



CHALMERS



Spillvattenvärmeväxlare i flerbostadshus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Erik Andreasson
Alexander Karlsson

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

EXAMENSARBETE ACEX20

Spillvattenvärmeväxlare i flerbostadshus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Erik Andreasson

Alexander Karlsson

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

Spillvattenvärmeväxlare i flerbostadshus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Erik Andreasson

Alexander Karlsson

© ERIK ANDREASSON, ALEXANDER KARLSSON, 2023

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

En kran med rinnande vatten.

(Unsplash, 2018)

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2023

Spillvattenvärmeväxlare i flerbostadshus

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Erik Andreasson

Alexander Karlsson

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I dagens Sverige är de flesta flerbostadshus redan väldigt energisnåla. Man isolerar väl och har täta effektiva klimatskal. Man har ofta värmeåtervinning i ventilationsaggregat och uppvärmningen av husen blir således lägre. Detta gör att uppvärmningen av varmvatten upptar en större och större procentuell andel av en byggnads energianvändning. Ändå är värmeåtervinning av spillvatten inte så vanligt och den stora potentialen är till stor del outnyttjad.

Syftet med detta arbete var att undersöka de olika teknikerna som finns för värmeåtervinning ur spillvatten. Hur de fungerar samt för- och nackdelar med de olika lösningarna. Sedan redovisa hur bra tekniken fungerar i referensprojekt. Både nybyggen och befintliga flerbostadshus och se hur lönsam den blir under sin livslängd både ur ett ekonomiskt men även klimatperspektiv.

Detta för att ge konsulter, fastighetsägare och beslutsfattare en bättre bild över hur lönsamt det är att installera en spillvattenvärmeväxlare i ett flerbostadshus och förhoppningsvis göra detta sätt att spara energi mer attraktivt.

Utifrån arbetet har en slutsats tagits fram där vi anser att spillvattenvärmeväxling är en teknik som har stor potential i flerbostadshus, utifrån ett ekonomiskt och klimatperspektiv.

Heat Recovery From Waste Water in Apartment Buildings

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

Erik Andreasson

Alexander Karlsson

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Installation

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In today's Sweden, most apartment buildings are already very energy-efficient. They are well-insulated and have tight, effective climate shells. Heat recovery in ventilation units is often utilized, resulting in lower heating needs for the building. As a result, the heating of water represents a larger and larger percentage of a building's energy use. However, heat recovery from wastewater is not very common and the large potential remains largely untapped.

The purpose of this study was to investigate the various techniques available for recovering heat from wastewater. It examines how they work as well as the advantages and disadvantages of the different solutions. The study then reports on how well the technology performs in reference projects, both in newly constructed and existing apartment buildings, and evaluates its profitability over its lifetime from both an economic and climate perspective.

The aim of this is to provide consultants, property owners, and other interested parties with a better understanding of how cost-effective it is to install a wastewater heat exchanger in a multi-family building and, hopefully, make this energy-saving method more attractive.

Based on the work, a conclusion has been reached where we believe that wastewater heat exchange is a technique that has great potential in apartment buildings, from an economic and climate perspective.

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	2
ABSTRACT	4
INNEHÅLL	5
FÖRORD	7
Beteckningar	8
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	1
1.3 Metod	2
2 Litteraturstudie	3
2.1 Vatten och avloppssystem	3
2.1.1 Tappvatten	3
2.1.2 Spillvatten	3
2.1.3 Spillvattenvärmeåtervinning	3
2.1.4 Ekvationer, parametrar och begrepp	3
2.1.5 Potential för spillvattenvärmeåtervinning	5
2.1.6 Hinder och begränsningar	9
3 Teknisklösningar	13
3.1 Rörvärmväxlare	13
3.1.1 Liggande rörvärmväxlare	14
3.1.2 EkoFlow	16
3.1.3 Stående rörvärmväxlare	17
3.1.4 Montering med mellankrets	20
3.2 Duschvärmväxlare	21
3.3 Gråvattenlösningar	22
3.3.1 CONSAT geiser	23
3.4 Värmepumplösningar	24
3.4.1 Värmepumplösningar med rörvärmväxlare	24
3.4.2 Evertherm Ecoclimate	28
4 Intervjustudie	29
4.1 Leverantörer	29
4.2 Andra intervjuer	32
5 Resultat av referensprojekt	36
5.1 Metod för ekonomisk beräkning	36
5.2 Metod för LCA-Beräkningar	36
5.2.1 Environmental Product Declaration (EPD)	37
5.2.2 Generisk klimatdata	37
5.2.3 Utsläpp från fjärrvärme	38
5.3 Kustgatan 3 Göteborg	38

5.3.1 Energiberäkningar och ekonomisk lönsamhet	39
5.3.2 LCA	44
5.4 Vaktstugan 4 Wåhlin fastigheter	46
5.4.1 Energiberäkningar och ekonomisk lönsamhet	46
5.4.2 LCA	47
Kvarteret Jerum (SSSB)	49
5.4.3 Energiberäkningar och ekonomisk lönsamhet	49
5.4.4 LCA	49
5.5 Sammanställning referensprojekt	52
6 Diskussion	53
7 Referenser	60

FÖRORD

Detta examensarbete har utförts som avslutande moment på utbildningen samhällsbyggnadsteknik högskoleingenjör på Chalmers tekniska högskola. Arbetet är utfört på uppdrag från WSP.

Stort tack till alla som hjälpt oss på WSP, framförallt vår handledare Tomas Utterhall och Mattias Bergh. Vår handledare och examinator på Chalmers, Anders Trüschel och Torbjörn Lindholm. Vi vill även tacka alla som ställt upp på intervju och studiebesök.
Göteborg juni 2023
Erik Andreasson och Alexander Karlsson

Beteckningar

CO₂ekv - Koldioxidekvivalent

COP - Coefficient of Performance

c_p - Specifik värmekapacitet [kJ/(kg*K)]

EPD - Environmental Product Declaration

kWh - Kilowattimme

LCA - Life Cycle Analysis

ρ - Densitet

SVX - Spillvattenvärmeväxlare

1 Inledning

Spillvatten i flerbostadshus är idag en till stor del outnyttjad energikälla. I detta arbete kommer det redovisas hur man på bästa sätt kan ta vara på denna värmen för att minska energiförbrukningen i flerbostadshus och samtidigt minska vårt klimatavtryck.

1.1 Bakgrund

I takt med att byggnader blir mer och mer energieffektiva genom tätare klimatskal, bättre ventilation och effektivare uppvärmning så blir det svårare att hitta förbättringspunkter. Uppvärmning av tappvatten till en byggnad står idag för en stor del av den totala energiförbrukningen och i de flesta svenska byggnader spolas denna värme iväg direkt till reningsverk helt outnyttjad på fastighetsnivå. Det finns stor potential att genom återvinning av värmen i spillvatten minska energiförbrukningen ytterligare för att ta nästa steg mot att nå miljömålen. Idag räknar man med att uppvärmning av tappvatten står för ungefär 25 kWh/m² och år i flerbostadshus men detta varierar i verkligheten mycket (Boverket, 2016a). Alltså finns det mycket energi att återvinna.

Spillvattenvärmeväxlare är idag ganska ovanliga i flerbostadshus i Sverige. Detta på grund av flera anledningar, bland annat att kunskap saknas bland konsulter och beställare och man är osäker på hur lönsamma de är att installera. Det finns en marknad med flera olika typer av spillvattenvärmeväxlare som fungerar på olika sätt som vi har undersökt i detta arbete.

Vi har med hjälp av WSP undersökt hur effektiv denna typ av värmeåtervinning är, hur stor ekonomisk vinst man gör samt om det är lönsamt för miljön ur ett koldioxid perspektiv genom en livscykelanalys av växlaren. Detta för att hjälpa konsulter med kunskap i hur lönsamma olika modeller är och hur lång återbetalningstiden är för att rätt beslut ska kunna tas i frågan om man ska installera en spillvattenvärmeväxlare eller inte, både för nybyggda flerbostadshus och befintliga.

1.2 Syfte och mål

Rapporten syftar till att skapa en grund för konsulter, fastighetsägare och andra som överväger att använda spillvattenvärmeväxling för att minska energibehovet i flerbostadshus. Den syftar också till att ge en förståelse för hur dessa system fungerar, vilka alternativ som finns tillgängliga samt vilka fördelar och hinder som kan uppstå vid implementeringen av spillvattenvärmeväxlare. Genom att använda referensprojekt kommer arbetet också att ge en grund för att bedöma lönsamheten i denna teknik både för befintliga och nybyggda flerbostadshus, med hänsyn till både ekonomiska och miljömässiga perspektiv. Att ge en övergripande bild över hur lönsam spillvattenvärmeväxling kan förväntas vara.

Följande frågeställningar besvaras i arbetet:

- Vilken lösning är idag bäst lämpad för ett flerbostadshus?
- Vad finns det för hinder och begränsningar?
- Är spillvattenvärmeväxlare lönsamt ur en ekonomisk synpunkt
- Är spillvattenvärmeväxlare hållbara utifrån ett klimatperspektiv?

1.3 Metod

Först genomfördes en litteraturstudie för att se vad som gjorts innan och varför arbetet är relevant. Därefter samlades information om hur spillvattenvärmeväxling fungerar och vad det finns för typer av spillvattenvärmeväxlare som är vanligast i Sverige. Genom intervjuer med leverantörer och andra experter kunde fördjupade kunskaper i olika lösningar och hur man arbetar med tekniken i olika typer av byggnader inhämtas. Därefter undersöktes referensprojekt och hur bra tekniken faktiskt fungerat där den installerats. Referensprojekt användes sedan för beräkningar där ekonomisk lönsamhet och koldioxidavtryck för olika typer av spillvattenvärmeväxlare beräknades. Utvärdering av resultat gjordes och slutsats för projektet kunde göras.

2 Litteraturstudie

2.1 Vatten och avloppssystem

Nedan följer en beskrivning av viktiga begrepp och de olika medier som samverkar för att uppnå värmeåtervinning.

2.1.1 Tappvatten

Tappvatten är det vatten som kommer till byggnaden från vattenverk. Det är det vattnet vi använder när vi öppnar en kran, spolrar eller diskar och tvättar. Till en bostad får vi både kallvatten och varmvatten. Till fastigheten kommer enbart kallvatten som sedan värms via en fjärrvärmeväxlare, varmvattenberedare eller värmepump för att sedan föras vidare till tappstället i bostaden där det blandas med kallvatten för önskad temperatur. Temperaturen på inkommande tappvatten kan variera ganska mycket om man tar vattnet från yttäckter som man gör både i Stockholm och Göteborg. Annars tas vatten från djupvattentäckter och då får man jämnare temperaturer över året.

2.1.2 Spillvatten

Spillvatten är det vatten vi förbrukat alltså vattnet som används vid duschar, spolning eller annan användning. Spillvatten brukar sorteras upp i grå- och svartvatten. Svartvatten är vattnet vi spolrar ner i toaletten. Det är ofta ungefär rumstempererat och innehåller mycket större partiklar. Gråvatten är resten av vattnet vi förbrukat i en fastighet. Det kommer ofta upp i högre temperaturer eftersom vi duschar varmt och även spolrar varmvatten i kök och tvättstuga.

2.1.3 Spillvattenvärmeåtervinning

Spillvattenvärmeåtervinning kan göras på flera olika sätt. Vanligast är att man med värmen i spillvattnet förvärmer inkommande tappvatten för att minska det totala uppvärmningsbehovet för varmvatten. Detta fungerar eftersom temperaturen på spillvattnet är högre än tappvattnets, vilket är en drivkraften för hur värmeåtervinning fungerar. Spillvattnets temperatur minskar och tappvattnets temperatur ökar. Detta leder till att fjärrvärmeväxlaren/varmvattenberedaren inte behöver nyttja lika mycket energi i uppvärmningen.

2.1.4 Ekvationer, parametrar och begrepp

Temperaturverkningsgrad:

Temperaturverkningsgrad är en vanligt använd parameter för att utvärdera en värmeväxlares prestanda. Denna parameter beskriver hur stor del av värmen som överförs mellan de två fluiderna i förhållande till deras initiala temperaturdifferens (Abdullahi, A & Mazraeh, 2018). Om spillvattnet används för att direkt värma det kalla tappvattnet kan formeln skrivas som följer:

$$\varepsilon = \frac{T_{kv,ut} - T_{kv,in}}{T_{sv,in} - T_{kv,in}} [\%] \quad (1)$$

$T_{kv,in}$ = Inkommande kallvattentemperatur [$^{\circ}C$]

$T_{kv,ut}$ = Kallvattentemperatur efter växlare [$^{\circ}C$]

$T_{sv,in}$ = Inkommande spillvattentemperatur [$^{\circ}C$]

Återvinningsgrad:

Återvinningsgraden för en spillvattenvärmeväxlare beskriver hur stor del av energiåtgången som kan återvinnas för att värma upp varmvatten (Jonsson, 2020). Formeln för att beräkna återvinningsgraden är differensen mellan temperaturen på förvämt tappvarmvatten och temperaturen på tappkallvatten, dividerat med differensen mellan temperaturen på tappvarmvatten och temperaturen på tappkallvatten enligt följande:

$$E = \frac{T_{FÖRVÄRMT} - T_{KALL}}{T_{VARM} - T_{KALL}} [\%] \quad (2)$$

Genom att använda denna formel kan man beräkna en spillvattenvärmeväxlares prestanda över en definierad tidsperiod i ett verkligt projekt genom att använda den genomsnittliga temperaturökningen. Det är viktigt att notera att denna formel beskriver växlarens prestanda under verkliga förhållanden i ett projekt och inte under isolerade förhållanden. Följaktligen kan återvinningsgraden variera mellan olika projekt även om samma typ av spillvattenvärmeväxlare används.

Överförd värmeeffekt och energibesparing:

För att beräkna den överförda värmeeffekten i en värmeväxlare, kan vi använda nedanstående formel där Q representerar den överförda värmeeffekten mellan fluiderna 1 och 2 (Havtun, 2021).

$$Q = (\dot{m} * c_p * \Delta T)_1 = (\dot{m} * c_p * \Delta T)_2 [W] \quad (3)$$

Q = Överförd värmeeffekt [W]

\dot{m} = massflödet [kg/s]

c_p = Vattnets specifika värmekapacitet [J/kg $^{\circ}C$] = 4190 J/kg $^{\circ}C$

ΔT = Temperaturdifferensen [$^{\circ}C$]

där $\dot{m} = V * \rho$

V = Flöde [m³/s]

ρ = Vattnets densitet [kg/m³] \approx 1000 kg/m³ (Beror på vattentemperatur)

Formler för värmepumplösningar:

Värmepumpar har förmågan att överföra värme från en kallare plats till en varmare plats, t.ex. från uteluft, mark eller spillvatten till en byggnad eller ett värmesystem(Granryd, u.å.). För att kunna ta tillvara på denna energi från den kalla platsen behöver energi tillföras till systemet, vanligtvis i form av el eller annan form av arbete. Den totala mängden energi som fås ut av värmepumpen kan beskrivas som summan av energin som tas vara på från den kalla platsen och energin som tillförs till systemet(Havtun, 2021). Denna energi kan sedan användas för ett byggnads värmesystem eller tappvattensystem.

Om spillvattenvärmeväxlare används i samband med värmepump så kommer energin från den kalla platsen representera den energin som fås från spillvattnet, alternativt från spillvattnet tillsammans med alternativ energikälla.

För att beskriva värmepumpens prestanda så används begreppet värmefaktor COP(Havtun, 2021). Detta är förhållandet mellan hur mycket energi som fås ut av systemet i förhållande till hur mycket energi vi måste tillföra till systemet(Nationalencyklopedin, u. å.).

$$COP_1 = \frac{|q_1|}{|\varepsilon_c|} \quad (5)$$

2.1.5 Potential för spillvattenvärmeåtervinning

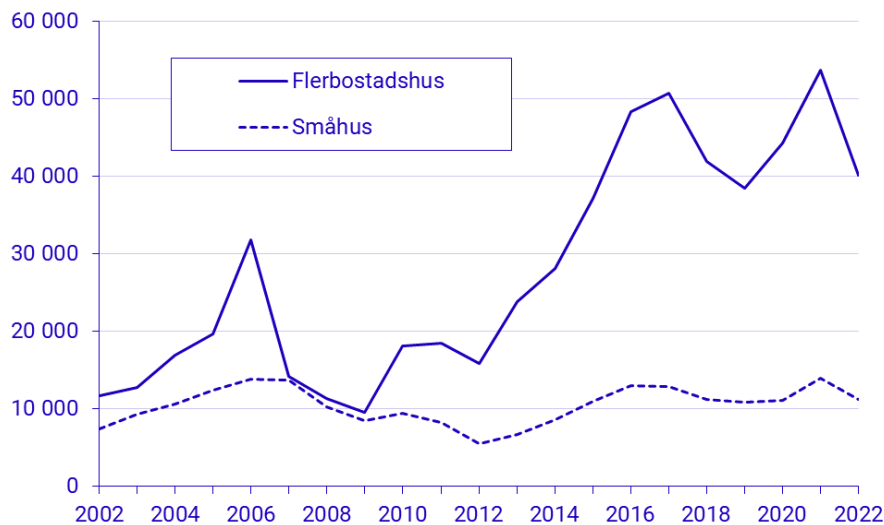
I Sverige läggs idag mycket fokus på att energieffektivisera byggnader genom flera olika åtgärder, såsom bättre isolering av väggar, förbättrade dörrar och fönster, samt värmeväxlare i ventilationssystemet. Trots detta har det inte lagts lika mycket fokus på att utnyttja förlusterna från spillvattnet, särskilt inte i flerbostadshus. I många andra typer av anläggningar, som badhus och industrier, har spillvattenvärmeväxlare i högre utsträckning använts runt om i Sverige. Dessa anläggningar ser ofta spillvattenvärmeväxlare som självklarheter, vilket främst beror på att de har tillgång till större mängder högvärdig energi från dessa källor. I Sverige idag ser situationen annorlunda ut när det gäller flerbostadshus. Tillämpningen av denna teknologi har varit minimal här. Vilken potential finns det då för att utveckla denna marknad i Sverige?

Enligt statistik från SCB från år 2021 finns det i Sverige cirka 4,8 miljoner hushåll, varav cirka 2,4 miljoner bor i flerbostadshus (SCB, 2021). Det är värt att notera att denna statistik inte inkluderar specialbostäder såsom studentbostäder och äldreboenden, som också skulle kunna vara potentiella kandidater för installation av spillvattenvärmeväxlare.

Spillvattenvärmeväxlare har potential att installeras antingen vid nybyggnationer eller vid renovering, då det ibland krävs renovering av installations- och ledningssystemet i

många äldre byggnader. En rapport "Renoveringskompetens" visar att det är cirka 800 000 lägenheter som behöver renoveras, där uppskattningsvis 80% av alla renoveringsprojekt innebär att befintliga installationer måste anpassas eller bytas ut (Johansson, 2017). Rapporten gör även en uppskattning om renoveringstakt på cirka 35 000 - 40 000 lägenheter per år, men det är viktigt att notera att detta endast är en uppskattning som kan variera beroende på olika faktorer, såsom ekonomi och tillgång till arbetskraft.

Vid nybyggnation finns också stor potential där antalet flerbostadshus som byggdes år 2022 var 40 084 st(SCB, 2023). Takten på nybyggnation skiljer sig kraftigt från år till år beroende på en mängd faktorer, men generellt har den ökat under de senaste 20 åren även om den minskade år 2022, vilket vi kan se i nedanstående diagram.



