

Teknisk Isolering

- hållbarhetsekonomiska val av rörisolering



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Bygg- och miljöteknologi

Examensarbete:
Andrew Briggs
Mathias Eneström Jönsson

© Copyright Andrew Briggs, Mathias Eneström Jönsson

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 2015

Sammanfattning

Bostads- och servicesektorn står för cirka 40% av Sveriges totala energianvändning. Det ställs allt högre krav vid nybyggnation, krav som strävar efter att uppnå ett mera hållbart samhälle. För att möta dessa allt strängare krav vid nybyggnation ställs beställare, projektörer och entreprenörer inför en mängd olika val.

Detta arbete fokuserar främst på de krav som avser energi och miljö kopplade till byggnader. Som en liten del i utvecklingen mot ett mer hållbart samhälle behandlas här isolering av rörledningar som ingår i värmesystem eller kylsystem. Under en byggnads livslängd kan dessa system ge upphov till stora energiförluster som medför stor miljöbelastning.

När man idag bestämmer tjocklek för rörisolering utgår man nästan uteslutande ifrån kostnadseffektivitet. Kostnaden är en viktig parameter men inte den enda man borde ta hänsyn till. Miljöpåverkan för olika val av isoleringsmängd och -typ kan skilja sig mycket och borde motivera valen till lika stor del som kostnadseffektiviteten. Därför har detta arbete vägt in miljöpåverkan för olika material, tillsammans med kostnaderna.

Syftet med arbetet är att ta fram dimensioneringshjälpmedel i form av tabeller som kan användas under projekteringsstadiet vid nybyggnation. Målet är att tabellernas innehåll skall väga in såväl kostnad som miljöpåverkan associerad med en viss isoleringsprodukt.

Metodiken som användes bestod av datainsamlande i form av litteraturstudier och personliga kommunikationer med verksamma i branschen. Beräkningarna rörande fysiska egenskaper hos rör och rörisolering var baserade på svensk standard. Miljöpåverkan förknippade med de olika produkterna som tas upp baserades på en utvärdering av material såsom produktdeklarationer och livscykelanalyser.

Resultaten som presenterats visar att under rörisoleringens livstid sker den största påverkan, både ekonomisk och miljömässig, under drifttiden. Påverkan som inköpskostnaden och miljöbelastning vid produktion medför är oftast förhållandevis liten men kan dock ej förbises. Vidare visar resultaten att ju längre rörisoleringens tekniska livslängd desto mer lönsamt är det med grövre isolertjocklekar. Detta gäller särskilt vid isolering med mineralull då cellgummiisolering oftast beräknas ha en mycket kortare teknisk livslängd. Även med ökande rördimension ökar isolertjockleken, något som visar sig tydligt i tabellerna.

Nyckelord: Rörisolering, serietabell, miljöpåverkan, hållbarhetsekonomisk, energiberäkningar.

Abstract

The residential and service sector accounts for approximately 40% of Sweden's total energy usage. Requirements that aim to achieve a more sustainable society are becoming increasingly strict for new constructions. To meet these increasingly stringent requirements in conjunction with new construction, developers, designers and contractors face a range of choices.

This degree project focuses primarily on the requirements related to energy and the environment that are associated with buildings. As a small contribution towards a more sustainable society, piping insulation used for insulating heating or cooling systems has been studied. During the lifetime of a building, these systems can result in large energy losses that cause significant environmental impact.

For the time-being determining the required piping insulation thickness is almost entirely based on cost efficiency. The cost is an important factor, however not the only factor that should be considered. The environmental impact of different types of insulation and insulation thicknesses can be differ greatly and should therefore also be taken into consideration to the same extent as cost effectiveness. That is why, in this paper, both environmental impact and cost effectiveness related to specific insulation products are taken into account when deciding optimum insulation thickness.

The objective of this paper is to develop design tools in the form of tables that can be used during the design phase for new construction. The goal for these tables is that their content weighs in both economic and environmental impacts associated with a particular insulation product.

The methodology implemented consisted of data collection through literature studies as well as personal communications with industry representatives. The calculations relating to the physical characteristics of pipes and pipe insulation were based on Swedish Standards. Environmental impacts coupled with the different products mentioned were based on an evaluation of resources such as product declarations and life-cycle analyses.

Results presented in this paper show that during the lifetime of piping insulation cladding, the period of operation is what gives rise to the largest impact, both economically and environmentally. The impact that the purchase price and environmental impact during production causes is usually relatively small but cannot be overlooked. Furthermore, the results show that the longer the insulation claddings technical life, the more viable thicker insulation becomes. This is especially accurate when insulating with mineral wool as

foam rubber insulation is usually expected to have a much shorter service life. Increasing pipe dimension also demands greater insulation thickness, something that is evident in the tables.

Keywords: Pipe insulation, insulation thickness table, environmental sustainability, economical viability, energy calculations.

Förord

Föreliggande arbete är skrivet av Andrew Briggs och Mathias Eneström Jönsson och är ett examensarbete som omfattar 22,5 högskolepoäng. Arbetet är den avslutande delen i högskoleingenjörsprogrammet byggt teknik med arkitektur på Lunds universitet.

Arbetet har delats upp jämnt mellan författarna. Andrew har lagt stor vikt vid insamling av data och detta framförallt via webbaserade sökmotorer. Han har även haft större ansvar vid organiserandet av både dokument och referenser. När det kommer till innehåll i arbetet har Andrew lagt störst vikt vid bakgrundsdel och miljöaspekterna. Mathias har lagt majoriteten av sin tid på beräkningsmodeller i form av energi-, effekt- och kostnadsberäkningar. Han har samlat in användbara ekvationer och organiserat ett Exceldokument varifrån resultaten grundar sig. Mathias har också satt sig in i fysikaliska förutsättningar och beskrivit dessa. Förutom de specialområden båda tilldelats så har en ständig dialog funnits och båda är väl insatta i varandras områden.

Under arbetets gång anser vi fått nytta av tidigare kunskaper samtidigt som nya lärdomar intagits. Det har varit mycket utvecklande och gett oss god förståelse för hur ett arbete byggs upp.

Arbetet har redovisats muntligt för en i ämnet insatt publik.

Ett tack riktas till Sören Andersson, Bengt Dahlgren, för hjälp med idéframtagandet och hjälpen under arbetets gång. Vi vill också tacka vår handledare på universitetet, Mats Dahlblom, för hjälpen med stora och små saker genom arbetet. Även ett tack till Håkan Gustavsson, Isover Scandinavia, för hjälp med produktinformation och beräkningar. Ytterligare ett tack riktas till Martin Brunnkvist, Svensk Byggtjänst, för bakgrundsinformation. Till slut riktas ett tack till övriga som har engagerat sig i detta arbete.

2015-06-05

Innehållsförteckning

Nomenklatur	2
1 Inledning	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Syfte	4
1.3 Metodik	4
1.4 Avgränsningar	5
2 Teori	7
2.1 Regelverk och befintliga serietabeller	7
2.1.1 BBR – teknisk isolering	7
2.1.1.1 BBR avsnitt 6 Hygien, hälsa och miljö	8
2.1.1.2 BBR avsnitt 9 Energihushållning	8
2.1.2 AMA VVS-Kyl 12 – RB/1	9
2.2 Värmeöverföring	10
2.2.1 Ledning	10
2.2.2 Strålning och konvektion	10
2.3 Material	11
2.3.1 Rörledningar	11
2.3.2 Isoleringsmaterial	11
2.3.3 Isolering av VVC-rör	12
2.4 Beräkningsmetoder	12
2.4.1 Beräkningar av värmeförluster	12
2.4.2 Uppvärmningstimmar VV	15
2.5 LCC - livscykelkostnadsanalys	17
2.5.1 Förenklad LCC-metodik	18
2.5.1.1 Nuvärdesmetoden	19
2.6 LCA – livscykelanalys	20
2.6.1 Studie av rörmaterial	21
2.6.1.1 Kopparrör	21
2.6.1.2 PEX-rör	22
2.6.1.3 PEX-/kopparrör jämförelser	22
2.6.2 Sammanfattning - rörmaterial	23
2.6.3 Studie av rörisoleringsmaterial	24
2.6.3.1 Mineralull	24
2.6.3.2 Cellgummibaserat isoleringsmaterial - Armaflex	25
2.6.4 Sammanfattning – rörisolering	26
2.6.5 Koldioxidutsläpp vid drift av värmesystem	27
3 Resultat	29
3.1 Exempel	29
3.1.1 Energiförlust per meter rör	29
3.1.2 Koldioxidutsläpp vid produktion samt drift	30

3.1.3	Kostnad som funktion av isoleringstjocklek.....	31
3.1.4	Optimal isoleringstjocklek för VVC-system	32
3.2	VVC-system.....	34
3.3	Värmevattensystem	35
3.4	Kallvattensystem	39
4	Diskussion	43
4.1	Felanalys	44
5	Slutsats	47
	Referenser	49

Nomenklatur

AMA	Allmän Material- och Arbetsbeskrivning	
BBR	Boverkets Byggregler	
BFS	Boverkets författningssamling	
BVD	Byggvarudeklaration	
C	Strålningskoefficient	W/m^2K^4
$eq.$	Ekvivalent	
FE	Funktionell enhet	varierar
G_t	Gradtimmor	$^{\circ}Ch$
GWP	Global uppvärmningspotential	
h	Värmeövergångstal	W/m^2K
i	Inflation	%
ISO	International Standards Organization	
K	Initiala kostnader/besparingar	kr
KV	Kallvatten (-ledning)	
L	Längd	m
LCA	Life-cycle Assessment	
LCC	Life-cycle Cost	
N	Nuvärdesmetoden	kr
p	Prisökning	%
q	Energieflöde	W/m
Q	Effekt	W
R	Motstånd	mK/W
r	Radie	m
r	Kalkylränta	%
SS	Svensk Standard	
U_h	Uppvärmningstimmar	h
VV	Värmevatten (-ledning)	
VVC	Varmvattencirkulation (-ledning)	
α	Temperaturfaktor	K^3
ΔT	Temperaturdifferens	$^{\circ}C$
ε	Emissivitet	
λ	Värmeledningsförmåga	W/mK
σ	Stefan-Boltzmann konstant	W/m^2K^4
T	Temperatur	$^{\circ}C$
T_g	Gränstemperatur	$^{\circ}C$
T_n	Normalårstemperatur	$^{\circ}C$

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Climate Change 2014 – *Synthesis Report* utgiven av Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) framgår det med extrem sannolikhet (95-100%) att antropogena utsläpp har varit den dominerande drivkraften bakom den pågående globala uppvärmningen sedan 1900-talets mitt [1]. Enligt Lucon *et al.* stod byggnader för 32% av den totala slutgiltiga energianvändning samt 19% av de totala växthusgasutsläppen år 2010 [2]. Inom Europa står bostads- och servicesektorn för cirka 40% av den totala slutgiltiga energianvändningen, en siffra som väl återspeglar läget i Sverige [3].

EU har med bakgrund av rådande globala ekonomiska förhållanden samt den pågående klimatförändringen tagit fram Europa 2020-strategin som är en gemensam tillväxt- och sysselsättningsstrategi. Strategin har tre huvudprioriteringar, varav den ena är att tillväxten skall ske på ett hållbart sätt. Med hållbar tillväxt menas främjandet av en resurseffektivare, grönare och konkurrenskraftigare ekonomi [4].

Sverige, som var starkt drivande [4] i framtagandet av 2020-strategin har sedan tidigare nationella mål gällande klimat- och energiområdet. Målet är bland annat att Sverige skall ha en 40% lägre utsläpp år 2020 jämfört med 1990. Svenska myndigheter har i uppgift, utöver deras kärnverksamheter, att anpassa regelverk så att dessa verkar mot uppfyllelse av de nationella miljömålen.

Förvaltningsmyndigheten för samhällsplanering, byggande och boende i Sverige är Boverket. Grunden för Boverkets arbete är plan- och bygglagen, delar av miljöbalken samt bostadsförsörjningslagen. Boverkets Byggregler (BBR) är det gällande regelverket innehållande föreskrifter och allmänna råd vid uppförande eller ändringar av en byggnad [5]. Det är bland annat genom BBR som miljöarbetet inom den svenska byggsektorn styrs.

Kapitel 9:2 i BFS 2015:3, BBR 22 som innehåller bland annat krav om en byggnads specifika energianvändning har så sent som den 24 februari 2015 uppdaterats och skärpts jämfört med tidigare krav. Som en liten pusselbit i det hela så bidrar även lämplig isolering av rör, som ingår i olika vattenledningssystem, till hur väl en byggnad presterar med avseende på den specifika energianvändningen.

Isoleringsprodukter av olika former används i princip alla byggnader och är av högsta vikt för att skapa ett gott inomhusklimat. En del inom isoleringsområdet är teknisk isolering, vilket är produkter för bland annat

ventilationsrör, rörledningar och cisterner. Produkterna finns i en mängd olika former och dimensioner, allt för att uppnå önskade resultat. Föreliggande arbete kommer behandla teknisk isolering i form av rörisolering.

Val av rörisolering till ledningar för kallvatten (KV), värmevatten (VV) och varmvattencirkulation (VVC) har traditionellt gjorts med hjälp av serietabeller över olika ekonomiska isolertjocklekar. Sådana tjocklekar har tagits fram med hjälp av såväl fysisk som empirisk data. Även kommunikationsverktyget, AMA RB/1, den så kallade serietabellen har tagits fram med "...vanliga effektberäkningar och branschfarenheter." [6].

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att ta fram nya, omarbetade serietabeller för rörisolering av de olika vattenledningar som normalt ingår i en byggnad, tabeller som är uppdaterade utifrån nutida förutsättningar och mål. Dessa är tänkta som hjälpmedel vid val av isolering utifrån hållbarhetsekonomiska parametrar som baseras på Livscykelanalyser och Livscykelkostnadsanalyser.

1.3 Metodik

Arbetet inleds med litteraturstudier som nästan uteslutande bygger på webbaserade resurser, som bland andra består av myndighetsidor och sökmotorer (såväl öppna som licensierade) och diverse branschrelaterade företagswebbsidor.

Litteraturstudiens fynd kompletteras med intervjuer med sakkunniga inom ämnesområdet och andra personliga kommunikationer med representanter från relaterade företag.

Vidare studeras aktuella standarder för framtida beräkningsbehov.

Beräkningsmodellerna för energiförluster görs enligt svensk standard och med hjälp av webbaserade rapporter. Produktdata, i form av egenskaper och priser, tas fram ur producenters och återförsäljares webbsidor. Sammanställning av data och beräkningar görs innan jämförelserna och resultaten tas fram.

