



**KTH Arkitektur
och samhällsbyggnad**

Värmeåtervinning ur spillvatten i befintliga flerbostadshus

Anders Nykvist

Abstract

Drain water heat recovery is an uncommon measure in multi-unit residential buildings. There is technology available for the purpose but the knowing and experience of the heat recovery systems is little. The purpose of this thesis is to evaluate the future potential of drain water heat recovery in multi-unit residential buildings.

A major part of the multi-unit residential buildings in Sweden were built during modernismen and rekordåren (1940 – 1975). Many of the buildings have worn out drain and water supply systems and many are in need of a general refurbishment. If drain water heat recovery is considered for a building it is suitable to install the recovery system at the same time as the refurbishment to minimize the installation cost.

Existing heat recovery systems consist of heat exchangers, heat pumps or a combination of both. There are passive heat exchangers that are placed close to the shower, on the vertical drain pipe and on the horizontal drain pipe. Recovery systems comprising heat pumps are more complicated and space demanding. They are rarely suited for multi-unit residential buildings but have the potential of recovering more heat from the drain water.

In some buildings, where heat recovery systems have been installed, the performance of the systems has been measured. The measurements show that passive heat exchangers can recover about 10 – 15 % of the hot water energy consumption, not including standstill losses and hot water circulation.

Calculations indicate that the energy savings for passive heat exchangers could be 20-25 %. If several kinds of heat exchangers are combined the energy savings could be almost 40 %. Recovery systems with heat pumps could generate even larger energy savings, between 50 – 70 %. However, with heat pumps the electricity consumption increases and that has to be considered in profitability calculations. When developing new heat recovery systems the emphasis should be on energy storage and reactivity since most taps are short and unpredictable.

In a technology procurement there should be demands on energy effectiveness. Based on experience from installed heat recovery systems and calculations the following is suggested:

- The buildings heating and hot water energy consumption must decrease with at least **15 %** of the current hot water energy consumption.
- The buildings heating and hot water energy consumption should decrease with at least **20 %** of the current hot water energy consumption.

Furthermore there should be demands on profitability. The present value of future energy savings ought to exceed the investment cost and the present value of future costs of the system within a period of time. The following is suggested:

- The condition must be fulfilled within **20 years**
- The condition should be fulfilled within **15 years**

Sammanfattning

Att använda värmeåtervinningssystem för att ta tillvara på värmen i spillvatten är en ovanlig åtgärd i flerbostadshus. Det finns teknik tillgänglig för ändamålet men kännedomen och erfarenheterna kring återvinningssystemen är liten. Syftet med det här projektet är att utvärdera framtidspotentialen för värmeåtervinning av spillvatten i flerbostadshus.

En stor del av Sveriges flerbostadshus byggdes under modernismen och rekordåren (1940-1975). Många av dessa byggnader har uttjänt vatten- och avloppssystem och är i behov av en övergripande upprustning. Om värmeåtervinning övervägs för en byggnad är det lämpligt att installera systemet i samband med renovering för att minska installationskostnaderna.

Befintliga återvinningssystem består av värmeväxlare, värmepumpar eller en kombination av de båda. Det finns passiva värmeväxlare som placeras vid duschen, på den vertikala avloppsstammen alternativt på den horisontella avloppsstammen. System med värmepumpar är mer komplicerade och utrymmeskrävande. De är sällan anpassade för flerbostadshus men har potentialen att återvinna mer energi ur spillvattnet.

I några fastigheter där värmeåtervinningssystem finns installerade har mätningar gjorts på återvinningsgrad. Dessa mätningar visar att passiva värmeväxlare kan återvinna ungefär 10 – 15 % av energiåtgången för varmvatten. Det inkluderar inte stillestånds-förluster och VVC-förluster.

Beräkningar pekar på att energibesparingarna för passiva värmeväxlare bör kunna uppgå till 20 – 25 %. Om flera olika typer av värmeväxlare kombineras kan upp mot 40 % av energin återvinnas. Värmepumpslösningar kan återvinna betydligt mer energi, mellan 50 – 70 %. Det medför dock en ökad elanvändning vilken måste beaktas i lönsamhetsberäkningar. Vid utveckling av nya återvinningssystem bör energilagring och reaktionsförmåga prioriteras eftersom många tappningar är korta och oförutsägbara.

I en teknikupphandling bör krav ställas på energieffektivitet. Utifrån erfarenheter från installerade återvinningssystem och teoretiska beräkningar föreslås följande kravnivåer:

- Energianvändning för uppvärmning och varmvattenberedning i byggnadens **skall** minska med minst **15 %** av befintlig energianvändningen för varmvattenberedning.
- Energianvändning för uppvärmning och varmvattenberedning i byggnadens **bör** minska med minst **20 %** av befintlig energianvändningen för varmvattenberedning.

Dessutom bör krav ställas på lönsamhet. Nuvärdet av åtgärdens energikostnadsminskning ska vara större än investeringskostnaden och nuvärdet av framtida kostnader för återvinningssystemet inom loppet av ett antal år. Följande nivåer föreslås för villkoret:

- Villkoret **skall** uppfyllas under kalkylperioden **20 år**
- Villkoret **bör** uppfyllas under kalkylperioden **15 år**

Innehållsförteckning

Abstract	ii
Sammanfattning	iii
Nomenklatur	vi
1. Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Genomförande.....	2
1.3 Avgränsningar	2
2. Potentialen för värmeåtervinning	3
2.1 Det svenska beståndet av flerbostadshus	3
2.2 Besparingspotential	7
3. Förutsättningar för värmeåtervinning	10
3.1 Värmeväxlare.....	10
3.2 Värmepumpar.....	11
3.3 Spillvatten	11
3.4 Liknande tillämpningar.....	13
3.5 Begränsningar	14
3.6 Lönsamhet.....	15
4. Befintliga tekniklösningar	17
4.1 Spillvattenvärmeväxlare.....	17
4.2 Värmepumpslösningar	22
5. Intervjustudie	26
5.1 Energibesparingsåtgärder	26
5.2 Etablerad teknik.....	27
5.3 Andra värmeåtervinningssystem	28

6. Sammanställning av kunskap från befintliga installationer.....	30
6.1 Måseskär	30
6.2 Portvakten.....	31
6.3 Bonny, Kanada.....	32
6.4 Sydpoolen.....	32
6.5 Eulachhof, Schweiz.....	32
6.6 Sammanställning.....	33
7. Analys av möjliga besparingar	36
7.1 Antaganden	36
7.2 Beräkning	37
7.3 Resultat	38
8. Upplägg och kravspecifikation för teknikupphandling	51
8.1 Målsättning	51
8.2 Omfattning	51
8.3 Upplägg	51
8.4 Krav på värmeåtervinningssystem	51
9. Diskussion och slutsats.....	54
10. Referenser.....	56

Bilaga A - Referensbyggnad

Nomenklatur

Tecken	Benämning	Enhet
BOA	Boarea	[m ²]
COP	Värmetal	
c_p	Specifik värmekapacitet (H ₂ O – 4,18)	[kJ/(kg*K)]
DV	Duschvatten	
E	Energi (kompressor)	[kWh]
EB	Energibesparing	[%]
$f_{nussomma}$	Nusummefaktor	
$Gråvatten$	Spillvatten från bad, disk och tvätt	
GV	Gråvatten	
IMD	Individuell mätning och debitering	
INV	Investeringskostnad	[SEK]
KV	Kallvatten	
kWh	Energienhet – 3,6	[MJ]
LCC	Livscykelkostnad	[SEK]
LOA	Lokalarea	[m ²]
m	Massa	[kg]
\dot{m}	Massflöde	[kg/s]
n	En investerings förväntade tekniska livslängd	[år]
NV	Nuvärdessumma av framtida kostnader	[SEK]
Q	Energi	[kWh]
\dot{Q}	Effekt	[kW]
r_k	Real kalkylränta	[%]
r_p	Real energiprisökning	[%]
SEK	Svenska kronor	
$Spillvatten$	Allt förbrukat vatten i en bostad som spolat i avloppet	
SV	Spillvatten	
$Svartvatten$	Spillvatten från toalett	
t	Temperatur	[°C]
T	Temperatur	[K]
$t_{blandning}$	Temperatur av kv/vv blandning	[°C]
V	Volym	[m ³]
VP	Värmepump	
VV	Varmvatten	
VVC	Varmvattencirkulation	
VVX	Värmeväxlare	
$VÅV$	Värmeåtervinning	
X	Andel	[%]
$\text{Årlig energikostnad}$	Produkten av energipris och energianvändning	[SEK/år]
ε	Temperaturverkningsgrad	
η_{carnot}	Carnotverkningsgrad	
ρ	Densitet (H ₂ O – 1000)	[kg/m ³]

1. Inledning

Sveriges riksdag har upprättat 16 nationella miljö kvalitetsmål vilka syftar till att uppnå en miljömässigt hållbar utveckling på lång sikt. Ett av miljö kvalitetsmålen handlar om att upprätthålla en god bebyggd miljö. Som ett delmål anges att den totala energianvändningen per uppvärmd yta i bostäder och lokaler ska minska med 20 % till 2020 och vidare med 50 % till 2050 jämfört med motsvarande energianvändningsnivå 1995. För att uppnå målet är energieffektiviseringsåtgärder i befintliga flerbostadshus en viktig faktor.

Avloppsvärmeåtervinning med värmeväxlare och värmepumpar är vanligt i publika byggnader som badhus samt vid industriprocesser där stora värmemängder kan återvinnas. Det är också vanligt med storskalig värmeåtervinning av det kommunala avloppsvattnet efter reningsverk. Att ta tillvara på spillvärmens i direkt anslutning till bostadshus är ovanligt. Det finns teknik som möjliggör värmeåtervinning i bostadshus men åtgärden prioriteras lågt av beslutsfattare.

Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus (BeBo) är ett samarbete mellan fastighetsägare och Energimyndigheten. Med fokus på energieffektivitet och miljö genomför gruppen utvecklingsprojekt för att hjälpa energieffektiva produkter att tidigare komma ut på marknaden genom teknikupphandlingar. Energiåtgärderna ska vara kostnadseffektiva och får inte minska byggnadens funktion och komfort.

En teknikupphandling är en anbudsprocess vars syfte är att främja utvecklingen av ny effektiv teknik samt öka spridningen och användningen av tekniken. Genom upphandlingen ska aktörer stimuleras att ta fram nya produkter, system och processer som bättre uppfyller köparnas krav än de produkter som redan finns på marknaden. Genom processen samlas en grupp beställare vilket ökar deras inflytande på tillverkarna genom stora beställningsvolymerna samtidigt som tillverkarna får sina produkter uppmärksammade på marknaden. Teknikupphandlingen kan hjälpa ny teknik att tidigare komma ut på marknaden och öka acceptansen för att använda produkten.

1.1 Syfte

Det övergripande syftet med projektet är att, som ett underlag till BeBo, utvärdera framtidspotentialen för värmeåtervinning av spillvatten i flerbostadshus. Studien avser:

- Samla in och sammanställa kunskap om värmeåtervinningssystem från litteratur, befintliga installationer i bostadsbeståndet samt aktörer relevanta för ämnesområdet.
- Utvärdera möjligheter och problem kring olika tekniska lösningar.
- Granska varför installation av värmeåtervinning av spillvatten inte sker i större utsträckning
- Analysera energibesparings- och lönsamhetspotentialen för olika värmeåtervinningssystem för spillvatten.
- Klargöra utvecklingsbehovet och förbättringspotentialen av komponenter och system.

- Granska intresset för tekniken och för en eventuell teknikupphandling hos aktörer.
- Analysera behovet att driva på utvecklingen av tekniklösningar samt dess integration i bostadsbeståndet och beskriva hur det kan göras.
- Ta fram ett underlag till hur en kravspecifikation för en teknikupphandling kan se ut.

1.2 Genomförande

Studien är uppdelad i följande delmoment:

- Utvärdering av potentialen genom att kartlägga byggnadsbeståndet med avseende på storlek, renoveringsbehov, konstruktion och energiprestanda genom litteraturstudie. Uppskattning av potentiella energibesparingar på nationell nivå.
- Granskning av förutsättningarna för värmeåtervinning ur spillvatten. Studie av relevant litteratur som ger teoretisk bakgrund till värmeåtervinningsteknik, begränsningar för värmeåtervinning och beskriver liknande tillämpningar.
- Genomgång av befintliga värmeåtervinningssystem baserat på intervjuer med tillverkare och leverantörer. Studien ska belysa egenskaper som återvinningsgrad, driftsäkerhet, underhållsbehov, begränsningar, utvecklingsmöjligheter samt möjlighet till integrering vid renovering.
- Intervjuer med fastighetsägare, förvaltare, entreprenörer och installatörer för att återge deras syn på utbudet av återvinningssystem, begränsningar och vad som behöver förbättras för att återvinningssystemen ska bli mer attraktiva.
- Sammanställning av kunskap från tidigare projekt där återvinningssystem implementerats med information om installation, driftserfarenheter och energibesparingar.
- Beräkning av energibesparing och lönsamhet för olika värmeåtervinningssystem för en fiktiv referensbyggnad.
- Analysera behovet av att driva på utvecklingen och beskriva hur detta kan göras samt ta fram underlag till en kravspecifikation för en teknikupphandling.
- Diskussion och slutsatser kring förstudien.

1.3 Avgränsningar

Studien behandlar värmeåtervinningsteknik för spillvatten avsedd att användas i direkt anslutning till flerbostadshus. Rapporten riktar sig främst mot lösningar för befintliga flerbostadshus men kartlägger till viss del potentialen vid nybyggnation.

2. Potentialen för värmeåtervinning

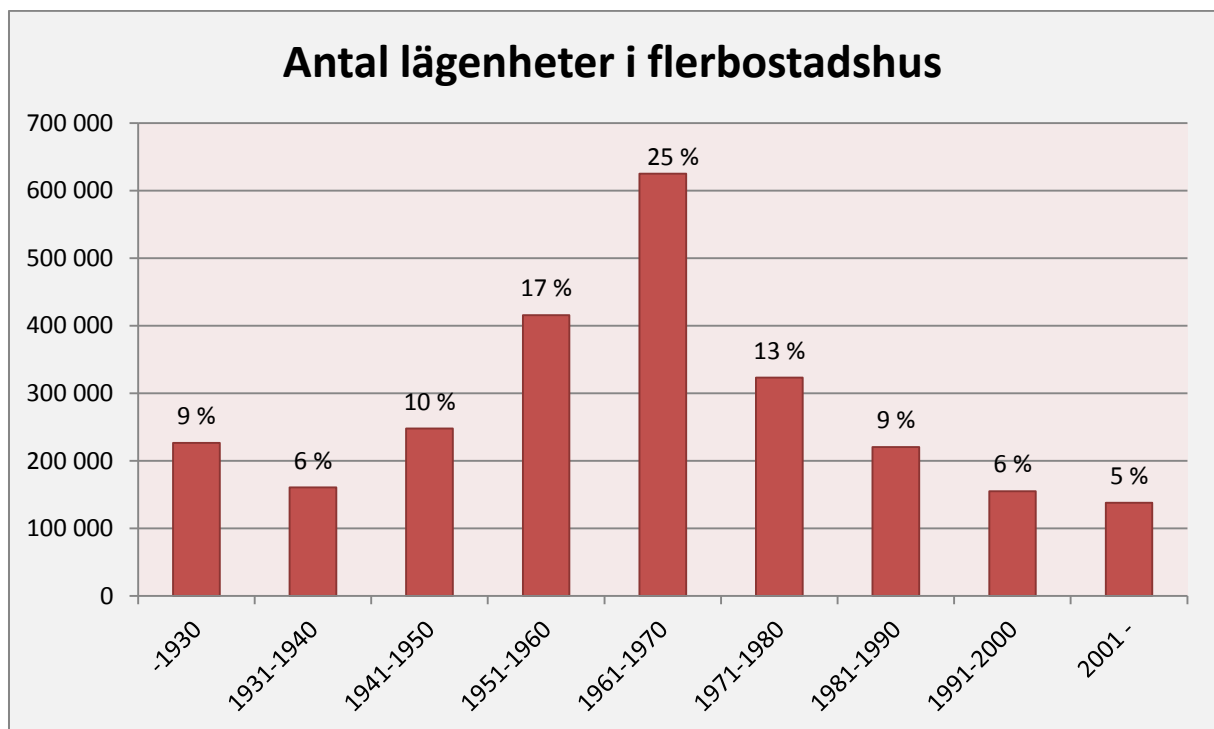
Följande kapitel avser bedöma potentialen för återvinning av spillvattenvärme i befintliga flerbostadshus. Det innebär att antalet fastigheter som är betjänta av värmeåtervinning ska uppskattas tillsammans med en grov energibesparingspotential för olika scenarion utifrån rimliga antaganden.

2.1 Det svenska beståndet av flerbostadshus

För att få en uppfattning om potentialen med värmeåtervinning i flerbostadshus måste bostadsbeståndet kartläggas. I Sverige finns drygt 4,5 miljoner bostäder fördelade på olika byggnadstyper. En majoritet av bostäderna, knappt 2,5 miljoner, är lägenheter i flerbostadshus (SCB 2010a). Dessa flerbostadshus har en sammanlagd uppvärmd yta på 173 miljoner kvadratmeter (Energimyndigheten 2011). Varje år byggs nya lägenheter och antalet varierar från år till år. Mellan 2006 och 2008 byggdes mellan 18 000 – 20 000 lägenheter per år i flerbostadshus (SCB 2010b).

Flerbostadshus varierar i storlek, konstruktion och byggnadsår. Det svenska flerbostadsbeståndets ålder redovisas i figur 2.1. Figuren visar att många befintliga flerbostadshus byggdes under modernismen (1940 – 1960) och under rekordåren (1961 – 1975). Det är två åldersgrupper som står inför en kommande upprustning. Därutöver finns det en del äldre och en del yngre hus (SCB 2011).

Ägarformen är en faktor som kan påverka möjligheterna till energibesparande åtgärder. Av lägenheterna i flerbostadshus är knappt 1,6 miljoner hyresrätter och drygt 900 000 bostadsrätter. Den största ägarkategorin är bostadsrättsföreningar följt av allmännyttiga ägare vilka äger knappt drygt 760 000 lägenheter i flerbostadshus (SCB 2011).



Figur 2.1 – Antal lägenheter i flerbostadshus fördelar efter byggnadsperiod (SCB 2011)

Olika hustyper ger olika förutsättningar för vilket återvinningssystem som kan vara lämpligt för en viss byggnad. De tre vanligaste hustyperna, i fråga om antalet lägenheter, är lamellhus, sluten

kvartersbebyggelse och punkthus. Innan 30-talet byggdes framförallt slutna kvartersbebyggelse. Vanligtvis har hustypen mellan tre och fem våningar och utgör en del av städernas kärna. Det var den dominerade hustypen fram till lamellhusepoken som började på 1930-talet, då minskade nybyggnationen av slutna kvartersbebyggelse. Lamellhusen är till skillnad från den slutna kvartersbebyggelsen byggda av friliggande huslängor placerade parallellt eller vertikalt i förhållande till varandra. Under 30-talet började även punkthus byggas men med lågt våningsantal (Björk m.fl. 2002)

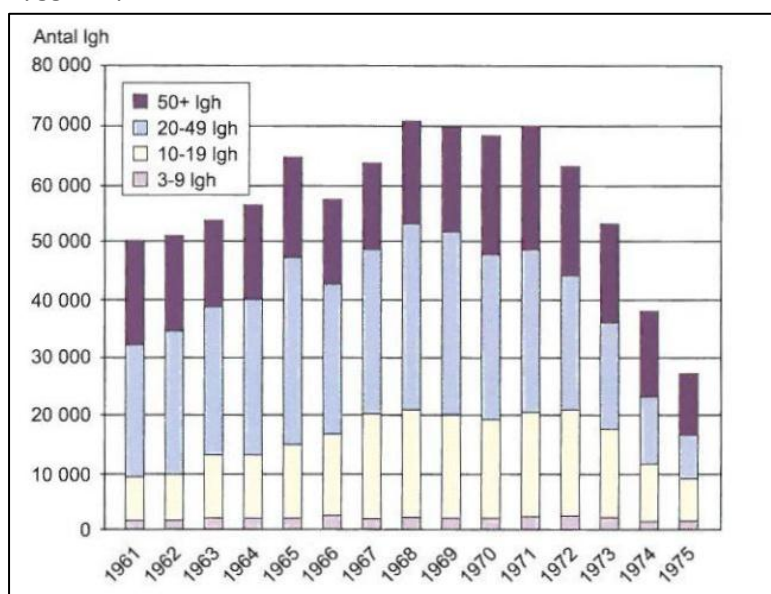
Modernismens bostadsbyggande (1940 – 1960)

Under modernismen skedde ett omfattande bostadsbyggande i Sverige. Enligt figur 2.1 finns 27 % eller 675 000 av Sveriges lägenheter i flerbostadshus från den här perioden. Framförallt efter andra världskrigets slut 1945 intensifierades byggandet. Under perioden fick lamellhusen sitt stora genombrott. Lamellhusen byggs vanligen tre våningar höga och i längor om två eller tre trapphus. Varje trapphus har två till fyra lägenheter per våningsplan. Det började även förekomma en del lamellhus med fler våningsplan. Under perioden fick också punkthusen sitt genombrott. Utmärkande för hustypen är att de byggs friliggande med ett trapphus i huskärnan. Varje våningsplan rymmer 4-6 lägenheter som inte är genomgående. Punkthus har vanligtvis minst fem våningar. Under 50-talet byggdes de flesta punkthusen med 8-10 våningsplan (Björk m.fl. 2002).

Rekordårens bostadsbyggande (1961 – 1975)

Åren 1961–1975 var en intensiv period inom svenskt bostadsbyggande och ungefär en sjättedel av Sveriges befolkning bor idag i ett flerbostadshus från rekordåren. Knappt 1,4 miljoner lägenheter färdigställdes under perioden varav drygt 900 000 var lägenheter i flerbostadshus. Perioden omfattar miljonprogrammet (1965–1974) vilket är Sveriges största satsning på uppförande av bostäder någonsin. Som mest byggdes 110 000 nya bostäder under samma år (Boverket 1999).

Tydligt för tidsperioden var att byggandet rationaliserades jämfört med tidigare. Kostnaderna skulle minskas genom stora entreprenader och maskinellt byggande med prefabricerade byggkomponenter. En annan trend var att flerbostadshusen byggdes högre, längre och rymde fler



Figur 2.2 - Antal lägenheter i flerbostadshus färdigställda 1961 – 75 efter husens storlek (antal lägenheter per hus) (Boverket 1999)

lägenheter än tidigare. Mellan 25-39 % av årsproduktionen av lägenheter fanns i hus som rymde mer än 50 lägenheter. I figur 2.2 illustreras hur många lägenheter som fanns i olika storlekskategorier av färdigställda hus under rekordåren (Boverket 1999).

Den klart vanligaste hustypen som uppfördes under rekordåren var lamellhus. Runt 85 % av alla lägenheter som byggdes under perioden var av hustypen. Den dominerande kategorin av lamellhus har tre våningar men

fyra våningar är också vanligt. Omkring 20 % av lamellhusen saknar källare. Mot slutet av 60-talet

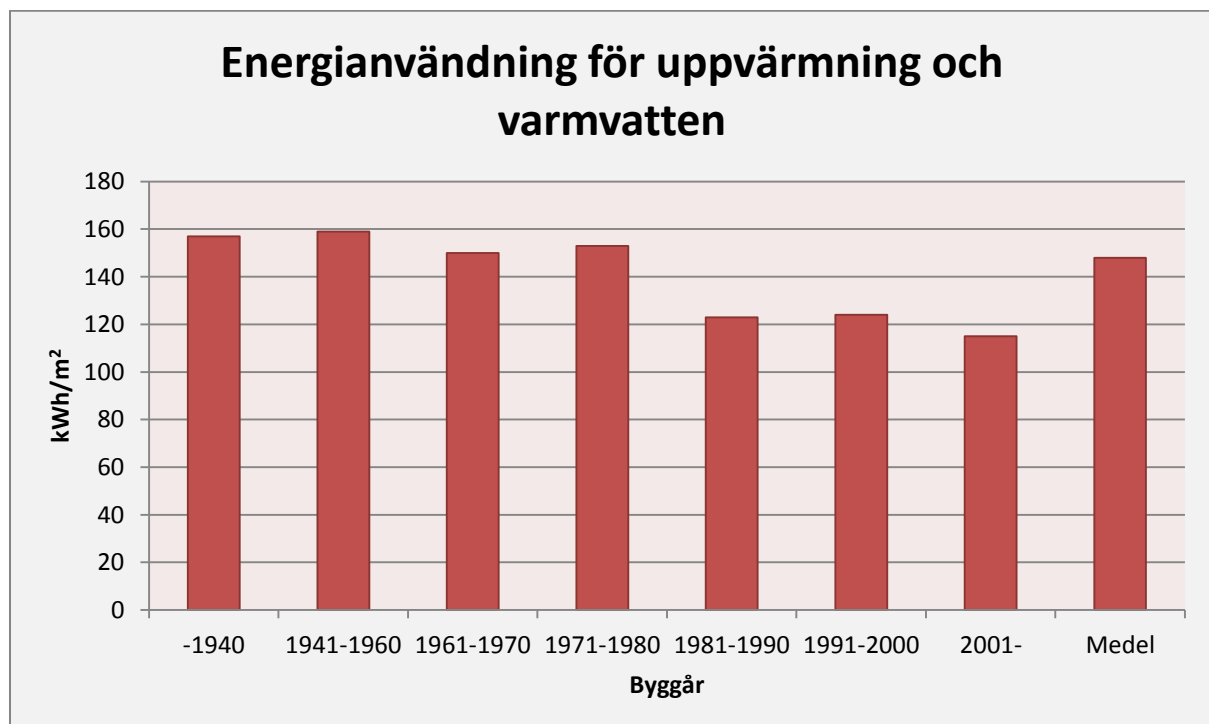
tillkom många skivhus, vilket är lamellhus med fem eller fler våningar. Den näst vanligaste hustypen under rekordåren är punkthus. Ungefär 9 % av alla lägenheter som producerades under perioden var av hustypen. Punkthusen under rekordåren hade oftast nio våningar eller mer. Under perioden byggdes också en del loftgångshus. Däremot så hade nybyggnationen av slutna kvartersbebyggelse i princip upphört (Boverket 1999).

Renoveringsbehov

Stora delar av det befintliga bostadsbeståndet har renoveringsbehov vilka bör åtgärdas inom en överskådlig framtid. Det är framförallt hus byggda under rekordåren men även äldre hus. Installationer och tekniska system är åldersmässigt uttjänade och måste bytas ut. Det finns omkring 1,3 miljoner lägenheter uppförda t.o.m. 1975 som är i behov av att byta ut vatten- och avloppsledningar. För att inom rimlig tid åtgärda detta uppskattar Boverket att omkring 65 000 lägenheter per år kommer att behöva byta vatten- och avloppsledningar. Då ingrepp görs i vatten- och avloppssystemet finns goda möjligheter till att integrera ett värmeåtervinningssystem (Boverket 2003).

Energianvändning

För att kunna uppskatta energibesparingen i ett typiskt flerbostadshus måste typiska siffror för energianvändning användas. I flerbostadshus uppgår den genomsnittliga energianvändningen för uppvärmning och varmvatten till drygt 25 TWh. Fördelat per lägenhet är energianvändningen omkring 10 900 kWh och per kvadratmeter uppvärmd yta 148,1 kWh (Energimyndigheten 2011). I figur 2.3 visas den genomsnittliga energianvändningen per yta för flerbostadshus utifrån deras ålderkategori. Det kan uppmärksammas att flerbostadshus byggda före 1980 tenderar att ha en högre genomsnittlig energianvändning än flerbostadshus byggda efter 1980. Det finns alltså större möjligheter att göra besparingar i den tidigare gruppen.