Figur 1. Här redovisas antalet flerbostadshus och småhus som byggts under de senaste 20 åren. (SCB. 2022).

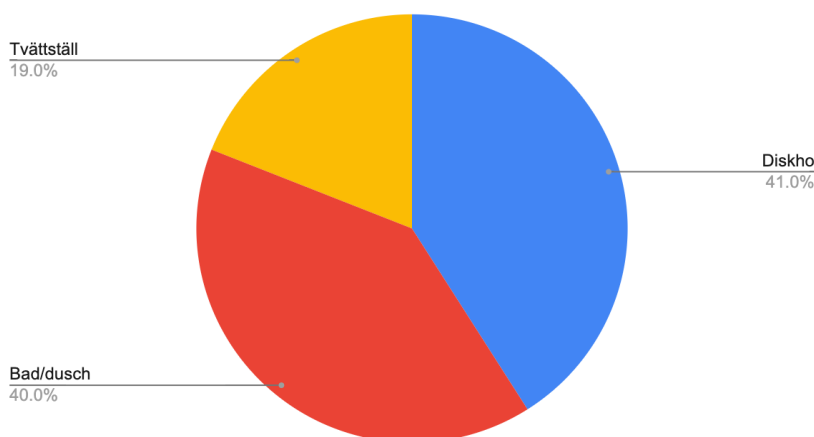
En studie genomförd av University of Innsbruck och Unit of Energy Efficient Building, lyfter fram potentialen för energibesparingar inom området för återvinning av spillvatten i hemmet (Sevela m.fl., 2022). Det är dock värt att notera att denna rapport inte undersöker potentialen för svenska bostadssektorn utan för länder inom EU, men den lyfter ändå fram viktiga principer för spillvattenåtervinning. Det räcker inte att bara titta på statistik över tappvattenanvändning och energianvändning; det finns flera faktorer som måste tas i beaktning.

Den tappkälla som har störst potential för återvinning av spillvatten är duschen(Sevela m.fl., 2022). Detta beror på flera faktorer. För det första står duschning för den största andelen av tappvarmvattnet, samt för den högsta medeltemperaturen. En annan viktig aspekt är att vid duschning sammanfaller tappvatten och spillvatten, vilket möjliggör direkt förvärmning av tappvarmvattnet. Badkar har en hög spillvattentemperatur, men eftersom tappningen inte sammanfaller med avtappning minskar potentialen för värmeåtervinning. Det är dock värt att nämna att i flerbostadshus är ofta flera lägenheter kopplade till samma växlare, vilket potentiellt kan öka oddsen för att

badkarstappningar i en lägenhet sammanfaller med tappning i en annan lägenhet. En ytterligare aspekt är att det är enklare att ta vara på längre tappningar än kortare, eftersom det tar tid för växlaren att uppnå sin högsta potentiella verkningsgrad.

Mätningar gjorda av Energimyndigheten 2007 och 2008 av 54 hushåll, inkluderande 13 lägenheter och 41 småhus visar följande statistik av vattenförbrukning för respektive tappställe(Energimyndigheten, 2008).

Vattenförbrukning

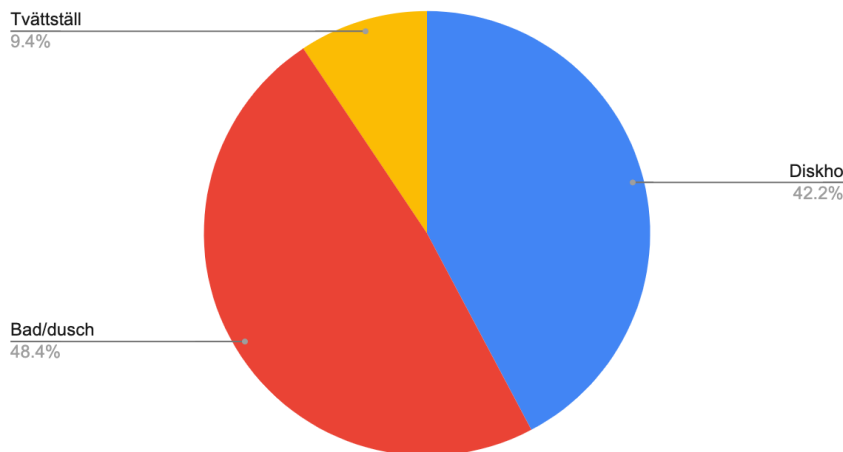


Figur 2. Mätningar av varm och- och kallvattenförbrukning i svenska hushåll

Denna fakta är till viss del för småhus såväl flerbostadshus, samt är mätningarna relativt gamla, men de kan ändå ge en ungefärlig bild. Statistiken visar inte heller vattenförbrukning för toalett. Toaletten har inget varmvatten, men eftersom toalettvattnet ofta står stilla i rummet under långa perioder, värms vattnet naturligt och det finns därför en viss mängd energi som kan utvinnas. Men trots det är mängderna relativt små jämfört med till exempel duschen.

Procentuell varmvattenförbrukning för respektive tappställe enligt Energimyndigheten var följande: diskho i kök(23% varmvatten), bad/dusch(27% varmvatten) och tvättställ(11% varmvatten). Utgående från denna data gjordes nedanstående diagram genom att multiplicera total vattenförbrukning med procentuell varmvattenanvändning för respektive tappställe.

Varmvattenförbrukning



Figur 3. Varmvattenförbrukning för respektive tappställe

Här kan vi se att dusch/bad är den tappkälla som har högst varmvattenförbrukning i förhållande till den totala vattenförbrukningen, även om majoriteten av vattenförbrukningen kommer från diskon.

För att korrekt bedöma potentialen för spillvattenåtervinning är det avgörande att ta hänsyn till den totala energiförbrukningen samt energikällan för tappvarmvattnet. I en rapport från Energimyndigheten sammanställdes data för att bestämma schabloner på energianvändning av varmvatten år 2008 (Hellberg & Stengård, 2012). För flerbostadshus hänvisar rapporten till Vattenfall, där varmvattenförbrukningen enligt dom står för ca 1000 kWh/person/år. Det är också viktigt att tänka på vilken energikälla som används för att värma upp varmvattnet. År 2021 stod fjärrvärme för 90,6% av Sveriges totala energianvändning, el för 7,8%, och övriga energikällor fördelas främst mellan olja, naturgas och pellets (Regionfakta, 2021). Detta är viktigt att ta hänsyn till när vi tittar på både ekonomiska aspekter och miljöaspekter, eftersom både energipriser och klimatavtryck skiljer sig mellan de olika källorna.

Det finns en mängd parametrar som kan vara av betydelse att beakta när man bedömer potentialen för att återvinna spillvatten. Studien genomförd av University of Innsbruck och Unit of Energy Efficient Building visar på högre potential i områden med kallare klimat (Sevela m.fl., 2022). Detta beror på att den inkommande kallvattentemperaturen är lägre, vilket leder till en högre temperaturdifferens mellan tapp- och spillvatten. Dessutom finns det en korrelation mellan kallare klimat och beteendemönster som kan öka potentialen ytterligare, till exempel att man i dessa klimat tenderar att ta längre och varmare duschar.

I en rapport, "Dimensioneringstal för vattenförbrukning", diskuteras sambandet mellan vattenförbrukning och parametrar, såsom medelålder, inkomst och områdestyp (Hammarlund m.fl., 2020). Även om det är svårt att hitta en tydlig korrelation och dra slutsatser utifrån denna rapport, så kan vissa kopplingar

identifieras. Till exempel verkar det finnas en generell trend som visar att vattenförbrukningen minskar med ökad inkomst, och i ett utvalt område (Klitesväg) observerades en ökad vattenanvändning där medelåldern var väldigt hög. Rapporten drar inga starka slutsatser om korrelationen mellan vattenförbrukning och dessa parametrar, men visar ändå att dessa faktorer bör beaktas.

2.1.6 Hinder och begränsningar

I detta avsnitt undersöker vi potentiella hinder och begränsningar vid användning av spillvattenvärmeväxlare i flerbostadshus. Detta inkluderar hur minskad temperatur på spillvattnet kan påverka det kommunala avloppssystemet, drift och underhållsbehovet för växlarna samt problem relaterade till legionella.

Avloppssystem

Om en större mängd fastigheter i Sverige skulle tillämpa värmeåtervinning från spillvatten, skulle detta potentiellt leda till minskad utgående temperatur på avloppsvattnet. Effekterna på detta diskuteras i rapporten "Värmeåtervinning ur avloppsvatten"(Arnell m.fl., 2021). Detta innefattar negativ inverkan på ledningsnät, reningsverk och kraftvärmeproduktion.

Ledningsnät

Minskad temperatur på avloppsvattnet kan ha negativa effekter på avloppssystemet, då risken för igensättning och flödesproblem ökar. Detta beror delvis på att fett stelnar vid lägre temperaturer och på att aktiviteten hos mikroorganismer som bryter ner organiskt material minskar, vilket kan leda till att organiskt material fastnar i rören.

Mikroorganismerna som hjälper till att bryta ner de organiska ämnena konsumerar också syre vilket leder till att avloppsvattnet blir syrefattigare, och i dessa anaeroba förhållande ökar chansen för produktionen av svavelväte och metan. Svavelväte har en korroderande effekt på rörmaterial och metan är en växthusgas som bidrar till global uppvärmning.

Reningsverk

Avloppsreningsverken ser till avloppsvattnet som släpps ut i sjöar, vattendrag och havet är så rent som möjligt för att mildra negativa effekter på miljön samt för att skydda människors hälsa. Lägre temperaturer i avloppssystemet kan leda till att denna process inte fungerar optimalt.

Reningsprocessen i ett avloppsreningsverk består av tre steg: mekanisk rening, kemisk rening och biologisk rening. Kemisk rening påverkas i mindre utsträckning av lägre temperaturer, men den biologiska reningen påverkas främst. Syftet med den biologiska reningen är att ta bort organiska föreningar genom tillsättning av mikroorganismer som bryter ner organiskt material. En sänkning av temperaturen kan

minska aktiviteten hos mikroorganismerna som bryter ner organiska föreningar, vilket kan leda till att processen tar längre tid och inte fungerar lika effektivt.

Den biologiska reningen används också ofta för att avlägsna kväve. Det finns olika metoder för att utföra kvävereningen, men vid biologisk avskiljning av kväve genom nitrifikation är processen extra känslig för temperaturförändringar. Låga temperaturer påverkar nitrifikationshastigheten negativt och kan försämra kvävereningen markant.

Kraftvärmeproduktion

Kraftvärmeverk kan i vissa fall återvinna värmen i avloppsvatten genom att utnyttja värmen från avloppsvattnet som en energikälla för att producera värme och elektricitet. Om temperaturen på avloppsvattnet sjunker kan detta därmed leda till en minskning av värmeåtervinningen och därmed minska mängden producerad värme och elektricitet. Detta kan i sin tur påverka energiförsörjningen och öka behovet av att använda andra energikällor för att kompensera för minskningen i produktionen av värme och elektricitet från kraftvärmeverken.

Underhållsbehov och driftsäkerhet

Ett vanligt problem som diskuteras när det gäller spillvattenvärmeväxlare är hur systemet fungerar i praktiken, i förhållande till underhåll som krävs under dess livslängd samt risken för driftstörningar som igensättning. Informationen i denna text är baserad på studier, vetenskapliga rapporter och information från företag som tillverkar växlarna.

Underhåll och driftsäkerhet skiljer sig mycket från fall till fall beroende på typ av produkt och hur systemet är konfigurerat. Ett problem som ofta tas upp är risken för stopp i växlaren. Det skall nämnas att alla spillvattenvärmeväxlare som finns på marknaden verkar ha en så kallad bypass inmonterad. Detta innebär att om växlaren skulle få stopp så finns det en annan väg för avloppet att gå.

I så kallade stående rörvärmeväxlare i passiva system så hittades inga fall av igensättning, men i liggande paket verkar detta vara ett större problem. En rapport genomfördes där man tittade på fem liggande rörvärmeväxlare i flerbostadshus under tolv månader (Jonsson, 2020). Av dessa fem upplevde tre av växlarna stopp under denna tid.

I lösningar där en pumpgrop har implementerats i samband med växlare, där vattnet pumpas från pumpgropen till växlaren, har stopp förekommit i pumpgropen, vilket visas i en annan rapport (Alm & Haegermark, 2022). Ett exempel kommer från BRF Promenaden i Falun där en horisontell växlartyp med 15 seriekopplade rör av typen Ekoflow installerades. Här förekom det stopp i pumpgropen ett fåtal gånger under våren 2019, vilket berodde på att felaktiga föremål hade spolats ned. Andra exempel är från produkten Evertherm Ecoclimate som består av två tankar där vattnet pumpas genom kopplat till en värmepump. I Kvarteret Alabastern i Växjö uppstod stopp i

pumpgropen vid två tillfällen, och vid BRF Solterrassen i Umeå har det också förekommit stopp.

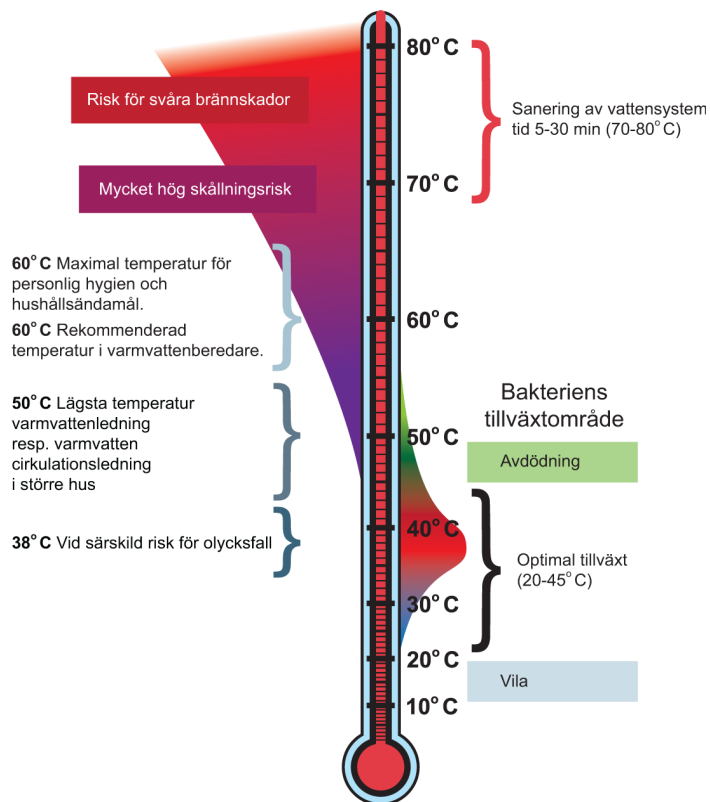
Underhållsbehovet för spillvattenvärmeväxlare är generellt lågt för de flesta växlartyper. Baserat på studier och leverantörens egna beskrivningar verkar det som att rörvärmeväxlare i passiva system inte kräver något som helst underhåll. I en vetenskaplig artikel från polska universitetet Rzeszow University of Technology görs dock argumentet att underhåll kan komma att behövas eftersom föroreningar kan samlas längs växlarens yta, vilket minskar värmeöverföringen och därmed effektiviteten hos växlaren (Kordana m.fl., 2019).

Det finns lösningar där underhåll kan komma att förväntas. Spillvattenvärmeväxlaren Ekoflow, som användes för projektet på BRF Promenaden i Falun, rensades exempelvis var fjärde vecka (Alm & Haegermark, 2022). I projektet på kvarteret Alabastern i Växjö, där Evertherm användes, har underhåll behövts men samtidigt varit väldigt lågt.

Sammanfattningsvis finns det en viss problematik kring underhåll och driftsäkerhet, men det är oklart hur stora dessa problem är då provstorleken är väldigt låg. I kapitlet "Tekniklösningar" i denna rapport talas det mer om dessa aspekter för specifika produkter och lösningar.

Legionella

Legionellabakterien är en naturligt förekommande bakterie i sötvattenmiljöer såsom floder och sjöar, men den kan också trivas i människoskapade vattensystem och orsaka allvarliga lunginfektioner om man andas in bakterien i form av vattendimma eller aerosoler (Boverket, 2023). Därför är det viktigt att vara medveten om risken för legionella vid framförallt duschning. Legionellabakteriens aktivitet är som högst i temperaturspannet mellan 30-40 grader Celsius, men risken för tillväxt ökar också mellan 20-45 grader Celsius.



Figur 4. Legionellabakterier och dess optimala tillväxtstemperaturer. (Boverket, 2023).

Då spillvattenvärmeväxlare ökar temperaturen på tappkallvattnet, så väcks frågor om ökad risk för legionella. Detta är dock inte relevant vid förvärmning av tappvarmvatten eftersom bakterien dör efter varmvattenberedaren eller fjärrvärmeväxlaren när temperaturen ökar. Däremot kan detta vara relevant vid förvärmning av tappkallvattnet där växlaren förvärmer vattnet innan det når tappstället. I sådana fall kan sträckan mellan växlaren och tappstället uppleva högre temperaturer i ledningarna, vilket kan eventuellt öka risken för legionella. Det är dock oklart hur mycket vattnet förvärms i dessa system och det finns få referensprojekt i Sverige som använder denna lösning.

Det finns även bestämmelser i Boverkets byggregler där det står följande:

"Installationer för tapp ska utformas så att tappkallvattnet inte värms oavsiktligt"(Boverket, 2021a). Denna regel är kopplad till legionellarisk, men det är oklart exakt hur den kopplas till spillvattenvärmeväxlare.

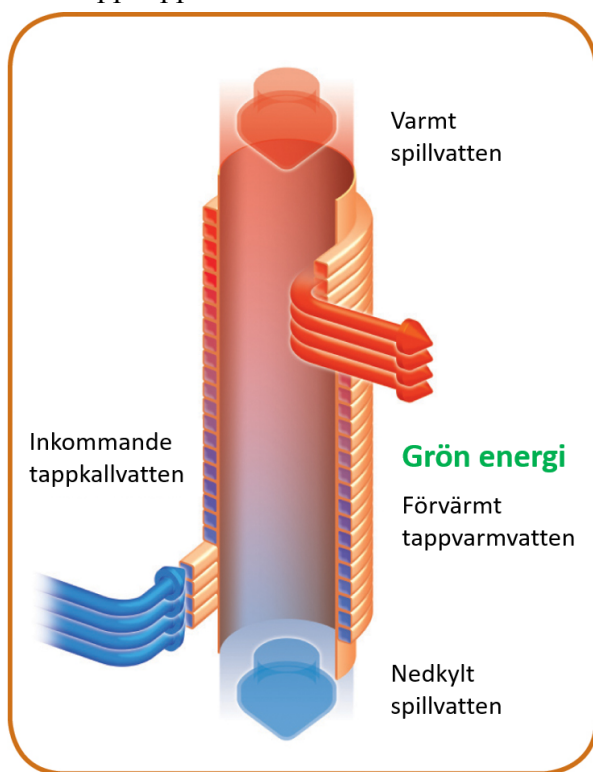
3 Tekniklösningar

Det finns ett brett utbud av system och produkter som kan användas för att återvinna värme från spillvatten. Varje lösning har sina egna fördelar och nackdelar, och valet av system beror på flera faktorer såsom byggnadstyp, tappmönster och verksamhet. I detta kapitel presenteras flera olika typer av lösningar för att ge en överblick över alternativen.

