas.

2.3.3 *Strålning*

Värmeöverföring i form av strålning sker främst mellan olika föremåls ytor. Det förekommer även strålningsutbyten inom ett enskilt material, men effekten av dessa utgör en så pass liten del i detta sammanhang att de kan försummas. Strålningsutbytet mellan ytan på ett rör eller kanal och de intilliggande ytorna i omgivningen beror dels på temperatur hos de olika ytorna, men också på vilket material ytorna är gjorda av. Olika material har olika förmåga att absorbera, transmitta eller reflektera de elektromagnetiska vågorna som värmestrålningen utgör en del av. Det samlade begreppet för att beskriva en ytas strålningsegenskaper kallas emittans. En ytas emissivitet beror på ytans temperatur samt struktur och den anger andelen strålning som ytan kan utbyta jämfört med den strålning som en så kallad svartkropp kan avge. Emissiviteten hos en blank, metallisk yta kan exempelvis vara 0,05 medan en svart yta av gummi kan ha ett värde på 0,94. Detta beror bland annat på att den metalliska ytan kan reflektera strålning betydligt bättre än en mörk och mjuk yta av gummi. De vanligaste ytskikten i detta sammanhang är plastplåt, svart cellgummi och armerad aluminiumfolie som har en emissivitet på 0,41, 0,90 och 0,05 [9].

Ett värmeövergångstal för strålningsvärmen beräknades (12) och adderades till det konvektiva värmeövergångstalet (13).

$$h_{strålning} = \varepsilon * \sigma * \frac{(T_1)^4 - (T_2)^4}{T_1 - T_2} \quad (12)$$

$$h_{yta} = h_{konv} + h_{strålning} \quad (13)$$

I ekvation (12) ger ε och σ en strålningskoefficient medan T står för temperaturfaktorn.

Ytans sammanlagda värmeövergångsmotstånd kunde sedan beräknas enligt ekvation (14) och adderas med isoleringens värmeledningsmotstånd enligt (2).

$$R_{yta} = \frac{1}{h_{yta} * \pi * D_e} \quad (14)$$

2.4 Isoleringstjocklek

Den erforderliga isoleringstjockleken ($L_{Isolering}$) för en viss diameter på rör eller cirkulära ventilationskanaler med en viss önskad energiförlust (\dot{q}), en given framledningstemperatur (T_i) samt omgivande temperatur (T_{omg}) och med ett visst ytskikt kunde beräknas (15) genom att sätta in ekvation (1) och (14) i ekvation (3).

$$L_{Isolering} = \frac{D_{rör} \left(e^{2\pi\lambda \left(\frac{T_i - T_{omg}}{\dot{q}} \cdot \frac{1}{h_{yta} \cdot A_{yta}} \right) - 1} \right)}{2} \quad (15)$$

Värmeledningsförmågan, λ , sattes här till det värde som motsvarar isoleringens genomsnittstemperatur. Då både A_{yta} och h_{yta} beror av isoleringens tjocklek måste resultatet itereras fram för en viss rördiameter. Beräkningsmässigt klarar inte Microsoft Excel detta vilket kräver att man itererar manuellt.

Vid dimensioneringen av isolering mot kondens på kalla installationer utgick beräkningarna från den lägsta tillåtna yttemperaturen enligt tabell 1 under punkt 2.5. Via ekvation (16) kunde värmeledningsmotståndet bestämmas för en dimensionering som anger den minsta nödvändiga isoleringstjockleken.

$$T_{yta} = \frac{R_{yta}}{R_{tot}} (T_i - T_{omg}) + T_{omg} \quad (16)$$

2.5 Kondensation

Vid isolering av kalla rör och ventilationskanaler måste risken för kondensbildning undersökas. En grundläggande förutsättning för att undvika kondens inne i isoleringsmaterialet eller på själva ytan av installationen, innanför isoleringen, är att isoleringsmaterialet är lufttätt. Luft som tillåts komma in i isoleringen för med sig fukt som fälls ut till kondens inne i isoleringen när temperaturen går ner till vattenångans daggpunkt.

Det finns en risk för kondensutfällning på isoleringens utsida då ytan är kallare än den omgivande luftens daggpunktstemperatur. Isoleringens förmåga att hindra energiflödet måste således vara så pass bra att isoleringens yta håller en högre temperatur än omgivningens daggpunktstemperatur. Storleken på den temperaturskillnad mellan yta och luft som innebär att luftens vatteninnehåll riskerar att kondensera beror dels på luftens temperatur och dels på luftens relativa luftfuktighet. De största tillåtna temperaturskillnaderna finns redovisade i tabell 1. Vid dimensionering av isolering på kalla installationer måste temperaturen på installationens yta kontrolleras (16) mot den största tillåtna temperaturskillnaden som finns angiven i tabell 1 [10].

Tabell 1. Den största tillåtna temperaturskillnaden, mellan isoleringens yta och den omgivande luften, som innebär att kondensutfällning undviks. Den omgivande luftens relativa fuktighet är graderad från 30 till 95 %. Den omgivande luftens temperatur graderas från -20°C till +50°C. Exempel: När luften som omger systemet håller en temperaturen 20°C och den relativa fuktigheten 60% kan isoleringens yta hålla som lägst 12°C utan att kondens bildas (20-8=12).

Temperatur på omgivande luft °C	Relativ Luftfuktighet %													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-20	-	10,4	9,1	8	7,9	3	5,2	4,5	3,7	2,9	2,3	1,7	1,1	0,5
-15	12,3	10,8	9,6	8,3	7,3	3,1	5,4	4,6	3,8	3,1	2,5	1,8	1,2	0,6
-10	12,9	11,3	9,9	8,7	7,6	6,6	5,7	4,8	3,9	3,2	2,5	1,8	1,2	0,6
-5	13,4	11,7	10,3	9	7,9	6,8	5,8	5	4,1	3,3	2,6	1,9	1,2	0,6
0	13,9	12,2	10,7	9,3	8,1	7,1	6	5,1	4,2	3,5	2,7	1,9	1,3	0,7
2	14,3	12,6	11	9,7	8,5	7,4	6,4	5,4	4,6	3,8	3	2,2	1,5	0,7
4	14,7	13,0	11,4	10,1	8,9	7,7	6,7	5,8	4,9	4	3,1	2,3	1,5	0,7
6	15,1	13,4	11,8	10,4	9,2	8,1	7	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,5	0,7
8	15,6	13,8	12,2	10,8	9,6	8,4	7,3	6,2	5,1	4,2	3,2	2,3	1,5	0,8
10	16,0	14,2	12,6	11,2	10	8,6	7,4	6,3	5,2	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8
12	16,5	14,6	13	11,6	10,1	8,8	7,5	6,3	5,3	4,3	3,3	2,4	1,6	0,8
14	16,9	15,1	13,4	11,7	10,3	8,9	7,6	6,5	5,4	4,3	3,4	2,5	1,6	0,8
16	17,4	15,5	13,6	11,9	10,4	9	7,8	6,6	5,4	4,4	3,5	2,5	1,7	0,8
18	17,8	15,7	13,8	12,1	10,6	9,2	7,9	6,7	5,6	4,5	3,5	2,6	1,7	0,8
20	18,1	15,9	14	12,3	10,7	9,3	8	6,8	5,6	4,6	3,6	2,6	1,7	0,8
22	18,4	16,1	14,2	12,5	10,9	9,5	8,1	6,9	5,7	4,7	3,6	2,6	1,7	0,8
24	18,6	16,4	14,4	12,6	11,1	9,6	8,2	7	5,8	4,7	3,7	2,7	1,8	0,8
26	18,9	16,6	14,7	12,8	11,2	9,7	8,4	7,1	5,9	4,8	3,7	2,7	1,8	0,9
28	19,2	16,9	14,9	13	11,4	9,9	8,5	7,2	6	4,9	3,8	2,8	1,8	0,9
30	19,5	17,1	15,1	13,2	11,6	10,1	8,6	7,3	6,1	5	3,8	2,8	1,8	0,9
35	20,2	17,7	15,7	13,7	12	10,4	9	7,6	6,3	5,1	4	2,9	1,9	0,9
40	20,9	18,4	16,1	14,2	12,4	10,8	9,3	7,9	6,5	5,3	4,1	3	2	1
45	21,6	19	16,7	14,7	12,8	11,2	9,6	8,1	6,8	5,5	4,3	3,1	2,1	1
50	22,3	19,7	17,3	15,2	13,3	11,6	9,9	8,4	7	5,7	4,4	3,2	2,1	1