Livscykelkostnadsmodellen utgår ifrån webbaserade underlag där relevanta ekvationer tas fram. Genom underlag från återförsäljare av produkterna hittas priser vilka används för att ta fram snittpriser. En sammanställning görs sedan och vägs in i resultatet.

Livscykelanalyser av rör och isoleringsmaterial görs inte här. I stället studeras befintligt material och slutsatser dras utifrån detta.

För att erhålla resultat vägs kostnadseffektiviteten mot miljöpåverkan av en viss produkt. Proceduren upprepas och resultaten presenteras i tabeller.

1.4 Avgränsningar

Föreliggande arbete behandlar ledningar som ingår i KV-, VV- och VVC-system i nybyggda hus. Hustyper som betraktas är huvudsakligen kontorsbyggnader och flerbostadshus.

Temperaturskillnader mellan mediet och omgivningen som beaktas är från 14 - 40 °C, vilket återspeglar temperaturskillnader i vanligt förekommande vattenledningssystem i nybyggda hus (men även i de flesta befintliga byggnader) i Sverige.

Gällande rörmaterial och dimensioner undersöks de i Sverige vanligast förekommande exempel på desamma (redovisas i 3.2.1). Detsamma kan sägas om isoleringsmaterialen som tas upp i arbetet (redovisas i 3.2.2).

2 Teori

2.1 Regelverk och befintliga serietabeller

Det finns många varianter på tabeller som på ett mer eller mindre lättöverskådligt sätt visar erforderlig tjocklek för termisk isolering av rör. Både återförsäljare och projektörer har egna varianter på serietabeller, dessa bygger på de parametrar vilka dem tycker är viktiga och kan skilja sig just på grund av detta. Som tidigare nämnts så bygger de flesta sådana tabeller på det som anses vara ekonomiskt försvarbara tjocklekar. Dessa är framtagna med hjälp av en avvägning mellan investeringskostnad och isoleringsnyttan över ett visst tidsintervall, utifrån givna förutsättningar. BBR ställer krav på teknisk isolering ur flera aspekter, vilka tas upp i avsnitt 2.1 BBR – teknisk isolering.

Företaget Svensk Byggtjänst utger en samling över projekterings- och utförandestandarder med namnet Allmän Material- och Arbetsbeskrivning (AMA). AMA är i och för sig inte någon lagtext men blir juridiskt bindande ifall den åberopas i entreprenadavtalet. AMA är uppdelad i fem olika huvudområden men det aktuella området med avseende på detta arbete har rubriken AMA VVS-Kyl. Den senaste generation av detta referensverk heter AMA VVS-Kyl 12. I detta hittar man ”*Tabell AMA RB/1. Serietabell för isolertjocklek i mm vid termisk isolering med mineralull på rörisolering*”. Mer om detta följer i senare kapitel.

2.1.1 BBR – teknisk isolering

I BBR finns två avsnitt av särskilt intresse. Dessa är avsnitt 6 *Hygien, hälsa och miljö* samt avsnitt 9 *Energiushållning*, där krav på teknisk isolering (av rör) ställs. Detta behandlas nedan under respektive underrubrik.

2.1.1.1 BBR avsnitt 6 Hygien, hälsa och miljö

I avsnitt 6:1 *Allmänt* ställer Boverket följande krav:

Byggnader och deras installationer ska utformas så att luft- och vattenkvalitet, samt ljus-, fukt-, temperatur- och hygienförhållanden blir tillfredsställande under byggnadens livslängd och därmed olägenheter för människors hälsa kan undvikas.

I stycken 6:42 *Termisk komfort*, 6:43 *Värme- och Kylbehov* samt 6:61 *Allmänt* (under 6:6 *Vatten och Avlopp*) ställs kraven:

6:42- Byggnader och deras installationer ska utformas, så att termisk komfort som är anpassad till utrymmens avsedda användning kan erhållas vid normala driftförhållanden.

6:43- Värmeinstallationer ska utformas så att de kan uppnå det värmeeffektbehovet som krävs för att upprätthålla den termiska komforten enligt avsnitt 6:42. Eventuella kylanordningar ska utformas så att besvärande strålningsasymmetri, drag eller kallras undviks.

6:61- Byggnader och deras installationer ska utformas så att vattenkvalitet och hygienförhållanden tillfredsställer allmänna hälsokrav.

Utöver dessa krav finns det mer specifika krav och råd som till exempel:

- Tappkallvatten ska ej värmas oavsiktligt
- Cirkulerande tappvarmvatten ska ej understiga 50 °C och bör inte överstiga 60 °C
- Väntetiden på tappvarmvatten (vid flödet 0,2 l/s) bör vara <10 sekunder

Dessa är till för att bland annat motverka mikrobiell tillväxt i vattenledningar och skällningsskador. Här kräver BBR indirekt att rör till såväl värme- och kylsystem samt tappvattenledningar isoleras.

2.1.1.2 BBR avsnitt 9 Energihushållning

En annan viktig aspekt vid isolering av rörledningar är hur isoleringen påverkar en byggnads specifika energianvändning. Ramverket för hur en byggnad skall utformas med avseende på energihushållning återfinns i BBR avsnitt 9.

I BBR 9:1 *Allmänt* står:

Byggnader ska vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning och effektiv elanvändning.

Vidare under 9:51 *Värme- och kylinstallationer* ställs kravet att:

Installationer för värme och kyla i byggnader ska vara utformade så att de ger god verkningsgrad under normal drift.

och ges rådet:

Värme- och kylinstallationer samt installationer för tappvarmvattenberedning bör utformas och isoleras så att energiförlusterna begränsas.

Kraven och rådet ovan är delar av grunden till tabellerna 9:21a – 9:24b (i BBR avsnitt 9) där krav på specifik energianvändning anges beroende på klimatzon. Tidigare har Sverige delats upp i tre klimatzoner men med BBR:s senaste uppdatering har det definierats en ny klimatzon, Zon IV, som omfattar delar av södra Sverige. För Zon IV har kraven skärpts ytterligare jämfört med tidigare krav för Zon III.

Nämnda delar av BBR kräver isolering av rörledningar till VV, KV samt VVC både indirekt och direkt. Det senare då det finns krav på styrning av energitillförsel enligt 9:52 i BBR.

2.1.2 AMA VVS-Kyl 12 – RB/1

AMA RB/1, den så kallade serietabellen är enligt Brunnkvist och Eneström Schmied [7] ett kommunikationsmedel mellan projektören och entreprenören och inte ett dimensioneringshjälpmedel. Tanken är att efter projektören har beräknat vilka isolertjocklekar och rördimensioner som behövs för ett visst system väljs motsvarande serie (1-8) ut och skrivs in i den tekniska beskrivningen. Vid utförandet väljer sedan entreprenören rätt alternativ (A eller B) beroende av värmekonduktiviteten¹ (lambda-värdet) vid 50°C.

¹ Den deklarerade värmekonduktiviteten är den uppmätta plus en säkerhetsmarginal av 0,001 W/mK

Tabell 1: Serietabell enligt AMA VVS & Kyl 12

Serie Alternativ *1)	1		2		3		4		5		6		7		8	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Rörytterdiameter, mm *2)																
Mindre eller lika med 20	40	50	40	50	60	70	60	70	80	100	100	120				
Större än 20 till 50	40	50	60	70	60	70	80	100	100	120	120	150	160	200	180	220
Större än 50 till 100	60	70	60	70	80	100	100	120	120	150	160	200	180	220	220	260
Större än 100 till 200	60	70	80	100	100	120	120	150	160	200	180	220	220	260	240	300
Större än 200 till 350	80	100	100	120	120	150	160	200	180	220	220	260	240	300	280	340
Större än 350 till 550	100	120	120	150	160	200	180	220	220	260	240	300	280	340	320	380

- 1) Alternativ A: Isolervara med värmekonduktivitet lägre eller lika med 0,037 W/(mK)
 Alternativ B: Isolervara med värmekonduktivitet lägre eller lika med 0,045 W/(mK)
 För båda alternativen gäller värmekonduktivitet (lambda-värde) vid medeltemperatur 50 °C.
- 2) Avser rörledningar av metall. Om rörledningar med tjockare godtjocklek används, t ex plaströr, kan ytterdiamete för metallrör med samma innerdiameter som aktuell rörledning användas som ingångsvärde i tabellen vid val av isolertjocklek.

Vid skrivandet av tekniska beskrivningar inom den svenska byggsektorn åberopas oftast AMA, vilket innebär att referenser till tabellen ovan förekommer med mycket hög frekvens. Detta påvisar användbarheten av tabellen.

2.2 Värmeöverföring

2.2.1 Ledning

Den fysikaliska delen som har störst påverkan för energiåtgången för isolerade rör, det vill säga den delen som motverkar att värme försvinner okontrollerat, är materialets värmeledningsförmåga (kallas även värmekonduktivitet). Värmeledningsförmågan betecknas λ och har enheten W/mK. Olika material har olika värmeledningsförmågor vilket gör valet av material väsentligt. I grund och botten handlar det om att välja ett material med hög porositet där hålrummen består av stillastående luft vilket ger en god isoleringsförmåga. Ett sådant material är mineralull som har en värmeledningsförmåga omkring 0,04 W/mK. Detta att jämföra med koppar, vilket många värme- och köldbärare är gjorda av, som har en värmeledningsförmåga omkring 400 W/mK.

2.2.2 Strålning och konvektion

De andra två delarna som påverkar energiåtgången för isolerade rör är strålning och konvektion. Anledningen till att de i detta arbete beskrivs under samma rubrik är att man i svensk standard (SS-EN ISO 12241:2008), som är en mall för hur man skall utföra beräkningarna, lägger ihop dessa två till ett

gemensamt tal. Detta tal benämns h (värmeövergångstal) och har enheten W/m^2K . Strålning är värmeövergången mellan två ytor som "ser" varandra. Vid de fall då ytorna har olika temperatur pågår ständigt en värmeövergång från den varma ytan till den kallare tills dess att ytornas temperatur har kommit i jämvikt. Strålningen beror förutom temperaturen till stor del på ytornas emissivitet som betecknas ε och varierar mellan 0-1. Ytor, såsom svart gummi och asfalt, har hög emissivitet (nära 1). Detta betyder att ytorna reflekterar låg andel av strålningen. Ytor som har låg emissivitet är exempelvis aluminium (blanka ytor, ε nära 0). Dessa ytor strålar istället tillbaka nästan all värme som strålas mot dem. En termos är uppbyggt på detta sätt och kan därför hålla värmen väldigt bra under en längre tid. Konvektion uppstår när luft kommer i rörelse som i sin tur uppstår på grund av temperaturskillnader i just luften. När ytan på ett rör har en annan temperatur än omgivande luft överförs värmen från röret till luften eller vice versa, beroende på om röret bär VV eller KV. Detta kommer i sin tur förändra luftens temperatur och därmed densiteten på luften vilket gör att luften, vilken har fått förändrad temperatur, antingen kommer stiga eller sjunka. Dessa luft rörelser kallas konvektion och bidrar till den totala värmeöverföringen genom att värme förflyttas från ett varmare medium till ett kallare.

2.3 Material

2.3.1 Rörledning

För framledning av antingen VV eller KV vid nybyggnation används rör tillverkade av stål, koppar eller plast. Det förekommer även kompositrör som kombinerar olika typer av metaller och plaster. Rörens betydelse för isoleringsförmågan, vilket är centralt i detta arbete, är försumbar eftersom godstjockleken på rören är liten. Här antas rörets yttemperatur ha samma temperatur som mediet i dessamma. Därför läggs störst vikt vid dimensionen på röret istället för på materialet. Det finns för- och nackdelar med olika typer av rör, såsom korrosionsbeständighet och förmågan att klara olika tryck. Detta behandlas inte specifikt i detta arbete.

2.3.2 Isoleringmaterial

Isoleringstyperna som tas upp här är glasull och stenull, som gemensamt betecknas mineralull, och cellgummi. Jämför man glasull med stenull kommer man fram till att materialegenskaperna är likartade. Värmeledningsförmågan, det vill säga isolerförmågan, är ungefär densamma och tillverkningsprocesserna är relativt snarlika. Vid tillverkning smälts glas- respektive stenråvaran ned och spinnas till tunna trådar som sprutas med bindemedel och materialet härdar. Både glasull och stenull klassas som, beroende på mängden bindemedel slutprodukten innehåller, obrännbara. Ofta bekläds mineralull av en armerad aluminiumfolie, detta för att delvis skydda

mineralullen och fungera som en ångbroms och delvis för aluminiumets emissivitet, vilket föreliggande arbete kommer visa, gynnar isoleringsförmågan. Vid kondensisolering är just ytskiktet en svag punkt för mineralull, då minsta hål i aluminiumfolien bryter ångspärren och kondens kan uppstå på den kallare installationen. Kondens i sin tur försämrar isoleringsförmågan av mineralullen och kan även skapa korrosionsproblem. Det är här cellgummi tar marknadsandelar, denna isoleringstyp har goda kondensisoleringsegenskaper då själva gummidelen är praktiskt taget impermeabel. Gummi har en mycket låg ånggenomsläpplighet och små jack eller rispor i isoleringen försämrar inte denna nämnvärt. En nackdel med cellgummi som isolering med avseende på VV är dess betydligt högre emissivitet jämfört med aluminiumbeklädd mineralull, detta är dock en fördel vid isolering av KV. Gummit, som är en oljebaserad och därmed organisk produkt, har sämre brandegenskaper då den har låg smältpunkt i sammanhanget [8,9].

Med dessa förutsättningar byggs arbetet vidare med utgångspunkt att isolering av värmebärare sker med mineralull och isolering av köldbärare sker med cellgummi.

2.3.3 Isolering av VVC-rör

Varmvattencirkulation (VVC) används i större byggnader och flerbostadshus i dagens byggnation. Detta för att man först och främst vill undvika stillastående vatten i rören, som i sin tur kan medföra temperaturer utanför de tillåtna. Som tidigare skrivits så kan fel temperaturer i rören leda till bland annat legionellatillväxt. Detta motverkas genom att vattnet cirkulerar i rören och håller en någorlunda jämn temperatur. En annan fördel med ett VVC-system är minskade väntetider, som enligt tidigare inte bör överstiga 10 sekunder innan brukaren ska få önskad temperatur. Eftersom temperaturen hålls konstant 365 dagar om året, 24 timmar om dygnet blir det extra intressant att undersöka just de rören och isoleringen som ingår i ett värmevatten- och VVC-system. Detta kan jämföras med uppvärmningssystem som stängs av under de varma månaderna och är följaktligen av mindre betydelse med hänsyn till värmeförluster samt håller generellt sett en lägre temperatur.

