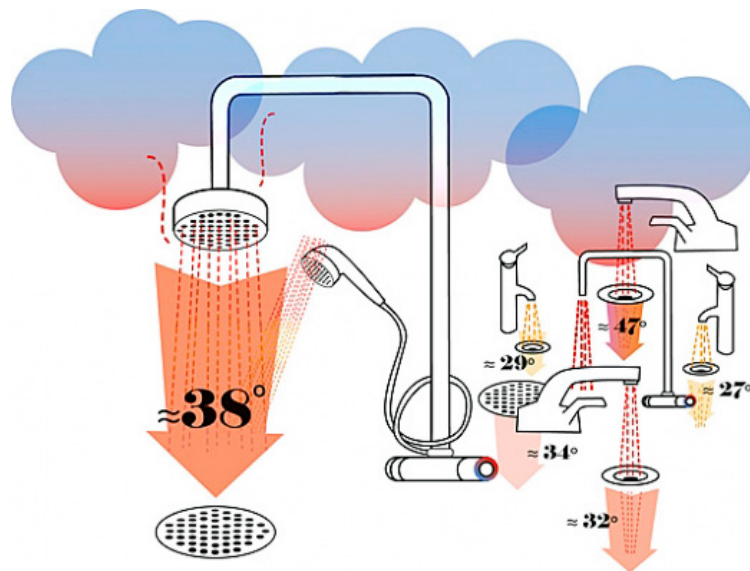


Gråvatten som resurs i den hållbara staden

Värmeåtervinning från avloppsvatten i Helsingborg



Gråvatten som resurs i den hållbara staden

Värmeåtervinning från avloppsvatten i Helsingborg

av

Madelaine Hellborg Lapajne

Examensarbete nummer: 2016-08

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik
Institutionen för kemiteknik
Lunds Universitet

Juni 2016

Handledare: Hamse Kjerstadius
Biträdande handledare: Marinette Hagman
Examinator: Åsa Davidsson

Bild på framsidan: Tillstånd av Ulrika Majstrovic Hansén/Tidningen Bofast.

Postadress

Box 124
221 00 Lund, Sweden

Webadress

www.vateknik.lth.se

Besöksadress

Naturvetarvägen 16

Telefon

+46 46-222 82 85

+46 46-222 00 00

Fax

+46 46-222 45 26

Förord

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av NSVA i Helsingborg i samarbete med VA-teknik vid institutionen för kemiteknik på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet pågick under vårterminen 2016 och omfattade 30 hp.

Jag vill framförallt tacka min handledare Hamse Kjerstadius, doktorand på VA-teknik vid LTH för all hjälp under arbetets gång och även min biträdande handledare Marinette Hagman, forsknings- och utvecklingsansvarig på NSVA för alla goda tips.

Tack till Leif Johansson, Tord Johansson och Tobias Liliebladh från Region Skåne för data om sjukhuset i Helsingborg. Sofia Dahl på NSVA för hjälp med data och dokument om H+ och tack till Tobias Berglund på NSVA för hjälp med investeringskalkylering. Jesper Baaring på Öresundskraft för data och information om värmepumpen på Öresundsverket.

Tack till Elisabeth Nilsson och Carina Fasth, universitetslektorer vid LTH samt Björn Palm professor i energiteknik vid KTH, för lärdomar om värmepumpar. Lars- Åke Sundbom för hjälp med beräkningarna för värmeförluster i ledningsnät.

Sist men inte minst; tack till alla på våning fem på NSVA för väldigt trevliga fikastunder under våren.

Summary

The development of low-energy houses has cut the energy demand for households by more than half. One potential energy source that remains untapped is the heat in household wastewater. Studies have shown that 80 % of the total energy potential stored in household wastewater is found as heat in greywater (the fraction of household wastewater that origin from other sources than toilet wastewater). To implement heat recovery from greywater a source separated wastewater system is needed. Studies have shown that source separated wastewater systems are more sustainable then conventional wastewater systems.