Huruvida det finns risk för kondensutfällning eller inte beror på temperaturskillnaden mellan rörets temperatur och den omgivande luftens temperatur samt relativa luftfuktighet. Eftersom dessa parametrar förändras över året måste dimensioneringen göras efter det fall där man kan anta att risken för kondensutfällning är som störst. För utrymmen som kan antas ha samma temperatur som utomhusmiljön blir isolering mot kondensproblem enbart aktuell då temperaturen i luften överstiger framledningstemperaturen vilket här är som lägst 5 °C. Vintertid, då omgivningens temperatur blir kallare än så, övergår kondensproblematiken till att vara ett värmeproblem vilket gör en installation med framledningstemperaturen 5 °C till ett varmt rör.

Vid isolering mot kondens på kalla rör förekommer i regel två olika typer av ytor på isoleringen. En av cellgummi och en av aluminiumfolie. Hur dessa ytors olika emissiviteter påverkar den nödvändiga isoleringstjockleken beräknades för tre olika rördimensioner där framledningstemperaturen sattes till 7°C, omgivningstemperaturen till 20°C och den maximala relativa luftfuktigheten till 75 % vilket skulle kunna motsvara ett relativt vanligt inomhusförhållande.

Dimensioneringen av isolering mot kondens gjordes för tre olika fall. Det dimensionerande förhållandet, med avseende på kondensisolering för installationer placerade i kryppgrund, sattes till en omgivande lufttemperatur på 16 °C och en relativ luftfuktighet på 85 %. För kalla installationer placerade i inomhusmiljö sattes det dimensionerande förhållandet till en omgivande lufttemperatur på 23 °C och en relativ luftfuktighet på 65 %. I det sista fallet sattes det dimensionerande förhållandet till en

lufttemperatur på 25 °C och en relativ luftfuktighet till 80 % vilket kan motsvara ett mycket fuktigt och varmt utrymme.

För kalla rör beräknades den nödvändiga isoleringstjockleken då framledningstemperaturerna var 5, 8, 11, 14, 17 och 20°C, för dimensionerna 30, 60, 90, 120, 150, 200, 250, 300, 350 och 400 mm.

Den nödvändiga isoleringstjockleken för ventilationskanalerna beräknades för samtliga cirkulära kanaldimensioner och för ett fåtal rektangulära. Framledningstemperatur togs enbart för ventilationsluft som genomgått värmeåtervinning och som därmed antas hålla 17 °C.

2.6 Energiförlust

Olika storlekar på energiförlust sattes in i ekvation (15) med olika rördimensioner varpå olika nödvändiga isoleringstjocklekar kunde bestämmas. Kostnader för isolering innebär en engångskostnad medan en energiförlust innebär en kontinuerlig kostnad vilket gjorde att energiförlusten sattes så lågt som det ansågs vara möjligt.

I beräkningen sattes framledningstemperaturen till 65 °C och omgivningstemperaturen till 20 °C. Här användes den rörskaal som hade bäst värmeledningsmotstånd, alltså 0,033-0,035 W/mK.

2.7 Livscykelkostnadsanalys

Den kanske största anledningen till att man isolerar varma och kalla installationer är att minskade energiförluster också innebär minskade ekonomiska kostnader. Eftersom energi förbrukas kontinuerligt innebär alla former av energiläckage en löpande kostnad. Den sammanlagda energianvändningen från en VVS-installation blir med tiden mycket stor, oavsett om den isoleras rätt eller inte, och att hålla förlusten så låg som möjligt innebär således också att man håller en stor kostnad så låg som möjligt. Att sänka den genomsnittliga energiförlusten för en 300 meter lång anläggning med 3 W/m ger en årlig energibesparing på nästan 8000 kWh.

Priset på energi varierar självklart mycket beroende på vilken typ av energi det gäller. Här sattes priset för värme på 0,44 sek/kWh och för kyla till 1 sek/kWh.

Kostnaden för isolering varierar beroende på dess typ och storlek. Cellgummi kostar exempelvis mer än mineralull och ju större dimensionen är, desto mer kostar den. På varma rör används normalt så kallade rörskaalar. Dessa kan köpas per meter, är anpassade till bestämda rördimensioner och finns normalt sett i tjocklekar upp till 160 mm, men kan vid behov monteras i flera lager. På ventilationskanaler, som ofta har förhållandevis stora dimensioner, används istället isolering i form av mattor med olika tjocklek som köps per kvadratmeter.

LCC-analysen gjordes enligt nuvärdesmetoden [12] och utgick från energiförlusten i ett rör eller en ventilationskanal.

Här undersöktes två fall för varma rör, ett där rördimensionerna antogs vara 50 mm och ett där rördimensionerna antogs vara 280 mm. Utgångspunkten för båda fallen är en jämförelse mellan två olika isoleringsalternativ och ett helt oisolerat rör. För rördimensionen på 50 mm jämfördes den nödvändiga isoleringstjockleken för en energiförlust på 10 respektive 6 W/m. För rördimensionen 280 mm jämfördes den nödvändiga isoleringstjockleken för energiförluster på 12 respektive 9 W/m.

Priset för isolering är i det här fallet svårt att uppskatta exakt eftersom det beror på flera olika saker. Därför uppskattades ett ungefärligt pris per meter isolering för de olika isoleringstjocklekarna. För rördimensionen på 50 mm sattes isoleringskostnaden till 55 sek/meter i fallet där energiförlusten blev 10W/meter och 225 sek/meter där energiförlusten blev 5 W/meter. För rördimensionerna på 280 mm sattes priset 960 sek/meter där förlusten blev 12 W/meter och 1500 sek/meter där förlusten blev 9 W/meter. Rabattsatsen gentemot listpris sattes till 40 %. I båda fallen antogs en framledningstemperatur på 65 °C, en omgivningstemperatur på 20 °C och en total systemlängd på 300 meter med en arbetskostnad på 400 kronor per timme och en nödvändig arbetstid till 0,35 timmar per meter. Värmeledningsförmågan sattes i båda fallen till $\lambda(25^{\circ}\text{C}) = 0,033$, $\lambda(50^{\circ}\text{C}) = 0,034$, $\lambda(70^{\circ}\text{C}) = 0,035$ (W/m°C).

Nuvärdet av den årliga ekonomiska besparingen, som den energisparande åtgärden genererade, beräknades över avskrivningstiden och jämfördes mot åtgärdens tänkta investeringskostnad (17).

Ett fall beräknades där kalkylräntan (r) sattes till 4 %, den förväntade prisökningen (p) på energi till 3 %, inflationen (i) till 1 % och avskrivningstiden (n) till 20 år.

$$N = \frac{T*(1+i)^n*(1+p)^n}{(1+r)^n} \quad (17)$$

N avser här dagens värde på den totala ekonomiska besparingen som investeringen innebär och T avser den ekonomiska besparingen första året.

2.8 Känslighetsanalys Isoleringstjocklek

Känslighetsanalysen gjordes för att ta reda på hur olika val av material och olika yttre förhållanden påverkade en installations nödvändiga isoleringstjocklek. Parametrarna som testades var: Önskade/godtagbara energiförluster/temperaturskillnader per meter, skillnader i värmeledningsförmåga hos olika isoleringsmaterial, den omgivande luftens temperatur och olika temperaturer på det medium som installationen inhyser.