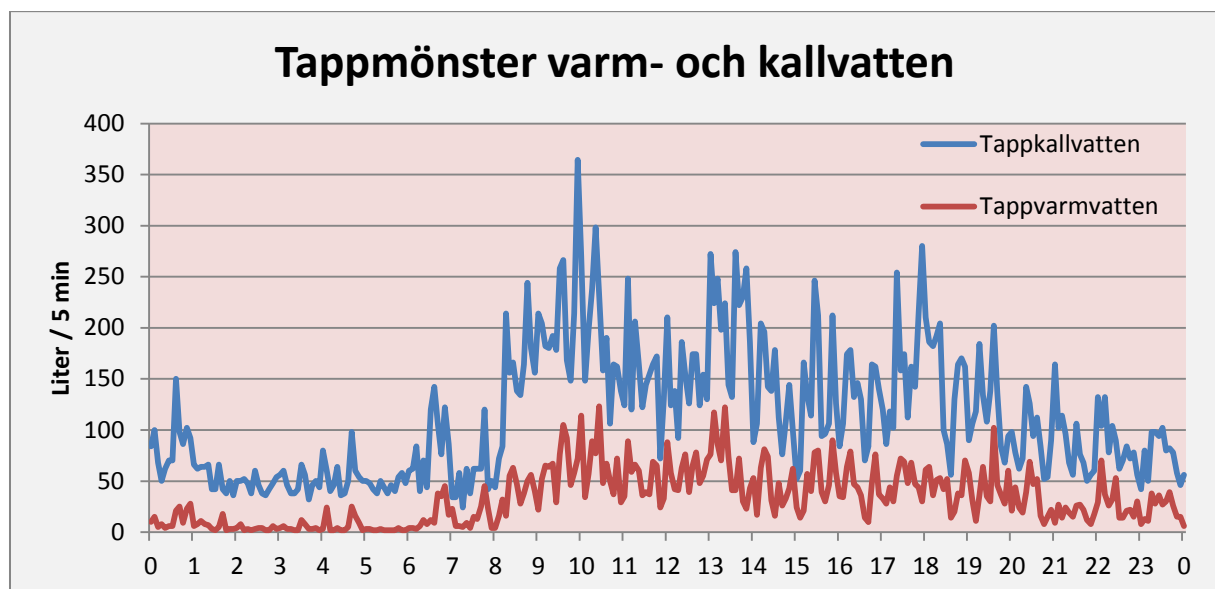
Figur 2.3 – Genomsnittlig energianvändning per kvadratmeter för uppvärmning och varmvatten i flerbostadshus år 2009, fördelat efter byggår (Energimyndigheten 2011)

Fjärrvärme är det dominerande energislaget för uppvärmning och varmvatten i flerbostadshus och står för 91 % av den använda energin. El är det näst mest använda energislaget för uppvärmning och varmvatten. Ungefär 5 % av energianvändningen kan härledas till el. (Energimyndigheten 2011).

Vattenanvändning

Det är också viktigt att undersöka vattenanvändningen i lägenheter för att se hur mycket av energianvändningen som kan härledas till varmvatten. Vattenförbrukningen i lägenheter i flerbostadshus är 184 liter per person och dygn varav en knapp tredjedel, 58 liter, är varmvatten. Den energimängden som krävs för att värma mängden varmvatten är knappt 1150 kWh per person och år (Energimyndigheten 2009).

I Figur 2.4 visas tappmönster för varmvatten och kallvatten under ett dygn i ett flerbostadshus med 110 lägenheter. Noterbart är att varmvatten och kallvatten har ett liknande tappmönster och att tappningarna är fördelade över dygnet. Det ska också uppmärksammas att det finns tydliga effekttoppar framförallt på morgonen. Det innebär att uppvärmningssystemet belastas väldigt mycket just då.



Figur 2.4 – Typisk varmvatten- och kallvattenanvändning i ett flerbostadshus under ett dygn (Energimyndigheten 2009)

Varmvatten står i regel för ungefär 20-25 % av det totala uppvärmningsbehovet i ett flerbostadshus. Energimängden som krävs för att värma kallvatten till tappvarmvatten är 31 kWh/m² bruksarea årligen. I den siffran är inte värmebehovet för varmvattencirkulation och förluster vid stillestånd i varmvattenberedare inräknade. Den faktiska energimängden som går åt till tappvarmvatten är därmed större (Aronsson 1996).

I äldre hus är energibehovet för varmvatten litet jämfört med rumsuppvärmning och hushållsel. Vid nybyggnad av, eller renovering till, lågenergihus genomförs ofta åtgärder för att minska energianvändningen för de två sistnämnda. Det innebär att varmvatten står för en större del av byggnadens totala energianvändning. Det blir ännu tydligare i passivhus där varmvatten kan vara uppemot hälften av byggnadens energianvändning. I figur 3.1 illustreras hur energianvändningen för varmvatten blir en stor del av den totala energianvändningen i lågenergihus och passivhus.

Värmeåtervinning av spillvatten kan därför vara en viktig åtgärd för att nå strikta energieffektivitetsmål (Meggers 2011).

Spillvattnet från en lägenhet kommer i huvudsak från dusch, tvättställ, diskho och toalettstol. De tre förstnämnda använder både varm- och kallvatten medan toalettstolen använder kallvatten. Dessutom används vatten, huvudsakligen kallvatten, till annat som exempelvis tvättstuga/tvättmaskin. Vid mätning i fyra lägenheter såg fördelningen mellan tappställena ut på följande sätt:

- Bad/dusch 25 % (varav 67 % varmvatten)
- Diskho i kök 28 % (varav 60 % varmvatten)
- Toalettstol 26 % (kallvatten)
- Tvättställ 12 % (varav 56 % varmvatten)
- Övrigt (tvättstuga mm) 9 % (varav 11 % varmvatten)

Ovanstående mätningar har en hög andel varmvatten men indikerar hur mycket varm- och kallvatten som används vid olika tappställen. Vattenanvändningen till bad, dusch, diskho och tvättställ har hög andel varmvatten och således bör spillvattnet från dessa tappställen ha en hög medeltemperatur. En viktig faktor vid utformning av värmeåtervinningssystem är att de flesta tappningarna är kortvariga. Drygt 57 % av alla tappningar vara mindre än en minut (Energimyndigheten 2008).

Passivhus

Vid byggandet av passivhus uppvisar värmeåtervinning ur spillvatten intressanta möjligheter. Passivhus är välisolerade hus med ett tätt klimatskal och minimalt med köldbryggor som framförallt värms upp med värme som alstras inom byggnaden. Det är spillvärme från människor och hushållsmaskiner samt solinstrålning som värmer upp byggnaden. Ventilationssystem konstrueras med värmeåtervinning så värmebehovet för uppvärmning blir väldigt litet. Passivhus har på grund av det låga uppvärmningsbehovet inget konventionellt uppvärmningssystem utan vid behov så tillförs värme tilluften. För att uppfylla internationella kriterier för ett passivhus måste uppvärmningsbehovet vara mindre än 15 kWh per kvadratmeter (Andrén m.fl. 2010).

Det låga energibehovet för uppvärmning medför att varmvatten står för en betydande del av husets totala energibehov. Värme till varmvatten kommer vanligtvis från solfångare vilka kan täcka 50-60 % av varmvattenbehovet. Solfångarna kompletteras med en annan värmekälla som kan vara fjärrvärme, el-patron eller annan lämplig värmekälla. Det vanligaste sättet att minska energibehovet för varmvatten jämfört med konventionella hus är att minska varmvattenanvändningen. Energibehovet för varmvatten kan minskas ytterligare med värmeåtervinning ur spillvattnet men det anses sällan försvarbart ekonomiskt. Om värmeåtervinning skulle användas kan färre solfångare användas och det behövs mindre energi från den kompletterande värmekällan (Andrén m.fl. 2010).

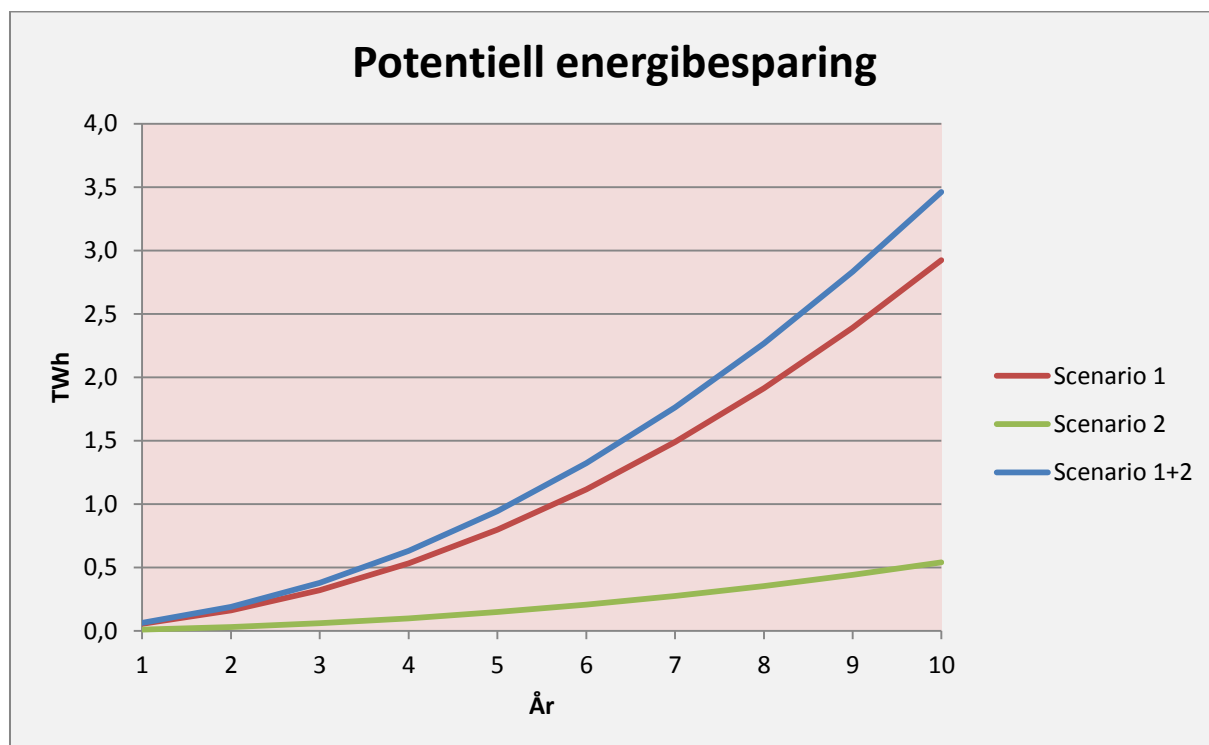
2.2 Besparingspotential

Det finns en stor potential att minska energianvändningen i befintlig bebyggelse med värmeåtervinning. Att installera värmeåtervinning i samband med stambyte ger bra förutsättningar för låga installationskostnader.

Anta i ett första scenario att 65 000 lägenheter per år genomför ett traditionellt stambyte och i samband med det installerar värmeåtervinning. En typisk lägenhet förbrukar 10 900 kWh per år varav 25 % eller ungefär 2 700 kWh är för varmvatten. Anta att ett system kan återvinna 30 % av den energimängden vilket motsvarar 820 kWh per lägenhet och år. Det betyder att den årliga besparingen skulle bli drygt 53 GWh. Fortsätter renoveringstakten över en tioårsperiod skulle den årliga energianvändningen för flerbostadshus att vara 0,53 TWh lägre än nuvarande nivå. Över hela tioårsperioden skulle knappt drygt 2,9 TWh sparas. Utvecklingen över tioårsperioden illustreras i figur 2.5.

Anta i ett andra scenario att de 20 000 lägenheter som byggs varje år alla installerar värmeåtervinning. Förmodligen är energianvändningen för varmvatten lägre i de här byggnaderna på grund av andra åtgärder relaterade till varmvatten, exempelvis snålspolande armatur. Anta att energianvändningen för varmvatten är 40 % lägre än det första scenariot men att återvinningssystemet fortfarande kan ta tillvara på 30 % av spillvärmen. I sådant fall återvinns 490 kWh per lägenhet och år. Över en tioårsperiod skulle den årliga energianvändningen vara 0,10 TWh lägre än om ingen värmeåtervinning fanns installerad. Över tioårsperioden skulle 0,54 TWh sparas.

I figur 2.5 illustreras energibesparingen över en tioårsperiod för scenariot. Dessutom visas energibesparingen för en kombination av de två scenarion, det vill säga att värmeåtervinning installeras både vid renovering och vid nybyggnation. Då skulle knappt 3,5 TWh sparas under tioårsperioden. Den årliga energianvändningen efter tio år skulle vara 0,63 TWh lägre än fallet utan värmeåtervinning.



Figur 2.5 – Den potentiella energibesparingen vid installation av värmeåtervinning vid renovering och nybyggnation under en tioårsperiod.

Den totala ytan av lägenheter i flerbostadshus är 173 miljoner kvadratmeter och energianvändningen för uppvärmning av varmvatten är 31 kWh per kvadratmeter. Det innebär att den totala

energianvändningen för varmvatten i flerbostadshus är 5.36 TWh per år. Om värmeåtervinningssystem för spillvatten var installerat i samtliga flerbostadshus och de kunde återvinna 30 % av spillvärmens skulle den årliga energianvändningen i flerbostadshus minska med 1.60 TWh.

3. Förutsättningar för värmeåtervinning

Följande kapitel klargör de förutsättningar som finns för att återvinna värme ur spillvatten. Det innefattar en genomgång av teori för värmeväxlare och värmepumpar, spillvattenegenskaper och begränsningar för värmeåtervinning.

3.1 Värmeväxlare

En värmeväxlare används för att överföra värme mellan två medium. Då medierna flödar genom värmeväxlaren överförs värmen från det varma mediet till det kalla. Värmeväxlare konstrueras vanligtvis motflödes, medflödes eller korsflödes. För motflödes värmeväxlare kan i princip all värmeenergi överföras mellan medierna. Effekten för värmeöverföringen ges av ekvation 3.1 och är beroende av massflöde, värmekapacitet och temperaturlyft (Jonsson 2008).

$$\dot{Q} = (\dot{m} * c_p * \Delta T)_1 = (\dot{m} * c_p * \Delta T)_2 \quad \text{Ekvation 3.1}$$

Temperaturverkningsgrad

Ett vanligt sätt att återge en värmeväxlares prestanda är temperaturverkningsgraden. Den återger faktiskt temperaturökning hos ett medium (KV) som andel av största möjliga temperaturökning enligt ekvation 3.2 (Jonsson 2008).

$$\varepsilon = \frac{T_{kv,ut} - T_{kv,in}}{T_{sv,in} - T_{kv,in}} \quad \text{Ekvation 3.2}$$

En värmeväxlars temperaturverkningsgrad påverkas av flera faktorer och värmeöverföringen kan förbättras på flera sätt. En hög temperaturdifferens mellan den varma och den kalla sidan i en värmeväxlare ökar värmeväxlingen och verkningsgraden. Med en låg flödes hastighet genom värmeväxlaren ökar värmeavgivningstiden vilket ökar verkningsgraden (Leidl m.fl 2010).

Verkningsgrad är starkt kopplad till värmeöverföringsytan. Genom att öka värmeöverföringsytan kan en högre verkningsgrad erhållas. Det kan göras genom att öka växlarens storlek eller genom att använda fenor för att öka den värmeöverförande ytan. Den erhållna ökningen i verkningsgrad måste vägas mot de kostnader som tillkommer till följd av högre materialåtgång och mer komplicerad tillverkning. Ett annat sätt att öka värmeöverföringen är att välja ett material med hög värmeledningsförmåga. Värmeöverföringen kan ökas ytterligare genom att värmeväxlaren konstrueras på ett sådant vis att turbulent flöde stimuleras och att gränsskiktet mellan fluid och växlare reduceras (Wong m.fl. 2010).

Temperaturverkningsgraden är egentligen inte ett bra mått på hur mycket energi en växlare kan återvinna när det gäller spillvatten. Verkningsgraden anger vilka förhållanden som råder vid flödesjämvikt men beskriver inte det transienta förloppet dessförinnan. Många tappningar i bostadshus är korta och flödesjämvikt uppnås inte i värmeväxlaren. Dessutom är det inte säkert att avtappning sammanfaller med spillvattenbehov. En värmeväxlare utan energilagring förmåga kan då inte ta tillvara på energin i det avtappade spillvattnet. Trots detta ger ändå temperaturverkningsgraden en indikation till hur mycket energi som kan återvinnas.

3.2 Värmepumpar

En värmepump har förmågan att överföra värme från en kall plats (värmekälla) till en varmare plats (värmesänka). Den utnyttjar energi vid låg temperatur och pumpar den till en högre temperatur så att den kan användas i uppvärmningssyfte. Det är samma teknik som används i en kylanläggning och det är bara syftet som är olika (Granryd m.fl. 2005).

Värmepumpen drivs av en kompressor som kräver en viss energimängd, vanligtvis i form av elektricitet. Den energimängd som värmepumpen kan avge till värmesänkan (Q_1) är summan av tillförd energi från värmekällan (Q_2) och tillförd energi till kompressorn (E) enligt Ekvation 3.3 (Granryd m.fl. 2005).

$$Q_1 = Q_2 + E \quad \text{Ekvation 3.3}$$

Den energimängd som värmepumpen kan tillgodogöra ett system är betydligt större än energin som kompressorn använder. Värmetalet (COP) definieras som förhållandet mellan genererad värmeenergi och tillförd energi till kompressorn enligt Ekvation 3.4 (Granryd m.fl. 2005).

$$COP = \frac{Q_1}{E} \quad \text{Ekvation 3.4}$$

Värmefaktorn kan också uttryckas utifrån värmepumpens kondenseringstemperatur (T_1), förångningstemperatur (T_2) och Carnotverkningsgrad enligt Ekvation 3.5. Carnotverkningsgraden anger förhållandet mellan en värmepumps verkliga värmefaktor och den högsta möjliga värmefaktorn enligt den ideala Carnotprocessen (Granryd m.fl. 2005).

$$COP = \eta_{carnot} * \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad \text{Ekvation 3.5}$$

Carnotverkningsgraden beror av systemets temperaturlyft och dess storlek (det vill säga den effekt som systemet kan leverera). Verkningsgraden ökar med små temperaturlyft och stora system. Dessutom påverkas verkningsgraden av egenskaper hos värmepumpscykeln, köldmedium och kompressor. Vanligtvis är Carnotverkningsgraden mellan 0,4 och 0,6. Temperaturdifferensen mellan förångning och kondensering är avgörande för värmefaktorn. Ett litet temperaturlyft är fördelaktigt ur teknisk och ekonomisk synpunkt. Det är därför viktigt att temperaturskillnaden mellan värmekällan och värmesänkan inte är för stor (Granryd m.fl. 2005).

3.3 Spillvatten

I bostäder kommer spillvatten från dusch, tvättställ, toalett, kök och tvätt. Vid de olika tappställena är det använda vattnet olika nedsmutsat och har olika temperatur. Det är oklart vilket vatten som är lämpligt att utnyttja i ett värmeåtervinningssystem.

Vattenkvalité vid tappställe

Vatten från dusch och tvättställ har generellt sätt hög temperatur och är någorlunda rent, bortsett från tvål och smutsrester. Köksvatten har också en hög medeltemperatur och men innehåller mycket fett vilket kan ha negativ påverkan på värmeutbytet i en värmeväxlare. Toalettvattnet kan antas ha en temperatur nära rumstemperatur eftersom det ofta står i toalettstolen under lång tid innan det

spolas bort. Det är kraftigt nedsmutsat med mycket fasta partiklar. Spillvatten från tvättmaskin och diskmaskin uppvisar ingen större potential för återvinning då de som standard är vattensnåla. Rester från tvätt- och diskmedel kan dock ha en renande effekt på den värmeöverförande ytan i en värmeväxlare (Jonsson 2005).

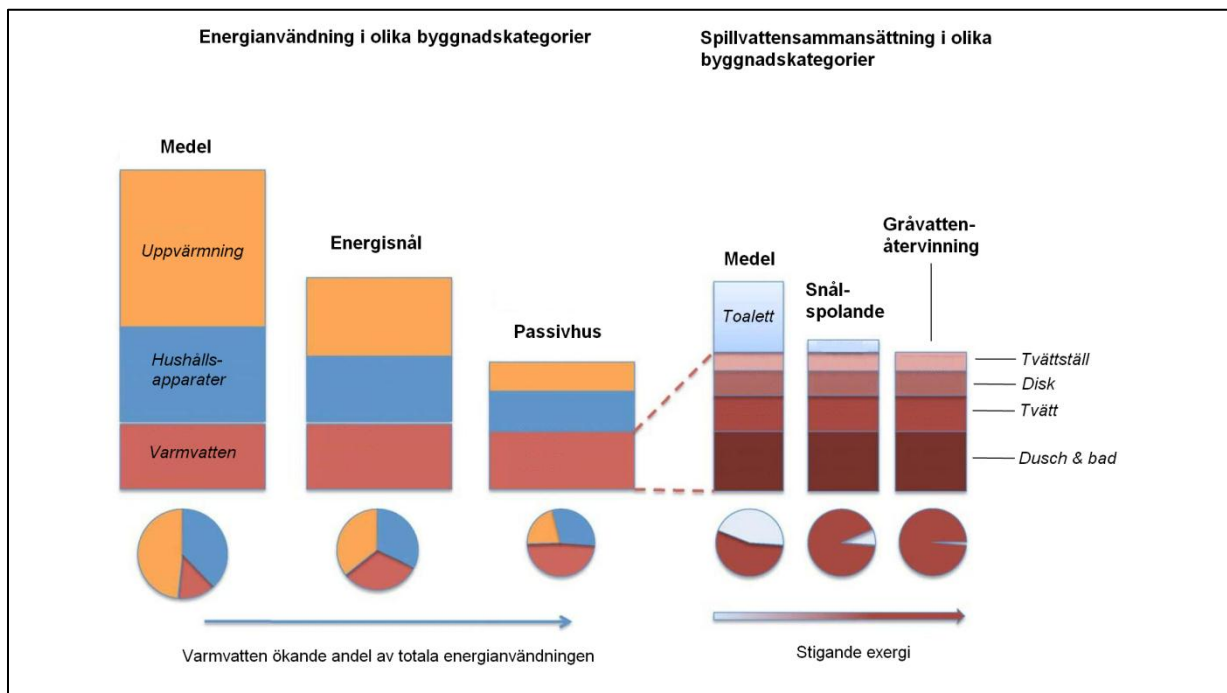
Separering av gråvatten

Det finns fördelar och nackdelar med att använda allt spillvatten kontra att endast använda gråvatten eller delar av gråvattnet. Den givna fördelen med gråvatten är att temperaturen är hög, framförallt om bara spillvatten från dusch och handfat används. Dessutom är vattnet relativt rent med lite fasta partiklar vilket minskar risk för igensättning. Med tiden kommer fett och smuts i gråvattnet sätta sig på värmeöverförande ytor och minska värmeöverföringen och effektiviteten i systemet. Därför måste de värmeöverförande ytorna rengöras regelbundet för att upprätthålla verkningsgraden (Jonsson 2005).

Vid användning av spillvatten inklusive svartvatten kommer spillvattentemperaturen att vara lägre. Däremot så kommer de fasta partiklarna i svartvattnet att mekaniskt rengöra värmeledande ytor och minska tjockleken på fettlagret. Därmed krävs ingen ytterligare rengöring av utrustning. En ytterligare fördel är att allt spillvatten passerar återvinningssystemet till skillnad mot om man separerar en viss andel. Därmed kan värmeuttag göras ur allt spillvatten. Dessutom behövs det inte två skilda avlopp (Jonsson 2005).

Exergi

Energi beskriver en kvantitet men ger ingen indikation till hur stor del av energin som är nyttig. Genom att använda uttrycket exergi erhålls ett samlat begrepp för både kvantitet och kvalitet. Två system som har samma energi kan således ha olika exergi.



Figur 3.1 – Energianvändning och spillvattenkvalité i olika byggnadskategorier (Meggers m.fl. 2011)

Exergi definieras som mängden potentiellt arbete i ett system i en viss omgivning och tar hänsyn till potentialen av ett systems temperatur, till skillnad från energi. Ett system med hög temperatur i förhållande till omgivningen har hög exergi. Spillvatten med hög exergi utgör goda förutsättningar för en värmepump att arbeta eftersom temperaturlyftet blir litet. I figur 3.1 illustreras exergiegenskaper för olika spillvattensammansättningar. Det är tydligt att spillvatten i moderna hus med snålspolande toaletter (eller separering av toalettvattnet) har hög exergi. Den typen av spillvatten är en god värmekälla för värmepumpar förutsatt att spillvattensmängden är tillräcklig (Meggers m.fl. 2011).

Spillvattentemperatur

I tidigare studier om värmeåtervinning ur spillvatten har mätningar gjorts på spillvattentemperaturer i flerbostadshus och badhus. Temperaturerna har mätts då spillvattnet når det installerade återvinningssystemet. En studie visar att spillvatten (inklusive svartvatten) från flerbostadshus kan ha en medeltemperatur omkring eller nära 27 °C (Bergrén 1999). En annan studie visar att gråvatten (dusch och tvättställ) från ett flerbostadshus har en medeltemperatur omkring 30 °C (Jonsson 2005). En ytterligare studie i en simhall visade att gråvattnet från duscharna i simhallen hade en temperatur på 30,4 °C (Grette m.fl. 2004). Vid duschning minskar vattentemperaturen mellan 2 och 5 °C mellan duschmunstycket och golvbrunnen (Wong m.fl. 2010).

3.4 Liknande tillämpningar

Värmen i spillvatten från bostadshus behöver inte återvinnas i direkt anslutning till fastigheten. Det finns möjligheter att utvinna värmen i det kommunala avloppsnätet eller i anslutning till reningsverken. Jämfört med fastighetsspecifik utvinning blir spillvattenflödet mer konstant men desto längre från värmekällan desto lägre temperatur har avloppsvattnet.

Reningsverk

Värmeuttag sker i stor skala i anslutning till reningsverk med värmepumpar. Den biologiska reningsprocessen i reningsverk kräver viss temperatur och därför sker värmeuttag efter reningen. Efter bearbetning i reningsverket är vattnet rent och det är lätt att anpassa utrustning för värmeåtervinning. Eftersom utrustningen utnyttjar rent vatten finns större valmöjligheter vad gäller återvinningsteknik. Vid reningsverken är vattenflödet stort och jämnt vilket underlättar återvinningen. I många fall tillförs den återvunna värmen fjärrvärmenät. Endast omkring 5 % av värmen tas tillvara i den här typen av anläggningar (Södergren 2003).