2.4 Beräkningsmetoder

2.4.1 Beräkningar av värmeförluster

Energiberäkningar görs enligt svensk standard och i detta fall är det, SS-EN ISO 12241:2008 *Värmeisolering av installationer - Beräkningsregler* (ISO 12241:2008), som ligger till grund för beräkningarna. Att beräkna utifrån en standard ger stora fördelar då resultaten troligtvis kommer att vara jämförbara

med andras resultat. Här används en standard framtagen 1998 men som har förnyats 2008 och anses därmed vara aktuell.

Som tidigare delar av arbetet redovisat så sker värmeförlusterna på tre sätt för isolerade rörledningar, de är strålning, ledning och konvektion. Tillsammans skapar de tre ett värmefflöde som kan skrivas enligt ekvation (1).

$$q = \frac{T_i - T_e}{R_{tot}} \quad [\text{W/m}] \quad (1)$$

Där q är det totala värmefflödet, T_i och T_e är temperaturerna i mediet i rören respektive i omgivande luft. R_{tot} är det totala värmemotståndet som förhindrar värmetransport och som beror på vilket material man väljer att använda. Detta sätt att beräkna värmefflödet är inget som är specifikt för just ett rör utan gäller på precis samma sätt vid beräkningar av en vägg eller ett tak. Naturen vill skapa jämvikt och värmen vandrar från varmare till kallare, i detta fall från röret till omgivande luft. Omgivande luftens temperatur är vald till 20°C vilket enligt Boverkets rapport [10] *Kriterier för sunda byggnader och material*, är en rekommenderad inomhustemperatur. Temperaturen i mediet, i detta fall vattnet, i rören kommer sättas till 60°C för VVC-system, 55°C och 45°C för uppvärmningssystem och 7°C för kylsystem. BBR har som nämnt i avsnitt 2.1.1.1 krav på att ett VVC-system inte får understiga temperaturen 50°C och bör inte heller överstiga 60°C. Detta på grund av risk för legionellatillväxt vid lägre temperatur. När det kommer till uppvärmningssystemen var det fram till 80-talet vanligt med framledningstemperatur upp emot 80°C, detta har man nu gått ifrån på grund av förbättrad husbyggnadsteknik och hårdare energikrav. Idag är det vanligare med en framledningstemperatur på 55°C [11] vilket är resultatet av att BBR ställer allt högre krav på klimatskalen. Våren 2015 publicerade Boverket nya krav för landets olika zoner som i sin tur minskar behovet av allt för höga framledningstemperaturer [12]. Här har vi valt att vid beräkning av isolering till uppvärmningssystem, sätta en snittemperatur till 50°C. Som tidigare skrevs beror värmemotstånden i systemet på vilket material man använder. De vanligaste materialen är mineralull och stenull, men även cellgummi används och det framförallt till köldbärare. Detta för att gummi i sig själv, som tidigare nämnts, fungerar som ångspärr och i sin tur motverkar kondensbildning. Egenskaperna man får ta hänsyn till när man väljer material som ska ha som huvudsyfte att isolera VV och KV är värmeledningsförmågan (λ) och emissiviteten (ϵ). De två egenskaperna påverkar motståndet (R) enligt följande ekvationer. Ekvation (2) tar hänsyn till värmeledning och ekvation (3) tar hänsyn till värmestrålning och konvektion.

$$R_l = \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_e}{r_i} \quad [\text{mK/W}] \quad (2)$$

$$R_{le} = \frac{1}{h_e \pi 2 r_e} \quad [\text{mK/W}] \quad (3)$$

λ -värdet för material som mineralull och gummi varierar med temperaturen mellan cirka 0,032-0,043 W/mK, ju varmare materialet är ju högre blir värmeledningsförmågan. För att göra en kvalificerad bedömning av den totala värmeledningsförmågan har medeltemperaturen i materialet använts. r_e är den yttre radien och r_i är den inre radien. Detta motstånd ska beräknas för varje skikt värmetransporten sker över, från mediet genom röret och isoleringen. I detta fall har värmemotståndet i röret, vare sig det är av koppar, plast eller rostfritt material, som tidigare nämnts låg påverkan och tas därför inte med i beräkningarna. Röret anses då ha samma temperatur som mediet. h_e är, som tidigare skrivits, värmeövergångstal och beräknas enligt följande ekvation (4).

$$h_e = h_r + h_{cv} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (4)$$

h_e är värmeövergångstalet för utsidan av röret, där e står för exterior. Det finns även ett värmeövergångstal för insidan av röret, h_i , vilket inte beaktas i detta fall. I standarden som använts för beräkningar står det "In most cases, h_i can be neglected by assuming that the inner surface temperature equals the temperature of the medium".

h_r är värmeövergångstalet som beror på strålningen och beräknas enligt ekvationer (5,6,7).

$$h_r = \alpha_r \cdot C_r \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (5)$$

$$\alpha_r = \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \quad [\text{K}^3] \quad (6)$$

$$C_r = \varepsilon \cdot \sigma \quad [\text{W/m}^2\text{K}^4] \quad (7)$$

α_r är en temperaturfaktor som beror på T_1 , vilket är rörets yttemperatur, och T_2 är omgivande lufts temperatur. C_r är en strålningskoefficient som beror på emissiviteten hos ytmaterialet och en konstant σ , Stefan-Boltzmann konstant ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$). För isolering i form av mineralull används ofta en ytbeklädnad av förstärkt aluminiumfolie vilket har emissiviteten 0,05 vilket har använts i beräkningarna. För isolering av gummityp har en emissivitet på 0,9 använts.

h_{cv} är värmeövergångstalet som beror på konvektionen och beräknas enligt ekvation (8).

$$h_{cv} = 1,25 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{r_e}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (8)$$

ΔT är temperaturdifferensen mellan rörets yttemperatur och omgivande lufts temperatur. r_e är liksom tidigare den yttre radien för isoleringen. Vid de senaste ekvationerna (4-8) stöter man på ett problem. Yttemperaturen är beroende av det totala värmemotståndet i röret vilket i sin tur, delvis, bestäms av just h_r . Detta kan man lösa genom att göra en kvalificerad gissning och iterera sig fram till ett värmeövergångstal. Ett annat sätt att få fram värmeövergångstalet är genom att använda ISOVERs beräkningsprogram ISODim. Detta program använder sig av samma standard som tidigare redovisats och är därför ett bra alternativ. Genom att ange rör och isoleringstjocklek i ISODim kan ett totalt övergångsmotstånd, h_e , tas fram.

Målet här, är som tidigare nämnt att utveckla nya, eller omarbета befintliga serietabeller. För att ha möjlighet att utforma en sådan tabell behövs en enhet som gör det lätt att jämföra. Genom att sätta ihop ekvation (1,2,3) bildas en användbar ekvation, med enheten W/m, för vidare beräkningar (9).

$$q = \frac{2\pi \cdot (T_i - T_e)}{\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{r_e h_e}} \quad [\text{W/m}] \quad (9)$$

2.4.2 Uppvärmningstimmar VV

Enligt det som framgår i tidigare avsnitt håller ett VVC-system en konstant temperatur året om. För ett uppvärmningssystem gäller inte samma sak då det regleras efter utomhustemperaturen och i vissa fall stängs av helt under de varmaste månaderna på året. Det är svårt att uppskatta värden på hur många timmar ett uppvärmningssystem är i drift under ett år, därför studeras olika typfall. Uppvärmningstimmar beror på delvis normalårstemperaturen (T_n) i regionen man befinner sig i och vilken gränstemperatur byggnaden har. Med gränstemperatur (T_g) menar man den temperaturen som uppvärmningssystemet behöver klara av att värma upp byggnaden till, för att med hjälp av övrig värme (gratisvärme, värmeavgivning från brukarna) uppnå önskad inomhustemperatur. Via de två parametrarna kan man genom tabell avläsa antalet gradtimmar (G_t). Man kan också enligt ekvation nedan beräkna gradtimmarna, vilket också förklarar vad en gradtimme är.

$$G_t = \sum_{i=1}^{8760} (T_g - T_{ute}) \cdot \Delta t \quad [\text{°Ch}] \quad (10)$$

T_g är alltså gränstemperaturen, T_{ute} är utomhustemperaturen och Δt är tiden. Här tas upp nio olika fall, då man först delat upp i tre zoner om normalårtemperatur 0, 4 och 8°C. Detta följs av en uppdelning för varje zon där gränstemperaturen sätts till 5, 10, 15°C.

I tabellen nedan, *Tabell 2* redovisas gradtimmar (G_t). Dock visas inte alla gränstemperaturer i tabellen vilket beror på att endast gradtimmarna för gränstemperaturen ovan och under det aktuella värdet behövs för kommande ekvation (11). Enligt föregående stycke är gränstemperaturerna 5, 10 och 15°C.

Tabell 2: Gradtimmar

T_n °C	0	4	8
T_g °C			
16	143800	109000	75700
15	135700	101400	69000
14	127700	94100	62700
11	105100	73900	45400
10	98000	67700	40300
9	91200	61800	35500
6	72300	45800	23000
5	66500	41000	19500
4	61066	36655	16260

Med hjälp av ekvationen (11) nedan approximeras uppvärmningstimmarna.

$$U_h = \frac{G_{t,T_g+1} - G_{t,T_g-1}}{2} \quad [\text{h/år}] \quad (11)$$

Exempel U_h för $T_g = 10^\circ\text{C}$ och $T_n = 0^\circ\text{C}$:

$$U_h = \frac{G_{t,T_g+1} - G_{t,T_g-1}}{2} = \frac{105100 - 91200}{2} = 6950 \text{ h/år}$$

I ekvation 9 beräknades antalet W/m rör som de olika isolering- och rörtjocklekarna ger upphov till. Senaste ekvationen (11) beräknar en drifttid under ett år, h/år. Genom att multiplicera dessa beräknas en energianvändning för ett år och meter rör, det vill säga Wh/år,m vilket senare kan användas för

den tidsperiod som projektören projekterar för. Senare används denna energianvändning för att beräkna kostnaderna och miljöpåverkan under drifttiden.

2.5 LCC - livscykelkostnadsanalys

Life-cycle costing är ett sätt att uppskatta den totala kostnaden, livscykelkostnaden (Life-cycle cost, LCC) associerad med en viss produkt över dess livscykel. Med LCC menas kostnad för inköp, ägandet och avskaffning av produkten i fråga. The International Organization for standardization (ISO) definierar LCC i ISO 15686-5:2008 som *"cost of an asset or its parts throughout its life cycle, while fulfilling the performance requirements"*.

En livscykelkostnadsanalys används generellt för att uppskatta den lägsta LCC för en viss produkt. I detta fall produkten en byggnad. Här nämns lägsta LCC, vilket är naturligtvis inte allmängällande men är oftast målet med att utföra en livscykelkostnadsanalys. Att det finns en lägsta LCC antyder andra eventuella resultat, dessa beror på vilka alternativ man väljer att ta med i projekteringen av byggnaden. I ett husbygge är livscykelkostnadsanalyser oftast mycket invecklade att ta fram och bär med sig viss osäkerhet, dock kan man som investerare få en rimlig långtidsuppskattning av det troliga ekonomiska resultatet av investeringen utifrån kända parametrar. Ju mer komplex en byggnad är desto flera delar finns det som påverkar LCC:n. Följaktligen finns det möjligheter att projektera optimerade lösningar.

ISO 15686-5 är inte det enda sättet att göra en livscykelkostnadsanalys på men är grunden till den metod som ligger till grund för uppskattningar i detta arbete.

Med arbetets mål i åtanke genomförs inte fullständiga LCC över de olika rör- och isoleringsmaterial som berörs utan författarna har valt att göra LCC:n enligt en förenklad metodik.

2.5.1 Förenklad LCC-metodik

Enligt Statens Energimyndighet, så utgörs en LCC utav den totala kostnaden för en investering, så som investering, drift och underhåll [13].

Energimyndighetens ekvation för en LCC ser ut på följande vis:

$$LCC = (C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d)$$

där

C = kostnadskomponent

ic = initialkostnaden, inköpspriset för utrustningen

in = installations- och driftsättningskostnader (inbegripet utbildning)

e = energikostnader (förväntad kostnad för drift av systemet)

o = driftkostnad (arbetskraftskostnaden för normal övervakning av systemet)

m = underhålls- och reparationskostnad (rutinmässiga och förväntade reparationer)

s = kostnad för stilleståndstid (produktionsbortfall)

env = miljökostnad (förorening som orsakas av utrustningen)

d = kostnad för urdrifttagande/bortskaffande (inbegripet återställande av närmiljön och bortskaffande av hjälputrustning).”

Initial- och energikostnaderna är de kostnadsposterna som tas med i beräkningarna i det här fallet. Detta för att övriga poster antingen är för komplicerade att förutspå eller att kostnaderna inte kommer skilja sig åt nämnvärt vid val av olika isolertjocklekar. De poster som kommer behandlas består, i detta arbete, antingen av initiala kostnader, som materialkostnader, men också av kostnader över tid. För att då kunna göra en vetenskaplig bedömning behöver ett tidsintervall bestämmas. I SS-EN ISO 23993:2010 står det skrivet att byggnadsdelar livstid ska räknas över 50 år vilket då delvis kommer användas i detta arbete. Det ska dock sägas att det inte är enkelt att förutspå vad som kommer hända under en 50-års period men vissa antaganden måste göras för att nå ett resultat. Därför kommer tabeller baserade på 20, 30, 40 och 50 år redovisas i resultatet.

Förutsättningen, förutom kostnadsposterna, för att kunna fastställa en LCC är att ta hänsyn till hur ekonomin påverkas över tid. Historiskt har penningvärdet minskat och en krona för 50 år sedan är idag värd cirka nio kronor enligt SCB:s Prisomräknare [14]. Från 1995 satte riksbanken målet inom penningpolitiken att konsumentprisindex ska ha en årlig ökning på 2%, alltså inflationen ska vara 2% [15]. En annan del som man brukar ta hänsyn till är en kalkylränta, vilket är en ränta som kan bestå av både krav från aktieägare och långivare. Denna ränta är inte fast, utan bestäms från investerare till investerare vilket gör det något besvärligt och antaganden måste göras. Här sätts kalkylräntan till 6%. Den sista delen som måste tas hänsyn till för

ekonomiförändringar över tid är prisförändringar, i detta fall pris för energi. Genom en sammanställning av svensk fjärrvärmes branschstatistik [16] har en procentsats för prisökning satts till 3,4% per år. Denna prisökning har skett genom den allmänna prisökningen, det vill säga inflationen, och genom en lokal prisökning för just fjärrvärme. Idag kostar svensk fjärrvärme 0,8 kr per levererad kW/h.