2.9 Känslighetsanalys Livscykelkostnad

Huruvida investeringar i isolering innebär en ekonomisk besparing trots oförutsedd ekonomisk utveckling undersöktes genom att testa hur förändringar av dessa parametrar

påverkade beräkningsresultatet. En ogynnsam ekonomisk utveckling antogs där kalkylräntan sattes till 7 % medan inflationen och prishöjningen på energi sattes till 1%. Även en gynnsam ekonomisk utveckling antogs där kalkylräntan sattes till 2 %, inflationen till 4 % och prisökningen till 7 %.

3. Resultat

3.1 Varma rör

3.1.1 Val av isoleringsmaterial och ytskikt

Av de konventionella isoleringsmaterial som finns på marknaden idag anses mineralull vara bäst lämpat för isolering av varma rör. Detta på grund av att dess värmeförmåga ger en mycket lång livslängd. Det finns även cellgummi som klarar temperaturer upp till 80-100 °C, men dessa får en betydligt kortare livslängd.

Kvaliteten på mineralullsisolering, gällande värmeledningsförmågan, kan variera beroende på fabrikat och typ av produkt. För rörsålar var det lägsta värdet på värmeledningsförmåga 0,033-0,035 W/mK vid temperaturer mellan 20°C och 70°C. Något lägre värden för värmeledningsförmåga fanns, men dock inte i form av rörsålar.

Hur kvaliteten på mineralullen påverkar den nödvändiga isoleringstjockleken redovisas i tabell 2.

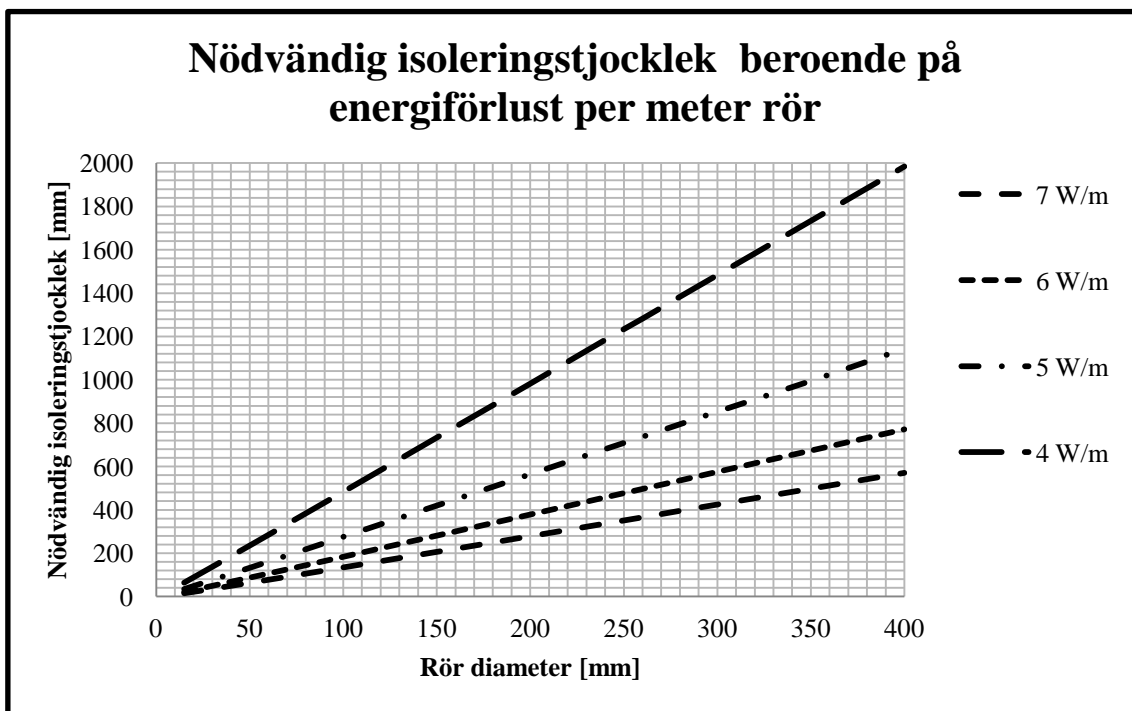
Tabell 2. Nödvändig isoleringstjocklek beroende på värmeledningsförmågan hos isoleringsmaterialet vid temperaturer mellan 20°C och 70°C när den önskade energiförlusten sattes till 5 W/m, framledningstemperaturen till 65°C och omgivningstemperaturen till 20°C.

Rördimension [mm]	Värmeledningsförmåga, λ för temperaturer från 20°C till 70°C.			
	0,032-0,034 [W/mK]	0,033-0,035 [W/mK]	0,034-0,036 [W/mK]	0,035-0,037 [W/mK]
Isoleringstjocklek [mm]				
15	32	34	37	40
30	71	76	81	87
50	124	132	142	151
70	177	189	202	216
100	257	275	294	315
130	338	362	387	413
160	416	448	479	512
200	527	564	603	664
240	635	680	726	776
280	744	795	850	908
300	798	853	912	974
350	934	995	1067	1139
400	1070	1144	1222	1305

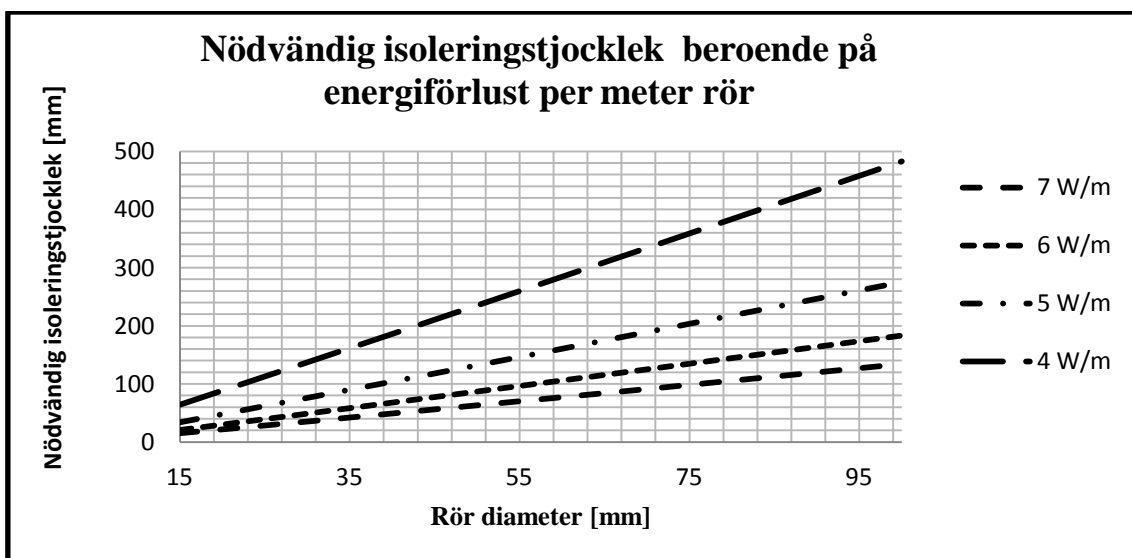
Valet av värmeledningsförmåga hos isoleringsmaterialet får större betydelse ju större dimension röret har.

3.1.2 Energiförlust

Den nödvändiga isoleringstjockleken som behövs för att uppnå en viss energiförlust per meter anges i figur 1 och figur 2.



Figur 1. Nödvändig isoleringstjocklek beroende på energiförlust för rördimensioner från 15 till 400 mm, när värmeledningsförmågan är 0,035 W/mK vid 50°C, framledningstemperaturen är 65°C och omgivningstemperaturen är 20°C.