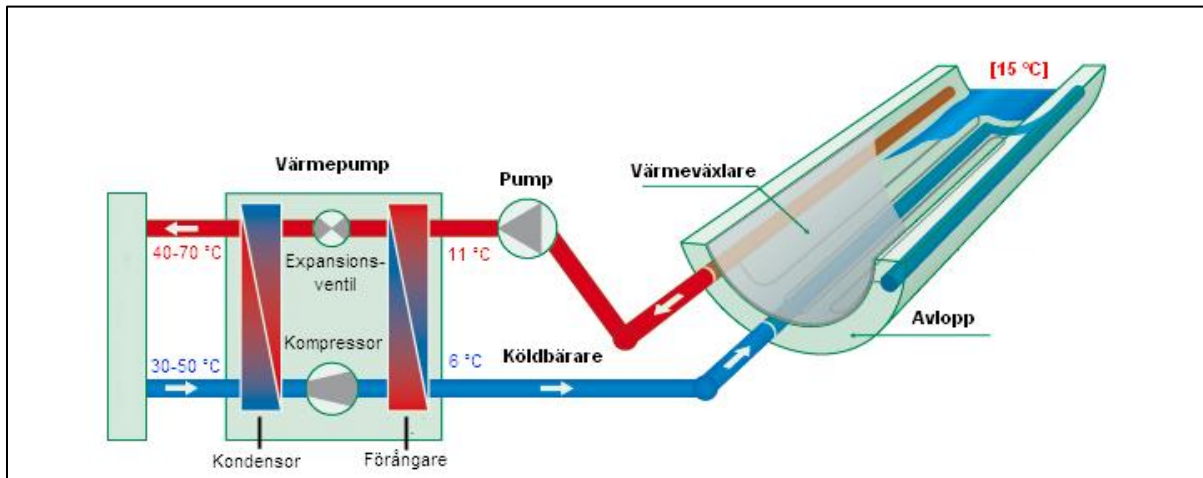
Kommunala avloppssystem

Det finns också möjlighet att göra värmeuttag ur avloppsvatten i det kommunala avloppsnätet. I Figur 3.2 beskrivs ett återvinningssystem för det ändamålet. En värmeväxlare integreras som en rördel i avloppssystemet och tar värme från avloppsvattnet. Värmen överförs till en köldbärare som transporterar värmen till värmepumpens förångare. Systemet skulle vid behov också kunna anpassas för kylning och i det fallet använda avloppsvattnet som värmesänka.

En fördel jämfört med fastighetsvis värmeåtervinning är att mängden spillvatten är större eftersom spillvatten från flera fastigheter slås samman. Dock så hinner temperaturen minska något jämfört med spillvattentemperaturen i fastigheten.

I det kommunala avloppssystemet samlas vatten från flera källor vilket ger ett jämnt flöde och jämn temperatur. En fastighet skulle kunna tillgodogöras mycket energi eftersom flera källor bidrar med

värmen till avlopssystemet. Det finns också idéer om värmeåtervinningssystem där luft från avlopps nätet kyls med hjälp av en värmepump (Södergren 2003).



Figur 3.2 - Återvinningssystem för kommunala avlopp (Rabtherm AG 2011)

3.5 Begränsningar

Värmeåtervinning ur spillvatten i fastigheter begränsas av regler gällande hantering av vatten och avlopp. Reglerna grundar sig att hälsofaror och olägenheter kan uppstå vid felaktig hantering.

Legionella

Legionellabakterier finns naturligt i vatten och förökar sig vanligtvis i temperaturer mellan 20 °C och 42 °C med störst tillväxt vid 38 °C. Utanför temperaturintervallet är tillväxt ovanligt men kan förekomma i vatten som är stillastående under lång tid. Minskning av legionellabakterier sker vid 50 °C och uppåt. Reduktionshastigheten beror av temperaturen. Vid 50 °C dör 90 % av bakterierna inom 80 – 110 minuter. Motsvarande reduktion vid 55 °C och 60 °C är 19 minuter respektive 2 minuter. Bakterierna sprids till människor via vattendimma, främst i duschar, och leder till legionärssjuka (Boverket m.fl. 2006).

I Boverkets byggregler finns bestämmelser och råd kring mikrobiell tillväxt. Ett krav är att installationer för tappvatten ska utformas så att risken för tillväxt av mikroorganismer minimeras. Vidare ska installationer för tappkallvatten utformas så att oavsiktlig uppvärmning av kallvatten inte sker. I varmvattenberedaren bör temperaturen vara minst 60 °C och i ledningarna fram till tappställe, inklusive varmvattencirkulation, bör temperaturen aldrig understiga 50 °C (Boverket 2011).

Bestämmelser

Branchorganisationen Svenskt Vattens allmänna bestämmelser för VA-verksamhet fastslår följande: "Värmeuttag ur avloppsvatten får inte ske så att temperaturen i utsläppt avloppsvatten underskrider temperaturen i det av bolaget levererade dricksvattnet". Anledningen till kravet är att en minskning av spillvattentemperaturen dels försämrar den biologiska reningen i reningsverket och dels ökar risken för frysning i ledningsnätet (Svenskt Vatten 2007).

Lagen om allmänna vattentjänster (2006:412) fastslår även att "En fastighetsägare får inte använda en allmän va-anläggning på ett sätt som innebär olägenheter för huvudmannen eller någon annan". I praktiken betyder det att kommunerna kräver att en fastighetsägare ska ansöka skriftligt och få ett godkännande av huvudmannen (VA-verket) innan värmeuttag får göras ur spillvatten (Kretz 2009).

3.6 Lönsamhet

En åtgärd för minska energianvändningen måste utöver att spara energi även vara lönsam. En investeringskalkyl kan avgöra den långsiktiga lönsamheten av en investering. Lönsamheten beror bland annat på investerings- och energikostnad.

LCC-analys

LCC-metoden är ett verktyg för att avgöra lönsamheten hos en investering. Metoden tar hänsyn till samtliga utgifter och besparingar under investeringens förväntade livtid. För att genomföra en komplett LCC-analys av en energibesparingsåtgärd krävs kännedom om investeringskostnad, energibesparingar, livslängd, kalkylränta, energipris, energiprisökning, underhållskostnader etc.

I en LCC-analys utnyttjas nuvärdesmetoden för att räkna om framtida kostnader till motsvarande belopp i dagens pengavärde. På så sätt blir kostnader som inträffar vid olika tidpunkter jämförbara med investeringskostnaden. De viktigaste posterna i en LCC-beräkning är investering, energi- och underhållskostnad. Livscykelkostnaden kan förenklat beräknas med ekvation 3.6 (Energimyndigheten 2010).

$$LCC = INV + NV_{energi} + NV_{underhåll} \quad \text{Ekvation 3.6}$$

Nuvärdet av en årligen återkommande kostnadskomponent beräknas genom att multiplicera en nusummefaktor med årskostnaden. För en enskild kostnadskomponent beräknas nuvärdet genom att multiplicera nusummefaktorn med den enskilda kostnaden. (Energimyndigheten 2010).

$$NV = f_{nusumma} * \text{årskostnad (eller enskild kostnad)} \quad \text{Ekvation 3.7}$$

Nusummefaktor tar hänsyn till åtgärdens tekniska livslängd, reala kalkylräntan samt reala energiprisökningen. Nusummefaktorn skiljer sig mellan årligen återkommande och enskilda kostnadskomponenter. För en årligen återkommande kostnad kan den avläsas ur tabell eller beräknas enligt ekvation 3.8 (Energimyndigheten 2010).

$$f_{nusumma, \text{årlig}} = \frac{1 - (1 + (r_k - r_p))^{-n}}{(r_k - r_p)} \quad \text{Ekvation 3.8}$$

En enskild kostnad kan vara en återinvestering av ett uttjänt system eller en reparationskostnad. Nusummefaktorn för en enskild kostnad kan avläsas ur tabell eller beräknas med ekvation 3.9 (Energimyndigheten 2010).

$$f_{nusumma, \text{enskild}} = (1 + (r_k - r_p))^{-n} \quad \text{Ekvation 3.9}$$

Energiprisökning

Lönsamheten för en åtgärd är sammankopplad med energiprisets utveckling. Om energipriserna ökar blir åtgärden mer lönsam och vice versa. Framtida priser för fjärrvärme och el är osäkra vilket medför osäkerhet kring lönsamheten. Fjärrvärmepriset har ökat mellan 2,5 och 5,2 % per år sedan 2000. De

senaste två åren har ökning stabiliserats kring 3 %. Elpriset består av kostnad för elnät, elhandel och elskatt. Det totala priset skiljer mycket mellan olika år vilket främst beror på att elhandelspriserna varierar kraftigt. År 2011 ökade elpriser 5,2 % jämfört med 2010 (Nils Holgersson-gruppen 2011).

Den närmsta tioårsperioden förväntas ett kraftigt överskott av producerad el i det nordiska systemet främst på grund av utökad vindkraft och kärnkraft. Om inte hela överskottet av el kan exporteras bör elhandelspriserna sjunka under perioden. Därmed kan elprisökningen antas lägre för kommande år än tidigare. Sverige är numera uppdelat i fyra elområden. Det innebär att elpriser är olika beroende på var i landet konsumtionen sker (Nils Holgersson-gruppen 2011).

4. Befintliga tekniklösningar

Genom intervjuer med tillverkare och leverantörer av värmeväxlare och värmepumpar har kunskap inhämtats kring utbudet av komponenter och system som finns tillgängliga på marknaden. Sammanställningen ska ge en uppfattning om vad gruppen ser för utvecklingsmöjligheter av komponenter och system samt vad det finns för hinder för vidare utvecklingen.

Tillfrågade tillverkare och leverantörer

- Power Products Europe AB – Bo Johannesson
Tillverkare av spillvattenvärmeväxlare (Super Singlex)
- Ekologiska byggvaruhuset – Erik Hedenstedt
Leverantör av spillvattenvärmeväxlare (Power-Pipe) och duschvärmeväxlare (Miljødusj)
- ReCalor – Lasse Törnqvist
Tillverkare av duschvärmeväxlare
- Ayma – Markku Marttila
Tillverkare av duschvärmeväxlare (WWRx)
- Menerga – Patrick Löfberg
Tillverkare av spillvattenvärmeväxlare och värmepumpar för grävatten
- Nibe – Per Törnkvist
Tillverkare av värmepumpar

4.1 Spillvattenvärmeväxlare

Användningen av värmeväxlare för att ta tillvara på värmen i spillvatten har tidigare begränsats till industrin och publika byggnader som simhallar. Hög varmvattenförbrukning har erbjudit god lönsamhet för värmeåtervinning inom de kategorierna. På senare tid har också intresset för värmeåtervinning av spillvatten i bostadshus ökat (Leidl m.fl. 2009). Spillvatten från bostäder är nedsmutsat och ställer speciella krav på återvinningskomponenter. Det finns olika typer av värmeväxlare som lämpar sig för att göra värmeuttag ur spillvatten. De olika principerna beskrivs i kommande text.

Avloppsvatten från bostäder innehåller mycket smuts, fett och fasta partiklar vilket ställer höga krav på värmeväxlare. Beroende på var värmeuttaget sker är vattnet olika mycket nedsmutsat. Om värmeuttaget sker i anslutning till dusch kan flera värmeväxlare användas då duschvatten är rent relativt övrigt spillvatten. Om värmeuttaget sker då spillvattnet lämnat lägenheten kan färre värmeväxlartyper användas. En värmeväxlare som ska återvinna värme ur spillvatten bör inte försämra avloppsfunktionen. Den ska alltså kunna integreras med befintligt avloppsrör utan att risk för igensättning.

Liggande rörvärmeväxlare

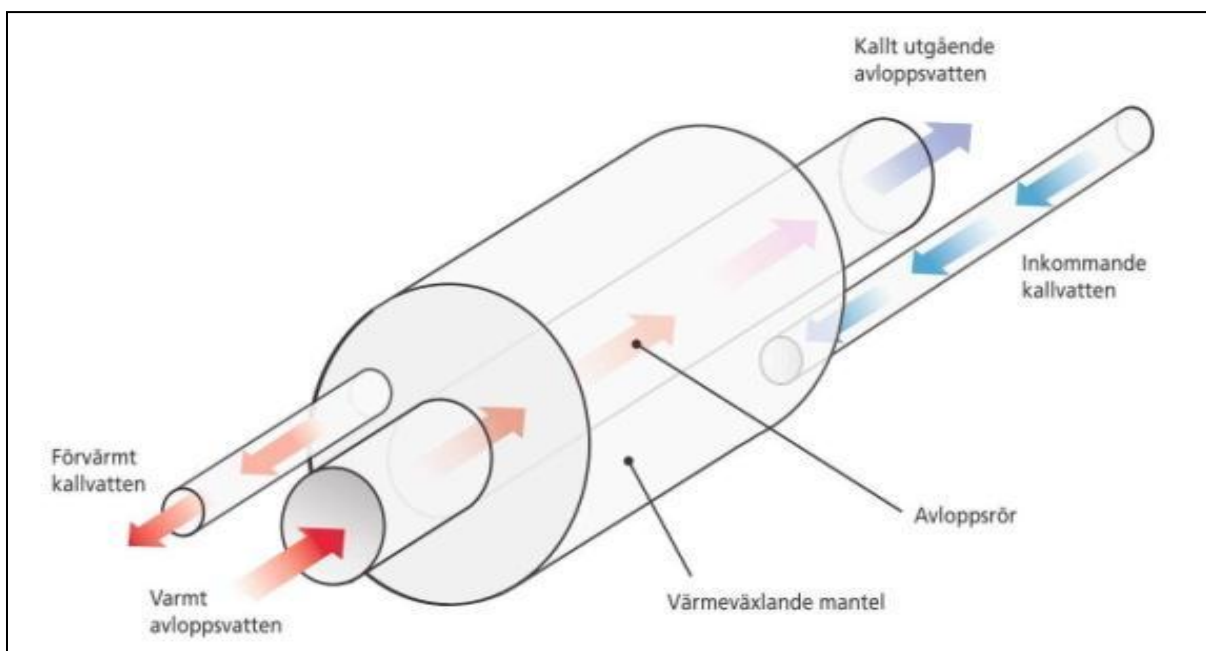
Den vanligast förekommande värmeväxlaren för värmeåtervinning av spillvatten i flerbostadshus är en liggande rörvärmeväxlare. Växlaren är vanligtvis ungefär sex och en halv meter lång, tillverkad i stål, några hundra kilo tung och finns i diametrar upp till 600 mm. Ungefär hundra enheter säljs varje år varav majoriteten installeras i flerbostadshus. Växlaren har installerats vid renovering av byggnader men oftast används den vid nybyggnation.

Växlaren installeras horisontellt och ersätter en del av den befintliga avloppsledningen i fastigheten innan den ansluter till det kommunala avloppsnätet. En växlare tar följaktligen emot spillvatten från

samtliga lägenheter som är anslutna till samma avloppsledning. Växlaren kan installeras upphängd i tak, på väg eller i golv i källare. Det är även möjligt med markförläggning men det är ofördelaktigt eftersom värmeförluster inte kan tillgodogöras byggnaden. Dessutom ökar då värmeförlusterna i ledningarna till och från värmeväxlaren.

Vid renovering är det viktigt att tänka på värmeväxlarens storlek och hur den ska komma på plats i fastigheten. Det är också viktigt att växlaren placeras så att färskvattenledningen mellan värmeväxlaren och varmvattenberedaren inte blir för lång. Ett problem kan vara att avloppet från fastigheten har flera utlopp till det kommunala nätet, det vill säga att spillvattnet aldrig samlas i en punkt.

Växlaren består av två helt åtskilda rörsystem vilket ser till att spillvatten och tappvatten inte kan komma i kontakt med varandra. I figur 4.1 visas den grundläggande principen för den här typen av värmeväxlare. Det centrala röret, som är avsett för spillvatten, är av samma dimension som omkringliggande avloppsledningar och har ingen riktningsförändring. Därmed påverkar inte värmeväxlaren avloppets funktion. Det inkommande kallvattnet bildar en kallvattenmantel som cirkulerar kring spillvattenröret med hjälp av ledningsskenor. När varmt spillvatten möter inkommande kallvatten i värmeväxlaren förvärms kallvattnet innan värmecentralen. I ett flerbostadshus är det endast aktuellt att värma den del av färskvattnet som ska beredas till varmvatten.



Figur 4.1 - Principskiss över en liggande spillvattenvärmväxlare (Energikontoret Skåne 2010)

Växlaren kan, beroende på hur den installeras, antingen vara fylld med avloppsvatten eller fungera som ett vanligt avloppsrör där vattnet rinner igenom obehindrat. Fördelen med det första alternativet är att kontaktytan mot manteln av tappkallvatten blir större samt att värmeavgivningstiden blir längre. Dessutom kan en sådan inrättning till viss del lagra värme om inkommande kallvatten inte möter det utgående avloppsvattnet. Nackdelen är att risken för igensättning ökar.

Värmeväxlaren är helt passiv och kräver inget underhåll. Tanken är att fasta partiklar i spillvattnet ska rengöra insidan av växlaren. Det finns alltid en renslucka nedströms värmeväxlaren genom vilken växlaren kan rensas om den av någon anledning skulle sätta igen.

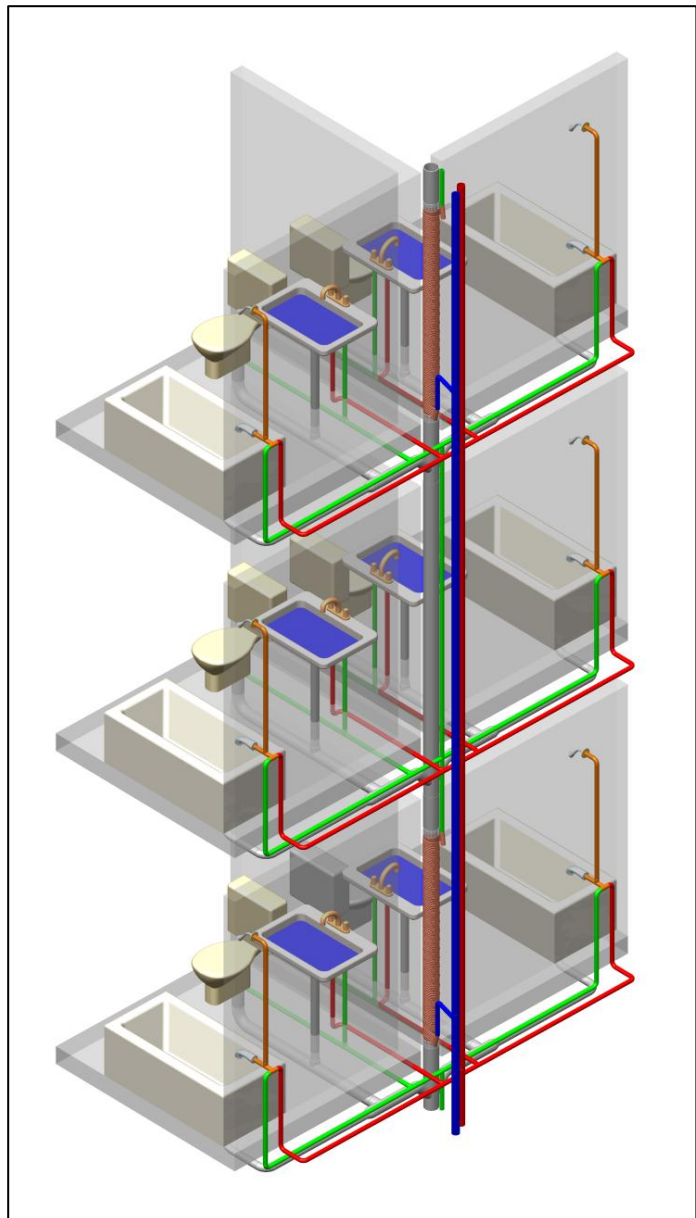
Det finns inga mätningar över temperaturverkningsgrad på värmeväxlaren. Tillverkaren uppskattar dock att mellan 600 och 1 700 kWh vanligtvis kan återvinnas per lägenhet och år beroende på de boendes vattenförbrukning.

Stående rörvärmewäxlare

Den här typen av värmeväxlare är vanliga i villor, främst i Nordamerika, men kan även användas i flerbostadshus. I Sverige är än så länge väldigt få exemplar sålda. Växlartypen tillverkas i olika diametrar för att passa de olika storlekar som förekommer på avloppsledningar. Växlaren är tillverkad i koppar och kan vara upp till tre meter lång.

Enheten placeras i linje med och ersätter en del av en vertikal avloppsledning. Värmeväxlaren består av ett centralt rör avsett för spillvatten och ett omgärdande rörsystem för kallvatten. För att tryckförlusterna inte ska bli för stora på kallvattensidan kan värmeväxlaren kopplas till maximalt fyra lägenheter.

Vid ett stambyte där de vertikala stammarna byts ut kan värmeväxlare integreras i stammarna. Då kan växlare installeras ovanpå varandra i flera våningsplan vilket kan vara nödvändigt i stora byggnader. I figur 4.2 illustreras tanken bakom installationen i befintliga flerbostadshus. Om en fastighet har källare kan värmeväxlaren installeras där om det finns tillgång till den vertikala stammen. I ett stort hus blir installationsarbetet omfattande eftersom få lägenheter kan kopplas till samma värmeväxlare.

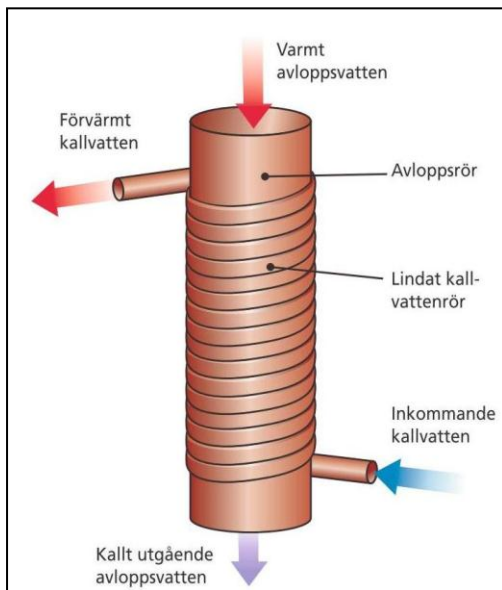


Figur 4.2 – Installation av stående rörvärmewäxlare i flerbostadshus med många våningsplan för förvärmning av inkommande kallvatten (Renewability 2011)

Idén med värmeväxlaren är att varmt spillvatten faller längs med växlarens centrala rör och lägger sig som en hinna längs dess inre väggar. Därmed får spillvattnet stor kontaktyta mot värmeväxlaren trots

att den aldrig är fylld med spillvatten. Runt det centrala röret är ett eller flera mindre rör tätt lindade i vilket det inkommande kallvattnet flödar uppåt. I figur 4.3 beskrivs principen för den här typen av växlare. Det finns också varianter som, istället för de lindade rören, har en kallvattenmantel kring det centrala röret. I och med att tappkallvattnet förvärms kommer mindre tappvarmvatten att behövas i blandaren. Det minskar varmvattenanvändningen och därmed energianvändningen för varmvatten.

Eftersom spillvatten värme inte kan lagras i den här typen av värmewäxlare fungerar tekniken bara då tappning och tömning av varmvatten sker samtidigt (Leidl m.fl. 2009). Dessutom tar det mellan två och tre minuter att värma upp värmewäxlaren innan verkningsgraden stabiliseras (Schuitema m.fl.



Figur 4.3 - Principskiss över en stående spillvattenvärmewäxlare (Energikontoret Skåne 2010)

2005). Det är därför främst vid duschning som värme kan återvinnas med växlartypen. Om fler lägenheter är kopplade till enheten kan en viss sammanlagringseffekt uppnås, det vill säga att värmewäxlaren redan är uppvärmd då en mängd spillvatten går in i värmewäxlaren.

Värmewäxlaren är passiv och kräver inget underhåll. Det centrala röret, där spillvattnet flödar, är av samma dimension som omkringliggande avloppsledningar och stoppar inte upp vattnet. Därmed finns ingen ökad risk för igensättning.

Växlartypen har testats av på University of Waterloo. Olika modeller har olika verkningsgrad vilket beror mycket på diameter och längd, alltså den värmeöverförande ytan. Temperaturverkningsgraden varierar mellan 31,5 och 72,7 % beroende på modell. I

flerbostadshus är det rimligt att använda modeller med 4 tum diameter (ungefär 10 cm) och längden mellan 1,83 och 3,05 meter. Växlare inom det intervallet har temperaturverkningsgrad mellan 62,9 och 72,2 %. Mätningarna utfördes för olika flöden och med en spillvattentemperatur på 36 °C och en kallvattentemperatur på 8 °C. Växlarna hade vid mätningen balanserat flöde vilket betyder att spillvattenflödet och kallvattenflödet var lika stora. Verkningsgraden skulle kunna öka ytterligare om kallvattenflödet vore lägre än spillvattenflödet.

Det av värmewäxlaren förvärmade tappkallvattnet kommer att bli stående i kallvattenledningarna mellan spolningar. Tappkallvattnet kan då ha en temperatur omkring rumstemperatur. Det är aldrig bra med stående vatten, framförallt inte om det är vid en temperatur som tillåter tillväxt av legionellabakterier. Kallvatten och varmvatten som står still i ledningar blir dock rumstempererat efter en tid även utan värmewäxlare och alltså borde inte värmewäxlaren tillföra något problem med Legionella.

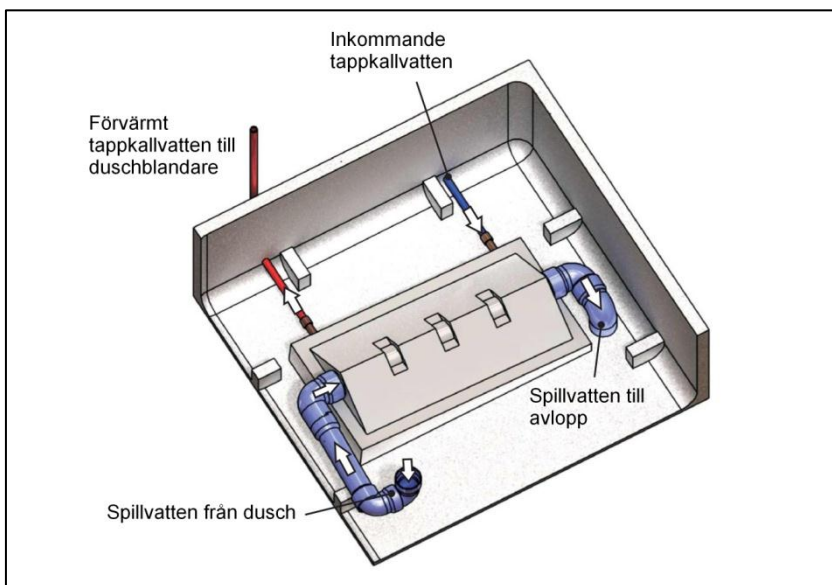
Duschvärmewäxlare

Det finns en mängd olika duschvärmewäxlare tillgängliga med varierad konstruktion och funktion. Eftersom att duschvatten är förhållandevis rent jämfört med annat spillvatten finns större möjligheter att använda effektivare värmewäxlare, såsom plattvärmewäxlare. Därmed finns möjlighet

att tillverka enheter i små storlekar och med god verkningsgrad. Duschvärmare uppnår maximal värmeöverföring väldigt snabbt. Dessutom sker värmeuttaget nära värmekälla vilket medför att duschvattnet har hög temperatur in i värmare. Olika material som används är rostfritt stål, aluminium och koppar.

En duschvärmare installeras så att den tar emot spillvatten från en dusch. Således behövs det en duschvärmare per lägenhet i ett flerbostadshus. Värmaren kan antingen vara en fristående enhet som placeras under duschkabin eller badkar alternativt integreras med golvet under duschen. Det finns också duschvärmare i utvecklingsstadiet som integreras i duschkabin, badkar eller golvbrunn. Vid renovering av våtrum kan duschvärmare enkelt integreras.

Principen är att det varma duschvattnet samlas upp i värmaren innan det går ned i avloppet. Genom värmaren passerar också det inkommande kallvattnet innan det går till blandaren. I



duschvärmaren sker en värmeöverföring från duschvattnet till det inkommande tappkallvattnet och således behövs det en mindre mängd tappvarmvatten i blandaren. I figur 4.4 illustreras en enkel duschvärmare.

För att återvinningsgraden inte ska försämrats hos den här typen av värmare är det lämpligt att rengöra de värmeöverförande ytorna efter en tid. Produkterna är anpassade för att kunna

Figur 4.4 – Principskiss över en duschvärmare som är avsedd att placeras mellan duschkabin och golvbrunn (Fercher 2011)

rengöras enkelt och det räcker att underhålla värmaren någon gång per år.