Följande information grundar sig på rapporter samt fakta från leverantörer, inhämtade från deras webbplatser och intervjuer som har genomförts. Detta då en betydande del av följande fakta är kopplat till specifika produkter.

3.1 Rörvärmväxlare

En rörvärmväxlare består av ett centralt rör omgivet av ett yttre rörsystem, där det yttre systemet innehåller tappvattnet och det centrala röret innehåller spillvattnet som värmer upp tappvattnet.



Figur 5. Princip för rörvärmväxlare. (Inexie.se.A. U.Å)

Dessa växlare ersätter befintliga avloppsrör för spillvatten (Nykvist, 2012a). Det finns även möjlighet att ha gråvatten som passerar genom växlaren vid separata grå/svartvatten system. I flerbostadshus så är dessa ofta inkopplade i helt passiva system utan värmepumpar eller andra energikrävande komponenter. De är därmed ofta väldigt enkla att installera och kräver inte mycket underhåll. De kan installeras både stående och liggande.

Vanligtvis är växlaren utformad som ett dubbelmantlat rör, där tappvattnet flödar på utsidan(Jonsson, 2015). Alternativt kan det finnas en tappvattenledning som cirkulerar runt avloppsröret. Fördelen med detta är att det ger två kontaktytor mellan spill- och tappvatten, vilket eliminerar risken för att tappvattnet kontamineras vid läckage. Dubbelmantlade rör är dock mer effektiva än att ha en cirkulerande tappvattenledning(Engelholm, A., personlig kommunikation, 28 februari, 2023).

Vid cirkulerande ledning så är rören rektangulära för att öka kontaktytan mellan rörsystemen(Jonsson, 2015). Vanligtvis består de av flera parallellkopplade slingor för att minska tryckfallet. För höga tryckfall är normalt sett inget problem om inte byggnaden är allt för hög, eftersom det finns tillräckligt höga vattentryck i ledningarna i det offentliga vattennätet för att stödja de flesta flerbostadshus(Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023).

Växlaren omsluts ofta av isolering. Detta är en nackdel ur ett energiperspektiv eftersom att det motverkar rumsvärmen att värma tappvattnet ytterligare, men samtidigt så motverkar isoleringen kondens, vilket kan vara ett problem beroende på vart växlaren installeras(Engelholm, A., personlig kommunikation, 28 februari, 2023).



Figur 6. iNEX power-pipe spillvattenvärmeväxlare med 4 parallellkopplade cirkulerande kopparledningar. (Inexie.se.A. U.Å)

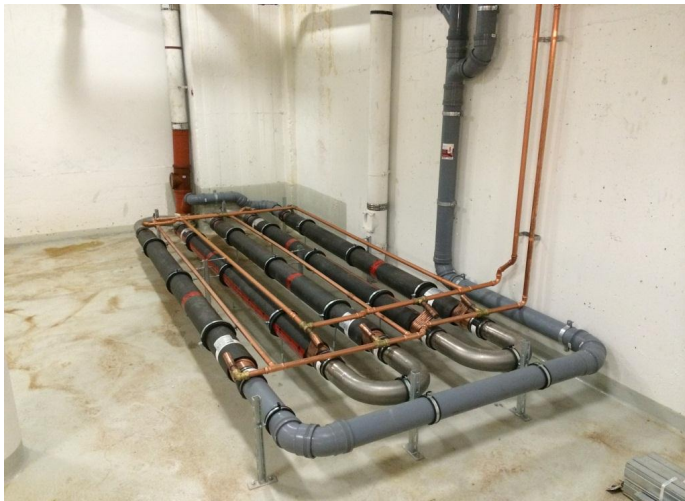
3.1.1 Liggande rörvärmeväxlare

När rörvärmeväxlaren är monterad horisontellt brukar man benämna detta som en liggande rörvärmeväxlare. Detta är den vanligaste typen av spillvattenvärmeväxlare i Sverige för flerbostadshus(Jonsson, 2015). De är väldigt enkla att installera då de monteras på den befintliga samlingsledningen för flerbostadshuset, oftast i källaren där allt spillvatten samlas(Nykvist, 2012a). Vid renoveringar kan dock installationen i vissa fall vara komplicerad(Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023). Till exempel, i gamla lamellhus från 70-talet ligger oftast samlingsledningen gjuten i betongplattan vilket kan göra det svårt att komma åt den. Detta är dock inte fallet för majoriteten av nybyggen där denna ledning oftast är relativt lättåtkomlig.

Storleken på dessa brukar variera baserat på hur många lägenheter systemet är kopplat till, men brukar typiskt vara cirka 6,5 meter långa(Nykvist, 2012a). Vid behov kan man även seriekoppla ett flertal växlare.



Figur 7. Liggande rörvärmväxlare iNEX GK kopplad till tvättstuga. (Inexie.se. U.Å)



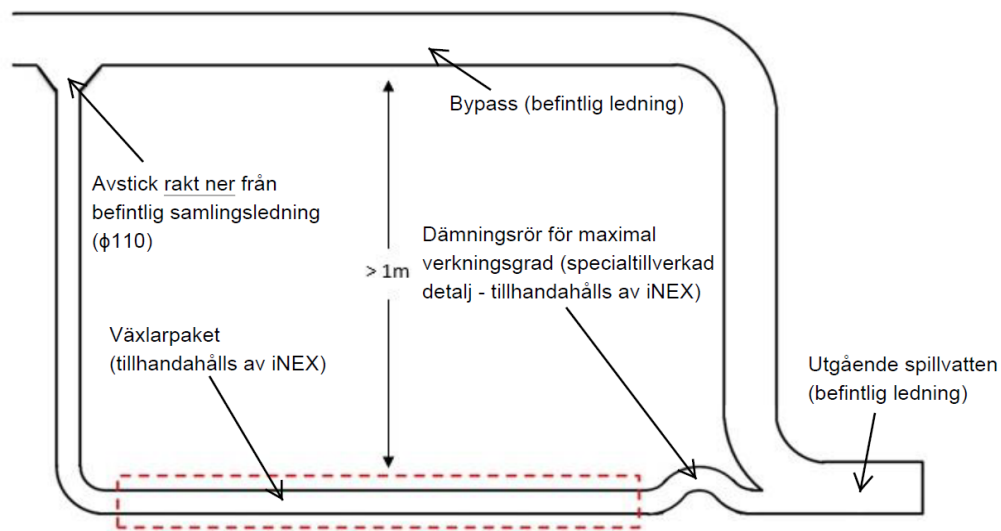
Figur 8. Seriekopplade liggande rörvärmväxlare av typ iNEX powerpipe.. (Inexie.se.B. U.Å)

För att säkerställa att växlaren fungerar optimalt och undviker igensättningar är det viktigt att den antingen monteras med en lutning, precis som befintliga avloppsrör, eller att det finns en fallhöjd före växlaren som ger spillvattnet tillräcklig hastighet genom enheten (Jonsson, 2015). Ett problem med dessa växlare är att kontaktytan för spillvattnet är relativt låg jämfört med rörets yta, eftersom vattnet endast flödar längs botten. Detta resulterar i en relativt låg effektivitet.

För att kompensera för detta kan man använda en svalhals eller dämpningsrör, vilket innebär en böjning i röret som gör att vattnet stannar kvar längre i växlaren och skapar en större kontaktyta (Alm & Haegermark, 2022). Detta kan dock öka risken för igensättningar i systemet (Jonsson, R., personlig kommunikation, 1 februari, 2023).

iNEX, som tillverkar och installerar spillvattenvärmväxlare, menar att denna metod knappt förbättrar effektiviteten eftersom en större del av vattnet inte kommer i kontakt med ytan i proportion till vattenvolymen (Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023). INEX har därmed övergivit denna lösning alltmer i moderna installationer (Engelholm, A., personlig kommunikation, 28 februari, 2023).

Det bör dock påpekas att blockeringar i systemet inte påverkar hela avloppssystemet utan enbart växlarna. Detta beror på att det alltid finns en bypass som låter avloppsvattnet flöda ifall växlaren skulle igensättas.

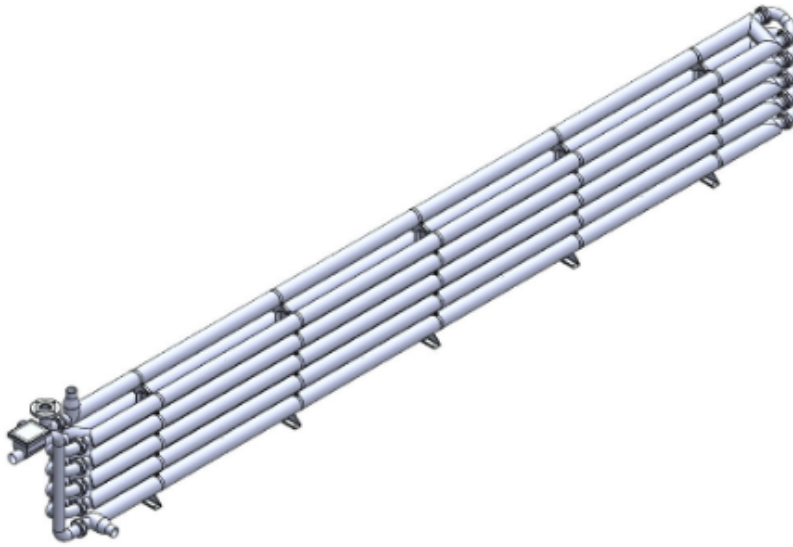


Figur 9. Exempel på hur företaget iNEX kan montera sina liggande rörvärmeväxlare med bypassrör, dämmningsrör samt fallhöjd innan växlaren. (Inexie.se. U.Å)

3.1.2 EkoFlow

EkoFlow är en typ av rörvärmeväxlare utvecklad av Isakssons. Den togs fram i slutet av 70-talet och har huvudsakligen installerats i badhus runt om i Sverige (Andersson, L., personlig kommunikation, 7 mars, 2023). Den är tillämpad i ett flerbostadshus i Sverige än så länge men ett till är projekterat och blir klart i slutet av 2023. Metoden för värmeåtervinningen är dubbelmantlade rör i rostfritt stål som är motströmskopplade. Spillvatten går på ena sidan och tappvatten på andra. EkoFlow får en hög värmeöverföringsyta eftersom vattnet går i långa slingor, se figur 10 nedan.

Verkningsgrad är upp emot 85% i badhus primärt, i flerbostadshus blir verkningsgraden lägre (Andersson, L., personlig kommunikation, 7 mars, 2023). Monteras där vattnet samlas vanligast i en källare. Den kräver underhåll och för bästa verkan bör den underhållas minst 1 gång i månaden. Att rensa rören tar max 10 min och görs med en propp som medföljer systemet. Projekterad livslängd på ca 50 år. Bäst för så stora projekt som möjligt. Tillverkad helt i rostfritt stål.

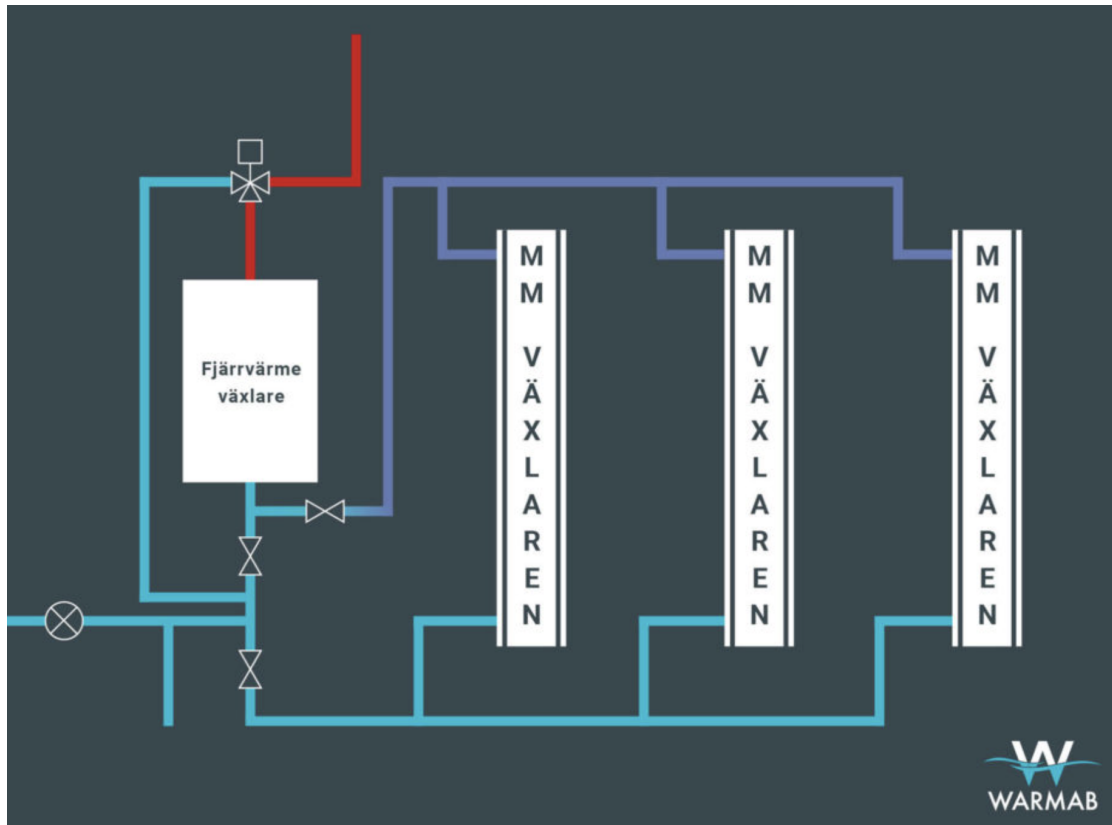


Figur 10. Ekoflow av Isakssons. (ekobyisakssons.se. U.Å)

3.1.3 Stående rörvärmväxlare

Stående rörvärmväxlare fungerar på exakt samma sätt som liggande, fast att de monteras vertikalt istället för horisontellt. Vissa produkter av rörvärmväxlare kan monteras både vertikalt och horisontellt. Fördelen med att montera dessa vertikalt är att effektiviteten ökar. Detta beror på att när spillvattnet rinner ner genom växlaren lägger sig vattnet som en hinna runt röret, vilket ökar kontaktytan i förhållande till de liggande och därmed ökar även verkningsgraden (Nykvist, 2012b). Vid laborietester utförda av RISE på rörvärmväxlaren MM-växlaren ökar effekten från 2,15 kW till 5,13 kW vid stående montage jämfört med liggande för denna produkt (Warm AB, 2013). INEX hävdar dock att återvinningsgraden på liggande och stående är väldigt lika sett utifrån verkliga projekt, vilket diskuteras mer i intervjustudien i denna rapport (Engelholm, A., personlig kommunikation, 28 februari, 2023).

Problemet med dessa växlare är att de oftast är mer komplicerade att installera. Deras storlek är begränsad av takhöjden, och man kan heller inte seriekoppla dem som man kan med liggande, då detta skulle innebära att spillvattnet hade varit tvunget att flöda uppåt. Istället kan man parallellkoppla ett flertal stående rörvärmväxlare i källaren på befintliga avloppsstammar innan de sammanfogas till samlingsledningen (Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023).



Figur 11. Principflödesschema för parallellkopplade stående rörvärmeväxlare för förvärmning av tappvarmvatten, i detta fallet av produkten MM-växlaren men resterande rörvärmeväxlare följer samma princip. (WarmAB.se. U.Å)

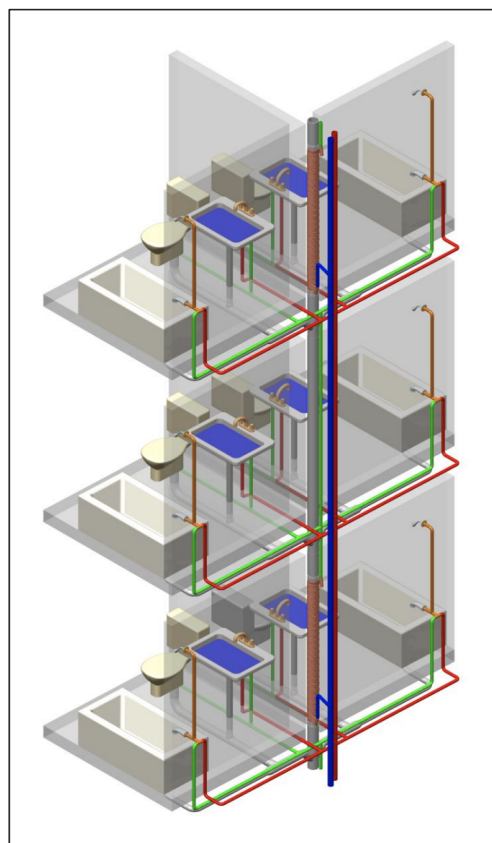
Här representerar varje ledning ett antal fastigheter, där antalet varierar från produkt till produkt. För MM-växlaren från Warm AB till exempel så brukar en stående rörvärmeväxlare typiskt stå för någonstans mellan 10-15 lägenheter (Wargbäck, M., personlig kommunikation, 22 februari, 2023). Om en fastighet är belägen i ett långt hus med flera avloppsledningar, så innebär det att ett långt rörsystem måste installeras för att nå alla avloppsledningar (Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023). Detta kan vara en större utmaning vid renoveringar eftersom rörsystemet inte är planerat för detta. Ibland kan det dock vara enklare att installera stående rörvärmeväxlare vid renoveringar, då samlingsledningen är svåråtkomlig, till exempel om den är fastgjuten i bjälklaget.

Vid nybyggnationer är det relativt enkelt att planera och installera stående rörvärmeväxlare utan större konsekvenser.

3.1.3.1 Förvärmning av tappkallvatten

Ett annat alternativ är att installera dessa för att förvärma tappkallvattnet, innan det når tappstället, vilket demonstreras i figuren till höger (Jonsson, R., personlig kommunikation, 1 februari, 2023). Här kan man installera växlarna på de befintliga avloppsstammarna, där varje växlare representerar ett fåtal lägenheter, typiskt 4 stycken. Problemet med att göra detta är att tappställena inte får tillgång till helt kallt tappvatten. Man behöver dock inte koppla systemet till hela lägenheten utan man kan exempelvis göra det endast för badrummen.

Fördelen med att förvärma tappkallvatten är att växlarna inte tar upp något extra utrymme, samtidigt som man ökar återvinningsgraden då växlarna ligger närmare tappstället och därmed hinner inte spillvattnet kylas ner lika mycket. Dessutom finns möjligheten att kombinera systemet så att både varmt och kallt vatten kan förvärmas samtidigt, vilket ytterligare förbättrar dess effektivitet (Engelholm, A., personlig kommunikation, 28 februari, 2023).



Figur 12. Figurtext. Blå ledningar representerar kallvatten, röda varmvatten och gröna förvärm kallvatten (Renewability.com. U.Å).

En möjlighet är att koppla värmewäxlare enbart till duscharna. Här krävs en växlare per enskild avloppsstam som är kopplad till duscharna, en våning ner i varje lägenhet (Wargbäck, M., personlig kommunikation, 22 februari, 2023). Genom att använda en växlare på varje stam kan man uppnå högre återvinningsgrad eftersom vattentemperaturen från duschen är högre än vid andra tappställena. Denna lösning innebär också att handfatet i badrummen kan använda kallvatten. Det är dock viktigt att notera att om man begränsar värmewäxlarna till ett mindre antal tappställena, så kan medeltemperaturen bli högre, men man riskerar också att förlora energi från andra tappkällor.