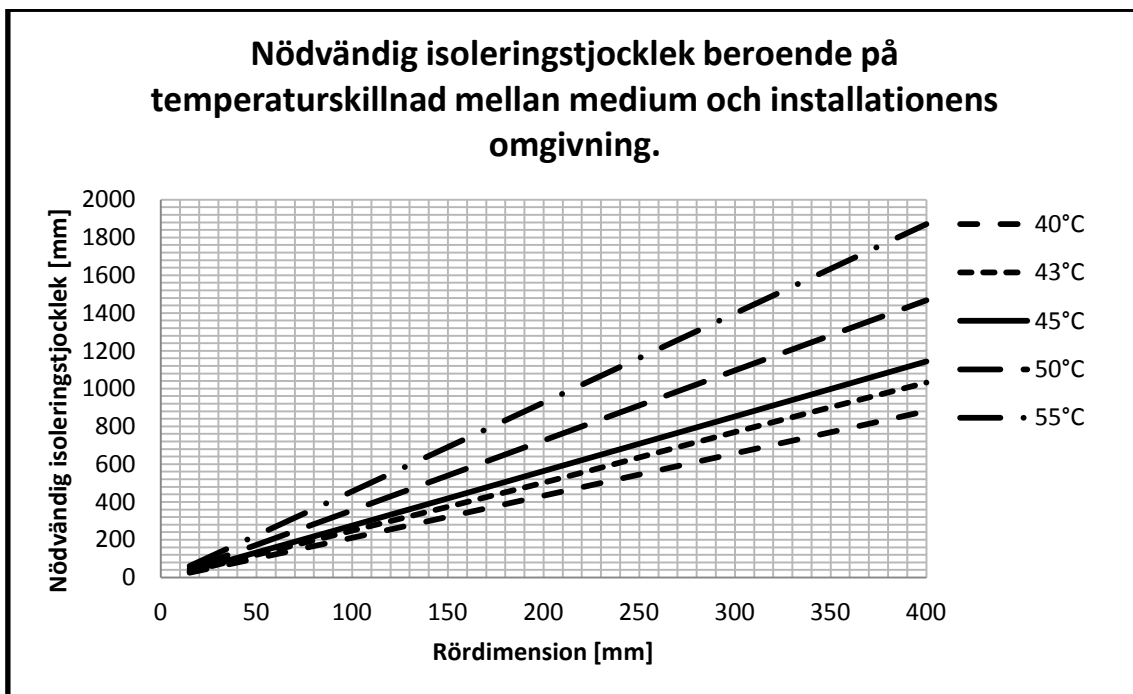


Figur 2. Nödvändig isoleringstjocklek beroende på energiförlust för rördimensioner från 15 till 100 mm, när värmeledningsförmågan är 0,035 W/mK vid 50°C, framledningstemperaturen är 65°C och omgivningstemperaturen är 20°C.

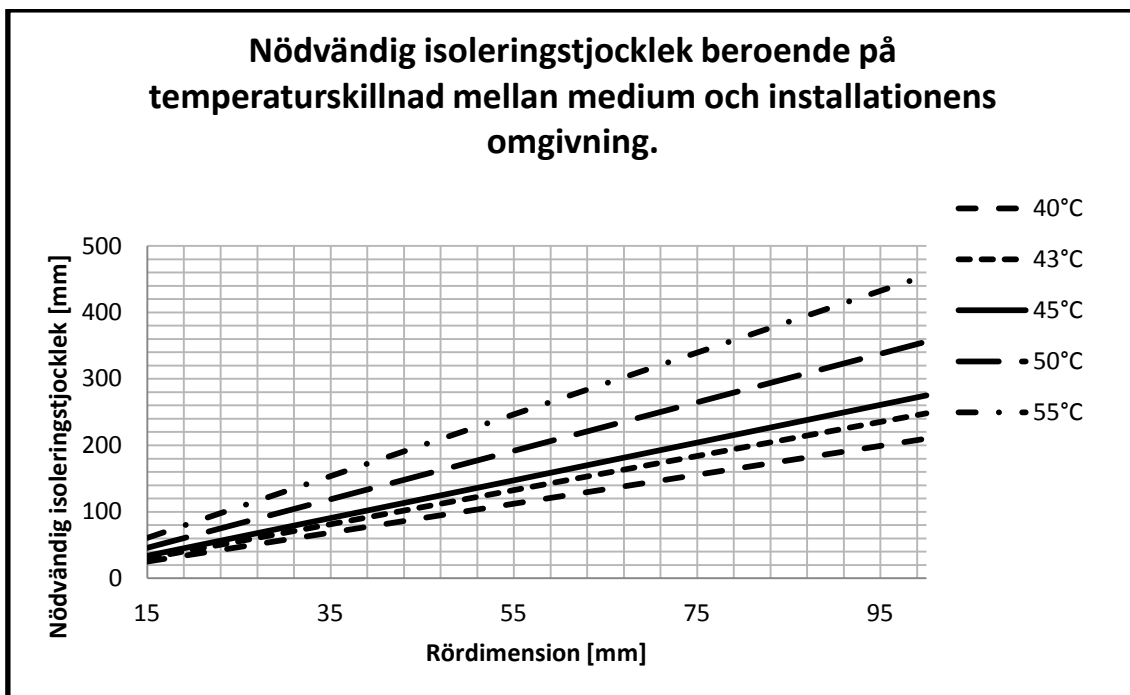
5 W/m anses här vara en godtagbar förlust för små rördimensioner medan den godtagbara energiförlusten blir högre ju större rördimensioner man dimensionerar till.

3.1.3 *Temperaturskillnader*

Beräkningen visar att en överskattning av framledningstemperaturen med ca 10 % kan leda till en överdimensionering av isoleringstjockleken med ca 40 % . Temperaturskillnaden mellan det medium som framförs i röret och den omgivande luften har en inverkan på isoleringstjockleken som redovisas i figur 3 och figur 4 då energiförlusten sattes till 5 W/m och isoleringsmaterialet hade ett värmeledningsvärde på 0,033-0,035 W/mK.



Figur 3. Nödvändig isoleringstjocklek för olika temperaturskillnader mellan installationens medium och dess omgivning för rördimensioner från 15 till 400 mm, när isoleringsmaterialets värmeledningsförmåga sattes till 0,033-0,035 W/mK och energiförlusten till 5 W/m.



Figur 4. Nödvändig isoleringstjocklek för olika temperaturskillnader mellan installationens medium och dess omgivning för rördimensioner från 15 till 100 mm, när isoleringsmaterialets värmeledningsförmåga sattes till 0,033-0,035 W/mK och energiförlusten till 5 W/m.

3.2 Kalla rör

3.2.1 Val av isoleringsmaterial och ytskikt

Emissivitetens inverkan på den nödvändiga isoleringstjockleken för olika rördimensioner redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Den nödvändiga isoleringstjockleken för ett antal rördimensioner, beroende på om ytskiktet består av aluminiumfolie eller svart cellgummi när framledningstemperaturen är 5°C och omgivningstemperaturen är 20°C. Eftersom jämförelsen enbart speglar skillnaden i emissivitet sattes värmeledningsförmågan lika för båda materialen.

Rördimension [mm]	Emissivitet	
	0,05 (Aluminiumfolie)	0,94 (Sv-cellgummi)
	Nödvändig isoleringstjocklek [mm]	
15	9,1	4,9
30	11,1	5,6
60	13,7	6,3
90	15,2	6,6
120	16,4	7,0
150	17,4	7,1
200	18,7	7,4
250	19,8	7,6

300	20,7	7,7
350	21,6	7,8
400	22,3	7,9

3.2.2 Omgivning och relativ luftfuktighet

Den nödvändiga isoleringstjockleken för kalla rör placerade inomhus redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Nödvändig isoleringstjocklek för att undvika kondens i en inomhusmiljö, för ett isoleringsmaterial, vid olika framledningstemperaturer.