A housing area called H+ in Helsingborg will install a source separated wastewater system starting 2016 but it is not decided if heat recovery will be implemented. It is proved that heat recovery from greywater has good potential, but in which cases is it most profitable to implement in an urban environment? The aim of this master thesis was to examine if heat recovery from household greywater at H+ is a profitable investment compared to heat recovery from greywater at the hospital of Helsingborg and compared to the current heat recovery at the wastewater treatment plant Öresundsverket in Helsingborg.

This was done by calculating the heat recovery and the net present value of the energy savings from the three cases in Helsingborg. Two subcases each were investigated at H+ and the hospital. At H+ local heat recovery at property level was compared to central heat recovery at the wastewater treatment plant. At the hospital heat recovery from the greywater was compared to heat recovery from the high-tempered process water. The result from these calculations was compared to the actual heat recovery at Öresundsverket.

The results showed that the profitability depend on the greywater temperature, the temperature setpoint, the flow volume, the distance between the tap and the heat pump and the electricity price.

At H+ the result showed that the energy demand for water heating on property level can be reduced by 60 % and the costs by 30 %. The result also showed that due to heat losses in the sewer system, local heat recovery is preferred compared to central if the distance between the property and the wastewater treatment is great. The profitability at property level is cut by half when the distance is 13 km. At H+ the distance to the treatment plant is only 500 m and hence there is no considerable heat loss in the sewer system. Instead, the profitability depend on the choice of temperature setpoint and a setpoint of 40 °C gave the most profitable results.

The greywater temperature was higher at the hospital than H+ due to high-temperature process water, which gave the heat pump a high efficiency. The result showed that a larger heat potential was found in the greywater compared to the process water at the hospital but the heat pump operating on the process water had highest efficiency of all studied cases. Weather the heat potential is greatest at H+ or at the hospital depend on how big part of the total flow volume from H+ that will be included in the heat recovery. H+ is built in stages and if only the two first stages are included in the heat recovery, the heat recovery potential at the hospital is largest. However if heat recovery will be implemented in the entire district the heat recovery from H+ is largest.

Öresundsverket receives large volumes low-temperature combined wastewater and the heat recovery is done on the treated water before it is discharged in to the Baltic Sea. The greatest heat potential in this study was found at Öresundsverket due to the great volume flow entering the plant, but the heat pump has low efficiency and hence the profitability is highly dependent of the electricity price. The result also showed that only a small part of the total heat potential that initially is found in the greywater is recovered at Öresundsverket because of heat losses.

The conclusion from this study was that the greatest profitability was found at Öresundsverket but because it is operating with a low-efficiency heat pump it is likely that it will not be the most profitable alternative in the future. The second most profitable alternative is heat recovery from the entire H⁺, which also is the alternative with greatest environmental benefits. The third most profitable alternative is heat recovery at the hospital. Due to high-temperature greywater the heat pump operating at the hospital is of high efficiency and most stable to future changes in the electricity price.

The result obtained in this report can be used when deciding about urban greywater heat recovery and to map the potential thermal energy in the urban wastewater system.

Sammanfattning

Vid värmeåtervinning från gråvatten nyttjas spillvärme som annars skulle gått förlorad från stadens infrastruktur. Gråvatten är avloppsvatten från bad, disk och tvätt. Utav hushållsavloppsvattnets totala kemiska och termiska energi finns 80 % lagrad i gråvattnet i form av värme. Genom att källsortera avloppsvatten kan värmeenergin i gråvattnet utnyttjas samtidigt som andra åtgärder med ekologiska fördelar möjliggörs.

Utvecklingen av lågenergihus har minskat hushållens energikonsumtion med mer än hälften men gråvatten som energikälla är en resurs som ännu inte utnyttjas till fullo. H+ är ett bostadsområde som ska byggas i Helsingborg med start 2016 där ett källsorterat avloppssystem ska installeras på grund av dess ekologiska fördelar. Det har ännu inte beslutats huruvida värmeåtervinning från gråvattnet ska implementeras vid H+. Det är bevisat att gråvatten har god värmeåtervinningspotential, men vart i en stad är det mest lönsamt att implementera? Syftet med detta arbete har varit att undersöka om värmeåtervinning från hushållsgråvatten i H+ är en lönsam investering jämfört med värmeåtervinning från gråvattnet på sjukhuset i Helsingborg samt med nuvarande värmeåtervinningen från avloppsvattnet på Öresundsverket.