Denna lösning väcker också frågor om legionella eftersom det förvärmade kallvattnet kommer att nå högre temperaturer (Engelholm, A., personlig kommunikation, 28 februari, 2023). Då tappkallvatten är livsmedelsklassat så finns regler om att tappkallvatten inte får värmas oavsiktligt. Det är emellertid en definitionsfråga huruvida detta verkligen anses vara fallet, och därför är det en fråga som bör diskuteras med besiktningsmannen.

En annan nackdel med detta system är att det medför ökade kostnader, kräver mer utrymme och underhåll(Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023). Extra rör och komponenter innebär en ökad utgift. Systemet förbrukar visserligen en viss mängd energi genom cirkulationspumpen, men detta är i stort sett försumbart eftersom dess effekt brukar ligga mellan 30 och 50 watt. Både cirkulationspumpen och plattvärmväxlaren behöver ersättas efter en viss tid, eftersom deras livslängd uppskattas till cirka 10-15 år.

3.2 Duschvärmväxlare

Att återvinna varmvattnet från duschen direkt i duschkabinen är också ett alternativ. Principen är nästan alltid att man lägger ett rör eller en låda mellan avrinningsstället i duschen och golvbrunnen där duschvattnet rinner ut(Nykvist, 2012b). Sedan rinner inkommande kallvatten åt motsatt håll utanför duschvattnet exempelvis genom dubbelmantling och det är så värmeöverföringen sker. Kallvattnet blir varmare vilket innebär att andelen varmvatten minskar för duschen, och på detta sätt sparar man energi.

Fördelar med detta är att man återvinner värmen nära tappstället där spillvattnet har som högst temperatur samt att detta kan implementeras i stort sett i vilken dusch som helst men enklast är om man har en duschkabin. Alltså kan detta införskaffas i en enda lägenhet eller i en villa. Nackdelarna är att för större flerbostadshus blir investeringen stor om alla duschar ska ha en växlare samt att man inte återvinner lika mycket värme som om man har en passiv lösning. Växlaren kräver även underhåll cirka en gång per år för att de ska fungera optimalt, och om fastigheten inte har individuell mätning med debitering så ligger det inte i de boendes egenintresse att underhålla växlarna.



Figur 14. Shower Reheat som är en duschvärmväxlare. (Showerreheat.se. U.Å).

3.3 Gråvattenlösningar

Gråvatten omfattar allt spillvatten från bostaden förutom det från toaletten, medan spillvatten från toaletten kallas för svartvatten(Nykvist, 2012a). Vid dimensionering av system med spillvattenvärmeväxlare kan det vara fördelaktigt att separera grå- och svartvatten. Genom att göra detta kan man utvinna mer högvärdig energi om endast det varmare gråvattnet passerar genom växlarna. Detta kan också innebära att man kan använda specifika lösningar och produkter som inte skulle vara lämpliga att använda med svartvatten.

Systemen kan separeras på olika sätt, och det är vanligt att ha ett separat rörsystem enbart för duschar(Strömgren, F., personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Detta beror på att spillvattnet från duscharna har en högre genomsnittstemperatur än annat tappvatten(Sevela m.fl., 2022). Duschning är även långvarig vilket är fördelaktigt eftersom det kan ta tid för växlaren att uppnå sin verkningsgrad, samt så sammanfaller tappning och utgående spillvatten, till skillnad från exempelvis tappning av ett badkar.

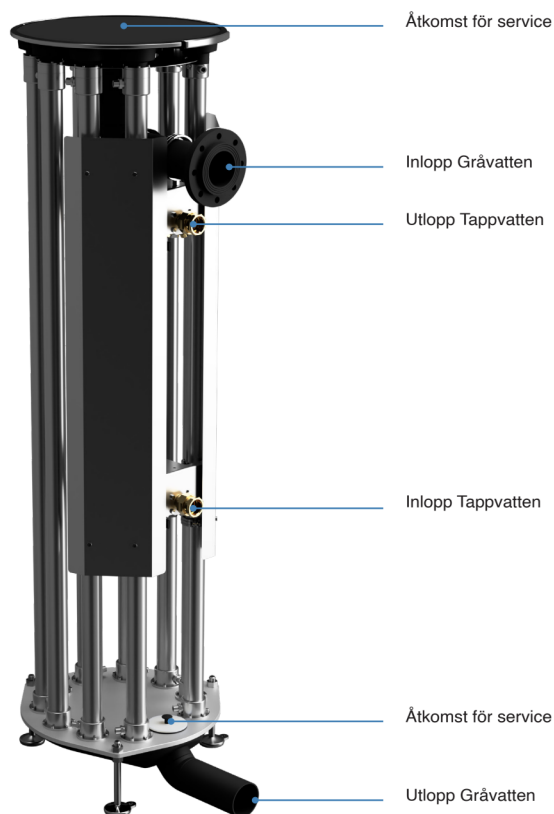
Andra tappställen, som diskbänken i köket, kan också anslutas till dessa system, eftersom de också har en hög medeltemperatur(Strömgren, F., personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Nackdelen med detta är risken för att fett och matrester spolats ner. En ytterligare fördel med systemet är att risken för blockeringar minskar, eftersom större föremål som spolats ner i toaletten undviks. När separata system används blir det också möjligt att implementera gråvattenåtervinning, där man återanvänder gråvatten(HSB, u.å.). På HSB Living Lab i Göteborg tillämpas detta genom att man återanvänder vattnet från duscharna, renar det och använder sedan vattnet för att spola toaletterna, vilket potentiellt kan spara upp till 20% av vattenförbrukningen.

Dessa system medför dock högre kostnader och kräver mer utrymme. Dessutom ökar underhållsbehovet(Wargbäck, M., personlig kommunikation, 22 februari, 2023). Detta beror på att större partiklar från svartvatten tenderar att rensa bort fett från väggarna i värmewäxlaren. I ett separat gråvattensystem måste detta fettlager rengöras regelbundet för att växlaren ska kunna uppnå sin maximala effekt.

3.3.1 CONSAT Geiser

Ett exempel på en produkt som enbart är anpassad för separata grå- och svartvattensystem är CONSAT Geiser. Denna produkt används främst i badhus och industrier, men planeras även för användning i flerbostadshus i både Göteborg och Malmö (Strömgren, F., personlig kommunikation, 6 mars, 2023).

Växlaren är utformad så att inkommande gråvatten strömmar in i den nedre delen och med hjälp av självfallstrycket rör sig uppåt mot toppen av växlaren till ett vattenlås. Därefter fördelas vattnet jämnt över 10 så kallade tubvärmväxlare. Dessa är formade som vanliga rörvärmväxlare med dubbelmantlat rör, där det inre röret är gjort av koppar för att öka värmeledningsförmågan och det yttre röret av rostfritt stål. Det inre kopparröret är även bucklat för att öka kontaktytan mellan rörsystemet samt för att uppnå turbulent strömning, vilket förlänger uppehållstiden i röret. Tappvattnet rör sig motströms spillvattnet i växlarna.



Figur 15. Consat Geiser. (Strömgren, F. personlig kommunikation. 2023)

Växlaren innehåller en bypass på både spill- och tappvattensidan, som är inbyggda i växlaren. Tappvattensidan har en automatisk bypass som aktiveras när det högsta tillåtna trycket uppnås i växlaren. Växlaren är även försedd med en knivventil för att spola rent systemet från större partiklar. Tubvärmväxlarna måste rengöras några gånger per år för att växlaren ska uppnå optimal verkningsgrad (Consat, 2021).

Denna växlare har en relativt hög prestanda med en temperaturverkningsgrad på cirka 70%. Verkningsgraden har fastställts från laborietester med en spillvattentemperatur på 32 grader, en inkommande tappvattentemperatur på 8 grader och lika spill- och tappvattenflöden (Strömgren, F., personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Livslängden för dessa växlare är inte testad eftersom produkten är relativt ny, men de förväntas vara cirka 25 år.

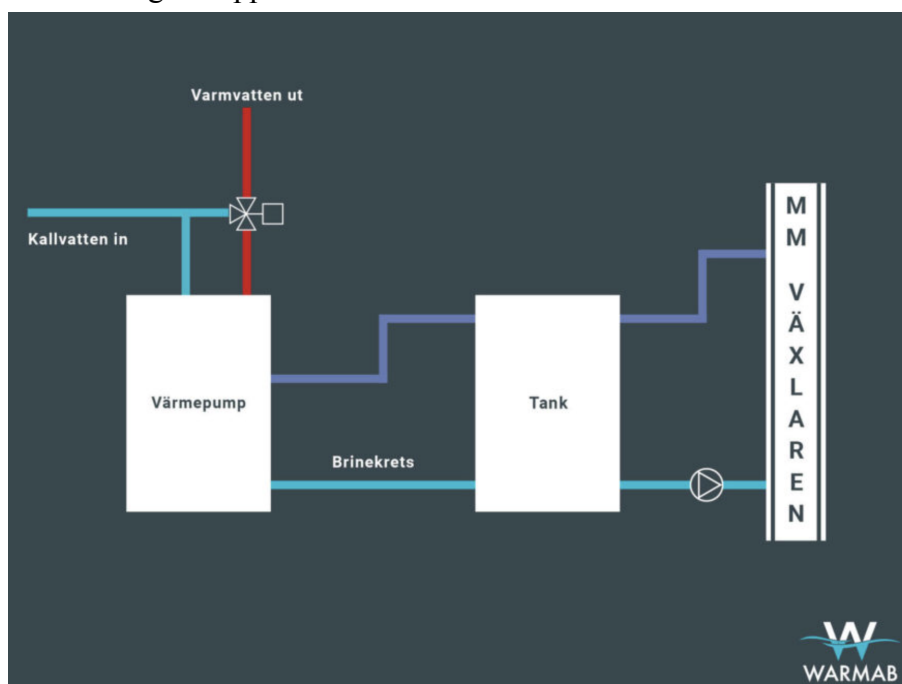
3.4 Värmepumplösningar

En värmepump kan överföra energi från en kallare källa, såsom uteluft, mark, sjö eller spillvatten, till en plats med högre temperatur för att användas i uppvärmning av byggnader och uppvärmning av tappvatten(Granryd, u.å.). För att åstadkomma detta krävs energi, vanligtvis i form av el. Den energi som tillförs systemet är betydligt mindre än den energi som erhålls. Värmepumpens effektivitet beskrivs av förhållandet mellan dessa energimängder och kallas COP(Coefficient of Performance), vilket illustreras med ekvation(5) i avsnittet “Ekvationer, parametrar och begrepp”(Nationalencyklopedin, u. å.).

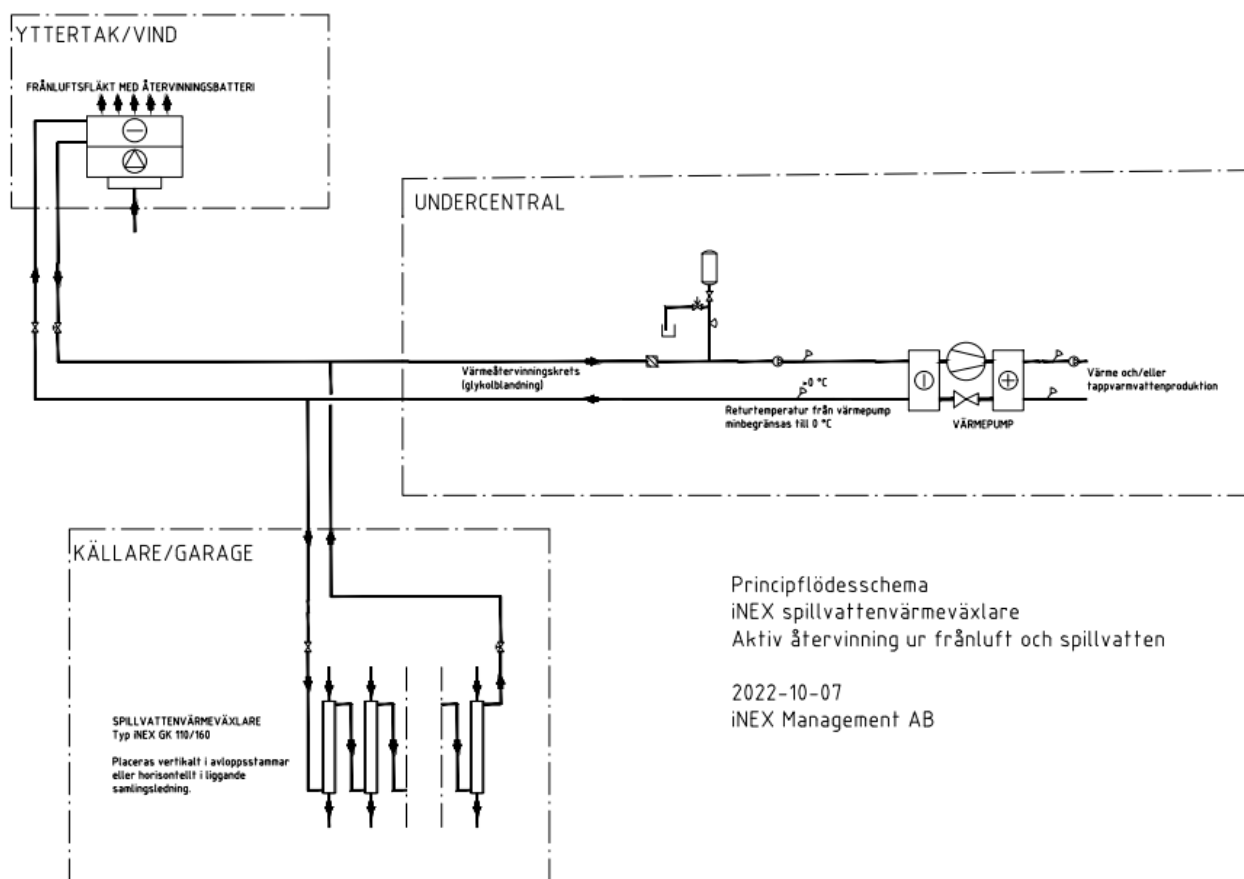
Fjärrvärme är vanligtvis det huvudsakliga valet för uppvärmning av värmesystem och tappvatten i flerbostadshus(Regionfakta, 2021). Men när en värmepump används finns alternativet att utnyttja spillvatten som energikälla, antingen enskilt eller i kombination med andra energikällor, för att uppnå högre COP.

3.4.1 Värmepumplösningar med rörvärmeväxlare

Det finns olika sätt att använda rörvärmeväxlare i system med värmepumpar. En metod är att koppla rörvärmeväxlaren till en separat krets med en ackumulatortank(Wargbäck, M., personlig kommunikation, 22 februari, 2023). En cirkulationspump driver köldbäraren i en krets som värms upp av en spillvattenvärmeväxlare. För att uppnå en mer jämn energiförsörjning lagras överskottsenergin i en ackumulatortank innan den vidarebefordras till värmepumpen. Därmed kan värmepumpen bidra till uppvärmning av byggnaden och/eller förvärmning av tappvarmvatten.



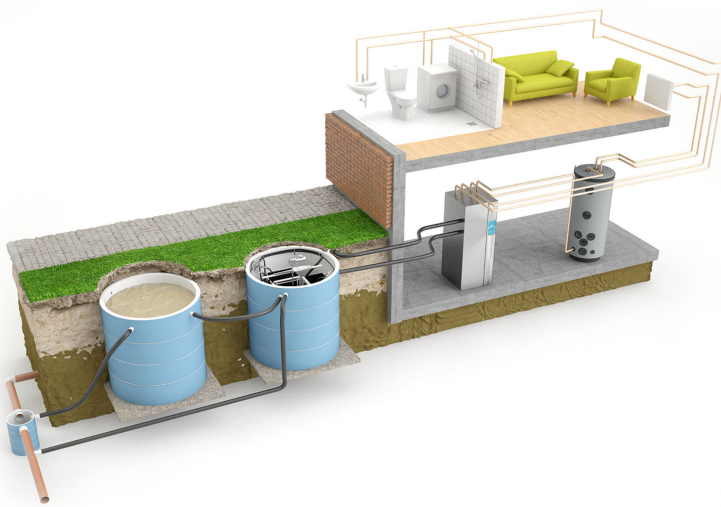
Spillvattenvärme kan också kombineras med luftvärme(Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023). Företaget iNEX har till exempel implementerat detta system i ett äldre flerbostadshus. Eftersom byggnaden endast hade frånluft, installerades kylbatterier på frånluftsfläktarna för att återvinna energin med en kall köldbärare. Systemet är sammanlänkat med 51 stående spillvattenvärmeväxlare, som också ansluts till värmepumpen. Enligt Robin Kauppinen på iNEX kan man få cirka 30% mer energi till värmepumparna jämfört med att enbart använda frånluften. I detta fall kan värmepumpen bidra till både värmesystemet och tappvattensystemet.



Figur 18. Exempel på hur kylbatteri på frånluftsfläktar kombineras med SVX och värmepump. (Inexie.se.A. U.Å)

3.4.2 Ewertherm Ecoclimate

Ewertherm från Ecoclimate är en svensk produkt som använder värmepump för återvinning och den fungerar på följande sätt: Spillvatten ut ur en byggnad går till en pumpgrop där man har en tuggerpump som pumpar och river isär större partiklar till en bufferttank (Ewertherm, U.Å). Där lagras vattnet tills vattennivån blir tillräckligt hög. Då släpps vattnet vidare till en kollektortank där värmeåtervinningen sker. Värmen återförs sedan till byggnaden genom en värmepump och spillvattnet går tillbaka till reningsverken med samma temperatur som man fick den levererad till byggnaden. Denna metod är effektiv och man kan återvinna all värme ur spillvattnet. För att installera systemet krävs en stor investering och i många fall markarbeten om man inte har de stora tankarna inne i byggnaden.



Figur 19. Ewertherm som tillverkas av Ecoclimate. (Ewertherm.se. U.Å)

4 Intervjustudie

En intervjustudie genomfördes där elva personer med olika bakgrund och kopplingar till ämnet spillvattenvärmeväxlare intervjuades. Urvalet omfattade sex leverantörer av olika produkter, två forskare varav en hade expertis inom vattenteknik och en hade expertis inom värmepumpsteknik, två fastighetsägare samt en energikonsult med specifik kompetens inom spillvattenvärmeväxlare. Studiens syfte var att undersöka deras åsikter om tekniken och dess potential.

4.1 Leverantörer

Intervjustudien inkluderade intervjuer med sex följande leverantörer:

Namn:	Företag:	Produktnamn:	Växlartyp:
Torsten Bauer	Torsten Bauer AB	Bauer Spuab	Liggande rörvärmeväxlare
Anton Engelholm	iNEX	Power-pipe, iNEX GK	Liggande/stående rörvärmeväxlare
Robin Kauppinen	iNEX	Power-pipe, iNEX GK	Liggande/stående rörvärmeväxlare
Mikael Wargbäck	Warm AB	MM-växlaren	Liggande/stående rörvärmeväxlare
Filip Strömngren	Consat	Consat Geiser	Gråvattenvärmeväxlare
Lasse Andersson	Isakssons	Ekoflow	Liggande rörvärmeväxlare

Tabell 1. Lista över leverantörer vi kontaktat för hjälp med arbetet

Varför har inte detta implementerats mer i flerbostadshus?