SP (Sveriges tekniska forskningsinstitut) har gjort mätningar på en duschvärmare. Mätningarna visade att temperaturen på inkommande kallvatten kunde höjas från 5 °C till 28,5 °C då inkommande duschvattnet hade temperaturen 39,3 °C. Utgående duschvatten hade en temperatur på 23,7 °C. Mätningarna utfördes för två olika duschflöden, 14 och 15,8 liter per minut, med liknande resultat. Flödet genom värmaren var obalanserat och kallvattenflödet var omkring 9 – 10 liter per minut. Temperaturverkningsgraden för värmaren blir enligt ekvation 3.2 68,5 %. Observera att mätningarna utfördes med väldigt hög duschtemperatur. I verkligheten faller duschvattentemperaturen några grader innan värmaren.

Enligt tillverkare ska en duschvärmare inte öka risken för legionella. När duschning är klar töms värmaren på spillvatten och det vatten som finns i ledningen från värmaren till blandaren antar rumstemperatur vilket det gör även utan värmare.

4.2 Värmepumpslösningar

Värmepumpar är ett intressant alternativ till passiva värmeväxlarna för värmeåtervinning. Med värmepumpar kan mer energi återvinnas ur spillvatten men systemen blir mer komplicerade. Spillvattnet från bostäder är oregelbundet både flödes- och temperaturmässigt. Det är inte optimalt för en värmepump att arbeta under sådana förhållanden. Därför måste spillvattnet ackumuleras i en tank för att sedan portioneras i ett jämnt flöde till värmepumpen med hjälp av en pump. Därmed är det enklast att använda gråvatten. Om svartvatten, eller kraftigt nedsmutsat gråvatten, används ställs höga krav på utrustningen och underhåll. Med värmepumpslösningar är det också lämpligt att ackumulera berett varmvatten så att värmepumpen kan arbeta med låg effekt.

Eftersom ackumulatortankar är nödvändiga för den här typen av lösningar blir utrymmesbehovet ett problem. Tankarnas storlek beror på hur stor byggnaden är men bör vara åtminstone några kubikmeter. Framför allt kan bristande utrymme bli ett problem vid renovering. Vid nybyggnation kan byggnaden anpassa efter återvinningssystemet. Dessutom måste det finnas plats för värmepumpen.

Värmepump för gråvatten

Värmepumpar för gråvatten finns tillgängliga och används bland annat i simhallar där gråvatten förekommer i stora mängder och är relativt rent. Tillämpningen ställer stora krav på värmepumpens förångare eftersom den måste kunna hantera gråvatten. Dels ska det inte finnas någon risk för igensättning och dessutom bör värmeöverförande ytor kunna rengöras för att upprätthålla verkningsgraden. Det kan lösas genom att förångaren är av rör-i-rörtyp.

Vid nybyggnation skulle systemet kunna användas då nödvändigt utrymme kan anpassas efter värmepumpsystemet. Dessutom skulle då rent gråvatten kunna separeras från övrigt spillvatten. Vid en renovering blir systemet väldigt svårt att integrera eftersom det skulle kräva stora ingrepp i avloppssystemet.

Vatten ackumuleras i en gråvattentank varpå det fördelas till värmepumpens förångare i ett jämnt flöde. Förångaren sänker temperaturen på gråvattnet ett antal grader och överför värmen till inkommande kallvatten eller värmesystem. Med spillvatten som värmekälla är det inte lämpligt att värma inkommande kallvatten till mer än omkring 35 °C. Vid högre temperaturer blir värmefaktorn för värmepumpen för låg. Alltså behövs det för värmepumpslösningar, liksom för spillvattenvärmeväxlare, med stor sannolikhet en kompletterande värmekälla.

Det är framförallt förångaren som utsätts för hård nedsmutsning från gråvattnet som kräver rengöring. Den här typen av värmepumpar är utrustade med ett automatiskt rengöringssystem. Rengöringsfunktionen görs på bestämda intervall och innebär att två rengöringsbollar pressas genom systemet. Genom att använda en fyrvägsventil kan rengöringsbollarna gå fram och tillbaka genom systemet och samma bollar används alltså hela tiden.

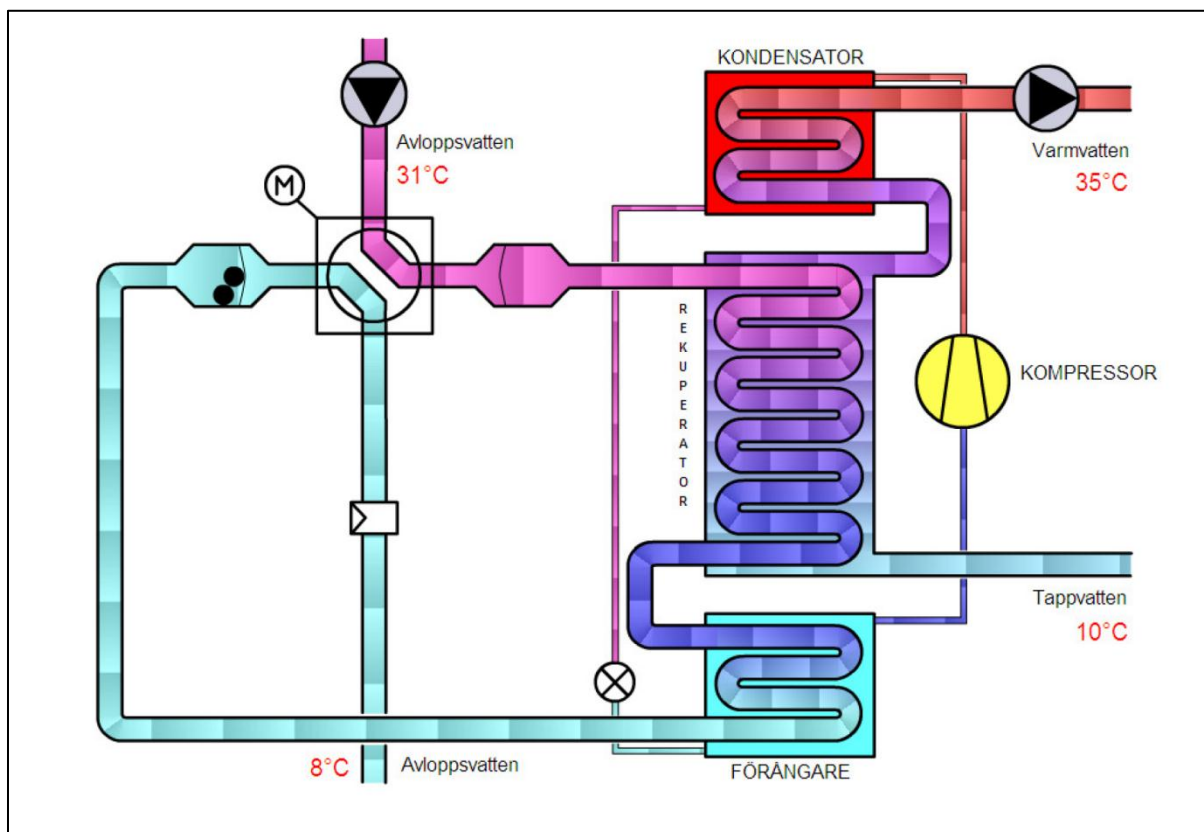
För att ackumulatortanken inte ska fyllas med fasta partiklar och smuts som skapar ohygieniska förhållanden samt igensättningsrisk krävs även en grovsil innan tanken. Grovsilen måste rengöras regelbundet men hur ofta beror på hur nedsmutsat vattnet är. Det är tveksamt om gråvatten från

kök bör användas eftersom det kan innehålla mycket matrester och andra fasta partiklar. Underhållet av grovsilen skulle då bli för omfattande.

Värmepump för gråvatten med spillvattenvärmeväxlare

Det finns återvinningssystem, främst avsedda för simhallar, där både värmeväxlare och värmepumpar används för att generera en hög återvinningsgrad. Systemet består av en rörvärmeväxlare och en värmepump med en rör-i-rörförångare. I och med värmeväxlaren och förångarens enkla konstruktion blir påverkan på spillvattenflödet och risk för igensättning låg.

Återvinningen delas upp i två steg där värmeväxlaren och värmepumpen är kopplade i serie. Först samlas allt spillvatten i en gråvattentank och därifrån distribueras det i ett jämnt flöde till återvinningssystemet. Värmeväxlare har generellt sätt en lägre kostnad per enhet återvunnen energi för en given temperatur skillnad. Därför bör värmeväxlaren placeras så den kan återvinna så mycket energi som möjligt (Liu m.fl. 2010).



Figur 4.5 – Tvåstegs återvinningssystem med värmeväxlare och värmepump för gråvatten. (M) – fyrvägsventil som aktiverar rengöringsprocessen (Menerga).

I det här fallet innebär det att spillvattnet först får flöda genom värmeväxlaren och förvärma inkommande kallvatten. Därefter flödar det något nedkylda spillvattnet genom värmepumpens förångare och ytterligare värme kan överföras till det förvärmade kallvattnet via värmepumpens kondensator. I figur 4.5 visas principen för återvinningssystemet. Det är logiskt att använda värmepumpen i ett sista steg då den kan generera högre temperaturer än värmeväxlaren. Lösningen ska inte användas för att tillföra värme till ett värmesystem eftersom det vatten som återvänder från värmedistributionssystemet har så hög temperatur att värmeväxlaren inte kan bidra med någon värme.

En given fördel med den här lösningen är att värmepumpen belastas mindre jämfört med en lösning utan värmeväxlaren. Ett sådant system ska kunna uppnå en systemfaktor på 10. Systemfaktorn definieras som avgiven värme från värmeväxlare och värmepump genom tillförd energi till värmepump.

Värmepump för gråvatten med mellanväxlare

Många värmepumpar har förångare som inte är avsedda för nedsmutsat vatten såsom gråvatten. De skulle sätta igen på grund av fett och smuts. I det fallet måste en mellanväxlare utnyttjas för att överföra värmen från spillvattnet till värmepumpens förångare. Inga tillverkar som erbjuder kompletta lösningar av sådant slag har kunna identifierats men det finns tankar på hur en sådan lösning kan se ut.

Tanken är att gråvatten ackumuleras i en tank med en inbyggd värmeväxlare. Värmeväxlaren kan vara integrerad i väggarna i tanken för att underlätta underhåll och rengöring av de värmeöverförande ytorna i tanken. När gråvattnet genomgått temperaturminskning återansluter det till vanliga avloppsledning. Värmen i gråvattnet överförs till en köldbärare som pumpas runt i en sluten krets mellan tankens värmeväxlare och värmepumpens förångare. Värmepumpen förångare tar tillvara värmen och överför den till inkommande kallvatten eller värmesystem (Meggers m.fl. 2011).

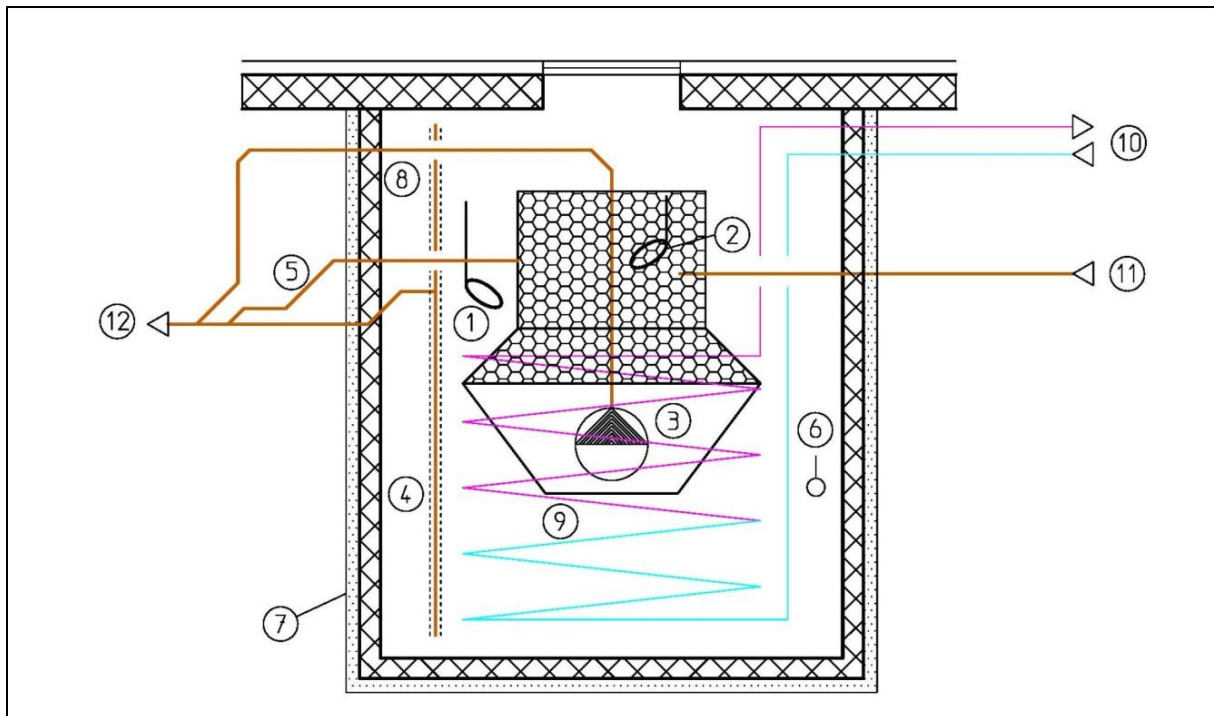
Ett problem med värmepumpslösningar är det faktum att de kan kyla ner spillvattnet till väldigt låg temperatur. I och med den låga temperaturen har fett och smuts lättare att sätta sig på värmeöverförande ytor. Det är ett problem som måste uppmärksammas.

Värmepumpslösning för svartvatten

Ett schweiziskt företag tillverkar värmepumpslösningar som kan hantera spillvatten, inklusive svartvatten, från flerbostadshus. Systemet består av en brunn, en värmeväxlare och en värmepump och är relativt utrymmeskrävande. Brunnen ska placeras utanför byggnaden för att underlätta tillsyn och rengöringsarbete. Utrymme krävs också för värmepumpen.

I figur 4.6 beskrivs principen för återvinningssystemet. Allt avloppsvatten från flerbostadshuset leds ned i en avloppsbrunn som ligger i mark men är välisolerad. I brunnen finns ett avloppsvattenfilter som fångar upp oönskade partiklar och föroreningar i spillvattnet. Avloppsfiltret är omgärdat av en värmeväxlare. I värmeväxlaren flödar en köldbärare som tar upp värme ur det filtrerade spillvattnet och överför värmen till värmepumpens förångare. Brunnen är alltid fylld till en viss nivå med spillvatten så att värmeväxlaren alltid är helt nedsänkt i spillvattnet. Värmepumpen kan med avloppsvattnet som värmekälla producera varmvatten vid 60 °C. Systemet kyler aldrig spillvattnet så att dess temperatur understiger den levererade färskvattentemperaturen (FEKA 2009).

Varje dag sker en automatisk reningsfunktion där spillvatten pumpas tillbaka genom filtret och uppfångad smuts transporteras ut i avloppsnätet. På så sätt undviks igensättning av filtret. Dessutom ska avloppsbrunnen tömmas och rengöras fullständigt varje eller vartannat år.



Figur 4.6 – Principen för återvinningssystem från FEKA. (1) lägsta vattennivå, (2) högsta vattennivå, (3) pump, (4) ståndrör, (5) översvämningledning, (6) temperaturgivare, (7) avloppsvattenbrunn isolerad från grundvatten, (8) ventilation, (9) värmeväxlare, (10) köldbärare, (11) spillvatten in & (12) spillvatten till avloppssystemet (FEKA 2009)

Bergvärmepump och spillvattenvärmeväxlare

Fastigheter som använder bergvärmepumpar för uppvärmning kan dra nytta av spillvattenvärmeväxlare. Grundidén är då att värmen från spillvattenvärmeväxlaren skulle komplettera den värme som tas upp ur berget. Det finns också bergvärmepumpar som använder frånluft som värmekälla. Då sitter ett frånluftsbatteri i frånluftskanalen och en köldbärare transporterar värmen till värmepumpen. Även i det fallet kan en spillvattenvärmeväxlare användas som kompletterande värmekälla.

Principen är att kollektorvätskan från bergvärmepumpen hämtar värme både från ordinarie värmekälla liksom spillvattenvärmeväxlaren. I och med den extra värmekällan kommer kollektorvätskan att ha en högre temperatur då den kommer till värmepumpens förångare. I och med den högre temperaturen kommer värmepumpen att ha en högre förångningstemperatur. Värmepumpen gör samma värmeuttag ur kollektorvätskan men vid en mindre temperaturdifferens mellan förångnings- och kondenseringstemperatur. Det leder till att värmepumpen får en högre värmefaktor och förbrukar mindre energi i kompressorn. Det är främst under vintern när berget är som kallast som den kompletterande värmekällan kan ge ett bidrag.

En annan fördel då värmen tas ut berggrunden och ur en spillvattenvärmeväxlare är att kollektorvätskan kommer att ha en högre temperatur då den återgår till berget. Det minskar urladdningen ur borrhålet och förbättrar systemets prestanda. Det är främst om ett borrhål har dålig cirkulation av grundvatten som återladdning är viktigt. Om bergvärmepumpen inte används under sommaren kan spillvärmes användas för enbart återladda borrhålet.

5. Intervjustudie

I följande kapitel sammställs kunskap från fastighetsägare, förvaltare, installatörer och entreprenörer. Intervjuerna ska belysa gruppens erfarenhet av värmeåtervinningssystem och åsikter kring utbudet av komponenter och system. Vidare ska det utredas vad de ser för utvecklingsbehov av för att göra värmeåtervinningssystem mer attraktiva.

Tillfrågade fastighetsägare, förvaltare, installatörer och entreprenörer:

- HSB – Roland Jonsson
- Stockholmshem – Gunnar Wiberg
- Ebab - Jukka Kauppinen
- Enstar – Peter Jordell & Jan Enegård

5.1 Energibesparingsåtgärder

De intervjuade har främst erfarenhet av liggande rörvärmeväxlare. Därför handlar följande kapitel främst om det återvinningssystemet. En del kunskap och tankar om andra tekniklösningar är också inkluderat.

Åtgärder för att minska energibehovet för varmvatten

För att minska energianvändningen för varmvatten kan flera olika åtgärder vidtas. Det två mest vedertagna metoderna är att använda snålspolande armatur och att tillämpa individuell mätning och debitering (IMD) av varmvatten. Det finns fördelar och nackdelar med båda åtgärderna. Andra åtgärder som sällan genomförs är isolering av varmvatten och VVC-ledningar samt varmvattenberedare. Vilka åtgärder som är lämpliga beror på typ av byggnad och boendevanor.

Att installera snålspolande armatur är en enkel lösning som kan sänka energianvändningen mycket. Åtgärden bör kombineras med ett stambyte där även våtrum renoveras. Annars blir installationsarbetet omständligt. Det är en enkel lösning som kan ge god effekt. Genom att installera snålspolande kranar kan energiförbrukning för varmvatten minska med upp till 40 % (Energimyndigheten 2006).

Att använda IMD är också ett intressant alternativ. Besparingen beror på hur mycket de boende ändrar sina vanor när de själv betalar för vattnet. Åtgärden framhålls som ett väldigt bra alternativ i byggnader där varmvattenanvändningen är väldigt hög i varje lägenhet. Installation av IMD kan spara 15 – 30 % av energiåtgången för varmvatten (Boverket 2008). I hus som har IMD kan en duschvärmeväxlare vara ett bra komplement. I och med att den boende själv betalar för varmvattnet finns incitament till att ta hand om värmeåtervinningsutrustningen.

Att återvinna värme ur spillvattnet är en ovanlig åtgärd. Vanligtvis är det i första hand prioriterat att minska varmvattenförbrukningen och i andra hand kan värme utvinnas ur vattnet. Om varmvattenförbrukningen kan minskas effektivt minskar nyttan med värmeåtervinningen.

Motiv bakom energibesparingsåtgärder

När en energibesparingsåtgärd övervägs är lönsamheten den viktigaste faktorn. En investering måste ge bra avkastning. Ibland kan en åtgärd även övervägas för att ge en byggnad en stark miljöprofil. Vid nybyggnation med höga krav på energiprestanda kan återvinning ur spillvatten vara ett alternativ för att minska energianvändningen. I hus med väldigt låg energianvändning är varmvatten en stor del av

det totala energibehovet. Då kan det vara en intressant punkt att angripa för att minska energianvändningen.

Utöver sparad energi måste också andra ekonomiska aspekter vägas in. Ett exempel kan vara att en jämförelse mellan att öka isoleringen och att installera värmeåtervinning av spillvatten. Kanske ger den ökade isoleringen en större energivinst men den uthyrbara arean minskar. Alltså kan värmeåtervinning i slutändan bli den ekonomiskt mest fördelaktiga lösningen.

Varför installeras inte värmeåtervinning i flerbostadshus?

Det finns flera orsaker till att värme sällan återvinns ur spillvatten. Det är en relativt oprövad energibesparingsåtgärd och det råder stor osäkerhet kring hur väl olika tekniklösningar fungerar. Eftersom åtgärden är oprövad övervägs den sällan av fastighetsägare, konsulter och installatörer vid projektering. Det är också väldigt osäkert vad åtgärden skulle ge för avkastning. Det största problemet med återvinning ur spillvatten är att spillvattenflödena är oförutsägbara och stötvisa. Dessutom sker inte alltid avtappning av spillvatten samtidigt som det finns ett varmvattenbehov. Viktiga egenskaper hos en värmepump är att den ger god återvinningsgrad och att det är en enkel lösning med litet behov för underhåll och liten risk för driftstopp.

5.2 Etablerad teknik

Den enda tekniken som används i flerbostadshus i Sverige är den liggande rörvärmepumpen från Power Products Europe. Installation har skett främst vid nybyggnation men även i befintlig bebyggelse (med och utan stambyte). Återvinningsgraden uppfattas som god och har inte försämrats med tiden. Den återvunna energin i värmepumpen är ren vinst eftersom varken el eller annan energi behövs. I de flesta fallen har värmepumpen installerats för att förvärma inkommande kallvatten innan varmvattenberedaren. Det förekommer också att allt inkommande kallvatten har förvärmats samt att värmepumpen har används som kompletterande värmekälla till värmepump.

Begränsningar

Det finns en del nackdelar med tekniken. Dels sker värmeåtervinningen långt ifrån källan vilket innebär att temperaturen på spillvattnet hinner sjunka. Dessutom kan det förvärmade vattnet tappa temperatur mellan värmepumpen och varmvattenberedaren. Om värmepumpen är installerad inom byggnadens klimatskärm tillgodogörs dock förlusterna byggnaden. En tveksamhet är hur länge spillvattnet befinner sig i värmepumpen. Om det passerar värmepumpen för snabbt hinner inte värmen avges. Det kan vara ett problem framförallt i höga hus. Vattnet skulle då behöva bromsas upp på något sätt.

En stor begränsning för värmepumpstypen i befintliga flerbostadshus är installationssvårigheter. Dels är värmepumpen väldigt stor och det kan vara svårt att hitta en lämplig plats för den. Det är inte alla byggnader som har en källare där värmepumpen kan installeras. Ibland måste också byggnadsdelar rivas för att få in värmepumpen. Dessutom måste alla avloppsledning samlas i en punkt vilket kan vara problematiskt om huset har flera utlopp till det kommunala avloppsnätet. I värsta fall finns varken källare eller gemensamt utlopp. Det brukar visa sig i ett tidigt skede om det är möjligt att installera värmepump eller inte. Vid nybyggnation är det betydligt lättare att tillämpa tekniken då avlopps- och färskvattensystemet kan anpassas efter värmepumpen. Oavsett installationslösning är det viktigt att värmepumpen är ordentligt isolerad.

Utvecklingsmöjligheter

Det finns flera förbättringsmöjligheter för återvinningstekniken. Tekniken anses relativt enkel och kostnaden tros kunna bli lägre om fler aktörer verkade inom området. Med en lägre kostnad skulle åtgärden bli mer lönsam och därmed mer attraktiv.

En viktig egenskap hos en värmeväxlare avsedd för spillvatten från bostadshus är förmågan att lagra energi. Detta eftersom spillvattenflöden är ojämna och inte alltid sammanfaller med varmvattenberedning. Värmeväxlaren har en viss lagringseffekt i och med att spillvatten stannar upp i växlaren. Det är däremot osäkert hur väl lagringen fungerar och hur mycket värme som kan tas ur spillvattnet vid hastiga och stora flöden. Dessutom skulle det behövas flera modeller som passar efter olika byggnadens utformning, storlek och förutsättningar.

Byggnader lämpliga för värmeåtervinning

En byggnad måste ha ett visst spillvattenunderlag för att tekniken ska vara lönsam. Flerbostadshus med 40 – 50 lägenheter eller en energianvändning för varmvatten om 100 – 125 MWh ger bra förutsättningar. Dessutom måste det vara möjligt att installera värmeväxlaren på ett lämpligt ställe. Vid nybyggnation är installationen inget problem. I det befintliga beståndet är hus från miljonprogrammet lämpliga kandidater för återvinning. Lägenheterna har generellt sett hög varmvattenförbrukning och husen är ofta stora med många lägenheter. Det finns ofta källare med gott om installationsutrymme. I befintlig bebyggelse är energianvändningen hög och återvinning av spillvärme konkurrerar med andra mer konventionella åtgärder som kan ge större energibesparingar.

5.3 Andra värmeåtervinningssystem

Ingen av följande återvinningssystem är etablerade i flerbostadshus i Sverige. Åsikterna går isär bland de intervjuade om möjligheterna med de olika systemen.

Stående rörvärmeväxlare

Den stående rörvärmeväxlaren är intressant men ingen erfarenhet finns från tekniken i flerbostadshus. I befintliga hus kan installationsarbetet bli komplicerat. Framförallt i höga hus där flera enheter behövs per stam och generellt i stora byggnader eftersom väldigt många enheter behövs. I låga hus med källare finns bra möjligheter till att använda växlaren. I nyproduktion är tekniken lättare att implementera.

I flerbostadshus är det framförallt intressant att förvärma tappkallvatten vid duschning. Om någon tappar enbart kallvatten samtidigt som någon tappar ut varmvatten är det möjligt att kallvattnet förvärms oavsiktligt. Vid måttlig förvärmning tros det inte vara ett problem. Ett alternativ är att dra separata kallvattenledningar till tappställen där riktigt kallt tappvatten behövs.

De stående värmeväxlarna tros inte kunna vara lika effektiva som de vedertagna värmeväxlarna för flerbostadshus. Den har ingen ackumulering och kan alltså bara återvinna vid simultana spill- och färskvattenflöden. Framställs främst som ett alternativ för mindre flerbostadshus och villor. En möjlighet vore att utveckla produkten så den får någon typ av energilagring.

Duschvärmeväxlare

Den stora fördelen med duschvärmeväxlaren är att den kan placeras nära värmekällan och därmed kan utnyttja varmt spillvatten. I stora flerbostadshus skulle installationsarbetet bli omfattande

eftersom det krävs en växlare per lägenhet och det krävs tillgång till varje lägenhet. Framställs som ett bra alternativ om fastigheten har individuell mätning och debitering av varmvatten. Då ligger det i de boendes intresse att underhålla värmeväxlaren för att upprätthålla dess verkningsgrad. Att de boende måste underhålla utrustningen är annars den största begränsningen för tekniken. Det kan vara svårt att motivera i ett flerbostadshus där varmvatten ingår i hyran.

