SBUF

ID: 14111

2022-11-04

GRÖN LOGIK – TEKNISK ISOLERING

Den gömda och glömda energieffektiviseringspotentialen

Agneta Persson, Alexander Eriksson, Diar Balata, Anthesis AB, samt Peter Nyberg, Aktea Energy AB

SBUF stödjer
forskning & utveckling
som leder till
praktisk handling

FÖRORD

Det här projektet har genomförts i samverkan mellan 17 företag och organisationer: Aktea Energy AB, Anthesis AB, Bilfinger, Energieffektiviseringsföretagen, Fastighetsägarna, Innovationsföretagen, Installatörsföretagen, Isoleringsfirmornas förening, IV Produkt, Lindab, Paroc Owens Corning, Rockwool, Saint Gobain, Säker Vatten, SIAK AB, Svensk Ventilation, Swedisol och ÖPE Isolering AB.

ÖPE Isolering AB har varit huvudansvarig för projektet, och genomförandet av arbetet har letts av Agneta Persson på Anthesis AB. Hon är också huvudförfattare till rapporten. Peter Nyberg på Aktea Energy AB har ansvarat för beräkningarna,

Vi vill särskilt tacka SBUF för finansiering av detta uppdrag samt Samuel Risbeck, Bilfinger, Lotta Bångens, Energieffektiviseringsföretagen, Rikard Silverfur, Fastighetsägarna, Anders Persson, Innovationsföretagen, Hans Söderström, Installatörsföretagen, Johan Sjölund, Isoleringsfirmornas förening, Per-Eric Magnusson, IV Produkt, Ola Berg, Lindab, Mikael Fingal, ÖPE Isolering AB, Tomas Larsson, Rockwool, Nicklas Andersen, Saint Gobain, Martin Brunnkvist, Säker Vatten, Håkan Eriksson, SIAK AB, Britta Permats, Svensk Ventilation, Hanna Sjösvall, Paroc Owens Corning och Veronica Koutny Sochman, Swedisol, för såväl gott samarbete som medfinansiering.

Stockholm i november 2022,
Agneta Persson

SAMMANFATTNING

Teknisk isolering är den gömda och glömda energieffektiviseringspotentialen. Den här typen av åtgärder ingår sällan eller aldrig i de analyser som görs av potentialen för hela byggnadsbeståndet. Det finns inga beräkningar av hur stor den lönsamma potentialen i Sverige är för åtgärder som bidrar till en bättre teknisk isolering. Målet med studien är att bidra till att möjliggöra transformationen till ett hållbart energisystem och nå de samhälleliga klimatmålen, samt att stärka möjligheterna för såväl fastighetsägare som tillverkare, installatörer och projektörer av teknisk isolering att bidra till omställningen.

Syftet med studien är att analysera den privatekonomiskt lönsamma potentialen för teknisk isolering i svenska flerbostadshus, samt att undersöka hur denna potential förhåller sig till den samhällsekonomiskt lönsamma nyttan.

I projektet har potential och lönsamhet analyserats för följande fem åtgärder för förbättrad teknisk isolering:

1. Isolering av fjärrvärmeundercentraler
2. Isolering av VVC-system
3. Isolering av markkulvert inom fastigheter
4. Isolering av ventilationskanaler på kallvind
5. Isolering av rörledningars flänsar och ventiler

Åtgärdernas potentialer kan adderas. Det råder ingen överlappning mellan de olika åtgärdernas potential. Förbättrad isolering av ventiler ingår i tre av åtgärderna, men ventilerna finns i separata delar av systemet.

Fyra av åtgärderna är privatekonomiskt lönsamma. Förbättrad isolering av markkulvert inom fastigheter är den enda av åtgärderna som inte är privatekonomiskt lönsam, men förlusten är försumbar. Det ska noteras att bristen på statistik över omfattning och utförande på befintliga sekundära kulvertsystem innebär att det är risk att de antaganden som gjorts överskattar prestandan för befintlig isolering, och att energieffektiviseringspotentialen därmed underskattas. En endast liten förändring i förutsättningarna skulle innebära att även denna åtgärd är privatekonomiskt lönsam.

De beräkningar som har genomförts baseras på ett typhus hämtat ur Boverkets BETSI-rapport. För typhuset ger de fyra lönsamma åtgärderna en energieffektivisering på 380 MWh över åtgärdernas tekniska livslängd, och på årsbasis en potential på 7,6 MWh/år. I ekonomiska termer ger de fyra privatekonomiskt lönsamma åtgärderna en besparing på ca 38 600 SEK per typhus över åtgärdernas tekniska livslängd. Uppskalat till hela flerbostadshusbeståndet blir kostnadsbesparingen ca 7,6 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd.

Sett ur ett samhällsekonomiskt perspektiv är nyttan av teknisk isolering ännu större. Alla de fem analyserade åtgärderna är samhällsekonomiskt lönsamma. I ekonomiska termer ger de fem åtgärderna en samhällsekonomisk nytta på minst 0,5 kSEK/typhus över åtgärdernas tekniska livslängd. Uppskalat till hela flerbostadshusbeståndet blir den samhällsekonomiska nyttan mer än 96 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd. Den samhällsekonomiska nyttan är räknad utifrån att även den åtgärd som inte bedöms vara privatekonomiskt lönsam genomförs. Det innebär i praktiken att ett visst stöd kan komma att behövas för att motivera de investeringarna, vilket är rimligt med hänsyn till åtgärdens stora samhällsekonomiska nytta.

År 2021 var energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i det svenska flerbostadshusbeståndet 28,7 TWh år. De fyra privatekonomiskt lönsamma åtgärderna har en energieffektiviseringspotential på 1,1 TWh/år för hela det svenska flerbostadshusbeståndet, det motsvarar ca 3,8 procent av de svenska flerbostadshusens energianvändning för uppvärmning och varmvatten. Inkluderas även den femte åtgärden, vilket är motiverat av samhällsekonomiska skäl, är energieffektiviseringspotentialen 1,6 TWh/år. Det motsvarar 5,6 procent av flerbostadshusens årliga energianvändning för uppvärmning och varmvatten.

Typhuset som används i beräkningarna använder ca 194 MWh/år. Den privatekonomiskt lönsamma potentialen på 1,1 TWh/år som redovisas i denna rapport motsvarar hela den årliga energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i ca 5 700 flerbostadshus av samma slag som typhuset. Den samhällsekonomiska potentialen på 1,6 TWh/år motsvarar hela energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i drygt 8 200 typhus. Det motsvarar hela uppvärmningsbehovet för alla bostäder i en kommun som t.ex.. Simrishamn, Skara, Finspång, Salem, Kramfors, Mora eller Sollefteå.

Det är dock osannolikt att alla flerbostadshusägare genomför alla fem åtgärderna i sina byggnader. Det är känt sedan länge att energieffektiviseringsgapet, dvs skillnaden mellan vad som är lönsamt och vad som genomförs, är stort. Om vi antar att åtgärderna genomförs i 30 procent av flerbostadshusen blir den totala privatekonomiskt lönsamma potentialen som realiseras drygt 0,3 TWh/år, och den samhällsekonomiskt ekonomiskt lönsamma potential som med ett sådant antagande realiseras blir ca 0,5 TWh/år.

Potentialberäkningarna innefattar flera osäkerheter. Känslighetsanalyser har genomförts med avseende på energikostnad och åtgärdskostnader. Konsekvensen av ett fördubblat energipris är att alla åtgärder blir privatekonomiskt lönsamma. Den privatekonomiska besparingen blir mer än fem gånger större för flerbostadshusbeståndet och den samhällsekonomiska nyttan ökar med drygt en tredjedel över åtgärdernas tekniska livslängd. För åtgärdskostnader har två scenarier analyserats i känslighetsanalysen. Med en 15 procent kostnadsökning minskar den privatekonomiska lönsamheten med 30 procent medan den samhällsekonomiska nyttan minskar med 4 procent. Vid en 30 procent åtgärdskostnadsökning minskar den privatekonomiska besparingen med drygt 50 procent samtidigt som den samhällsekonomiska nyttan minskar med 8 procent.

De beräkningar som redovisas baseras på ett antal antaganden. En faktor som skulle kunna innebära att potentialen är överskattad är att referensscenariot tar begränsad hänsyn till åtgärdskostnadsökningar. Men ett antal andra antaganden innebär att potentialen underskattas, bl.a. att analysen endast inkluderar ett urval samhällsekonomiska faktorer, att inte alla mervärden har kunnat kvantifieras monetärt och att referensscenariot inte har tagit hänsyn till den senaste tidens höjda energipriser. Sammantaget bedöms åtgärdernas lönsamhet vara underskattade.

Med hänsyn till både den stora och ofta förbisedda privatekonomiskt lönsamma energieffektiviseringspotentalen och de stora samhällsekonomiska nyttor som teknisk isolering bidrar till är det uppenbart att teknisk isolering behöver få mer uppmärksamhet. Våra generella rekommendationer är att bygga upp mer kapacitet och kompetens om teknisk isolering inom bygg- och fastighetsbranschens alla yrkeskårer: lägg mer omsorg på teknisk isolering hela vägen från projektering till slutförande både i nya byggnader och vid renovering av befintliga byggnader, optimera den tekniska isoleringen i samband med nyproduktion, utnyttja alltid renovering och uppgradering för att förbättra den tekniska isoleringen, använd distansskålar för att lättare få plats med isoleringen med bibehållen isoleringsklass, isolera enligt rekommendation i BTI samt utveckla enkla och billigare metoder för detektering av risk för fukt- och mögelskador.

INNEHÅLL

1 BAKGRUND 6

1.1 MÅL OCH SYFTE MED STUDIEN 6

2 METODIK 7

2.1 GENOMFÖRANDE 7
2.2 VAL AV TYPHUS 7
2.3 AVGRÄNSNINGAR OCH IDENTIFIERING AV LÄMPLIGA ÅTGÄRDER 8
2.4 VAL AV ÅTGÄRDER 8
2.5 BERÄKNING AV ENERGIEFFEKTIVISERINGSPOTENTIAL OCH LÖNSAMHET FÖR VALDA ÅTGÄRDER 8
2.6 BERÄKNING SAMHÄLLSEKONOMISK POTENTIAL FÖR DE VALDA ÅTGÄRDERNA 9
2.7 ARBETSGRUPP, STYRGRUPP OCH REFERENSGRUPP 9

3 OMVÄRLDSANALYS 11

3.1 ALTERNATIVA VVC-LÖSNINGAR I FLERBOSTADSHUS 11
3.2 UTVÄRDERING AV TEKNISK ISOLERING FÖR MINSKAD KLIMATPÅVERKAN 11
3.3 IF:S EN HANDBOK I TEKNISK ISOLERING 12
3.4 EIIF:S RAPPORT THE INSULATIONS CONTRIBUTION TO DECARBONIZE INDUSTRY 14

4 BERÄKNING AV SAMHÄLLSEKONOMISK LÖNSAMHET 15

4.1 MERVÄRDEN 15
4.2 KVANTIFIERADE MERVÄRDEN 15
4.3 ICKE KVANTIFIERADE MERVÄRDEN 21

5 ANALYS AV DE VALDA ÅTGÄRDERNA 24

5.1 ISOLERING AV FJÄRRVÄRMEUNDERCENTRALER 24
5.2 ISOLERING AV VVC-SYSTEM 26
5.3 ISOLERING AV MARKKULVERT INOM FASTIGHETER 28
5.4 ISOLERING AV VENTILATIONSKANALER PÅ KALLVIND 30
5.5 ISOLERING AV FLÄNSAR OCH VENTILER 32

6. SAMMANVÄGD ANALYS 34

6.1 SAMLAD PRIVATEKONOMISKT LÖNSAM ENERGIEFFEKTIVISERINGSPOTENTIAL 34
6.2 SAMLAD SAMHÄLLSEKONOMISK BESPARING 35
6.3 KÄNSLIGHETSANALYS - RESULTAT VID OLIKA ENERGIKOSTNAD 35
6.4 FAKTORER SOM PÅVERKAR POTENTIALEN 37
6.5 SLUTSATSER OM FÖRBÄTTRAD TEKNISK ISOLERING 38
6.6 REKOMMENDATIONER 39

7. REFERENSER 40

BILAGA 1: DETALJERADE ENERGIBERÄKNING AV ISOLERING AV FJÄRRVÄRMEUNDERCENTRALER 42

BILAGA 2: DETALJERAD BERÄKNING AV ISOLERING AV VVC-SYSTEM 52

BILAGA 3: DETALJERAD BERÄKNING AV ISOLERING AV MARKKULVERT INOM FASTIGHETER 57

BILAGA 4: DETALJERAD BERÄKNING AV ISOLERING AV VENTILATIONSKANAL PÅ KALLVIND 62

BILAGA 5: DETALJERAD BERÄKNING ISOLERING AV FLÄNSAR OCH VENTILER 68
BILAGA 6: FÖRDELNING EL OCH FJÄRRVÄRME 73

1 Bakgrund

I studien *Grön logik - Den samhällsekonomiska potentialen från energieffektivisering i byggnader* (Anthesis, 2021) studerades skillnaden mellan privatekonomisk lönsam potential och samhällsekonomiskt lönsam potential för energieffektivisering i den svenska bebyggelsen. Analysen baserades i huvudsak på potentialstudier som är genomförda inom ramen för Energimyndighetens nätverk BeSmå, BeBo och Belok. De potentialstudierna är genomförda med hjälp av Energimyndighetens verktyg HEFTIG. Studien visar att det finns en mycket stor privatekonomisk lönsam energieffektiviseringspotential i bebyggelsen, och en ännu större samhällsekonomiskt lönsam potential.

Antalet effektiviseringsåtgärder som är inkluderade i HEFTIG-analyserna är dock begränsat. De innehåller t.ex. inga åtgärder som är som avser teknisk isolering, dvs isolering av ventilationskanaler och -aggregat, fjärrvärmeundercentraler och -kulvertar, vattenledningar m.m. Så vitt vi känner till finns det heller inga vetenskapligt genomförda analyser av den samlade energieffektiviseringspotentialen för teknisk isolering i Sverige. Denna uppfattning bekräftas bl.a. av framstående energiforskare vid Linköpings Universitet.

Det finns således inga beräkningar av hur stor den lönsamma potentialen i Sverige är för åtgärder som bidrar till en bättre teknisk isolering. Men baserat på bl.a. branschorganisationernas kunskapsläge, vårt projektteams praktiska erfarenheter av energikartläggningar av byggnader och förstudier och projekt om energieffektivisering kopplade till bl.a. nya varmvattencirkulationslösningar (VVC) bedömer vi att den lönsamma potentialen är stor.

1.1 Mål och syfte med studien

Målet med studien är att bidra till att möjliggöra transformationen till ett hållbart energisystem och nå de samhälleliga klimatmålen, samt att stärka möjligheterna för såväl fastighetsägare som tillverkare, installatörer och projektörer av teknisk isolering att bidra till omställningen.

Syftet med studien är att analysera den privatekonomiskt lönsamma potentialen för teknisk isolering i svenska flerbostadshus, samt att undersöka hur denna potential förhåller sig till den samhällsekonomiskt lönsamma potentialen för teknisk isolering. Syftet är också att identifiera hinder för genomförande av åtgärder som förbättrar den tekniska isoleringen av installationer, kanaler, ledningar, kulvertar med mera i och mellan bostadsbyggnader, samt att identifiera kostnadseffektiva åtgärder som kan bidra till att realisera en större del av den lönsamma potentialen. Arbetet har koppling både till energianvändning och effektbehov, och kan bl.a. bidra till mervärden i form av minskat behov av utbyggnad av ny energiproduktion. Det har också koppling till hälsorelaterade mervärden som t.ex. minskad risk för legionella-relaterad sjukdom och bättre inomhusklimat genom förbättrad ventilationseffektivitet.

2 METODIK

Arbetet omfattade följande moment:

- Bildande av referensgrupp och styrgrupp för projektet
- Identifiering och val av åtgärder som ska vara med i analysen
- Analys av förutsättningarna för de valda energieffektiviseringsåtgärderna samt beräkning av deras privatekonomiska energieffektiviseringspotential
- Analys av möjliga mervärden för de valda energieffektiviseringsåtgärderna samt identifiering av vilka mervärden som kan kvantifieras i monetära termer
- Analys av den samhällsekonomiska potentialen för de valda energieffektiviseringsåtgärderna
- Jämförelse mellan privatekonomisk och samhällsekonomisk lönsamhet för de valda energieffektiviseringsåtgärderna
- Rapportskrivning och spridningsaktiviteter

2.1 Genomförande

Arbetet inleddes med att fastställa vilka personer som skulle medverka i referensgruppen. Medlemmar i styrgruppen fastställdes i samband med utformningen av ansökan till SBUF.

Därefter identifierade vi åtgärder som kan innefattas i begreppet teknisk isolering i bostadsbyggnader. Efter det valde vi tillsammans med styrgruppen och referensgruppen det urval av åtgärder som skulle ingå i analysen, och fastställde slutgiltigt studiens avgränsningar.

Efter detta undersökte vi vad som kan vara ett lämpligt typhus, och valde tillsammans med referensgruppen det typhus som beräkningarna baseras på.

Sedan genomförde vi analyser av energieffektiviseringspotentialen för de valda åtgärderna och vilka mervärden åtgärderna bidrar med i ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Därefter beräknades och analyserades åtgärdernas privatekonomiska och samhällsekonomiska lönsamhet.

Efter det sammanställdes alla analyserna, slutsatser drogs av analyserna och rekommendationer för åtgärderna sammanställdes och presenteras i denna rapport. Utöver detta har vi tagit fram en plan för hur vi kan sprida den kunskap som arbetet har genererat.

2.2 Val av typhus

För att beräkna den potentiella energieffektiviseringen för teknisk isolering i flerbostadshus har ett typhus använts som ska motsvara den svenska bebyggelsen av flerbostadshus. Det typhus som har använts är samma byggnad som Boverket har använt som ”Det genomsnittliga flerbostadshuset” i sin BETSI-studie som genomfördes år 2007-2008. Huset är byggt år 1959 och består av källare samt tre våningar ovan mark. Den uppvärmda arean, A_{temp}, är 1 426 m² och byggnaden har 14,55 lägenheter. Typhuset definieras i ”Teknisk status i den svenska bebyggelsen – resultat från projektet BETSI” utgiven av Boverket 2010.

Eftersom typhuset motsvarar ett genomsnitt för den svenska bebyggelsen kan det skalas upp på en nationell nivå och ge en generell bild av den totala potentialen för teknisk isolering i flerbostadshus. Detta är en stark förenkling av verkligheten och i praktiken råder stora skillnader mellan individuella byggnader, vilket också har påverkan på lönsamheten för olika åtgärder.

2.3 Avgränsningar och identifiering av lämpliga åtgärder

Denna studie har avgränsats till att avse flerbostadshus, trots att det med stor sannolikhet finns en mycket stor energieffektiviseringspotential för teknisk isolering också i småhus, lokalbyggnader och i industrin. Avgränsningen har valts för att säkerställa att ett resultat av god kvalitet ska kunna säkerställas.

Resultatet av arbetet kan ses som en plattform som successivt kan utvidgas med fördjupad kunskap. En utvidgning av omfattningen skulle kunna ske i en fortsättning av detta arbete skulle kunna ske och finansieras på olika sätt. För småhus skulle en fördjupning kunna ske inom ramen för Energimyndighetens satsningar på renoveringsvågen och expertpooler för renovering, för lokalbyggnader bedömer vi att underlag för en motsvarande analys skulle kunna byggas upp genom den nya etapp av Stegvis förbättrad energistatistik för lokaler (STIL3) som Energimyndigheten planerar för. En analys av potentialen i industrisektorn skulle behöva genomföras i samverkan med några av industrins branschorganisationer, inte minst för att säkerställa att de mervärden som inkluderas i analysen är de mest relevanta för industrisektorn.

2.4 Val av åtgärder

De effektiviseringsåtgärder som har inkluderats i detta projekt är:

1. Förbättrad isolering av fjärrvärmeundercentraler
2. Förbättrad isolering av VVC-system
3. Förbättrad isolering av fjärrvärmemarkkulvert inom fastigheter
4. Förbättrad isolering av ventilationskanaler på kallvind
5. Förbättrad isolering av rörledningars flänsar och ventiler

Åtgärderna avser endast installationer i flerbostadshus. I valet av möjliga effektiviseringsåtgärder beaktades både åtgärders likvärdighet och Best Available Technology.

2.5 Beräkning av energieffektiviseringspotential och lönsamhet för valda åtgärder

Energieffektiviseringspotentialen har beräknats genom att inom typhuset fastställa ett grundfall som ska motsvara nuvarande status på den tekniska isoleringen. Vilken den nuvarande statusen är för den tekniska isoleringen har fastställts i samråd mellan arbetsgruppen och referensgruppen. Energianvändningen för grundfallet har sedan beräknat för samtliga åtgärder som har identifierats och inkluderats i projektet.

Därefter har Best Available Technology ”BAT” definierats. Generellt motsvarar detta rekommendationerna enligt Branschstandard Teknisk Isolering. Det innebär att det inte alltid är den absolut bästa isoleringen som utgör BAT utan snarare den isoleringsnivå som bästa nivå som bedöms vara tekniskt möjlig att åstadkomma. Beräkningarna har inte tagit hänsyn till vilket material som används i isoleringen, utan kravställs baserat på U-värde enligt BTI. Det innebär att inte heller användandet av t.ex. distansskålar påverkar beräkningsresultatet.

Därefter har skillnaden mellan beräknats mellan grundfallets energianvändning och BAT typhuset. För uppskalning till nationell nivå har denna skillnad multiplicerats med antalet flerbostadshus där åtgärden kan genomföras.

Baserat på resultatet för den nationella potentialen har sedan energieffektiviseringspotentialen fördelats på fjärrvärme och el proportionellt mot andelen av svensk flerbostadshusbebyggelse värmd med fjärrvärme respektive el.

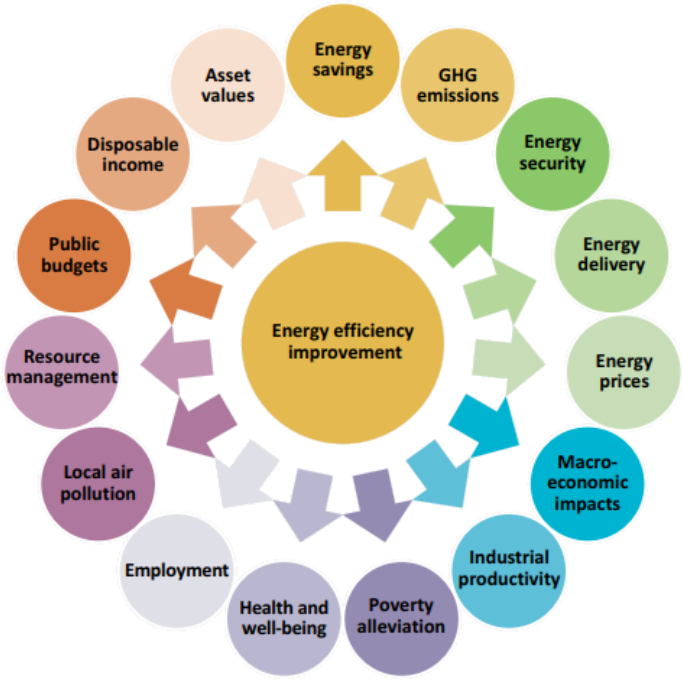
Investeringskostnaden för de olika åtgärderna har generellt hämtats från Wikells Sektionsfakta och tar hänsyn till material, mantimmar samt borttransport av demonterat material. Alla åtgärder förutom byte av kulvert har beräknats utan etableringskostnader för entreprenaden eftersom beräkningarna utgår ifrån antagandet att åtgärderna utförs i samband med en större renovering.

Beräkningarna av åtgärdernas lönsamhet är gjorda baserat på beräkningar av potentialer och kostnader över åtgärdernas tekniska livslängd. Lönsamhetsberäkningarna baseras på åtgärdernas merkostnader, dvs de kostnader som tillkommer om åtgärden genomförs i samband med renovering eller genomförande av annan åtgärd. En diskonteringsränta på 3,5 % har använts. För isolering av fjärrvärmekulvert mellan byggnader i samma fastighet har lönsamhetsberäkning skett både baserat på merkostnad och på total investeringskostnad. Det har i de beräkningarna antagits att kostnaderna för ett kulvertsystem delas på två typhus.

2.6 Beräkning samhällsekonomisk potential för de valda åtgärderna

Den samhällsekonomiskt lönsamma potentialen har baserats på det privatekonomiska värdet kompletterat med de mervärden, dvs värden utöver energieffektivisering, som åtgärderna leder till. Mervärdena kan t.ex. vara minskat effektbehov, minskat behov av att bygga ut ny el- eller fjärrvärmeproduktion, förbättrad produktivitet, bättre hälsa och bättre inomhusmiljö.

I beräkningarna av den samhällsekonomiskt lönsamma potentialen för förbättrad teknisk isolering har vi så långt det varit möjligt ansatt ett monetärt värde på mervärdena. Det har skett med hjälp av samhällsekonomiska värderingar. Källor till sådana värden är bl.a. Trafikverkets ASEK-värden och EU-projektet COMBI (Calculating and Operationalising the Multiple Benefits of Energy Efficiency in Europe).



Figur 1: Mervärden av energieffektiviserande renoveringsåtgärder. Källa: IEA (2014).

2.7 Arbetsgrupp, styrgrupp och referensgrupp

Projektet har haft en arbetsgrupp, en styrgrupp och en referensgrupp. ÖPE Isolering AB har varit huvudansvarig för projektet och genomförandet av arbetet har letts av Anthesis AB.

Arbetsgrupp:

- Agneta Persson, Anthesis
- Alexander Eriksson, Anthesis
- Diar Balata, Anthesis
- Erik Gråd, Anthesis
- Krister Mars, Anthesis
- Peter Nyberg, Aktea
- Niklas Söderström Aktea

Styrgrupp:

- Mikael Fingal, ÖPE Isolering AB
- Johan Sjölund, Isoleringsfirmornas Förening
- Veronica Koutny Sochman, Swedisol
- Britta Permats, Svensk Ventilation
- Martin Brunnkvist, Säker Vatten
- Lotta Bångens, Energieffektiviseringsföretagen

Referensgrupp:

- Mikael Fingal, ÖPE Isolering AB
- Johan Sjölund, Isoleringsfirmornas Förening
- Veronica Koutny Sochman, Swedisol
- Britta Permats, Svensk Ventilation
- Hans Söderström, Installatörsföretagen
- Lotta Bångens, Energieffektiviseringsföretagen
- Martin Brunnkvist, Säker Vatten
- Hanna Sjösvall, Paroc Owens Corning
- Ola Berg, Lindab
- Anders Persson, Innovationsföretagen
- Samuel Risbeck, Bilfinger
- Per-Eric Magnusson, IV Produkt
- Rikard Silverfur, Fastighetsägarna
- Nicklas Andersen, Saint Gobain
- Tomas Larsson, Rockwool

Arbetet har bedrivits i nära samarbete mellan arbetsgruppen, referensgruppen och styrgruppen.

3 OMVÄRLDSANALYS

I detta kapitel presenteras kortfattat de studier och litteratur om teknisk isolering som har identifierats i projektets omvärldsanalys.

3.1 Alternativa VVC-lösningar i flerbostadshus

Förstudien Alternativa VVC-lösningar i flerbostadshus (BeBo, 2021:04) beskriver vilka alternativa lösningar som finns tillgängliga för att minska energiförlusterna från VVC-system. Rapporten redovisar energiberäkningar för dessa alternativa systemlösningar. För att kunna redovisa på lika villkor för systemen genomfördes beräkningarna för ett typhus som på bästa sätt skulle ta hänsyn till utformningen av både nyutvecklade och befintliga hus.

Typhuset hade två trapphus, åtta lägenheter per våningsplan och fem våningar, således består byggnaden av 40 lägenheter. Utöver dessa finns ett källarplan med förråd, tvättstuga och fjärrvärmeundercentral i typhuset. Dess totala area i A_{temp} är 5 922 m^2.