Många leverantörer menar att detta till stor del beror på att marknaden i allmänhet är försiktig av olika skäl. Leverantörerna från iNEX, Anton Engelholm och Robin Kauppinen, påpekar särskilt att detta gäller frågor som rör avlopp. Detta kan väcka frågor om underhåll, vilket är särskilt problematiskt för avlopp. Kauppinen nämner också installationssvårigheter som en annan aspekt. Det är inte alltid lätt att få tillgång till ledningarna på ett bra sätt och placera växlarna på lämpliga platser i byggnaden, vilket i många fall kan vara ett problem. Men enligt Kauppinen är detta i majoriteten av fallen inte ett problem. Han poängterar också att det bara är ett problem vid renoveringar och att det inte är svårt att planera vid nybyggnation.

Engholm nämner också en intressant aspekt avseende energibesparing. Han hävdar att energibesparingsfrågan till stor del drivs av energikrav och inte bara av eget intresse.

Lasse Andersson från Isakssons är också överens om att marknaden i allmänhet är mycket försiktig. Historiskt sett har spillvattenvärmeväxlare kommunicerat relativt låga effekter, vilket är något som marknaden har tagit till sig, trots att det idag finns mer optimala lösningar. En annan aspekt som han nämner är att vatten och el har varit så billigt i Sverige att det inte har varit lika relevant som idag.

Tekniklösningar

Leverantörer av tekniklösningar för flerbostadshus har ofta olika syn på vilka tekniker som är lämpliga för olika användningsområden. Fyra av sex leverantörer tillverkar eller säljer spillvattenvärmeväxlare av typen rörvärmeväxlare. Isakssons växlare Ekoflow och CONSATS växlare CONSAT Geiser använder samma princip för värmeväxling som rörvärmeväxlare, men har annorlunda konstruktion. Isakssons växlare är en produkt av som kan beskrivas som en mängd seriekopplade liggande rörvärmeväxlare medan CONSATS växlare använder sig av en mängd stående rörvärmeväxlare i sin konstruktion. Det är dock värt att notera att dessa två företag inte benämner sina växlare som rörvärmeväxlare på sina webbplatser, även om det finns likheter.

En väsentlig fråga där svaret skilde sig mellan de olika leverantörerna var om det var optimalt att installera rörvärmeväxlare stående eller liggande.

Mikael Wargbäck från Warm AB hävdade att det generellt sätt är bäst att montera växlaren stående då detta ger högre verkningsgrad enligt laborietester, och att det inte finns någon risk för stopp i systemet. Torsten Bauer hävdade dock att liggande rörvärmeväxlare är mer optimalt då vattnet får längre uppehållstid i växlaren.

Leverantörerna från iNEX, Anton Engelholm och Robin Kauppinen, säger dock att det finns fördelar med båda systemen i flerbostadshus. Kauppinen menar att den bästa lösningen beror på hur byggnaden ser ut. I vissa flerbostadshus kan samlingsledningen vara svåråtkomlig, till exempel om den är ingjuten i marken, och då kan stående installationer vara lämpliga. Om byggnaden täcker en större yta, kan en liggande installation vara mer fördelaktig eftersom det krävs mindre extra tappvattenledningar. Detta beror på att stående växlare skulle behöva placeras över en större yta, vilket skulle kräva extra tappvattenledningar för att fånga upp alla växlare i systemet.

Engelholm hävdar att återvinningsgraden för både liggande och stående växlare är väldigt lika. Även om laborieförsök visar att stående växlare är mer effektiva, så visar mätningar på faktiska projekt att återvinningsgraden är ungefär densamma. Detta beror på att om man har många stående växlare som är parallellkopplade med tappvattenledningen seriekopplad, så kommer endast en av växlarna att fungera åt gången, vilket minskar återvinningsgraden. Enligt Engelholm har deras växlare en återvinningsgrad på 20-25% oavsett om de är installerade liggande eller stående.

Vid montering av liggande rörvärmväxlare kan det hända att man placerar en svanhals eller ett dämmningsrör i slutet av växlaren för att öka dess verkningsgrad. Torsten Bauer, från Torsten Bauer AB, säger att detta ibland kan vara användbart. Men Engelholm och Kauppinen från iNEX hävdar att de själva nästan helt har övergett denna metod eftersom verkningsgraden inte påverkas särskilt mycket och det finns en ökad risk för stopp i systemet.

Tre av leverantörerna väckte sina åsikter kring separata system i flerbostadshus för grå/svartvatten, där samtliga är skeptiska. Kauppinen hävdar att det är svårt att motivera att göra dubbla rördragningar då det är dyrt och tar extra plats, men att det möjligtvis kan vara bra i kombination med gråvattenspolning. Wargbäck är skeptisk då han anser att man går miste om en stor mängd spillvattenflöde, samt så ökar underhåll på systemet eftersom att större föremål och partiklar i svartvattnet har förmågan att rena ytorna från fett vilket inte sker om man har separata system.

Enligt Lasse Andersson ger separata system för grå/svartvatten i flerbostadshus endast en marginell ökning av verkningsgraden, samtidigt som flödet minskar. Därmed kan det ofta vara bättre med kombinerade system i flerbostadshus.

Engelholm och Kauppinen från iNEX diskuterade förvärmning av tappkallvatten och båda höll med om att detta kan vara fördelaktigt. Samtidigt påpekade de att det kan vara svårt att sälja på marknaden eftersom det väcker frågor kring legionella.

Hinder och begränsningar

Under intervjuerna belyste leverantörerna potentiella problem med spillvattenvärmväxlare, som inkluderar risk för stopp i systemet, legionellarisk och kontaminationsrisk. Det ska noteras att dessa åsikter generellt är kopplade till hur leverantörerna ser problemet i samband med deras egna produkter.

En vanlig oro som uttrycks av konsulter är risken för stopp i systemet på grund av spillvattenvärmväxlare vid liggande montage. Torsten Bauer och Robin Kauppinen hävdar att detta inte är ett stort problem, men att det finns risk om felaktiga föremål spolas ned i toaletten. Övriga leverantörer lyfter fram problemet med viss skepticism, men hävdar att det inte kan orsaka större problem eftersom alla växlare har en bypass som förhindrar att problemet leder till mer än att värmväxlaren inte har någon effekt vid stopp i systemet.

Frågan om legionellarisk vid förvärmning av tappkallvatten ställdes till tre leverantörer, Engelholm, Kauppinen och Strömgren. Alla tre var eniga om att temperaturerna i systemet inte når risknivåer för legionella. Engelholm och Strömgren benämnde det faktum att dessa temperaturer ändå uppnås utan spillvattenvärmväxling om boende inte skulle vistas i lägenheten under en viss period.

Samtliga leverantörer tillverkar/säljer spillvattenvärmeväxlare med endast ett mellanliggande skikt mellan tapp- och spillvatten. En fråga som då väcks är risken för kontaminering av tappvattnet, vid läckage av det mellanliggande skiktet i rörvärmeväxlare av typen dubbelmantlade rör. Torsten Bauer säger att hans växlare inte är i riskzonen eftersom den är trycktestad, och Wargbäck hävdar att hans växlare har ett 3 mm tjockt kopparskikt vilket är tillräckligt för att förhindra läckage. Wargbäck påpekar också att även om skiktet skulle brista, så kommer vattnet fortfarande att gå från den trycksatta tappsidan till spillvattensidan och inte tvärtom.

Engelholm och Kauppinen från iNEX ser dock detta annorlunda. De håller med om de tidigare argumenten, men hävdar att även om risken för kontaminering är mycket liten, så är konsekvenserna så höga att det inte är värt att ta risken. Engelholm tar upp ett scenario där mellanliggande skiktet går sönder utan att det märks. Detta skulle kunna leda till kontaminering om tappvattenledningen stängs av för underhåll i samband med att skiktet har gått sönder.

Därför har iNEX valt att inte låta tappvatten och spillvatten mötas direkt vid installationen av deras produkt iNEX GK. Istället används en mellankrets för att förhindra risken för kontaminering, alternativt används power-pipe, vilket är en spillvattenvärmeväxlare med två mellanliggande skikt.

4.2 Andra intervjuer

Namn:	Yrke:
Roland Jonsson	Energikonsult
Tommy Walfridson	Forskare inom värmepumpsteknik
Filip Elfström & Senir Jalovicic	Projektledare & Energisamordnare
Jesper Knutsson	Forskare Chalmers

Tabell 2. Lista över andra experter vi kontaktat för hjälp med arbetet.

Roland Jonsson - Energikonsult

Roland Jonsson har under många år undersökt spillvattenvärmeväxling. Han har skrivit flera rapporter på ämnet och hållit föredrag bland annat. Under vår intervju belyste Jonsson att det finns enorm potential för detta i Sverige men anledningen han såg till varför det inte implementeras mer är eftersom konsulter idag inte har tillräckligt med koll på tekniken och dess fördelar.

Metoden Jonsson anser vara bäst är att sätta stående växlare på badrumsstammar och förvärma kallvatten endast till badrum. Detta ger en helt passiv lösning som inte upptar någon extra plats samtidigt som man får värmeväxlingen så nära tappstället som möjligt och därmed högst temperaturdifferens. Nackdelen med detta är att man

inte får kallt vatten till badrummen men Jonsson resonerar att om man vill ha 8 grader på vattnet får man gå till köket.

Vi frågade om hinder som finns med spillvattenvärmeväxling relaterat till att reningsverken idag gör egen värmeåtervinning men Jonsson hävdar att all värme i spillvattnet försvinner på vägen eftersom det är lång väg och kallt i marken. Lagen säger att man inte får ha lägre temperatur på spillvatten än inkommande temperatur på tappvatten vilket det inte finns risk för med passiva lösningar.

Vi frågade även vad Jonsson tycker om att ha en svanhals på liggande rörvärmeväxlare och han sa att det finns en risk för stopp och vid test han själv gjort har det faktiskt blivit stopp. Han belyste också att verkningsgrad på värmeväxlaren inte säger så mycket med tanke på oregelbundna temperaturer och flöden i systemet. Det är bättre att kolla på hur många kilowattimmar man sparar under ett år. Han belyser också att det är viktigt att ta hänsyn till att man kan reducera effekttoppar för fjärrvärme och värmepump vilket i sig är viktigt

Tommy Walfridson - Forskare inom värmepumpsteknik

Tommy Walfridson arbetade med spillvattenvärmeväxlare mellan 2014-2016 när han utförde en mätning i flerbostadshus. Han utvärderade en redan instrumenterad liggande rörvärmeväxlare, i detta fall Bauer Spuab spillvattenvärmeväxlaren. Testet utfördes av Skanska där Walfridson då arbetade. Under de senaste åren har Walfridson dock inte arbetat med tekniken och heller inte följt med i hur utvecklingen går.

Vi började med att fråga Walfridson vad han tycker om tekniken, han utvärderade alltså liggande rörvärmeväxlare i en undercentral till ett flerbostadshus. Hans svar var att han är skeptisk då det blir relativt liten värmeöverförande yta i botten av röret. Visserligen kan värmeöverföringen förbättras genom en svanhals/dämmningsrör i slutet av växlaren, något som inte var gjort på den utvärderade värmeväxlaren. Walfridson berättar att detta ökar risken för stopp, något Skanska råkade ut för under hans tid på företaget. Han tror att svanhals på värmeväxlare inte uppfyller branschstandarder och alltså inte borde vara tillåtet då det ska vara konstant fall på spillvattenledningar.

Vid frågan om andra lösningar svarar Walfridson att stående växlare då verkar mer lovande men är ändå överlag kritisk till spillvattenvärmeväxling. Lösningar med värmepump är han också kritisk till då de kräver mer underhåll och att temperaturnivåer inte skiljer sig mycket från en bergvärmepump. Han tittade själv på att använda långa stående värmeväxlare i samlingsrör i flerbostadshus på Skanska. Intresset sänktes i organisationen då, så inga tester utfördes, men bidragande var också att den produkten inte fanns på marknaden.

Walfridson tror att om tekniken varit mer lönsam så hade den implementerats mer i Sverige men säger också att byggbranschen var konservativ enligt hans erfarenhet, vilket påverkade möjligheterna med oprövad teknik. Walfridson påpekar även att

tillverkarnas verkningsgrader oftast var baserade på höga temperaturer, något som sällan existerar i verkligheten. För att det ska uppnås krävs att värmeväxlaren placeras direkt i anslutning till respektive dusch, något ett nederländskt företag utan framgång försökte sälja då.

Filip Elfström och Senir Jalovicic Familjebostäder - Fastighetsägare

Elfström och Jalovicic arbetar på familjebostäder och har varit drivande i installation av spillvattenvärmeväxlare på Kustgatan 3 i Göteborg. Elfström arbetar som projektledare och Jalovicic som energisamordnare med samtliga energieffektiviseringsprojekt.

Vid ombyggnation som blev klart hösten 2022 installerades 9 st stående rörvärmeväxlare på stammar i huset. Detta var typen MM-växlaren som tillverkas av WarmAB. Växlarna använder spillvattnet från 132 lägenheter + tvättstuga för att förvärma tappvatten till 143 lägenheter. Energimätare har installerats för att följa hur bra växlarna arbetar.

Vi intervjuade Elfström och Jalovicic på Kustgatan 3 för att få mer information och se hur deras projekt fungerade. De berättade att de utför tester med spillvattenvärmeåtervinning för att öka energieffektiviteten i fastigheterna. Familjebostäder övervakar resultaten av testerna och kommer att utvärdera dem vid ett senare tillfälle. Hittills har resultaten varit lovande och tekniken har fungerat bättre än förväntat enligt Elfström och Jalovicic.

När vi frågade varför de valde MM-växlaren för projektet, berättade de att de träffade Wargbäck, som tillverkar MM-växlaren, på en mäsas och blev imponerade av produkten. De gillade den enkla, säkra och passiva lösningen och ansåg att den passade bra för deras projekt på Kustgatan 3, där det finns stammar med utspridda spillvattenutlopp. Familjebostäder bedömde också att MM-växlaren var den mest konkurrenskraftiga och kostnadseffektiva lösningen för deras behov. Att försöka leda allt spillvatten till undercentralen hade blivit komplicerat i detta fall.

Jesper Knutsson - Forskare på Chalmers

Knutsson är forskare på Chalmers med fokus på vatten och hur man kan minska förbrukningen genom att studera konsumtionsvanor och återanvändning. Han undersöker tekniker som att återanvända grävatten i bostäder och därmed minska vår vattenkonsumtion.

Vi frågade Knutsson vad han tror om spillvattenvärmeväxling och han var positivt inställd. Han tycker att det är en självklar lösning på fastighetsnivå. På HSB Living Labs i Göteborg har Knutsson varit med och testat olika tekniker, bland annat att samla grävatten från duschar i fastigheten, rena vattnet och sedan använda det för att spola toaletter i fastigheten. Detta är även kombinerat med värmeväxling och det har satts en plattvärmeväxlare som återvinner värmen i duschvattnet.

Knutsson fortsätter med att förklara att det kan uppkomma problem om spillvattenvärmeväxling blir storskaligt då reningsverkens reningsprocesser fungerar bättre med varmare vatten samt att exempelvis Stockholms exergi efter reningsprocesser värmväxlar vattnet för fjärrvärmen som dom säljer. Det blir dock lite rundgång för brukaren betalar ju för uppvärmning av vattnet. Om sen denna värmen utnyttjas av fjärrvärmebolag för att säljas tillbaka till kunderna igen blir det ju inte riktigt rättvist. Knutsson tycker att man kan argumentera för att fastighetsägaren bör ha rätt till värmen och om den gör nytta nedströms så skulle man kunna upprätta en marknadsmekanism där spillvattenvärme kan köpas och säljas. På detta sätt kommer effektiviteten maximeras. Han belyser att det är viktigt att se staden som ett system och om storskalig spillvattenvärmeväxling implementeras så kommer staden att behöva tänka om. Knutsson tror det kommer bli ändring på detta och att man kommer börja kolla på vart värmeåtervinningen är mest effektiv och det blir ju då på fastighetsnivå då det försvinner väldigt mycket värme på vägen till reningsverk. Det i samband med höjda krav på energieffektivisering kommer leda till förändringar tror Knutsson.

Vid frågan om varför han tror detta är vanligare i andra länder säger Knutsson att det troligtvis beror på att energipriser är högre vilket motiverar spillvattenvärmeväxling i större skala. Han fortsätter med att han tror det krävs större incitament för att det verkligen ska ta fart i Sverige. Han säger även att många länder är före Sverige i teknikutvecklingen.

5 Resultat av referensprojekt

En undersökning har genomförts där tre referensprojekt studerats i vilka spillvattenvärmeväxling implementerats. Fokus har lagts på projekt där passiva lösningar som förvärmer tappvatten installerats. Detta eftersom dessa är relativt vanligt förekommande och enkla att implementera. Dessa lösningar har visat sig ha lång livslängd och kräver minimalt med underhåll.

5.1 Metod för ekonomisk beräkning

För att få fram ekonomisk lönsamhet för systemen i referensprojekten har investering som krävs för växlarpaket, extra rör och isolering framtagits. För två av referensprojekten har data införskaffats av iNEX. För Kustgatan 3 har Warm AB tillhandahållit priser på växlarna och genom mätningar i relationsritningar har kostnader för extra rördragningar som krävts tagits fram.

Sedan har beräkningar på hur mycket energi växlarna sparar varje år i fastigheterna genomförts och det multipliceras sedan med kostnad för fjärrvärme. För att få kostnaden på fjärrvärme har kalkyler som flera andra tillverkare skickat till oss jämförts. Därigenom har ett konservativt värde valts för att ge en rimlig uppskattning av den ekonomiska lönsamheten.

Efter det har investeringen dividerats med pengar växlarna sparar per år för att få ekonomisk återbetalningstid. Lönsamheten under växlarnas projekterade livslängd räknades också ut.

5.2 Metod för LCA-Beräkningar

Vid genomförandet av livscykelanalyser (LCA) för systemen i referensprojekt har olika typer av data använts för att ge en så korrekt bild av verkligheten som möjligt. Genom att använda olika datakällor har vi strävat efter att få en heltäckande och välinformerad grund för våra LCA-beräkningar. I de typer av klimatdata som använts har produkterna utvärderats utefter de olika stadierna under livslängden (Boverket, 2021c).

De olika stadierna som använts är :

A1-A3: Råmaterialutvinning, transport, tillverkning och paketering.

A4: Vidare transport.

A5: Byggspill.

C1-C4, D: Efter användning av produkten.



Figur 20. Figur ovan visar de olika stadierna under en produkts livslängd. (Boverket, 2019).

För varje stadium i livscykeln finns en faktor i klimatdatan som anger utsläppet för produkten vid det specifika stadiet (Boverket, 2021c). Genom att multiplicera mängden av använda komponenter med respektive faktor kan dessa värden summeras och få en total miljöpåverkan från produkten. Faktorn som använts vid beräkning är GWP-Total vilken innefattar den totala klimatpåverkan med både direkta och indirekta effekter på klimatet omvandlat till koldioxidekvivalenter (Boverket, 2022) Genom att använda EPD:er och generisk klimatdata strävar vi efter att erhålla en mer detaljerad och heltäckande bedömning av miljöpåverkan från varje komponent i systemet baserat på deras hela livscykel.

5.2.1 Environmental Product Declaration (EPD)

I första hand har EPD:er (Environmental Product Declarations) tillämpats för de olika komponenterna i systemet. En EPD är en miljövarudeklaration som framställs av tillverkaren av produkten (Boverket, 2021). Den gäller oftast 3-5 år och ska vara godkänd av en oberoende part. Denna deklARATION utvärderar olika aspekter, inklusive koldioxidutsläpp, under produktens olika stadier från råmaterialutvinning och tillverkning till användning och avfallshantering.