Värmepumpslösningar

Generellt sätt blir värmepumpslösningar mer komplicerade än passiva värmeväxlingssystem. Dessutom ökar elanvändningen vilket är utsatt för konkurrens från fjärrvärme. Det kan vara svårt att använda spillvattenvärme som primär värmekälla till en värmepump på grund av det ojämna flödet. Det finns andra värmekällor som har mer förutsägbara och kontinuerliga som passar bättre. Värmepumpar ska helst arbeta med jämn belastning och utan för mycket stopp. Tidigare har flera försök gjorts med värmepumpar där gråvatten har samlats upp i tankar för att utjämna flöden. Lösningarna har sällan gett tillfredställande resultat. En risk med värmepumpar är att spillvattnet kan kylas för kraftigt. Då kan fett och smuts lättare sätta sig på avloppsrören.

En värmepump kan även användas i kombination med spillvattenvärmväxlare. Istället för att kallvatten flödar genom värmväxlaren flödar där en köldbärare som är kopplad till en värmepump. Värmepumpen kylvärmeväxlaren ordentligt och på så sätt kan mycket energi återvinnas ur spillvattnet. En sådan lösning kräver någon typ av ackumulering av värme på grund av det ojämna flödet. Antingen kan värmväxlaren ha en stor inbyggd volym för köldbäraren alternativt måste det finnas en tank mellan värmväxlaren och värmepumpen. När varmt spillvatten finns i värmväxlaren pumpas köldbärare från botten av tanken, tar upp värme och återvänder till tankens topp. När värmebehov uppstår går värmepumpen igång. Köldbärare tas från toppen av tanken, avger värme till värmepumpens förångare och återgår till botten av tanken.

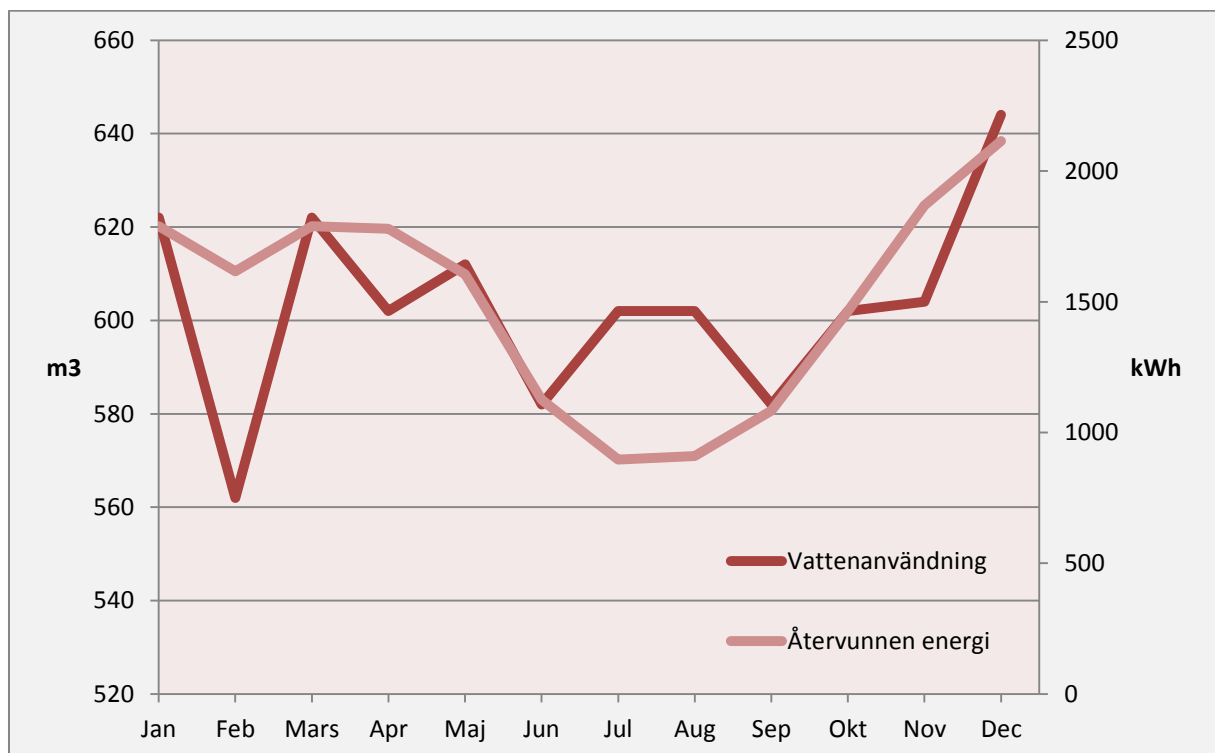
6. Sammanställning av kunskap från befintliga installationer

I fastigheter är det ovanligt med värmeåtervinning av spillvatten och det är än mer ovanligt att det finns uppföljning och utvärdering av installerad teknik. Det finns dock några fastigheter, främst där återvinning sker med stora rörvärmeväxlare, där fastighetsägaren valt att följa upp installationen med energimätningar. I följande kapitel redovisas erfarenheterna från några sådana installationer. Informationen om Måseskär och Portvakten har erhållits från Gunnar Wiberg (Stockholmshem) och Magnus Fransson (Hyresbostäder i Växjö).

6.1 Måseskär

Stockholmshem byggde 2005 kvarteret Måseskär och valde då att installera avloppsvärmeväxling. Kvarteret består av två hus med sammanlagt 50 lägenheter med en total yta om 3500 m² bo- och lokalarea. Utöver avloppsvärmeväxling har andra åtgärder tagits för att minska energibehovet för varmvatten. Snålspolande armatur och perlatorer finns installerad i samtliga lägenheterna.

Återvinningssystemet består av rörvärmeväxlaren Super Singlex från tillverkaren Power Products Europe. Värmeväxlaren är inkopplad så att allt utgående spillvatten förvärmer den del av inkommande kallvatten som sedan ska beredas till varmvatten.



Figur 6.1 - Vattenanvändning samt återvunnen energi månadsvis under 2010 i Måseskär. På höger axel avläses återvunnen energi i kilowattimmar och på vänster axel avläses vattenanvändningen i kubikmeter.

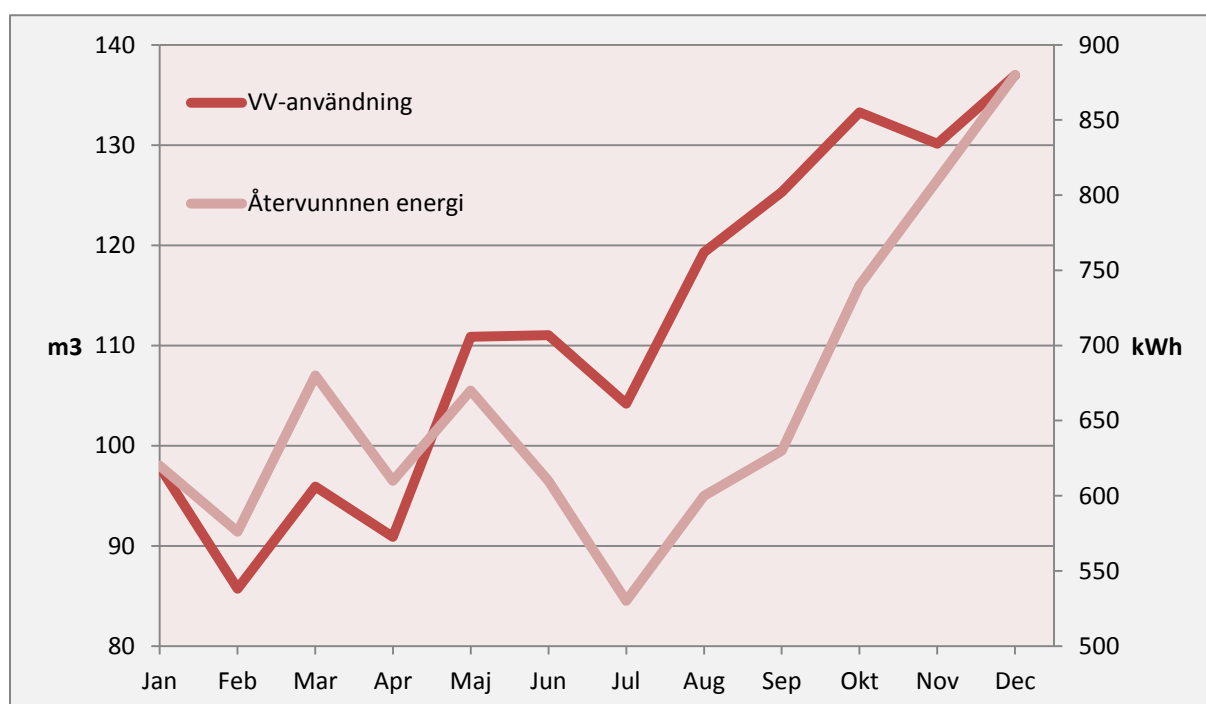
Sedan byggnaden uppfördes har mätningar av vattenförbrukningen genomförts och dessutom har värmeväxlaren varit utrustad med temperatur- och flödesmätare på kallvattensidan för att kunna beräkna återvunnen energimängd. Den totala vattenförbrukningen uppmättes 2010 till 7 238 m³ per år vilket motsvarar 397 liter per lägenhet och dygn. Varmvattenandelen av totala förbrukningen tros vara omkring 40 %. Den återvunna energimängden i värmeväxlaren uppmättes samma år till 18 042 kWh vilket motsvarar 361 kWh per lägenhet. Energibesparingen per golvyta var därmed 5,15 kWh/m² (BOA & LOA).

I figur 6.1 redovisas vattenanvändningen samt återvunnen energi i värmeväxlaren månadsvis under 2010. Vattenanvändningen är någorlunda jämn över året och avviker som mest ungefär 7 % från medelvärdet. Värmeåtervinningen däremot avviker upp till 40 % från det månadsvisa medelvärdet över året. Det är tydligt att värmeåtervinningen är större under vintern än under sommaren. Återvinningen är framförallt låg från juni till september. Det kan förklaras med att inkommande färskvatten till fastigheten innehar en hög temperatur under den perioden och därmed inte kan ta upp lika mycket värme från spillvattnet.

6.2 Portvakten

Hysesbostäder i Växjö färdigställde 2009 kvarteret Portvakten Söder vilket är byggt med trästomme och passivhusteknik. Sammanlagt finns det 64 lägenheter fördelade i två punkthus med totalytan 4950 m² (BOA & LOA). För att minska energibehovet för varmvatten har lägenheterna snålspolande armatur, individuell mätning och debitering av varmvatten (IMD) samt avloppsvärmväxling.

Den installerade värmeväxlaren (Super Singlex) är installerad under mark mellan de två huskropparna. Allt utgående spillvatten passerar värmeväxlaren vilken förvärmer inkommande kallvatten som ska beredas till varmvatten. I värmecentralen, som ligger i husgruppen Portvakten Norr, används fjärrvärme för att generera varmvatten.



Figur 6.2 – Varmvattenanvändning samt återvunnen energi månadsvis under 2011 i Portvakten. På höger axel avläses återvunnen energi i kilowattimmar och på vänster axel avläses varmvattenanvändningen i kubikmeter.

Mätningar över energibesparingar och vattenförbrukning har genomförts sedan byggnaden uppfördes. Under 2010 var inte alla lägenheter uthyrda varför mätningar från det året inte återspeglar den verkliga värmeåtervinningen. Under 2011 har i princip alla lägenheter varit uthyrda. Den totala vattenförbrukningen är 3824 m³ per år vilket motsvarar 164 liter per lägenhet och dygn. Mängden varmvatten som andel av den totala vattenförbrukningen är 35,1 procent. Den energimängd som återvinns varje år är 7956 kWh. Det motsvarar 124,3 kWh per lägenhet eller 1,61 kWh/m² (BOA & LOA).

I figur 6.2 redovisas hur mycket energi värmeväxlaren återvann samt hur stor varmvattenanvändningen var per månad under 2011. Det är tydligt att mängden återvunnen energi är starkt beroende av varmvattenanvändningen. I slutet av året ökade varmvattenanvändningen och således den återvunna energimängden. Det kan förklaras med att samtliga lägenheter då var uthyrda och att hyresgästerna börjat bruka sina lägenheter. Värmeväxlaren kan med det resonemanget antas återvinna ännu mer energi kommande år.

Det kan också noteras att den återvunna energimängden är större i mars än i juli trots att varmvattenanvändningen är större i juli. Det beror på att inkommande färskvatten till fastigheten har en betydligt lägre temperatur i mars än i juli och således har större möjlighet att ta upp värme från spillvattnet.

6.3 Bonny, Kanada

Fastigheten 4953 Bonny i Quebec är ett tre våningar högt flerbostadshus med sex lägenheter. Återvinningsystemet för spillvatten består av två stycken värmeväxlare från tillverkaren Renewability (Power-Pipe C4-40 & C4-42) vilka tar emot spillvatten från tre lägenheter vardera. Värmeväxlarna är installerade i fastighetens källare och förvärmer inkommande tappkallvatten till fastigheten.

Under 2009 och 2010 genomfördes mätningar på utrustningen för att avgöra dess prestanda. Mätningarna utfördes bara under knappt ett halvår och för att få jämförbara resultat uppskattades den årliga energibesparingen. Värmeväxlarna kunde tillsammans minska energibehovet för varmvatten med 14,5 % (Paillé 2010).

6.4 Sydpoolen

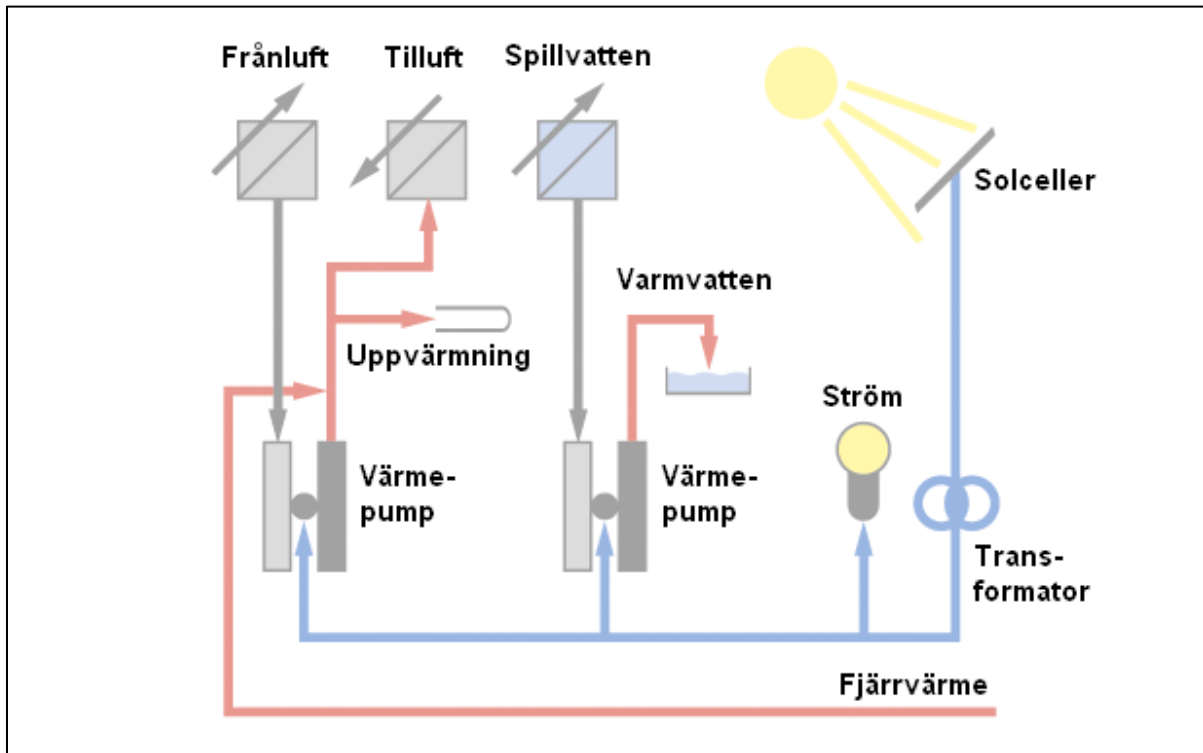
I simhallen Sydpoolen återvinns värme ur gråvatten från simhallens många duschar. Återvinningsystemet består av tre ackumulatortankar och ett aggregat med seriekopplad värmeväxlare och värmepump (AquaCond från Menerga). Duschvattnet leds först till de tre seriekopplade ackumulatortankarna varpå det pumpas vidare till värmeväxlaren och värmepumpen. Den återvunna värmen tillförs inkommande kallvatten.

Under en vecka 2004 mättes temperatur på spillvatten och kallvatten, spillvattenflödet samt värmepumpens elförbrukning för att avgöra hur mycket energi som systemet återvinner. Vattenförbrukningen uppgick under veckan till 280 m³. Återvinningsystemet sänkte, i medel, gråvattentemperaturen med 14,8 °C och lyfte det inkommande kallvattnets temperatur med 22,8 °C. Under veckan återvanns 4800 kWh ur gråvattnet och 5550 tillfördes inkommande kallvatten. Strömförbrukningen till värmepumpen uppgick till 840 kWh och därmed hade aggregatet en värmefaktor på 6,7 (Grette 2004).

6.5 Eulachhof, Schweiz

Området Eulachhof består av två byggnader med sex våningar och 132 lägenheter samt några kommersiella inrättningar. Den totala uppvärmda ytan är 20 400 kvadratmeter (Atemp). Husen är byggda som nollenergihus och använder värmepumpar, fjärrvärme från avfall, solceller samt passiv solenergi för att täcka energibehovet. Värmekällorna till värmepumparna är frånluft och spillvatten. I figur 6.3 visas ett schema över byggnadernas energiförsörjning. Varmvattenberedningen sker med en

värmepump som använder spillvatten som värmekälla och elektricitet från solcellerna för att driva kompressorn. Det installerade systemet kommer från den Schweiziska tillverkaren FEKA.



Figur 6.3 – Schema över uppvärmning- och varmvattensystem i Eulachhof (WasteWaterHeat 2007)

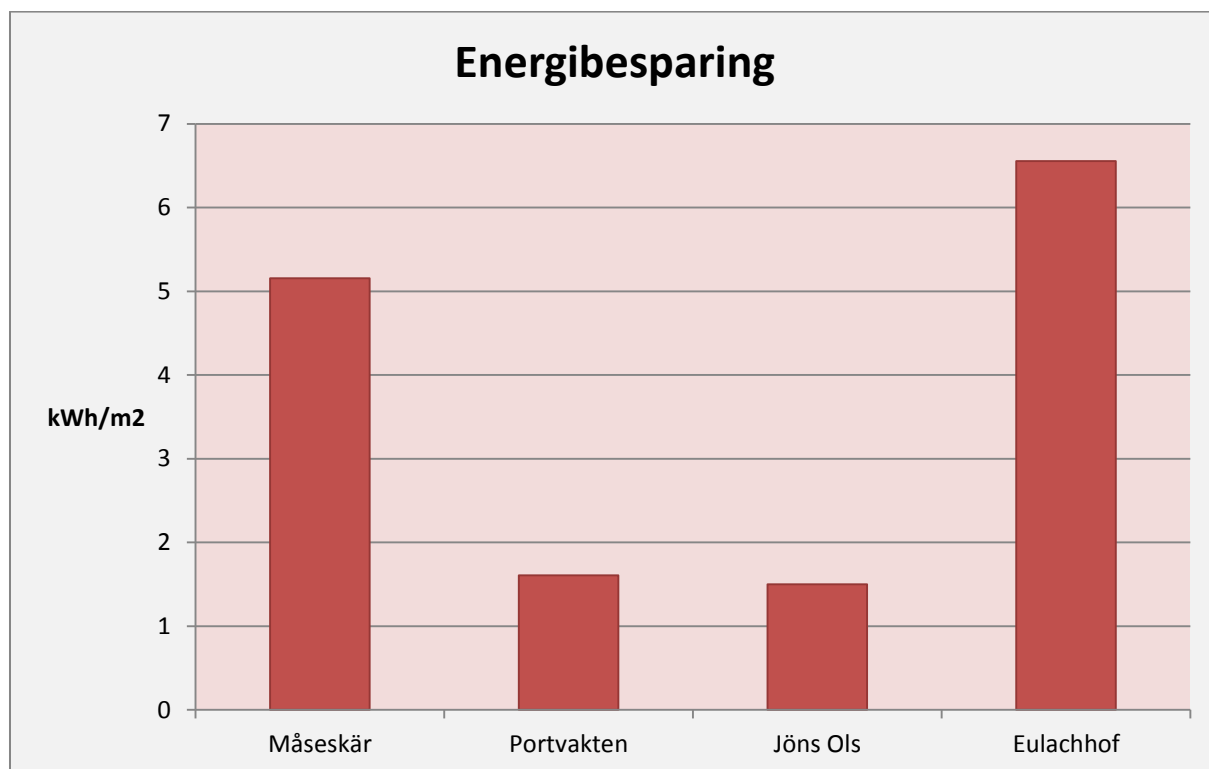
Värmepumpsystemet för spillvattnet har en total värmeeffekt på 80 kW och en säsongvärmefaktor på 4,2 vid beredning av 60 °C varmvatten. Värmepumpsystemet tillför 140 000 kWh energi per år och förbrukar, med given värmefaktor, ungefär 33 000 kWh elektricitet. Energin som återvinns ur spillvattnet är 107 000 kWh per år. Eftersom återvinningssystemet är kopplat både till lägenheter och kommersiella inrättningar kan inte återvinningen per lägenhet uppskattas. Däremot kan återvinningen per bo- och lokal area uppskattas. Med schablonfaktor 1,25 mellan uppvärmd area och bo-och lokalarea beräknas golvarean till 16 300 m² (BOA & LOA). Värmeåtervinnigen uppgår då till 6,56 kWh/m² (BOA & LOA). Observera att siffran inte blir direkt jämförbar med flerbostadshus eftersom fastigheten även innehåller kommersiella inrättningar (WasteWaterHeat 2007).

6.6 Sammanställning

I följande avsnitt sammanställs och jämförs mätresultaten från de installerade återvinningssystemen. I figur 6.4 redovisas återvunnen energi per bo- och lokalarea för några av flerbostadshusen. Dessutom redovisas samma värde för ett återvinningssystem i kvarter Jöns Ols (Warfvinge 2005). Återvunnen energi per yta varierar mycket mellan de olika fastigheterna vilket beror på att varmvattenanvändningen varierar kraftigt mellan dem.

Energibesparing per boyta är därmed ingen bra indikator för återvinningsgrad. För att kunna jämföra besparingarna i befintliga installationerna är det lämpligt att relatera återvunnen energi till varmvattenförbrukningen eftersom den i grunden ger förutsättningarna för värmeåtervinning.

En genomgående egenskap för värmeåtervinningssystemen är att de återvinner mer värme på vintern än på sommaren. Det beror på att temperaturen hos det inkommande färskvattnet är låg under vinterhalvåret och hög under sommarhalvåret. Då det finns en stor temperaturdifferens mellan inkommande kallvatten och spillvatten kan mycket värme utbytas och vice versa. Bidraget från passiva värmeväxlare är under sommaren väldigt litet eftersom inkommande kallvatten redan har en någorlunda hög temperatur. Värmepumpar däremot har en funktion även på sommaren eftersom de lyfter temperaturen på inkommande vatten till en högre nivå.



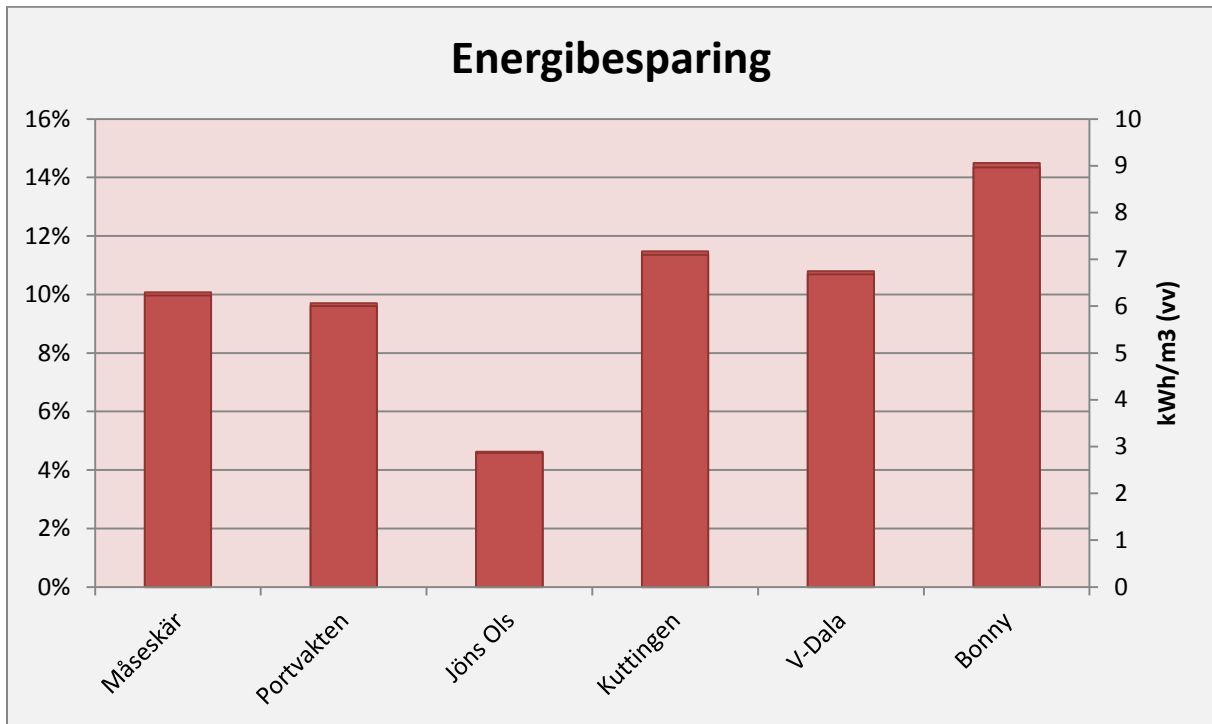
Figur 6.4 – Värmeåtervinning i fyra flerbostadshus uttryckt i återvunnen kWh per kvadratmeter BOA + LOA

I figur 6.5 visas energibesparingen för några av de nämnda installationerna. Dessutom visas energibesparingen för återvinningssystemet installerade i kvarter Kuttingen (Bergrén 1999), V-dala nation (Bergrén 1999) och kvarter Jöns Ols (Warfvinge 2005). Återvinningssystemet i de tre fallen utgörs av värmeväxlaren Inline (föregångare till Super Singlex) från Power Products Europe.

Den procentuella energibesparingen har beräknats utifrån den totala energibesparingen och varmvattenförbrukningen enligt ekvation 7.1 med antaganden om temperaturer enligt bilaga A. Observera att inkommande kallvatten temperatur skiljer sig mellan olika delar av landet. Desto kallare medeltemperatur desto mer energi kan ett system spara. Olika fastigheter har också olika temperatur i varmvattenberedaren. Båda dessa faktorer påverkar energibesparingen och antagandena kan leda till att resultat blir missvisande. Det ger dock en god indikation på sparad energi.

Passiva återvinningssystem med värmeväxlare ger energibesparingar omkring 10 % och upp till 15 % för ett av de installerade systemen. Trots att återvinningen är snarlik har lönsamheten skilt sig väldigt mellan de olika fallen. Det beror främst på antalet lägenheter som kopplats till återvinningssystemet samt hur mycket varmvatten som används per lägenhet. I Måseskär sparas omkring 18 000 kWh per

år och i Portvakten runt 7000 kWh per år trots att Portvakten innefattar fler lägenheter och den procentuella energibesparingen är snarlik. Det beror på att varmvattenanvändningen per lägenhet är låg i Portvakten och väldigt hög i Måseskär.



Figur 6.5 – Energibesparing för ett antal passiva värmeåtervinningssystem installerade i flerbostadshus.

Återvinningssystemet i V-Dala nation tar spillvärme från 115 lägenheter och tillför det till 230 lägenheter. I beräkningarna har varmvattenmängden från hela nationen använts, det vill säga från alla lägenheter. Om samma beräkning görs med varmvatten enbart från hälften av lägenheterna kommer återvinningsgraden vara avsevärt högre.