Isolering: $\lambda(10^\circ\text{C}) = 0,032$; $\lambda(30^\circ\text{C}) = 0,033$; $\lambda(50^\circ\text{C}) = 0,034$ [W/m°C]						
Luft: 23°C, RH=65%	Ytskikt: Svart cellgummi					
	Framledningstemperatur					
	5 °C	8 °C	11 °C	14 °C	17 °C	20 °C
Rördiameter [mm]	Isoleringstjocklek [mm]					
15	7,2	5,3	3,5	1,5	-	-
30	8,8	6,6	4,1	1,8	-	-
60	10,7	8	5,1	2,1	-	-
90	11,9	8,8	5,7	2,4	-	-
120	12,9	9,5	6,1	2,5	-	-
150	13,7	10,1	6,5	2,6	-	-
200	14,8	10,9	6,9	2,8	-	-
250	15,6	11,5	7,3	3	-	-
300	16,4	12	7,6	3,1	-	-
350	17	12,4	7,9	3,2	-	-
400	17,6	12,9	8,1	3,3	-	-

Den nödvändiga isoleringstjockleken för kalla rör placerade i krypgrund redovisas i tabell 5.

Tabell 5. Nödvändig isoleringstjocklek för att undvika kondens i mljö som motsvarar en krypgrund, för ett isoleringsmaterial, vid olika framledningstemperaturer.

Isolering: $\lambda(10^\circ\text{C}) = 0,032$; $\lambda(30^\circ\text{C}) = 0,033$; $\lambda(50^\circ\text{C}) = 0,034$ [W/m°C]						
Luft: 16°C, RH=85%	Ytskikt: Svart cellgummi					
	Framledningstemperatur					
	5 °C	8 °C	11 °C	14 °C	17 °C	20 °C
Rördiameter [mm]	Isoleringstjocklek [mm]					
15	8,5	5,7	3,0	-	-	-
30	10,2	6,7	3,3	-	-	-
60	11,5	7,8	3,7	-	-	-
90	12,3	8,2	3,8	-	-	-
120	12,9	8,5	3,9	-	-	-

150	13,3	8,7	4,0	-	-	-
200	13,7	9,0	4,1	-	-	-
250	14,1	9,2	4,2	-	-	-
300	14,4	9,4	4,3	-	-	-
350	14,6	9,5	4,3	-	-	-
400	14,8	9,6	4,4	-	-	-
	Isoleringstjocklek [mm]					

Den nödvändiga isoleringstjockleken för kalla rör placerade inomhus i väldigt fuktig miljö redovisas i tabell 6.

Tabell 6. Nödvänd isoleringstjocklek för att undvika kondens i en mycket fuktig inomhusmiljö, för ett isoleringsmaterial, vid olika framledningstemperaturer.

Isolering: $\lambda(10^\circ\text{C}) = 0,032$; $\lambda(30^\circ\text{C}) = 0,033$; $\lambda(50^\circ\text{C}) = 0,034$ [W/m°C]						
Luft: 25°C, RH=80%	Ytskikt: Svart cellgummi					
	Framledningstemperatur					
Rördiameter [mm]	5 °C	8 °C	11 °C	14 °C	17 °C	20 °C
	Isoleringstjocklek [mm]					
15	9,9	8,3	6,7	5,1	3,2	1,1
30	11,6	9,7	7,8	5,8	3,5	1,1
60	13,4	11,2	8,8	6,4	3,9	1,2
90	14,5	12,1	9,4	6,8	4,1	1,3
120	15,2	12,5	9,8	7,1	4,3	1,3
150	15,6	12,9	10,1	7,3	4,3	1,3
200	16,3	13,4	10,5	7,5	4,5	1,4
250	16,7	13,7	10,7	7,7	4,5	1,4
300	17,1	14,0	10,9	7,8	4,6	1,4
350	17,4	14,3	11,1	7,9	4,7	1,4
400	17,6	14,4	11,2	8,0	4,8	1,4

3.2.3 Energitransporter

Energitransporten från omgivningen till köldbäraren i exemplet från tabell 6 redovisas i tabell 7.

Tabell 7. Värmetransporter per meter rör från omgivning till köldmediet vid olika framledningstemperaturer när isoleringen dimensioneras mot kondensutfällning. Isoleringsmaterialet är svart cellgummi och den dimensionerande omgivningen är ett inomhusklimat.

Isolering: $\lambda(10^\circ\text{C}) = 0,032$; $\lambda(30^\circ\text{C}) = 0,033$; $\lambda(50^\circ\text{C}) = 0,034$ [W/m°C]						
Luft: 23°C, RH=65%	Ytskikt: Svart cellgummi					
	Framledningstemperatur					
	5 °C	8 °C	11 °C	14 °C	17 °C	20 °C
Rördiameter [mm]	Energitransport genom isoleringen [W/m]					
15	3,3	3	2,7	2,3	1,7	0,7
30	4,8	4,5	4,1	3,7	2,8	1,2
60	7,2	6,9	6,5	6	4,8	2
90	9,4	9	8,6	8,1	6,5	2,8
120	11,4	10,9	10,5	10,1	8,2	3,5
150	13,2	12,8	12,4	11,9	9,7	4,1
200	14,8	15,7	15,3	14,8	12,1	5,2
250	18,8	18,4	18	17,5	14,4	6,2
300	21,5	21,0	20,6	20,1	16,6	7,1
350	24	23,5	23,1	22,6	18,7	8
400	26,4	26	25,5	25,1	20,7	8,9

3.3 Ventilationskanaler

3.3.1 Hydraulisk diameter

Den hydrauliska diametern för rektangulära ventilationskanaler fastställdes enligt tabell 8.

Tabell 8. Hydraulisk diameter för aktuella mått på rektangulära ventilationskanaler.

Hydraulisk diameter för rektangulära ventilationskanaler [mm]															
		Bredd [mm]													
Höjd [mm]	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
100	100	120	133	143	150	160	167	171	178	182	185	187	188	189	190
150	120	150	171	188	200	218	231	240	253	261	267	271	274	277	279
200	133	171	200	222	240	267	286	300	320	333	343	350	356	360	364
250	143	188	222	250	273	308	333	353	381	400	414	424	432	439	444
300	150	200	240	273	300	343	375	400	436	462	480	494	505	514	522

400	160	218	267	308	343	400	444	480	533	571	600	622	640	655	667
500	167	231	286	333	375	444	500	545	615	667	706	737	762	783	800
600	171	240	300	353	400	480	545	600	686	750	800	840	873	900	923
800	178	253	320	381	436	533	615	686	800	889	960	1018	1067	1108	1143
1000	182	261	333	400	462	571	667	750	889	1000	1091	1167	1231	1286	1333
1200	185	267	343	414	480	600	706	800	960	1091	1200	1292	1371	1440	1500
1400	187	271	350	424	494	622	737	840	1018	1167	1292	1400	1493	1575	1647
1600	188	274	356	432	505	640	762	873	1067	1231	1371	1493	1600	1694	1778
1800	189	277	360	439	514	655	783	900	1108	1286	1440	1575	1694	1800	1895
2000	190	279	364	444	522	667	800	923	1143	1333	1500	1647	1778	1895	2000

3.3.2 Isoleringstjocklek

Den nödvändiga isoleringstjockleken för att undvika kondens på installationens utsida samt värmeeffekten från omgivning till ventilationsluften, som denna isoleringstjocklek innebär, redovisas i tabell 9.

Tabell 9. Den nödvändiga isoleringstjockleken för att undvika kondens på installationens utsida samt värmeeffekten från omgivning till ventilationsluften, som denna isoleringstjocklek innebär beroende på valet av ytskikt.