5.2.2 Generisk klimatdata

För vissa komponenter exempelvis växlarna finns det inga EPD:er och då har generisk klimatdata tillämpats istället. Generisk klimatdata är den typ av data som exempelvis finns i Boverkets databas (Boverket, 2021c) . Den är framtagen för att kunna användas vid klimatdeklARATIONER och uträknad av IVL Svenska Miljöinstitutet.

Värdena är ofta satta konservativt med ett påslag på 25% eftersom att man vill gynna användningen av produkter med så låg klimatpåverkan som möjligt.

5.2.3 Utsläpp från fjärrvärme

För jämförelse mellan utsläpp av koldioxid i LCA beräkningen för projekten och koldioxiden som sparas in för reduktionen i uppvärmningsbehov har det nationella snittet i utsläpp av koldioxidekvivalenter per producerad kilowattimme för 2021 i Sverige använts (Energiföretagen Sverige, 2022). Med detta har återbetalningstid och total lönsamhet ur miljösynpunkt för referensprojekt beräknats.

5.3 Kustgatan 3 Göteborg

Kustgatan 3 är ett flerbostadshus som ägs och förvaltas av familjebostäder. Tidigare har entreplan och våningen ovanför bestått av kontor. Efter en ombyggnation så blev det under hösten 2022 klart så att hela huset består av lägenheter. Totalt finns det 143 lägenheter i byggnaden varav 132 lägenheter är kopplade till spillvattenvärmeväxlare. Storleken på lägenheterna i byggnaden är endast ettor och tvåor. De boende i huset är generellt blandat i åldrarna.

I samband med ombyggnationen valde familjebostäder att testa spillvattenvärmeväxling som ett sätt att energieffektivisera byggnaden. Detta genom passiv förvärmning av tappvattnet. Man valde att använda sig av MM-växlaren som är monterade stående på alla nio stammar i huset. Växlarnas prestanda följs upp med en energimätare som sitter installerad i undercentralen dit allt förvämt vatten kommer. Eftersom det inte finns någon källare i huset så används inte spillvattnet från första våningen till värmeväxling, förutom från tvättstugan där vatten pumpas upp genom en av växlarna.



Figur 21. En MM-växlare som sitter placerad på Kustgatan 3.



Figur 22. En MM-växlare som sitter placerad på Kustgatan 3.

5.3.1 Energiberäkningar och ekonomisk lönsamhet

I denna del redovisas hur vi utfört våra energi- och ekonomiska beräkningar på Kustgatan 3. Följande data hämtades från energimätaren som satt monterad i undercentralen och som mäter tappvattenförbrukning, antal timmar i drift och skillnaden mellan kallvatten och det förvärmade vattnet från spillvattenvärmeväxlarna. Vi fick också veta hur länge huset varit i full drift. Alltså hur länge alla varit inflyttade och kunde med denna data få en bra bild av hur växlarna fungerar under normal drift.

Data energimätare 2/3-2023	
Energi insparad med SVX [MWh]	4,93
Antal timmar sedan start av mätning[h]	4227
Total vattenförbrukning sedan start av mätning [m ³]	490,7
Data energimätare 22/2-2023	
Energi insparad med SVX [MWh]	4,327
Antal timmar sedan start av mätning[h]	4036

Total vattenförbrukning sedan start av mätning [m ³]	433
Data energimätare 23/1- 2023	
Energi insparad med SVX [MWh]	1,873
Antal timmar sedan start av mätning[h]	3314
Total vattenförbrukning sedan start av mätning [m ³]	191,582
Differens mellan 2/3 och 23/1	
MWh	3,057
Antal timmar [h]	913
Antal dagar	38
Vattenförbrukning [m ³]	299,118
Flöde per dag i byggnad [m ³]	7,86
Flöde per lägenhet [132 + tvättstuga]	2,266
MWh/år med samma förhållanden	29,33
kWh/år	29 331,13

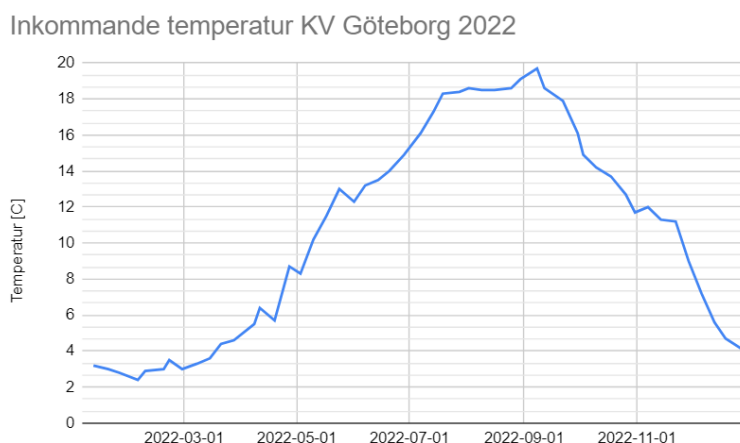
Tabell 4. Sammanställning av data från energimätare på Kustgatan 3

Med detta kunde vi genom ekvation 1 och 3 beräkna en temperaturverkningsgrad för växlarna under normala förhållande genom följande indata:

Antagen T KV [C]	8
Antagen T Spillvatten [C]	24
Vattenflöde/år [m ³]	2870,0
densitet [kg/m ³]	1000
c [J/(kg*C)]	4180
Beräknat deltaT över växlaren [C]	8,8
Temperaturverkningsgrad	55,01%

Tabell 5. Beräkningar utförda med data från energimätare Kustgatan 3

Sedan användes data ovan för att få en bild av prestanda över 1 år med varierande temperatur på inkommande kallvatten genom ekvation 1. Temperatur på spillvatten är antagen till konstant 24 grader celsius och temperaturverkningsgrad är också konstant för de olika temperaturdifferenserna. För det totala uppvärmningsbehovet har vi antagit att fjärrvärmeväxlarna värmer vattnet från temperaturen på inkommande kallvatten till 60 grader celsius.

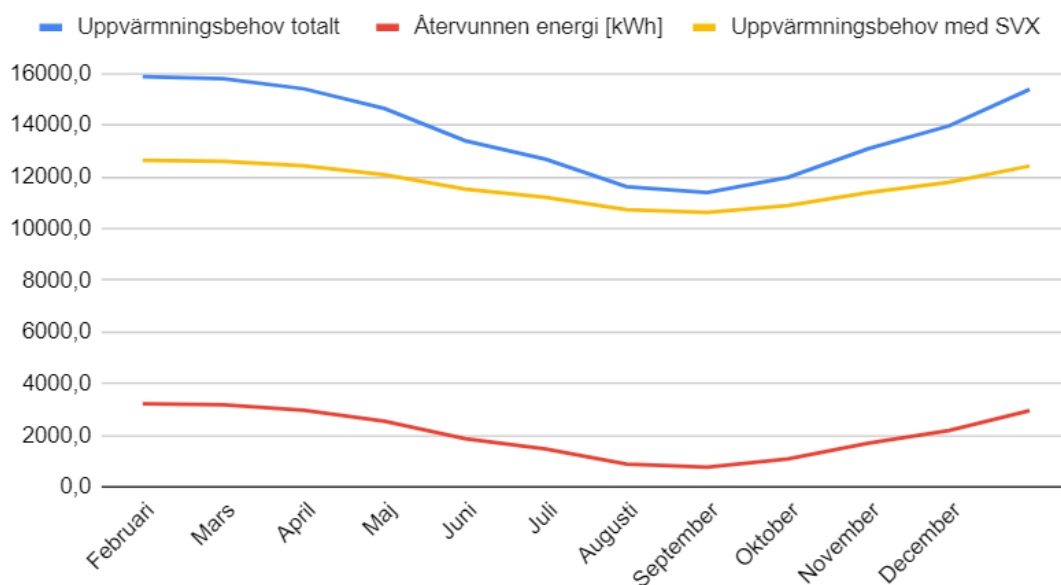


Figur 23. Temperatur över inkommande kallvatten i Göteborg 2022. Hämtad från Göteborgs Stad (Göransson, M. Personlig konversation. 12/5-23).

Kustgatan 3	Temperatur KV [C]	Spillvattentemperatur [C]	DeltaT SVX ekv2 med känd verkningsgrad	Återvunnen energi [kWh]	Uppvärmningsbehov totalt utan SVX [kWh]	Uppvärmningsbehov med SVX [kWh]
Januari	2,85	24	11,64	3231,0	15870,3	12639,3
Februari	3,14	24	11,48	3186,7	15789,8	12603,0
Mars	4,525	24	10,71	2975,1	15405,1	12430,0
April	7,275	24	9,20	2555,0	14641,5	12086,5
Maj	11,75	24	6,74	1871,4	13398,8	11527,4
Juni	14,34	24	5,31	1475,7	12679,6	11203,8
Juli	18,15	24	3,22	893,7	11621,5	10727,9
Augusti	18,975	24	2,76	767,7	11392,4	10624,8
September	16,875	24	3,92	1088,5	11975,6	10887,1
Oktober	12,86	24	6,13	1701,8	13090,6	11388,7
November	9,675	24	7,88	2188,4	13975,0	11786,6
December	4,6	24	10,67	2963,7	15384,3	12420,6

Tabell 6. Spillvattenvärmeväxlarnas prestanda i byggnaden sett över ett år med varierande temperatur på inkommande kallvatten.

Återvunna kWh/år

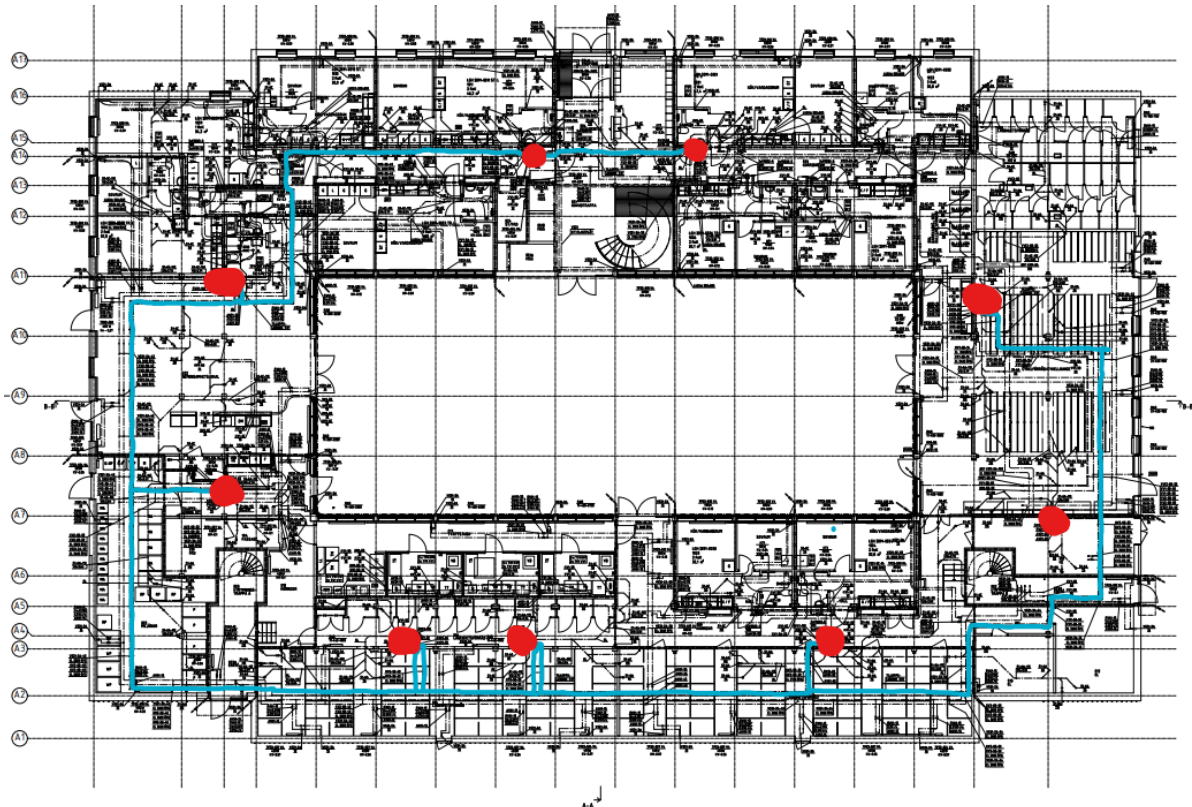


Figur 24. Graf som visar hur mycket energi SVX sparar i förhållande till totalt uppvärmningsbehov.

Vi tog sedan fram priset för växlarpaketet. Själva växlarna fick vi pris på från Warm AB och extra rördragningar mätte vi ut på relationsritningar och kollade upp pris i Wikells Sektionsfakta VVS. För extra spillvattenrör som behövs för växlingen kunde vi dra slutsatsen att det kunde försummas då det inte var så mycket. Våra beräkningar gav följande:

PAL-Rör	Längd[m]	Storlek rör (utvändig diameter)[m]	Pris/m [kr]	Totalt pris (Material & Arbete ex moms)	Källa	
Tappvattensidan Pris	98	0,05	985 kr	96 136 kr	Wikells sektionsfakta VVS 13/14 9.052	
Tappvattensidan Pris	129	0,04	715 kr	92 092 kr	Wikells sektionsfakta VVS 13/14 9.051	Summa
Tappvattensidan Pris	69	0,03	601 kr	41 409 kr	Wikells sektionsfakta VVS 13/14 9.050	229 637 kr

Tabell 7. Beräkning för kostnad av extra rör som var nödvändiga för installation av SVX på Kustgatan 3.



Figur 25. Relationsritning över bottenplan på Kustgatan 3. Spillvattenvärmeväxlare markerade i rött och tappvattenledningar för spillvattenvärmeväxling markerat i blått.

Detta sammanställdes sedan för att få en bättre bild av energibesparing och ekonomisk lönsamhet för systemet.

Återvunna kWh/år	24 898,61	kWh
Återvunna kWh/livslängd	1 244 930,71	kWh
Uppvärmningsbehov/år	165 224,49	kWh
Systemverkningsgrad/år	15,07%	
Besparing/år (0,7kr/kWh)	17 429,03	SEK
Investering (endast växlare)	135 000,00	SEK
Investering rör och arbete	229 636,90	SEK
Total investering	364 636,90	SEK
Återbetalningstid	20,92	År
Intjänade pengar under livslängd	506 814,60	SEK

Tabell 8. Sammanställning för SVX på Kustgatan 3.

5.3.2 LCA

För att utföra LCA-beräkningar tog vi reda på hur mycket material som används. Både i växlarna och övrigt material som behövde installeras för att göra värmeväxlingen möjlig. För växlarna fick vi data från WarmAB men vi gjorde också mätningar för att kontrollera. När det kom till extra rördragningar så fick vi via familjebostäder ta del av relationsritningar där vi kunde mäta hur mycket extra rör som behövts för tappvattenrör fram och tillbaka till växlarna. På spillvattensidan har rör sidodragits till stammarna där växlarna sitter. Vid granskning av relationsritningarna såg vi att det inte hade behövts så mycket extra rör och vi gjorde bedömningen att dessa rör gick att försumma i våra beräkningar. Materialet som använts är följande:

Koppar Växlare (9st MM-växlare) [kg]	219,4	kg
PAL-rör (LK Systems) [kg]	136,5	kg
Isolering Rör (Paroc stenull) [kg]	230,1	kg
Armatec kondensisolering [m ³]	0,24	m ³

Tabell 9. Sammanställning över material som använts vid installation av SVX på Kustgatan 3.

Vi tog sedan med hjälp av EPD:er och generisk klimatdata fram koldioxidutsläpp från materialet för att få en bild över hur stor klimatpåverkan tillämpningen av spillvattenvärmeväxlarna har. Mängd av produkten har multiplicerats med faktorn som finns i EPDn för att få en summa koldioxidekvivalenter som produkten släpper ut över hela livslängden. Denna summa ligger längst till höger för varje produkt. Sedan har detta summerats för att ge en total påverkan för hela systemet. För den generiska klimatdatan har även en justering gjorts för att få ett mer representativt värde.

Kustgatan 3										
Generisk klimatdata	MM-växlare (Kopparrör i kopparrör)	A1-A3	A4	A5	C2	C3	C4	D	Summa (Tillägg 25%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från CO2data.fi [1]	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	
Mängd [kg]	219,40	171,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	179,69	kgCO2ekv
Specifik klimatdata(EPD)	PAL-RÖR	A1	A4	A5	C2	C3	C4	D	Summa	
kgCO2ekv/kgmaterial	GWP-TOT [2]	4,86	0,26		0,0066	0,022	0,0000	561	-1,33	3,81
Mängd [kg]	136,50	663,05	35,22	0,00	0,90	2,99	0,01	-181,55	520,61	kgCO2ekv
Specifik klimatdata(EPD)	Paroc Stenull Rörisolering	A1-A3	A4	A5	C2	C3	C4	D	Summa	

kgCO2ekv/kgmaterial	GWP-TOT [3]	1,30	0,03	0,04	0,00		0,18	-0,02	1,53	
Mängd [kg]		230,10	299,13	6,90	9,20	0,00	0,00	41,42	-4,60	352,05 kgCO2ekv
Specifik klimatdata(EPD)	Armatec kondensisolering	A1-A3	A4	A5	C2	C3	C4	D	Summa	
kgCO2ekv/m ³ material	GWP-TOT [4]	194,00	3,82	81,80	0,25	136,00	0,00	-38,20	377,67	
Mängd [m ³]		0,24	46,56	0,92	19,63	0,06	32,64	0,00	-9,17	90,64 kgCO2ekv

Tabell 10. Beräkning av koldioxidutsläpp för spillvattenvärmeväxlare och alla ingående komponenter för Kustgatan 3.

Referenser i tabell:

[1]: CO2data.fi (2022)

[2]: LK-systems (2022)

[3]: Paroc (2019)

[4]:Armatec (2021)

Resultatet av beräkningarna blev följande sammanfattat:

Kustgatan 3	Mängd	Summa kgCO2ekv
MM-växlare (Kopparrör i kopparrör) [kg]	219,4	179,7
PAL-RÖR [kg]	136,5	520,6
Paroc Stenull Rörisolering [kg]	230,1	352,1
Armatec kondensisolering [m ³]	0,2	90,6
Totalt [kgCO2ekv]		1143,0

Tabell 11. Sammanställning miljöanalys Kustgatan 3

För att sedan räkna ut hur mycket koldioxid spillvattenvärmeväxlingen tjänar in användes data från Boverket för att få antal kilogram koldioxidekvivalenter per kilowattimme insparad fjärrvärme. Fjärrvärme används då det är den vanligaste uppvärmningsmetoden av tappvatten i flerbostadshus. Med detta kunde vi sedan ta fram en brytpunkt för när spillvattenvärmeväxlingen börjar bidra till att minska koldioxidutsläppen.

Insparad fjärrvärme/år [kWh]	25 359,000
CO2ekv/kwh fjärrvärme [kgCO2ekv]	0,052
Totalt insparade co2ekv/kwh/år	1 318,668
Under hela livslängden [kgCO2ekv]	65 933,400
Utsläpp kgCO2ekv LCA (Maxvärde)	1 142,996
Återbetalningstid ur klimatperspektiv [år]	0,867

Tabell 12. Sammanställning koldioxidavtryck och insparade utsläpp genom spillvattenvärmeväxling Kustgatan 3.