7. Analys av möjliga besparingar

Ett antal tekniklösningar har utvärderats utifrån en referensbyggnad enligt bilaga A. Tanken är att referensbyggnaden ska representera ett typiskt flerbostadshus. Den fiktiva byggnaden antas ha 50 lägenheter. I bilagan finns information om vattenanvändning, varmvattenandel, fördelning mellan olika tappställen, spillvattentemperaturer, färskvattentemperaturer. Utifrån referensvärdena har inputparametrar genererats till de olika återvinningssystemen.

Beräkningarna utgår från att det finns goda förutsättningar för värmeåtervinning. Resultat från utvärderingen kan ses som riktvärden för hur mycket energi som skulle kunna återvinnas. I verkligheten kan byggnader och återvinningssystem ha begränsningar som medför att samma återvinningsgrad inte går att uppnå.

7.1 Antaganden

Beräkningarna har utförts med några generella antaganden.

- I samtliga fall antas återvinningssystemet vara installerat inom klimatskalet. Det innebär att värmeförluster mellan återvinningssystem och varmvattenberedare etc. tillgodogörs byggnaden.
- I samtliga beräkningar antas att spillvattenflöde möter värmeupptagande medium i värmeåtervinningssystemet. I verkligheten finns en viss fördröjning vilket kan göra att spillvatten och värmeupptagande medium inte passerar värmeväxlare samtidigt och således inte kan utbyta värme sinsemellan. Det är framförallt ett problem vad gäller system placerade långt ifrån källan utan spillvattenackumulering.
- Återvinningssystemen antas nå full värmeöverföringseffekt omgående.
- Inkommande kallvatten antas ha samma temperatur oavsett var i huset det tappas.
- I nuvärdesberäkningar antas energiprisökningen för fjärrvärme och el vara lika.
- Differensen mellan reala kalkylräntan och reala energipriset antas vara 4 %.
- Elpriset och fjärrvärmepriser antas vara 1,4 respektive 0,6 SEK/kWh.
- Livslängd för rörvärmeväxlare som monteras på stammen – 40 år
- Livslängd för duschvärmeväxlare samt värmepumpar – 20 år

För värmepumpssystem antas även följande:

- Carnotverkningsgraden för värmepumpar antas till 0,5.
- Förångningstemperaturen antas vara 3 °C lägre än utloppstemperaturen för köldbäraren.

- Kondenseringstemperaturen antas vara 3 °C högre än utloppstemperaturen för värmebäraren.
- Pumpar antas ha försumbar energiförbrukning

7.2 Beräkning

Det är den energimängd som krävs för att höja temperaturen på en mängd vatten ett visst antal grader som kan minskas genom återvinning. Den värmeenergi som behövs för varmvattencirkulation och förluster i varmvattenberedningen kan alltså inte påverkas genom värmeåtervinning av spillvatten. Det finns två sätt att minska energibehovet för uppvärmning av varmvatten. Antingen kan mängden vatten som måste värmas upp minskas eller så kan temperaturintervallet över vilket vattenmängden ska värmas upp minskas.

Energibehov för varmvatten

För att beräkna energimängden som behövs för att ändra temperaturen av en mängd vatten ett visst antal grader används ekvation 7.1.

$$Q = mc_p \Delta T = V \rho c_p \Delta T \quad \text{Ekvation 7.1}$$

Energibesparing genom förvärmning av varmvatten

I ekvation 7.1 ses att energimängden är direkt proportionell mot temperaturhöjningen. Den procentuella energibesparingen genom ett minskat temperaturintervall kan således beräknas med ekvation 7.2.

$$EB_{\text{förvärmning}} = 1 - \frac{\Delta T_{\text{våv}}}{\Delta T} \quad \text{Ekvation 7.2}$$

Energibesparing genom minskad varmvattenandel

Den varmvattenmängd som används är också direkt proportionell mot energianvändningen. Den procentuella energibesparingen genom minskad varmvattenanvändning kan beräknas med ekvation 7.3.

$$EB_{\text{vv-andel}} = 1 - \frac{m_{\text{våv}}}{m} \quad \text{Ekvation 7.3}$$

Minskad varmvattenandel

Varmvattenandelen vid duschning kan beräknas med ekvation 7.4 om övriga parametrar är kända.

$$t_{\text{blandning}} = t_{\text{vv}} * X_{\text{vv}} + t_{\text{kv}} * (1 - X_{\text{vv}}) \quad \text{Ekvation 7.4}$$

Temperaturökning

Beräkningar av återvunnen energi i värmeväxlare baserar på temperaturverkningsgrad. Om ingående spillvattentemperatur, ingående kallvattentemperatur samt temperaturverkningsgrad är känt kan utgående kallvattentemperatur beräknas med ekvation 3.2.

Vid värmepumpsberäkning antas en framledningstemperatur, det vill säga en temperaturökning hos inkommande färskvatten, och genom att simultant beräkna ekvation 3.3 ekvation 3.4, ekvation 3.5 samt ekvation 7.1 för kondensator och förångare för olika framledningstemperaturer kan avgiven värme från kondensator, elektricitet till kompressor, värmetal samt spillvattentemperatur efter värmepumpen beräknas. Den kostnadsoptimala temperaturhöjningen erhålls genom att göra en nuvärdesanalys av energikostnaden för olika framledningstemperaturer.

Energikostnadsminskning

Det följande upplägget bygger på beräkning av nuvärdessumman av den kostnadsminskning en åtgärd kan medföra under sin livstid. På så sätt erhålls en nuvärdessumma som kan jämföras med en investeringskostnad och nuvärdessumman av övriga kostnader för en åtgärd under dess livstid.

För att beräkna nuvärdet av energikostnaden under en åtgärds livlängd används ekvation 3.7. Om flera olika energislag används och de har olika energiprisökning kommer nusunnefaktorn att vara olika varför det blir nödvändigt att summera flera termer enligt ekvation 7.5.

$$NV_{energi} = \sum f_{nusumma} * \text{årlig energikostnad} \quad \text{Ekvation 7.5}$$

Kostnadsbesparingen till följd av minskad energianvändning kan beräknas som differensen mellan nuvärdeskostnaden för energi med respektive utan värmeåtervinning. Nuvärdesbesparingen ges av ekvation 7.6.

$$\Delta NV_{energi} = NV_{energi} - NV_{energi,v\grave{a}v} \quad \text{Ekvation 7.6}$$

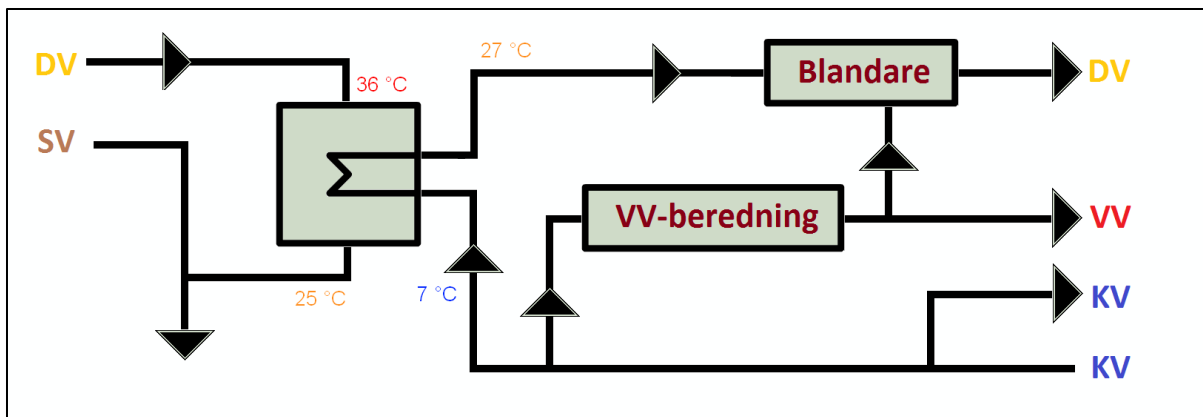
Förutom den minskade energikostnaden kan värmeåtervinning medföra andra besparingar. Vid nybyggnation kan värmesystemet konstrueras för ett mindre effektbehov och en mindre huvudsäkring kan användas för fastigheten.

7.3 Resultat

Resultatet från beräkningarna redovisas i följande kapitel. Beräkningar rörande duschvärmeväxlare, rörvärmeväxlare och gråvattenvärmepumpar har utförts enligt tidigare beskrivning. Övriga fall skiljer sig något vilket beskrivs i senare avsnitt.

Duschvärmeväxlare

Det första återvinningssystemet som utvärderas är duschvärmeväxlaren. En principskiss över systemet visas i figur 7.1. Systemets stora fördel är att återvinning sker nära värmekällan och således är inkommande spillvattentemperatur hög. En avgörande nackdel är att endast drygt en fjärdedel av spillvattnet går via duschen vilket minskar den mängd vatten som kan värmeåtervinnas.



Figur 7.1 – Principskiss duschvärmväxlare

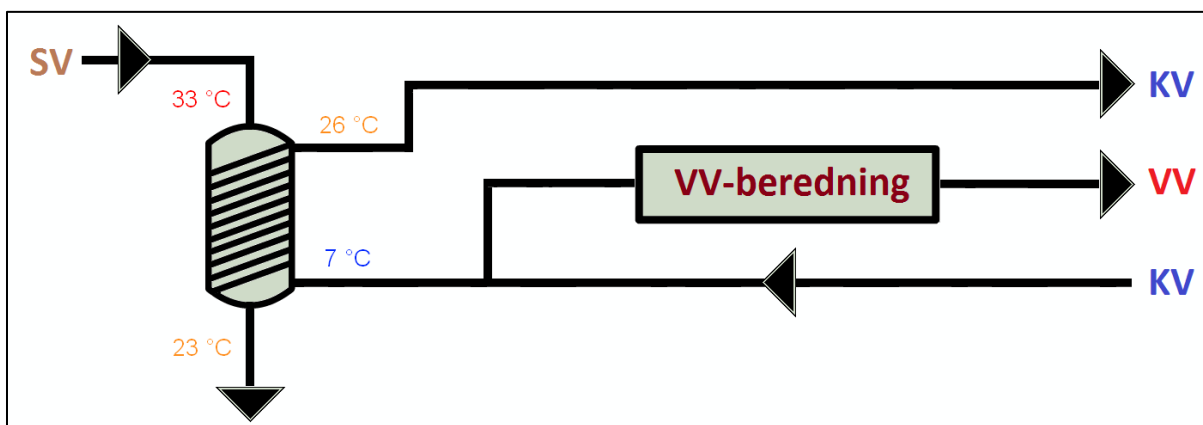
Den här typen av värmväxlare ha en temperaturverkningsgrad på 68,5 %. Värmväxlaren höjer kallvattentemperaturen från 7 °C till knappt 27 °C. Det skulle i sin tur innebära att en mindre andel varmvatten behövs i duschblandaren för att uppnå samma duschtemperatur. I och med temperaturökningen av kallvattnet minskar varmvattenandelen i duschen från 66,7 till 43,1 %.

Den minskade varmvattenanvändningen leder till att energibehovet för duschen minskar med 35,3 %. Det är endast drygt hälften av varmvattnet som går via duschen och det totala energibehovet för varmvatten minskar därför endast med 18,9 %. Beräknat per lägenhet minskar energianvändningen med 518 kWh per lägenhet och år.

I och med att enheten minskar energianvändningen kommer den årliga kostnaden för energi att minska. Med antagen livslängd (20 år) skulle nuvärdet av besparingen per enhet uppgå till drygt 4 200 SEK. Om enheten är fri från underhållskostnader och andra framtida kostnader anger värdet vad en enhet maximalt kan tillåtas kosta per lägenhet för att vara lönsam under sin livstid.

Stående rörvärmväxlare

Den stående rörvärmväxlaren har liknande potential som duschvärmväxlaren. Dess princip syns i figur 7.2. Trots att värmväxlaren sitter på den vertikala stammen och tar emot spillvatten inklusive svartvatten från lägenheter är det i princip bara vid duschning som värmväxlaren kan återvinna värme. Därmed är den nyttiga spillvattenmängden liten. Värmväxlaren är placerad nära värmekällan vilket är en fördel. Temperaturen på duschvattnet antas sjunka 3 °C mellan golvbrunnen och värmväxlaren. Totalt fyra lägenheter antas vara kopplade till varje växlare.



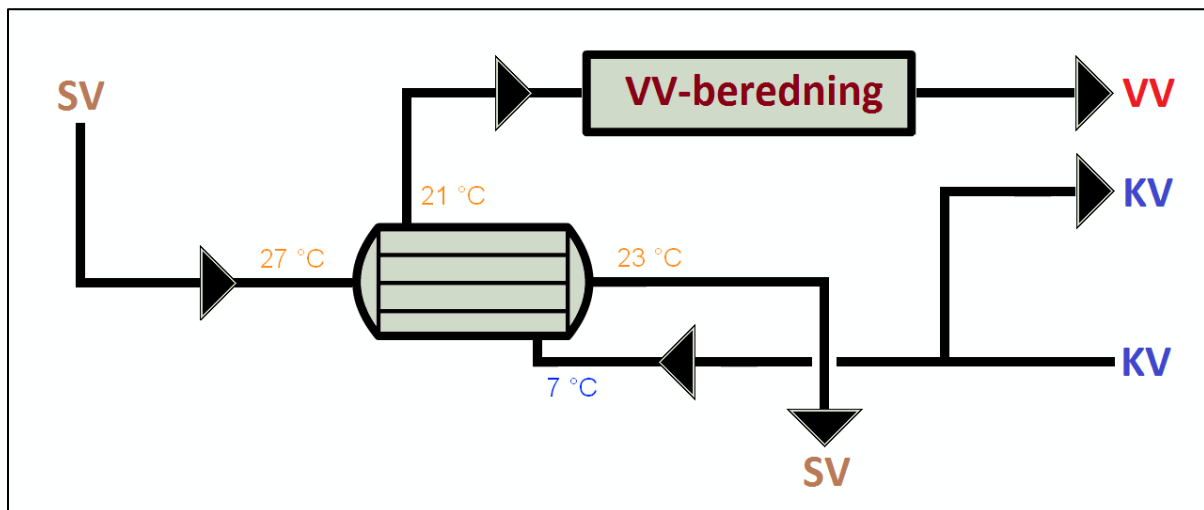
Figur 7.2 – Principskiss stående rörvärmväxlare

Den här typen av värmeväxlare kan ha en temperaturverkningsgrad på drygt 72 %, eventuellt högre om spillvatten har större flöde än kallvatten. Värmeväxlaren höjer temperaturen på inkommande kallvatten från 7 °C till knappt 26 °C. Varmvattenandelen som behövs i duschblandaren minskar då från 66,7 till 45,3 %. Det motsvarar ett minskat energibehov för dusch med 32,1 %. Det totala energibehovet för varmvatten minskar därmed med 17,2 %. Beräknat per lägenhet minskar behovet med 471 kWh per lägenhet och år.

Den stående värmeväxlaren har en klar fördel ur ekonomisk synpunkt jämfört med duschvärmeväxlaren eftersom fler lägenheter kan kopplas till samma enhet. Under dess livslängd (40 år) minskar energikostnaderna med motsvarande 22 400 SEK per installerad enhet eller 5 600 per lägenhet. Redan efter halva livslängden uppgår besparingen till 15 400 SEK eller 3 850 SEK per lägenhet.

Liggande rörvärmeväxlare

Den stora fördelen med liggande rörvärmeväxlarna är att de tar emot allt spillvatten från en byggnad och alltså har ett en stor mängd spillvatten som kan värmeåtervinnas. De har dessutom en viss förmåga att ackumulera energi. Det är nödvändigt eftersom avståndet till värmekällan är stort. Spillvattentemperaturen hinner sjunka innan värmeväxlaren vilket minskar potentialen. I figur 7.3 visas principen för återvinningsystemet.



Figur 7.3 – Principskiss liggande rörvärmeväxlare

Det är okänt vad den här typen av värmeväxlare har för temperaturverkningsgrad. Med tanke på att de har stor värmeöverförande yta och lång värmeavgivningstid är det dock rimligt att anta en skaplig värmeåtervinningsgrad. Kallvattenflödet genom värmeväxlaren är också litet i förhållande till spillvattenflödet. I beräkningarna antas temperaturverkningsgraden till 70 %.

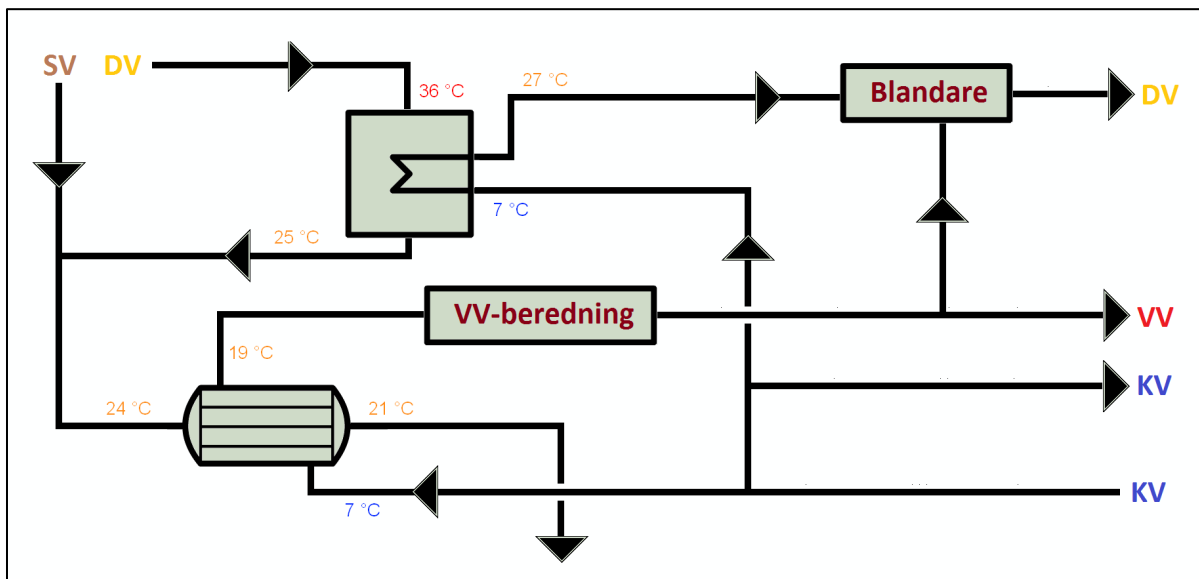
Med den antagna verkningsgraden skulle temperaturen av det kallvatten som passerar värmeväxlaren höjas från 7 till 21 °C. I och med att det kallvatten som ska beredas till varmvatten är förvämt minskar energibehovet vid beredningen. Förvärmningen motsvarar en energibesparing på 26,4 %. Det motsvarar en energibesparing på 723 kWh per lägenhet och år.

Eftersom den här typen av värmeväxlare kan kopplas till väldigt många lägenheter blir besparingen betydande per enhet. Desto fler lägenheter per enhet desto mer kan den tillåtas kosta. För

referensfallet, femtio lägenheter, blir besparingen drygt 429 000 SEK per enhet eller 8 580 SEK per lägenhet under dess livstid (40 år). Efter halva livslängden är besparingen knappt 295 000 SEK per enhet eller 5 900 SEK per lägenhet.

Liggande rörvärmewäxlare och duschvärmewäxlare

En idé för att minska både mängden varmvatten som används och temperaturspannet över vilket det behöver värmas upp är att kombinera flera värmewäxlare. I det här fallet, se figur 7.4, undersöks en kombination av en liggande rörvärmewäxlare och duschvärmewäxlare. Duschvärmewäxlarna återvinner värme i direkt anslutning till duschen och minskar på så sätt varmvattenanvändningen. Rörvärmewäxlaren återvinner värme i ett andra steg och förvärmer då kallvatten som ska beredas till varmvatten.



Figur 7.4 – Principskiss kombination liggande rörvärmewäxlare och duschvärmewäxlare

Duschvärmewäxlaren och rörvärmewäxlaren antas ha temperaturverkningsgrader enligt tidigare, 68,5 respektive 70 %. Duschvärmewäxlaren kommer dels minska varmvattenanvändningen men också minska spillvattentemperaturen. Enligt tidigare beräkning minskar duschvärmewäxlaren varmvattenandelen i duschen från 66,7 till 43,1 %. Det motsvarar en minskning med ungefär 23 liter varmvatten per lägenhet och dag. Den totala varmvattenandelen minskar då från 31,5 till 25,5 %.

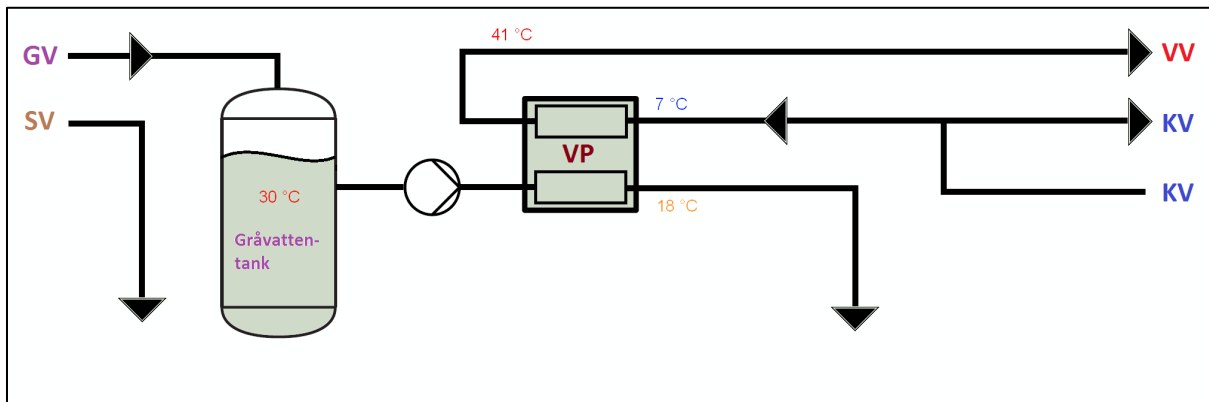
Temperaturminskningen för duschvattnet kan beräknas eftersom temperaturhöjningen av kallvattnet till duschen är känt samt duschvatten- och kallvattenflödet. Temperaturminskningen för duschvattnet i värmewäxlaren är 11,3 °C. Spillvattnet kommer anta en lägre temperatur eftersom duschvattentemperaturen minskar. Duschvattnet är ungefär en fjärdedel av det totala spillvattnet och den totala temperaturminskningen kommer uppgå till 2,87 °C.

Beräkning för den liggande rörvärmewäxlaren sker enligt tidigare men med den lägre spillvattentemperaturen. Värmewäxlaren höjer i det här fallet temperaturen på inkommande kallvatten från 7 till 19 °C. Förvärmningen motsvarar en besparing på 22,6 % och minskningen av varmvattenmängden motsvarar en besparing på 18,9 %. Den totala energibesparingen uppgår följaktligen till 37,3 %. Fordelat per lägenhet för referenshuset blir energibesparingen 1020 kWh per år.

För en kalkyleringsperiod om 40 år skulle systemet spara drygt 605 000 SEK eller 12 100 SEK per lägenhet. Eventuellt måste duschvärmexlarna bytas ut under återvinningssystemets livslängd. För en kalkyleringsperiod om 20 år skulle systemet spara knappt 416 000 SEK eller 8 320 SEK per lägenhet.

Värmepump för gråvatten

I följande scenario används en värmepump för att återvinna värmen ur gråvatten. Det kräver att gråvattnet separeras från svartvatten samt att det samlas upp i en tank. I figur 7.5 visas principen för systemet. När det föreligger värmebehov startar värmepumpen och gråvatten pumpas från tanken till värmepumpens förångare. I det här fallet används värmepumpen för att förvärma kallvatten innan varmvattenberedning. Konsekvensen av att gråvattnet separeras är att en minskad mängd spillvatten passerar värmepumpen. Ungefär tre fjärdedelar av spillvattnet är gråvatten. Det spillvatten som går igenom värmepumpen kommer dock att ha en högre temperatur.



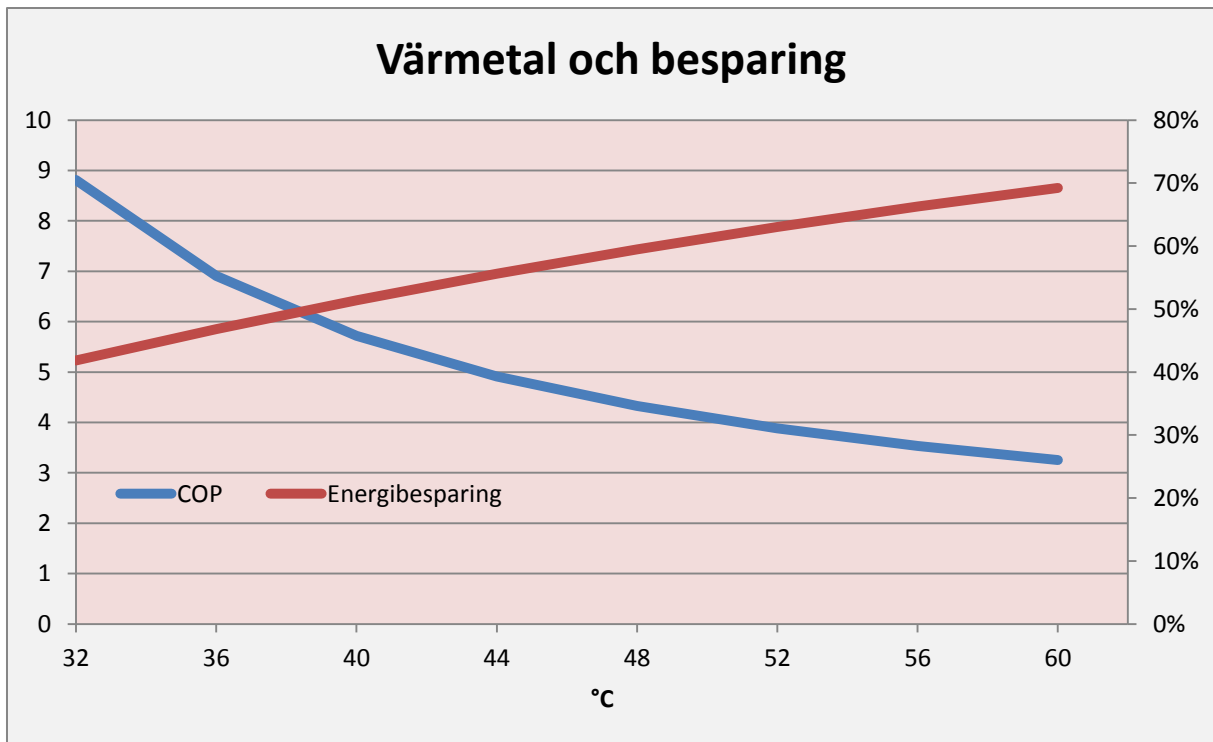
Figur 7.5 – Principskiss värmepump för gråvatten

Värmepumpen har förmågan att lyfta temperaturen på kallvattnet till önskad nivå. Dess värmetalet blir dock lägre då temperaturlyftet blir större. Det är därför en ekonomisk fråga hur mycket värmepumpen ska bidra med och hur mycket en kompletterande värmekälla ska bidra med.