2.5.1.1 Nuvärdesmetoden

Med ovanstående fakta kan en LCC göras med hjälp av nuvärdesmetoden framtagen av Al-Sanea *et al.* [17] enligt ekvation (12,13). Ingående parametrar förklaras i stycket efter ekvationerna.

$$N = K \cdot \left(\frac{1+I}{r-I} \right) \left[1 - \left(\frac{1+I}{1+r} \right)^n \right] \quad [\text{kr}] \quad (12)$$

Vid fallen då $I = r$ används följande ekvation.

$$N = K \cdot \frac{m}{1+r} \quad [\text{kr}] \quad (13)$$

I uppbyggandet av en modell för att jämföra olika isoleringstjocklekar och olika material framstår resultaten allt mer tydliga om man väljer en referenspunkt, här väljs isoleringstjocklek 20 mm. Anledningen till att en referenspunkt valts beror på att oisolerade rör över tid är extremt kostnadskrävande i förlorad energi. Detta kan aldrig kompenseras av besparing på materialkostnader. 20 mm isolering är också den tunnaste isoleringen som används utifrån kända producenters, ISOVER, Paroc och Rockwools produktblad. Ovanstående förutsättning gäller för varma rör medan för kalla rör, där temperaturskillnaderna mellan medium och omgivande luft är mindre och standarddimensionerna skiljer sig, används 9 mm som referenspunkt. Utifrån denna referenspunkt kommer sedan en jämförelse mellan för- och nackdelar med att isolera med ytterligare isolering. Relativa värden kommer tas fram där 20 (VV) och 9 (KV) mm isolering får värdet 1. K i ekvationen för nuvärdesmetoden avser kostnaden vid första året. I är prisökningen för energi, som beräknades fram till 3,4% med hjälp av statistik från svensk fjärrvärmes branschstatistik. Kalkylräntan, r kommer sättas till 6%. Utifrån resultaten, det vill säga kostnaderna/besparingarna, mellan de olika isoleringstjocklekarna kommer en analys i form av vägning i jämförelse med de andra parametrarna, det vill säga energi och miljöpåverkan, göras.

2.6 LCA – livscykelanalys

Life-cycle assessment (LCA) är en metod att uppskatta miljöpåverkan som en viss produkt (eller tjänst) medför. LCA:n görs genom att relevant in- och utdata associerade med olika aspekter av produkten (exempelvis CO₂-utsläpp vid produktion eller NO₂-utsläpp på grund av bränsleförbränning vid transport) samlas in och dess inverkan på miljön tolkas och utvärderas. Sedan kan en helhetsbild över miljöpåverkan associerad med produkten över hela dess livscykel skapas och jämföras med andra produktalternativ. Det bör nämnas att den funktionella enheten² som gör olika produkter jämförbara är en viktig grundpelare i en LCA. Denna väljs med omsorg för att resultatet skall kunna vara användbart. Ett mål med att genomföra en LCA kan vara att analysera olika systemval för att sedan komma fram till ett alternativ som medför minsta möjliga negativa miljöpåverkan, det vill säga vara en del av en beslutsprocess.

ISO definierar LCA som en *"compilation of inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle"* [18]. Vidare specificerar ISO de fyra faserna en LCA-studie innehåller enligt:

- a) Definition av mål och omfattning,
- b) inventeringsanalys,
- c) miljöpåverkansbedömning, och
- d) tolkning.

Enligt ISO:s metodik blir en LCA ofta väldigt komplex och därmed tidskrävande. Detta gäller även vid LCA av enklare produkter såsom kopparrör men om vi återigen betraktar ett hus som en produkt så uppenbara det sig att det finns väldigt många delar som bidrar till en LCA:s komplexitet. Dock bidrar olika material olika mycket i LCA:n, betong står till exempel ofta för en betydande del av en byggnads miljöpåverkan då det går åt väldigt mycket energi vid framtagandet av cement. Genom karbonatisering binder betongen CO₂ under hela dess livslängd men tiden det tar för att kvittera CO₂-utsläppet vid produktionen är oftast väldigt lång. Med bakgrund av komplexiteten av LCA-beräkningar i samband med husprojektering har det gjorts ett antal studier, [19-22] med flera, där möjligheterna kring en förenklad LCA-metodik som är applicerbar på byggnader har undersökts. Som i fallet om LCC finns det även med avseende på LCA andra standarder men innehållet är ofta snarlikt.

² En funktionell enhet, FE, varierar med vilka produkter/processor som jämförs. FE kan till exempel vara 1 m rör med radie 12 mm och godstjocklek 1 mm.

Då en LCA av en produkt skulle kunna räcka till ett eget arbete väljs, istället för att genomföra LCA av olika rör- och isoleringsmaterial, att utgå ifrån resultaten av tidigare publicerat material. Fokus är på de olika materialen som berörs i arbetet och dessa betraktas mer som självständiga produkter än som en del av ett system (byggnad).

2.6.1 Studie av rörmaterial

Det finns förhållandevis lite publicerat material som behandlar just LCA av koppar- och PEX-rör (tvärbunden polyeten) och det som finns har ofta finansierats av industrin och bör därför betraktas relativt kritiskt. Det finns dock anledning, även för industrin och särskilt inom EU, att visa transparens i samband med framtagandet av sina produkter. I fallet, koppar mot PEX-rör så finns det anledning för industrin att producera tillförlitlig data som även redogör för nackdelarna med en viss produkt i konkurrenssyfte.

2.6.1.1 Kopparrör

Rapporterna som diskuteras i detta avsnitt har jämförbara mål och omfattning. Tillvägagångssättet är antingen *vagga till grind*, vilket innebär en LCA som täcker processen från råvaruutvinning till dess att produkten är fabriksfärdig och lämnar fabriksporten, eller *vagga till grav*, som täcker produktens hela livscykel.

I en rapport från 2002, utgiven av Deutsches Kupferinstitut – Life cycle center, presenteras resultat från en utförlig LCA (*vagga till grav*) av kopparrör producerade i Europa. Dataunderlaget för LCA:n erhöles från bland andra Bolidens kopparsmältverk, Rönnskär. Resultatet för kopparrör (Ø15 mm och godstjocklek 1mm) blev enligt tabell 14 i en rapport skriven av Tikana *et al.* [23]:

Primärenergianvändning	– 0,0126 GJ/m
Global uppvärmningspotential	– 0,816 kg CO ₂ -ekv./m

Rapporten ovan redovisade även andra resultat, såsom övergödnings- och försurningspotentialen, vilka ej redovisas i en senare studie som gjordes av det Europeiska Kopparinstitutet [24] där resultaten, för samma typ av rör med samma dimensioner, blev 0,01304 GJ/m respektive 0,93 kg CO₂-ekv./m. Denna studie, [24], bestod av en *vagga till grind* LCA. Den förstnämnda studien använde en metodik mestadels kompatibel med ISO-standarder medan den andra utgick direkt ifrån ISO 14040/44. Viktigt att påpeka är att dessa två studier båda utfördes med direkt medverkan av European Copper Alliance. Dataunderlaget till den senare rapporten var dock bredare och även mer aktuellt då studien är nyare.

2.6.1.2 PEX-rör

I en tredje-partsrapport [25] publicerat av det Flamländska tekniska institutet, VITO, beskrivs grunden till informationsbladet [26] utgiven av The European Plastic Pipes and Fittings Association (TEPPFA). I rapporten framgår detaljerna kring den funktionella enheten, som är alla ingående rör och kopplingar i en lägenhet på 100 m² i ett 5-våningshus. Detta val av funktionell enhet gör det svårt att jämföra med övriga resultat men tas ändå som en del av denna undersökning. För övrig information angående informationsbladet utgivet av TEPPFA hänvisas läsaren till kommande avsnitt.

2.6.1.3 PEX-/kopparrör jämförelser

Franklin Associates skriver i en rapport [27] som var finansierad av The Plastic Pipe and Fittings Association (PPFA) att för ett kopparrör med $\varnothing 22,225$ mm och godstjocklek 1,626 mm krävs en primär energianvändning av cirka 0,022 GJ/m och har en global uppvärmningspotential av cirka 1,16 kgCO₂-eq./m. Denna studie var av typen *vagga till grav* och utfördes i USA med data från USA och Kanada och tas upp här som ett referensfall mot PEX- och kopparrör som är producerade inom Europa. Då LCA-resultatet i detta fall korrelerar delvis med rörets tjocklek kan man efter omräkning, grovt uttrycka dessa resultat som 0,014 GJ/m respektive 0,71 kg CO₂-ekv./m vilket stämmer bra överens med resultat från tidigare nämnda studier. Franklin Associates kom även fram till att PEX-rör ($\varnothing 19,05$ mm och godstjocklek ~ 2 mm) med motsvarande användningsområden som kopparrör med $\varnothing 15$ mm och godstjocklek 1mm står för en primär energianvändning av cirka 0,017 GJ/m och medför en global uppvärmningspotential av cirka 0,57 kgCO₂eq./m.

I en studie på uppdrag av The European Plastic Pipes and Fittings Association (TEPPFA) genomförde miljöinstitutet VITO tolv stycken *vagga till grind* LCA:er enligt ISO 14040/44 med syftet att jämföra PEX- och kopparrör som används i VV- och KV-ledningar i ett 100 m² stor lägenhet. I ett informationsblad [26] utgivet av TEPPFA presenteras en global uppvärmningspotential av 0,93702 kg CO₂eq./system för ett system med PEX-rör. På grund av den valda funktionella enheten skulle det vara tidsödande att räkna ut den globala uppvärmningspotentialen per meter rör. Dock framgår det i informationsbladet, samt i en sammanställningsrapport [28] utgiven av George Fischer, att detta tal är 65% lägre än motsvarande värde för samma system med kopparrör. Något värde på primär energianvändning framgår varken i informationsbladet eller sammanställningsrapporten. Det sammantagna resultatet är att PEX-rörssystem har ett ekologiskt fotavtryck som är 75% mindre än samma rörssystem fast med kopparrör.

Geberit, ett multinationellt företag verksamt inom sanitet och kringliggande verksamheter, utförde en egen LCA med hjälp av en nederländsk metod som heter Eco-Indicator 99 och går ut på att uttrycka den sammanlagda miljöpåverkan i en siffra, Eco-Indicator Points (EIP). Den funktionella enheten i denna LCA var 1 m rör med innerdiameter 20 mm. En sammanfattning [29] av rapporten presenterar resultaten 0,6 EIP99 för kopparrör gjord av 55% återvunnen koppar och 0,3 EIP99 för kopparrör av 100% återvunnen koppar samt 0,07 EIP99 för PEX-rör. Här var en av parametrarna för PEX-rör att de energiåtervinns till 100% efter utnyttjande vilket skiljer sig från den tidigare nämnda tredje-parts rapport, [25], där motsvarande andel var 85%.

Nedan finns en tabell, *Tabell 3*, som sammanställer de presenterade värdena.

Tabell 3: Sammanställning, koppar och PEX-rör

Material		Koppar	PEX
Primärenergieanvändning:			
Deutsches Kupferinstitut	[GJ/m]	0,0126	-
European Copper Alliance	[GJ/m]	0,01304	-
PPFA (referensvärde)	[GJ/m]	0,014	0,07/0,017
TEPPFA		-	-
GWP:			
Deutsches Kupferinstitut	[kgCO ₂ eq./m]	0,816	-
European Copper Alliance	[kgCO ₂ eq./m]	0,93	-
PPFA (referensvärde)	[kgCO ₂ eq./m]	0,71	0,57
TEPPFA	[kgCO ₂ eq.]	~1,43	0,93702
Enligt Eco-indicator99:			
Geberit		0,3-0,6 EIP99	0,07 EIP99

2.6.2 Sammanfattning - rörmaterial

Utifrån materialet presenterat i avsnitt 2.5.1.1-2.5.1.3 dras följande slutsatser angående den miljöpåverkan rörmaterialet medför. Då resultaten från de olika studierna avviker från varandra samt att olika funktionella enheter valts blir tolkningen subjektiv. Objektiviteten i tidigare nämnda rapporter har granskats så långt det går.

Först kan det nämnas att medan koppar förblir värdefull även efter användningsskedet tappar PEX så gott som allt ekonomiskt värde. Detta innebär för närvarande att koppar återvinns i mycket hög omfattning medan

PEX ofta energiåtervinns genom förbränning. Trots detta finns det belägg för att rör gjorda av PEX har totalt sett mindre miljöpåverkan per meter än kopparrör. Detta beror till stor del av smältenergin som krävs vid såväl nyproduktion som återvinning av koppar. Enligt rapporterna presenterade i föregående avsnitt står PEX-rör för mellan 50-75% mindre miljöpåverkan än kopparrör. Sammantaget görs bedömningen att med hänsyn till dagslägets situation med den information vi erhållit att PEX-rör har totalt sett ett ekologiskt fotavtryck som är cirka 60% procent lägre än för kopparrör. Detta för rör producerade i Europa och med motsvarande dimensioner och användningsområde.

2.6.3 Studie av rörisoleringsmaterial

Som nämnt i avsnitt 3.5.1 fanns viss subjektivitet i studierna som jämfördes. Även här, med avseende på rörisoleringsmaterial finns det intressen som kan tänkas påverka resultaten som presenteras vare det sig direkt eller indirekt. Som tidigare nämnts kommer fokuset ligga på mineralulls- och cellgummibaserade rörisoleringsprodukter.

2.6.3.1 Mineralull

I rapporten Miljöbedömning Termoträ Standard [30], som utgavs av Jegrelius – Institut för Tillämpad Grön Kemi jämfördes olika isoleringsprodukter baserade på både mineralull med cellulosa. Denna rapport behandlar inte rörisolering specifikt utan lösullsisolering. Dock är basprodukten för såväl rörisolering av stenull som glasull detsamma som tas upp i rapporten. Rapporten behandlar ej heller cellgummi. Då Jegrelius är en icke-vinstdriven och oberoende aktör tillsammans med det faktum att rapporten inte behandlar cellgummi gör att denna källa är i detta sammanhang objektiv och därmed trovärdig. I tabell 3 i rapporten kan man avläsa medelvärden av ”Energiåtgång” i MJ/kg och ”CO₂-eq.” i g/kg för glas- respektive stenull med en praktisk funktionell enhet³ (FE_{praktisk} - som byggde på uppmätta värden). Värdena är 0,024 GJ/FE_{praktisk} och 986 CO₂eq g/FE_{praktiskt} för glasull 0,032 GJ/FE_{praktisk} och 2210 CO₂eq g/FE_{praktiskt} för stenull. Per kg produkt (i stället för FE_{praktiskt}) blev siffrorna 0,024 och 996 respektive 0,017 och 1157.