5.4 Vaktstugan 4 Wåhlin fastigheter

Vaktstugan 4 är ett flerbostadshus i Ursvik, Sundbyberg med 118 lägenheter byggt 2018 som nyttjar spillvattenvärmeåtervinning. Det är Inex som projekterat detta och det är ett växelpaket bestående av 8st seriekopplade powerpipe.



Figur 26. Inex powerpipe seriekopplade för värmeväxling till flerbostadshus. (Kauppinen, R., personlig kommunikation)

5.4.1 Energiberäkningar och ekonomisk lönsamhet

Datan vi fått ta del är uppmätt och inte projekterad och bör därför ge en bra bild över den verkliga prestandan. Datan har vi fått direkt från Inex och alltså inte beräknat själva.

Energibesparing	50,00	MWh fjärrvärme/år
Besparing/år (0,7kr/kWh)	35 000,00	kr
Investering (endast växlare)	200 000,00	kr
Investering (rör och arbete)	50 000,00	kr
Total investering	250 000,00	kr
Paybacktid	7,00	år
Intjänade pengar under livslängd	1 500 000,00	kr

Tabell 13. Ekonomisk lönsamhet och återbetalningstid för projektet på Vaktstugan 4. Data från Inex

5.4.2 LCA

För material och olika delar som använts för att installera växlarna har vi via Inex fått tillgång till vad de använt. När det kommer till extra rördragning vet inte Inex om det är koppar eller plaströr som använts så vid beräkning har båda använts för att sedan vid resultat sätta in det som har störst negativ påverkan. Vid längder på extra rör fanns också en viss osäkerhet kring det exakta värdet så en estimering gjordes av Inex.

Material som använts är följande:

Koppar Växlare	280,44	kg
Kopparrör (Alternativ 1)	56,52	kg
Plaströr PEX (Alternativ 2)	6,00	kg
Rostfritt Stål 180-böjar	32	kg
Stenull Isolering Rör	27,65	kg

Tabell 14. Sammanställning över material som använts för installation av spillvattenvärmeväxling på Vaktstugan 4.

Med hjälp av EPD:er och generisk klimatdata kunde sedan koldioxidutsläpp beräknas från materialet för att få en bild över hur stor klimatpåverkan tillämpningen av spillvattenvärmeväxlarna har. För kopparväxlarna har två fall använts då information om vad det är för typ i powerpipe inte kunde tillhandahållas. Även en faktor på 25% tillägg har multiplicerats in på grund av osäkerheten kring tillverkningen av powerpipe, då produkten kräver extra behandling i förhållande till MM-växlaren.

Vaktstugan 4								
Generisk klimatdata	Power Pipe fall 1 (51% skrotbaserad) + 25% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa(Tillägg 25%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från Boverket [5]	1,98	0,08	0,13	0,00	0,00	2,73	
Mängd [kg]	280,44	555,27	22,29	35,90	0,00	0,00	766,83	kgCO2ekv
Generisk klimatdata	Power Pipe fall 2 (100% skrotbaserad) + 25% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa(Tillägg 25%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från Boverket [6]	0,65	0,08	0,04	0,00	0,00	0,96	
Mängd [kg]	280,44	181,44	22,29	12,45	0,00	0,00	270,24	kgCO2ekv
Generisk klimatdata	Kopparrör + 25% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa(Tillägg 5%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från CO2data.fi [7]	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	
Mängd [kg]	56,52	36,74	0,00	0,00	0,00	0,00	38,57	kgCO2ekv
Generisk klimatdata	PEX-RÖR + 5% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa (Tillägg 5%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från CO2data.fi [8]	3,20	0,00	1,03	0,00	0,00	4,44	

Mängd [kg]		6,00	19,20	0,00	6,18	0,00	0,00	26,65	kgCO2ekv
Specifik klimatdata (EPD)	Paroc Stenull Rörisolering	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa		
kgCO2ekv/kgmaterial	GWP-TOT [9]	1,30	0,03	0,04	0,18	-0,02		1,53	
Mängd [kg]		27,65	35,94	0,83	1,11	4,98	-0,55	42,30	kgCO2ekv
Generisk klimatdata	Rostfritt stål 180 graders böjar(86% skrotfria vattenrör)	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa (Tillägg 3%)		
kgCO2ekv/m ³ material	Data från CO2data.fi [10]	3,60	0,00	0,00	0,00	-1,30		2,37	
Mängd [kg]		32,00	115,20	0,00	0,00	0,00	-41,60	75,81	kgCO2ekv

Tabell 15. Beräkning av koldioxidutsläpp för spillvattenvärmeväxlare och alla ingående komponenter för Vaktstugan 4.

Referenser i tabell:

[5], [6]: Boverket. (2023)

[7], [8], [10]: CO2data.fi. (2022)

[9]:Paroc (2019).

Resultatet av beräkningarna blev följande sammanfattat:

Vaktstugan 4	Mängd [kg]	Summa kgCO2ekv
Power Pipe fall 1 (51% skrotbaserad) + 25% tillägg	280,4	766,8
Power Pipe fall 2 (100% skrotbaserad) + 25% tillägg	280,4	270,2
Kopparrör + 25% tillägg	56,5	38,6
PEX-RÖR + 5% tillägg	6,0	26,6
Paroc Stenull Rörisolering	27,6	42,3
Rostfritt stål 180 graders böjar(86% skrotfria vattenrör)	32,0	75,8
Totalt Maxvärde [kgCO2ekv]		923,5
Totalt Minvärde [kgCO2ekv]		415,0

Tabell 16. Sammanställning miljöanalys Vaktstugan 4.

För att sedan räkna ut hur mycket koldioxid spillvattenvärmeväxlingen sparar användes data från Boverket för att få antal kg CO2 per kWh insparad fjärrvärme. Med detta kunde vi sedan ta fram en brytpunkt för när spillvattenvärmeväxlingen börjar bidra till att minska koldioxidutsläppen.

Insparad fjärrvärme/år [kWh]	50 000,00
CO ₂ ekv/kwh fjärrvärme [kgCO ₂ ekv]	0,052
Totalt insparade co ₂ ekv/kwh/år	2 600,00
Under hela livslängden [kgCO ₂ ekv]	130 000,00
Utsläpp kgCO ₂ ekv LCA (Maxvärde)	923,51
Återbetalningstid ur klimatperspektiv [år]	0,355

Tabell 17. Sammanställning koldioxidavtryck och insparade utsläpp genom spillvattenvärmeväxling Kustgatan 3.

Kvarteret Jerum (SSSB)

Jerum är ett kvarter för studenter i Stockholm där Inex installerat ett växlarpaket bestående av power pipe. Växlarna förvärmer tappvatten till 445 lägenheter med spillvatten från 161 lägenheter.

5.4.3 Energiberäkningar och ekonomisk lönsamhet

Datan vi fått ta del är uppmätt och inte projekterad och bör därför ge en bra bild över den verkliga prestandan. Datan har vi fått direkt från Inex och alltså inte beräknat själva.

Energibesparing	100,00	MWh fjärrvärme/år
Besparing/år (0,7kr/kWh)	70 000,00	kr
Investering (endast växlare)	300 000,00	kr
Investering (rör och arbete)	50 000,00	kr
Total investering	350 000,00	kr
Paybacktid	5,00	år
Intjänade pengar under livslängd	3 150 000,00	kr

Tabell 18. Ekonomisk lönsamhet och återbetalningstid för projektet på kvarteret Jerum. Data från Inex.

5.4.4 LCA

För material och olika delar som använts för att installera växlarna har vi via Inex fått tillgång till vad de använt. När det kommer till extra rördragning vet inte inex om det är koppar eller plaströr som använts så vid beräkning har båda använts för att sedan vid resultat sätta in det som har störst negativ påverkan. Vid längder på extra rör fanns också en viss osäkerhet kring det exakta värdet så en estimering gjordes av inex. Material som använts är följande:

Koppar Växlare	350,55	kg
Kopparrör (Alternativ 1)	56,5	kg
Plaströr PEX (Alternativ 2)	6,0	kg
Rostfritt Stål 180-böjar	32,0	kg
Stenull Isolering Rör	27,6	kg

Tabell 19. Sammanställning över material som använts för installation av spillvattenvärmeväxling på Kvarteret Jerum.

Med hjälp av EPD:er och generisk klimatdata kunde sedan koldioxidutsläpp beräknas från materialet för att få en bild över hur stor klimatpåverkan tillämpningen av spillvattenvärmeväxlarna har. För kopparväxlarna har två fall använts då information om vad det är för typ i powerpipe inte kunde tillhandahållas. Även en faktor på 25% tillägg har adderats på grund av osäkerheten kring tillverkningen av powerpipe.

KV Jerum								
Generisk klimatdata	Power Pipe fall 1 (51% skrotbaserad) + 25% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa(Tillägg 25%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från Boverket [11]	1,98	0,08	0,13	0,00	0,00	2,73	
Mängd [kg]	350,55	694,09	27,87	44,87	0,00	0,00	958,54	kgCO2ekv
Generisk klimatdata	Power Pipe fall 2 (100% skrotbaserad) + 25% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa(Tillägg 25%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från Boverket [12]	0,65	0,08	0,04	0,00	0,00	0,96	
Mängd [kg]	350,55	226,81	27,87	15,56	0,00	0,00	337,80	kgCO2ekv
Generisk klimatdata	Kopparrör + 25% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa (Tillägg 5%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från CO2data.fi [13]	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	
Mängd [kg]	56,52	36,74	0,00	0,00	0,00	0,00	38,57	kgCO2ekv
Generisk klimatdata	PEX-RÖR +5% tillägg	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa (Tillägg 5%)	
kgCO2ekv/kgmaterial	Data från CO2data.fi [14]	3,20		1,03	0,00	0,00	4,44	
Mängd [kg]	6,00	19,20	0,00	6,18	0,00	0,00	26,65	kgCO2ekv
Specifik klimatdata (EPD)	Paroc Stenull Rörisolering	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa	
kgCO2ekv/kgmaterial	GWP-TOT [15]	1,30	0,03	0,04	0,18	-0,02	1,53	
Mängd [kg]	27,65	35,94	0,83	1,11	4,98	-0,55	42,30	kgCO2ekv

Generisk klimatdata	Rostfritt stål 180 graders böjar(86% skrotfria vattenrör)	A1-A3	A4	A5	C4	D	Summa (Tillägg 3%)	
kgCO2ekv/m ³ material	Data från CO2data.fi [16]	3,60	0,00	0,00	0,00	-1,30	2,37	
Mängd [kg]	32,00	115,20	0,00	0,00	0,00	-41,60	75,81	kgCO2ekv

Tabell 20. Beräkning av koldioxidutsläpp för spillvattenvärmeväxlare och alla ingående komponenter för kvarteret Jerum.

Referenser i tabell:

[11], [12]: Boverket. (2023)

[13], [14], [16]: CO2data.fi. (2022)

[15]:Paroc (2019).

Resultatet av beräkningarna blev följande sammanfattat:

Kvarteret Jerum	Mängd [kg]	Summa kgCO2ekv
Power Pipe fall 1 (51% skrotbaserad) + 25% tillägg	350,6	958,5
Power Pipe fall 2 (100% skrotbaserad) + 25% tillägg	350,6	337,8
Kopparrör + 25% tillägg	56,5	38,6
PEX-RÖR + 5% tillägg	6,0	26,6
Paroc Stenull Rörisolering	27,6	42,3
Rostfritt stål 180 graders böjar(86% skrotfria vattenrör)	32,0	75,8
Totalt Maxvärde [kgCO2ekv]		1076,6
Totalt Minvärde [kgCO2ekv]		482,6

Tabell 21. Sammanställning miljöanalys Kvarteret Jerum.

För att sedan räkna ut hur mycket koldioxid spillvattenvärmeväxlingen sparar användes data från Boverket för att få antal kg CO2 per kWh insparad fjärrvärme. Med detta kunde vi sedan ta fram en brytpunkt för när spillvattenvärmeväxlingen börjar bidra till att minska koldioxidutsläppen.

Insparad fjärrvärme/år [kWh]	100 000,00
CO2ekv/kwh fjärrvärme [kgCO2ekv]	0,052
Totalt insparade co2ekv/kwh/år	5 200,00
Under hela livslängden [kgCO2ekv]	260 000,00
Utsläpp kgCO2ekv LCA (Maxvärde)	1076,6
Återbetalningstid ur klimatperspektiv [år]	0,207

Tabell 22. Sammanställning koldioxidavtryck och insparade utsläpp genom spillvattenvärmeväxling kvarteret Jerum.

5.5 Sammanställning referensprojekt

Efter att ha utfört beräkningar för referensprojekt har ekonomisk lönsamhet en miljöanalys tagits fram. Nedan kommer en jämförelse mellan projekten.

	Kustgatan 3	Vaktstugan 4	Kvarteret Jerum
Antal lägenheter förvärmning [st]	143	118	445
Återvunna kWh/år	25 400,00	50 000,00	100 000,00
Investering [SEK]	365 000,00	250 000,00	350 000,00
Återbetalningstid [år]	21,00	7,00	5,00
Utsläpp kgCO ₂ ekv LCA (Maxvärde)	1 143,00	923,51	1 076,64
Återbetalningstid ur klimatperspektiv [år]	0,87	0,36	0,21

6 Diskussion

I denna diskussion behandlar vi flera ämnen som tas upp i rapporten, inklusive våra perspektiv på hinder och begränsningar, vilka slutsatser vi kan dra utifrån de referensprojekt som undersöktes, klimatrelaterade aspekter som är kopplade till tekniken, olika tekniklösningar och slutligen potentialen för användning av spillvattenvärmeväxlare i dagens och framtida Sverige.

Hinder och begränsningar:

En av aspekterna som diskuterades i rapporten var hur avloppssystemet hade påverkats om spillvattenvärmeväxlare installerades i högre skala i svenska flerbostadshus. Informationen av detta baseras på vår intervjustudie samt rapporten "Värmeåtervinning ur avloppsvatten, energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet" av Arnell m.fl.

Vår uppfattning utifrån detta är att detta är ett relevant problem men att det samtidigt går att lösa. Den största påverkan är möjligen på den biologiska reningen, där framförallt kvävereningen påverkas negativt. Men detta kan man delvis anpassa genom att använda alternativa typer av biologisk rening. Det är till exempel inte alla biologiska reningssteg som innefattar kväverening. Man hade även potentiellt kunnat undvika att temperaturen på spillvattnet sänks genom att isolera rören, vilket även hade påverkat ledningsnäten och kraftvärmeproduktionen.

Det är dock oklart för oss hur mycket man kan anpassa detta och vad effekterna av det hade blivit, och ytterligare undersökningar borde göras. En övergång till spillvattenvärmeväxlare kommer dock med största sannolikhet att ske gradvis och man har därmed mer tid att anpassa avloppsnätet.

I samband med förvärmning av tappkallvatten diskuteras ofta risken för legionella. Vår uppfattning är att detta inte är ett stort problem eftersom tappvattnet sällan når risktemperaturer och dessa temperaturer ändå uppnås om bostaden står tom under en period. Trots detta kan ökad förvärmning av tappvattnet leda till att sådana förhållanden blir vanligare, vilket är negativt. Vi vill dock betona att vi inte kan dra starka slutsatser om hur mycket ökningen av dessa förhållanden påverkar risken för legionella.

Vi bör också påpeka att detta är en fråga som regleras av lagen. Enligt nuvarande lagstiftning är det inte tillåtet att oavsiktligt värma tappvatten (Boverket, 2021a). Detta kan dock vara en definitionsfråga om vad som räknas som oavsiktlig uppvärmning.

Underhållsbehov och driftsäkerhet kan variera beroende på vilken typ av spillvattenväxlare som används. I de flesta passiva lösningar ser vi detta som ett obefintligt problem. Men i vissa fall kan det vara en faktor som måste beaktas. Dock

ser vi inte detta som ett stort hinder då vi ser stor potential i många av de passiva lösningarna.

Kontamination är en viktig fråga som vi har stött på under arbetet. De flesta rörvärmeväxlare som används idag har endast ett skikt mellan tapp- och spillvatten, vilket innebär en risk för kontamination om det skulle uppstå läckage. Vi anser dock att risken är liten eftersom de växlare vi har undersökt har ett väldigt tjockt mellanliggande skikt. Dessutom skulle tappvattnet i händelse av en läcka flöda mot spillvattensidan.

Även om risken är liten finns det en möjlighet att kontamination kan uppstå om en läcka inte upptäcks vid avstängning av tappvattnet. Eftersom konsekvenserna av kontamination är höga är det viktigt att ha detta i åtanke, särskilt om tekniken skulle börja användas i större skala.

Leverantörerna vi har pratat med hävdar att deras produkter inte har någon risk att brista eftersom lagret är tillräckligt tjockt och att de är trycktestade, vilket vi inte ifrågasätter. Men vi anser att denna garanti inte enbart borde vara upp till leverantörerna. Om lagret var tunnare skulle det kunna innebära lägre materialkostnader, och om det inte finns någon lagstiftning som hindrar det, kan leverantörer i framtiden välja att göra detta för att konkurrera på marknaden. Vi anser därför att det behövs en mer omfattande lagstiftning på området för att skydda konsumenterna och upprätthålla en hög säkerhetsstandard.

Det finns flera sätt att lösa detta problem. Ett alternativ är att införa lagstiftning som kräver att växlaren måste testas och godkännas innan den får säljas på marknaden. En annan lösning är att ha två skikt mellan tapp- och spillvatten, vilket redan finns på vissa produkter, såsom Power-Pipe. Ytterligare en möjlig lösning är att installera larm som aktiverar bypassen vid läckage. Detta är bara några exempel på vad som skulle kunna göras för att minska risken för kontamination.

Vi anser att det är viktigt att tänka på lagstiftningsmässiga lösningar för att säkerställa att dessa system fungerar på ett säkert sätt och inte utsätter människor för hälsorisker.

Referensprojekt

Efter att ha genomfört beräkningar och utvärderat referensprojekt har vi dragit flera slutsatser. Vid analys av Kustgatan 3 i Göteborg upptäckte vi att den ekonomiska återbetalningstiden blir relativt lång, trots att återvinningsgrad för spillvattenvärmeväxlare är hög. Detta beror främst på den stora investeringskostnaden för installationen av spillvattenvärmeväxling. Den högsta kostnaden är för extra rördragning mellan undercentral och spillvattenvärmeväxlare. Om denna kostnad hade varit 0 kronor, skulle återbetalningstiden endast ha varit 5 år, vilket är ett mer rimligt värde. I detta projekt är det svårt att minska denna kostnad eftersom växlarna är utplacerade långt ifrån varandra över hela byggnaden. Om vi tittar på de andra

referensprojekten, som är nybyggen, har man haft spillvattenvärmeväxling i åtanke ända sedan projekteringen. Detta har bidragit till att man utför värmeväxlingen för hela byggnaden på samma plats och därmed minimerar investeringen så mycket som möjligt och får en mycket kortare återbetalningstid.

Miljöanalysen visar emellertid på ett annat resultat. Återbetalningstid ur ett klimatperspektiv för systemet är mindre än ett år i alla tre fall, och under spillvattenvärmeväxlarnas livslängd sparar man in en stor mängd koldioxidekvivalenter. Därför är det mycket lönsamt att installera spillvattenvärmeväxling om man vill minska koldioxidutsläppen från byggnaden och samtidigt göra den mer energieffektiv för att uppnå miljömål och certifieringar.