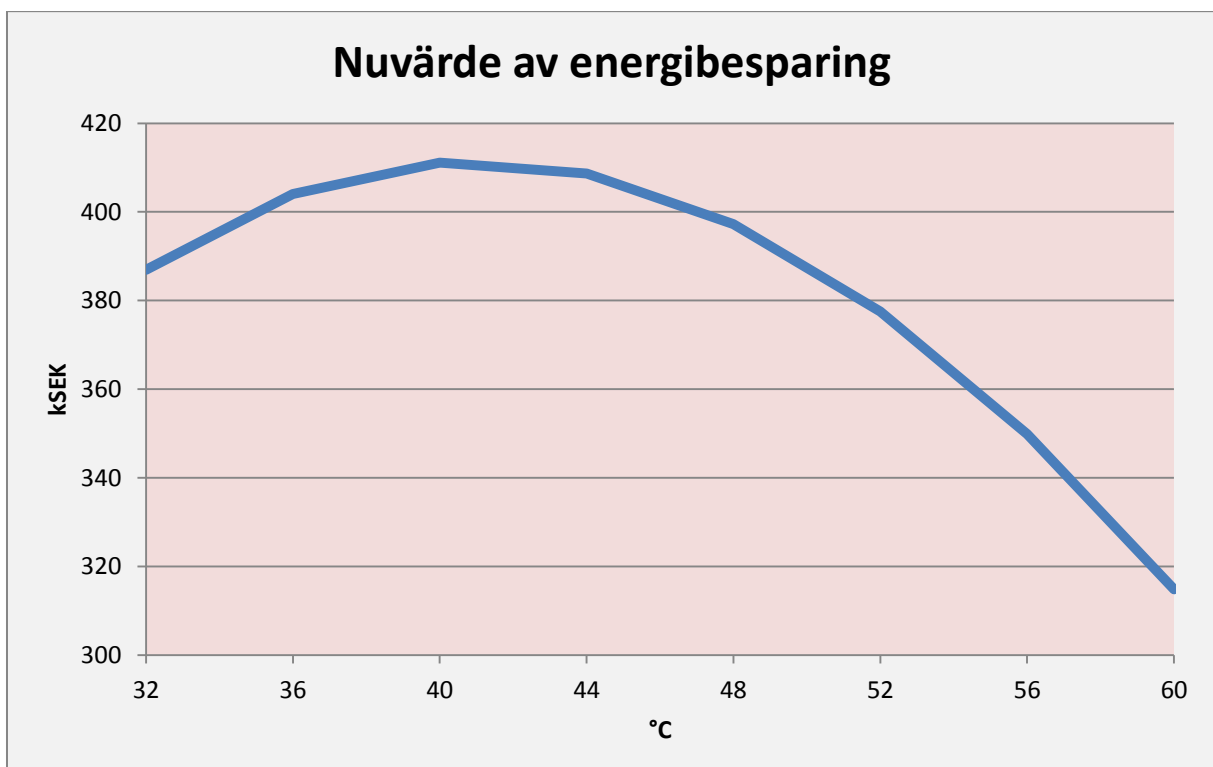
I figur 7.6 visas hur värmetalet minskar samt hur energibesparingen ökar med framledningstemperaturen. Värmepumpen kan minska energianvändningen för varmvatten med upp till 70 %. För att se vilken framledningstemperatur som är mest lönsam måste dock fjärrvärmekostnaden vägas mot elkostnaden.

Kostnadsbesparingen över systemets livstid beror av värmepumpens bidrag kontra fjärrvärmens eftersom el och fjärrvärme har olika pris. I figur 7.7 visas hur kostnadsbesparingen varierar med värmepumpens framledningstemperatur. Den optimala nivån ur kostnadssynpunkt ligger omkring 41 °C.

I det driftfallet är värmetalet 5,5 och energibesparingen 52,5 % eller drygt 1435 kWh per lägenhet och år. Nuvärdet av energibesparingen över systemets livstiden (20 år) är drygt 411 000 SEK eller 8 220 SEK per lägenhet. Det betyder att investeringen samt nuvärdet av framtida kostnader ska vara lägre än så för att systemet ska vara lönsamt.



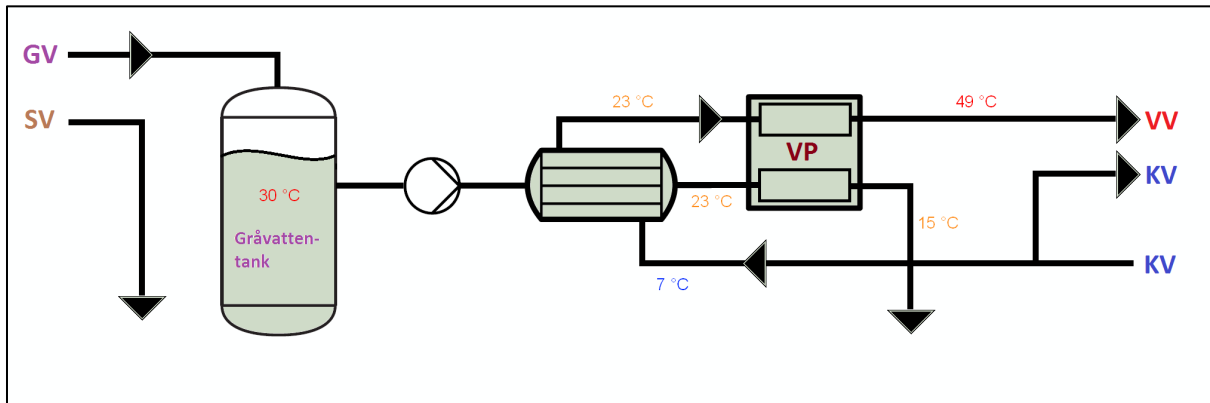
Figur 7.6 – Värmetal (vänster axel) och energibesparing (höger axel) som funktion av värmepumpens framledningstemperatur



Figur 7.7 – Nuvärdet av energibesparingen som funktion av framledningstemperaturen för värmepump med grävatten som värmekälla

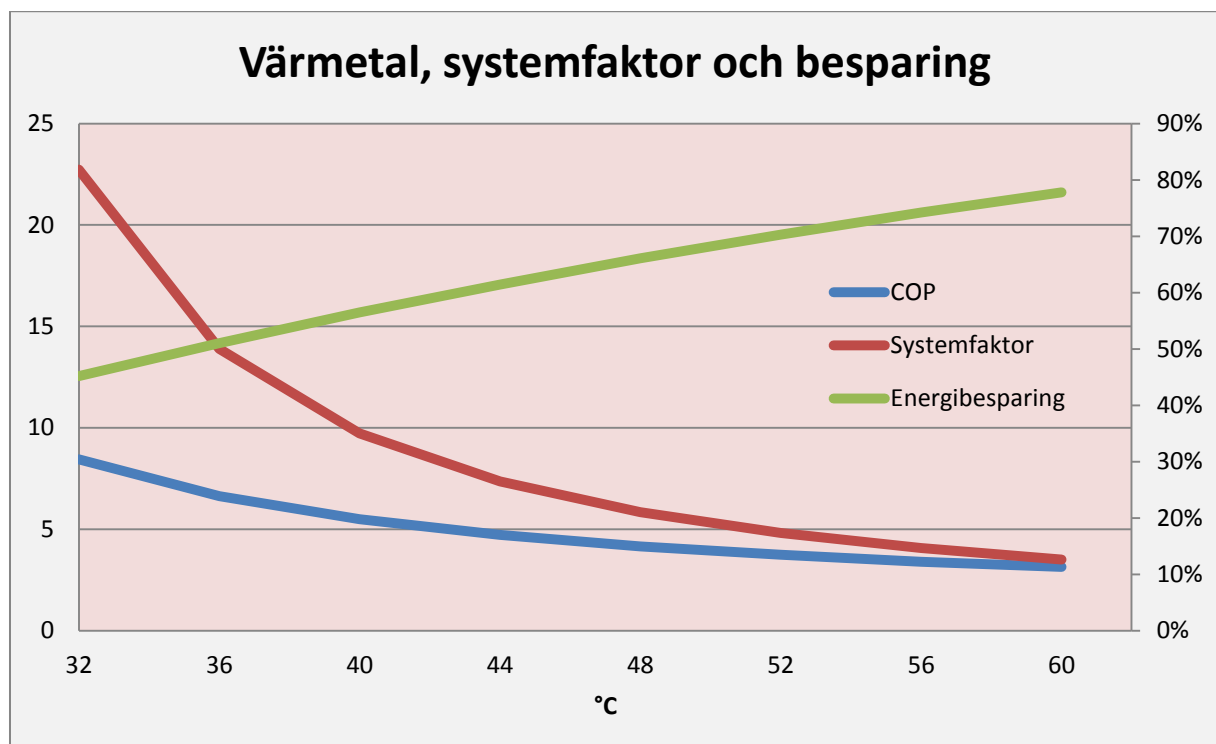
Värmepump och värmeväxlare för gråvatten

För att minska belastningen på en värmepump som arbetar med gråvatten kan en värmeväxlare placeras i serie med värmepumpen. I en sådan konfiguration passerar spillvatten och kallvatten först värmeväxlaren och sedan värmepumpen. I figur 7.8 visas principen för ett sådant system.



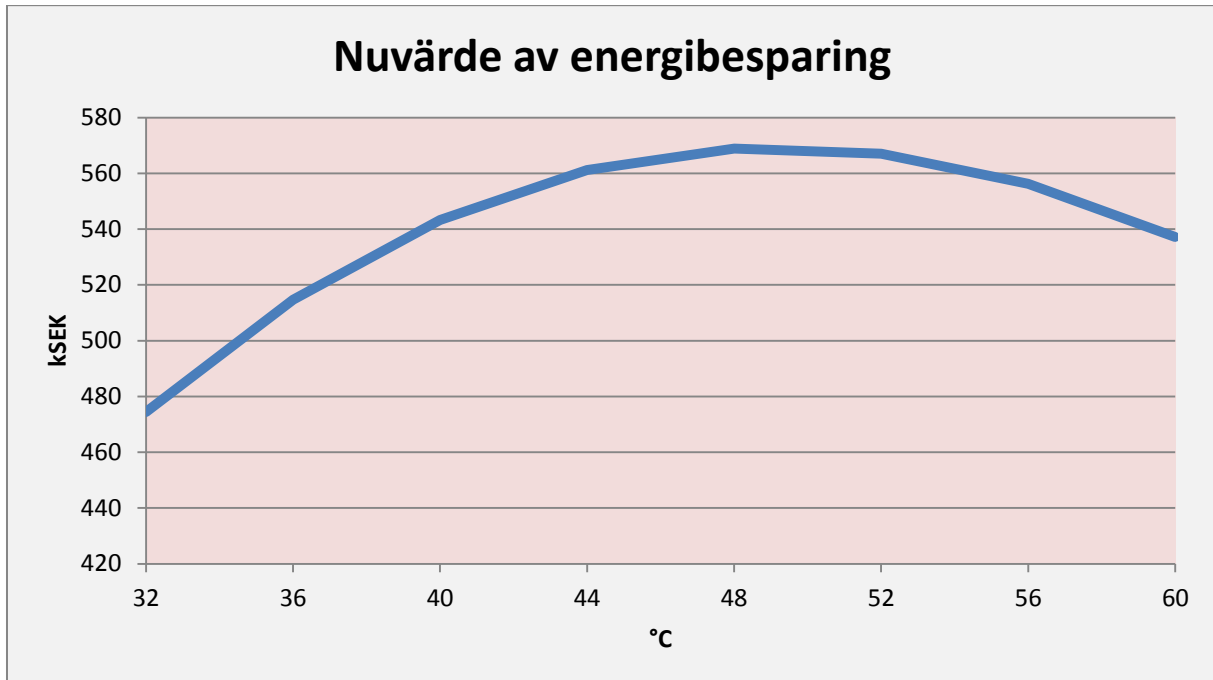
Figur 7.8 – Principskiss kombination värmepump för gråvatten och liggande rörvärmeväxlare

Verkningsgraden för värmeväxlaren antas till 70 %. I värmeväxlaren skulle temperaturen för kallvattnet öka till drygt 23 °C samtidigt som spillvattnets temperatur sänks till drygt 23 °C. Beräkningen för värmepumpen sker på samma sätt som tidigare men med nya temperaturer för inkommande kallvatten och spillvatten. I figur 7.9 visas resultatet för besparing, värmepumpens värmetal samt systemfaktor. Systemfaktor definieras som förhållandet mellan den av systemet (värmeväxlare och värmepump) avgivna värmen och den till systemet tillförda energin.



Figur 7.9 - Värmetal (vänster axel), systemfaktor (vänster axel) och energibesparing (höger axel) som funktion av värmepumpens framledningstemperatur

Systemlösningen kan minska energianvändningen för varmvatten uppemot 80 %. I figur 7.10 framgår att störst kostnadsbesparingar görs om framledningstemperaturen är omkring 49 °C. Då är värmetalet 4,0, systemfaktorn 5,6 och energibesparingen 67,2 % eller knappt 1 840 kWh per lägenhet och år. Kostnadsminskningen är omkring 569 000 SEK för systemet eller 11 400 SEK per lägenhet under systemets livstid (20 år).



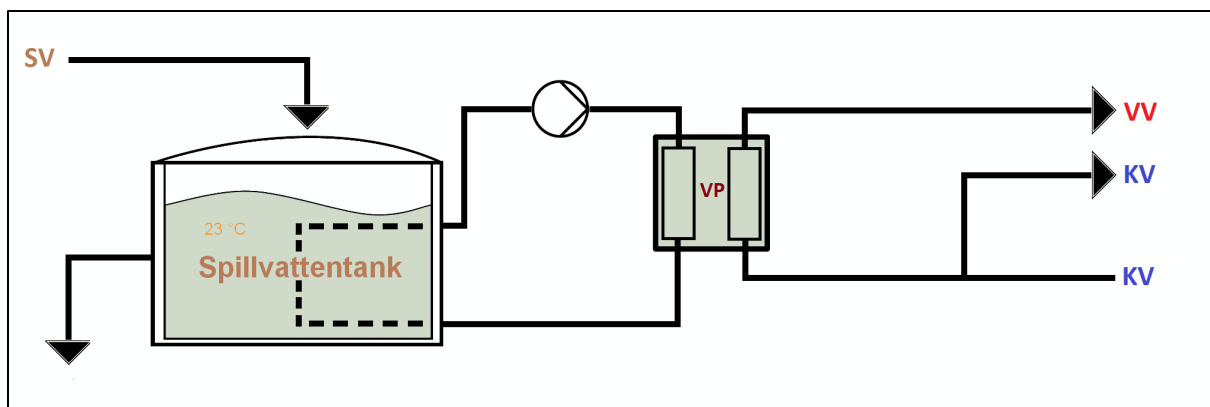
Figur 7.10 – Nuvärdet av energibesparingen som funktion av framledningstemperaturen för värmepump i kombination med värmeväxlare

Värmepump för spillvatten inklusive svartvatten

En värmepump kan också använda spillvatten inklusive svartvatten som värmekälla. Spillvattnet är då tillgängligt i större mängder men vid lägre temperatur. En fördel är att gråvatten inte behöver separeras. I figur 7.11 visas schematiskt hur ett sådant system kan se ut. Tanken är att en köldbärare transporterar värme från spillvattentanken till värmepumpen. Systemet behöver någon typ av filtreringssystem för svartvatten.

Temperatursänkningen av vattnet i tanken beror mycket på tankens volym. Om volymen är liten ökar risken för att spillvatten passerar systemet utan att ha blivit nedkyllt. Dessutom kommer det vatten som finns i tanken när värmebehov uppstår att bli kraftigt nedkyllt av värmepumpen. En stor tank innebär att värmeuttaget kan jämnas ut över allt spillvattnet. I beräkningarna antas att tanken är dimensionerad så att allt spillvatten som går genom systemet antar samma temperatur.

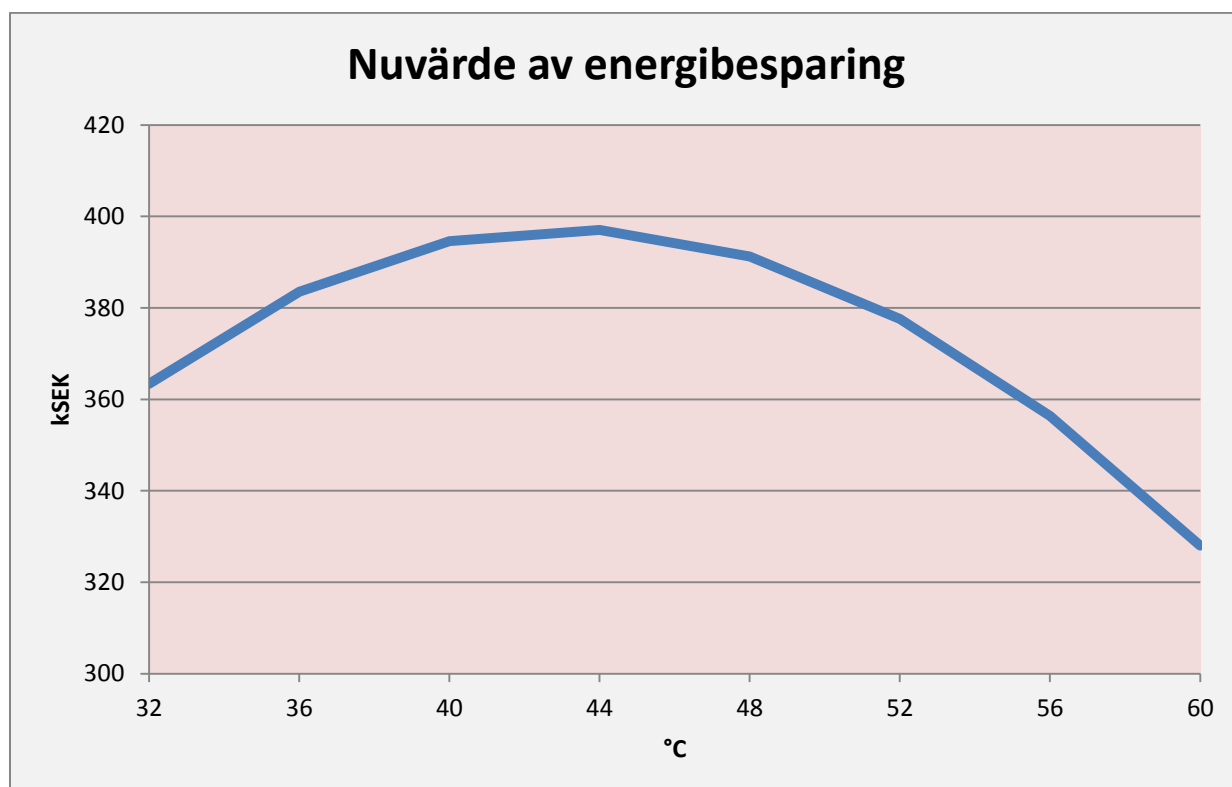
Eftersom den här typen av system kan vara placerat utanför byggnaden antas spillvattentemperaturen vara 23 °C. Värmepumpen och spillvattentanken är sammankopplade via en köldbärarkrets och det finns en temperaturförlust mellan de båda. I beräkningarna antas att förångningstemperaturen är 5 °C lägre än tankens medeltemperatur. Medeltemperaturen definieras som skillnaden mellan inkommande och utgående spillvattentemperatur. Det är möjligt att temperaturförlusten är ännu större beroende på hur systemet konstrueras.



Figur 7.11 – Principskiss värmepump för spillvatten inklusive svartvatten

Genom att samtidigt beräkna ekvation 3.3, ekvation 3.4, ekvation 3.5 samt ekvation 7.1 för kondensorn och tanken för olika framledningstemperaturer kan avgiven värme från kondensorn, elektricitet till kompressor, värmetal samt spillvattentemperatur efter spillvattentanken beräknas.

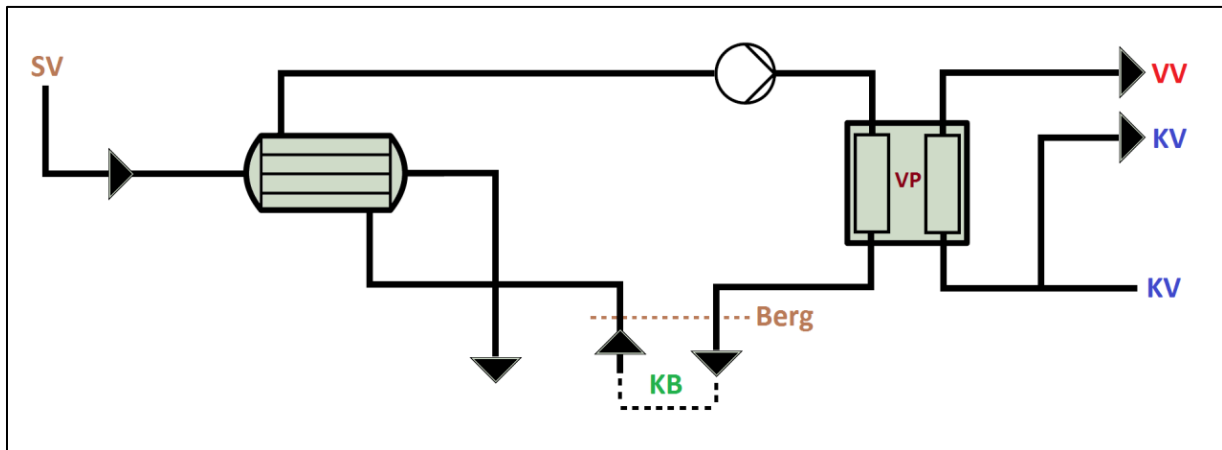
I figur 7.12 visas kostnadsbesparingen beroende av framledningstemperaturen. Den optimala framledningstemperaturen från värmepumpen är omkring 43 °C. Vid den temperaturen är värmetalet 4,9 och energibesparingen 54,1 % eller knappt 1480 kWh per lägenhet och år. Kostnadsminskningen blir ungefär 397 000 SEK för systemet eller 7 940 SEK per lägenhet över återvinningsystemets livslängd (20 år).



Figur 7.12 – Nuvärdet av energibesparingen som funktion av framledningstemperaturen för värmepump med spillvatten som värmekälla

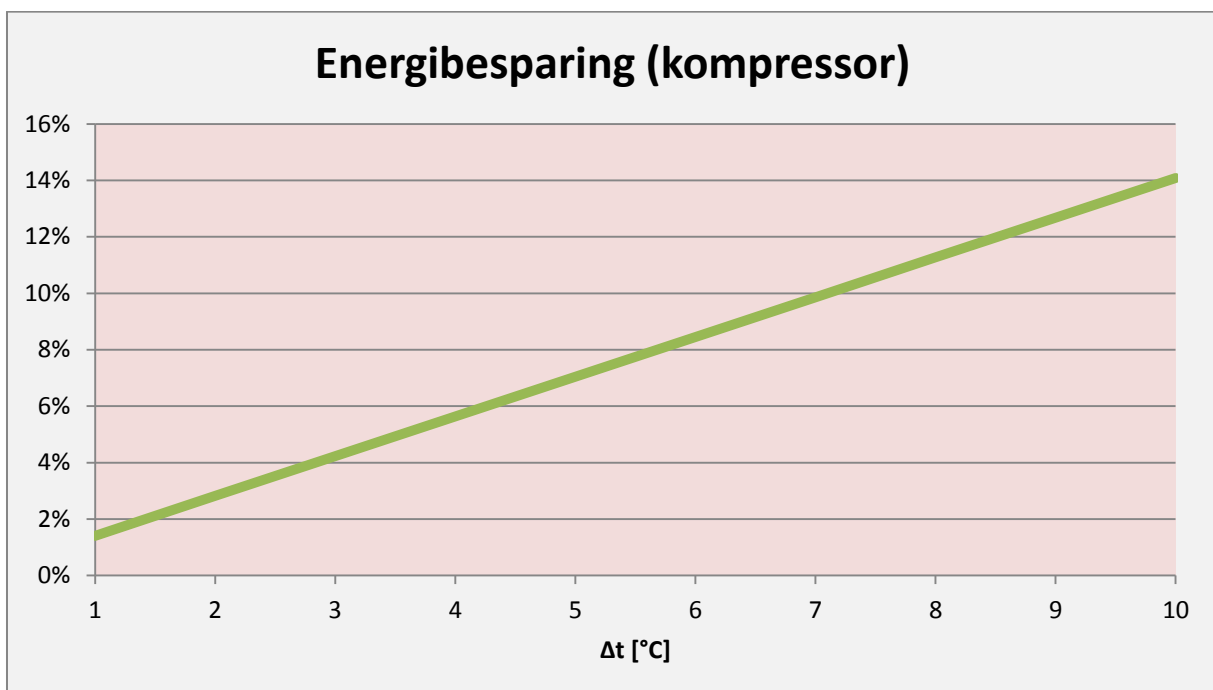
Liggande rörvärmeväxlare och bergvärmepump

I det här exemplet används en liggande rörvärmeväxlare som ett komplement till en fastighet vars värmebehov täcks av en bergvärmepump. I figur 7.13 visas principen för systemet. Istället för kallvatten flödar en köldbärare genom värmeväxlaren. Det här systemet kan erbjuda en mer effektiv kylning av spillvattnet eftersom köldbärartemperaturen är låg. I skissen är värmekällorna seriekopplade. En parallellkoppling kan vara ännu mer effektiv eftersom temperaturdifferensen blir större i värmeväxlaren.



Figur 7.13 – Principskiss liggande rörvärmeväxlare som kompletterande värmekälla till bergvärmepump

Hur mycket värme som kan återvinnas med den här principen beror på bergvärmesystemets storlek och egenskaper. Temperaturen på köldbäraren kan höjas olika mycket beroende på dess massflöde. Att beräkna den möjliga återvinningen är svårt eftersom värmeväxlaren dels förvärmer köldbäraren innan värmepumpen och dels värmer borrhålet. Det är därför svårt att avgöra hur mycket värme som kan komma till nytta.



Figur 7.14 – Det minskade energibehovet för kompressor som funktion av ökad förångningstemperatur.

Följande exempel ger en uppfattning om hur mycket systemet kan återvinna. Anta en köldbärartemperatur på -2 °C innan värmeväxlaren, en förångningstemperatur på -8 °C i värmepumpen samt en framledningstemperatur på 60 °C. Värmeväxlaren kommer öka köldbärarens temperatur och indirekt förångningstemperaturen. En ökad förångningstemperatur medför ett högre värmetal och därmed ett lägre energibehov för värmepumpskompressor. I figur 7.14 visas hur mycket energibehovet för värmepumpens kompressor minskar för olika höjningar av förångningstemperaturen enligt ekvation 3.5.

Sammanställning

Värmeväxlare som avser förvärma kallvatten innan blandare bör kunna höja temperaturen ungefär 20 °C. Det motsvarar en energibesparing på det totala varmvattenbehovet på knappt 20 %. Den liggande rörvärmeväxlaren som avser förvärma kallvatten innan varmvattenberedaren bör kunna höja dess temperatur omkring 14 °C. Trots en lägre temperaturhöjning motsvarar det en energibesparing på drygt 25 %. Detta eftersom mer vatten förvärms än med de andra värmeväxlarna.