Följande systemlösningar beskrevs i förstudien:

- **Grundfall 1** – Systemlösning där tappvattenstammen och VVC-rören går i gemensamt schakt i trapphuset. Från trapphusschaktet går tappvarmvattenrör in i de enskilda lägenheterna (till fördelarskåp).
- **Grundfall 2** – System där ett tappvarmvattenschakt delas av två lägenheter per våningsplan, schakten är placerade i lägenhetsskiljande väggar.
- **Grundfall 3** – Varje toalett/dusch har eget schakt som betjänar samtliga tappställen i respektive lägenhet för varje våningsplan.
- **Grundfall 4** – Samma som grundfall 1, men med en avstickare för VVC till varje separat lägenhet.
- **CVV (Cirkulerande tappvarmvatten)** – CVV är ett system som bygger på att en eller flera tappvarmvattenledningar används som framledning och/eller returledning i stället för en separat returledning för varje tappvarmvattenrör. Detta togs fram av en BRF i Trångsund som hade problem med energianvändningen och oro för legionella.
- **3E Flow** – 3E Flow är ett behovsstyrt tomrörsystem där vattenrören står tomma när det inte finns något tappvattenbehov i lägenheterna.
- **DVV** – DVV innebär decentraliserad tappvarmvattenberedning. Uppvärmningen av tappvarmvattnet kan ske på olika sätt med el (elektrisk genomströmningsberedare, värmepump, tappvarmvattenberedare eller elektrisk vattenvärmare).
- **VVC–Booster** – En VVC-booster är en värmepump som placeras i fjärrvärmeundercentralen. VVC-boostern är en luftvärmepump som utnyttjar den övertemperatur som uppstår i fjärrvärmeundercentralen på grund av att fjärrvärmeväxlaren är dåligt isolerad och övrig processvärme från andra installationer och elcentraler. VVC-boostern åtgärdar således inte problemet med höga VVC-förluster i ett dåligt projekterat och byggt varmvattencirkulationssystem, men kan vara en lättinstallerad och billig installation för att förbättra energiprestandan i en fjärrvärmeundercentral med stora värmeförluster.

3.2 Utvärdering av teknisk isolering för minskad klimatpåverkan

Denna studie är ett examensarbete som ingick i projektet Fossilfri förskola. Projektets mål var att bygga och driva en förskola med minimal klimatpåverkan. Rapporten lägger stor vikt vid teknisk isolering av varmvattenledningar, tappvarmvattensystem och varmvattencirkulation. En konceptförskola användes som grund för de beräkningar som redovisas i rapporten. Tre isoleringsmaterial undersöktes, dessa var glasull, stenull och cellulosa. Materialen användes och testades i olika tjocklekar för att identifiera vad det optimala materialet och tjockleken var för

isolering av rören för att minska den totala klimatbelastningen. I examensarbetet undersöktes vidare vilka andra utredningar och rapporter som fanns med fokus på teknisk isoleringsstatus. En litteratursökning genomfördes för att identifiera relevanta underlag för analysen. Examensarbetarna hittade en samvarians mellan många olika faktorer, exempelvis ventilationskanalers täthet samt isolertjocklek och isolermaterial, mellan prestanda för isolering och brandskydd samt mellan köldbryggor, ljud och material.

Enligt examensarbetet är klimatpåverkan för driften högre än klimatpåverkan för isolermaterialet. När det gäller isoleringen föreslås att isolertjockleken bör öka för att minska den totala klimatbelastningen. Glasull gav den lägsta klimatbelastningen med de gränser som fastställdes i examensarbetet. I Diagram 1 redovisas klimatpåverkan i form av CO_2-ekvivalenter mellan befintlig projektering, optimal projektering och projektering med cellulosa. De kunde beskrivas på följande sätt:

- Befintlig kombination består av rörskål med glasull från Isover med 60 mm isolertjocklek samt fjärrvärme med dagens miljövärden som uppvärmningssystemet.
- Optimal kombination består av rörskål med glasull från Isover med 70 mm isolertjocklek samt fjärrvärme med bra energival som uppvärmningssystem.

Vidare redovisas examensarbetets beräkningar att den optimala kombinationen minskar den totala klimatbelastningen med 75 procent jämfört med den befintliga konstruktionen.

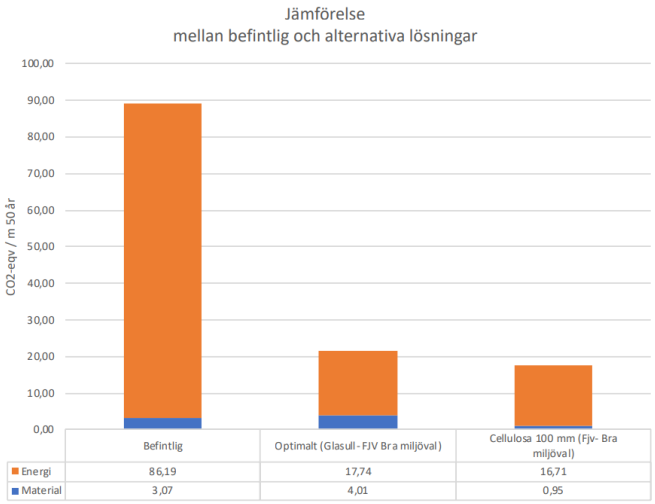


Diagram 1: Jämförelse mellan befintlig, optimal och cellulosaisolering. Källa: (Altun, 2018).

Genom att den optimala lösningen minskar energianvändningen för driften med 80 procent minskar klimatpåverkan också med 80 procent jämfört med den befintliga konstruktionen. Enligt examensarbetets resultat är den optimala isolertjockleken proportionell mot driftenergin, men det finns fortfarande utrymme för förbättringar ur ett materialperspektiv. Alla beräkningsresultat i examensarbetet visar att en ökning av isolertjockleken minskar klimatpåverkan. Oavsett materialval är det viktigt att utvärdera en ökning av isolertjockleken oberoende av driftaspekten. Vidare visar resultatet att nya material som cellulosaisolering har stor potential att minska miljöpåverkan. I examensarbetet drogs slutsatsen att det optimala isoleringsmaterialet och tjockleken var glasull var 70 mm.

3.3 IF:s En handbok i Teknisk Isolering

Handboken beskriver hur val av teknisk isolering bör göras för att få rätt temperatur, prestanda och energianvändning. Handboken beskriver bland annat hur olika byggaktörer (beställare, projektörer,

VVS-installatörer, isoleringsentreprenörer och besiktningspersoner) ska göra för att välja rätt form av teknisk isolering.

En del av handboken beskriver branschrekommendationer för teknisk isolering av olika system (VVC, fjärrvärme m.m.). Här ges också en värdering av systemens energieffektivitet och en betygsättning av systemen mellan A och C (där A är det mest energieffektiva). Vidare innehåller handboken också en sammanställning av rapporter som handlar om forskning och utveckling som skett inom teknisk isolering. Dessa rapporter listas nedan.

Från böna till kopp via välisolerade rör

Rapporten är ett examensarbete från Karlstad universitet. I arbetet undersöktes om förbättrad isolering skulle vara ett kostnadseffektivt sätt för kaffeproducenten Löfbergs att energieffektivisera sin förädlingsprocess för att producera de bönor som används för kaffebryggning. De beräkningar som gjordes visar att den signifikant största potentialen till minskning av energiförlusterna var att förbättra isoleringen av de delar i systemet som var oisolerade. I rapporten beskrivs hur Löfbergs skulle kunna minska sina energiförluster med 74 procent, men det finns inte plats att installera den isolertjocklek som krävs för det eftersom utrymmena i kafferosteriet var för små. Den isolertjockled som var möjlig att installera gav en minskning av energianvändningen på 47 procent.

Energikartläggning av VVC-systemet i flerbostadshus

Denna rapport skrevs som ett examensarbete på KTH. Syftet var att kartlägga var värmeförlusterna i VVC-systemet sker och att undersöka huruvida teknisk isolering påverkar varmvattenförlusterna. Examensarbetet visade att det sker stora värmeförluster från VVC-systemet och att detta inte utnyttjas på ett optimalt sätt. Examensarbetet redovisar också att det finns ekonomisk potential att vid både nybyggen och renovering investera i tjockare rörisolering. Rapporten redovisar att det energieffektiviseringspotentialen ligger i spannet 450–1 960 kWh/lägenhet och år.

Kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus - mätningar i 12 fastigheter

Denna rapport genomfördes för Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus, BeBo. I rapporten beskrivs en kartläggning av VVC-förlusterna i 12 fastigheter. Kartläggningen visade att VVC-förlusterna ofta är stora i nyproducerade flerbostadshus, på grund av att VVC-ledningen dras från rörschakt i trapphus hela vägen fram till lägenheten. En annan orsak till de stora VVC-förlusterna som nämns i rapporten är bristfällig projektering som gör att VVC och varmvatten dras i för långa ledningar, exempelvis i markkulvert. De genomförda mätningarna visade att VVC-förlusterna kan innebära energiförluster mellan 2,3 och hela 28 kWh/m² A_{temp}, år. Rapportens slutsatser om vad som behöver göras för att minska VVC-förlusterna är att:

- Det är vitalt att det sker en dialog med VVS-projektörer och arkitekter i ett tidigt skede av projektet,
- Använda flera rörschakt för att minska horisontella rördragningar till badrum och kök,
- Vid samtliga tappställen ha minst 50°C för att minimera risken för legionella,
- Undvika rörexponering i fjärrvärmeundercentraler genom en bra värmeisolering,
- Användningen av energi för varmvatten, fastighetsel och fjärrvärme har en kontinuerlig uppföljning,
- Stänga av värmesystem på sommaren.

Förstudie av VVC-förluster i flerbostadshus

Denna förstudie togs också fram inom BeBo. Rapporten redovisar ett statistiskt underlag som användes för att analysera och få fram hur stora VVC-förlusterna är i olika typer av flerbostadshus. Rapportförfattarna kom fram till att den genomsnittliga VVC-förlusten i flerbostadshus var 17,4

kWh/m² $A_{temp,}$ år och att dessa förluster är som störst för byggnader från 1970- och 1980-talet. Även denna förstudie konstaterar att en stor del av förlusterna sker i de oisolerade delar av fjärrvärmeundercentralen och att värmesystemet är i drift under sommaren trots att det inte behövs.

3.4 EiiF:s rapport The insulations contribution to decarbonize industry

Denna rapport beskriver hur den industriella isoleringsbranschen har en betydande potential för energibesparingar och utsläppsminskningar i samband med förbättrad värmeisolering i industrin. Rapporten beskriver hur denna potential för närvarande är outnyttjad trots att det skulle vara ekonomiskt lönsamt och att det skulle hjälpa industrin att bli koldioxidneutralt. 2050. Rapporten uppskattade att energipotentialen för teknisk isolering inom industrin var ungefär 4,5 TWh i Sverige.

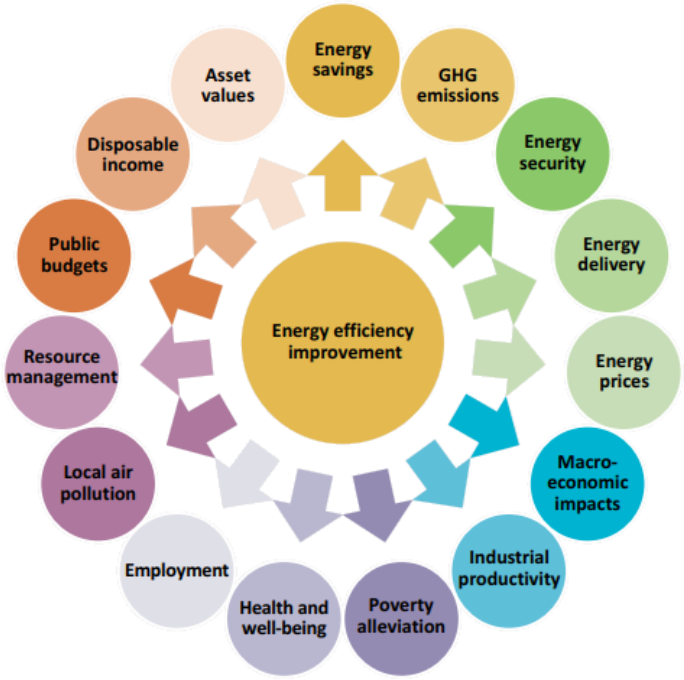
Europeiska stiftelsen för industriell isolering (EiiF) gav konsultföretaget Ecofys i uppdrag att analysera potentialen för industriell isolering. I uppdraget skulle de identifiera utmaningar och i vilka fall det är dags att uppdatera och anpassa siffrorna samt att undersöka hur processen för att realisera potentialen kan påskyndas. EiiF:s TIPCHECK-erfarenhet, med cirka 2 500 utförda revisioner av värmeenergi under de senaste 10 åren visar att industrin använder isolersystem som varken är kostnadseffektiva eller energieffektiva under rådande marknadsförhållanden. Gamla och föråldrade tekniska specifikationer, som främst fokuserar på process- och säkerhetsaspekter används fortfarande i stor utsträckning inom industrin i dag. De konstaterade också att det i många fall är värmeisoleringen i industrin som är dåligt underhållen och det är därför stora delar av den förblir oisolerad. Detta leder till stora värmeförluster.

Rapporten beskriver vidare hur dålig isolering inte bara leder till ökade energikostnader och onödiga växthusgasutsläpp, utan också till högre värmeenergiförluster, vilket kan påskynda slitage och leda till fler skador och mer frekventa haverier. Andra effekter av dålig isolering är bland annat minskad produktkvalitet och ökade underhållskostnader. I många fall är energiförlusten i klimatkontrollerade arbetsutrymmen en ytterligare belastning på kylsystemen. Beroende på temperaturen kan den ökande andelen oisolerade och/eller skadade isoleringssystem idag variera mellan 2 och 10 procent.

4 Beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet

4.1 Mervärden

Här redogör vi för mervärden som kan kopplas till de utvalda åtgärderna för förbättrad teknisk isolering. För identifieringen av dessa mervärden tar vi utgångspunkt i IEA:s (2015) ramverk kring mervärden för energieffektivisering. Först identifieras mervärden för respektive åtgärdsförslag, därefter ges en värdering av mervärdena. Värderingen är indelad i kvantifierade respektive icke kvantifierade mervärden. I de fall mervärdena inte har kunnat kvantifierats beskrivs de kvalitativt.



Figur 2: Mervärden av energieffektiviserande renoveringsåtgärder. Källa: Capturing the multiple benefits of energy efficiency, IEA (2015).

I samråd med projektets referensgrupp och baserat på den genomförda litteraturgenomgången om mervärden för teknisk isolering har ett antal mervärden identifierats. Mervärdena är kopplade till de åtgärder för förbättrad teknisk isolering som analyseras i denna studie, och presenteras här i förhållande till respektive åtgärd.

4.2 Kvantifierade mervärden

Baserat på den genomförda litteratursökningen och genomgången av dataunderlag har ett antal mervärden kunnat kvantifieras och värderas monetärt. De mervärden som det inte varit möjligt att värdera monetärt beskrivs kvalitativt i nästa avsnitt. Nedan ges en sammanställning av de antagna värden för grundläggande parametrar som har använts i beräkningarna. Ekonomisk besparing och kvantitativa mervärden har sammanställts i tre tabeller längst ner i detta avsnitt, baserat på tre scenarier av åtgärdskostnader.

Tabell 1: Antagna värden för grundläggande parametrar för monetär kvantifiering av mervärden av energieffektivisering.

Parameter	Antaget värde	Källa
Elpris	0,98 SEK/kWh (viktat pris*)	Egen beräkning baserad på Prisdialogen (2021)
Fjärrvärmepris		
Social kostnad för koldioxid**	6450 SEK/ton CO_{2e}	Trafikverket (2020)
Real diskonteringsränta	0,035 (3,5 %)	Trafikverket (2020)
Emissionsfaktor elproduktion	93,2 g CO_{2e}/kWh	IVL (2021)
Emissionsfaktor fjärrvärme	52 g CO_{2e}/kWh	Energiföretagen (2021)

*Viktat pris utifrån potential (9 % el och 91 % fjärrvärme). Inkluderar skatter och avgifter. **Beräknat som (ASEK-värde – kostnad för utsläppsrätter (EU ETS) = 7 000 SEK/ton CO_{2e} – 550 SEK/ ton CO_{2e})

4.2.1 Ekonomisk besparing av minskad energianvändning

Det huvudsakliga värdet av minskad energianvändning genom teknisk isolering är den ekonomiska besparingen av minskad energianvändning. I beräkningen av den totala ekonomiska besparingen över åtgärdernas livslängd har en real diskonteringsränta på 3,5 % tillämpats baserat på Trafikverkets (2020) samhällsekonomiska kalkylvärden. Den ekonomiska besparingen beräknas utifrån det aktuella byggnadsbeståndet totala potential och energipriser för el och fjärrvärme. I den reala diskonteringsräntan tas hänsyn till inflation och vidare antas att energipriset därmed följer inflationen för åtgärdernas tekniska livslängd. Vi tillämpar alltså i denna beräkning ingen prognos över energiprisutvecklingen över tid.

4.2.2 Minskade utsläpp av växthusgaser

Emissionsfaktorer för växthushusgasutsläpp har hämtats från Sandgren och Nilsson (2021) och Energiföretagen (2021) för el respektive värme. Värdena finns att tillgå i Svensk Miljöemissionsdata (SMED). Den totala emissionsfaktorn för användning uppskattas till 93,2 g CO_{2e}/kWh och motsvarande emissionsfaktor för värme uppskattas till 53,7 g CO_{2e}/kWh. Beräkning av klimatutsläpp från olika energikällor och åtgärder som minskar energianvändningen är dock komplexa. För fjärrvärme produceras energin främst från förnybara källor och avfallsförbränning. Avfallsförbränningen har två syften, både energiförsörjning och avfallshantering. Klimateffekten rapporteras dock generellt på energiförsörjningen, vilket leder till att fjärrvärmens emissionsvärden bär hela utsläppsbördan för såväl energiförsörjning som avfallshantering.

För att främja enkelhet och tydlighet har vi i denna rapport använt oss av ovan nämnda uppskattningar för klimatpåverkan från el och fjärrvärme trots att fjärrvärmens utsläpp potentiellt är överskattade. För att sätta ett socialt värde på minskade koldioxidekvivalenter har vi använt det rekommenderade värdet på 7 000 SEK/ton CO_{2e} från ASEK 7.0, Trafikverkets Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden (2020). För att ta hänsyn till att en del av den samhällsekonomiska kostnaden redan internaliseras i energipriset genom att energiproducenterna deltar i handel med utsläppsrätter har vi subtraherat det genomsnittliga priset för europeiska utsläppsrätter från ASEK-värdet. Det genomsnittliga priset på utsläppsrätter år 2021 var 550 SEK/ton CO_{2e} och vi räknar därmed på den sociala kostnaden motsvarande 6450 SEK/ton CO_{2e}.[1]

4.2.3 Undvikt utbyggnad av energiinfrastruktur

Med samhällets kraftigt ökande elektrifiering krävs en utbyggnad av både elproduktion och eldistribution. Genom energieffektivisering kan behovet av ny elproduktion delvis minskas. Genom North European Energy Perspective Project (NEPP) (2020a) har kostnader för utbyggnad av

[1] https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pressmeddelanden/utslappen-okade-med-106-procent-i-EUs-utslappshandel-2021/

elproduktion estimerats. I projektet har man uppskattat att investeringsbehovet för ökad elproduktionskapacitet i Sverige mellan åren 2021 och 2050 kommer att uppgå till mellan 560 och 640 miljarder SEK för att möta ett ökat produktionsbehov på ytterligare 50 TWh per år. Det motsvarar cirka 0,4 SEK/kWh, år för de fasta kostnaderna. Vid uppskattningen av kostnader för utbyggnaden av elproduktion ska även ökade kostnader för elnätet och distribution tas hänsyn till. Genom att endast inkludera investeringskostnader för produktionen gör vi en försiktig uppskattning av de totala undvikta kostnaderna.

Den största delen av energibesparingen för åtgärderna som föreslås i denna rapport innebär minskad fjärrvärmeanvändning. Fjärrvärmesystemen i Sverige har idag god kapacitet och varken utbyggnaden av fjärrvärmenäten eller den slutliga fjärrvärmeanvändningen förväntas öka i betydande grad de kommande 30 åren (Energimyndigheten, 2012). Men genom att energieffektivisera lämnas utrymme för fler byggnader att ansluta sig till befintliga fjärrvärmenät. Baserat på detta räknar vi med att energibesparingen leder till att de flerbostadshus som idag har direktverkande elvärme kan konverteras och anslutas till befintliga fjärrvärmenät. Konverteringen kan leda till en stående elbesparing som gör att effektbehovet och utbyggnad av infrastruktur minskar. Utöver åtgärdernas direkta elbesparing lägger vi därför till drygt 2,2 TWh.

4.2.4 Förbättrat inomhusklimat

Följande beskrivning av mervärdet förbättrat inomhusklimat är hämtat från en tidigare Anthesis-rapport, Grön logik (2021). Många energieffektiviserande åtgärder leder till ytterligare effekter i form av förbättrat inomhusklimat. Ett förbättrat inomhusklimat medför positiva hälsoeffekter genom förbättringar av exempelvis temperatur, luftfuktighet, lufttäthet, föroreningar m.m.

COMBI-rapporten av Mzavanadze (2018) har översiktligt kartlagt sådana effekter. I rapporten kvantifieras olika åtgärders effekt på kyla och luftfuktighet, och de hälsoeffekter som kan uppnås genom energieffektiviserande renoveringsåtgärder. Rapporten visar att förbättrad isolering och värmesystem som bidrar till att uppnå rätt nivå av värme minskar risken för kardiovaskulära sjukdomar, andningssjukdomar, samt psykiska hälsoförsämringar. Bättre isolering och förbättrade värme- och ventilationssystem förbättrar även luftfuktigheten, vilket kan leda till minskad risk för astma.

För att mäta hälsorelaterade nyttor används normalt metoder för att värdera hälsoanpassade levnadsår. En sådan metod användes i COMBI-projektet, med utgångspunkt i uppskattningar av vinteröverdödlighet och dess orsaker. Vinteröverdödlighet (EWD) innebär att fler människor dör under vintermånaderna än övriga månader. Detta kan bero på förhöjda nivåer av luftföroreningar på grund av efterfrågan på värme under vintern, exponering av kyla både inomhus och utomhus samt utökad exponering av smittsamma sjukdomar (The Eurowinter Group, 1997). Generellt har nordiska länder lägre vinteröverdödlighet än övriga europeiska länder, vilket brukar förklaras av bättre isolering och värmesystem i de nordiska bostäderna. Vinteröverdödlighet beräknas enligt följande:

$$EWD_i = \frac{Dödsantal\ vinter\ (Dec - Mar) - 0.5 * Dödsantal\ ej\ vinter\ (Apr - Nov)}{0.5 * Dödsantal\ ej\ vinter\ (Apr - Nov)}$$

Metoden kan även anpassas efter antal varma och kalla dagar, vilket då leder till ett mått på Excess Cold Weather Deaths (ECWD). För Sverige uppskattas det med denna metod att 9,4 procent fler personer dör under kalla dagar jämfört med varma.

Uppskattningar av olika orsaker till överdödligheten är svåra att genomföra, men tidigare studier har genom expertutlåtanden uppskattat hur mycket bristande inomhusklimat bidrar till denna överdödlighet. Dessa uppskattningar rör sig mellan 10 och 50 procent för europeiska länder

(Mzavanadze, 2018). Årliga ECWDs som kan attribueras till inomhuskyla i Sverige uppskattas i COMBI-projektet till 600 dödsfall per år (Mzavanadze, 2018).

I tillägg till förhöjda dödsantal uppskattar COMBI-rapporten även förekomsten av astma och andra sjukdomar med förhöjda risker från undermåligt inomhusklimat samt dess orsaker. För värderingen av hälsoeffekter av förbättringar av inomhusklimat värderas ett statistiskt levnadsår, anpassat efter tid med olika sjukdomar (DALY, Disease Adjusted Life Years).

När den danska rapporten Analyse af det samfundsøkonomiske potentiale for energibesparsel av EA Energianalyse (2019) uppskattade mervärden kopplade till energieffektivisering utgick de för hälsorelaterade värden ifrån COMBI-projektet och uppskattade ett värde av ca 0,05 DKR per minskad kWh. Eftersom vi inte har hittat ett djupare underlag för hur stora hälsovinsterna är i Sverige från olika isoleringsåtgärder följer vi denna metod för kalkylvärde, vilket översatt till svenska valuta blir cirka 0,07 SEK/KWh.

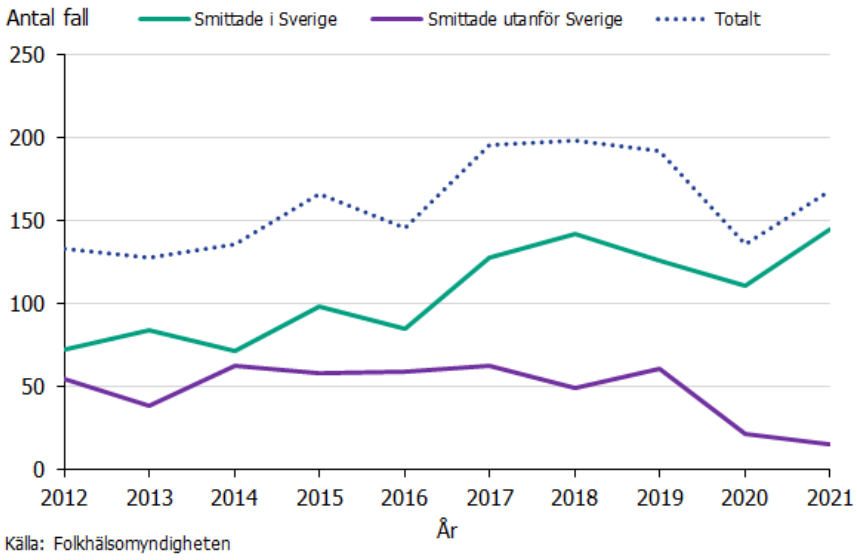
4.3.5 Minskad förekomst av legionella

Legionella är en bakterie som är mycket vanligt förekommande i jord- och vattensamlingar. Vid exponering av legionellabakterien i luftvägar finns risk för infektion, vilket kan leda till allvarlig lunginflammation. Bakterien trivs mycket väl i vattenmiljöer där biofilm på insidan av vattenledningar och tankar utgör en gynnsam yta för legionellatillväxt. Bakterien sprids genom aerosoler, dvs vattenånga eller genom spridning av jordpartiklar i luften. Den vanligaste orsaken till infektion är inandning av vattenånga från exempelvis dusch, bubbelpool och liknande. Bakterien trivs i vattenmiljöer där vattentemperaturen är mellan 20–45°C (Folkhälsomyndigheten, 2018).

Antalet registrerade legionellainfektioner i Sverige har under de senaste tio åren ökat svagt (se Diagram 2). Medan det årliga antalet identifierade fall av personer som har blivit smittade utanför Sverige har minskat något har antalet smittade (identifierade fall) ökat till strax under 150 fall per år fram till 2021. Statistiken representerar identifierade fall och därmed finns en stor osäkerhet kring den faktiska bilden av antalet smittade och det är känt att det finns ett stort mörkertal kring antalet smittade. Utifrån dessa siffror går det därför inte att säga om legionellainfektioner är ett ökande problem generellt eller om den svagt positiva trenden beror på exempelvis en ökande befolkning, bättre metoder för att identifiera infektioner.

Riskfaktorer för att drabbas av legionellainfektion är bland annat ålder, kön (högre risk för män), nedsatt immunförsvar, rökning och diabetes. Ålder är en mycket stark faktor för hur allvarlig en legionellainfektion förväntas bli. Medianåldern för smittade under 2021 var 73 år (Folkhälsomyndigheten, 2018).

Diagram 2: Antalet rapporterade fall svenskar som blivit legionellainfektionssmittade i Sverige, antalet svenskar som blivit smittade utanför Sverige samt totalt antal svenskar som smittades under åren 2012–2021. Källa: Folkhälsomyndigheten (2022).



Risken för legionellainfektion har en tydlig koppling till åtgärder för teknisk isolering av tappvatten- och VVC-system. Risken för tillväxt av legionellabakterier beror främst på temperaturförutsättningarna i varm- och kallvattenvattenledningar, vattentankar och andra installationer där vattnet tidvis står still. Isolering av bland annat kall- och varmvattenledningar kan begränsa förutsättningarna för legionellatillväxt då vattentemperaturen kan hållas under 24°C under en längre tid i kallvattenledningarna vid stillastående vatten (IF, 2016). Isolering bidrar även till att uppfylla byggreglernas krav på temperatur i varmvattenberedare (över 60°C) och varmvattenledningar (över 55°C). Teknisk isolering av kall- och varmvattenledningar kan också bidra till att värmeutbyte mellan kall- och varmvattenledningar i rörkanaler minimeras.

Tillgången på statistik för att bedöma risker kopplat till de specifika åtgärderna i denna rapport är begränsad. I samtal med en branschkunnig avseende legionellaproblematik gjordes en grov uppskattning av hur många fall av legionella som potentiellt skulle kunna undvikas genom att alla bristfälliga installationer isoleras för att motverka tillväxt av legionellabakterier.[2] Uppskattningen innebär att 5–10 procent av legionellafallen skulle kunna undvikas genom teknisk isolering. Av samtalet framgick att ett stort hinder för genomförandet av teknisk isolering på många installationer är brist på plats för isoleringen. Vid teknisk isolering kan legionellarelaterade risker hanteras genom tillämpning av Isoleringsföretagens branschstandard för teknisk isolering och branschregler för säkra vatteninstallationer där krav på installationer, med hänsyn till risk för legionellatillväxt, finns.