Under våra beräkningar har flera antaganden behövts göras men vi har försökt minska felkällor i så lång grad det är möjligt för att ge ett så realistiskt resultat som det går. På Kustgatan 3 har spillvattenvärmeväxling endast varit installerat några månader vilket gör att det finns lite osäkerhet hur de kommer fungera över ett helt år. Genom att ta hänsyn till varierande temperatur på inkommande vatten och konstant temperaturverkningsgrad anser vi att det ger en realistisk bild över prestandan.

När det kommer till den ekonomiska lönsamheten och vad man ska räkna med för pris har vi kollat hur leverantörer räknar och tagit det mest konservativa värdet på 0,7kr/kWh fjärrvärme eftersom vi inte vill ge ett för optimistiskt värde. För miljöanalysen är felkällor att vi inte vetat säkert vad för material som använts i vissa fall. Ett exempel på detta är isolering för rören. Genom diskussion med handledare har ett rimligt antagande för detta gjorts. För optimalt resultat hade EPDer för alla ingående komponenter behövts. Dessa ger en mer omfattande bild och detta har använts så långt det gått men i vissa fall har generisk klimatdata använts.

Klimataspekten:

Utifrån de tre referensprojekt som vi tittade på så gjordes estimeringar att tiden det tar att spara in den mängd koldioxid för installationen av produkterna var ca 0,21 år och ca 0,36 år för projekten med liggande rörvärmeväxlare och ca 0,87 år för projektet med stående spillvattenvärmeväxlare. Som vi nämnde tidigare i "referensprojekt" så är detta endast estimeringar och inga exakta värden. Men vi tror ändå att vi kan dra starka slutsatser av dessa eftersom att värdena är så pass låga. Låt oss säga att dessa antaganden vi gjort visar sig leda till att vårt värde är väldigt fel representerat och att den faktiska återbetalningstiden ur ett klimatperspektiv ligger på ca 3-4 år. Till och med i detta fallet så skulle vi hävda att detta hade varit väldigt bra sett utifrån det faktum att växlarna estimeras ha en livslängd på ca 50 år.

En annan viktig aspekt vi dock inte har tagit hänsyn till är olika typer av fjärrvärmekällor, då våra resultat endast är baserat på ett genomsnittsvärde för fjärrvärmeproduktion. Detta ger oss en generell bild över hur bra spillvattenvärmeväxlare i flerbostads är ur ett klimatperspektiv i genomsnitt, men kan

det finnas specifika fall när det inte är värt? Om vi istället tittar på fjärrvärmekällor med mycket lägre klimatavtryck, så kommer även pay off tiden att bli längre. Om vi tar RT-flis som exempel där utsläppen estimeras till 0,007 kg CO₂ekv/kWh bränsle istället för genomsnittet som låg på 0,052 kg CO₂ekv/kWh (Nilsson, 2022). I sådana fall blir återbetalningstiden mycket längre. Detta är något som därmed måste undersökas mer, men i det generella fallet så tycker vi ändå att detta är ett klimatvänligt alternativ.

Det borde även undersökas hur klimataspekten ser ut i förhållande till andra värmekällor än fjärrvärme, framförallt el. I dessa fall är det rimligt att använda spillvattenvärmeväxlare installationer med värmepumpar.

Tekniklösningar

Som denna rapport har informerat så finns det en mängd olika tekniska lösningar för hur spillvattenvärmeväxlare kan användas i flerbostadshus. Detta är en väldigt viktig fråga för konsulter, fastighetsägare och andra medverkande parter i ett bostadsprojekt.

De system vi valde att fokusera mest på i denna rapport är passiva system med rörvärmeväxlare för förvärmning av tappvarmvatten. Detta beror dels på att vi tror att detta i många fall är den bästa lösningen men samtidigt så tror vi att det är den lösning som är lättast att sälja in på marknaden i nuläget. Detta beror på att den är väldigt enkel att förstå sig på och det förekommer inte lika många stora frågetecken, angående exempelvis installation, underhåll och legionella.

En viktig fråga som vi har brottats med under arbetets gång är dock om dessa system är bäst att installera med stående eller liggande rörvärmeväxlare. De stående är mer effektiva och risk för stopp i systemet elimineras medan de liggande är väldigt enkla att installera och kräver inte mycket extra rördragningar. Effektiviteten kan dock debatteras där Anton Engholm på iNEX ansåg att de liggande och stående växlare i verkliga projekt har ungefär samma verkningsgrad, eftersom att vid stående montage är det endast en växlare åt gången. Detta är inget vi kan klargöra, men vår uppfattning utifrån de intervjuer vi har haft samt det vi har läst så verkar ändå de växlare i stående montage generellt sett verkar vara mer effektiva.

Något vi gjorde för att undersöka denna fråga var att hitta referensprojekt och undersöka detta på egen hand. Utifrån de tre referensprojekt vi tittade på så verkade de stående vara markant bättre sett utifrån ett ekonomiskt perspektiv. Men det är några noteringar kring detta som måste göras. För det första så finns det oklarheter kring projekten på Kvarteret Jerum och Vaktstugan 4 där liggande rörvärmeväxlare installerades. Vi hade inte tillgång till att besöka dessa två projekt samt så fick vi inte tillgång till relationsritningar, vilket ledde till att vi fick göra mer antaganden än vid projektet på Kustgatan 3 där stående växlare var monterade. Men den kanske viktigaste aspekten att ha i åtanke är att stående montage eventuellt inte var den mest optimala lösningen i just detta fall. Byggnaden på Kustgatan 3 är utspridd över en

större yta vilket innebar att en större mängd extra rördragningar var tvungna att göras. Om denna lösning istället hade applicerats på exempelvis ett punkthus så hade återbetalningstiden på systemet troligtvis minskat markant. Detta projekt ger därmed inte denna lösning full rättvisa och representerar inte lösningens applicerbarhet på den svenska bostadsmarknaden i helhet.

En annan fråga som tas upp i samband med liggande montage är risken för igensättning. Detta är något som vi nästintill endast har stött på vid montage med en svanhals, vilket är något som dock används allt mindre idag. Det är svårt att säga hur mycket risken för stopp i systemet ökar utan svanhals, men oavsett tror vi inte att detta är ett stort problem eftersom systemet ändå alltid har en bypass.

Sammanfattningsvis så tror vi att det är svårt att säga om stående eller liggande montage är den bästa lösningen, utan vi tror snarare att det skiljer sig från projekt till projekt.

En annan passiv lösning vi har diskuterat i rapporten är förvärmning av tappkallvatten i system med stående rörvärmeväxlare. Detta är en lösning vi inte har kollat allt för mycket på då det inte finns mycket information eller referensprojekt. Denna lösning kan även vara svår att sälja marknaden, åtminstone i nuläget då frågor om legionella väcks. Som vi nämnde tidigare i diskussionen så är vi osäkra på hur relevant denna fråga faktiskt är och det är något som måste undersökas mer, men den uppfattningen vi har fått efter att ha insamlat information är att detta inte är en alltför stor oro. Denna lösning skulle även innebära att tappställen växlaren är kopplat till inte skulle få tappkallvatten, vilket oftast verkar vara badrummen i dessa system.

Det finns dock en mängd fördelar med systemet. Det finns ingen risk för stopp i systemet, det krävs inga extra rördragningar och det krävs ingen extra plats. Enligt Roland Johansson (personlig kommunikation, 1 februari, 2023) så är dessutom återvinningsgraden högre eftersom att växlaren ligger närmare tappstället och därmed hinner spillvattnet inte kylas ner lika mycket på vägen till växlaren.

Separerade grå/svartvattensystem är en annan lösning som vi inte har lagt särskilt mycket fokus på. Detta beror delvis på att vi tror att denna kan vara svår att sälja in på marknaden då det kan vara svårt att argumentera för dubbla rörssystem, samt är vår generella uppfattning att detta oftast inte är den bästa lösningen för flerbostadshus. Extra rördragningar kostar pengar och tar extra plats samt så krävs underhåll på växlarna då gråvatten inte innehåller större partiklar som har förmågan att automatiskt rensa växlarnas ytor vilket svartvatten har. Fördelen med detta är att återvinningsgraden ökar eftersom att spillvattnet har mer högvärdig energi samtidigt som risk för igensättning elimineras.

Uppfattningen vi har fått från intervjuer och rapporter är att denna lösning inte är den optimala i de flesta fall för flerbostadshus. Det ska dock nämnas att denna lösning blir

mer och mer relevant då flödet ökar. Kan det vara så att denna lösning är värd att implementera i flerbostadshus som är väldigt stora, alternativt kopplas till ett flertal flerbostadshus? Detta är en intressant fråga som borde undersökas mer.

Värmepumplösningar i koppling till spillvattenvärmeväxlare kan återvinna större mängder energi men samtidigt är de mer komplicerade än passiva lösningar och de komponenter som tillkommer såsom pumpar och plattvärmeväxlare kräver underhåll och behöver bytas ut eftersom de har en kortare livslängd än resterande system. Generellt när man projekterar vill man helst slippa underhåll på spillvattensidan. I över 90% av svenska flerbostadshus så har vi även fjärrvärme och i dessa fall kan det vara svårt att argumentera för en värmepumpslösning, då det troligtvis är bättre att koppla värmesystemet till fjärrvärmens istället. I de fall där vi redan har värmepumplösningar är det dock mer relevant att ha denna lösning i åtanke, exempelvis att använda denna i samband med bergvärme eller luftvärme. Det är oklart exakt hur effektivt spillvatten som källa är i förhållande till andra värmekällor, men i ett referensprojekt från iNEX där dom använde spillvattenvärme i kombination med frånluft så stod spillvattnet för ca 30% av energin (Kauppinen, R., personlig kommunikation, 8 februari, 2023).

Sammanfattningsvis så tror vi att det finns stor potential för rörvärmeväxlare kopplat i passiva system för förvärmning av tappvarmvatten. De resterande lösningarna är svårt för oss att ge ett mer avgörande svar då vi inte har kollat på exakta siffror för referensprojekt. Dock så tror vi att det även finns merit för dessa system. Separata grå/svartvattensystem och värmepumpslösningar kan båda ha situationer där de fungerar väldigt bra, och förvärmning av tappkallvatten är något som potentiellt hade kunnat vara den bästa lösningen beroende på hur stor risken faktiskt är för legionella. Dessa lösningar måste dock undersökas mer.

Är det värt att installera spillvattenvärmeväxlare?

Det är svårt att säga exakt hur stor potentialen för spillvattenvärmeväxlare är idag i Sverige, då det är ett ämne som måste undersökas mer. Men utifrån den information vi har samlat under arbetets gång så tror vi att det finns relativt god potential. Vi tror även att det är mer relevant idag än vad det någonsin har varit. För det första så har fjärrvärme och elpriserna ökat vilket leder till ett större ekonomiskt incitament. Det ställs även idag större och större krav på miljö och energi för byggnader. Då mycket åtgärder har tagits under de senaste åren för att minska energiförlusterna i byggnader genom förbättringar på klimatskalet och ventilationssystemet så blir det allt svårare att förbättra dessa ytterligare. Därmed står spillvattenförlusterna för en allt större och större andel av energiförlusterna.

Det är viktigt att det finns ett ekonomiskt incitament för att man ska vilja applicera detta på en större nivå i Sverige. De referensprojekt som vi undersökte hade en estimerad återbetalningstid på 5,7 respektive 20 år. Livslängden sägs vara 50 år men det är svårt att säga vilken återbetalningstid som är rimlig för att det ska vara värt det.

Oavsett vad så tror vi att det finns stor potential för denna teknik. Framförallt i nybyggnation där man lättare kan planera och anpassa installationen. Det krävs dock mer kunskap inom ämnet för att fastighetsägare och konsulter ska känna till vilken lösning som fungerar bäst för deras specifika projekt.

7 Referenser

Abdullahi, A., & Mazraeh, H. (2018). Värmeåtervinning ur spillvatten för flerbostadshus [Examensarbete, Högskolan Dalarna].

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1232736/FULLTEXT01.pdf>

Alm, C., & Haegermark, M. (2022). Erfarenheter av system för energiåtervinning från spillvatten. Energimyndigheten.

https://laganbygg.se/UserFiles/Projekt/LAGAN_Energiatervinning_spillvatten_2022_2.pdf

Armatec. (2021). Environmental Product Declaration

<https://local.armacell.com/en/sustainable-building/epd/>

Arnell, M., Saagi, R., Wärf, C., Ahlström, M., & Jeppsson, U. (2021).

Värmeåtervinning ur avloppsvatten Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet(Nr 2021-26). Svenskt Vatten.

<https://vattenbokhandeln.svenskvatten.se/wp-content/uploads/2022/04/svu-rapport-2021-26.pdf>

Boverket. (2016). A. Bygg Regler - BBR 22.

<https://rinfo.boverket.se/BFS2016-12/pdf/BFS2016-12.pdf>

Boverket. (2019). Introduktion till livscykelanalys.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>

Boverket. (2021a). Legionella i vatten.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/vatten-och-avlopp/tappvatten/>

Boverket. (2021b) Miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD).

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/>

Boverket. (2021c). Om klimatdatabasen.

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/>

Boverket. (2023). Legionella i vatten.

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/>

Boverket. (2022). Klimatdata till beräkningen.

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/underlag/klimatdata-till-berakningen/>

Boverket. (2023). Boverkets klimatdatabas.

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/klimatdatabas/Search/?version=4&climatedatabasequery=Koppar>

Consat. (2021). Grävattenvärmeväxlare – effektiv värmeåtervinning från grävatten.

<https://www.consat.se/sustainable-energy-systems/consat-ses-geiser/>

CO2data.fi. (2022). Emissions database for construction.

<https://co2data.fi/rakentaminen/#en>

Energiföretagen Sverige. (2022). Miljövärdering av fjärrvärme.

(<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/miljovardering-av-fjarrvarme/>)

Energimyndigheten. (2008). Mätningar av varm- och kallvattenförbrukning.

<https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/forbatttrad-energi-statistik-i-bebyggelsen-och-industrin/matningar-av-varm--och-kallvattenforbrukning/>

Ewertherm. (U.Å). Lägre energikostnad, högre avkastning och maximal klimatnytta.

<https://www.evertherm.se/losningar/atervinning-av-varme-i-spillvatten>

Granryd, E. (u. å.). Värmepump. Nationalencyklopedin.

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/v%C3%A4rmepump>

Hammarlund, H., Törneke, K., & Siegwang, S. (2020). Dimensioneringstal för vattenförbrukning (Nr 2020–7). Svenskt Vatten.

<http://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2020-07.pdf>

Havtun, H. (2021). Applied Thermodynamics (2. uppl.). Studentlitteratur AB.

Hellberg, C., & Stengård, L. (2012). Vattenanvändning i hushåll (ISSN 1403-1892). Energimyndigheten.

HSB. (u.å.) Spola med återvunnet vatten.

<https://www.hsb.se/hsblivinglab/projekt-i-huset1/ateranvanding-av-gravatten-for-toalettspolning/>

INEX. (u.å.). iNEX GK. <http://inexie.se/inex-gk-spillvattenvarmevaxlare/>

INEX. A. (u.å.). Spillvattenvärmeväxlare.

<http://inexie.se/#spillvattenv%C3%A4rmev%C3%A4xlare>

INEX. B. (u.å). iNEX Power-Pipe.

<http://inexie.se/powerpipe-spillvattenvarmevaxlare/>

Isakssons. (u.å). Ekoflow avloppsvärmeväxlare.

<https://www.ekobyisakssons.com/produkter/>

Johansson, M. (2017). Renoveringskompetens. Industriefakta, SBUF.

https://www.renoveringscentrum.lth.se/fileadmin/renoveringscentrum/Publikationer/Renoveringskompetens_SBUF.pdf

Jonsson, R. (2020). Värmeåtervinningssystem för spillvatten i flerbostadshus

Slutrapport. Energimyndigheten.

<https://byggkoll.bygggjant.se/contentassets/472e4f918fcc479c9e0d041edb63fdcc/slutrapport-varmeatervinningssystem-for-spillvatten-i-flerbostadshus-20.pdf>

Jonsson, R. (2015). ENERGIÅTERVINNING UR SPILLVATTEN PRINCIPER.

BeBo Stad AB.

<https://www.bebostad.se/library/1865/vaermeatervinning-spillvatten-sammanfattning.pdf>

Kordana, S., Pochwat, K., Sły's, D., & Starzec, M. (2019). Opportunities and Threats of Implementing Drain Water Heat Recovery Units in Poland. Resources, 8(2), 88-90.

Rzeszow University of Technology. <https://doi.org/10.3390/resources8020088>

Nationalencyklopedin. (u. å.). Värmefaktor.

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/v%C3%A4rmefaktor>

LK-systems. (2022). Environmental Product declaration.

<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/11b9b62e-0ca6-4929-154f-08daab5a6b31/Data>

Nilsson, A. (2022). Klimatbedömning av el, fjärrvärme och fjärrkyla - delrapport inom Tidstegen 5.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1660616/FULLTEXT01.pdf>

Nykvist, A. (2012a). Värmeåtervinning ur spillvatten [Examensarbete, KTH].

<https://www.bebostad.se/library/1860/examensarbete-vaermeatervinning-ur-spillvatten-anders-nykvist.pdf>

Nykvist, A. (2012b). Värmeåtervinningssystem för spillvatten i flerbostadshus

Förstudie inför teknikupphandling. BeBo Stad AB.

<https://www.bebostad.se/library/1866/vaermeatervinningssystem-foer-spillvatten-i-flerbostadshus-foerstudie.pdf>

Paroc (2019). Miljödokumentation

<https://www.paroc.se/hjalpmedel/miljodokumentation>

Regionfakta. (2021). Flerbostadshus fördelat efter uppvärmningssätt.

<https://www.regionfakta.com/norrbottnens-lan/energi/flerbostadshus-fordelat-efter-uppvarmningssatt/>

Renewability. (u.å). Reduce energy consumption in industrial processes.

<https://renewability.com/>

SCB. (2021). Boende i Sverige.

<https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/boende-i-sverige/>

SCB. (2022). Minskning av antalet påbörjade lägenheter under 2022.

<https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/boende-byggande-och-bebyggelse/bostadsbyggande-och-ombyggnad/bygglov-nybyggnad-och-ombyggnad/pong/statistiknyhet/paborjad-nybyggnation-av-bostadslagenheter-kv-4-2022-preliminara-uppgifter/#:~:text=Prelimin%C3%A4rt%20p%C3%A5b%C3%B6rjades%20nybyggnation%20av%20cirka.d%C3%A5%2055%20448%20l%C3%A4genheter%20p%C3%A5b%C3%B6rjades.>

Sevela, P., Frenger, J., Schnieders, J., & Pfluger, R. (2022). The potential of waste water heat recovery systems in reducing the energy demand for water heating in the EU in a cost-efficient way. University of Innsbruck, Unit of Energy Efficient Building. <https://diglib.uibk.ac.at/7640369>

Showerreheat. (u.å). Startside

<https://www.showerreheat.se/>

Unsplash. (2018). a faucet running water from a kitchen sink.

<https://unsplash.com/photos/vDQ-e3RtaoE>

Warm AB. (2013). Vår värmeväxlare är testad av RISE.

<https://www.warmab.se/mm-vaxlaren/testad-av-rise/>

Warm AB. A. (u.å). Vad är en avloppsvärmeväxlare.

<https://www.warmab.se/mm-vaxlaren/>

Warm AB. B. (u.å). Installation av en avloppsvärmeväxlare.

<https://www.warmab.se/mm-vaxlaren/installation/>