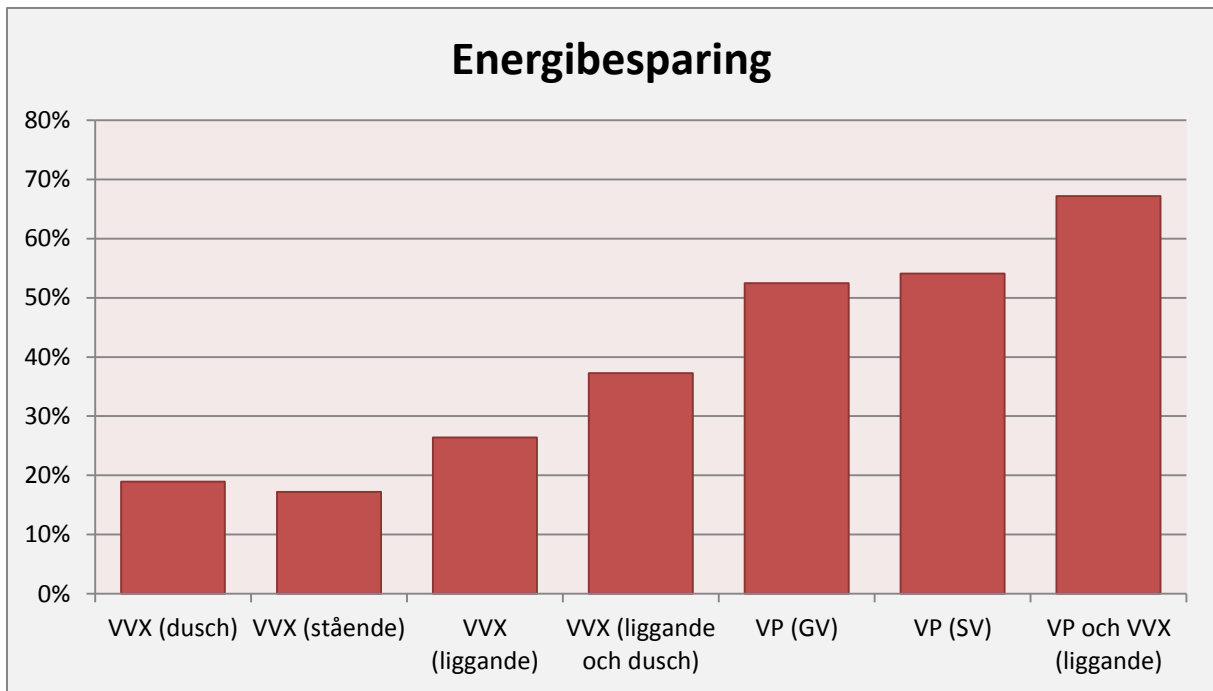
Kombinationen av både liggande rörvärmeväxlare och duschvärmeväxlare kan effektivt höja temperaturen på kallvatten till dusch samtidigt som kallvatten förvärms innan varmvattenberedaren. I tabell 7.1 finns en sammanställning över de olika systemens temperaturhöjning på kallvatten och förvärmning av varmvatten.

VÅV-system	ΔT_{KV} (°C)	ΔT_{VV} (°C)	Energibesparing
Duschvärmeväxlare	20	-	19 %
VVX (stående)	19	-	17 %
VVX (liggande)	-	14	26 %
VVX (liggande) + Duschvärmeväxlare	20	12	37 %
VP (gråvatten)	-	35	53 %
VP (svartvatten)	-	36	54 %
VP (gråvatten) + VVX (liggande)	-	42	67 %

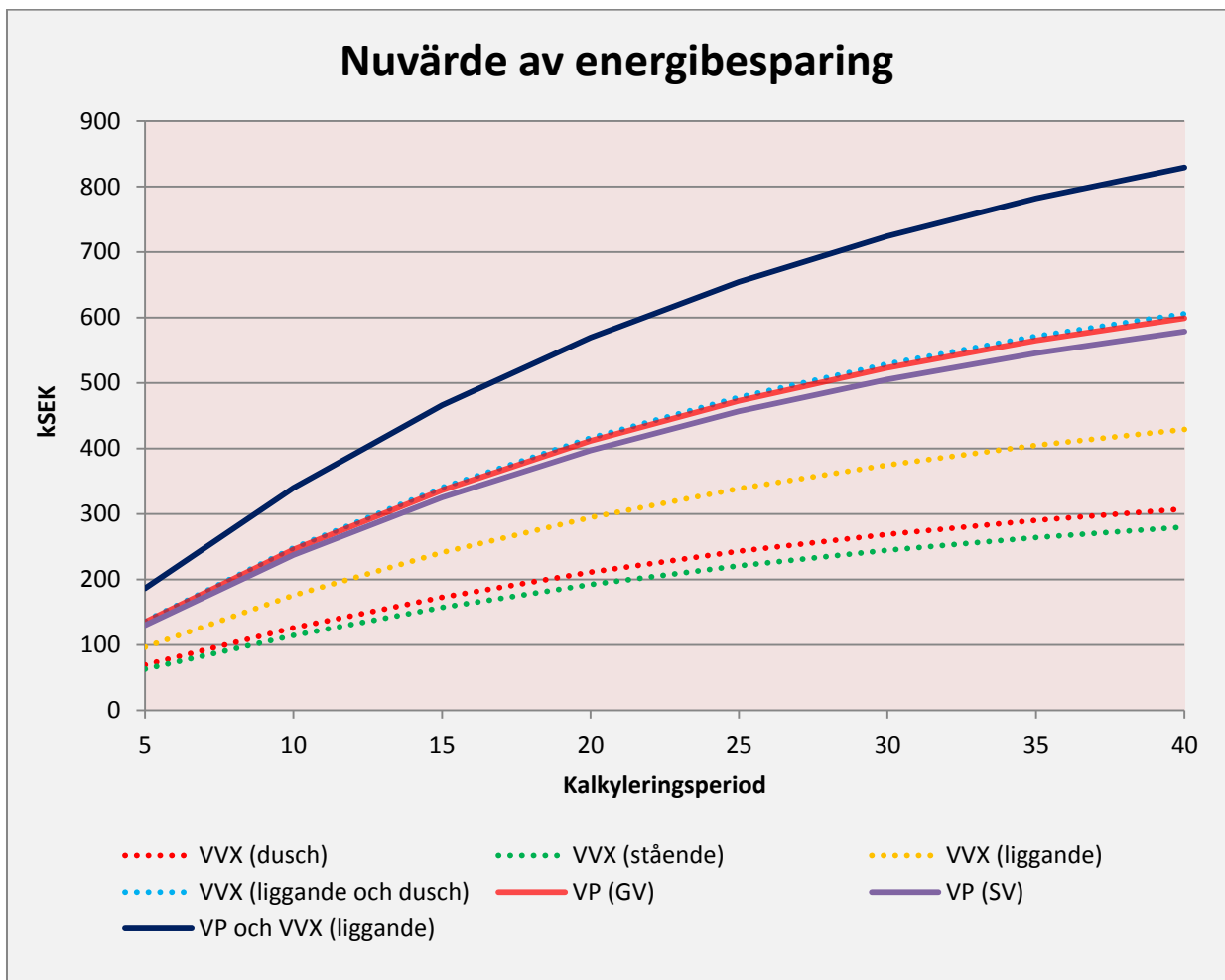
Tabell 7.1 – Sammanställning över temperaturhöjningen på kallvatten och förvärmning av varmvatten för de olika systemen som utvärderats.

Passiva system med värmeväxlare uppvisar en potentiell energibesparing omkring 20 – 25 % och närmare 40 % om flera växlartyper kombineras. I det senare fallet minskas både varmvattenmängden och temperaturintervallet över vilket vattnet behöver värmas. Med värmepumpslösningar uppnås betydligt högre återvinningsgrad. Lösningarna är dock begränsade ur ekonomisk synpunkt eftersom el är ett dyrare energislag än fjärrvärme och investeringskostnaden är högre.

I fallet då energikostnaden är minimerad kan värmepumpar återvinna drygt 50 % av spillvärmen. Genom att kombinera värmeväxlare och värmepump kan verkningsgraden öka ytterligare. Systemet kan återvinna nästan 70 % av spillvärmen vid det ekonomiskt mest fördelaktiga driftsfallet. I figur 7.15 visas den beräknade energiåtervinningen för olika tekniklösningar.

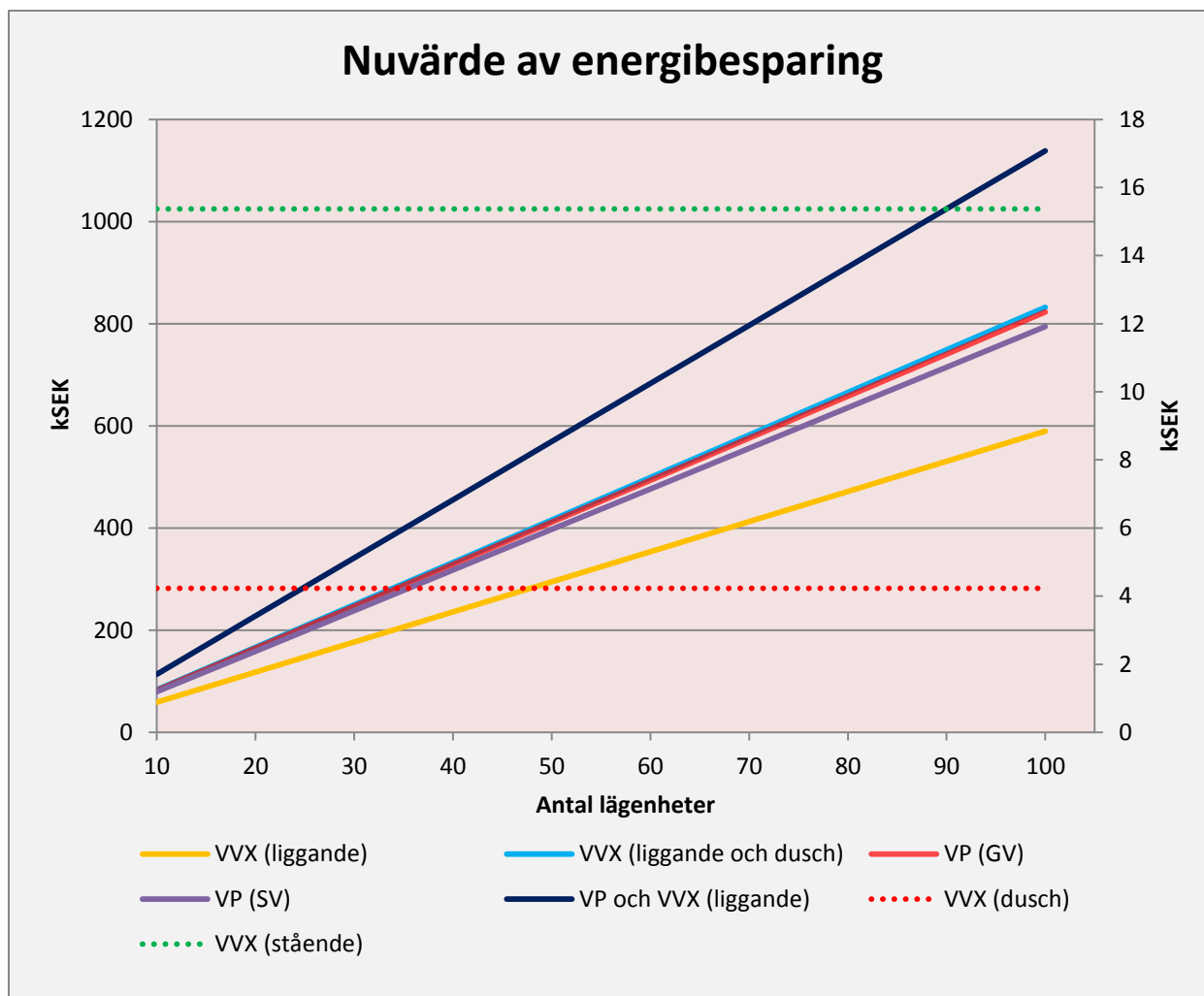


Figur 7.15 – Beräknad energibesparingspotential för olika tekniklösningar



Figur 7.16 Nuvärdet av de minskade energikostnaderna för referensbyggnaden för olika återvinningssystem och kalkyleringsperioder.

Nuvärdesbesparingen av de minskade energikostnaderna för referensbyggnaden redovisas i figur 7.16 för olika kalkyleringsperioder och återvinningssystem. För de fall där livstiden är kortare än 40 år (värmepumpar och duschvärmväxlare) krävs en återinvestering där tekniken installeras på nytt. Det som kan uppmärksammas är att återvinningssystem med endast värmväxlare står sig väl mot värmepumpslösningarna. Systemet med två värmväxlare har lägre värmeåtervinningsgrad än värmepumpslösningarna men är mer lönsamt. Det kan förklaras med att värmepumpen byter fjärrvärme mot el vilket är ett dyrare bränsle. I beräkningarna antas fjärrvärme- och elpris öka i samma takt. Om elpriset skulle öka kraftigare än fjärrvärmepriset skulle det ytterligare gynna enkla värmväxlarlösningar.



Figur 7.17 - Nuvärdet av de minskade energikostnaderna för en byggnad som funktion av antalet lägenheter inkopplade till värmeåtervinningssystemet med kalkyleringsperiod 20 år. Duschvärmväxlare och stående rörmväxlare avläses på högra axeln. Övriga avläses på vänstra axeln.

Nuvärdesbesparingen av de minskade energikostnaderna redovisas i figur 7.17 som funktion av antalet inkopplade lägenheter till samma återvinningssystem. Det vill säga hur mycket energi som kan spara i en byggnad beroende på hur många lägenheter byggnaden inrymmer. Det är tydligt att nuvärdet av energibesparingen ökar med antalet inkopplade lägenheter. Observera att kalkyleringsperioden är 20 år och att rörmväxlarna har en längre livstid än så. Duschvärmväxlare och stående rörmväxlare är oberoende av antalet lägenheter.

8. Upplägg och kravspecifikation för teknikupphandling

Vid teknikupphandling behövs en kravspecifikation som redovisar de krav som ställs på teknislösningar. I följande avsnitt föreslås en kravspecifikation som baseras på kunskap från förstudien. Förslaget kan fungera som utgångspunkt för vidare utveckling av slutgiltig kravspecifikation.

8.1 Målsättning

Målsättningen med teknikupphandlingen är att stimulera branschen att utveckla värmeåtervinningssystem för spillvatten som kan installeras i befintliga flerbostadshus. Avsikten är att återvinningssystemen sedan ska kunna användas i stor utsträckning i samband med renovering och möjliggöra en minskning av energianvändningen i flerbostadshus. Upphandlingen ska eftersträva system med hög återvinningsgrad, lågt underhållsbehov samt låg livscykelkostnad.

8.2 Omfattning

Upphandlingen omfattar alla system som kan användas för att återvinna värme ur spillvatten i flerbostadshus. Upphandlingen omfattar komponenter inklusive installation och andra nödvändiga åtgärder för ett fungerande återvinningssystem.

8.3 Upplägg

Värmeåtervinning ur spillvatten installeras sällan vid renovering av flerbostadshus. Åtgärden är lågt prioriterad, det finns få befintliga återvinningssystem för spillvatten och erfarenheten av systemen är liten. Förhoppningsvis kan en teknikupphandling främja nya återvinningssystem och vidareutveckling av befintliga system. Dessutom kan teknikupphandlingen utgöra ett bra underlag för information om systemens prestanda och öka kännedomen om att systemen finns.

De flerbostadshus som ska användas i teknikupphandlingen bör väljas så att de representerar stora grupper av liknande byggnader i det befintliga beståndet som har behov av renovering. Vanliga hustyper som lamellhus, skivhus och punkthus byggda under modernismen och rekordåren bör finnas representerade. Teknikupphandlingen bör sträva efter att driva fram flera olika lösningar som kan vara lämpliga för olika hustyper.

8.4 Krav på värmeåtervinningssystem

Kraven på återvinningssystemet utgörs dels av övergripande krav dels mer ingående krav på energieffektivitet, kostnad etc.

Överordnade krav

- Återvinningssystemen ska vara utformade för att återvinna värme ur spillvatten. Den återvunna värmen ska tillgodogöras byggnaden.
- Värmeåtervinningssystemen ska vara energieffektiva och samtidigt ha en god livscykelkostnad.
- Det avloppsvatten som lämnar fastigheten får inte ha en lägre temperatur än det dricksvatten som levereras till fastigheten.

- Återvinningsystemets komponenter ska vara robusta och ha tillfredställande funktion under 20 års drift vid normalt underhåll. Komponenter som eventuellt behöver bytas ut under systemets livstid ska enkelt kunna bytas och ha standardmått.
- Vid ombyggnad ska de kvarboende inte föränledas påtagliga störningar.
- Återvinningsystemet ska inte ge upphov till illa lukt som kan upplevas som störande för de boende eller omgivningen.
- Färskvatten får inte förvärmas på ett sätt som ökar risken för tillväxt av legionellabakterier.

Energieffektivitet

För att jämföra olika systems återvinningsgrad är det lämpligt att sätta den minskade energianvändningen i förhållande till energianvändningen för varmvatten (exkl. VVC- och stilleståndsförluster om möjligt). Teknikupphandling bör vara öppen för både passiva lösningar med värmeväxlare och värmepumpslösningar.

Mätningar visar att värmeväxlarsystem kan återvinna 10 – 15 % av den energi som används för varmvattenberedning. Beräkningar föreslår att 20 – 25 % bör kunna återvinnas med värmeväxlare och ännu mer om flera tekniker kombineras. Följande kravnivå är därför lämplig:

- Energianvändning för uppvärmning och varmvattenberedning i byggnadens **skall** minska med minst **15 %** av befintlig energianvändningen för varmvattenberedning.
- Energianvändning för uppvärmning och varmvattenberedning i byggnadens **bör** minska med minst **20 %** av befintlig energianvändningen för varmvattenberedning.

Krav kan också ställas på maximal elanvändning för värmeåtervinningsystemet.

Kostnad

Lönsamheten ska utvärderas utifrån en nuvärdesmodell. Termen $\Delta NV_{\text{energi}}$ definieras enligt tidigare som nuvärdet av den årliga energibesparingen och inkluderar energi för varmvatten och energianvändning i värmeåtervinningsystemet. Nuvärdet av energibesparingen bör uppgå till samma värde som investeringar (INV) och nuvärdet av framtida kostnader relaterade till återvinningsystemet ($NV_{\text{kostnader,väv}}$) efter ett givet antal år.

Investeringen definieras som investeringskostnad, installationskostnad och nuvärdet av framtida återinvesteringar. $NV_{\text{kostnader,väv}}$ består av alla övriga kostnader relaterade till återvinningsystemet såsom underhåll av systemet.

Några av systemen som utvärderats har väldigt lång livslängd och därför bör lönsamhetsanalysen sträcka sig över lång tid.

Följande nivåer föreslås för följande villkor: $\Delta NV_{\text{energi}} - INV - LCC_{\text{kostnader,väv}} > 0$

Villkoret **skall** uppfyllas under kalkylperioden **20 år**

Villkoret **bör** uppfyllas under kalkylperioden **15 år**

Drift och underhåll

Komponenter som kräver underhåll ska vara placerade lättillgängligt. Rensluckor ska finnas tillgängliga om installationen medför ökad risk för igensättning i avloppsrör. Drift- och underhållsinstruktioner skall finnas tillgänglig för driftpersonal.

Uppföljning

För att kunna följa upp prestandan hos återvinningssystemen ska det finnas möjlighet att logga temperatur, flöden och energianvändning på lämpliga ställen.

Övrigt

Dessutom kan krav ställas på installation, material, temperaturverkningsgrad för värmeväxlare, värmetal för värmepumpar, kylningsmöjligheter etc.

9. Diskussion och slutsats

Värmeåtervinningssystem för spillvatten installeras sällan i flerbostadshus och det finns flera bakomliggande orsaker. Kännedomen om tekniken är liten och det finns få system tillgängliga som lämpar sig för flerbostadshus. Det finns dessutom liten erfarenhet kring hur stora energibesparingar åtgärden medför.

Många hus i det befintliga beståndet är i behov av stambyte. Om ett värmeåtervinningssystem för spillvatten kan installeras i samband med stambytet underlättas installationsarbetet. Det finns risk för att fastighetsägare inte vill göra ytterligare ingrepp i vatten- och avloppssystemet när stambytet väl är gjort. Det är därför viktigt att värmeåtervinningssystem finns tillgängliga och att kännedomen om systemen ökar omgående.

En teknikupphandling kan vara ett bra verktyg för att stimulera utvecklingen av nya värmeåtervinningssystem samt integrationen av system i flerbostadsbeståndet. Då skulle också återvinningssystemen övervakas och mätningar utföras över en tid för att öka kunskapen om hur mycket energi som kan återvinnas med olika system.

Spillvatten är oförutsägbart både vad gäller temperatur och flöde. Dessutom är en stor del av tappningarna, bortsett från dusch, korta. För att ett återvinningssystem effektivt ska kunna ta tillvara på spillvärmens måste det ha någon typ av energilagring förmåga. Det bör vara en egenskap att efterstäva vid utveckling av återvinningssystem.

Lönsamheten av ett värmeåtervinningssystem avgörs till stor del av vattenförbrukningen. Den kan variera kraftigt mellan olika flerbostadshus och beror mycket på de boendes vanor. Lönsamheten är också starkt beroende av antalet lägenheter som kan kopplas till samma återvinningssystem. Det bör därför utredas i fall till fall om värmeåtervinning är lämpligt och möjligt att installera.

Mätningar visar att passiva värmeväxlersystem kan återvinna 10 – 15 % av energiåtgången för varmvatten. Beräkningar visar på att energibesparingen snarare bör kunna vara 20 – 25 %. Det tyder på att det finns en förbättringspotential hos befintliga system. Spillvattnets oförutsägbarhet ställer krav på en värmeväxlares reaktions- och energilagring förmåga. Det är egenskaper som bör prioriteras vid utveckling av återvinningssystem.

Det bör övervägas att höja temperaturen både på kallvatten innan blandare och på kallvatten innan varmvattenberedare för att effektivt minska energianvändningen för varmvatten. Under stora delar av året är inkommande färskvatten väldigt kallt. Det bör kunna förvärmas till 10 – 15 °C och fortfarande upplevas som kallt av brukaren.

Energianvändningen för varmvatten kan minskas på flera olika sätt. Det mest konventionella är att minska varmvattenanvändningen. Det kan göras med snålspolande armatur eller individuell debitering av varmvatten. Dessutom kan informationskampanjer till brukare påverka dennes förbrukningsvanor. Ett annat sätt är att förvärma inkommande kallvatten vilket är fallet med ett värmeåtervinningssystem. En ytterligare åtgärd kan vara att minska varmvattentemperaturen och på så sätt minska värmeförlusterna i distributionssystemet. Det förutsätter att förekomsten av

legionellabakterier kan minimeras på annat sätt än med värme, exempelvis med UV-filter. En sådan lösning skulle också gynna ett värmepumpsystem då framledningstemperaturen kan hållas låg.

Framtida arbete inom området kan innefatta att titta på hur värmeåtervinning kan påverka effekttoppar i el- och värmenätet. Många brukare i lägenheter har liknande användningsmönster och det blir stor belastning framförallt på morgonen. Det kan vara bra att undersöka vilka fördelar värmeåtervinning kan ge ur den aspekten.

10. Referenser

- Andrén L, Tirén L (2010), Passivhus – En handbok om energieffektivt byggande, Värnamo
- Aronsson S (1996), Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov, Göteborg
- Bergrén Jan (1999), Värmeåtervinning ur spillvatten – flerbostadshus
- Björk Cecilia, Kallstenius Per, Reppen Laila (2002), Så byggdes husen 1880 – 2000, Stockholm
- Boverket (1999), Rekordåren – en epok i svenskt bostadsbyggande, Malmö
- Boverket (2003), Bättre koll på underhåll
- Boverket (2008), Individuell mätning och debitering i flerbostadshus
- Boverket (2011), Boverkets byggregler BBR 18
- Boverket, Smittskyddsinstitutet och VVS-installatörerna (2006), Legionella i vatteninstallationer
- Energikontoret Skåne (2010) – Att bygga energieffektivt, Malmö
- Energimyndigheten (2006), Effektiva kranar sparar energi
- Energimyndigheten (2008), Mätning av kall- och varmvatten i 10 hushåll, Eskilstuna
- Energimyndigheten (2009), Mätning av kall- och varmvattenanvändning i 44 hushåll, Eskilstuna
- Energimyndigheten (2010), Beräkna LCC
www.energimyndigheten.se (2011-12-07)
- Energimyndigheten (2011), Energistatistik för flerbostadshus 2009, Eskilstuna
- FEKA (2009), Schulungsunterlagen TS - Energie aus Abwasser
www.feka.ch (2011-12-12)
- Fercher (2011), Abwasserwärmetauscher AWT-911 "Smart Shower" – Produktdatenblatt
www.fercher.at (2011-12-12)
- Granryd E, Ekroth I, Lundqvist P, Melinder Å, Palm B, Rohlin P (2005), Refrigerating Engineering, Stockholm
- Grette S, Hallstedt H (2004), Förstudie till teknikupphandling av värmeåtervinningssystem för spillvatten i simhallar

- Jonsson Hans (2008), Applied Thermodynamics – Collection of Formulas, Stockholm
- Jonsson Richard (2005), Avloppsvärmeväxlare i bostadshus, Energi&Miljö #11
- Jonsson Roland (2009), Duscha var tredje minut gratis, VVS-Forum #6-7
- Kretz M (2009), Regler om avloppsvattnet – Du får använda värmen. Energi&Miljö #5
- Leidl C, Lubitz D (2009), Comparing domestic water heating technologies, Technology in Society 31, sid 244-256
- Liu L, Fu L, Jiang Y (2010), Application of an exhaust heat recovery system for domestic hot water, Energy 35, sid 1476-1481
- Meggens F, Leibundgut H (2011), The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump, Energy and Buildings 43, sid 879-886
- Nils Holgersson-gruppen (2011), Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige – en avgiftsstudie för 2011, Stockholm
- Paillé Benoit (2010), Analyse de performance des récupérateurs de chaleur des eaux de drainage, Fonds en efficacité énergétique
- Renewability (2011), Power Pipe - Reduce operating costs for multi-unit residential buildings
www.renewability.com (2011-11-07)
- SCB (2010a), Statistisk årsbok för Sverige 2011
- SCB (2010b), Bostads- och byggnadsstatistisk årsbok 2010
- SCB (2011), Bostadsbestånd (kalkylerat) 2010
- Schuitema R, Sijpheer N C, Bakker E J (2005), Energy performance of a drainwater heat recovery system
- Svenskt Vatten (2007), P94 ABVA 07
- Södergren D (2003), Ett bostadshus av trä med energisåla installationer, Energimyndigheten EFFB-03/1, Stockholm
- VVS Företagen (2009), Renoveringshandboken för hus byggda 1950-1975,
- Warfvinge Catarina (2005), Kv Jöns Ols i Lund – energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik

WasteWaterHeat (2007), AbwasserWärmeNutzung – Leitfaden zur Projektentwicklung

Wong L.T, Mui K.W, Guan Y (2010), Shower water heat recovery in high-rise residential buildings in Hong Kong, Applied Energy 87, sid 703-709

Bilaga A - Referensbyggnad

Byggnaden

Lägenheter	50		
Boende	2,1	person/lägenhet	SCB 2010b

Vattenanvändning

Vattenanvändning	184	l/person och dag	Energimyndigheten 2009
Varmvattenandel (totalt) <i>eller</i>	31,5 % 58	l/person och dag	Energimyndigheten 2009
Energibehov (VV) <i>eller</i>	1303 2736	kWh/person och år kWh/lägenhet och år	Beräknat ekvation 7.1

Tappfördelning

Diskho	28,0 %		Energimyndigheten 2008
Toalettstol	26,2 %		Energimyndigheten 2008
Tvättställ	11,7 %		Energimyndigheten 2008
Övrigt	8,7 %		Energimyndigheten 2008
Dusch/bad	25,4 %		Energimyndigheten 2008
Varmvattenandel (dusch) <i>eller</i>	66,7 % 31,2	l/person och dag	Energimyndigheten 2008

Temperaturer

Inkommande kallvatten (medel)	7	°C	
Varmvatten (beredare)	60	°C	
Varmvatten (tappställe)	55	°C	
Duschvatten (vid duschmunstycke)	39	°C	
Duschvatten (vid avloppsbrunn)	36	°C	Wong m.fl. 2010
Gråvatten	30	°C	Jonsson 2005
Spillvatten	27	°C	Bergrén 1999

Energianvändning

Uppvärmning och varmvatten	10900	kWh/lgh och år	Energimyndigheten 2011
----------------------------	-------	----------------	------------------------