För att kunna uppskatta omfattningen av samhällsekonomiska kostnader för legionellainfektioner som relaterar till undermålig teknisk isolering ligger en amerikansk studie till grund för bedömningen av de direkta kostnaderna (Baker-Goering m.fl., 2021) I Sverige har det inte gjorts några ingående studier kring sjukvårdskostnader och produktionsförlustbortfall för legionellafall och därför görs uppskattningen genom en värdeöverföring från den amerikanska studien. I en studie från år 2009 gjordes uppskattningen att ett genomsnittligt fall av legionellasmitta har direkta

[2] Telefonsamtal med Jonatan von Seth på Aktea, 2022-09-30.

sjukvårdskostnader på ca 800 000 SEK till följd av den långa återhämtningstiden och höga kostnader för behandling (Fasth, 2009). I dagens värde motsvarar det ca 1 miljon SEK.[3]

Enligt Baker-Goering m.fl. (2021) är ca 90 procent av de bekräftade sjukfallen relaterade till behov av sjukvård. I Sverige bekräftades 145 personer smittade (smittade i Sverige) av legionella år 2021. Med utgångpunkten att ca 90 procent av bekräftade legionellafall är i behov av sjukvård uppskattas att ca 130 personer har vårdats för legionellainfektion under 2021. Med en antagen genomsnittlig kostnad per vårdtillfälle på 1 MSEK är de totala sjukvårdskostnaderna ca 130 MSEK. Av den amerikanska studien framgår att kostnaderna för produktionsbortfall och för tidig död, dvs. frånvaro från arbete är lika höga som de direkta sjukvårdskostnaderna. Om motsvarande antas gälla för Sverige skulle det innebära att de totala kostnaderna för sjukvård och produktionsbortfall är ca 260 MSEK/år. Om 5–10 procent av legionellafallen kan undvikas genom teknisk isolering innebär det en direkt samhällsekonomisk nytta på i storleksordningen 13–26 MSEK/år.

Utöver sjukvårdskostnaderna och kostnaderna för produktionsbortfall spenderas varje år betydande summor för att genomföra kontroll vid bekräftade smittokällor. Baserat på litteraturgenomgång och samtal med experter inom legionellaproblematik har vi inte hittat underlag för hur omfattande kostnaderna för sanering och kontroll är i Sverige. En brittisk studie visar att av de totala direkta kostnaderna för Storbritannien (bestående av sjukvårdskostnader och kontrollkostnader) står sjukvårdskostnaderna för 86 procent och kontrollkostnaderna för ca 14 procent (Lock m.fl., 2008). Utifrån en enkelt antagande om att sjukvårdskostnaderna och kostnaderna för kontroll av legionellautbrott i Sverige förhåller sig likadant som i Storbritannien kan kostnaderna uppskattas till ca 21 MSEK/år. De totala kostnaderna för sjukvård, produktionsbortfall och kontroll av legionellautbrott uppskattas då totalt till ca 281 MSEK/år. För en minskning med 5 till 10 procent innebär det en årlig nytta på ca 14 till 28 MSEK.

De nyttor/undvikta kostnader som har presenterats här motsvarar direkta kostnader för sjukvård och produktionsbortfall. Indirekta kostnader av legionellainfektion består av bland annat sänkt livskvalitet för den som drabbas av infektionen. En brittisk studie har undersökt värdet av försämrad livskvalitet för 10 matburna patogener, varav salmonella är en. Studien beräknar en genomsnittlig förlust av livskvalitet per fall av salmonella till ca 0,2 QALY (Rigby m.fl., 2017). En genomsnittlig QALY utifrån svensk betalningsvilja värderas till ca 800 000 SEK (Person m.fl., 2018; TLV, 2016; Svensson m.fl., 2016). Genom ett räkneexempel för salmonella kan vi uppskatta de indirekta kostnaderna under antaganden om att sjukdomsförlopp och nedsättning av livskvalitet är liknande som för legionella. Utifrån detta antagande samt att ungefär 145 personer bekräftas smittade varje år uppskattas de totala indirekta kostnaderna för försämrad livskvalitet till ca 23 MSEK/år (145 fall * 0,2 QALY * 800 000 SEK per QALY). En förbättring på 5 till 10 procent genom åtgärder för teknisk isolering innebär en nytta på ca 1,2–2,3 MSEK/år.

Den totala nyttan (direkta och indirekta nyttor) i svenska flerbostadshus av minskad risk för legionella genom teknisk isolering uppskattas därmed till ca 16 till 30 MSEK/år. Det motsvarar ca 0,8–1,5 miljarder SEK över en teknisk livslängd på 50 år. I den samhällsekonomiska analysen används medelvärdet (motsvarande 7,5 procent), dvs. 1,2 miljarder SEK. I tolkningen av det totala mervärdet för legionella är det viktigt att beakta att beräkningen bygger på antagandet att hela den tekniska potentialen för typhusbeståndet tillvaratas det första året. Det innebär i sin tur att om investeringar i teknisk isolering i realiteten sker löpande, motsvarar det totala mervärdet det värde som åtgärderna tillsammans har när respektive åtgärds tekniska livslängd har löpt ut, oavsett när investeringen görs.

[3] KPI 2009 var 297,88 och KPI 2022 (augusti) var 377,81. https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/samhallets-ekonomi/kpi/

4.3 Icke kvantifierade mervärden

4.3.1 Trygg energiförsörjning

Trygg energiförsörjning är ett mervärde som relaterar till alla energieffektiviserande åtgärder. Mervärdet består i den minskade belastningen på energiförsörjningssystemet som en minskning av det totala energibehovet innebär. En trygg energiförsörjning innebär att upprätthålla ett energisystem som är robust, pålitligt, förutsägbart, hållbart och kostnadseffektivt med en låg negativ inverkan på hälsa, miljö och klimat. Utöver detta är perspektiv kring krisberedskap en viktig faktor för tryggheten i energisystemet.

Regeringen (2022) presenterade i den nationella strategin för elektrifiering en översikt kring delar i att säkra en trygg elförsörjning. Dels handlar en trygg elförsörjning om att säkerställa leveranssäkerhet utifrån tillräcklighet och driftssäkerhet, dels att hantera beredskapsfrågor i form av kriser och förmåga att stå emot angrepp.

Tabell 2: Olika delar av begreppet trygg elförsörjning.

TRYGG ELFÖRSÖRJNING			
LEVERANSSÄKERHET		BEREDSKAP	
Tillräcklighet	Driftsäkerhet	Hantera kriser	Motstå angrepp
Elproduktion och nätkapacitet som säkerställer tillräcklig effekt under normala förhållanden	Elsystemets förmåga att bibehålla balans och stabilitet under olika drifts-förhållanden	Beredskap för att på kort och lång sikt kunna hantera krissituationer såsom extremväder	Elsystemets/total-försvarets förmåga att motstå angrepp såsom IT-attacker eller fysiska attacker

Ett minskat totalt energibehov medför att tillräcklighet i form av effekttoppar och driftssäkerhet enklare kan upprätthållas. Utifrån den totala energieffektiviseringspotentialen för de fem åtgärderna för teknisk isolering i flerbostadshus som analyseras i denna studie beräknas cirka 78,5 TWh kunna realiseras över en teknisk livslängd på 50 år, vilket motsvarar ca 1,6 TWh/år. I en statisk modell där energieffektiviseringen inte direkt förväntas ersättas av annan energianvändning innebär åtgärderna ett minskat effektbehov och kan öka förmågan att säkerställa stabiliteten under olika driftsförhållanden.

Det samhällsekonomiska värdet av bidraget till en trygg energiförsörjning genom leveranssäkerhet och beredskap har inte kunnat kvantifierats. Det är viktigt att särskilja den direkta energieffektiviseringen från de perspektiv som handlar om en trygg energiförsörjning. I litteraturöversikten har vi inte identifierat några studier som visar på den monetära nyttan av en trygg energiförsörjning. Nyttan relaterar till risker för uppehåll i energiförsörjningen och känsligheten mot yttre hot. Risken består av bland annat exponering, sårbarhet och respons, där åtgärder för att minska belastningen på energisystemet framför allt kan hantera exponeringen och sårbarheten kring dessa risker.

4.3.2 Minskad risk för bränn-/köldskador

Ett mervärde av att isolera tekniska installationer är en minskad risk för bränn- och köldskador från exempelvis varma respektive kalla rör, fjärrvärmeanläggningar och varma ventiler. De åtgärder som minskar risk för brännskador innebär att isoleringen skapar ett fysiskt skydd mot en för hög eller för låg yttemperatur på dessa installationer. Baserat på ett mycket begränsat dataunderlag avseende brännskador på denna typ av ytor har vi inte kunnat värdera den minskade risken för brännskador kvantitativt.

För en samhällsekonomisk analys av nyttan skulle det behövas dataunderlag kring risken för brännskador på ytor som har potential att isoleras. Utifrån sådana data kan de samhällsekonomiska kostnaderna uppskattas genom hälsoekonomiska metoder som beaktar bland annat direkta och indirekta vårdkostnader, frånvaro från arbete och försämrad livskvalitet för den som drabbas av en brännskada. Värdet av att undvika en mer omfattande brännskada är stort, eftersom dessa kostnader normalt sett är mycket höga. För att göra en värdering av nyttan av en riskminskning behöver riskminskningen sättas i relation till den befintliga risken för brännskada kopplat till de åtgärder som föreslås samt hur allvarliga de potentiella brännskadorna på dessa installationer kan vara. Först med ett sådant underlag går det att bedöma det monetära värdet av åtgärden i förhållande till åtgärdens kostnader.

Branschstandarden för teknisk isolering anger att:

”Varma installationer isoleras:

- Så att yttemperaturen inte ger upphov till skador på personer och husdjur och inte medför risk för antändning eller annan skada på andra byggnadsdelar, installationer och föremål i byggnaden.
- Så att yttemperaturen inte överstiger 60°C, inte ens punktvis, dock förutom kopplingsledningar och värmare.
- Så att skadlig kondensbildning inte förekommer i t.ex. rökgaskanaler.

Kalla installationer isoleras:

- Så att yttemperaturen inte ger upphov till köldskador.” (IF, 2020)

Av branschstandarden framgår tydligt att nya installationer ska isoleras för att undvika bränn- och köldskador. Genomförd teknisk isolering på befintliga installationer kan vara viktig för att långsiktigt se till att alla installationer uppfyller kraven för att undvika bränn- och köldskador.

4.3.3 Minskad risk för mögel- och fuktskador på kallvind

Detta mervärde innebär att teknisk isolering av installationer på kallvind kan minska skadlig kondensbildning som riskerar att leda till fukt- och mögelskador. Fukt på kallvind är ett utbrett problem där fuktskador från dåligt isolerat innertak och direkta takläckage är de två största orsakerna till fuktskador. En del av de fuktskador som förekommer på kallvind beror på att varma och undermåligt isolerade rörledningar och ventilationskanaler utgör risk för kondensbildning, vilket i många fall kan leda till fukt- och mögelskador. Risken förstärks i de fall rörledningar och ventilationskanaler är otäta.

Omfattningen av problemet har inte kartlagts fullt ut. Av litteraturen framgår att rörledningar på kallvind är viktiga att isolera av både rent energibesparingsperspektiv och på grund av risken för kondensbildning. Anticimex (2021) visade att ca en fjärdedel av de vindar som de besiktade under år 2020 var fukt- eller mögelskadade. Bland de åtgärdsförslag som ges i artikeln nämns att rör som går genom vinden bör tätas och isoleras för att minska risken för dessa skador.

2011 gjorde Boverket en uppskattning av samhället kostnader för fuktskador i byggnadsbeståndet. Boverket uppskattade då att 36 procent av byggnaderna hade någon typ av fuktskada varav vindsutrymmen stod för ca 22 procent av fuktskadorna (Byggkoll, 2011). Utredningen uppskattade de totala samhällsekonomiska kostnaderna till ca 100 miljarder SEK, varav ca 90 procent kunde kopplas till direkta åtgärder i småhus. Om enbart de skador som innebär försämrad inomhusmiljö skulle åtgärdas innebär det en kostnad på ca 30 miljarder SEK.

Om kostnadsbilden för fukt- och mögelskador antas vara liknande för de olika typerna av skador, skulle fukt- och mögelskador på kallvind motsvara ca 6,6 miljarder SEK utifrån 2011 års bedömning. Om vi vidare antar att fukt- och mögelproblematiken är lika omfattande idag som den var år 2011 kan en grov uppskattning göras av hur stor del av kostnaderna som kan relateras till kondensbildning från oisolerade rör på kallvind. Efter litteratursökning och samtal med experter på fukt- och mögelproblematik har vi dock inte lyckats få fram en uppskattning av hur stor del av fukt- och mögelskadorna som beror på kondensbildning. Om dessa skador skulle motsvara 1 procent av de totala skadorna skulle det innebära en kostnad på ca 66 MSEK (i 2011 års prisnivå). Med justering för dagens prisnivå innebär det ca 81 MSEK.[4] Eftersom osäkerheten kring problematiken med fukt- och mögelskador från kondensbildning på rör och kanaler är mycket stor har vi valt att inte presentera mervärdet under kvantifierade mervärden och bör betraktas mer kvalitativt.

4.3.4 Förbättrad ventilationseffektivitet

Med ett tätare och mer ändamålsenligt ventilationssystem kan både ventilationsbehov och temperaturkrav för ventilerad luft uppnås till ett lägre energibehov. Genom att minimera energiförlusterna och skapa ett tätt ventilationssystem kan betydande förluster undvikas, bland annat genom effektivare återvinning av värmen, kylan eller fukten i frånluften. Detta gäller främst för FTX-ventilationssystem och i Sverige handlar det främst om värmeåtervinning. I denna studie har tätning av ventilationssystemet inte inkluderats i kostnadsberäkningarna och bör ses som ett mervärde som tillkommer om man vid isolering av ventilationskanaler väljer att även täta ventilationssystemet. Att tätning av ventilationskanaler kan ha en betydande påverkan på energiförlusterna visas av bland annat SP (2012) som visar på energibesparing vid olika täthetsklasser. Mervärdet av förbättrad ventilationseffektivitet blir därmed ytterligare energibesparingar, förutsatt att ventilationen tätas vid teknisk isolering.

4.3.5 Minskad vattenanvändning

Isoleringsåtgärder för varm- och kallvattenledningar kan, utöver energibesparing ge en minskad vattenanvändning. När oisolerade varm- och kallvattenledningar är förlagda i samma schakt överförs värme mellan rören vilket leder till att varmvattentemperaturen sjunker och kallvattnet blir för varmt. Med värmeöverföring mellan ledningarna tar det längre tid att nå en önskad tapptemperatur vid tappvattenstället. I väntan på att uppnå önskad tapptemperatur, både för kall- och varmvatten, slösas dricksvatten i onödan. Kostnaden för det vatten som slösas i onödan består bland annat av reningskostnader, infrastrukturkostnader, underhållskostnader och samhällsekonomiska kostnader av att riskera avbrott i vattenförsörjning på grund av vattenbrist.

I denna studie har ingen metod identifierats för att beräkna hur mycket vatten som potentiellt slösas i onödan på grund av värmeöverföring mellan varm- och kallvattenledningar. Vi har därför inte lyckats med en uppskattning av den nationella vattenbesparingen från de föreslagna isoleringsåtgärderna. En vidare studie skulle behöva genomföras för att fastställa en metod för att räkna på onödig vattenförlust som ett resultat av värmeöverföring mellan vattenledningar. Faktorer som kan komma att spela roll i en sådan studie är risker för avbrott i vattenförsörjningen, VA-taxa, vattentryck vid kran, med mera.

[4] SCB (2022). KPI. https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/samhallets-ekonomi/kpi/

5 Analys av de valda åtgärderna

I detta kapitel beskrivs de fem valda åtgärderna för förbättrad teknisk isolering och en redovisning ges av åtgärdernas energieffektiviseringspotential, åtgärdskostnader, mervärden samt åtgärdernas privatekonomiska och samhällsekonomiska potential.

För alla de analyserade åtgärderna varierar förutsättningarna mellan olika byggnader avseende utmaningar som platsbrist för förbättrad isolering med mera. Det innebär att potentialen för åtgärderna är större i vissa byggnader och mindre i andra. I redovisningen av åtgärdernas lönsamhet utgår vi dock förenklat från referensscenariot, och uppskalningen till nationell nivå baseras på att typhuset är ett genomsnitt för den svenska flerbostadshusbebyggelsen.

5.1 Isolering av fjärrvärmeundercentraler

5.1.1 Beskrivning av fjärrvärme och fjärrvärmeundercentraler

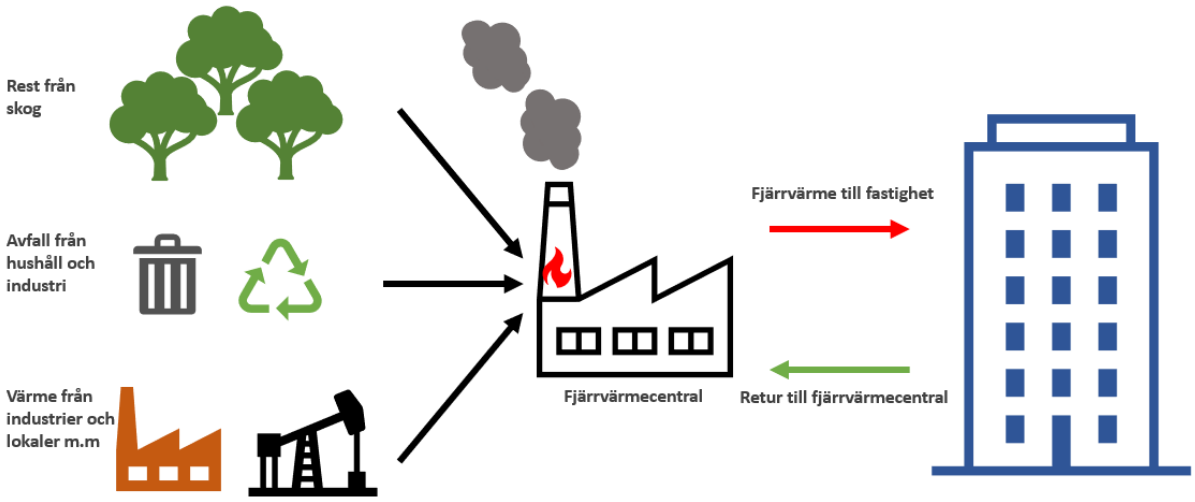
Dagens svenska fjärr- och kraftvärme är klimatsmarta energisystem som värmer över hälften av alla kommersiella byggnader, nära 90 procent av flerbostadshusen i Sverige och en liten andel av småhusen. Kraftvärmeanläggningar producerar både värme och el, medan fjärrvärmeanläggningar endast producerar värme. Merparten av de ca 500 svenska fjärr- och kraftvärmesystemen är lokala energisystem, men några är av regional karaktär.

Den värme som genereras i centraliserade anläggningar för kraft- och fjärrvärme överförs till ett värmebärande medium, vanligtvis hetvatten. Hetvattnet distribueras till byggnaderna via ett kulvertnätverk. Alla fastigheter som är anslutna till ett fjärrvärmesystem har en undercentral där värme från primärsidan växlas över till ett ledningsnät på sekundärsidan (fastigheterna). I fastigheterna används fjärrvärmen för uppvärmning och tappvarmvattenvärmning. Efter värmeutbytet i fjärrvärmeundercentralen återförs det nu avkylda hetvattnet till fjärrvärmeanläggningen, där hetvattnet värms upp och därefter distribueras på nytt.

Alla fjärrvärmeundercentraler är försedda med fjärrvärmeväxlare. Det är här värmen överförs från fjärrvärmesystemet till distributionen i de enskilda byggnaderna. Fjärrvärmeväxlare är i normalfallet prefabricerade, och installeras ofta med bristfällig isolering. Temperaturen i fjärrvärmeväxlaren varierar i hög grad mellan årstiderna, beroende på värmebehovet.

Ett vanligt problem är att ledningar kopplade till fjärrvärmeväxlaren har en bristfällig isolering, i vissa fall kan de till och med vara helt oisolerade, med onödiga värmeförluster som följd. I äldre bebyggelse motiverades den bristfälliga isoleringen ofta med att spillvärmen kom till nytta i byggnaden, vilket då till viss del kunde vara sant. Men i nyare mer välisolerade byggnader blir resultatet av den undermåliga isoleringen alltid en övertemperatur och därmed onödiga energiförluster.

I isoleringsarbetet är fjärrvärmeväxlarens rörledningar och anslutningar ofta ett problem. Det är ofta korta rörsträckor mellan ventilerna och svåråtkomligt mellan rören, vilket försvårar isolerarbetet. Att förmontera isoleringen innan fjärrvärmeväxlaren installeras har ibland använts, men har ofta lett till att isoleringen skadas under transporten till byggnaden.



Figur 3: Schematisk illustration av ett fjärrvärmesystem.

5.1.2 Energieffektiviseringspotential för isolering av fjärrvärmeundercentraler

Beräkningen har utgått från en prefabricerad fjärrvärmecentral från Högfors, denna central antas motsvara både platsbyggda undercentraler och prefabricerade fjärrvärmeväxlarenheter i den befintliga bebyggelsen av flerbostadshus. Enhetens effektförlust genom rör och ventiler har beräknats utan respektive med isolering (enligt BTI), dessa värden har sedan använts för att beräkna skillnaden i energianvändning mellan grundfallet och bästa tillgängliga teknik (Best Available Technology, BAT). Ventilerna som ingår i beräkningen är de som sitter inom prefab-enheten och ingår ej i beräkningarna för åtgärderna förbättrad isolering av VVC-system respektive Förbättrad isolering av ventiler och flänsar.

Energieffektiviseringspotentialen för typhuset (dvs BETSI-huset) är ca 2 090 kWh/år vilket motsvarar 0,73 kWh/m^2 A_{temp}, år. Den nationella energieffektiviseringspotentialen för den svenska bebyggelsen av flerbostadshus med fjärrvärme som uppvärmningssätt är ca 125 GWh/år.

En viktig faktor att ta hänsyn till i praktiken är vem som har ansvar för att undercentralen är isolerad. Det är vanligen fastighetsägarnas ansvar, men i vissa fall är det energibolagets ansvar.

Beräkningen av energieffektiviseringspotentialen beskrivs detaljerat i Bilaga 1: Detaljerade energiberäkning av isolering av fjärrvärmeundercentraler.

5.1.3 Kostnader för isolering av fjärrvärmeundercentraler

Investeringskostnaden för åtgärden, för material och mantimmar, för typhuset har beräknats till 11 100 SEK.

Med ett antagande om att den svenska bebyggelsen av flerbostadshus generellt består av två huskroppar per undercentral blir den totala nationella investeringen knappt 820 MSEK.

5.1.4 Privatekonomisk lönsamhet för isolering av fjärrvärmeundercentraler

Den privatekonomiska lönsamheten för isolering av fjärrvärmeundercentraler är uppskattad till ca 14 000 SEK per typhus över den tekniska livslängden, motsvarande ca 280 SEK per år för typhuset. Omräknat till hela den svenska flerbostadshusbebyggelsen blir det ca 2,2 miljarder SEK (se Tabell 3) över den tekniska livslängden, motsvarande ca 44 MSEK per år.

5.1.5 Samhällsekonomisk lönsamhet för isolering av fjärrvärmeundercentraler

Den kvantifierade samhällsekonomiska potentialen (dvs det monetära värdet av de mervärden som har kunnat kvantifieras) för isolering av fjärrvärmeundercentraler är ca 9,7 miljarder SEK över den tekniska livslängden (se Tabell 3), motsvarande drygt 190 MSEK per år.

Utöver de kvantifierade mervärdena tillkommer följande kvalitativa värden som diskuteras i avsnitt 4.3:

- Minskad risk för brännskador,
- Trygg energiförsörjning (minskat behov av energiimport).
- Effektivare energianvändning på fjärrvärmesystemnivå

Ytterligare ett mervärde för isolering av fjärrvärmeundercentraler är skyddsisolering som åtgärd att minska antalet brännskador. Det har inte kvantifierats i vår analys, men är en viktig aspekt för denna åtgärd.

5.1.6 Sammanställning och jämförelse av privatekonomisk och samhällsekonomisk lönsamhet för isolering av fjärrvärmeundercentraler

Både den privatekonomiska och den samhällsekonomiska analysen visar på en tydlig ekonomisk lönsamhet för isolering av fjärrvärmeundercentraler. Den samhällsekonomiska nyttan för denna åtgärd är minst 4,5 gånger högre än den privatekonomiska besparingen.

5.1.7 Förslag till åtgärder för att minska energiförlusterna i fjärrvärmeundercentraler

Det finns en rad olika åtgärder som bör genomföras för att minska energiförlusterna i fjärrvärmecentraler. Bland dessa kan nämnas:

- Isolera alltid fjärrvärmeundercentraler samt ventiler och rör till och från undercentralen energioptimalt vid nybyggnad
- Tilläggsisolera alltid fjärrvärmeundercentraler samt ventiler och rör till och från undercentralen vid byte av undercentral
- Tilläggsisolera rör och ventiler även om fjärrvärmeundercentralen är relativt ny
- Använd distansskålar för att lättare få plats med isoleringen med bibehållen isoleringsklass

5.2 Isolering av VVC-system

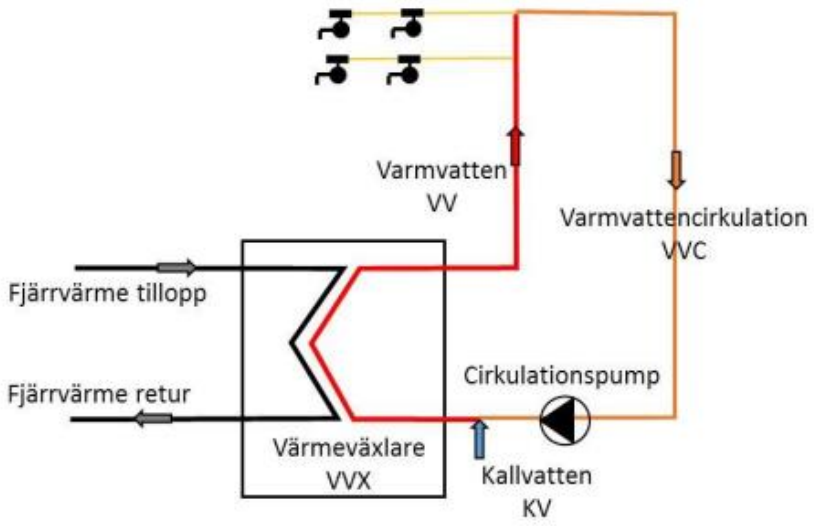
5.2.1 Beskrivning av VVC-system

Historiskt har tappvarmvatten i flerbostadshus värmts med olika energikällor, men sedan 1970-talet har fjärrvärme varit dominerande. Tappvarmvattensystemet har i sig inte ändrats i någon nämnvärd omfattning sedan dess. Systemet består av distributionsledningar, cirkulationsledningar, cirkulationspump, tappvarmvattenberedare och kopplingsledningar. Enligt Boverkets byggregler (BBR 29) ska tappvarmvattentemperaturen vara minst 50°C i hela systemets längd och högst 60°C efter tappstället (Boverket, 2011), huvudskälet till kravet är att minska risken för legionellatillväxt.

Om rören i tappvarmvattensystemet inte är tillräckligt isolerade uppstår onödiga värmeförluster. Det leder både till att mer energi behöver tillföras för att hålla tappvarmvattnet tillräckligt varmt och ökad risk för legionella. Om varmvatten och kallvatten leds i samma schakt finns också stor risk för att tappkallvattnet inte hålls tillräckligt kallt.

När det inte har skett något tappvattenuttag under en längre tid finns risk för nedkylning av tappvarmvattnet i ledningarna på grund av värmeförlust. I stora tappvarmvattensystem, med många distributionsledningar tar det lång tid att avlägsna det kalla vattnet från rören innan varmvattnet kan nås. Varmvattencirkulationssystem (VVC) säkerställer ett flöde i ledningarna även när varmvatten inte används. Med ett VVC-system tar det således kortare tid att få rätt tempererat tappvatten i lägenheterna.