För att besvara syftet utfördes en beräkningsstudie där värmeåtervinningspotentialen och energibesparingens nuvärde beräknades för H+ och sjukhuset i Helsingborg. Först jämfördes lokal värmeåtervinning på fastighetsnivå med central värmeåtervinning på avloppsreningsverk på H+ och därefter jämfördes värmeåtervinning från gråvatten på sjukhuset med värmeåtervinning från hög-tempererat processvatten. Resultatet från denna beräkningsstudie jämfördes sist med den faktiska värmeåtervinningen från avloppsvattnet på Öresundsverket.

Resultatet visade att lönsamheten beror på gråvattnets temperatur, framledningstemperaturen, flödesvolymen, avståndet mellan tappkälla och värmepump samt elpriset.

Beräkningsstudien visade att värmeåtervinning vid H+ kan resultera i en årlig energibesparing för uppvärmning av tappvarmvattnet med ca 60 % och en årlig kostnadsbesparing på ca 30 %. Nuvärdet av energibesparingen på fastighetsnivå ligger på 375 kkr vilket innebär att investeringen är lönsam om investeringskostnaden understiger detta värde. Resultatet visade att lokal värmeåtervinning är lönsammare än central vid långa avstånd mellan tappkälla och värmepump på grund av värmeförluster i ledningsnätet. Ett avstånd på 13 km resulterar i att energibesparingens nuvärde halveras på fastighetsnivå. Vid H+ är detta avstånd endast 500 m och värmeförlusterna i ledningsnätet beräknades vara försumbara. Huruvida lokal värmeåtervinning är lönsammare än central beror istället på valet av framledningstemperatur och en framledningstemperatur på 40 grader gav störst lönsamhet.

Värmeåtervinning vid sjukhuset är effektivare än vid H+ på grund av att gråvattnet har högre temperatur. Beräkningsstudien visade att det är lönsammare att värmeåtervinna från gråvattnet på sjukhuset än processvattnet men vid värmeåtervinning från processvattnet har högst effektivitet av samtliga studerade alternativ i detta arbete. Huruvida värmeåtervinningspotentialen är störst vid H+ eller sjukhuset beror på hur stor del av H+ som inkluderas i värmeåtervinningen. H+ ska byggas i etapper och om endast Etapp 1 och Etapp 2 inkluderas i värmeåtervinningen är det lönsammare att värmeåtervinna från sjukhuset, men vid värmeåtervinning från hela H+ är det

lönsammare att värmeåtervinna från H+.

Öresundsverket tar emot stora volymer låg-tempererat kombinerat avloppsvatten och värmeåtervinningen utförs på det behandlade avloppsvattnet. Störst värmeåtervinningspotential i detta arbete hittades vid Öresundsverket på grund av hög flödesvolym men värmepumpen på Öresundsverket har låg effektivitet vilket gör att lönsamheten är beroende av elpriset. Resultatet visade även att endast en liten del av den totala termiska energi som finns lagrad i gråvattnet utnyttjas vid värmeåtervinning på Öresundsverket på grund av värmeförluster.

Slutsatsen från detta arbete är att störst lönsamhet hittas vid värmeåtervinning på Öresundsverket men då den opererar med en lågeffektiv värmepump är det möjligt att detta inte är det lönsammaste alternativet i framtiden. Näst störst lönsamhet återfinns vid värmeåtervinning från hela H+ och det är även detta alternativ som har flest ekologiska fördelar. Minst lönsamhet återfinns vid värmeåtervinning på sjukhuset på grund av mindre flödesvolym. Då sjukhusets har effektivast värmepump av de studerade alternativen ger den stabilast resultat vid framtida förändringar av elpriset.