I en byggvarudeklaration (BVD) [31] för Parocs isoleringsprodukter av stenull tillverkade i Skövde framgår det att energianvändning vid råvaruutvinning samt tillverkning uppgår 0,01712 GJ/kg som stämmer väl överens med resultat

³ Här bygger den praktiska FE, FE_{praktiskt} på uppmätta värden medan den teoretiska, FE_{teoretisk} = area · R · densitet · lambda

Det vill säga vikten (kg) av isoleringen som per m² krävs för att erhålla motståndet 1 K·m²/W.

som presenteras i rapporten Termoträ Standard [30]. I BVD:er [32,33] som upprättades enligt Kretsloppsrådets riktlinjer och som täcker rörisoleringsprodukter producerade av Paroc i Hässleholm presenteras siffror på global uppvärmningspotential (GWP) samt energiåtgång vid produktion. År 2005 stod produktion av deras isolering för en GWP på cirka 1150 g CO₂ekv./kg och en energianvändning av 0,01 GJ/kg [32]. I BVD:n [33] som upprättades/uppdaterades i mars 2014 är respektive siffror cirka 930 gCO₂eq/kg och 0,008 GJ/kg. I dessa BVD:er är råvaruutvinning ej medtaget men på grund återvinning av stenullspill samt att Parocs verksamhet är centraliserad i Sverige blir effekten inte så påtaglig.

Rockwool, ett Dansk-grundat multinationellt företag som producerar bland annat isoleringsprodukter har gjort en environmental product declaration (EPD) [34] som avser isoleringsprodukter tillverkade i Danmark och Norge för den skandinaviska marknaden. I denna framgår det att produkterna ger upphov till (*vagga till grav*) 1,27 kg CO₂-ekv./FE (FE i detta fall var 1 m² 37mm tjock stenullsisolering med densitet 29 kg/m³ och värmemotstånd R = 1 m²*K/W) och kräver en energianvändning av 0,0138 GJ/FE. Här nämns det att livslängden på produkten beräknas vara mycket större än 60 år. Även Rockwool har upprättat/ändrat en BVD [35] som täcker rörskålsisoleringsprodukter. I denna BVD, som täcker tillverkning, återigen i Danmark och Norge framgår det att produkterna ger upphov till cirka 900 g CO₂-ekv./kg samt kräver en energianvändning av 0,008 GJ/kg.

Isover, som ingår i Saint Gobain-koncernen och som står för merparten av glasullsisoleringen som används i Sverige har också gjort en EPD [36], denna gällande produkten ISOVER UNI-skiva 35 som produceras i Billesholm. Det framgår att den globala uppvärmningspotentialen respektive energianvändning (*vagga till grind*) för produkten är 710 g CO₂ekv./FE och 0,025 GJ/FE. UNI-skiva 35 är inte avsedd för isolering av rör men basprodukten är densamma som för ISOVERs rörskålsisolering som även den produceras på Billesholm. Detta stöds i en BVD [37] som omfattar bland andra produkter, rörskålar uppges värdet för GWP till cirka 800 g CO₂eq./kg och för energianvändning till 0,0176 GJ/kg.

2.6.3.2 Cellgummibaserat isoleringsmaterial - Armaflex

Enligt Armacell, ett ledande företag inom produktion av flexibla isoleringsprodukter (av både nitrilgummi och EPDM – Ethylene propylene diene m-class) står produktion av 1m Armaflex för cirka 0,55 kg CO₂-utsläpp [38]. Detta värde representerar produktionen av flera produkter inom Europa och är ett resultat taget ur en LCA baserad på ISO-standarder som utförts internt på Armacell. Armacell uppger att den inbäddade energin för Armaflex isoleringar är 2,92 kgCO₂/kg [39]. Armacell uppger även att energiåtgången

vid produktion av Armaflex uppgår till 0,4 l olja/m. Denna enhet går dock inte att räkna om rakt av utan att man känner till flera detaljer men kan grovt omvandlas till 0,013 GJ/m. Som nämnt i avsnitt 3.2.2 används flexibla cellgummibaserade isoleringsprodukter främst vid isolering av kalla ledningar, ett påstående som styrks i tabell 2 i rapporten [38] där det framgår att användningen av Armaflex fördelas på 89,6% vid isolering av kalla ledningar mot 10,4% vid isolering av varma ledningar.

Nedan finner man en tabell, *Tabell 4*, som är en sammanställning av värdena som anses kunna representera dagens produktion för isoleringsmaterial enligt föregående text.

Tabell 4: Sammanställning, isoleringsmaterial

Material		Stenull	Glasull	Cellgummi
Primärenergi-användning:				
Jegrelius	[GJ/kg]	0,017	0,024	-
Paroc	[GJ/kg]	0,008	-	-
Rockwool	[GJ/kg]	0,008	-	-
Isover	[GJ/kg]	-	0,0176	-
Armacell	[GJ/m]	-	-	0,013
GWP:				
Jegrelius	[gCO ₂ eq./kg]	1157	996	-
Paroc	[gCO ₂ eq./kg]	930	-	-
Rockwool	[gCO ₂ eq./kg]	900	-	-
Isover	[gCO ₂ eq./kg]	-	800	-
Armacell	[gCO ₂ /kg]	-	-	2,92

2.6.4 Sammanfattning – rörisolering

Med bakgrund av företagens egenintresse har vi försökt ta hänsyn till subjektiviteten i det som presenterats i avsnitt 2.5.3.1-2. Då det gäller BVD:er och EPD:er så anses inverkan av subjektivitet vara av mindre betydelse. Viktigt i detta sammanhang är hur man jämför resultaten. Som framgår i 2.5.3.1 så kan skillnaden mellan energiåtgång per kg produkt eller FE variera ganska kraftigt. I jämförelsen mellan glasull och stenull är detta tydligt och beror till största del av att glasull, generellt sätt, har lägre densitet än stenull. Följaktligen täcker 1 kg glasull generellt en större yta än 1 kg stenull.

Gällande energianvändningen vid produktionen av de olika produkterna så måste hänsyn tas till att siffran för Armaflex är baserad på en produktion som sker på kontinenten. På grund av detta har en annan energimix använts jämfört med siffrorna för mineralullsprodukterna.

En viktig detalj att betrakta är produktens tekniska livslängd. Med teknisk livslängd menas den tiden produkten uppehåller acceptabel isoleringsförmåga. För såväl glasull som stenull kan denna antas vara längre än 50 år, det vill säga samma som byggnadens livslängd. Mineralull är välbeprövat som isoleringsmaterial och har använts i stor utsträckning från omkring 1940 till 1950-talet. Cellgummiisoleringens livslängd å andra sidan förväntas vara närmare 20 år. Denna uppskattning är delvis baserad på att Armacell har i rapporten [38] använt sig av en livslängd på 20 år för Armaflex men även utifrån uttalanden från branschkundig person. Vi väljer därför att sätta livslängdsförhållandet mellan Armaflex (samt övriga cellgummibaserade rörisolering produkter) och mineralull till 2:1. Alltså räknar vi med att cellgummibaserad rörisolering bör bytas ut efter cirka 25. Följden av detta blir att miljöbelastningen för cellgummiisolering över en tidsperiod av mer än 50 år kommer att vara det dubbla jämfört med om man kvantifiera miljöbelastningen för en tidsperiod av 20 år.

Ytterligare en faktor som påverkar vår bedömning är att cellgummibaserade isoleringsprodukter gör anspråk på icke-förnybar energi i form av fossilt bränsle som kunnat användas till annat. Detta kompenseras för många gånger om genom minskad energiförluster genom rör men måste ändå betraktas i sammanhanget.

Sammantaget kan man dra slutsatsen att av dessa tre isoleringstyper påverkar glasullsisolering miljön minst. Stenullsisolering står för en marginellt större ekologisk fotavtryck medan cellgummiisolering står för en negativ miljöpåverkan som är cirka tre gånger större än stenull.

2.6.5 Koldioxidutsläpp vid drift av värmevattensystem

Här räknas med att uppvärmningsbehovet täcks helt av fjärrvärme. Det är därmed aktuellt att ta med CO₂-utsläppet detta ger upphov till. I en personlig kommunikation med områdeschef för statistik, analys & marknad, Sonya Trad på svensk fjärrvärme är denna siffra 69 gCO₂eq./kWh [40].

3 Resultat

Resultaten författarna har kommit fram till utifrån den presenterade teorin skall nu presenteras enligt följande. Först tas upp ett exempel som behandlar en specifik rördiameter i ett VVC-system. I samband med varje del av exemplet kommer läsaren att få en förklaring till vad det är som presenteras. Exempelfallet tas upp med hänsyn till läsbarheten av arbetet och för att förtydliga övriga delar av denna Resultatdel.

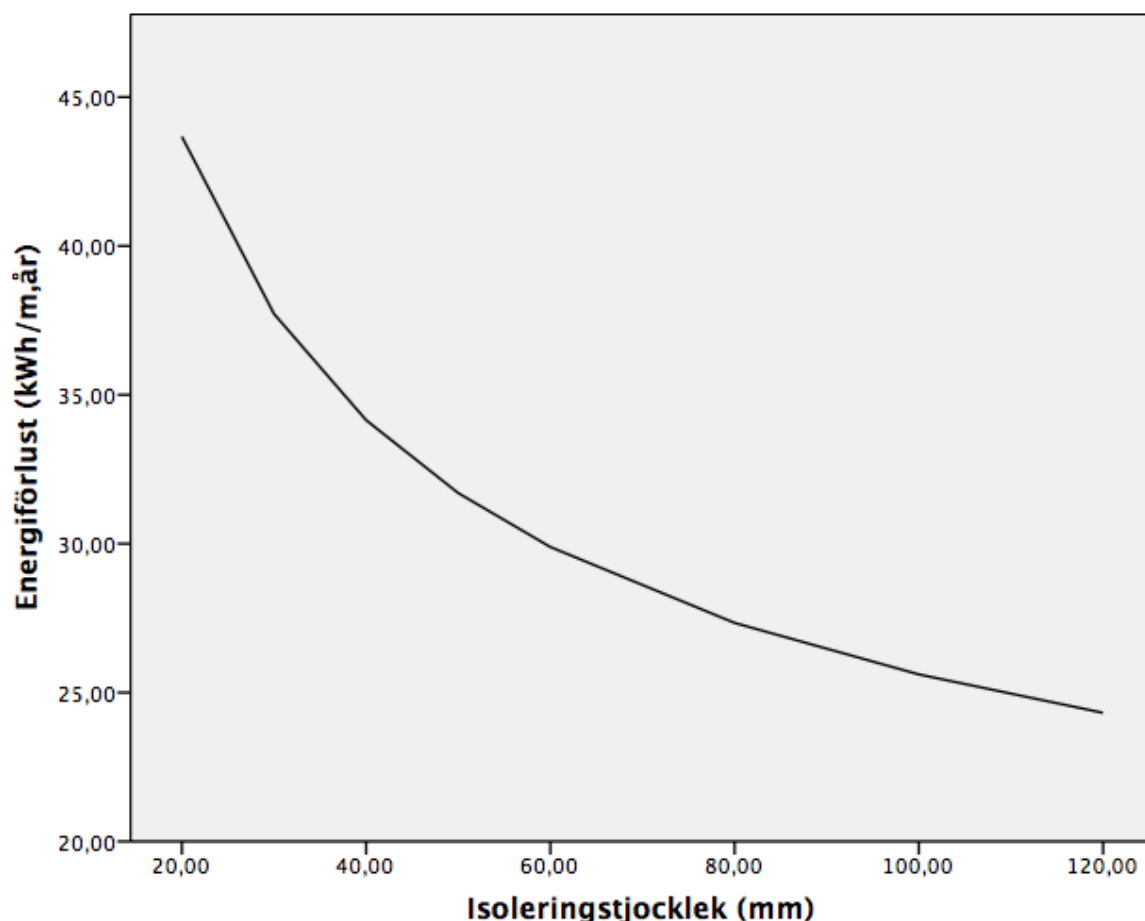
Efter genomgång av exemplet nedan presenteras resultaten beträffande VVC-system i 3.2 VVC. Resultaten under denna rubrik presenteras i en tabell.

I avsnitt, 3.3 Värmevattensystem presenteras resultaten för värmesystem. Med bakgrund av att varje byggnad är komplex och i stort sätt unik kan resultaten inte summeras i en tabell. Här väljs i stället att presentera olika tabeller som beror av varierande T_n och T_g .