VVC-systemet har en vattenledning som leder varmvatten från tappvarmvattenberedaren. Beredaren kan till exempel vara en fjärrvärmeundercentral, denna för i sin tur vattnet till föregreningspunkter och fördelningsskåp. Det vatten som blir kvar efter användning förs med hjälp av en cirkulationspump tillbaka till cirkulationsledningen (Termens, 2017). Vidare cirkulerar varmvattnet vid en bestämd lägsta temperatur för att minimera energianvändningen, detta styrs av en cirkulationsventil. För att minimera bakterietillväxt i ledningssystemet är det ofta nödvändigt att cirkulera tappvarmvattnet vid en högre temperatur än minimitemperaturen. En systematisk höjning av temperaturen i varmvattensystemet gör det möjligt att förstöra en del av de oönskade bakterierna, men leder samtidigt till en högre energianvändning. För att behålla den höga temperaturen i systemet krävs oftast en god isolering av ledningarna, den isoleringen är oftast gjord av mineralull. En visualisering av ett typiskt VVC-system visas i Figur 4. Schematisk illustration av ett typiskt VVC-system. Källa: Termens, 2017



Figur 4. Schematisk illustration av ett typiskt VVC-system. Källa: Termens, 2017.

5.2.2 Energieffektiviseringspotential för isolering av VVC-system

Beräkningen har utgått från ett tappvarmvattensystem med rörstråk i källare med avstick till lägenhetsstammar. VVC-ledningen följer framledningen i hela systemets längd. Under uppvärmningssäsong antas 70 procent av VVC-förlusten tillfalla huset i form av uppvärmning, övrig tid anses VVC-förlusterna vara en ren förlust. Ingen del av systemet är ingjutet i betong.

Grundfallet utgår från isolerklass R1 enligt BTI på rör samt att samtliga ventiler i tappvarmvattensystemet är oisolerade. BAT för isoleringsnivå utgår från rekommendation enligt BTI.

Energieffektiviseringspotentialen för typhuset är 4 640 kWh/år vilket motsvarar 3,9 kWh/m^2 A_{temp}, år. Uppskalat till nationell nivå är energieffektiviseringspotentialen för svenska flerfamiljshus ca 1 TWh/år.

Beräkningen av energieffektiviseringspotentialen beskrivs detaljerat i Bilaga 2.

5.2.3 Kostnader för isolering av VVC-system

Investeringskostnaden för åtgärden (material och mantimmar) för typhuset är ca 66 100 SEK. Den uppskalade totala investeringen för det svenska flerbostadshusbeståndet är ca 12 000 MSEK.

Beräkningen av investeringskostnaden beskrivs i Bilaga 2.

5.2.4 Privatekonomisk lönsamhet för isolering av VVC-system

Den privatekonomiska lönsamheten för isolering av VVC-system är uppskattad till ca 27 800 SEK per typhus över den tekniska livslängden (50 år), vilket motsvarar ca 550 SEK per år. För hela den svenska flerbostadshusbebyggelsen blir det 5 miljarder SEK över den tekniska livslängden (se Tabell 3), motsvarande 100 MSEK/år.

5.2.5 Samhällsekonomisk lönsamhet för isolering av VVC-system

Den kvantifierade samhällsekonomiska lönsamheten (här förenklat till summan av det monetära värdet av de mervärden som har varit möjliga att kvantifiera) för isolering av VVC-system är uppskattad till ca 46 miljarder SEK över den tekniska livslängden (se Tabell 3), vilket motsvarar ca 920 MSEK per år. Mervärdet av minskad risk för legionella är adderat här.

Utöver de kvantifierade mervärdena tillkommer följande kvalitativa värden som diskuteras i avsnitt 4.3:

- Minskad värmeöverföring mellan kall- och varmvattenledningar, vilket i sin tur leder till minskad vattenåtgång
- Minskad risk för brännskador
- Trygg energiförsörjning (minskat behov av energiimport)

5.2.6 Sammanställning och jämförelse av privatekonomisk och samhällsekonomisk lönsamhet för isolering av VVC-system

Den privatekonomiska och samhällsekonomiska analysen visar på en tydlig ekonomisk lönsamhet för isolering av VVC-system. Den samhällsekonomiska nyttan är minst dubbelt så hög som den privatekonomiska nyttan.

5.2.7 Förslag till åtgärder för att minska energiförlusterna VVC-system

Det finns en rad olika åtgärder som bör genomföras för att minska energiförlusterna i VVC-system. Bland dessa kan nämnas:

- Se i samband med projektering av nya byggnader till att VVC-ledningarna blir så korta som möjligt utan att risk för legionellatillväxt uppkommer
- Se till att VVC-ledningarna, ventilerna och flänsarna blir energioptimalt isolerade vid nybyggnad
- I samband med stambyten, isolera enligt rekommendation i BTI
- Använd distansskålar för att lättare få plats med isoleringen med bibehållen isoleringsklass
- Samisolera horisontellt förlagda ledningar

5.3 Isolering av markkulvert inom fastigheter

5.3.1 Beskrivning av markkulvert

I fastigheter som omfattar flera flerbostadshus finns det ofta en gemensam fjärrvärmeundercentral som fördelar och distribuerar värmen till byggnaderna. I majoriteten av dessa fastigheter leds värmen i markkulvert mellan husen. Tekniken för att distribuera värme (och kyla) genom

kulvertsystem har genom åren utvecklats och gjort tekniken enklare och billigare. De flesta kulvertsystem är byggda som ett tvårörsystem, med en framledning och en returledning. Värmeöverföringsmediet är oftast vatten.

Tre generationer av distributionssystem för fjärrvärme har utvecklats sedan fjärrvärmen först introducerades i Sverige. Den första var distribution av ånga i kulvertar, den andra är distribution av varmvatten i betongkulvertar och den tredje är distribution av varmvatten i rör som är direkt placerade under jord utan kanaler (Frederiksen och Werner, 2014).

Mantelrör gjorda av plast blev dominerande på marknaden under andra hälften av 1970-talet och denna dominans har fortsatt. Den tredje generationens kulvertar kännetecknas av att dimensionerna har minskat. Detta har blivit möjligt eftersom man gräver ner dem i marken samt genom minskat behov av komponenter för distributionen. Den första typen av kulvert bestod av ett stålrör som placerades i kanaler av betong under marken. Rören var ofta isolerade med ett tunt lager mineralull och hade ett skal av polyuretan eller cellbetong. En annan typ som var vanlig var ACE-kulvert, som delvis var gjort av asbest. När det blev olagligt att använda asbest (1970-talet) upphörde tillverkningen av denna kulverttyp. I slutet av 1970-talet introducerades den första typen av tredje generationens distributionssystem. Rören var isolerade av polyuretan (PUR) med en mantel av polyeten (HDPE). Rörledningar tillverkades också av koppar och plastmaterial av tvärbunden polyeten (PEX). Dessa finns i både styva och flexibla typer. De styva finns i många diametrar och består till stor del av ett bärrör av kolstål, isolering av PUR och mantelrör (Frederiksen och Werner, 2014).

5.3.2 Energieffektiviseringspotential för isolering av markkulvertisolering

Beräkningen har utgått från en längd på mellan 20 och 40 meter mellan byggnader och ett genomsnitt på 1,5 till 2,5 huskroppar per undercentral. Eftersom vi inte har lyckats finna någon statistik över omfattning och utförande på befintliga sekundära kulvertsystem presenteras resultatet som ett medelvärde av en känslighetsanalys för dessa variabler.

För grundfallet har ett antagande om 25 procent PEX-kulvert och 75 procent stålkulvert med mineralullsiolering använts. Som BAT har Uponors VIP-kulvert använts eftersom BTI saknar rekommendationer för sekundära kulvertnät.

Energieffektiviseringspotentialen för typhuset är ca 2 800 kWh/år vilket motsvarar ca 2,0 kWh/m^2 A_{temp}, år. Den uppskalade energieffektiviseringspotentialen för den svenska flerbostadshusbebyggelsen är ca 500 GWh/år.

Beräkningen av energieffektiviseringspotentialen beskrivs detaljerat i Bilaga 3.

5.3.3 Kostnader för markkulvertisolering

Investeringskostnaden för åtgärden för material och mantimmar, entreprenadmaskiner och återställning av markytor för typhuset är ca 150 000 SEK. Den uppskalade investeringen på nationell nivå är drygt 13 600 MSEK.

Beräkningen av investeringskostnaden beskrivs i Bilaga 3.

5.3.4 Privatekonomiska lönsamhet för isolering av markkulvert

Isolering av markkulvert är inte privatekonomiskt lönsamt, men förlusten över livslängden är försumbar. För typhuset är den privatekonomiska lönsamheten för isolering av markkulvert uppskattad till en förlust på ca 8 700 SEK över den 50-åriga tekniska livslängden, motsvarande 140 SEK/år.

Det blir uppskalat på nationell nivå en förlust på ca 1,6 miljarder SEK för den svenska flerbostadshusbebyggelsen över den tekniska livslängden (se Tabell 3), motsvarande ca 30 MSEK per år.

På grund av brist på statistik över omfattning och utförande på befintliga sekundära kulvertsystem finns en risk att de antaganden vi gjort överskattar prestandan för befintlig isolering, och därmed underskattar energieffektiviseringspotentialen. Det räcker med en liten förändring i förutsättningarna för att denna ska vara privatekonomiskt lönsam.

5.3.5 Samhällsekonomiska lönsamhet för isolering av markkulvert

Den kvantifierade samhällsekonomiska lönsamheten (dvs det monetära värdet av de mervärden som kan kvantifieras) för isolering av markkulvert är uppskattad till ca 27 miljarder SEK över den 50-åriga tekniska livslängden (se Tabell 3), motsvarande ca 540 MSEK/år.

Utöver de kvantifierade mervärdena tillkommer följande kvalitativa värden som diskuteras i kapitel 4.3:

- Mervärden av markkulvertisolering
- Trygg energiförsörjning (minskat behov av energiimport)

5.3.6 Sammanställning och jämförelse av privatekonomisk och samhällsekonomisk lönsamhet för isolering av markkulvert

Den privatekonomiska analysen visar på en mindre förlust per typhus, ca 8 700 SEK, för kulvertisolering över åtgärdens livslängd (vilket motsvarar 140 SEK/år). På nationell nivå innebär det över åtgärdens livslängd en privatekonomisk förlust på ca 1,6 miljarder SEK för hela flerbostadshusbeståndet. Men den samhällsekonomiska nyttan av att isolera markkulvert är mycket hög, 27 miljarder SEK över isoleringens livslängd. Det kan motivera införande av styrmedel för att öka genomförandet av denna åtgärd, t.ex. subvention med statliga medel.

5.3.7 Förslag till åtgärder för att minska energiförlusterna i markkulvert

Det finns en rad olika åtgärder som bör genomföras för att minska energiförlusterna i markkulvertar. Bland dessa kan nämnas:

- Isolera alltid markkulverten energioptimalt vid nybyggnad
- Vid nybyggnad eller renovering av värmesystemet, dimensionera byggnader anslutna till sekundära värmesystemet via kulvert med låga systemtemperaturer
- Vid nybyggnad, optimera kulvertförläggningarna med så korta kulvertdragningar som möjligt.
- Tilläggsisolera markkulvertar i samband med renovering eller markarbete inom fastigheten

5.4 Isolering av ventilationskanaler på kallvind

5.4.1 Beskrivning av ventilationskanaler på kallvind

Kallvindar är ouppvärmda vindsutrymmen under byggnadens yttertak. De är vanligtvis åtminstone i viss grad isolerade, och här förläggs ofta ventilationsutrustning och -kanaler. En stor del av flerbostadshusens energiförluster sker via kallvinden. Kallvinden i äldre hus som inte har genomgått en energiuppgradering är ofta undermåligt isolerad. Förutom att uppgradera isoleringen som skiljer husets översta våning från kallvinden, behöver ventilationskanaler som är förlagda på kallvinden isoleras.

Utan isolering blir ventilationskanalerna varma på sommaren (när de ska transportera kall luft) och kalla på vintern (när de ska transportera uppvärmd luft). Om kallvinden inte alls är isolerad behöver kanalerna isoleras både för att undvika kondensutfällning och för att minska energiförlusterna. Energiförlusterna blir betydande även på en välisolerad vind om kanaldragningarna är långa.

En förenkling som har gjorts i beräkningarna av energieffektiviseringspotentialen för tilläggsisolering av ventilationskanaler är att beräkningarna har antagits att endast omfatta förlusterna genom kanalerna. Men åtgärden avser hela kanalsystemet, dvs såväl kanaler som kanalkomponenter.

5.4.2 Energieffektiviseringspotential för kanalisolering på kallvind

Beräkningen utgår från att typhuset har ett ventilationskanalsystem på kallvind som omfattar 30 meter kanal för tilluft respektive frånluft, ingen beräkning har utförts för kanaler för avluft respektive uteluft.

För grundfallet har ett antagande gjorts att samtliga kanaler har 50 mm brandisolering, där kanalerna till 50 procent ligger helt ovanpå lösullsiolering och till 50 procent ligger nedsänkt i lösullsisolering. BAT utgår från rekommendationer enligt BTI.

Energieffektiviseringspotentialen för typhuset är knapp 1 700 kWh/år vilket motsvarar 1,2 kWh/m^2 A_{temp}, år. Energieffektiviseringspotentialen för hela den svenska flerbostadshusbebyggelsen med FTX-system är ca 83 GWh/år. I Sverige har ca 27 procent av flerbostadshusen FTX-ventilation (se Diagram 9, bilaga 4).

Beräkningen av energieffektiviseringspotentialen beskrivs detaljerat i Bilaga 4.

5.4.3 Kostnader av kanalisolering på kallvind

Investeringskostnaden för åtgärden i form av material, återvinning och mantimmar för typhuset är drygt 39 000 SEK. Uppskalat till nationell nivå blir investeringen knappt 2 000 MSEK.

Beräkningen av investeringskostnaden beskrivs i Bilaga 4.

5.4.4 Privatekonomisk lönsamhet av kanalisolering på kallvind

Den privatekonomiska lönsamheten för kanalisolering på kallvind är uppskattad till 3 900 SEK per typhus över den 50-åriga tekniska livslängden, motsvarande ca 80 SEK per år. Det motsvarar ca 200 MSEK för hela den beräknade bebyggelsen över den tekniska livslängden (se Tabell 3) eller 4 MSEK per år.

5.4.5 Samhällsekonomisk lönsamhet för kanalisolering på kallvind

Den kvantifierade samhällsekonomiska lönsamheten (dvs det monetära värdet av de mervärden som har kunnat kvantifieras) för kanalisolering på kallvind är uppskattad till ca 6 miljarder SEK över den tekniska livslängden (se Tabell 3), motsvarande ca 120 MSEK per år.

Utöver de kvantifierade mervärdena tillkommer följande kvalitativa värden som diskuteras i kapitel 4.3:

- Minskad risk för fukt och mögelskador
- Förbättrad ventilationseffektivitet
- Trygg energiförsörjning (minskat behov av energiimport)

5.4.6 Sammanställning och jämförelse av privatekonomisk och samhällsekonomisk lönsamhet för kanalisolering på kallvind

I både den privat- och samhällsekonomiska analysen är isolering av ventilationskanaler på kallvind en lönsam åtgärd. Den samhällsekonomiska nyttan är minst 30 gånger högre än den privatekonomiska nyttan.

5.4.7 Förslag till åtgärder för att minska energiförlusterna kanalisolering på kallvind

Det finns en rad olika åtgärder som bör genomföras för att minska energiförlusterna med hjälp av bättre kanalisolering på kallvind. Bland dessa kan nämnas:

- Isolera alltid kanalerna energioptimalt vid nybyggnad
- Tilläggsisolera kanalerna i samband med andra ventilationsåtgärder och vindsisoleringsåtgärder.
- Isolera alltid kanalerna, även om de förläggs i till exempel lösullsisoleringen.
- Förbättra kanaltätheten
- Enkla och billigare metoder för detektering av risk för fukt- och mögelskador kan behöva utvecklas
- Kanalernas täthet ingår ej i potentialberäkningarna för denna åtgärd. Men tätheten har stor påverkan på ventilationssystemets energieffektivitet, och bör optimeras vid nybyggnad och åtgärdas vid tilläggsisolering eller renovering av ett befintligt ventilationssystem.

5.5 Isolering av flänsar och ventiler

5.5.1 Beskrivning av isolering av flänsar och ventiler

Flänsar och ventiler ingår alltid i rörledningssystem. Undermåligt isolerade flänsar och ventiler leder till stora energiförluster. En anledning till att många flänsar och ventiler ofta saknar isolering är att de ska vara enkelt tillgängliga och lättinspekterade. Det är vanligt att äldre byggnader har ventiler och flänsar som år svåra eller helt omöjliga att komma åt. Men numera finns det isolerlösningar som är både avtagbara och återanvändningsbara. I AMA VVS och kyla 19 (Svensk byggtjänst, 2019) finns en beskrivning av hur avtagbar teknisk isolering ska installeras på flänsar och ventiler. De skriver:

”Fläns koppling och ventilhus ska isoleras med avtagbar och återanvändbar isolervara med samma isolertjocklek som isoleringen på angränsande rörledning. Överlapp på angränsade rörledningar ska var större än rörisoleringens tjocklek. I de fall isoleringen ska förses med ytbeklädnad av plåt får isoleringen fästas på ytbeklädnaden.

Formplåt för plastskummad cellplast på ventil ska vara demonterbar på längd som medger demontering av hela ventilen. Demonterbar plåt ska fästas med plåtskruv.”

5.5.2 Energieffektiviseringspotential för fläns- och ventilisolering

Beräkningen utgår från att typhuset har ett vattenburet värmesystem med radiatorer, där rörstråk går i källare med ett antal värmestammar som förser lägenheterna med värme. Eftersom ventilernas placering i värmesystemet ofta är i källaren utgår beräkningarna från att 30 procent av förlusterna sker genom ventilerna under uppvärmningssäsong. Övriga energiförluster antas komma byggnaden till godo i form av uppvärmningsenergi. Hur mycket av den värme som läcker ut genom ventiler som kommer byggnaden till godo varierar dock signifikant beroende på förutsättningarna. Om alla ventiler är placerade i biutrymmen är sannolikt den totala energibesparingspotentialen mycket större.

Termostatventiler och övriga ventiler placerade i lägenheter ingår ej i beräkningarna. Det är endast ventiler som sitter i värmesystemet som beräknas, de ventiler som sitter i fjärrvärmecentral eller tappvarmvattensystem ingår ej i denna beräkning.

För beräkning av grundfallet antas att samtliga ventiler i värmesystemet är oisolerade. Som BAT används standard enligt BTI.

Energieffektiviseringspotentialen för typhuset är drygt 690 kWh/år vilket motsvarar 0,48 kWh/m^2 A_{temp}, år. Uppskalat till nationell nivå är energieffektiviseringspotentialen för flerbostadshusbebyggelsen knappt 130 GWh/år (6,5 TWh under åtgärdens tekniska livslängd).

Beräkningen av energieffektiviseringspotentialen beskrivs detaljerat i Bilaga 5.

5.5.3 Kostnader för fläns- och ventilisolering

Investeringskostnaden för åtgärden (för material och mantimmar) för typhuset är ca 15 600 SEK. Uppskalat till nationell nivå blir investeringen är drygt 2 800 MSEK.

Beräkningen av investeringskostnaden beskrivs i Bilaga 5.

5.5.4 Privatekonomisk lönsamhet för fläns – och ventilisolering

Den privatekonomiska lönsamheten för fläns- och ventilisolering är uppskattad till en besparing på ca 1 400 SEK per byggnad över den 50-åriga tekniska livslängden. Uppskalat till nationell nivå blir besparingen ca 230 MSEK för hela den analyserade bebyggelsen över samma tidsrymd (se Tabell 3).

5.5.5 Samhällsekonomisk lönsamhet för fläns- och ventilisolering

Den kvantifierade samhällsekonomiska lönsamheten (dvs det monetära värdet av de mervärden som har kunnat kvantifieras) för fläns- och ventilisolering är uppskattad till ca 7,5 miljarder SEK över den 50-åriga tekniska livslängden (se Tabell 3).

Utöver de kvantifierade mervärdena tillkommer följande kvalitativa värden som diskuteras i kapitel 4.3:

- Minskad risk för brännskador
- Trygg energiförsörjning (minskat behov av energiimport)

5.5.6 Sammanställning och jämförelse av privatekonomisk och samhällsekonomisk potential för fläns- och ventilisolering

Den privatekonomiska analysen visar på en viss ekonomisk lönsamhet för isolering av flänsar och ventiler, för typhuset 1,4 kSEK över den tekniska livslängden respektive 230 MSEK uppskalat till nationell nivå. Den samhällsekonomiska nyttan är minst dubbelt så hög som den privatekonomiska nyttan. Den samhällsekonomiska besparingen är hela 7,5 miljarder SEK, dvs mer än 30 gånger högre.

5.5.7 Förslag till åtgärder för att minska energiförlusterna genom fläns- och ventilisolering

Det finns en rad olika åtgärder som bör genomföras för att minska energiförlusterna genom flänsar och ventiler. Bland dessa kan nämnas:

- Isolera alltid flänsar och ventiler energioptimalt vid nybyggnad
- Tilläggsisolera flänsar och ventiler så mycket som möjligt vid renovering

6. SAMMANVÄGD ANALYS

I detta kapitel sammanställs den totala privatekonomiska respektive samhällsekonomiska besparingen av de fem analyserade åtgärderna. Den privatekonomiska besparingen tar hänsyn till energieffektiviseringspotential, energipriser och åtgärdskostnader. I den totala samhällsekonomiska besparingen adderas det ekonomiska värdet av de identifierade mervärden som har kvantifierats. Därefter beskrivs faktorer som har betydande inverkan på analysens resultat, följt av en känslighetsanalys utifrån ett energikostnadsscenario och två scenarier för ökade åtgärdskostnader. Kapitlet avslutas med slutsatser och rekommendationer.

I Tabell 3 sammanfattas för de fem analyserade åtgärderna:

- Åtgärdens energieffektiviseringspotential, både för typhuset och uppskalat till hela flerbostadshusbeståndet
- Åtgärdens privatekonomiska lönsamhet över den tekniska livslängden, både för typhuset och uppskalat till hela flerbostadshusbeståndet
- Det monetära värdet av de mervärden som har kunnat kvantifieras
- Åtgärdens totala samhällsekonomiska värde för hela flerbostadshusbeståndet över åtgärdens tekniska livslängd

Det ska noteras att åtgärdernas potentialer kan adderas. Det råder ingen överlappning mellan de olika åtgärdernas potential. Förbättrad isolering av ventiler ingår i tre av åtgärderna, men ventilerna finns i separata delar av systemet.

Tabell 3: Sammanställning av ekonomisk besparing och kvantifierade mervärden. Referensscenario.

Åtgärd, isolering av:	Investering hela beståndet, [MSEK]	Teknisk livslängd	Energieffektivisering/ typhus över teknisk livslängd [MWh]	Energieffektivisering alla flerbostadshus över teknisk livslängd [GWh]	Privatekonomisk besparing/typhus över teknisk livslängd, [SEK]	Privatekonomisk besparing alla flerbostadshus över teknisk livslängd [MSEK]	Värde minskade växthusgaser över teknisk livslängd, [MSEK]	Förbättrat inomhusklimat över teknisk livslängd MSEK]	Undvikt utbyggnad av elinfrastruktur över teknisk livslängd [MSEK]	Legionella (minskning med 7,5%) [MSEK]	Total samhällsekonomisk nytta över teknisk livslängd, [MSEK]
*Fjärrvärme-undercentral**	820	50	53	6 400	14 000	2 200	4 200	680	2 600		9 700
Kanaler på kallvind	2 000	50	90	4 500	3 900	200	2 900	1 200	1 800		6 100
Markkulvert	14 000	50	140	25 000	-8 700	-1 600	17 000	1 800	10 000		27 000
VVC-system	12 000	50	200	36 000	28 000	5 000	23 000	2 500	14 000	1 200	46 000
Flänsar och ventiler	2 800	50	36	6 500	1 400	230	4 200	450	2 600		7 500
Summa	**31 000**	**-**	**500**	**78 400**	**38 600**	**6 100**	**51 300**	**6 600**	**31 000**	**1 200**	**96 300**

6.1 Samlad privatekonomiskt lönsam energieffektiviseringspotential

Av de analyserade åtgärderna är fyra av åtgärderna privatekonomiskt lönsamma. Dessa fyra åtgärder är tilläggsisolering av fjärrvärmeundercentral och rörledningar, tilläggsisolering av ventilationskanaler på kallvind, samt tilläggsisolering/uppgradering av VVC-system samt tilläggsisolering av flänsar och ventiler. I ett typhus beräknas dessa fyra åtgärder ge en energieffektivisering på 380 MWh över den tekniska livslängden, motsvarande en potential på 7,6 MWh/år. Energieffektiviseringen för hela flerbostadshusbebyggelsen för dessa fyra åtgärder är ca 1,1 TWh/år. Över den tekniska livslängden ger de fyra privatekonomiskt lönsamma åtgärderna en energieffektivisering på drygt 53 TWh.

I ekonomiska termer ger de fyra privatekonomiskt lönsamma åtgärderna en besparing på ca 38 600 SEK per typhus över åtgärdernas tekniska livslängd. Uppskalat till hela flerbostadshusbeståndet blir kostnadsbesparingen ca 7,6 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd.

Vad gäller den åtgärd som inte är privatekonomiskt lönsam, tilläggsisolering av fjärrvärmekulvert inom fastigheten, bör det noteras att den privatekonomiska förlusten är försumbar. En endast något lägre åtgärdskostnad eller något högre energikostnad skulle göra att åtgärden i stället blir privatekonomiskt lönsamma.

6.2 Samlad samhällsekonomisk besparing

Tabell 3 visar också den samhällsekonomiska besparingen för de fem analyserade åtgärderna, baserat på de kvantifierade mervärdena. Beräkningarna är gjorda utifrån 2021 års prisnivå för åtgärdskostnaderna. Det ska noteras att endast en del av mervärdena har kunnat kvantifieras i monetära termer. Det innebär att den samhällsekonomiska nyttan som redovisas är underskattad för alla fem åtgärderna.

Sett ur ett samhällsekonomiskt perspektiv är alla de fem analyserade åtgärderna lönsamma. I ett typhus beräknas åtgärderna ge en energieffektivisering på minst 520 MWh över den tekniska livslängden motsvarande en potential på 10,4 MWh/år. Energibesparingen för hela bebyggelsen är ca 1,6 TWh/år vilket ger en energieffektivisering på ca 81 TWh över åtgärdernas tekniska livslängd.

I ekonomiska termer ger åtgärderna en samhällsekonomisk nytta på ca 530 000 SEK/typhus över åtgärdernas tekniska livslängd. Uppskalat till hela flerbostadshusbeståndet blir den samhällsekonomiska nyttan ca 96 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd. Den samhällsekonomiska nyttan är räknad utifrån att även den åtgärd som inte bedöms vara privatekonomiskt lönsam genomförs. Det innebär i praktiken att, med hänsyn till den stora samhällsekonomiska nyttan, ett visst stöd kan komma att behövas för att motivera investeringarna i den åtgärden.

6.3 Känslighetsanalys - resultat vid olika energikostnad

Det finns flera osäkerheter i de analyser som presenteras ovan. En faktor som är av avgörande betydelse är energikostnaden, och en annan är åtgärdskostnader. Här presenteras känslighetsanalyser med avseende på dessa faktorer. De genomförda känslighetsanalyserna bygger på ökade kostnader – energiprisscenariot bygger på ökade energipriser och de två åtgärdskostnadsscenarierna bygger på ökade åtgärdskostnader. Ofta görs känslighetsanalyser av det här slaget för både ökade och minskade kostnader. Vi har dock bedömt att det inte är sannolikt att varken energipriser eller åtgärdskostnader kommer att väsentligt minska, och har därför endast gjort känslighetsanalyser för ökade energipriser och åtgärdskostnader.

6.3.1 Energiprisscenario

I detta avsnitt redovisas en känslighetsanalys över åtgärdernas lönsamhet vid en 100 procent ökning av referensscenariots energipris.

Tabell 4: Sammanställning av ekonomisk besparing och kvantifierade mervärden. Energiprisscenario.

Åtgärd, isolering av:	Investering hela beståndet, [MSEK]	Teknisk livslängd	Energieffektivisering/ typhus över teknisk livslängd [MWh]	Energieffektivisering alla flerbostadshus över teknisk livslängd [GWh]	Privatekonomisk besparing/typhus över teknisk livslängd, [SEK]	Privatekonomisk besparing alla flerbostadshus över teknisk livslängd [MSEK]	Värde minskade växthusgaser över teknisk livslängd, [MSEK]	Förbättrat inomhusklimat över teknisk livslängd [MSEK]	Undvikt utbyggnad av elinfrastruktur över teknisk livslängd [MSEK]	Legionella (minskning med 7,5%) [MSEK]	Total samhällsekonomisk nytta över teknisk livslängd, [MSEK]
*Fjärrvärmeundercentral**	800	50	53	6 400	40 000	5 300	4 200	680	2 600		13 000
Kanaler på kallvind	2 000	50	90	4 500	47 000	2 300	3 000	1 100	1 800		8 200
Markkulvert	14 000	50	140	25 000	58 000	10 000	16 000	1 800	10 000		39 000
VVC-system	12 000	50	200	36 000	122 000	22 000	23 000	2 500	14 000	1 200	63 000
Flänsar och ventiler	2 800	50	36	6 500	18 000	3 300	4 200	450	2 600		11 000
Summa	**31 600**	**-**	**500**	**78 400**	**285 000**	**42 900**	**50 400**	**6 530**	**31 000**	**1 200**	**134 000**

Konsekvensen av ett fördubblat energipris blir att alla åtgärder är privatekonomiskt lönsamma. Den totala privatekonomiska besparingen för hela flerbostadshusbeståndet ökar från 7,6 miljarder SEK till ca 43 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd. Den samhällsekonomiska nyttan ökar samtidigt från ca 95 miljarder SEK till drygt 130 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd.