Isolering: $\lambda(10^{\circ}\text{C}) = 0,032$; $\lambda(30^{\circ}\text{C}) = 0,033$; $\lambda(50^{\circ}\text{C}) = 0,034$ [W/m°C]				
Omgivande Luft: 25°C, RH=65%	Framledningstemperatur: 17°C			
Ytskikt:	Plastplåt		Aluminiumfolie	
Cirkulär kanaldiameter [mm]	Isoleringstjocklek [mm]	Tillförd värme [W/m]	Isoleringstjocklek [mm]	Tillförd värme [W/m]
63	6	5,1	9	3,6
80	7	6,0	10	4,3
100	7	7,1	10	5,0
125	7	8,5	11	5,8
160	8	10,3	12	6,9
200	8	12,3	12	8,0
250	8	14,7	13	9,4
315	9	17,7	14	11,1
400	9	21,6	15	13,3
500	9	26,0	15	15,7
630	10	31,6	16	18,6
800	10	38,8	17	22,3
1000	10	46,9	18	26,4
1250	11	56,9	19	31,4

3.4 Livscykelkostnad

Livscykelkostnadsanalysen visar att investeringar i isolering blir lönsamt över en tjugofemårsperiod då investeringskostnaderna motsvarar de som här har angivits. Den beräknade besparing för respektive fall redovisas i tabell 10.

Tabell 10. Den totala ekonomiska besparingen för två rördimensioner och två isoleringsalternativ för varje rördimension, beroende på hur isoleringen dimensioneras. Negativa värden betyder en ekonomisk förlust.

Rördiameter 50 mm			
Isoleringstjocklek [mm]	Energiförlust [W/m]	Isoleringskostnad [sek/m]	Total besparing [sek/20 år]
Oisolerad	38	0	-925 092
31	10	55	633 046
87	5	225	734 369
Rördiameter 280 mm			
Isoleringstjocklek [mm]	Energiförlust [W/m]	Isoleringskostnad [sek/m]	Total besparing [sek/20 år]
Oisolerad	171	0	-4 162 912
157	12	960	3 713 578
251	9	1500	3 721 811

Känslighetsanalysen visar att investeringar i isolering blir lönsamma oavsett hur den ekonomiska utvecklingen ser ut. Den totala besparingen för det ogynnsamma och det gynnsamma fallet redovisas i tabell 11.

Tabell 11. Den totala ekonomiska besparingen för två rördimensioner och två isoleringsalternativ för varje rördimension, för en gynnsam och en ogynnsam ekonomisk utveckling.

Rördiameter 50 mm				
Isoleringstjocklek [mm]	Energiförlust [mm]	Isoleringskostnad [sek/m]	Besparing	Besparing
			ogynnsamma förhållanden [sek/20 år]	gynnsamma förhållanden [sek/20 år]
Oisolerad	38	0	-644 168	-2 432 821
31	10	55	426 050	1 744 005
87	5	225	490 409	2 043 713
Rördiameter 280 mm				
Isoleringstjocklek [mm]	Energiförlust [mm]	Isoleringskostnad [sek/m]	Besparing	Besparing
			ogynnsamma förhållanden [sek/20 år]	gynnsamma förhållanden [sek/20 år]
Oisolerad	171	0	-2 898 756	-10 947 693
157	12	960	2 538 134	10 022 234
251	9	1500	2 524 190	10 149 499

4. Diskussion

4.1 Beräkningsmodellen

Beräkningsmodellen kan sannolikt ses som tillförlitlig då den nödvändiga isoleringstjockleken skall beräknas för varma och kalla rör. En jämförelse mellan denna beräkningsmodell och resultat från beräkningsprogrammet Isodim som företaget Isover tillhandahåller visade en avvikelse mindre än 5 % mellan de olika resultaten vilket kan ses som en försumbar skillnad. Avvikelserna beror med stor sannolikhet på att värmeledningsförmågan inte har uppskattats helt rätt för de aktuella temperaturerna.

4.2 Varma rör

4.2.1 *Material och ytskikt*

Av de material som idag finns tillgängliga på marknaden verkar mineralull vara det bästa valet. Vilken typ av mineralull man väljer kan få en mer eller mindre stor inverkan på mängden som måste användas. Kvaliteten på mineralull kan variera något mellan olika fabrikat och modeller. En jämförelse mellan mineralullsisolering från de tre största leverantörerna visade att värmeledningsförmågan hos liknande produkter kunde skilja upp till 0,003 W/m,K, eller ca 10 %, vid de aktuella temperaturerna. På mindre rör spelar skillnaden inte någon avgörande roll, men den ökar med rördimension som skall isoleras. Beräkningarna visade att en sådan skillnad kan innebära att den nödvändiga isoleringstjockleken blir ca 20 % större om valet av isolering faller på en produkt som har en högre värmeledningsförmåga.

Valet av ytskikt har i detta sammanhang en mycket liten påverkan på den totala isoleringsförmågan. Generellt sett har ytskikt med låg emissivitet en positiv inverkan på isoleringsförmågan på varma installationer, men för att en skillnad skall bli märkbar krävs betydligt större temperaturskillnader än vad som här är fallet. En blank aluminiumyta ($\epsilon=0,05$) reflekterar strålningsvärme betydligt bättre än vad en matt yta av plastplåt ($\epsilon=0,41$) gör, men då temperaturskillnaderna inte blir särskilt stora ger ett byte från plastplåt till aluminium en minskning av värmeövergångstalet med 0,001 W/m².

4.2.2 *Isoleringstjocklek*

Att hålla energiförlusten så låg som 5 W/m blir praktiskt taget omöjligt på större rördimensioner, eftersom den nödvändiga isoleringstjockleken blir alldeles för stor. På rör som har en diameter mindre än 50 mm bör däremot 5 W/m i många fall kunna vara en rimlig energiförlust. Med hjälp av beräkningsmodellen kan man däremot utvärdera vilken typ av energiförlust som kan tänkas vara godtagbar för varje rördimension och utrymme. Ett sätt att reglera detta skulle kunna vara att fastställa en typ av kategorisering där man anger en maxgräns för hur stor energiförlusten för rör upp till en viss diameter får vara.

Ett verktyg som ofta används för att underlätta arbetet när varma rör skall isoleras med mineralull är serietabellen AMA RB/1. Denna serietabell fungerar som ett slags kommunikationsverktyg mellan projektören som beräknat vilken isoleringstjocklek som skall användas och den entreprenör som skall utföra jobbet. Den isoleringstjocklek som räknats fram för en viss typ av rör jämförs med de dimensioner som finns angivna i serietabellen och den serie som bäst stämmer överens med isoleringstjockleken kan sedan anges som ett mått till isoleringsentreprenören. Utifrån den angivna serien kan entreprenören sedan välja mellan två isoleringstjocklekar beroende på vilket värmeledningsmotstånd isoleringsmaterialet har. Dessa två alternativ anges som A eller B i tabellen där A gäller för isoleringsmaterial med värmeledningsförmågan lägre eller lika med 0,037 W/mK vid 50 °C och B gäller för isoleringsmaterial med värmeledningsförmågan lägre eller lika med 0,045 W/mK vid 50 °C. Om inget annat har angivits ger alltså alternativ B entreprenören en möjlighet att välja isoleringsmaterial med en högre värmeledningsförmåga vilket i dessa sammanhang innebär en produkt med lägre kvalitet. Vid användandet av AMA RB/1 borde alltså alternativ A utgöra den enda valbara möjligheten.

Användandet av denna serietabell kan i många fall underlätta eftersom man slipper förhålla sig till precisa mått. Nackdelen är dock att man till viss del släpper kontrollen över energiförlusterna, samtidigt som det finns risk för eventuella feltolkningar av serietabellen. De serier som finns räcker inte heller till om man vill hålla nere energiförlusterna även på större rördimensioner. Rörskålar tillverkas i ett visst antal dimensioner och att dimensionera med exakta mått vore därför med stor sannolikhet mycket svårt, men att använda sig av serietabellen så långt det är möjligt och hela tiden välja serien ovanför den beräknade isoleringstjockleken innebär att energiförlusten blir mindre än den man från början räknat med. I fall där rördimensionerna är så stora att de tillgängliga rörskåldimensionerna inte räcker till sätts dubbla lager med rörskålar på installationen.

Ett problem som ofta verkar kunna uppstå och som gör att energiförlusterna från ett system blir onödigt stora är att den bästa dimensioneringen för ett system helt enkelt inte får plats i kulvertar och bjälklag.