3.1 Exempel

3.1.1 Energiförlust per meter rör

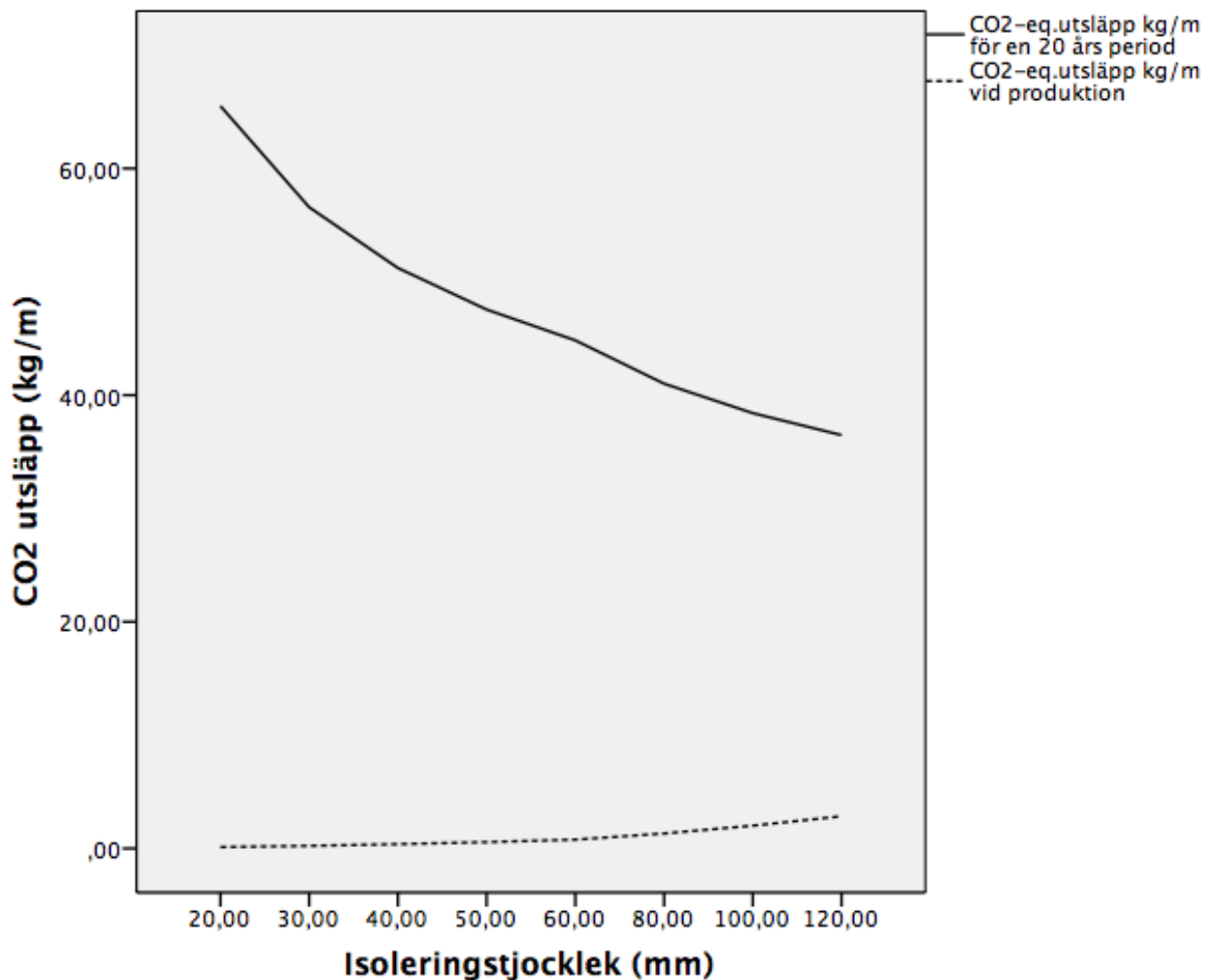
Energiförlusten beräknas enligt avsnitt 2.4.1. Det röret vi har valt att ta upp som ett exempel är 1 m kopparrör med $\varnothing 12$ mm och godstjocklek 1 mm. I detta avsnitt behandlas en medietemperatur på 60°C som enligt tidigare är temperaturen som föredras i VVC-system. 60°C är som bekant långt över vanlig rumstemperatur (som författarna antagit till 20°C) vilket medför en stark drivkraft till energivandring i form av värmeförlust. Enligt avsnitt 2.5.1.1 är referenspunkten, alltså utgångstjockleken på isoleringen 20 mm. I *Figur 1* nedan kan man betrakta hur energiförlusten (kWh/m,år) sjunker med ökande isoleringstjocklek (mm). Vid betraktande av figuren kan man se att lutningen på kurvan avtar med ökande isoleringstjocklek, det vill säga att kurvan planar ut vid tjockare isolering. Isoleringstypen som behandlas i exemplet är glasull.



Figur 1: Energiförluster för 12 mm rör och medietemperatur 60 °C

3.1.2 Koldioxidutsläpp vid produktion samt drift

Med hjälp av snittvärdet av koldioxidutsläpp för svensk fjärrvärme samt data från avsnitt 2.6.3.1-2.6.3.2 har en graf kunnat tas fram, *Figur 2*, som visar relationen mellan koldioxidutsläpp vid produktionen av isoleringen (glasull) samt koldioxidutsläpp till följd av energiförluster under driften vid olika isolertjocklekar. Y-axeln visar koldioxidutsläppet i kg/m rör och x-axeln visar isoleringstjocklek i mm. Även i detta fall, med avseende på utsläppen under driften, kan man betrakta avtagande lutning på kurvan med tjockare isolering. För tydlighetens skull kan det nämnas att lägsta och högsta värdet på kurvan ”CO₂-eq.utsläpp kg/m vid produktion” är 0,18 vid 20 mm isolertjocklek respektive 1,42 vid 120 mm isolertjocklek. För kurvan ”CO₂-eq.utsläpp kg/m för en 20 års period” är värdena 65,51 respektive 36,47.

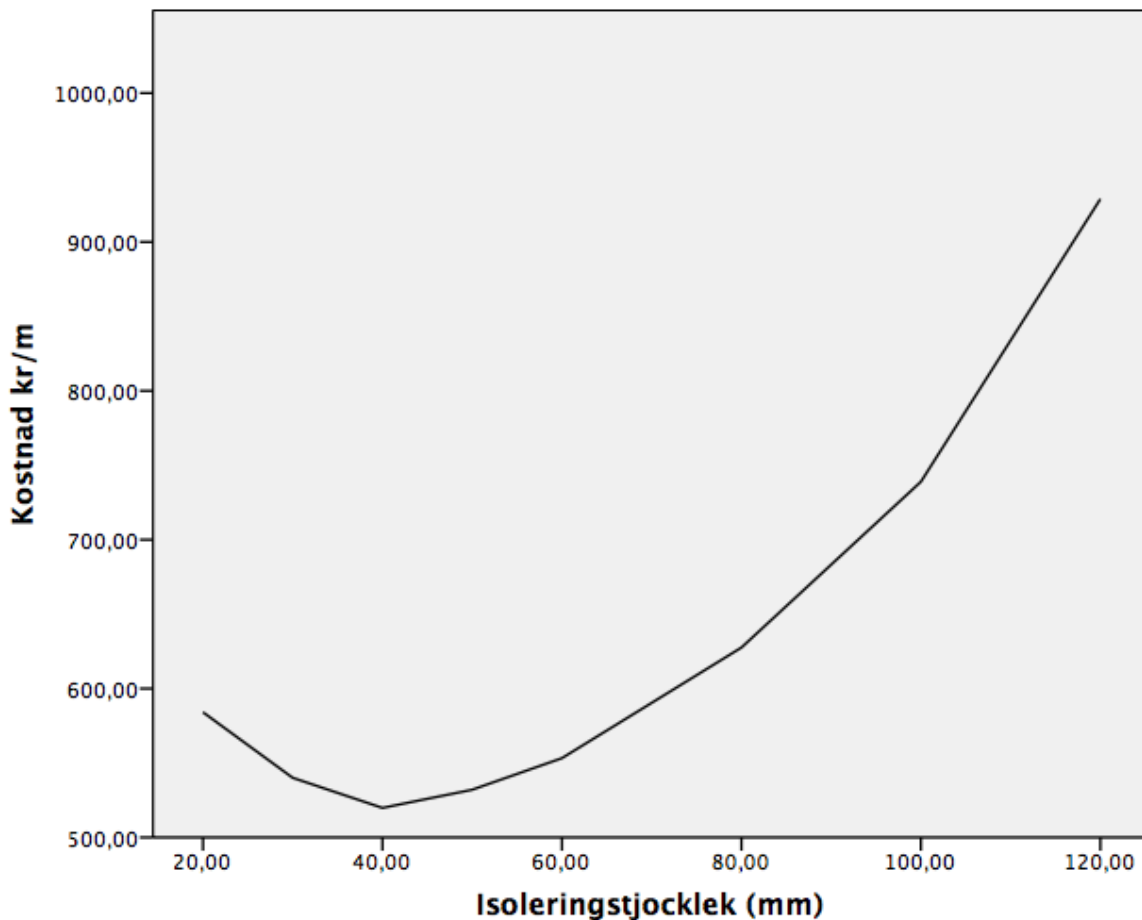


Figur 2: CO₂-eq. utsläpp under en 20 års period, 12 mm rör och medietemperatur 60 °C

3.1.3 Kostnad som funktion av isoleringstjocklek

De data som ligger till grund för *Figur 3* är delvis prisuppgifter från grossister och delvis det som presenterades i avsnitt 2.5.1.1. Kurvan visar den sammanlagda kostnaden, alltså inköpskostnaden plus kostnaden till följd av energiförlusterna under en drifttid på 20 år. Minimipunkten, den utifrån den ekonomiska räknemetod som tagits upp i detta arbete, finner man vid en isoleringstjocklek av 40 mm. Kurvan visar hur vid ökande isolertjocklek att inköpskostnaden påverkar lutningen mer än det man skulle spara i energikostnader under 20 års tid.

Notera: för 12 mm-rör har författarna inte kunnat hitta en grossist/leverantör som säljer isolering med tjocklek >80 mm. Kurvan här därmed extrapolerats för att bättre illustrera sambandet mellan kostnaden och isoleringstjockleken.



Figur 3: Kostnad, 12 mm rör och medietemperatur 60°C, 20 år

3.1.4 Optimal isoleringstjocklek för VVC-system

Det som i *Figur 4*, nedan, kallas "Relativt värde" är beräknat utifrån 20 mm isolertjocklek. Värdena har följaktligen tagits fram genom att till exempel ta punktdata för 30 mm isolering och dividera med motsvarande värde för 20 mm isolering. Proceduren var analog för samtliga tre kurvor i *Figur 4*. Värdet 1 skulle i så fall innebära att isoleringstjockleken i frågan har samma värde som motsvarande värde för 20 mm isoleringen. Det vill säga ju lägre det relativa värdet är desto bättre är isolertjockleken i fråga. Kurvan "Relativt värde för LCC" har en minimipunkt på 0,89 vid isoleringstjocklek 40 mm och maximipunkt 1,59 vid isoleringstjocklek 120 mm. Kurvans utseende återspeglar kurvan i avsnitt 3.1.3. Kurvan "Relativt värde för LCA" har maximivärdet 1 och minivärdet 0,62. Detta innebär att utifrån miljösynvinkel är det alltid bättre med tjockare isolering i det valda systemet och under 20 års tid. Den sammanlagda kurvan "Relativt värde totalt" är förhållandet mellan de andra två kurvorna. Vägningen av kurvorna "Relativt värde för LCC" och "Relativt värde för LCA" är satt till 1:1, det vill säga 0,5/0,5 vilket innebär att de påverkar utfallet lika mycket var. Minimivärdet här blev 0,82 vid 60 mm tjock isolering och maximivärdet är 1,1 vid 120 mm tjock isolering.

Exempeltabellerna nedan ska förtydliga processen att göra om kostnader och miljöpåverkans faktiska värden till relativa. Första tabellen visar kostnaderna och CO₂-utsläppen för 20 respektive 30 mm isolering.

Isolertjocklek	Kostnad (kr)	CO ₂ -utsläpp (kg)
20	448,14	45,43
30	422,61	39,49

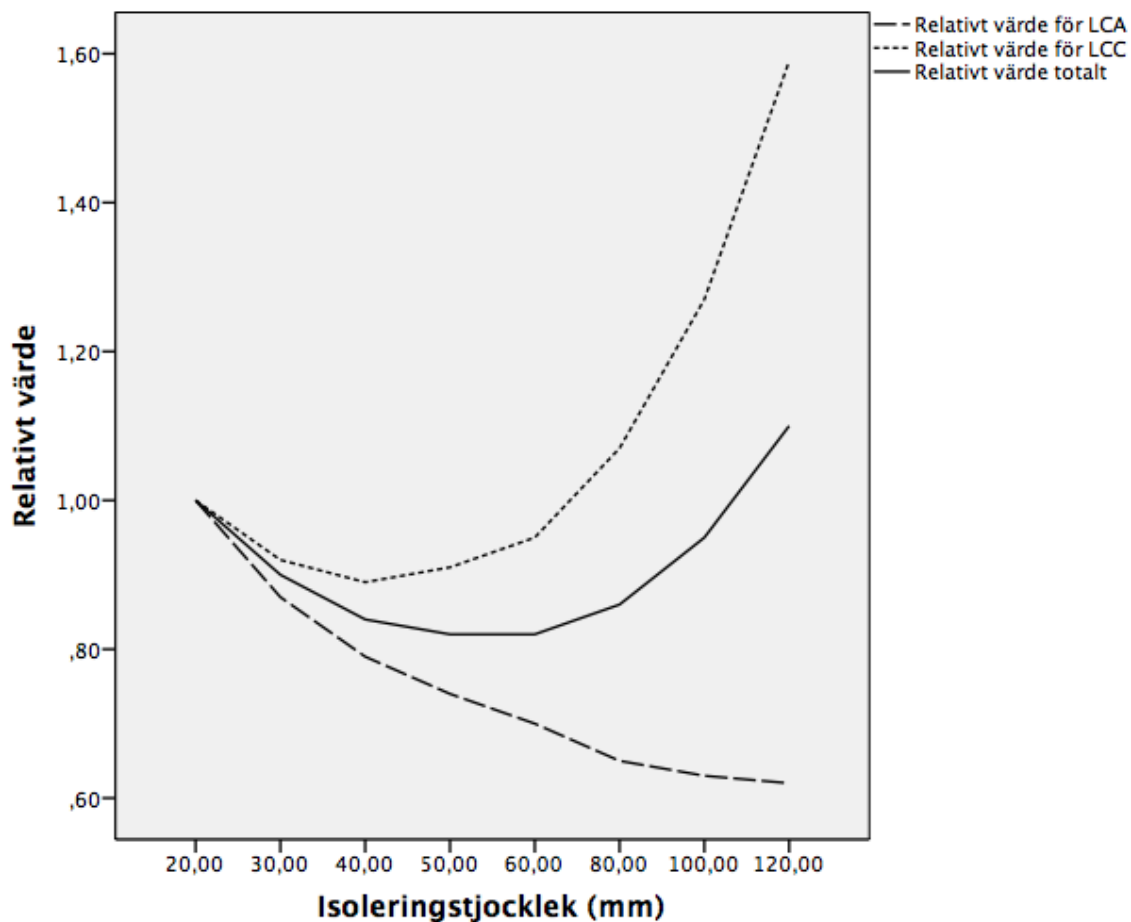
I nästa tabell är de faktiska värdena omgjorda till relativa. 20 mm isolering är som tidigare påpekats en referenspunkt och sätts därför till 1,00. Kostnaderna för 30 mm isolering får det relativa värdet 0,94 genom att sätta förhållandet mellan 422,61 och 448,14. På samma sätt har det relativa värdet för CO₂-utsläppen tagits fram.