6.3.2 Åtgärdskostnadsscenario

Här redovisas en känslighetsanalys över den samhällsekonomiska lönsamheten för de analyserade åtgärderna baserat på en variation i åtgärdskostnader. Scenario 1 har beräknats utifrån en prisökning på material och arbete på 15 procent och scenario 2 har beräknats utifrån en prisökning på 30 procent. Energipriset är här samma som i referensscenariot.

Tabell 5: Sammanställning av ekonomisk besparing och kvantifierade mervärden. Scenario 1 (15 % kostnadsökning).

Åtgärd, isolering av:	Investering hela beståndet, [MSEK]	Teknisk livslängd	Energieffektivisering/ typhus över teknisk livslängd [MWh]	Energieffektivisering alla flerbostadshus över teknisk livslängd [GWh]	Privatekonomisk besparing/typhus över teknisk livslängd, [SEK]	Privatekonomisk besparing alla flerbostadshus över teknisk livslängd [MSEK]	Värde minskade växthusgaser över teknisk livslängd, [MSEK]	Förbättrat inomhusklimat över teknisk livslängd [MSEK]	Undvikt utbyggnad av elinfrastruktur över teknisk livslängd [MSEK]	Legionella (minskning med 7,5%) [MSEK]	Total samhällsekonomisk nytta över teknisk livslängd, [MSEK]
*Fjärrvärmeundercentral**	900	50	53	6 400	13 000	2 100	4 200	680	2 600		9 500
Kanaler på kallvind	2 200	50	90	4 500	-2 000	-100	3 000	1 200	1 800		5 800
Markkulvert	16 000	50	140	25 000	-20 000	-3 600	16 000	1 800	10 000		25 000
VVC-system	14 000	50	200	36 000	18 000	3 200	23 000	2 500	14 000	1 200	45 000
Flänsar och ventiler	3 300	50	36	6 500	-930	-200	4 200	450	2 600		7 000
Summa	**36 400**	**-**	**500**	**78 400**	**8 700**	**1 400**	**50 400**	**6 600**	**31 000**	**1 200**	**92 000**

Konsekvenserna av en 15 procent kostnadsökning för åtgärderna är att den privatekonomiska lönsamheten går ner. Teknisk isolering för kanaler på kallvind och isolering av flänsar och ventiler blir inte längre privatekonomiskt lönsam och den totala besparingen för flerbostadshusbeståndet av

de lönsamma åtgärderna minskar från 7,6 till 5,3 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd. Slutsatsen att alla åtgärder är samhällsekonomiskt lönsamma kvarstår. Den totala samhällsekonomiska nyttan över åtgärdernas livslängd minskar dock från 96 till 92 miljarder SEK. Detta förutsätter att även åtgärderna som inte är privatekonomiskt lönsamma genomförs.

Tabell 6: Sammanställning av ekonomisk besparing och kvantifierade mervärden. Scenario 2 (30 % kostnadsökning).

Åtgärd, isolering av:	Investering hela beståndet, [MSEK]	Teknisk livslängd	Energieffektivisering/ typhus över teknisk livslängd [MWh]	Energieffektivisering alla flerbostadshus över teknisk livslängd [GWh]	Privatekonomisk besparing/typhus över teknisk livslängd, [SEK]	Privatekonomisk besparing alla flerbostadshus över teknisk livslängd [MSEK]	Värde minskade växthusgaser över teknisk livslängd, [MSEK]	Förbättrat inomhusklimat över teknisk livslängd MSEK]	Undvikt utbyggnad av elinfrastruktur över teknisk livslängd [MSEK]	Legionella (minskning med 7,5%) [MSEK]	Total samhällsekonomisk nytta över teknisk livslängd, [MSEK]
*Fjärrvärmeundercentral**	1 000	50	53	6 400	11 000	2 000	4 200	680	2 600		9 400
Kanaler på kallvind	2 500	50	90	4 500	-7 800	-390	2 900	1 200	1 800		5 500
Markkulvert	18 000	50	140	25 000	-31 000	-5 600	16 000	1 800	10 000		23 000
VVC-system	16 000	50	200	36 000	8 000	1 400	23 000	2 500	14 000	1 200	43 000
Flänsar och ventiler	3 700	50	36	6 500	-3 300	-600	4 200	450	2 600		6 600
Summa	**41 000**	**-**	**500**	**78 400**	**-23 000**	**-3 200**	**50 400**	**6 600**	**31 000**	**1 200**	**87 500**

Konsekvenserna av en 30 procent kostnadsökning för åtgärderna är att den privatekonomiska lönsamheten går ner ytterligare. Den totala privatekonomiska besparingen för flerbostadshusbeståndet av de lönsamma åtgärderna minskar från 7,6 till 3,4 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd. Slutsatsen att alla åtgärderna är samhällsekonomisk lönsamma kvarstår, men den totala samhällsekonomiska nyttan över åtgärdernas livslängd minskar från 96 till ca 88 miljarder SEK. Detta förutsätter att även åtgärderna som inte är privatekonomiskt lönsamma genomförs.

6.4 Faktorer som påverkar potentialen

Beräkningarna som redovisas i denna rapport baseras på ett antal antaganden. Hur antagandena görs påverkar resultatet. En del antaganden gör att potentialen överskattas, medan andra antaganden kan göra att potentialen underskattas.

Faktorer som överskattar potentialen:

- I referensscenariot tas begränsad hänsyn till åtgärdskostnadsökningar

Faktorer som underskattar potentialen:

- Analysen inkluderar bara ett urval samhällsekonomiska faktorer
- Eftersom inte alla mervärden har kunnat kvantifieras monetärt är den samhällsekonomiska besparingen i samtliga fall väsentligt underskattad
- I referensscenariot har ingen hänsyn tagits till den senaste tidens höjda energipriser
- Analysen inkluderar bara energieffektivisering i flerbostadshus. Ytterligare potential finns både i andra byggnadskategorier och i industrin
- Analysen inkluderar bara fem åtgärder, andra åtgärder för förbättrad teknisk isolering finns
- Analysen inkluderar inte undvikta kostnader för energidistribution

6.5 Slutsatser om förbättrad teknisk isolering

6.5.1 Stor privatekonomiskt lönsam energieffektiviseringspotential

Teknisk isolering är den gömda och glömda energieffektiviseringspotentialen. Den här typen av åtgärder är sällan eller aldrig med i de generella analyser som görs av potentialen för hela byggnadsbeståndet.

I den här rapporten har vi analyserat potential och lönsamhet för fem olika typer av förbättrad teknisk isolering:

1. Isolering av fjärrvärmeundercentraler
2. Isolering av VVC-system
3. Isolering av markkulvert inom fastigheter
4. Isolering av ventilationskanaler på kallvind
5. Isolering av rörledningars flänsar och ventiler

Fyra av dessa åtgärder är enligt våra beräkningar privatekonomiskt lönsamma. De privatekonomiskt lönsamma åtgärderna är tilläggsisolering av fjärrvärmeundercentral, tilläggsisolering/uppgradering av VVC-system, tilläggsisolering av ventilationskanaler på kallvind samt tilläggsisolering av rörledningars flänsar och ventiler.

Åtgärden av förbättrad isolering av markkulvert inom fastigheter är inte privatekonomiskt lönsam, men förlusten är försumbar. Beräkningen är baserad på 2021 års prisnivå för energi- och åtgärdskostnader. Det ska dock noteras att bristen på statistik över omfattning och utförande på befintliga sekundära kulvertsystem innebär att det finns en risk att de antaganden som gjorts överskattar prestandan för befintlig isolering, och att energieffektiviseringspotentialen därmed underskattas. En endast liten förändring i förutsättningarna skulle innebära att även denna åtgärd privatekonomiskt lönsam.

För typhuset beräknas de fyra lönsamma åtgärderna ge en energieffektivisering på 380 MWh över den tekniska livslängden, motsvarande en potential på 7,6 MWh/år.

År 2021 var energianvändningen för uppvärmning och tappvarmvattenvärmning i det svenska flerbostadshusbeståndet 28,7 TWh. De fyra privatekonomiskt lönsamma åtgärderna som är privatekonomiskt lönsamma har en bedömd energieffektiviseringspotential på 1,1 TWh/år för hela det svenska flerbostadshusbeståndet. Inkluderas även den femte åtgärden, vilket är motiverat av samhällsekonomiska skäl, är energieffektiviseringspotentialen 1,6 TWh/år.

Den privatekonomiskt lönsamma potentialen motsvarar således knappt 4 procent av flerbostadshusens årliga energianvändning för uppvärmning och varmvatten, och den samhällsekonomiskt lönsamma potentialen motsvarar ca 5,6 procent av den årliga energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i flerbostadshusen.

6.5.2 Ännu större samhällsekonomisk potential

Sett ur ett samhällsekonomiskt perspektiv är nyttan av teknisk isolering ännu större. Alla de fem analyserade åtgärderna är lönsamma. I ekonomiska termer ger de fem åtgärderna en samhällsekonomisk nytta på minst 530 000 SEK/typhus över åtgärdernas tekniska livslängd. Uppskalat till hela flerbostadshusbeståndet blir den samhällsekonomiska nyttan drygt 96 miljarder SEK över åtgärdernas tekniska livslängd.

Den samhällsekonomiska nyttan är räknad utifrån att även den åtgärd som inte bedöms vara privatekonomiskt lönsam genomförs. Det innebär i praktiken att, motiverat med åtgärdens stora samhällsekonomiska nytta, ett visst stöd kan komma att behövas för att motivera investeringarna.

6.5.3 Potentialen i förhållande till total energianvändning

Typhuset som används i beräkningarna i denna rapport har hämtats från Boverkets BETSI-studie. Huset använder ca 194 MWh/år. Den privatekonomiskt lönsamma potentialen på 1,1 TWh/år för de fyra lönsamma åtgärderna som redovisas i denna rapport motsvarar hela den årliga energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i ca 5 700 flerbostadshus av samma slag som typhuset. Den samhällsekonomiska potentialen på 1,6 TWh/år motsvarar hela energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i drygt 8 200 typhus. Det motsvarar hela uppvärmningsbehovet för alla bostäder i en kommun som t.ex. Simrishamn, Skara, Finspång, Salem, Kramfors, Mora eller Sollefteå.

Det är dock osannolikt att alla flerbostadshusägare genomför alla dessa åtgärder i sina byggnader. Det är känt sedan länge att energieffektiviseringsgapet, dvs skillnaden mellan vad som är lönsamt och vad som genomförs, är stort. Om vi antar att åtgärderna genomförs i 30 procent av flerbostadshusen blir den totala privatekonomiskt lönsamma potentialen som realiseras drygt 0,3 TWh/år, och den samhällsekonomiskt ekonomiskt lönsamma potential som med ett sådant antagande realiseras blir drygt 0,5 TWh/år.

6.6 Rekommendationer

Med hänsyn till både den stora och ofta förbisedda privatekonomiskt lönsamma energieffektiviseringspotentalen och de stora samhällsekonomiska nyttor som teknisk isolering bidrar till är det uppenbart att dessa åtgärder behöver få mer uppmärksamhet. Våra generella rekommendationer är:

- Bygg upp mer kapacitet och kompetens om teknisk isolering. Inom alla yrkeskårer som är involverade i husbyggande och renovering. Det krävs mer omsorg om teknisk isolering hela vägen från projektering till genomförande både i nya byggnader och vid renovering av befintliga byggnader.
- Skapa bättre förutsättningar för samverkan mellan yrkeskårerna. Det är vitalt att det sker en dialog med VVS-projektörer och arkitekter i ett tidigt skede av projektet. Förutsättningar för att utföra isoleringen måste också tas hänsyn till redan i tidigt skede.
- Se till att det skapas förutsättningar för optimal teknisk isolering i samband med projektering av nya byggnader.
- Genomför alltid åtgärder för förbättrad teknisk isolering i samband med renoveringar av befintliga byggnader, uppgradering av fjärrvärmeundercentraler, uppgradering av värme- och ventilationssystem, stambyten m.m.
- Använd distansskålar för att lättare få plats med isoleringen med bibehållen isoleringsklass
- Se till att VVC-ledningarna blir så korta som möjligt utan att risk för legionellatillväxt uppkommer.
- Isolera enligt rekommendation i BTI.
- Utveckla enkla och billigare metoder för detektering av risk för fukt- och mögelskador.

7. Referenser

Alros, M. (2015). Energikartläggning av VVC-systemet i flerbostadshus. Kungliga tekniska högskolan.

Anticimex. (2021). Mer än var fjärde vind är fuktskadad. Hämtad 2022-10-10 från: https://www.anticimex.se/nyhetsrum/mer-an-var-fjarde-vind-ar-fuktskadad

Baker-Goering M, Roy K, Eldens C, Collier S. (2021). Economic Burden of Legionnaires' Disease, United States, 2014. Emerg Infect Dis. Jan;27(1):255-257. do: 10.3201/eid2701.191198. PMID: 33350911; PMCID: PMC7774564.

BeBo. (2015) Kartläggning av VVC-förluster I flerbostadshus – mätningar i 12 fastigheter. BeBo.

Boverket. (2020). Boverkets byggregler (2011:6) föreskrifter och allmänna råd, BBR.

Byggkoll. (2011). Flest fuktskador i äldre småhus. Hämtad 2022-10-10 från: https://byggkoll.byggtjanst.se/artiklar/2011/februari/flest-fuktskador-i-aldre-smahus/

EA Energianalyse. (2019). *Analyse af det samfundsøkonomiske potentiale for energibesparelser*.

EiiF. (2021). The isolations contribution to decarbonise industry. Eia.

Energiföretagen. (2021). Miljövärdering av fjärrvärme. Hämtad 2022-10-07 från: https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/miljovardering-av-fjarrvarme/

Energimyndigheten. (2012). *Färdplan 2050 – El och fjärrvärmeproduktion.* ER 2012:30. Statens energimyndighet. https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=104457

Fasth, E-M. (2009) Cirkulationsmetoden kan stoppa Legionella på svenska sjukhus. VVS-Forum, nr 5, ss. 89-92. Frederiksen, S. Werner, S. (2014). Fjärrvärme och fjärrkyla. Första upplagan. Studentlitteratur.

Folkhälsomyndigheten. (2018). Sjukdomsinformation om legionellainfektion. Hämtad 2022-09-26 från: https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/legionellainfektion-och-pontiacfeber/.

Huzeyfe, A. (2018). Utvärdering av teknisk isolering för minskad klimatpåverkan. Higson i Borås.

IEA. (2015). *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/capturing-the-multiple-benefits-of-energy-efficiency

If Förening. (2016). En handbok i teknisk isolering. https://tekniskisolering.se/wp-content/uploads/2017/11/IF-Handbok-i-Teknisk-isolering-2017-.pdf

If Förening. (2020). *Branschstandard Teknisk Isolering - Termisk isolering av VVS och Kyla.* Utgåva 1.01.

Isover. (2014). Isolering av ventilationskanaler på kallvind. Hämtad 2022-10-06 från https://www.isover.se/news/isolering-av-ventilationskanaler-pa-kallvind

IVL. (2021). Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export. SMED Rapport nr 4 2021. https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1540012/FULLTEXT01.pdf

Jensen, T. Nyberg, P. (2021). Alternativa VVC-lösningar i flerbostadshus. Aktea/BeBo

Keanu Lee, Shiying You, Yunfei Li, Harrell Chesson, Thomas L Gift, Andrés A Berruti, Katherine Hsu, Reza Yaesoubi, Joshua A Salomon, Minttu Rönn. (2022). *Estimation of the Lifetime Quality-Adjusted Life Years (QALYs) Lost Due to Syphilis Acquired in the United States in 2018*, Clinical Infectious Diseases, ciac427, https://doi.org/10.1093/cid/ciac427Lindencrona, E. Lindsköld, S. (2014). Forestudy av VVC-förluster I flerbostadshus. BeBo.

Lock K, Millett C, Heathcock R, Joseph CA, Harrison TG, Lee JV, Rao G, Surman-Lee S; Outbreak Control Team. (2008). *Public health and economic costs of investigating a suspected outbreak of Legionnaires' disease*. Epidermal Infect. Oct;136(10):1306-14. doi: 10.1017/S0950268807000076. Epic 2007 Dec 19. PMID: 18088448; PMCID: PMC2870734.

Persson, U.O., S. (2018). Ett QALY är värt mer än två miljoner SEK. Läkartidningen.

Prisdialogen. (2021). Statistik. Hämtad 2022-10-14 från: https://www.prisdialogen.se/om-prisdialogen/statistik/.

Regeringen. (2022). Nationell strategi för elektrifiering. https://www.regeringen.se/491c71/contentassets/8761973413204121b91d01089fbd1e91/nationell-strategi-for-elektrifiering---en-trygg-konkurrenskraftig-och-hallbar-elforsorjning-for-en-historisk-klimatomstallning.pdf

Rigby, D., Payne, K., Wright, S., Burton, M., O'Brien, S., Hardstaff, J., ... & Mistry, R. (2017). *Estimating Quality Adjusted Life Years and Willingness to Pay Values for Microbiological Foodborne Disease (Phase 2).*

Sjöberg, R. (2014). Från böna till kopp via välisolerade rör. Karlstad universitet.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. (2012). *Transmissionsförluster från otäta ventilationskanaler*. Rapport. Hämtad 2022-10-27 från: https://wwwsvenskventila.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2015/01/SPs_rapport_PX21599.pdf

SCB (2021). Priserna i Sverige – Konsumentprisindex (KPI). Hämtad 2022-10-08 från: https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/samhallets-ekonomi/kpi/

Svensk byggtjänst (2019) VVS & Kyl 19, Svensk byggtjänst, Stockholm, Sverige.

Svensson M, N.F., (2016). TV:s betalningsvilja för nya läkemedel har analyserats. Kostnadseffektivitet och sjukdomens svårighetsgrad avgörande för subvention – cancerläkemedel får kosta mer. Läkartidningen.

Tandvårds- och läkemedelförmånsverket (TLV), (2016). N.f.l., Cerezyme (imiglukeras) och Vivi (velaglukeras alfa). Underlag för beslut om subvention - Omprövning.

Termens, Josep. (2017). Energieffektiva tappvarmvattensystem i lokaler. Belok. CIT Management. Göteborg.

Trafikverket. (2020). Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0. https://bransch.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-2021/asek-7_0-hela-rapporten-210601.pdf

Bilaga 1: Detaljerade energiberäkning av isolering av fjärrvärmeundercentraler

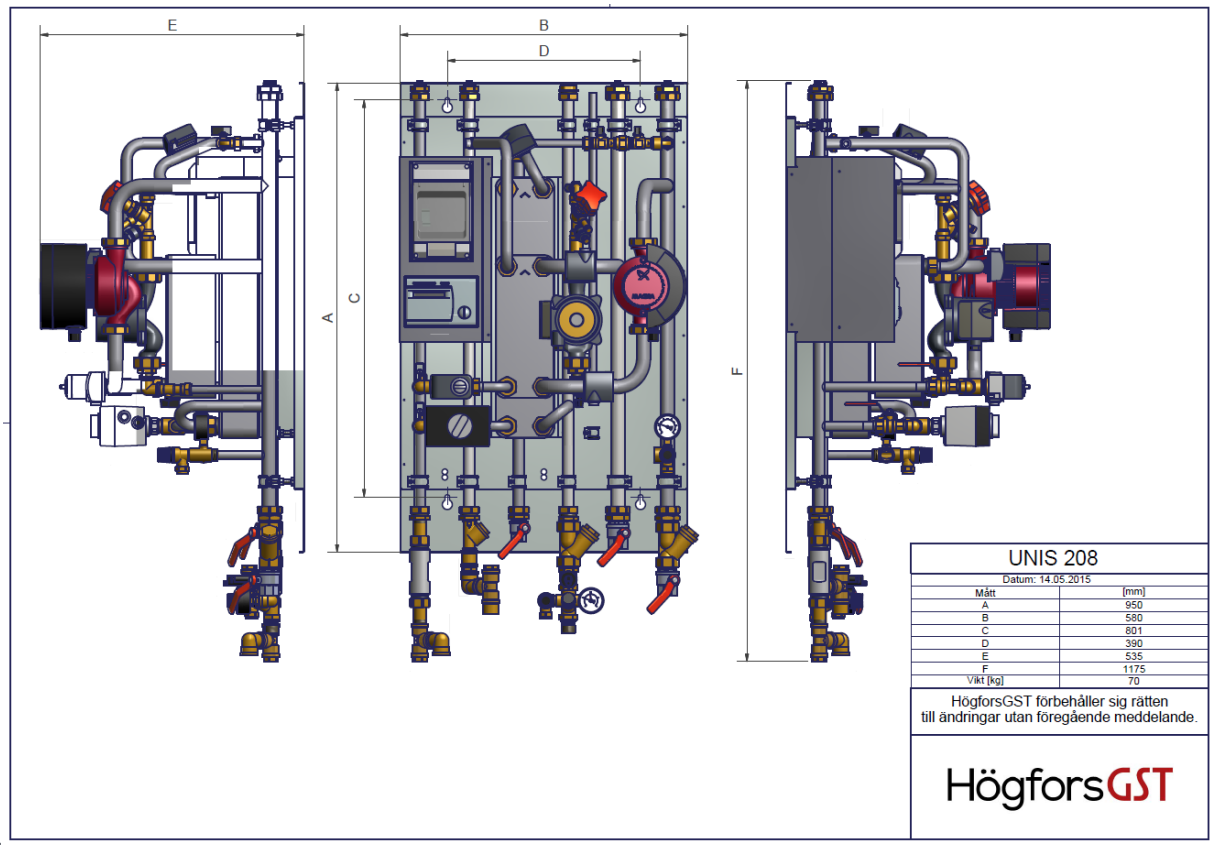
Denna bilaga redovisar beräkningen av energibesparing vid byte från oisolerade rör till isolerade rör som representerar *"Best available technology"*, för en prefabricerad undercentral i flerbostadshus.

Det finns en osäkerhet kring vilket isolerklass som är möjlig att installera och då bör klassas som *"Best available technology"*, på grund av detta kommer beräkningar för *"Best available technology"* genomföras för isolerklass R4 och R6. Vidare kommer också den besparingspotential som finns mellan R4 och R6 undersökas.

Rörlängder och ventiler

Detta avsnitt redovisar de rörlängder och antal ventiler som används vid beräkningar av förlusteffekterna.

Den prefabricerade undercentral som har används och antas representera en standardmodell på den svenska marknaden, är modellen UNIS 208 från HögforsGST. De längdmeter och antal ventiler som används i senare beräkningar baseras på denna modell. Då längdmeter och antal ventiler ej fanns tillgängligt från leverantören har dessa beräknats direkt från modellen i figuren nedan.



Figur 5: Den prefabricerade undercentralen UNIS 208 som beräkningar för längdmeter och antal ventiler baseras på.

Från vänster på bilden i mitten tillhör röranslutningarna följande systemdel,

Från vänster:

- Primärsida, Fjärrvärme returflöde
- Primärsida, Fjärrvärme tillflöde
- Tappvarmvatten tillflöde
- Kallvatten tillflöde från undersidan och VVC från ovansidan
- Sekundärsida, Värmesystem tillflöde
- Sekundärsida, Värmesystem returflöde

Nedan presenteras resultatet från sammanställningen av längdmeter och antal ventiler för de olika delarna av systemet.

Tabell 7: Längdmeter på rör samt antal ventiler för de olika systemdelarna i den prefabricerade undercentralen.

Rör och ventiler

Primärsida, Fjärrvärme returflöde		
Rör	1,3233	m
Antal ventiler	3	stycken
Primärsida, Fjärrvärme tillflöde		
Rör	1,53155	m
Antal ventiler	1	stycken
Tappvarmvatten tillflöde		
Rör	1,16632	m
Antal ventiler	2	stycken
VVC		
Rör	1,828	m
Antal ventiler	2	stycken
Sekundärsida, Värmesystem tillflöde		
Rör	1,2685	m
Antal ventiler	1	stycken
Sekundärsida, Värmesystem returflöde		
Rör	1,598	m
Antal ventiler	1	stycken

Temperaturer i systemet

Detta avsnitt presenterar de antaganden och beräkningar som är kopplade till temperaturerna i systemet.

När det kommer till värmeledning genom material och värmeförluster i ett system, så är dessa alltid beroende av temperaturerna i systemet samt dess omgivning.

Det första antagande gäller omgivningstemperaturen i undercentralen. Vanligtvis ligger detta rum i källaren och är troligtvis dimensionerat med en temperatur kring 15–18 °C, dock leder värmeförluster från den prefabricerade enheten till en högre temperatur i rummet. På grund av detta har vi antagit en omgivande temperatur på 20 °C.

Den klimatfil som används för denna beräkning baserar sig på ett normalår för Eskilstuna från SMHI/Sveby. (Eskilstuna_Eskilstuna 102417). Detta antas representera ett snitt för svensk bebyggelse.

Klimatfilen används för att bestämma den momentana framledningstemperaturen för både fjärrvärmen på primärsidan, samt framledningstemperaturen på värme sekundärsidan.

De två värmekurvorna som beskriver framledningstemperaturerna redovisas i diagrammen nedan.

Diagram 3: Diagrammet beskriver hur framledningstemperaturen i värmesystemet beror av utomhustemperaturen.