4.2.3 *Energiförlust*

Den nödvändiga isoleringstjockleken påverkas relativt mycket av vilken storlek på energiförlusterna som anses vara godtagbar. Ett energiflöde innebär en kontinuerlig ekonomisk kostnad medan isoleringens installationskostnad blir en engångskostnad. Därför bör isoleringen dimensioneras för en så låg energiförlust, som möjligt. Att dimensionera utifrån en önskad energiförlust kan antagligen vara ett bra alternativ om man vill få full kontroll över sina energiförluster. Detta kan dock innebära att isoleringstjockleken blir större än vad som normalt brukar räknas med. I sin tur innebär detta att den önskade energiförlusten inte går att uppnå eftersom den nödvändiga isoleringstjockleken inte får plats i det utrymmen som röret skall placeras i. Om man vill dimensionera isoleringen efter en så låg energiförlust som möjligt måste dimensioneringen ske i ett tidigt stadium under projekteringen.

Vad som kan antas vara en godtagbar energiförlust beror till stor del på vilken rördimension det gäller. För små dimensioner kan energiförlusten sättas betydligt lägre än för stora dimensioner eftersom dessa naturligt sett kräver en mindre och därmed billigare isoleringstjocklek.

I det här arbetet har alla typer av varma system betraktats på samma sätt, det vill säga att de förekommer i slutna system. I fallen med varmt tappvatten kan man antagligen göra mer för att ytterligare minska energiförlusterna. Det varma vattnet spolas till exempel, i de flesta fallen, rakt ut i ett avlopp, utan någon form av värmeåtervinning. Ett annat exempel där man antagligen kan göra mer för att förhindra energiförluster är framledningsrör till radiatorer. Den sista delen av dessa rör, alltså den del som går fram till själva radiatoren, isoleras sällan eftersom deras värmeförlust ses som ett energitillskott till rummet. Detta är förvisso sant när det gäller något äldre system vilket utgör de allra flesta som är i drift idag. Den tekniska utvecklingen leder dock till att temperaturen i radiatorer sänks. Man har exempelvis, på vissa ställen, radiatortemperaturer på drygt 20°C vilket är fullt tillräckligt. Att ha en rörsektion på 50 °C helt oisolerad blir då omotiverat. Denna problematik kan exempelvis uppstå om man bestämmer sig för att byta ut radiatorsystemet i syfte att spara energi [1].

4.2.4 *Temperaturskillnader*

För att undvika en felaktig dimensionering av isoleringen är det viktigt att dimensioneringen sker utifrån rätt temperaturskillnader mellan det medium som röret inhyser och rörets omgivning. De temperaturskillnader som antogs mellan det varma mediet och omgivningen är giltiga i de allra flesta fallen eftersom primärkretsen och sekundärkretsen håller någorlunda konstanta temperaturer i det intervall som undersöktes. Däremot togs ingen hänsyn till eventuella variationer över året i framledningstemperaturen hos varmt tappvatten. I fall då dessa typer av varma rör skall isoleras antogs dock att det dimensionerande förhållandet inträffar då framledningstemperaturen är som högst. Beräkningsmodellen kan emellertid användas för alla typer av temperaturskillnader.

4.3 Kalla rör

4.3.1 *Material och ytskikt*

Ytskiktets inverkan på isoleringens funktion och den nödvändiga isoleringstjockleken är betydligt större här än vad som är fallet med varma installationer. Ett ytskikt med hög emissivitet såsom svart cellgummi ($\varepsilon=0,94$) ger en betydligt större strålningsutbyte mellan isoleringens yta och omgivningen vilket leder till att ytan blir något varmare. Detta innebär således att en mindre isoleringstjocklek krävs än om man använder ett ytskikt av exempelvis aluminiumfolie ($\varepsilon=0,05$). Resultatet visar att skillnaden i nödvändig isoleringstjocklek mellan aluminiumfolie och svart cellgummi är förhållandevis stor och skillnaden blir dessutom större för större rördimensioner. Detta visar att valet av ytskikt blir än viktigare när det gäller stora rördimensioner.

Cellgummi kan i detta sammanhang antagligen ses som ett bättre material än mineralull eftersom det i sig självt fungerar som fuktspärr och tål skador i dess yta. Mineralullsisolering med tillhörande fuktspärr kan fungera lika bra, men den bör i så fall användas i utrymmen där folk inte vistas eftersom eventuella skador på fuktspärren innebär att skyddet mot kondens blir förstört.

Jämförelsen mellan aluminiumfolie och svart cellgummi visar att emissiviteten har en stor inverkan på isoleringstjockleken. När man enbart isolerar mot kondens kan det därför antas att man, i de fall där material med låg emissivitet används, bör överväga om denna på något sätt kan höjas. Svart färg har exempelvis högre emissivitet än grå plastplåt.

Kraven som ställs på isolering när det gäller brandsäkerhet gör att cellgummi, på grund av rökutvecklingen den ger upphov till vid brand, inte kan användas i alla typer av utrymmen. Här bör istället mineralull väljas eftersom det anses vara det bäst lämpade materialet för dessa utrymmen, som idag finns tillgängligt.

4.3.2 *Isoleringstjocklek*

Här undersöktes vilken den nödvändiga isoleringstjockleken blir för kalla rör när man vill undvika kondens på installationens utsida. Den dimensionerande faktorn blir alltså den omgivande luftens temperatur och relativa luftfuktighet. Detta ställer oftast lägre krav på isoleringens funktion än om den dimensionerande faktorn vore en önskad energiförlust. När köldbäraren utgörs av vatten har energitransporter från omgivningen till mediet inte någon stor inverkan på mediets temperatur vilket gör att man ofta nöjer sig med att isolera mot kondens. Beräkningarna som redovisas i tabell 7 visar dock att energitransporten från omgivningen till mediet blir förhållandevis stora om dimensioneringen görs på detta sätt. Dessa energitransporter utgör förstås en energiförlust och därmed även en ekonomisk förlust. Kyla kostar ofta cirka tre gånger mer att tillföra än värme vilket borde innebära att det finns en starkt ekonomiskt incitament till att även dimensionera isoleringen på kalla rör mot energitransporter istället för kondensrisk. Detta borde antagligen undersökas vidare. Att isolera mot energiförluster istället för kondens på kalla installationer kan mycket väl vara ett bättre alternativ.

Isoleringstjocklekarna som krävs för att undvika kondens är i många fall förhållandevis små. Att sätta ett minimikrav på isoleringstjockleken, oavsett rördimension, skulle därför kunna innebära att en minskning av energiförluster alltid uppnås, samtidigt som man löser kondensproblematiken. I praktiken görs redan detta i de allra flesta fallen, men något regelverk för det finns inte.

Dimensionering av kondensisolering till kalla rör verkar ofta göras, precis som här, enbart för rör som löper genom en bestämd typ av utrymme utan några avvikelser i form eller temperatur. Variationer på själva röret såsom ventiler, förgreningar och kopplingar måste isoleras på ett sätt som gör att skyddet mot kondens upprätthålls även på dessa. Isoleringstjockleken kan även behöva justeras något på vissa delar av en rörsektion om det förekommer punktvisa förändringar i omgivningens förhållanden. Rörsektioner som är placerade i närheten av luftventiler, radiatorer, motorer eller liknande måste utredas

separat om man vill vara säker på att det inte föreligger någon risk för kondensation samtidigt som man av ekonomiska skäl inte vill överdimensionera hela rörets isoleringstjocklek.

4.4 Ventilationskanaler

4.4.1 *Material, ytskikt och tjocklek*

Risken för att kondens skall bildas på ventilationskanaler, som är placerade i utrymmen som motsvarar de utrymmen som här har undersökts, är betydligt mindre än kondensrisken på kalla rör. Detta beror på att ventilationsluftens temperatur ligger närmare omgivningens temperatur.