Isolertjocklek	Relativt värde kostnad	Relativt värde CO ₂ -utsläpp
20	1,00	1,00
30	0,94	0,87

Nu när både kostnader och CO₂-utsläppen har ett relativt värde, vilket är enhetslöst, kan dessa läggas ihop. Detta görs som tidigare nämnts enligt en viktning på 1:1. Alltså multipliceras 0,94 med 0,5 och 0,87 med 0,5 vilket ger ett sammanslaget värde på 0,91.

Isolertjocklek	Relativt värde totalt
20	1,00
30	0,91

Analogt fortsätter proceduren för samtliga isoleringstjocklekar och *Figur 4* visar detta resultat. Där kan man som tidigare nämnts läsa av minimivärdet vilket också är den optimala isoleringstjockleken.



Figur 4: Relativt värde för en 20 års period, förhållande mellan olika isoleringstjocklekar, 20 mm isolering är satt till 1,0

3.2 VVC-system

Tabell 5, nedan visar optimala isoleringstjocklekar för VVC-system med beroende av hur projekteringen av livslängden är i 20, 30, 40 och 50 år. Tabellen gäller aluminiumbeklädda rörskålar av glasull och stenull⁴. Isoleringstjockleken ökar med tydlighet i relation till förväntad livslängd och rördimension. Även denna tabell utgår ifrån att vägningen mellan inverkan av de ekonomiska indata samt hållbarhetsindata är satt till 1:1. Viktigt att påpeka är att färgskalorna som används i Tabell 5-13 är endast till för att särskilja de olika tjocklekarna, färgerna i sig har ingen betydelse.

⁴ Framräknade isolertjocklekar blev desamma för glasull och stenull och presenteras därför i samma tabell.

Tabell 5: Optimal isoleringstjocklek för VVC-system

Glasull/Stenull	20 år		30 år		40år		50 år	
	A	B	A	B	A	B	A	B
-15	60	60	60	60	60	80	80	80
16-22	60	60	80	80	80	80	80	80
23-35	80	80	80	80	80	80	80	100
36-54	80	80	80	80	100	100	100	100
55-89	80	80	100	100	100	100	100	100
90-108	80	100	100	100	100	100	100	100

$\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$								
λ -isolering	A	-0,035		W/mK				
	B	0,036-0,040 W/mK						

3.3 Värmevattensystem

Tabell 6-11 nedan visar optimala isoleringstjocklekar för VV-system med beroende av normalårstemperatur, gränstemperatur och projekteringen av livslängden. Tabellerna gäller aluminiumbeklädda rörskålar av glasull respektive stenull. Återigen är vägningen mellan ekonomi och hållbarhet 1:1. Längst upp i vänstra hörnet på respektive tabell är normalårstemperaturen given. Temperaturdifferensen, samt λ -värden som gäller vid serie A respektive B finns under tabellen.

Avläsning av nedanstående tabeller. Tabell 6-11 gäller för värmevattensystem med en temperaturskillnad av 30°C (då ett 55/45-värmesystem har räknats på) jämfört med den omgivande luftens temperatur. Tabellerna avläses genom att användaren känner till T_n , G_t (5, 10 eller 15) och rördiametern. Med kända värden på dessa parametrar kan man sedan utgå ifrån önskad λ -värde och avläsa erforderlig isoleringstjocklek i kolumn A eller B under respektive projekterade livslängdskategori (20, 30, 40 eller 50 år).

Exempel:

Vid en T_n på 0°C , en projekteringstid på 20 år, λ -värde $0,035\text{ W/mK}$ (serie A) och en G_t på 5°C skall man för en rördimension upp till 15 mm välja isoleringstjocklek 40 mm.

Tabell 6,7: Glasull. Optimal isoleringstjocklek för T_n 0°C respektive 4°C

Normalårstemperatur 0 °C		20 år						30 år						40 år						50 år								
		A			B			A			B			A			B			A			B					
		5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15			
Rördimension (mm)		5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
-15		40	40	50	40	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
16-22		40	50	60	50	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
23-35		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
36-54		60	60	80	60	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
55-89		60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
90-108		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
ΔT = 30 °C																												
λ-isolering A		~0,035 W/mK																										
B		~0,040 W/mK																										

Normalårstemperatur 4 °C		20 år						30 år						40 år						50 år								
		A			B			A			B			A			B			A			B					
		5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15			
Rördimension (mm)		5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
-15		40	40	50	40	40	50	40	40	50	40	40	50	40	40	50	40	40	50	40	40	50	40	40	50	40	40	50
16-22		40	50	60	40	50	60	50	50	60	50	50	60	50	50	60	50	50	60	50	50	60	50	50	60	50	50	60
23-35		50	60	60	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
36-54		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
55-89		60	80	80	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
90-108		60	80	80	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
ΔT = 30 °C																												
λ-isolering A		~0,035 W/mK																										
B		~0,040 W/mK																										

Tabell 10,11: Stenull. Optimal isoleringstjocklek för T_n 4°C respektive 8°C

Normalårstemperatur 4 °C		20 år						30 år						40 år						50 år											
		A			B			A			B			A			B			A			B								
Stenull	Rördimension (mm)	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
	-15	40	40	40	40	40	50	40	40	40	50	50	40	50	40	50	60	50	60	50	40	50	60	50	60	60	60	60	60	60	60
	16-22	40	40	50	40	50	60	40	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	23-35	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	36-54	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	55-89	60	80	80	60	80	80	60	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80
	90-108	60	80	80	60	80	80	60	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80
$\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$																															
λ -isolering A		~0,035 W/mK																													
B		~0,040 W/mK																													

Normalårstemperatur 8 °C		20 år						30 år						40 år						50 år											
		A			B			A			B			A			B			A			B								
Stenull	Rördimension (mm)	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
	-15	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	16-22	40	40	50	40	50	60	40	40	50	40	50	60	40	40	50	40	50	60	40	40	50	40	50	60	40	40	50	40	50	60
	23-35	40	50	60	40	60	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
	36-54	50	60	60	60	60	60	50	60	60	60	60	60	50	60	60	60	60	60	50	60	60	60	60	60	50	60	60	60	60	60
	55-89	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80
	90-108	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80	60	60	80	60	80	80
$\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$																															
λ -isolering A		~0,035 W/mK																													
B		~0,040 W/mK																													

3.4 Kallvattensystem

Tabell 12 och 13 nedan visar optimala isoleringstjocklekar för KV-system med beroende av normalårstemperatur och gränstemperatur. Tabellerna är utformade efter en projekterad livslängd på 20 år. Detta på grund av att cellgummibaserad isolering, enligt Armacell, har denna livslängd. Vid dimensionering av isolering till KV-system, till skillnad från VV-system, måste man ta hänsyn till eventuell kondensbildning. *Tabell 12* visar optimerad dimensionering utan hänsyn till detta. *Tabell 13* tar hänsyn till kondensbildning vid en omgivande temperatur på 23 °C och 80 % RF vilket får anses som ett värsta fall scenario då det sällan uppgår till så höga siffror inomhus. *Tabell 14* visar vid vilka isoleringstjocklekar och rördimensioner det bildas kondens utifrån givna förutsättningar som är specificerade i tabellen.

Tabell 12,13: Gellgummi. Optimal isoleringstjocklek beroende av olika T_n; Optimal isoleringstjocklek beroende av olika T_n och med hänsyn till kondensbildning vid 23 °C och 80% RF.

Normalårstemperatur	0 °C						4 °C						8 °C						
	A			B			A			B			A			B			
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	
Armaflex (Ultima)																			
Rördimension (mm)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
-15	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
16-22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
23-35	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
36-54	13	13	9	13	13	9	25	13	13	13	13	13	25	25	13	13	25	25	13
55-89	19	13	9	19	13	9	19	13	13	13	13	13	19	19	13	13	25	19	13
ΔT = 16 °C																			
λ-isolering A	~0,035 W/mK																		
B	~0,040 W/mK																		
Normalårstemperatur																			
Armaflex (Ultima)																			
Rördimension (mm)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
-15	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
16-22	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
23-35	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
36-54	13	13	13	13	13	13	25	13	13	13	13	13	25	25	13	13	25	25	13
55-89	19	13	13	19	13	13	19	13	13	13	13	13	19	19	13	13	25	19	13
ΔT = 16 °C																			
λ-isolering A	~0,035 W/mK																		
B	~0,040 W/mK																		

Tabell 14: Cellgummi. Isoleringstjocklekar och rördimensioner som ger upphov till kondens vid 23 °C och 80% luftfuktighet.

RF (vid 23°C och 80% luftfuktighet)										
Rördiameter	12	15	18	22	28	35	42	54	76	89
Isolertjocklek										
9	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05
13	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98
19	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92
25	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89

4 Diskussion

Resultaten, däribland tabellerna som presenterats i resultatdelen har erhållits med hjälp av energiberäkningar enligt svensk standard. Detta för att tabellerna skall vara så relevanta som möjligt vid användning i Sverige. Resultaten av energiberäkningarna har kontrollerats genom jämförelser med beräkningsprogram (ISOVER och Paroc) och visat sig vara snarlika, mindre än 5% skillnad. Värmeförlusterna, beroende av isoleringstjocklek, över ett år varierar mellan 24 och 177 kWh för en meter rör vilket i sin tur, påverkar kostnaderna och miljöpåverkan under drifttiden. Kostnaden för en kWh sattes i detta arbete till 80 öre, vilket var medelpriset i landet 2014 enligt statistik från svensk fjärrvärme. Som tidigare skrivits i detta arbete så är det svårt att förutspå den ekonomiska utvecklingen och räntesatserna som används är en möjlig felkälla för framtiden. Dock så har dåtiden studerats och utifrån de uppgifterna anser sig författarna ha goda möjligheter för att tabellerna ska vara fungerande inom den tidsperiod som studerats. Miljöpåverkan för en kWh sattes till 69 g CO₂-ekvivalenta utsläpp. Den siffran är ett riksnitt som gäller för svensk fjärrvärme och som är aktuell just nu, våren 2015. För framtiden, då tekniken med stor sannolikhet utvecklas, kan utsläppen bli lägre. Detta kommer påverka tabellerna igenom att mindre isolering kommer bli mer lönsamt. Vid stora förändringar i både kostnad och miljöpåverkan kan tabellerna lätt göras om då beräkningsmodellerna fungerar oberoende av förändringar i just detta.

Gällande den direkta kostnaden och miljöpåverkan finns det några diskussionspunkter. Priserna på produkterna, i detta fall rörskålarna, varierade något för olika återförsäljare, för att kunna komma fram till praktiska tabeller har snittpriser använts. Priserna är, med stor sannolikhet, heller inte några fasta priser, utan diskuteras under upphandlingar mellan entreprenör och återförsäljare, vilket detta arbete inte har tagit hänsyn till då det bara hade blivit uppskattningar tagna ur luften. Med detta sagt så är priserna, som gällde i samband med publicering av detta arbete, aktuella och därmed relevanta i de beräkningar som gjorts.

Vad gäller miljöpåverkan som sker innan drifttiden, det vill säga vid råvaruutvinning och produktion av den specifika produkten, så har olika uppgifter funnits och uppskattningar har gjorts utefter dem. Att uppgifterna som påträffades skilde sig åt, i vissa fall markant hör dock till sättet miljöpåverkan av en viss produkt bedöms. En ordentlig miljöbedömning av i princip vilken produkt som helst kan vara en mycket invecklad uppgift då det finns väldigt många parametrar som måste tas hänsyn till. Sedan skall dessa sättas in i ett relevant sammanhang och möjlig miljöpåverkan bedömas. I författarnas ansträngningar att komma fram till vetenskapligt grundade resultat

har (LCA-) studier, vars metodik utgick ifrån ISO-standarder, studerats i så hög grad som möjligt. Som i fallet energiberäkningar anser författarna att ISO-standarder, däribland svenska standarder, utgör en bra grund för att uppnå betydelsefulla resultat. Det bör dock nämnas att utbudet av LCA, LCI, EPD och BVD är än så länge något begränsat med avseende på rörskålar och rörmaterial. Informationen som fanns täckte ofta basprodukterna som i de flesta fall räcker till en grov uppskattning av en enkel produkts miljöpåverkan. Dessa, något oprecisa uppgifter kompletterades med produktspecifika uppgifter där detta var möjligt för att bilda en mer korrekt uppfattning om de i arbetet specifika produkterna. Att utbudet av ovannämnda studier/deklarationer är begränsat kan bero bland annat på att framtagandet av dessa, i synnerhet LCA och LCI kan vara en mycket kostsam process.

En viktig detalj med gällande miljöpåverkan är att miljöpåverkan som uppstår på grund av produktion i jämförelse med miljöpåverkan under drift är väldigt liten, vare sig man tittar på 20 år eller 50 år. En storleksordning på detta förhållande uppges ofta som 1:>100, något som kan betraktas i *Figur 2*. Författarna anser att miljödata som använts och delvis ligger till grund för de presenterade tabellerna är så relevant och korrekt som möjligt och bör därför kunna användas vid projektering av byggnader inom Sverige.

Det kan även nämnas att beräkningarna som gjorts utgår ifrån korrekt utförd monteringen av rörskålarna. Så fort man frångår installationsanvisningar kan upplevda resultat försämrans markant. Av störst vikt är att all sammanfogningarna mellan isoleringssegment är täta.

Sammantaget har författarna efter sin bästa förmåga tagit fram resultaten men som i de flesta andra fall finns det felkällor som man bör vara medveten om.

Det är svårt att förutspå framtiden och felkällorna som har gjort sig till känna i det här arbetet beror mycket på just detta. Jämför man dimensionerna för isoleringstjocklek i tabellerna med tidigare använda serietabeller så kan man också se att de ligger inom samma spann. Tabellerna som tagits fram, som alltså inte är revolutionerande, styrks av detta och kan tolkas som en verifiering av tidigare fynd utifrån dagens förutsättningar.

4.1 Felanalys

Detta arbete är uppbyggt kring de avgränsningarna och antaganden som redovisats för. Resultatet, alltså tabellerna, skulle få annat utseende vid ändring av indata. Exempelvis om det användes en annan kalkylränta. En högre kalkylränta skulle medföra att val av tunnare isolering skulle vara att föredra medan en lägre kalkylränta skulle medföra det motsatta. Kalkylräntan påverkar kostnaden vid drift och påverkar därför mer ju längre livslängd och drifttid man projekterar för. När det kommer till utsläpp och kostnad per kWh

levererad fjärrvärme så skulle såklart ändringar i detta påverka resultaten. Värdena som använts avseende fjärrvärme är aktuella och gäller vid publiceringstillfället.