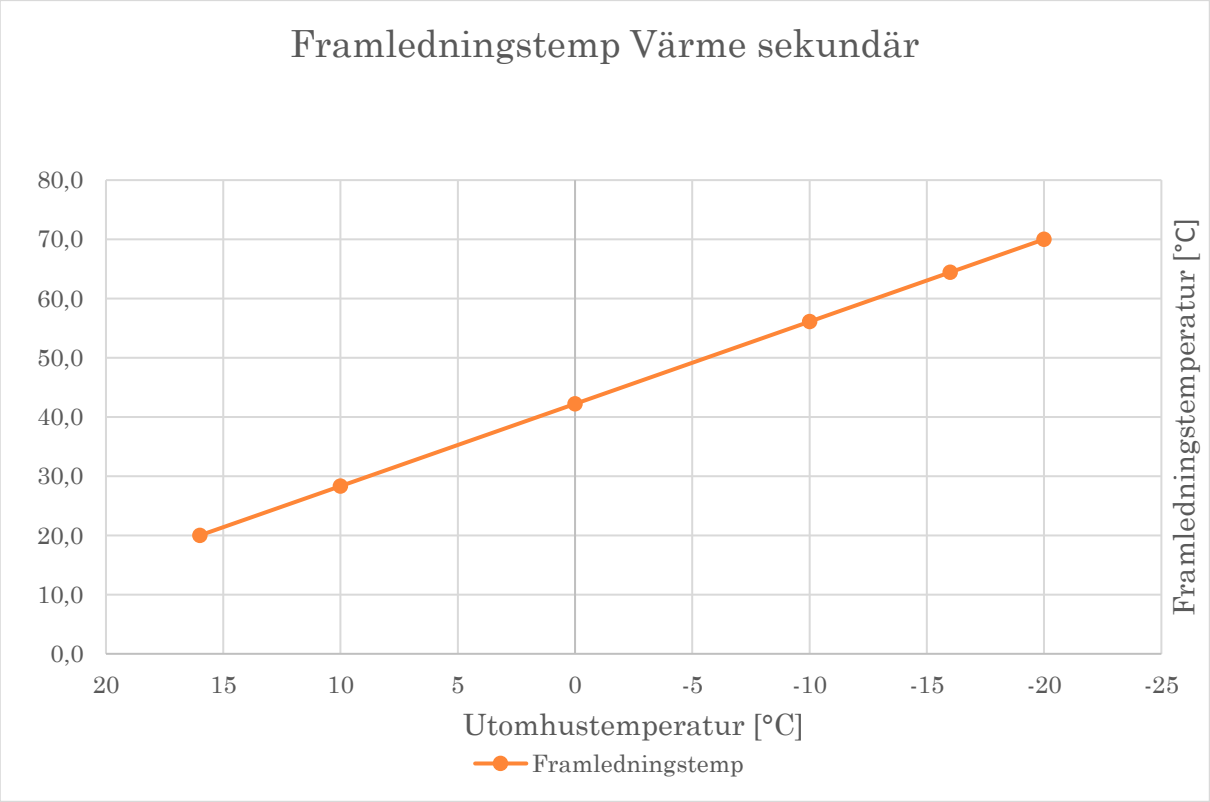
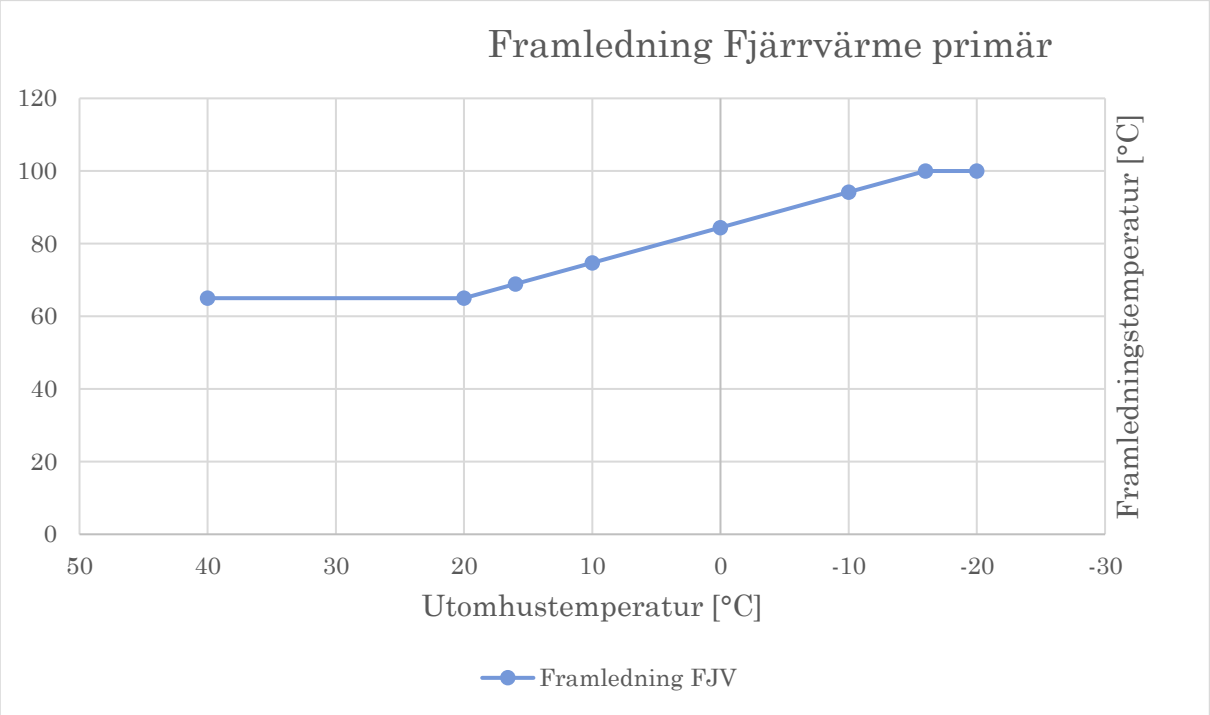


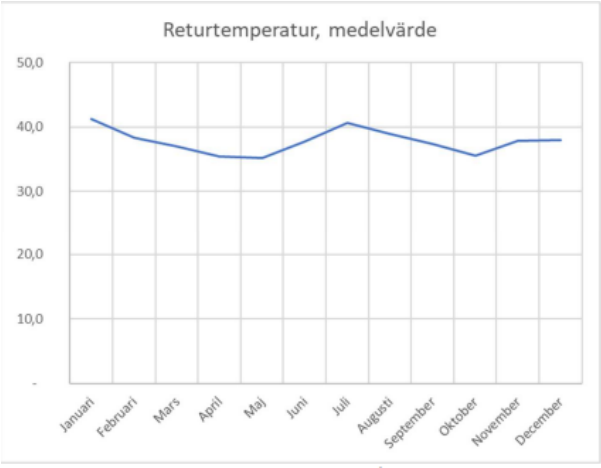
Diagram 4: Diagrammet beskriver hur framledningstemperaturen i fjärrvärmesystemet beror av temperaturen utomhus.



Vidare interpoleras de momentana framledningstemperaturerna från dessa kurvor baserat på vilken utomhustemperatur det är vid den tidpunkten.

Vidare har returtemperaturen för fjärrvärmen baserats på en rapport från BEBO, *"Vinster med sänkta returtemperaturer i fjärrvärmesystem"*. Rapporten presenterar en genomsnittlig returtemperatur per månad för fjärrvärmen som baseras på ca 7 000 byggnader.

Diagram 5 Returtemperaturen variation över året.



Månad	Genomsnittlig returtemperatur, samtliga byggnader
Årsgenomsnitt	**37,8 °C**
Januari	41,3 °C
Februari	38,3 °C
Mars	37,0 °C
April	35,4 °C
Maj	35,2 °C
Juni	37,7 °C
Juli	40,6 °C
Augusti	39,0 °C
September	37,4 °C
Oktober	35,6 °C
November	37,9 °C
December	38,0 °C

:

För tappvarmvattensystemet och VVC, har temperaturerna 55°C respektive 52°C för till- respektive returflöde antagits.

Avslutningsvis behövs ett uttryck för temperaturen i returflödet i värmesystemet. Då effektuttaget i byggnaden är okänt är det inte möjligt att enbart använda en vanlig effektberäkning, där :

$$P_{byggnad} = \dot{m} * c_p * (T_{fram} - T_{retur})$$

Där:

$P_{byggnad}$ – Effektbehovet i byggnaden [kW] (okänd)

$\dot{m}$ – Massflödet i systemet [kg/s]

c_p – Specifika värmekapaciteten för vatten [kJ/kg,K]

T_{fram} – Framledningstempeatur [°C]

T_{retur} – Returtemperatur [°C]

Med kända temperaturer i det primära fjärrvärmesystemet är det dock möjligt att beräkna temperaturen i värmesystemets returflöde genom att använda uttycken för effekten i värmeväxlaren för värmesystemet.

Med ett känt effektflöde på retursidan för fjärrvärmen (eftersom temperaturen är känd), samt antagandet att effektflödet i fjärrvärmereturen är summan av effektflödet efter de båda värmeväxlarna.

Kan ett uttryck för temperaturen efter värmeväxlaren på värmesidan skrivas som följande:

$$T_{retur,fjv,vs} = \frac{T_{retur,fjv} * (\dot{m}_{fjv,tvv} + \dot{m}_{fjv,vs}) - T_{retur,fjv,tvv} * \dot{m}_{fjv,tvv}}{\dot{m}_{fjv,vs}}$$

Där:

T – Temperaturen [°C]

$\dot{m}$ – massflödet [kg/s]

$T_{retur,fjv,tvv}$ i ovanstående formel kan lösas och beräknas ur:

$$P_{TVV,vvx} = \dot{m}_{fjv,tvv} * c_p * (T_{fram,,fjv} - T_{retur,fjv,tvv}) = \dot{m}_{tvv} * c_p * (T_{fram,tvv} - T_{retur,tvv})$$

Där

c_p – Specifika värmekapaciteten för vatten [kJ/kg,K]

Samt resterande temperaturer och massflöden är kända, och presenteras i indatatabellen längst ned.

$T_{fram,,fjv}$ representerar framledningstemperaturen för fjärrvärmen, och följer kurvan i Diagram 4.

Med en känd returtemperatur på fjärrvärmesidan kan tillsist temperaturen i returflödet i värmesystemet beräknas med följande förhållande:

$$P_{VS,vvx} = \dot{m}_{fjv,vs} * c_p * (T_{fram,fjv} - T_{retur,fjv,vs}) = \dot{m}_{vs} * c_p * (T_{fram,vs} - T_{retur,vs})$$

Omskrivet blir detta

$$T_{retur,vs} = T_{fram,vs} - \frac{\dot{m}_{fjv,vs}}{\dot{m}_{vs}} * (T_{fram,fjv} - T_{retur,fjv,vs})$$

När alla temperaturer i systemet är kända kan sedan effektförlusterna beräknas.

Förlusteffekter för ett oisolerat rör

Detta avsnitt redovisar beräkningen av förlusteffekt för ett oisolerat rör tillhörande den prefabricerade undercentralen.

Inledningsvis måste *värmeövergångskoefficienterna (α)* för mediet på den varma och kalla sidan av röret beräknas. α kan beskrivas som ett mått på hur effektivt värmeöverföringen mellan en yta och ett medium är.

Värmeövergångskoefficienten på den kalla sidan (α_k) kan beräknas enligt [Alvarez] som:

$$\alpha_k = k * \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{0,25} \quad [W/m^2 * K]$$

Där:

Δt - är medeltemperaturdifferensen mellan omgivande luft och ytan

k = 1,352 vid omgivande lufttemperatur 20 °C, konstant interpolerad från tabell.

d – rördiameter [m].

Till en början måste medeltemperaturdifferensen mellan luft och ytan baseras på ett antagande, där det har antagits att yttemperaturen är 5 grader lägre än temperaturen inuti röret.

Värmeövergångskoefficienten på den varma sidan i röret (α_v) kan sedan beräknas som [Alvarez]:

$$\alpha_v = k * (1 + 0,015 * t) * {c^{0,87}}/{d^{0,13}}$$

Där:

k – är en konstant, som för vatten $k = 2050$

d – rördiameter [m]

t – temperaturen [°C]

c – Flödeshastigheten i röret [m/s]

För att beräkna förlusteffekten behöver sedan *värmegenomgångskoefficienten* beräknas, vilket även kallas *k*-värdet. *K*-värdet tar hänsyn till värmeledningen genom yta så väl som värmeövergångsförhållande (α_k & α_v) på båda sidor om ytan. Vid värmeledning genom cylindriska ytor brukar *k*-värdet benämnas k_{cyl} och om ytan består *n* stycken cylindriska skikt kan k_{cyl}-värdet enligt [Alvarez] beräknas som:

$$\frac{1}{k_{cyl}} = \frac{1}{\alpha_v * r_v} + \sum_{i=1}^{i=n}\left(\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}\right) + \frac{1}{\alpha_k * r_k} \quad [W/m * K]$$

Där:

r_i – innerradien för skiktet i [m]

r_{i+1} – ytterradien för skiktet i [m]

λ_i – värmeledningsförmågan för skiktet i W/mK

för varje skikt insättes en term $\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}$

$\alpha_v och\ r_v$ – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den varma sidan

$\alpha_k\ och\ r_k$ – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den kalla sidan

Avslutningsvis kan värmeeffekten genom cylindriska ytor beskrivas som [Alvarez]:

$$P = 2\pi L * k_{cyl} * (t_v - t_k)$$

Där:

L – Längden på röret [m]

$t_{v,k}$ – temperaturen på den varma respektive kallas sidan [K]

Med hjälp av ekvationerna ovan samt indata längst ned i bilagan, kan effektförlusterna för de oisolerade rören beräknas. Förlusterna i de oisolerade rören är som visat temperaturberoende. Då undercentraler använder sig av värmekurvor för styrning, kommer detta leda till förlusteffekten i rören bli momentan. Nedan visas som exempel den momentana förlusteffekten för hela den prefabricerade undercentralen med oisolerade rör vid en utomhustemperatur på 0 °C.

$$P_{oisolerade\ rör} \sim 372\ W$$

Förlusteffekt ”Best available technology”

Detta avsnitt beräknar effektförlusten för rören i den prefabricerade undercentralen när det kommer till *Best available technology (BAT).* Effektförlusten för BAT hämtas från ”Branschstandard Teknisk Isolering” (BTI) och representeras av U-värdeskravet för cirkulära rör med isolerklassen R4 eller R6.

U-värdeskravet kan beräknas med rörets diameter enligt tabellen nedan [BTI Lathund]:

Isoleringsklasser för rör och plana ytor, R-klasser

Isoleringsklass	U-värdeskrav för rör, U_l W/mK	U-värdeskrav för plana ytor, U W/m^{2}K
R0	Ingen isolering	Ingen isolering
R1	3,3 × D_y + 0,22	1,17
R2	2,6 × D_y + 0,20	0,88
R3	2,0 × D_y + 0,18	0,66
R4	1,5 × D_y + 0,16	0,49
R5	1,1 × D_y + 0,14	0,35
R6	0,8 × D_y + 0,12	0,22
R7	0,7 × D_y + 0,11	0,21

**Dy =ytterdiameter på rör i meter.*

Med ekvationen för U-värdeskravet för isolerklass R4/R6 samt indata enligt tabellen längst ned i bilagan, kan förlusterna för de isolerade rören beräknas, vilka är temperaturberoende. Då undercentraler använder sig av värmekurvor för styrning, kommer detta leda till att effektförlusten måste beräknas momentant. Nedan visas som exempel den momentana effektförlusten för hela den prefabricerade undercentralen med isolerade rör vid en utomhustemperatur på 0 °C.

$$P_{R4} \sim 122\ W$$

$$P_{R6} \sim 96\ W$$

Energibesparing vid byte till ”Best available technology”

Detta avsnitt beräknar den ökade energianvändningen för typhuset på grund av värmeförlusterna i de oisolerade rören, samt för de isolerade rören som bedöms vara ”*Best available technology*”. Vidare beräknas också energibesparingen vid byte från oisolerade rör till isolerade rör.

Generellt beräknas den ökade energianvändningen från värmeförluster på samma sätt för de två fallen. Det som skiljer de två fallen åt är vilken förlusteffekt för värmeledning genom rören som används.

Den ökade energianvändningen beräknas för varje separat systemdel som presenterades i Tabell 7. Då längdmeter, antal ventiler samt temperaturer skiljer sig mellan systemdelarna. Då vissa temperaturer varierar på timbasis över året, beräknas förlusteffekten timvis, för att sedan summeras ihop till en årlig ökad energianvändning för varje systemdel. Med antagandet att varje ventil har lika stora förluster som 1 m rör, blir förlusteffekten varje timme:

$$P_{oisolerad} = 2\pi * k_{cyl} * (längmeter + ventiler) * (T_{rör} - T_{om})$$

$$P_{isolerad} = U_{krav} * (längmeter + ventiler) * (T_{rör} - t_{om})$$

Där:

$T_{rör}$ – Temperaturen i röret [°C]

T_{om} – Omgivande temperatur [°C]

U_{krav}/k_{cyl} – Värmegenomgångskoefficienten för isolerade/oisolerade rör.

Resultatet av beräkningen för varje systemdel presenteras i tabellen nedan;

Tabell 8: Summerade resultatet över den ökade energianvändningen för den prefabricerade undercentralen under ett år.

Energianvändning [kWh/år]	*Oisolerade rör*	R4	R6
Primärsida, Fjärrvärme returflöde	362	135	95
Primärsida, Fjärrvärme tillflöde	983	257	182
Tappvarmvatten tillflöde	642	194	137
VVC	581	307	278
Sekundärsida, Värmesystem tillflöde	275	75	66
Sekundärsida, Värmesystem returflöde	5	1	1
Totalt	**2848**	**970**	**760**

Energibesparingen för varje prefabricerad undercentral vid byte från oisolerade rör till R4 kan sedan beräknas som differensen:

$$Besparing = Q_{oisolerade} - Q_{BAT,R4} \approx 1878\ kWh/år$$

Den specifika energibesparingen för typhuset från BETSI på 1 426 m² A_{temp} presenteras nedan, där det är antaget att varje undercentral delas mellan två typhus.

$$Specifik\ besparing = 0{,}66\ kWh/m^2{}_{Atemp}, år$$

För ett fjärrvärmeuppvärmt fastighetsbestånd av flerbostadshus på ca 170 910 000 $m^2{}_{Atemp}$, med samma antagande att varje undercentral delas mellan två hus, resulterar detta i en nationell energibesparing av uppvärmningsenergi på

$$Nationell\ besparing = 113\ GWh/år$$

Energibesparingen för varje prefabricerad undercentral vid byte från oisolerade rör till R6 kan beräknas som differensen:

$$Besparing = Q_{oisolerade} - Q_{BAT,R4} \approx 2\ 088\ kWh/år$$

Den specifika energibesparingen för typhuset från BETSI på 1 426 m^2,A_{temp} presenteras nedan, där det är antaget att varje undercentral delas mellan två typhus.

$$Specifik\ besparing = 0{,}73\ kWh/m^2{}_{Atemp}, år$$

För ett fjärrvärmeuppvärmt fastighetsbestånd av flerbostadshus på ca 170 910 000 $m^2{}_{Atemp}$, med samma antagande att varje undercentral delas mellan två hus, resulterar detta i en nationell energibesparing av uppvärmningsenergi på

$$Nationell\ besparing = 125\ GWh/år$$

Den ökade besparingen vid byte till R6 istället för R4 uppgår till ca 12 GWh/år i nationell besparing.

Investeringskostnad

Detta avsnitt redovisar investeringskostnaderna för att genomföra tilläggsisolering av rör och ventiler i en prefabricerad undercentral. Kostnaderna är tagna från Wikells med priser uppdaterade i mars 2022. Kostnaden för etablering är ej med i kalkylen då det antas att tilläggsisoleringen genomförs i anslutning till en redan planerad renovering. Tiden för att montera isolerkåpa till en ventil antas till 30 minuter då denna inte finns angiven i Wikells.

Kostnaderna inkluderar material och arbete:

- Isoleringskostnader Rör: 5 299 SEK
- Isoleringskostnader Ventiler: 7 183 SEK

Totalt blir investeringskostnaden för att isolera den prefabricerade undercentralen 11 087 SEK.

Med antagandet att varje prefabricerad undercentral servar två hus, och antalet fjärrvärmeuppvärmda flerbostadshus uppgår till 147 350, blir den nationella investeringskostnaden:

$$Nationell\ investering = 817\ MSEK$$

Indata

Generella indata	Värde	Enhet	Referens
Temperatur omgivning	20	°C	Antaget
Flöde, Primärsida VS	0,33	l/s	Dimensionerat flöde från HögforsGST
Flöde, Sekundärsida VS	0,78	l/s	Dimensionerat flöde från HögforsGST
Flöde, Primärsida TVV	0,12	l/s	Dimensionerat flöde från HögforsGST
Flöde, Sekundärsida TVV	0,12	l/s	Dimensionerat flöde från HögforsGST
Flöde, VVC	0,12	l/s	Dimensionerat flöde från HögforsGST
Indata beräkning av effektförlust			
Värmeledningsförmåga, rör, Stål	59	W/mK	Antaget material, värde från tabell i Alvarez, Energiteknik del 1
Flödeshastighet, Primärsida VS	1,1	m/s	Beräknat med flöde och dim.rör
Flödeshastighet, Primärsida TVV	0,4	m/s	Beräknat med flöde och dim.rör
Flödeshastighet, Sekundärsida TVV	0,4	m/s	Beräknat med flöde och dim.rör
Flödeshastighet, VVC	0,7	m/s	Beräknat med flöde och dim.rör
Indata Energibesparing			
Förhållande ventil/rör	1 m/ventil		BTI
Antal flerbostadshus i Sverige 2005	165 000	st	BETSI
Antal flerbostadshus i Sverige 2021	181 914	st	Beräknat från BETSI och SCB
Total Atemp, Sverige	211 000 000	m^2	Grön Logik 2021
Andel fjärrvärmeuppvärmda flerbostadshus	81	%	Antaget

Rör dimensioner:

	Ny	Dy	Di	Gods
Primär VS	R20	26,9	21,6	2,65
Sekundär VS	R25	33,7	27,5	3,25
Primär TVV	R20	26,9	21,6	2,65
Sekundär TVV	R20	26,9	21,6	2,65
VVC	R15	21,3	16	2,65

Andra källor:

Alvarez. H. 2006. *Energiteknik del 1*. Upplaga 3:7. Studentlitteratur AB, Lund.

Lindström. K. Ekelin. S. 2019. *Vinster med sänkta returtemperaturer i fjärrvärmesystem*. Anthesis för BEBO Energimyndigheten

Bilaga 2: Detaljerad beräkning av isolering av VVC-system

Denna bilaga redovisar beräkningen av energibesparing vid isolering av rör och ventiler i VV/VVC-systemet till det som idag representerar *"Best available technology"*.

Temperaturer i systemet

Detta avsnitt presenterar de antaganden och beräkningar som är kopplade till temperaturerna i systemet.

När det kommer till värmeledning genom material och värmeförluster i ett system, så är dessa alltid beroende av temperaturerna i systemet samt dess omgivning.

De antaganden som gjorts angående temperaturerna är att dessa är konstanta och håller:

- Omgivning 20 °C
- TVV 55 °C
- VVC 50 °C

Förlusteffekter befintligt system

Detta avsnitt presenterar hur den befintliga förlusteffekten i systemet har beräknats.

Det befintliga systemet för varmvatten och varmvattencirkulation antas bestå av rör med isolerklass R1 och oisolerade ventiler.

För rören i stammar och stråk används den tabell med isolerklasser som presenteras i "BTI Lathund" där den befintliga klassen antas vara R1.

Tabell 9: Isolerklasser för rör enligt BTI, Dy representerar rörets ytterdiameter på röret.

Isoleringsklasser för rör och plana ytor, R-klasser		
Isoleringsklass	**U-värdeskrav för rör, U_l W/mK**	**U-värdeskrav för plana ytor, U W/m^{2}K**
R0	Ingen isolering	Ingen isolering
R1	$3{,}3 \times D_y + 0{,}22$	1,17
R2	$2{,}6 \times D_y + 0{,}20$	0,88
R3	$2{,}0 \times D_y + 0{,}18$	0,66
R4	$1{,}5 \times D_y + 0{,}16$	0,49
R5	$1{,}1 \times D_y + 0{,}14$	0,35
R6	$0{,}8 \times D_y + 0{,}12$	0,22
R7	$0{,}7 \times D_y + 0{,}11$	0,21

Förlusteffekterna för stammar och stråk kan sedan beräknas genom att uppskatta mängden löpmeter;

$$P = U_{R1} * L * (T_{TVV\ eller\ VVC} - T_{omgivning})$$

Där:

U_{R1} – U-värdeskravet för isolerklass R1

L – Löpmeter för stam eller stråk

$T_{TVV\ eller\ VVC}$ – Temperatur i rör, antingen TVV eller VVC

$T_{omgivning}$ – Omgivande temperatur

Med hjälp av ekvationerna ovan samt indata längst ned i bilagan, kan effektförlusterna för de befintliga stammarna och stråken i byggnaden beräknas. Förlusterna är som visat temperaturberoende. Då temperaturerna i systemet i detta fall är konstanta, kommer detta leda till förlusteffekten blir konstant. Nedan visas förlusteffekten för byggnadens alla befintliga stammar och stråk.

$$P_{stammar\ och\ stråk,VVC} \sim 624\ W$$

$$P_{stammar\ och\ stråk,TVV} \sim 800\ W$$

Förlusteffekter för en oisolerad ventil

Detta avsnitt redovisar beräkningen av förlusteffekt för en oisolerad ventil i byggnaden. I ”BTI Lathund” presenteras ett förhållande som beskriver att värmeförlusterna för en ventil är lika stora som värmeförlusterna för 1 m oisolerat rör av samma dimension. Med hjälp av det förhållandet kan förlusteffekterna för ventiler beräknas på samma sätt som värmeförlusterna för 1 m rör.

Inledningsvis måste *värmeövergångskoefficienterna (α)* för mediet på den varma och kalla sidan av röret beräknas. α kan beskrivas som ett mått på hur effektivt värmeöverföringen mellan en yta och ett medium är.

Värmeövergångskoefficienten på den kalla sidan (α_k) kan beräknas enligt [Alvarez] som:

$$\alpha_k = k * \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{0,25}\ [W/m^2 * K]$$

Där:

Δt - är medeltemperaturdifferensen mellan omgivande luft och ytan

k = 1,352 vid omgivande lufttemperatur 20 °C, konstant interpolerad från tabell.

d – rördiameter [m].

Till en början måste medeltemperaturdifferensen mellan luft och ytan baseras på ett antagande, där det har antagits att yttemperaturen är 5 grader lägre än temperaturen inuti röret.

Värmeövergångskoefficienten på den varma sidan i röret (α_v) kan sedan beräknas som [Alvarez]:

$$\alpha_v = k * (1 + 0,015 * t) * {c^{0,87}}/{d^{0,13}}$$

Där:

k – är en konstant, som för vatten $k = 2050$

d – rördiameter [m]

t – temperaturen [°C]

c – Flödeshastigheten i röret [m/s]

För att beräkna förlusteffekten behöver sedan *värmegenomgångskoefficienten* beräknas, vilket även kallas k-värdet. K-värdet tar hänsyn till värmeledningen genom yta så väl som värmeövergångsförhålladena (α_k & α_v) på båda sidor om ytan. Vid värmeledning genom cylindriska ytor brukar k-värdet benämnas k_{cyl} och om ytan består n stycken cylindriska skikt kan k_{cyl}-värdet enligt [Alvarez] beräknas som:

$$\frac{1}{k_{cyl}} = \frac{1}{\alpha_v * r_v} + \sum_{i=1}^{i=n}\left(\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}\right) + \frac{1}{\alpha_k * r_k} \; [W/m * K]$$

Där:

r_i – innerradien för skiktet i [m]

r_{i+1} – ytterradien för skiktet i [m]

λ_i – värmeledningsförmågan för skiktet i W/mK

för varje skikt insättes en term $\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}$

$\alpha_v och\ r_v$ – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den varma sidan

$\alpha_k\ och\ r_k$ – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den kalla sidan

Avslutningsvis kan värmeeffekten genom cylindriska ytor beskrivas som [Alvarez]. Med längden L=1 beskriver detta värmeeffekten för en ventil:

$$P = 2\pi L * k_{cyl} * (t_v - t_k)$$

Där:

L – Längden på röret [m]

$t_{v,k}$ – temperaturen på den varma respektive kallas sidan [K]

Med hjälp av ekvationerna ovan samt indata längst ned i bilagan, kan effektförlusterna för de oisolerade ventilerna i byggnaden beräknas. Förlusterna för ventilerna är som visat temperaturberoende. Då Temperaturerna i systemet i detta fall är konstanta, kommer detta leda till förlusteffekten i ventilen blir konstant. Nedan visas förlusteffekten för byggnadens alla oisolerade ventiler.

$$P_{oisolerade\ ventiler,VVC} \sim 79\ W$$

$$P_{oisolerade\ ventiler,TVV} \sim 215\ W$$

Förlusteffekt ”Best available technology”

Detta avsnitt presenterar hur den förlusteffekten i systemet har beräknats för *Best available technology (BAT).*

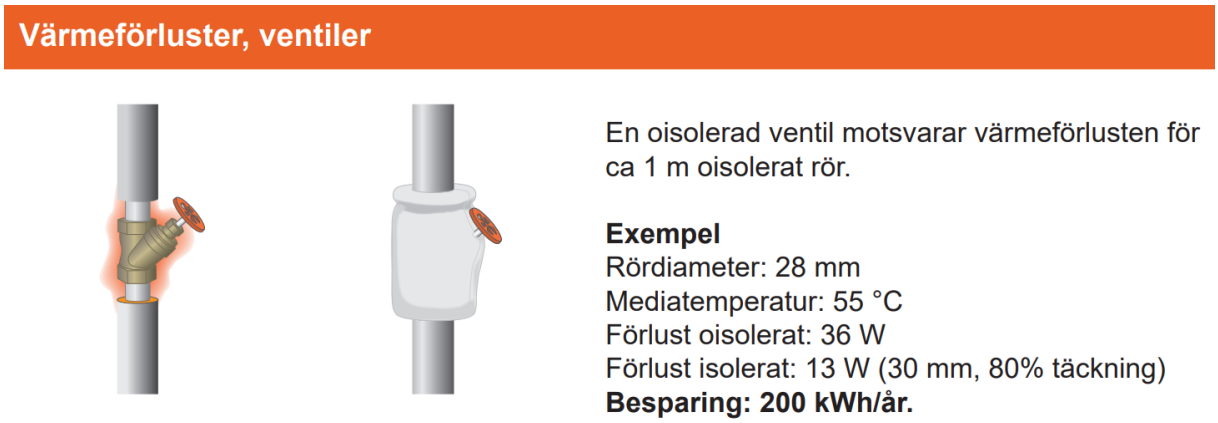
När det kommer till stammar och stråk sker beräkningen på liknande sätt som det befintliga systemet, dock används U-värdeskravet för isolerklass R6 i stället.

Med hjälp av ekvationerna ovan samt indata längst ned i bilagan, kan effektförlusterna för stammar och stråk med isolerklass R6 i byggnaden beräknas. Förlusterna är som visat temperaturberoende. Då temperaturerna i systemet i detta fall är konstanta, kommer detta leda till förlusteffekten blir konstant. Nedan visas förlusteffekten för byggnadens alla stammar och stråk med R6 isolering.

$$P_{stammar\ och\ stråk,VVC} \sim 303\ W$$

$$P_{stammar\ och\ stråk,TVV} \sim 371\ W$$

Vidare beräknas effektförlusten för isolerade ventiler när det kommer till *Best available technology (BAT).* Effektförlusten för BAT hämtas från ”Branschstandard Teknisk Isolering” (BTI) och representeras av ett förhållande mellan en oisolerad ventil samt en isolerad ventil. Se figuren nedan:



Figur 6: Från BTI Lathund, beskrivning av värmeförlusterna i ventiler.