För kanaler med ventilationsluft som tagits utifrån och som inte har passerat ett värmebatteri eller värmeåtervinnare gäller andra förutsättningar än vad som har beräknats i denna rapport. Beräkningsmodellen kan dock användas för att utreda flera typer av fall. Beräkningsresultaten gäller för luft som genomgått värmeåtervinning med torr kyla.

Isoleringsbehovet för ventilationskanaler är i många fall större när det gäller skyddet mot brandspridning än skyddet mot kondensbildning. Detta, tillsammans med prisskillnaden mellan cellgummi och mineralull, gör att cellgummi sällan används på ventilationskanaler. Isoleringsmaterialet som används för brandskydd är stenull som skall hindra både värmespridning och rökgasspridning. I de fall där man måste isolera mot både kondens och brand kan kondensisoleringen med fuktspärren sättas utanpå brandisoleringen som, för att klara regelverken som finns, alltid skall placeras närmast kanalen. Föreligger risk för kondens klarar brandisoleringen i vissa fall av att upprätthålla den nödvändiga temperaturskillnaden mellan isoleringens yta och omgivningen. I dessa fall behövs enbart ett tillägg med fuktspärr.

Vid beräkning av värmeförluster från ventilationskanaler spelar lufthastigheten i kanalen en mycket liten roll. En vanlig uppfattning är att man kan minska den totala värmeförlusten från en ventilationskanal genom att hålla en hög hastighet på ventilationsluften. Detta är dock felaktigt och skapar snarare problem med ljudmiljön kring systemet.

Om en ventilationskanal som skall isoleras har en dimension som tillåter att rörskålar används istället för isoleringsmatta torde detta vara ett bättre alternativ i de flesta fall eftersom enkelheten i att installera denna typ av isoleringsformat innebär att installationstiden kan reduceras.

4.5 Livscykelkostnad

Livscykelkostnadsanalysen visar att det är lönsamt att investera i teknisk isolering, även i fall där man räknar med en ogynnsam ekonomisk utveckling. Detta beror på att en kontinuerlig energiförlust innebär en kontinuerlig ekonomisk förlust medan en investering kan ses som en engångskostnad.

Kalkyltiden sattes här till 20 år vilket kan antas vara en förhållandevis kort tid i detta sammanhang. Livslängden på isolering är i många fall betydligt längre. De flesta typer av mineralull har exempelvis en livslängd på minst 30 år. Förutsatt att isoleringen installeras på rätt sätt, så att den inte av sig självt orsakar oförutsatta kostnader, blir nästan all form av isolering som görs i energisparande syfte en lönsam investering med tiden. Det som avgör om en investering är värd att göra eller inte beror på hur lång den tiden är. I fall där cellgummi används kan man med stor sannolikhet anta att lönsamheten inte blir lika stor som om man använder mineralull. Priset är i regel högre för cellgummi samtidigt som livslängden är kortare.

Det råder dock stor osäkerhet kring de antagna priserna på isolering vilket gör att de exempel som här har beräknats varken kan ses som felaktiga eller tillförlitliga. Orsakerna till att säkra isoleringspriser inte har kunnat sättas in i beräkningarna är flera. Priset är bland annat beroende av isoleringens kvalitet, omfång och tjocklek, såväl som tillägg för frakt och de olika avtal som finns mellan tillverkare, grossister, entreprenörer och kunder. I större projekt som det oftast är frågan om när det gäller denna typ av systemstorlekar sker normalt sett även någon typ av förhandling eller upphandling mellan tillverkare och slutkund innan priset sätts. De priser som här sattes in uppskattades med hjälp av en prislista från en isoleringstillverkare. Rabattsatsen motsvarar en storlek som antas vara vanlig för den typ av kunder och entreprenörer som är involverade i stora projekt.

I fall där kalla installationer isoleras mot energiförluster blir investeringen antagligen ännu mera lönsamt eftersom kyla är dyrare än värme. Något exempel på lönsamheten i en sådan isolering beräknades inte här eftersom isoleringen på kalla installationer enbart dimensionerades mot kondensbildning, vilket i sig är ett olönsamt sätt att dimensionera isolering på. Beräkningsmodellen kan dock användas för denna typ av beräkning när en dimensionering mot energitransporter har gjorts.

5. Slutsatser

Beräkningsmodellen som skapats i Excel kan användas för att bestämma vilken typ av isolering man vill ha på en viss typ av system. För att säkerställa att den beräknade isoleringstjockleken blir korrekt måste samtliga yttre faktorer anges korrekt. Framledningstemperatur, omgivningstemperatur, ytskiktets emissivitet, isoleringsmateriallets värmeledningsförmåga vid olika temperaturer och systemets längd är alla avgörande för hur tillförlitligt resultatet blir.

Valet av isoleringsmaterial och ytskikt har i många lägen en relativt stor inverkan på hur stor isoleringstjocklek som krävs för att uppnå en tänkt energiförlust eller temperatur på isoleringens yta. Därför kan ett material med bättre kvalitet som med stor sannolikhet kostar mer ändå medföra en ekonomisk besparing jämfört med ett sämre material.

Isolering på kalla system bör aldrig dimensioneras enbart mot kondensutfällning eftersom det innebär stora energiförluster. Dimensioneringen bör istället göras mot energiförluster.

Dimensionering av teknisk isolering sker idag till stor del utifrån hur stort utrymme som lämnats där installationen placeras. Detta är självklart nödvändigt i många fall, men det innebär även en risk för att isoleringen till viss del prioriteras bort. Den kanske viktigaste förutsättningen för att hålla energiförlusterna så låga som möjligt är att isoleringen dimensioneras i ett tidigt skede av en projektering och att den sedan inte prioriteras ner. Generellt sett verkar kunskapen om hur dimensionering av teknisk isolering påverkar en verksamhets energiförluster vara förhållandevis låg när man ser till branschen som helhet. En standard för hur en teknisk isolering skall dimensioneras kan därför med stor sannolikhet innebära en framtida reduktion av energiförluster. Med tanke på hur miljöarbetet har utvecklats inom Landstinget i Värmland kan det dock antas att Landstingsfastigheter i Värmland har en betydligt större kunskap i dessa frågor än många andra förvaltnings- eller byggföretag.

Referenslista

1. Håkan Göckner, Kundansvarig, Paroc Teknisk Isolering. (2014).
2. Energimyndigheten (2013). Energiläget 2013. (1) Eskilstuna: Energimyndigheten. Tillgänglig: www.energimyndigheten.se [201403].
3. Miljöstyrningsrådet (2014). Energikrav i offentlig sektor. Tillgänglig: <http://www.msr.se/sv/Uppdrag/Energikrav-i-upphandling/Offentlig-sektor/> [2014-02/00].
4. Averås, K., Fredriksson, M. & Monfelt, C. (2013). Vår väg mot ett bättre klimat Uppföljning av det miljöpolitiska programmet 2009-2012. (1) Karlstad: Landstinget i Värmland. Tillgänglig: www.liv.se [201402].
5. Svenska esf-rådet (2010). Kompetensinvent Värmland, Dalarna och Sörmland. Tillgänglig: www.esf.se [2014-02/00].
6. SundaHus (2014). Bedömningskriterier 6.0. Tillgänglig: www.sundahus.se [2014-02/00].
7. Profisol (2013). Teknisk Isolering. Tillgänglig: www.profishol.se [2014-02/00].
8. Johan Gustavsson, Teknisk rådgivare, Paroc Teknisk Isolering (2014).
9. Saint-Gobain Isover AB (2014). Isodim. (3.02 uppl.). Billesholm, Sverige: Saint-Gobain Isover AB.
10. Swedish Standards Institute (2008). Värmeisolering av installationer - Beräkningsregler (ISO 12241:2008). Diss. Stockholm, Sverige: SIS Förlag AB. Tillgänglig: www.sis.se.
11. Cengel, Y.A., & Ghajar, A.J. (2011). Heat and mass transfer, Fundamentals and applications. (4 uppl.). New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
12. Beiron, J. (2013). LCC – investeringsbedömning. Karlstad, Sverige.