5 Slutsats

Målet med arbetet var att undersöka dagens tabellers aktualitet med nya infallsvinklar. Tabeller utifrån en ekonomisk kalkyl, LCC, var inget nytt men att ta hänsyn till miljöpåverkan, LCA, hade inte gjorts tidigare utifrån de tabellerna författarna har kunnat ta del av. Genom en vägning, där LCC och LCA får samma tyngd, kan författarna konstatera att LCA påverkar isoleringstjockleken i den mån att mer isolering ofta är ett bättre alternativ jämfört om man endast skulle ta hänsyn till LCC analysen.

De befintliga serietabellerna bygger på att någon projekterar för vilken isoleringstjocklek som ska användas och i följd av det hänvisar till en serie i tabellen som ska användas. På detta sätt fungerar serietabellerna som kommunikationsmedel och inte som hjälp vid projektering. Tabellerna detta arbete har byggt upp ligger till hjälp även för projektören då den direkt hänvisar till lämplig isoleringstjocklek utan att projektören behöver utföra beräkningar. Utöver det så har tabellerna här tagit hänsyn till miljöpåverkan vilket inte gjorts innan. Eftersom tidigare tabeller endast är serier för vad projektören föreskriver och inte direkt dimensioneringshjälp så kan jämförelser mot detta arbetes tabeller inte göras rakt av. Däremot kan man konstatera att spannet av isoleringstjocklek, för de olika rördimensionerna, är detsamma.

För att summera tabellerna som presenterats kan man konstatera att påverkan, både för LCC och LCA, domineras av det som sker under drifttiden. Den direkta kostnaden och miljöpåverkan är liten i jämförelse och därför kan det ofta vara värt att välja dyrare och mer direkt miljöbelastande alternativ mot att dem då är högpresterande under drift.

Slutligen är förhoppningen att det som presenterats i resultatdelen kan leda till fler studier som behandlar hållbarhetsfrågor kring teknisk isolering. Framtida studier angående hållbarhetsaspekter beträffande de olika isolerings- och rörmaterialen välkomnas, då dessa skulle kunna bidra till ett ökat, och därmed utförligare, underlag. Ett annat område av intresse kan vara kopplingen mellan resultaten som presenterats och simuleringsverktyg som används i samband med projektering. Exempelvis skulle värdena i *Tabellerna 5-13* kunna användas som kriterier eller krav i simuleringsprogram.

Referenser

- [1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachuri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. [Online] Tillgänglig: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> [Hämtad 10 mar. 2015]
- [2] Lucon O., D. Urge-Vorsatz, A. Zain Ahmed, H. Akbari, P. Bertoldi, L. F. Cabeza *et al.* 2014: Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth *et al.*]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [Online] Tillgänglig: <http://mitigation2014.org/report/publication/> [Hämtad 10 mar. 2015]
- [3] Sverige. Statens energimyndighet. *Energiläget i siffror 2015*. Eskilstuna. [Online] Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/Press/Nyheter/Nu-finns-Energilaget-i-siffror-2015/> [Hämtad 24 mar. 2015]
- [4] Sverige. Regeringskansliet. ”*Europa 2020 – EU:s gemensamma tillväxt- och sysselsättningsstrategi*”. Stockholm: Regeringskansliet. [Online] Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/sb/d/18538/a/235794> [Hämtad 17 mar. 2015]
- [5] Sverige. Boverket. ”*BBR – Boverkets byggregler*”. Karlskrona: Boverket. [Online] Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/> [Hämtad 16 mar. 2015]
- [6] M. Brunnkvist. SV: Synpunkter på AMA. Personlig e-post till: M. Eneström Jönsson. Den 11 feb. 2015.
- [7] M. Brunnkvist, E. Eneström Schmied. ”*Dimensionera teknisk isolering*”. AMA-nytt – VVS • KYL 2013-1, s. 60-63. Aug. 2013.

- [8] Profisol. "Teknisk isolering". [Online] Tillgänglig: <http://www.profishol.se/index.php/om-teknisk-isolering> [Hämtad 26 mar. 2015]
- [9] Isover. "Vad är mineralull". <http://www.isover.se/produkter/vad+%C3%A4r+mineralull-c7-> [Hämtad 26 mar. 2015]
- [10] I. Samuelsson. "Kriterier för sunda byggnader och material". Boverket, Byggavdelningen. Karlskrona. B6087-1686/96. Dec. 1998. [Online] Tillgänglig: http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/1998/kriterier_for_sunda_byggnader_och_material.pdf [Hämtad 24 mar. 2015]
- [11] H. Lönn. "Injustering av värmesystem – ett delikat ingenjörstekniskt problem". Energi&Miljö. [Online] Tillgänglig: <http://www.energi-miljo.se/artikelem/injustering-av-varmesystem-ett-delikat-ingenjorstekniskt-problem/> [Hämtad 25 mar. 2015]
- [12] BFS 2015:3, BBR 22. "Boverkets författningssamling: Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd;". Karlskrona: Boverket. [Online] Tillgänglig: <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2015-3-BBR-22.pdf> [Hämtad 24 mar. 2015]
- [13] Sverige. Statens Energimyndighet. "Beräkna LCC". Eskilstuna. [Online] Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/Foretag/Energieffektivisering-i-foretag/Finansiering-och-inkop/Livscykelkostnad/Berakna-LCC/> [Hämtad 7 apr. 2015]
- [14] Sverige Statistiska Centralbyrå. "Prisomräknaren – räkna på inflationen". [Online] Tillgänglig: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Priser-och-konsumtion/Konsumentprisindex/Konsumentprisindex-KPI/33777/Prisomraknaren--rakna-pa-inflationen/> [Hämtad 26 mar. 2015]
- [15] Sverige. Sveriges Riksbank. "Inflationsmålet". Stockholm. [Online] Tillgänglig:

<http://www.riksbank.se/sv/Penningpolitik/Inflation/Inflationsmalet/>
[Hämtad 26 mar. 2015]

- [16] Svensk fjärrvärme. "Fjärrvärmepriser". [Online] Tillgänglig: <http://www.svenskfjarrvarme.se/statistik--pris/fjarrvarmepriser/>
[Hämtad 10 apr. 2015]
- [17] S.A. Al-Senea, M.F. Zedan. "Heat Transfer Characteristics and Optimum Insulation Thickness for Cavity Walls". Riyadh, Saudi Arabien.
<http://jen.sagepub.com/content/26/3/285.full.pdf+html>
[Hämtad 13 apr. 2015]
- [18] *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. ISO 14040:2006. Dec. 2006.
- [19] M. Erlandsson, M. Borg. "Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services – today practice and development needs". *Building and Environment*, vol. 38, nr. 7, ss. 919-938, jul. 2003. [Online] Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132303000313>
[Hämtad 9 mar. 2015]
- [20] I. Zabalza Bribián, A. Aranda Usón, S. Scarpellini. "Life-cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification". *Building and Environment*, vol. 44, nr. 12, ss. 2510-2520, dec. 2009. [Online] Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001188>
[Hämtad 10 mar. 2015]
- [21] D. Kallenberger, H-J. Althaus. "Relevance of simplifications in LCA of building components". *Building and Environment*, vol. 44, nr. 4, ss. 818-825, apr. 2009. [Online] Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230800142X>
[Hämtad 10 mar. 2015]
- [22] A. Lewandowska, A. Noskowiak, G. Pajchrowski, J. Zarebska. "Between full LCA and energy certification methodology – a

comparison of six methodological variants of buildings environmental assessment". The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 20, nr. 1, ss. 9-22, 4 nov. 2014. [Online] Tillgänglig: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11367-014-0805-3#>
[Hämtad 9 mar. 2015]

- [23] L. Tikana, H. Sievers, A. Klassert. *"Life Cycle Assessment of Copper Products"*. Deutche kupferinstitut – Life Cycle Center. Düsseldorf, 2002. [Online] Tillgänglig: https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fep.lca.jrc.ec.europa.eu%2FELCD3%2Fresource%2Fexternal_docs%2F255%2FECI_LCA_of_Copper_Products_Report_5140044a-4bec-11dc-8314-0800200c9a66.pdf&ei=dNMbVY3sNYO1OoykgYgM&usg=AFQjCNGBC8Y3-YAVAEkbJMLPFB8wZd6WFA&sig2=lxnyjkSTuGRjlHys_ypVzA&cad=rja
[Hämtad 27 mar. 2015]
- [24] European Copper Institute. *"The environmental profile of copper producta – A 'cradle-to-gate' life-cycle assessment for copper tube, sheet and wire produced in Europe"*. [Online] Tillgänglig: http://www.copperalliance.eu/docs/default-source/resources/the-env-profile-of-copper-products_lifecycle.pdf
[Hämtad 30 mar. 2015]
- [25] VITO. *"Life Cycle Assessment of a PEX pipe system for hot and cold water in the building (according to EN ISO 15875)"*. [Online] Tillgänglig: <http://www.teppfa.eu/images/stories/pdf/PEX-Thirdpartyreport-sept2011.pdf>
[Hämtad 30 mar. 2015]
- [26] The European Plastic Pipes and Fittings Association (TEPPFA). *"Cross-linked polyethylene (PEX) pipe systems vs copper environmental impact comparison"*. [Online] Tillgänglig: http://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/100005/AR/en/231555/download/document.html
[Hämtad 31 mar. 2015]
- [27] Franklin Associates. *"Final Report – Life Cycle Inventory of the Production of Plastic and Metal Pipes for use in Three Piping Applications"*. Prairie Village, Kansas: 24 jun. 2008. [Online]

- Tillgänglig:
<https://www.lubrizol.com/CPVC/Documents/Sustainability/Life-Cycle-Inventory-of-Plastic-Pipe.pdf>
[Hämtad 30 mar. 2015]
- [28] Georg Fischer Piping Systems. *"Life Cycle Assessments of Plastic Pipe Systems in the Field of Utility and Building Technology – Summary of Life Cycle Assessments calculated on behalf of Teppfa"*. [Online] Tillgänglig:
http://www.gfps.com/content/gfps/country_SE/en/about-GF-PipingSystems/sustainability/material/studies.html
[Hämtad 31 mar. 2015]
- [29] Geberit. *"Life Cycle Assessment – Supply pipes for buildings"*. [Online] Tillgänglig:
https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCMQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.geberit.com%2Fmaster%2Fcontent%2Fmedia%2Fglobal%2Fgroup%2Funternehmen%2Fnachhaltigkeit%2Flife_cycle_assessment_supply_pipes_EN.pdf&ei=B14dVdKHHIHwOeSwgOAC&usg=AFQjCNHZscpV50ZycR1DAgWRYBII6gHYFQ&sig2=80ziWDY8o_k99wwj_2GHMw
[Hämtad 31 mar. 2015]
- [30] Östberg, T. *"Miljöbedömning Termoträ Standard – Referensmiljöer för framtidens produkter"*. Jegrelius – Institutet för Grön Tillämpad Kemi. Östersund, 17 maj. 2011. [Online] Tillgänglig: http://www.larcentrum.se/wp-content/uploads/2013/11/Miljobedomning_Termotra_Standard.pdf
[Hämtad 1 apr. 2015]
- [31] Paroc. *"Byggvarudeklaration för yttre och inre miljö – Termisk isolering"*. Skövde, maj 99. [Online] Tillgänglig: http://www.sigab.com/bygg_dekl/nm-2.pdf
[Hämtad 1 apr. 2015]
- [32] Paroc. *"Byggvarudeklaration För Stenull från Paroc AB"*. 7 maj. 2005. [Online] Tillgänglig: http://www.isolerproffs.se/wp-content/uploads/2013/03/Bvd_Paroc_Stenull_20050705.pdf
[Hämtad 2 apr. 2015]
- [33] Paroc. *"BYGGVARUDEKLARATION BVD 3 enligt Kretsloppsrådets riktlinjer maj 2007"*. Skövde, 3 jan. 2014.

- [Online] Tillgänglig:
<http://www.paroc.se/~media/Files/Certificates/SE-BVD-200-se.ashx>
[Hämtad 2 apr. 2015]
- [34] Rockwool. ”*ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - 00131E rev 1*”. Oslo, 25 okt. 2013. [Online] Tillgänglig:
<http://www.rockwool.se/files/media/se/miljoeprofil/certifikat/miljo-deklaration-ROCKWOOL.pdf>
[Hämtad 7 apr. 2015]
- [35] Rockwool. ”*BYGGVARUDEKLARATION BVD 3 enligt Kretsloppsrådets riktlinjer maj 2007*”. Jönköping, 17 maj. 2013. [Online] Tillgänglig:
https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fdownload.rockwool.se%2Fmedia%2F23277131%2Fbvd%25203%2520130517.pdf&ei=goI3VemsBYO7swHSg4BY&usg=AFQjCNEjeLEUiEq7jYg_ExN4nPqmUkig_g&sig2=R9JkJarHHgzOd-3aIbjYrg&bvm=bv.91071109,d.bGg
[Hämtad 7 apr. 2015]
- [36] Saint-Gobain ISOVER AB. ”*Environmental product declaration – NEPD 00244E*”. 27 mar. 2014. [Online] Tillgänglig:
<http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Byggevarer/NEPD%2000244E%20ISOVER-UNI-skiva-35%20Godkjent.pdf>
[Hämtad 2 apr. 2015]
- [37] Saint-Gobain ISOVER AB. ”*BYGGVARUDEKLARATION BVD 3 enligt Kretsloppsrådets riktlinjer maj 2007*”. Billesholm, 4 feb. 2013. [Online] Tillgänglig:
http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Miljo_halsa/Byggvarudeklarationer/BVD3%20ISOVER%20glasull.pdf
[Hämtad 2 apr. 2015]
- [38] Chmielarski, J. ”*Life Cycle Assesement bei Armacell – Umveltauswirkungen von technischen Dämmstoffen*”. Heizungsjournal vol. 12, 2011. [Online] Tillgänglig:
<http://www.heizungsjournal.de/themenarchiv/HZJ122011FachbeitragDaemmstoffe.pdf>
[Hämtad 8 apr. 2015]

- [39] Armacell. "*Armacell – BREEAM and Green Guide Information*".
[Online] Tillgänglig:
<http://www.armacell.com/WWW/armacell/INETArmacell.nsf/standard/00EEE06014CCA79BC1257D5E004DA77E>
[Hämtad 10 apr. 2015]
- [40] Sonya Trad. SV: CO2-utsläpp per kWh. Personlig e-post till: A. Briggs. Den 16 apr. 2015.