Förhållandet mellan en oisolerad ventil och en isolerad ventil i beskrivningen från BTI är en faktor på ca 2,77. Om vi antar att detta förhållande gäller för ventiler av alla dimensioner, kan förlusteffekten för en isolerad ventil enkelt beräknas som:

$$P_{Isolerade\ Ventil} = \frac{P_{oisolerad\ ventil}}{2{,}77}$$

Med hjälp av ekvationerna ovan samt indata längst ned i bilagan, kan effektförlusterna för de oisolerade ventilerna i byggnaden beräknas. Förlusterna för ventilerna är som visat temperaturberoende. Då Temperaturerna i systemet i detta fall är konstanta, kommer detta leda till förlusteffekten i ventilen blir konstant. Nedan visas förlusteffekten för byggnadens alla oisolerade ventiler.

$$P_{oisolerade\ ventiler,VVC} \sim 28\ W$$

$$P_{oisolerade\ ventiler,TVV} \sim 77\ W$$

Investeringskostnad

Detta avsnitt redovisar investeringskostnaderna för att genomföra byte från befintligt system till *BAT*. Kostnaderna är tagna från Wikells med priser uppdaterade i mars 2022. Kostnaden för etablering är ej med i kalkylen eftersom det antas att tilläggsisoleringen genomförs i anslutning till en redan planerad renovering. Tiden för att montera isolerkåpa till en ventil antas till 30 minuter eftersom denna inte finns angiven i Wikells.

Kostnaderna inkluderar material och arbete:

- Isoleringskostnader Rör: 51 438 kr
- Isoleringskostnader Ventiler: 8 104 kr
- Demonteringskostnad: 6 552

Totalt blir investeringskostnaden för att isolera om VVC-systemet ca 66 100 kr.

För ett fastighetsbestånd med 181 914 flerbostadshus, resulterar detta i en investeringskostnad på:

$$Nationell\ investering = 12\ 025\ Mkr$$

Indata

Generella indata	Värde	Enhet	Referens
Snittemperatur byggnad	20	°C	Antaget
Temperatur TVV	55	°C	Antaget
Temperatur VVC	50	°C	Antaget
Pumpstopp VS	16	°C	Antaget
Indata beräkning av effektförlust			
Reglerventil	15/7	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
Avstängningsventil	22/7	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
K för vatten	2050		Tabell s.369 i Alvarez
Lambda Stål	59	W/mK	Tabell s.362 i Alvarez
Löpmeter Stam (TVV/VVC)	(45/45)	m	Antaget
Löpmeter stråk (TVV/VVC)	31/31	m	Antaget
Indata Energibesparing			
Antal flerbostadshus i Sverige 2021	181 914	st	Beräknat från BETSI och SCB
Uppvärmning byggnad	5000	h/år	Antaget
Pumpstop	3760	h/år	Antaget
Tillgodo under uppvärmningssäsong	70,00	%	Antaget
A_{temp} BETSI-typhus	1426	m2	BETSI

Bilaga 3: Detaljerad beräkning av isolering av markkulvert inom fastigheter

Denna bilaga redovisar beräkningen av energibesparing vid byte av kulvert i sekundära system till det som idag representerar ”*Best available technology*”.

Temperaturer i systemet

Detta avsnitt presenterar de antaganden och beräkningar som är kopplade till temperaturerna i systemet.

När det kommer till värmeledning genom material och värmeförluster i ett system, så är dessa alltid beroende av temperaturerna i systemet samt dess omgivning.

De första antaganden gäller temperaturen i marken samt framledningstemperaturen för tappvarmvattnet. Dessa har antagits till 8 respektive 55 °C för hela året.

Den klimatfil som används för denna beräkning baserar sig på ett normalår för Eskilstuna från SMHI/Sveby. (Eskilstuna_Eskilstuna_102417). Detta antas representera ett snitt för svensk bebyggelse.

Klimatfilen används för att bestämma den momentana framledningstemperaturen i värmesystemet.

Kurvan som beskriver framledningstemperaturen redovisas i diagrammet nedan.

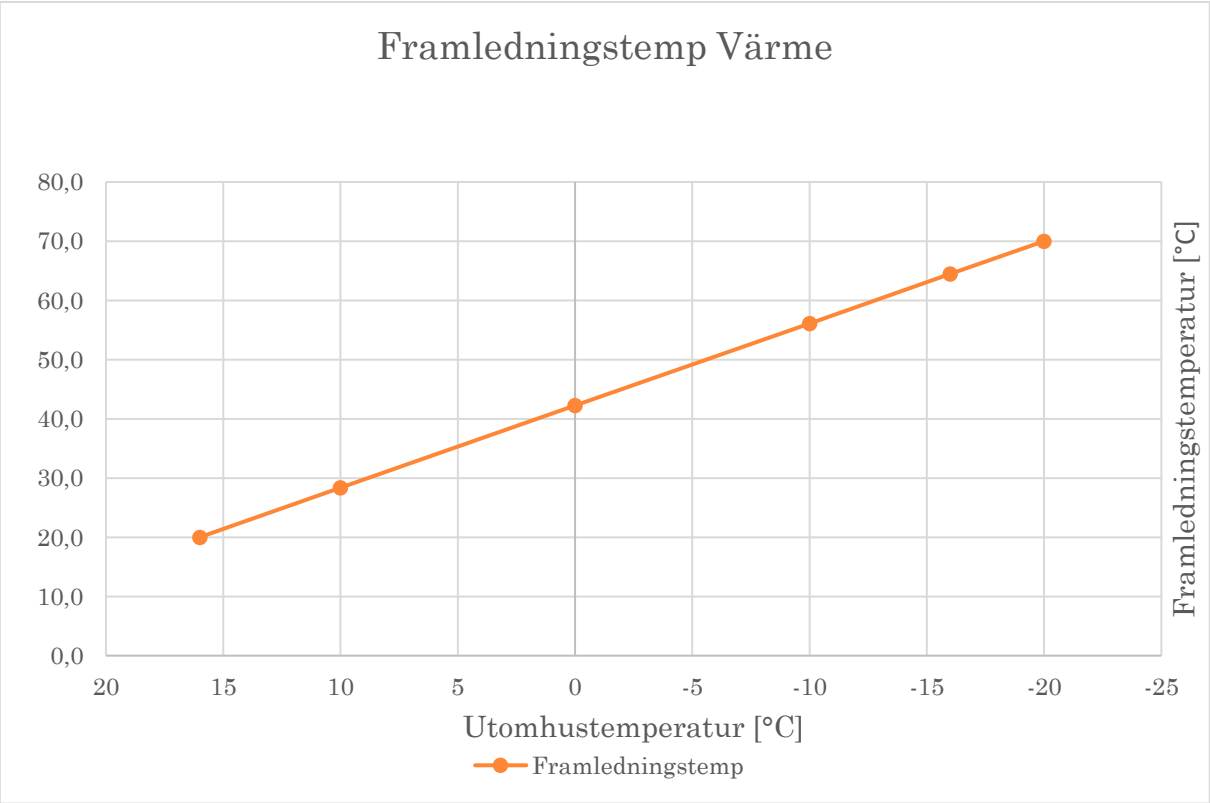


Diagram 6: Diagrammet beskriver hur framledningstemperaturen i värmesystemet beror av utomhustemperaturen.

Vidare interpoleras den momentana framledningstemperaturen från denna kurva baserat på vilken utomhustemperatur det är vid den tidpunkten.

För de båda kulvertarna finns det också ett returflöde i form av värmeretur och VVC. Då dessa alltid kommer vara lägre än framledningstemperaturerna har det gjorts ett antagande att det är den högre temperaturen som dominerar och då används vid beräkningen av värmeförlusterna i kulvert.

När alla temperaturer i systemet är kända kan sedan effektförlusterna beräknas.

Förlusteffekter för kulvert i grundfallet

Detta avsnitt redovisar beräkningen av förlusteffekt för de två kulvertarna för värme och tappvarmvatten i grundfallet.

Grundfallet när det kommer till typ av kulvert och isolering antas beståndet i Sverige bestå av ca 75 procent stålkulvert med mineralisolering och ca 25procent PEX-kulvert med polyuretanisolering.

Vidare har undersökningar gjort som visar på att isoleringsförmågan i kulvertar försämras med tiden. Figuren nedan kommer från rapporten *Kulvertkostnadskatalog* som publicerades av Svensk Fjärrvärme AB 2007. Figuren visar på hur värmekonduktiviteten för PUR-isolering förändras över tiden.

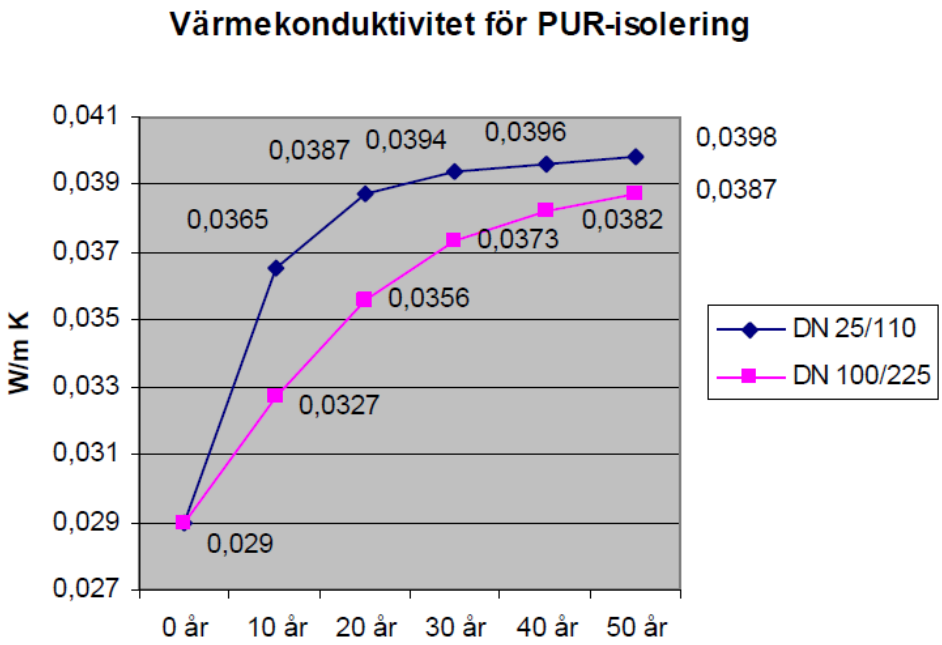


Diagram 7: Förändringen över tid för installerad kulvert med PUR-isolering, för två olika dimensioner.

Med ett antagande kring medelåldern på dagens installerade kulvertar, antaget 20 år, samt data ur Diagram 7 kan den procentuella försämringen av isoleringen beräknas till ca 33 procent. Den procentuella försämringen kan sedan användas vid beräkningen av förlusteffekterna för att beräkna ett värde som på ett bättre sätt liknar verkligheten.

Förlusteffekterna i kulvertarna för värme och tappvarmvatten kan sedan beräknas som:

$$P_{kulvert} = \lambda * L * \%\Delta_{isolering} * (T_{kulvert} - T_{mark})$$

Där:

λ – Värmekonduktivitet för kulvert [W/mK]

L – Längd på kulvert [W/mK]

$\%\Delta_{isolering}$ – Procentuella förändringen av isoleringsförmågan [%]

$T_{kulvert}$, T_{mark}– Temperaturer för kulvert respektive mark [°C]

Förlusteffekt ”Best available technology”

Detta avsnitt beräknar effektförlusten för kulvert när det kommer till ”*Best available technology (BAT).* Effektförlusten för BAT baseras på information från Uponor AB rörande värmekonduktiviteten på deras VIP-kulvert.

När det kommer till försämring över tid för VIP-kulverten har det i studier visats på liten skillnad i förändring över tid, från nästan ingen förändring till 1procent per år, så ett genomsnitt på 0,5procent försämring per år. Den studien baserar sig även på en temperatur på 115°C, vilket är mycket högre än vad som kontinuerligt pumpas genom kulvertar. Den lägre kontinuerliga temperaturen innebär också mindre påverkan/försämring av prestandan. På grund av detta har inte försämring över tid beräknats för *BAT*.

Förlusteffekterna i kulvertarna för värme och tappvarmvatten kan sedan beräknas som:

$$P_{kulvert} = \lambda * L * (T_{kulvert} - T_{mark})$$

Där:

λ – Värmekonduktivitet för kulvert [W/mK]

L – Längd på kulvert [W/mK]

$T_{kulvert}$, T_{mark}– Temperaturer för kulvert respektive mark [°C]

Då kulvertarna som representerar BAT antas nyligen installerade förekommer det ingen procentuell förändring av isolerförmågan.

Energibesparing vid byte till ”*Best available technology*”

Detta avsnitt beräknar den ökade energianvändningen för typhuset på grund av värmeförlusterna i grundfallet, samt för kulvertar som bedöms vara ”*Best available technology”.* Vidare beräknas också energibesparingen vid byte från grundfallet till ”*Best available technology”.*

Generellt beräknas den ökade energianvändningen från värmeförluster på samma sätt för de två fallen. Det som skiljer de två fallen åt är vilken förlusteffekt för värmeledning genom kulvert som används.

Då vissa temperaturer varierar på timbasis över året, beräknas förlusteffekten timvis, för att sedan summeras ihop till en årlig ökad energianvändning för varje kulvert. Förlusteffekten varje timme blir:

$$P_{värme\ eller\ TVV} = \lambda * L * \%\Delta_{isolering} * (T_{kulvert} - T_{mark})$$

Där:

λ – Värmekonduktivitet för kulvert [W/mK]

L – Längd på kulvert [W/mK]

$\%\Delta_{isolering}$ – Procentuella förändringen av isoleringsförmågan [%]

$T_{kulvert}$, T_{mark}– Temperaturer för kulvert respektive mark [°C]

Energibesparingen för varje kulvert vid byte från grundfallet till ”*Best available technology*” kan sedan beräknas som differensen:

$$Besparing = \left(Q_{grundfall} - Q_{BAT}\right) * \frac{Antal\ hus}{Antal\ hus_{Grundfall}}$$

Där grundfallet för antal hus för en kulvert är 2.

Då kulverten kan gå mellan att antal olika huskroppar kommer den ökad energianvändningen och då också besparingen fördelas olika beroende på hur många hus som är kopplade till kulverten. På samma sätt kommer längden på kulverten spela stor roll när det kommer till den ökade energianvändningen.

På grund av detta genomfördes en känslighetsanalys där energibesparingen kopplat till kulvertlängd och antal huskroppar. Resultatet visas i Diagram 8 och representerar besparingen för hela det svenska beståndet.

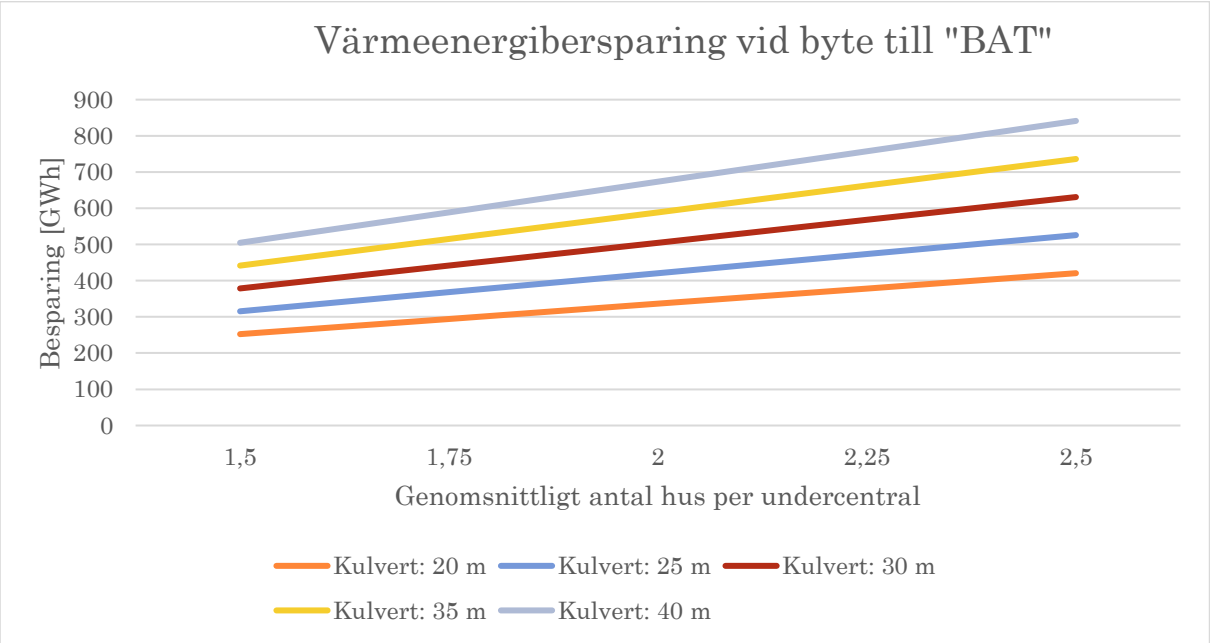


Diagram 8: Känslighetsanalys över hur den nationella besparingen påverkas av kulvertlängd och antal hus som delar på UC.

Medelvärdet på energibesparingen med byte från grundfallet till ”*Best available technology*” för de olika fallen i känslighetsanalysen beräknades sedan till

$$Nationell\ besparing \approx\ 505\ GWh/år$$

Den specifika energibesparingen för typhuset från BETSI på 1426 m²,A_{temp} presenteras nedan, där det är antaget att varje undercentral delas mellan två typhus, och kulvertlängden är 30 meter.

$$Specifik\ besparing \approx 1{,}95\ kWh/m^2{}_{Atemp}, år$$

Investeringskostnad

Detta avsnitt redovisar investeringskostnaderna för att genomföra byte av befintlig kulvert till kulvert som representerar ”*Best available technology*”. Kostnaderna för arbetet (inklusive

återställning av markytor) är tagna från Wikells med priser uppdaterade i mars 2022 och kostnaden för materialet är hämtade direkt från leverantörer.

Kostnaderna inkluderar material och arbete:

- Materialkostnad rör: 48 392 SEK
- Markarbete: 105 630 SEK

Totalt blir investeringskostnaden för att lägga ner en ny kulvert är ca 150 000 SEK.

Med antagandet att varje kulvert servar två hus, och antalet flerbostadshus uppgår till 181 914, blir den nationella investeringskostnaden:

$$Nationell\ investering = 13\ 644\ MSEK$$

Indata

Generella indata	Värde	Enhet	Referens
Temperatur mark	8	°C	Antaget
Temperatur TVV	55	°C	Antaget
Pumpstopp VS	16	°C	Antaget
Indata beräkning av effektförlust			
Värmekonduktivitet, Stålkulvert, Värme	0,20	W/mK	Antaget
Värmekonduktivitet, PEX-kulvert, Värme	0,164	W/mK	Siffror från produktkatalog PUR gällande Twin 25x25 kulvert
Värmekonduktivitet, VIP-kulvert, Värme	0,122	W/mK	Siffror från Uponor AB gällande Twin25x25 kulvert
Värmekonduktivitet, Kopparkulvert, Tappvarmvatten	0,22	W/mK	Antaget
Värmekonduktivitet, PEX-kulvert, Tappvarmvatten	0,171	W/mK	Siffror från produktkatalog PUR gällande Twin 25x25 kulvert
Värmekonduktivitet, VIP-kulvert, Tappvarmvatten	0,118	W/mK	Siffror från Uponor AB gällande Twin25x20 kulvert
Procentuell försämring grundfall	33	%	Beräknat från figur 2
Andel Stålkulvert i grundfall	75	%	Antaget
Andel PEX-kulvert i grundfall	25	%	Antaget
Indata Energibesparing			
Intervall: Kulvertlängd	20–40	M	Antaget
Intervall: antal huskroppar per UC	1,5–2,5	St	Antaget
Antal flerbostadshus i Sverige 2005	165 000	St	BETSI
Antal flerbostadshus i Sverige 2021	181 914	St	Beräknat från BETSI och SCB

Bilaga 4: Detaljerad beräkning av isolering av ventilationskanal på kallvind

Denna bilaga redovisar beräkningen av energibesparing vid byte till *Best available technology* för ventilationskanaler som är belägna på kallvind kopplade till FTX-system. Kanalernas täthet påverkar både isoleringens effektivitet samt husets totala energiförlust, men tätheten har ej ingått i gränsdragningen för denna studie.

År 2005 hade det uppförts ca 165 000 flerbostadshus i Sverige, bland dessa byggdes ca 22 procent med ett FTX-system för ventilationen. 2021 fanns det ca 181 914 flerbostadshus i Sverige, sedan 2005 antas det att ca 80 procent av flerbostadshusen som byggdes har ett FTX-system. Den totala mängden flerbostadshus med FTX-system har sedan beräknats till 49 831 år 2021. Se Diagram 9.

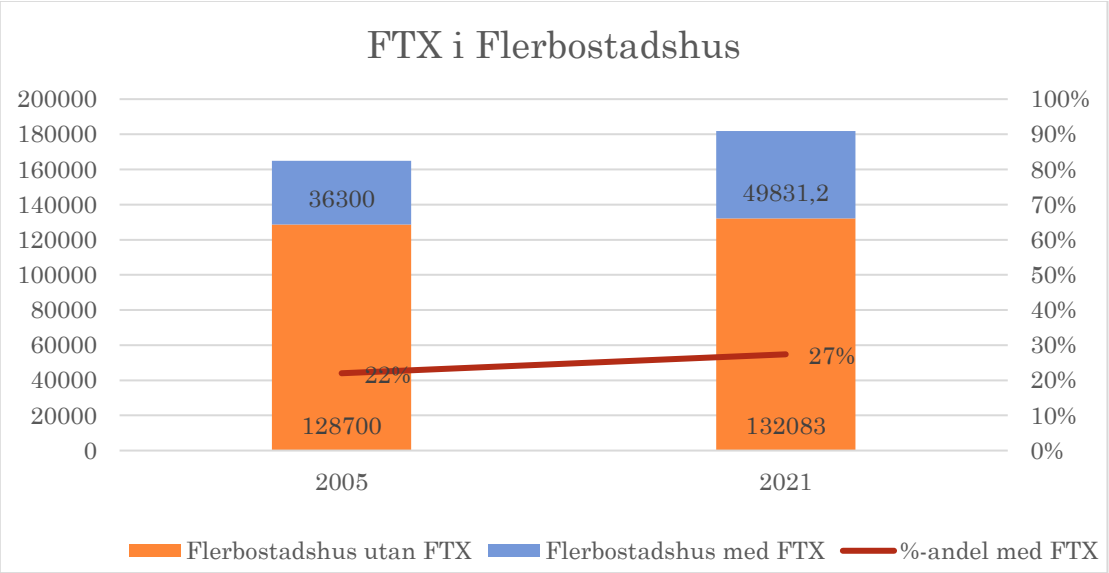


Diagram 9: Flerbostadshus beståndet samt andelen byggnader med FTX-system.

Förlusteffekt för en cylindrisk kanal

Detta avsnitt redovisar beräkningen av förlusteffekt för en isolerad ventilationskanal belägen på en kallvind. För både grundfallet och *Best available technology,* vilket representeras av isolerklass V5.

Grundfallet:

Inledningsvis måste *värmeövergångskoefficienterna (α)* för luften på den varma och kalla sidan av kanalen beräknas. α kan beskrivas som ett mått på hur effektivt värmeöverföringen mellan en yta och en fluid (i detta fall luft) är.

Värmeövergångskoefficienten på den kalla sidan (α_k) kan beräknas enligt [Alvarez] som:

$$\alpha_k = k * \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{0,25} \quad [W/m^2 * K]$$

Där:

Δt - är medeltemperaturdifferensen mellan luft och yta

k = 1,3688 vid lufttemp 8 °C, konstant interpolerad från tabell.

d – kanaldiameter [m].

Till en början måste medeltemperaturdifferensen mellan luft och ytan baseras på ett antagande, när sedan förlusteffekten har beräknats kan ett mer exakt värde på Δt erhållas genom iteration med följande formel:

$$\Delta t = \frac{P}{\alpha_k * A}$$

Där arean för en cylinder är

$$A = 2\pi * r * L$$

Värmeövergångskoefficienten på den varma sidan i kanalen (α_v) kan med hjälp av Nussels tal (Nu), Reynolds tal (R_e) och Prandtls tal (P_r) beräknas enligt [Jensen] som:

$$\alpha_v = {Nu * \lambda_l}/{d}$$

$$Nu = 0{,}0214 * \left({R_e}^{0{,}8} - 100\right) * {P_r}^{0{,}4}$$

$$R_e = v * d/\nu$$

Där:

λ_l – Luftens värmeledningsförmåga, normalt = 0,026 W/mK

d – kanaldiameter [m]

P_r – Prandtls tal, normalt = 0,72

v – Lufthastigheten i kanalen [m/s]

För att beräkna förlusteffekten behöver sedan *värmegenomgångskoefficienten* beräknas, vilket även kallas k-värdet. K-värdet tar hänsyn till värmeledningen genom yta så väl som värmeövergångsförhålladena (α_k & α_v) på båda sidor om ytan. Vid värmeledning genom cylindriska ytor brukar k-värdet benämnas k_{cyl} och om ytan består n stycken cylindriska skikt kan k_{cyl}-värdet enligt [Alvarez] beräknas som:

$$\frac{1}{k_{cyl}} = \frac{1}{\alpha_v * r_v} + \sum_{i=1}^{i=n}\left(\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}\right) + \frac{1}{\alpha_k * r_k} \; [W/m * K]$$

Där:

r_i – innerradien för skiktet i [m]

r_{i+1} – ytterradien för skiktet i [m]

λ_i – värmeledningsförmågan för skiktet i W/mK

för varje skikt insättes en term $\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}$

α_v och r_v – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den varma sidan

α_k och r_k – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den kalla sidan

Avslutningsvis kan värmeeffekten genom cylindriska ytor beskrivas som [Alvarez]:

$$P = 2\pi L * k_{cyl} * (t_v - t_k)$$

Där:

L – Längden på kanalen [m]

$t_{v,k}$ – temperaturen på den varma respektive kallas sidan [K]

Med hjälp av ekvationerna ovan samt indata längt ned i bilagan, kunde förlusteffekterna beräknas till

$$P_{Tilluft} = 5{,}3\ W/m$$

$$P_{Frånluft} = 7{,}4\ W/m$$

Förlusteffekt ”Best available technology”

Detta avsnitt beräknar förlusteffekten för kanaler på kallvind när det kommer till *Best available technology (BAT).* Förlusteffekten för BAT kommer från ”Branschstandard Teknisk Isolering” (BTI) och representeras av U-värdeskravet för cirkulära kanaler med isolerklassen V5.

U-värdeskravet kan beräknas med kanalens diameter enligt tabellen nedan [BTI Lathund]:

Isoleringsklasser för ventilationskanaler och plana ytor		
Isoleringsklass	**U-värdeskrav cirkulära kanaler U_l W/mK**	**U-värdeskrav för plana ytor U W/m²K**
V0	Ingen isolering	Ingen isolering
V1	$1{,}53 \times D_y + 0{,}46$	0,70
V2	$0{,}86 \times D_y + 0{,}30$	0,37
V3	$0{,}85 \times D_y + 0{,}20$	0,32
V4	$0{,}77 \times D_y + 0{,}15$	0,27
V5	$0{,}55 \times D_y + 0{,}13$	0,19
V6	$0{,}47 \times D_y + 0{,}11$	0,16

**Dy =ytterdiameter på kanal i meter.*

Med ekvationen för U-värdeskravet för isolerklass V5 samt indata enligt tabellen längst ned i bilagan, kunde Förlust effekten för *Best available technology* beräknas till:

$$P_{Tilluft,BAT} = 2{,}64 W/m$$

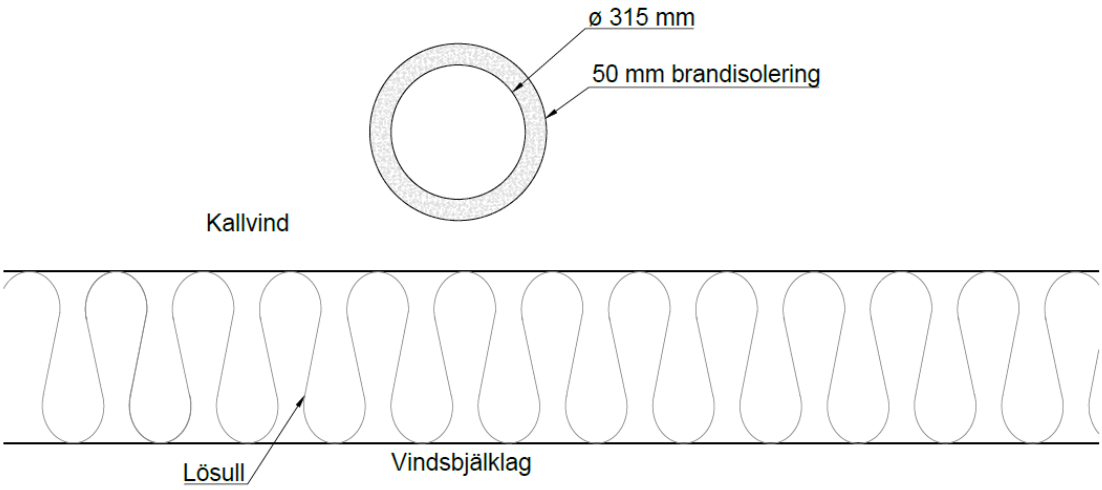
$$P_{Frånluft,BAT} = 3{,}66\ W/m$$

Energibesparing vid byte till ”*Best available technology*”

Detta avsnitt beräknar den ökade energianvändningen för typhuset på grund av värmeförlusterna på kallvinden för grundfallet samt ”*Best available technology*”. Vidare beräknas också energibesparingen vid byte från grundfallet till ”*Best available technology*”.

För grundfallet baseras den ökade värmeenergianvändningen från värmeförluster på två beräkningsfall, där ventilationskanalen har olika placering på kallvinden. Dessa två beräkningsfall antas sedan representera 50 procent vardera av totalen.

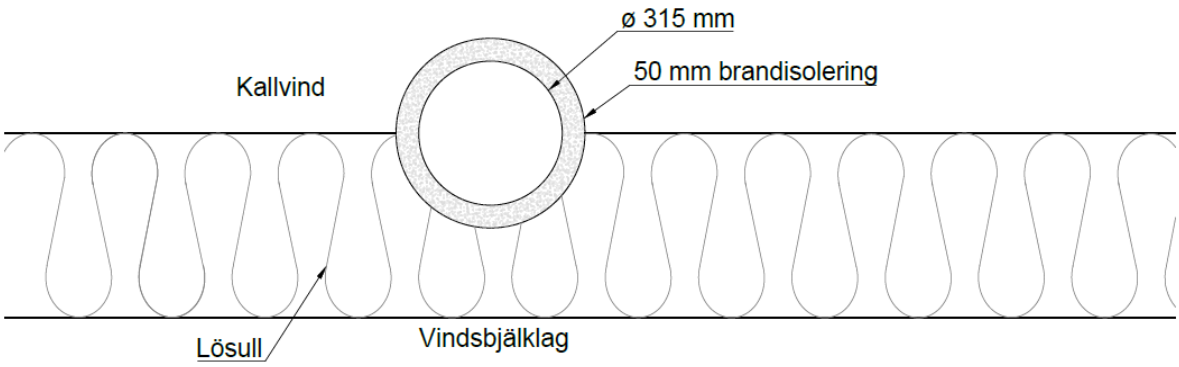
Beräkningsfall 1 kan ses i figuren nedan.



Figur 7: Ventilationskanalens placering för beräkningsfall 1 i grundfallet.

I detta fall antas kanalen ligga ovan lösullsisoleringen på vinden.

Förutsättningarna för beräkningsfall 2 kan ses i figuren nedan



Figur 8: Ventilationskanalens placering för beräkningsfall 2 i grundfallet.

I detta fall antas kanalen ligga till hälften nedsjunken i lösullisoleringen. På grund av detta antas det bara ske värmeledning genom den yta på kanalen som är mot omgivande luft på kallvinden, detta antas vara ca 50 procent.

Värmeförlusteffekten i tilluften eller frånluften för ett typhus i grundfallet kan sedan beskrivas som

$$P_{i,tot} = Fall\ 1 + Fall\ 2 = \frac{d}{2} * P_i + \frac{d}{2} * P_i * 0{,}5$$

Där

d- Kanaldiameter [m]

P_i – Förlusteffekten för grundfallet, där i representerar antingen tilluft eller frånluft [W/m]

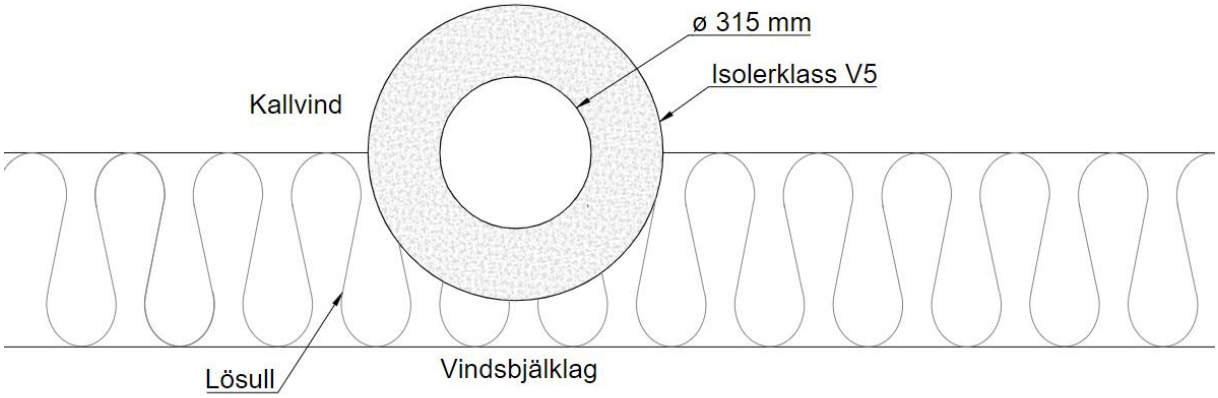
Den totala värmeförlusteffekten för typhuset i grundfallet är sedan summan av de båda. Med indata enligt tabellen längst ned i bilagan blir den totala värmeförlusteffekten för typhuset i grundfallet:

$$P_{grundfall} = 287\ W$$

Vilket resulterar i en ökad värmeenergianvändning per år för typhuset på ca:

$$Q_{grundfall} = 2512\ kWh/år$$

För fallet med ”*Best available technology”* baseras den ökade värmeenergianvändningen från värmeförluster på ett beräkningsfall, där all ventilationskanal ligger nedsjunken i lösullsisoleringen, se figur nedan.



Figur 9. Ventilationskanalens placering i beräkningsfallet för ”Best available technology”.

På likande sätt som för beräkningsfall 2 i grundfallet, antas denna placering av ventilationskanalen resultera i en minskad värmeledning från kanalen på ca 50 procent.

Detta resulterar i att värmeförlusteffekten i tilluften eller frånluften för ett typhus i fallet med ”*Best available technology”* kan beskrivas som:

$$P_{i,tot,BAT} = d * P_{i,BAT}$$

Där

d- Kanaldiameter [m]

P_i – Förlusteffekten för ”*Best available technology”*, där i representerar antingen tilluft eller frånluft [W/m]

Den totala värmeförlusteffekten för typhuset med ”*Best available technology”* kan sedan beräknas genom att summera effekterna från tilluften och frånluften. Med indata enligt tabellen längst ned i bilagan blir den totala värmeförlusteffekten för typhuset med ”*Best available technology”*:

$$P_{BAT} = 95{,}7\ W$$

Vilket resulterar i en ökad värmeenergianvändning per år för typhuset på ca:

$$Q_{BAT} = 839\ kWh/år$$

Energibesparingen för typhuset vid byte från grundfallet till ”*Best available technology”* kan sedan beräknas som differensen:

$$Besparing = Q_{grundfall} - Q_{BAT} = 1675\ kWh/år$$

För ett fastighetsbestånd med ett FTX-system på ca 49 831 flerbostadshus resulterar detta i en nationell energibesparing av uppvärmningsenergi på

$$Nationell\ besparing = 83\ GWh/år$$

Investeringskostnad

Detta avsnitt redovisar investeringskostnaderna för att genomföra byte av isoleringen på kanalerna på kallvinden, till isolering med klass V5. Kostnaderna är tagna från Wikells med priser uppdaterade i mars 2022. Kostnaden för etablering är ej med i kalkylen då det antas att tilläggsisoleringen genomförs i anslutning till en redan planerad renovering.

Kostnaderna inkluderar material och arbete:

- Isoleringskostnader Kanaler: 34 884 SEK
- Demonteringskostnad: 4 231 SEK

Totalt blir investeringskostnaden för att isolera kanalerna enligt isoleringsklass V5 39 115 SEK.

För ett fastighetsbestånd med ett FTX-system på ca 49 831 flerbostadshus resulterar detta i en nationell investering på

$$Nationell\ investering = 1950\ Mkr$$

Indata

Generella indata	Värde	Enhet	Referens
Temperatur i tilluft	19	°C	Antaget
Temperatur i frånluft	22,4	°C	BETSI
Snittemperatur omgivning på kallvind	10,2	°C	Baserat på medeltemperatur i Eskilstuna, men 3 grader högre då det är kallvind.
Kanal diameter	0,315	m	Dimensionerat enligt BETSI
Kanal tjocklek	0,55	mm	Lindab
Isolerings tjocklek	50	mm	Gammal brandstandard
Indata till förlusteffekter			
Värmeledningsförmåga, kanal, Alu	210	W/mK	Antaget material, värde från tabell s.362 i Alvarez
Värmeledningsförmåga, isolering	0,036	W/mK	Antaget
Längd på kanal (per flödesriktning)	30	m	Antaget
Lufthastighet	4,45	m/s	Beräknat från BATSI
Kinematisk viskositet	0,000015	m^2/s	Enligt rapport, Lindén Johansson. S
Luftens värmeledningsförmåga	0,026	W/mK	Ibid
Prandtls tal	0,72	-	Tabell s.367 i Alvarez, Energiteknik del 1
Indata Energibesparing			
Antal flerbostadshus i Sverige 2005	165 000	st	BETSI
Antal flerbostadshus i Sverige 2021	181 914	st	Beräknat från BETSI och SCB
Total Atemp, Sverige	211 000 000	m^2	Grön Logik 2021
Andel fjärrvärmeuppvärmda flerbostadshus	81	%	Antaget

Bilaga 5: Detaljerad beräkning isolering av Flänsar och ventiler

Denna bilaga redovisar beräkningen av energibesparing vid isolering av ventiler till det som idag representerar *"Best available technology"*.

Temperaturer i systemet

Detta avsnitt presenterar de antaganden och beräkningar som är kopplade till temperaturerna i systemet.

När det kommer till värmeledning genom material och värmeförluster i ett system, så är dessa alltid beroende av temperaturerna i systemet samt dess omgivning.

Det första antagandet gäller den omgivande temperaturen i byggnaden, denna har antagits till 20°C.

Den klimatfil som används för denna beräkning baserar sig på ett normalår för Eskilstuna från SMHI/Sveby. (Eskilstuna_Eskilstuna_102417). Detta antas representera ett snitt för svensk bebyggelse.

Klimatfilen används för att bestämma den momentana framledningstemperaturen i värmesystemet, både primär och sekundär sida.

De båda kurvorna i diagrammen nedan beskriver framledningstemperaturen för primär- och sekundärsidan.

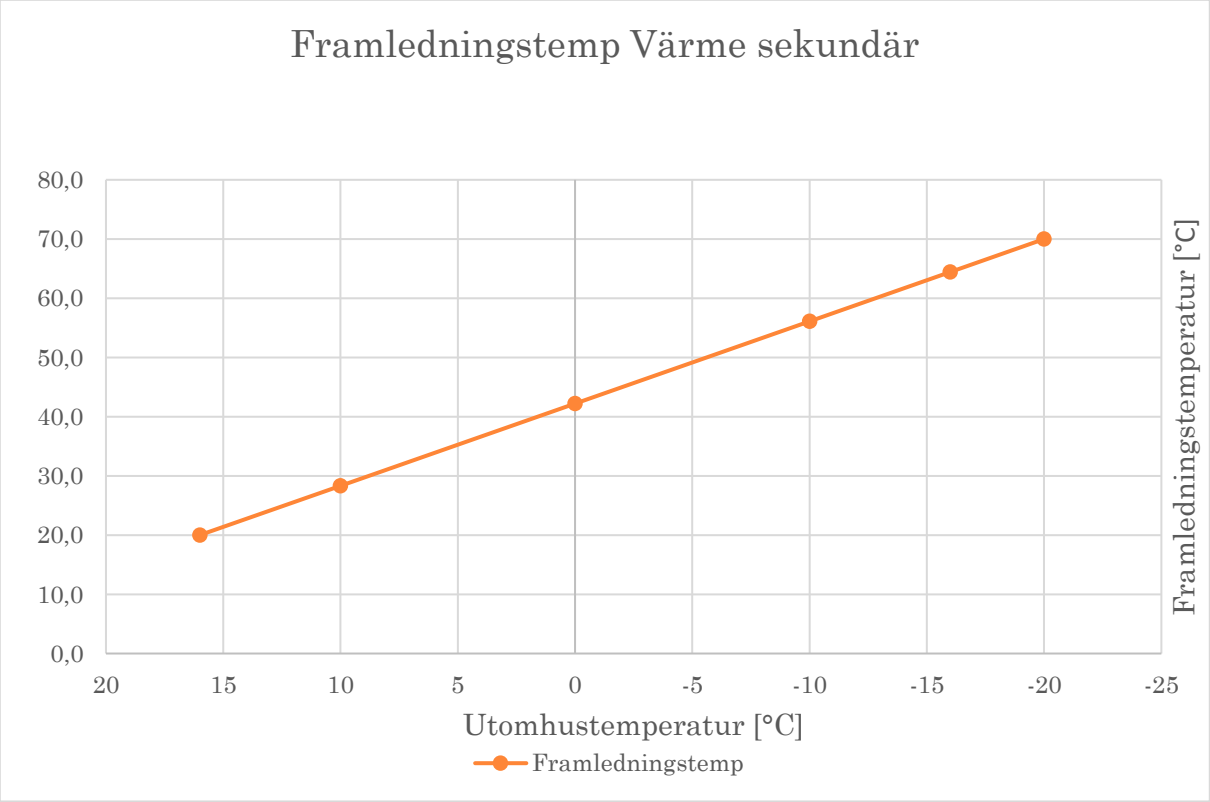


Diagram 10: Diagrammet beskriver hur framledningstemperaturen i värmesystemet beror av utomhustemperaturen.

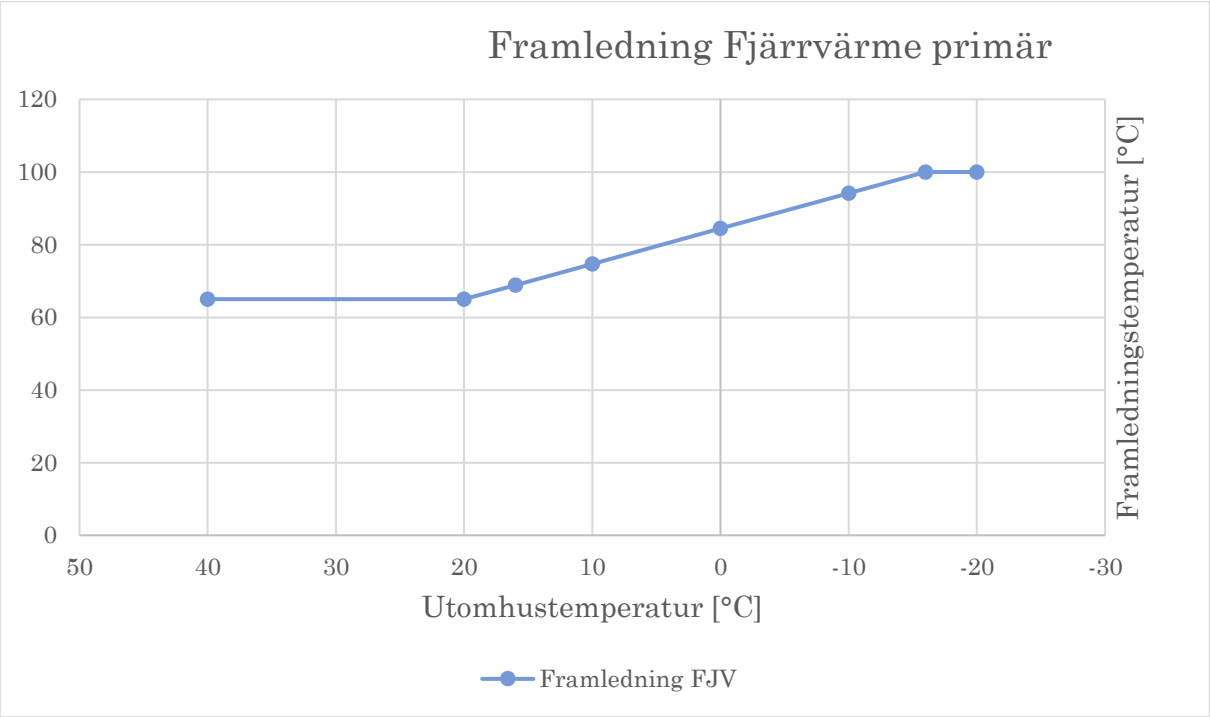


Diagram 11: Diagrammet beskriver hur framledningstemperaturen i fjärrvärmesystemet beror av temperaturen utomhus.

Vidare interpoleras den momentana framledningstemperaturen Från kurvorna baserat på vilken utomhustemperatur det är vid den tidpunkten.

Förlusteffekter för en oisolerad ventil

Detta avsnitt redovisar beräkningen av förlusteffekt för en oisolerad ventil i byggnaden. I ”BTI Lathund” presenteras ett förhållande som beskriver att värmeförlusterna för en ventil är lika stora som värmeförlusterna för 1 m oisolerat rör av samma dimension. Med hjälp av det förhållandet kan förlusteffekterna för ventiler beräknas på samma sätt som värmeförlusterna för 1 m rör.

Inledningsvis måste *värmeövergångskoefficienterna (α)* för mediet på den varma och kalla sidan av röret beräknas. α kan beskrivas som ett mått på hur effektivt värmeöverföringen mellan en yta och ett medium är.

Värmeövergångskoefficienten på den kalla sidan (α_k) kan beräknas enligt [Alvarez] som:

$$\alpha_k = k * \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{0,25} \quad [W/m^2 * K]$$

Där:

Δt - är medeltemperaturdifferensen mellan omgivande luft och ytan

k = 1,352 vid omgivande lufttemperatur 20 °C, konstant interpolerad från tabell.

d – rördiameter [m].

Till en början måste medeltemperaturdifferensen mellan luft och ytan baseras på ett antagande, där det har antagits att yttemperaturen är 5 grader lägre än temperaturen inuti röret.

Värmeövergångskoefficienten på den varma sidan i röret (α_v) kan sedan beräknas som [Alvarez]:

$$\alpha_v = k * (1 + 0,015 * t) * {c^{0,87}}/{d^{0,13}}$$

Där:

k – är en konstant, som för vatten $k = 2050$

d – rördiameter [m]

t – temperaturen [°C]

c – Flödeshastigheten i röret [m/s]

För att beräkna förlusteffekten behöver sedan *värmegenomgångskoefficienten* beräknas, vilket även kallas k-värdet. K-värdet tar hänsyn till värmeledningen genom yta så väl som värmeövergångsförhålladen (α_k & α_v) på båda sidor om ytan. Vid värmeledning genom cylindriska ytor brukar k-värdet benämnas k_{cyl} och om ytan består n stycken cylindriska skikt kan k_{cyl}-värdet enligt [Alvarez] beräknas som:

$$\frac{1}{k_{cyl}} = \frac{1}{\alpha_v * r_v} + \sum_{i=1}^{i=n}\left(\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}\right) + \frac{1}{\alpha_k * r_k} \; [W/m * K]$$

Där:

r_i – innerradien för skiktet i [m]

r_{i+1} – ytterradien för skiktet i [m]

λ_i – värmeledningsförmågan för skiktet i W/mK

för varje skikt insättes en term $\frac{1}{\lambda_i} * ln\frac{r_{i+1}}{r_i}$

$\alpha_v och\ r_v$ – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den varma sidan

$\alpha_k\ och\ r_k$ – värmeövergångskoefficienten och radien [m] för den kalla sidan

Avslutningsvis kan värmeeffekten genom cylindriska ytor beskrivas som [Alvarez]. Med längden L=1 beskriver detta värmeeffekten för en ventil:

$$P = 2\pi L * k_{cyl} * (t_v - t_k)$$

Där:

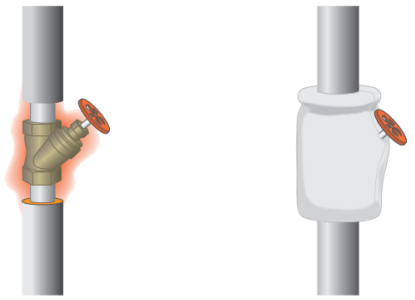
L – Längden på röret [m]

$t_{v,k}$ – temperaturen på den varma respektive kalla sidan [K]

Med hjälp av ekvationerna ovan samt indata längst ned i bilagan, kan effektförlusterna för de oisolerade ventilerna i byggnaden beräknas. Förlusterna för ventilerna är som visat temperaturberoende. Då framledningstemperaturen är momentan, kommer detta leda till förlusteffekten i ventilen bli momentan. Nedan visas som exempel den momentana förlusteffekten för byggnadens alla oisolerade ventiler vid en utomhustemperatur på 0 °C.

$$P_{oisolerade\ ventiler} \sim 543\ W$$

Värmeförluster, ventiler



En oisolerad ventil motsvarar värmeförlusten för ca 1 m oisolerat rör.

Exempel
Rördiameter: 28 mm
Mediatemperatur: 55 °C
Förlust oisolerat: 36 W
Förlust isolerat: 13 W (30 mm, 80% täckning)
Besparing: 200 kWh/år.

Figur 10: Från BTI Lathund, beskrivning av värmeförlusterna i ventiler.

Förhållandet mellan en oisolerad ventil och en isolerad ventil i beskrivningen från BTI är en faktor på ca 2,77. Om vi antar att detta förhållande gäller för ventiler av alla dimensioner, kan förlusteffekten för en isolerad ventil enkelt beräknas som:

$$P_{Isolerade\ Ventil} = \frac{P_{oisolerad\ ventil}}{2{,}77}$$

Med hjälp av ekvationen ovan samt indata längst ned i bilagan, kan effektförlusterna för de oisolerade ventilerna i byggnaden beräknas. Förlusterna för ventilerna är som visat temperaturberoende. Då framledningstemperaturen är momentan, kommer detta leda till förlusteffekten i ventilen bli momentan. Nedan visas som exempel den momentana förlusteffekten för byggnadens alla oisolerade ventiler vid en utomhustemperatur på 0 °C.

$$P_{Isolerade\ rör} \sim 196\ W$$

Energibesparing vid byte till ”*Best available technology*”

Detta avsnitt beräknar den ökade energianvändningen för BETSI-typhuset på grund av värmeförlusterna i de oisolerade ventilerna, samt för de isolerade ventilerna som bedöms vara ”*Best available technology*”. Vidare beräknas också energibesparingen vid byte från isolerade ventiler till isolerade ventiler.

Den ökade energianvändningen på grund av värmeförluster genom ventilerna beräknas för de isolerade ventilerna som en summa av de momentana förlusteffekterna för de olika ventildimensionerna, för varje timme under året. Vidare antas 70 procent av värmeförlusterna komma byggnaden till nytta genom uppvärmning. Så den totala förlusten uppgår enbart till ca 30 procent av värmeförlusterna genom ventilerna.

Värmeförlusterna genom de oisolerade ventilerna blir under året:

$$Q_{oisolerade\ ventiler} \approx 1082\ kWh/år$$

Vidare beräknas värmeförlusterna för de isolerade ventilerna till:

$$Q_{isolerade\ ventiler} \approx 1082\ kWh/år$$

Energibesparingen vid byte från oisolerade ventiler till ”Best available technology” kan sedan beräknas som differensen:

$$Besparing = Q_{oisolerade} - Q_{BAT} \approx 691\ kWh/år$$

Den specifika energibesparingen för typhuset från BETSI på 1426 m², A_{temp} presenteras nedan:

$$Specifik\ besparing = 0{,}48\ kWh/m^2{}_{Atemp}, år$$

För ett fastighetsbestånd på 181 914 flerbostadshus, resulterar detta i en nationell energibesparing av uppvärmningsnivå på:

$$Nationell\ besparing \approx 126\ GWh/år$$

Investeringskostnad

Detta avsnitt redovisar investeringskostnaderna för att genomföra tilläggsisolering ventiler, från oisolerade till ”Best available technology”. Kostnaderna är tagna från Wikells med priser uppdaterade i mars 2022. Kostnaderna för etablering är ej med i kalkylen då det antas att tilläggsisoleringen genomförs i anslutning till en redan planerad renovering. Tiden för att montera isolerkåpa på en ventil antas till 30 minuter eftersom denna inte finns angiven i Wikells.

Kostnaderna inkluderar material oh arbete

- Isoleringskostnader ventiler: 19 394 SEK

Totalt blir investeringskostnaden för att isolera samtliga ventiler 15 629 SEK.

Antalet flerbostadshus är 181 914, vilket resulterar i att den nationella investeringskostnaden blir:

$$Nationell\ investering = 2\ 843\ Mkr$$

Indata

Generella indata	Värde	Enhet	Referens
Snittemperatur byggnad	20	°C	Antaget
Pumpstopp VS	16	°C	Antaget
Indata beräkning av effektförlust			
Reglerventil	15/7	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
Avstängningsventil	20/7	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
Avstängningsventil	32/2	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
Tryckstyrd ventil + reglerventil	25/4	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
Avstängningsventil	35/3	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
Avstängningsventil	25/6	[Dimension (mm)/antal]	Antaget
Massflöde VS	0,78	kg/s	Dimensionerat flöde från HögforsGST
Massflöde VP	0,33	Kg/s	Dimensionerat flöde från HögforsGST
K för vatten	2050		Alvarez, Energiteknik del 1
Indata Energibesparing			
Antal flerbostadshus i Sverige 2021	181 914	st	Beräknat från BETSI och SCB
BETSI typhus, Atemp	1426	M2	BETSI

Bilaga 6: Fördelning El och Fjärrvärme

Denna bilaga redovisar beräkningen av energibesparing för de olika åtgärderna fördelat på energislagen el och fjärrvärme.

Antaganden flerbostadshusens uppvärmningssystem

Enligt BETSI, som baserar sig på det fastighetsbestånd som fanns år 2005, kan följande fördelning av uppvärmningssystemen utläsas:

	Andel i % 2005
Andel fbh med fjärrvärme	81%
Andel fbh med värmepump[1)]	6%
Andel fbh frånluftvärmepump	2%
Andel fbh direktverkande el	5%
Andel fbh biobränsle	1%
Andel fbh olja/gas	6%

Mellan 2005 och 2021 har många byggnader med direktverkande elvärme och uppvärmning med olja och gas bytt ut sina uppvärmningssystem till modernare alternativ. Utifrån detta har följande fördelning antagits för år 2021:

	Andel i % 2022
Andel med fjärrvärme	81%
Andel med värmepump[1)]	8%
Andel frånluftvärmepump	7%
Andel direktverkande el	2%
Andel biobränsle	1%
Andel olja/gas	1%

[1)] avser värmepump som hämtar värme från mark, sjö, uteluft eller grundvatten

Antaganden värmepumpar

För värmepumpar har årsvärmefaktorn antagit till följande:

sCOP Värmepump	2,5
sCOP frånluftvärmepump	2,0

Energieffektiviseringspotential fördelat på energislag

De olika uppvärmningssystemens andelar av det totala byggnadsbeståndet av flerbostadshus har sedan fördelats på de olika åtgärderna:

Åtgärd	Total potential [GWh]	Köpt fjärrvärme	Köpt el värmepump[1)]	Köpt el frånluftvärmepump	Köpt direktverkande el	Köpt biobränsle	Köpt olja/gas
Isolering av fjärrvärmecentral	125,2	125,2	0	0	0	0	0
Isolering av kanaler på kallvind	83,38	67,5	2,7	2,9	1,7	0,8	0,8
Utbyte av sekundär kulvert	504,8	408,8	16,2	17,7	10,1	5,0	5,0
Isolering av ventiler i VS-system	125,7	101,8	4,0	4,4	2,5	1,3	1,3
Isolering av VVC	1003,9	813,2	32,1	35,1	20,1	10,0	10,0
Totalt	**1842,9**	**1516,6**	**55,0**	**60,1**	**34,4**	**17,2**	**17,2**

Baserat på detta underlag summeras potentialen i energibesparingen för de olika energikällorna nedan:

Totalt FJV	1516,6	GWh
Totalt El	149,4	GWh
Totalt Biobränsle	17,2	GWh
Totalt Olja/gas	17,2	GWh