Resultatet i detta arbete kan användas vid beslut kring värmeåtervinning från gråvatten i stadsmiljö samt vid kartläggning av värmepotentialen i avloppssystemet.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Syfte och mål.....	1
1.2 Generell metod.....	2
1.3 Avgränsning.....	2
2. Områdesbeskrivning.....	3
2.1 H+.....	4
2.2 Sjukhuset.....	5
2.3 Öresundsverket.....	5
3. Bakgrund.....	7
3.1 Hushållens energianvändning.....	8
3.1.1 Varmvatten.....	8
3.3 Gråvatten.....	9
3.3.1 Gråvattnets kvalitet och kvantitet.....	10
3.4 Källsorterande avloppssystem.....	12
3.4.1 Möjligheter med källsorterande system.....	12
3.4.2 Begränsningar med källsorterande system.....	13
4. Teori om värmeåtervinning.....	15
4.1 Värmeväxlare.....	15
4.2 Värmepumpar.....	16
4.2.1 Värmefaktor.....	17
4.3 Värmeförluster.....	18
5. Pågående projekt och tillgänglig teknik.....	21
5.1 Värmeåtervinningsprojekt.....	21
5.1.1 Värmeåtervinning från gråvatten i Jenfelder Au i Hamburg.....	21
5.1.2 Gråvatten värme- och vattenåtervinning i Arnimplatz i Berlin.....	23
5.1.3 Äldreboendet vid Brofästet, Norra Djurgårdstaden i Stockholm.....	25
5.2 Tillgänglig teknik.....	26
5.2.1 Menerga AquaCond 44.....	27
5.2.2 Sewage heatrecovery SHARC.....	27

5.2.3 Sewage heatrecovery PIRANHA	28
6. Metod	31
6.1 Beräkningsstudie	32
6.1.1 Värmeåtervinning på H+	32
6.1.2 Sjukhuset	36
6.1.3 Värmeåtervinning vid Öresundsverket	39
6.2 Livscykelkostnadsanalys	40
6.3 Känslighetsanalys	42
7. Resultat och diskussion	43
7.1 H+	43
7.1.1 Resultat för värmeåtervinning på fastighetsnivå	43
7.1.2 Resultat för värmeåtervinning vid H+ Etapp 1 och 2	48
7.1.3 Lokalt eller centralt	51
7.2 Sjukhuset	52
7.2.1 Jämförelse gråvatten och processvatten	52
7.3 Jämförelse av värmeåtervinningspotential	55
7.3.1 Jämförelse mellan H+ och sjukhuset	55
7.3.2 Jämförelse mellan H+ och Öresundsverket	56
8. Känslighetsanalys	61
8.1 COP	61
8.2 Elpris	62
9. Slutdiskussion	65
10. Slutsatser	67
11. Framtida forskning	69
12. Referenser	71

1. Inledning

Avloppsvatten är en resurs som i dag inte utnyttjas fullständigt (Larsen et al., 2013). Genom att källsortera hushållsavloppet i fraktionerna svart- och gråvatten kan resurserna i avloppsvattnet utnyttjas bättre än vid konventionell hantering. På samma sätt som material- och energiåtervinningen gynnas av avfallssortering, kan källsorterade avloppssystem gynna vatten-, närings- och energiåtervinningen i den urbana vattenhanteringen. Enligt en livscykelanalys (LCA) där ett konventionellt avloppssystem har jämförts med ett källsorterat visade resultatet att det källsorterande systemet har betydande möjligheter att öka vattenhanterings långsiktiga hållbarhet (Remy, 2010). Genom att separera gråvatten och svartvatten, möjliggör man en mer energieffektiv reningsprocess, näringsämnen i svartvattnet blir mer lättillgängliga för återvinning, biogasutvinningen gynnas och den termiska energin i gråvattnet blir mer koncentrerad (Larsen et al., 2013). Gråvatten är ett samlingsnamn på vatten från dusch & bad, tvättmaskin, diskmaskin samt vask. Gråvattnet är renare än det övriga avloppsvattnet (Nolde, 1999), och kan därför återanvändas som till exempel spolvatten eller till bevattning efter en enklare biologisk reningsprocess (Larsen et al., 2013). Detta skulle resultera i en minskad dricksvattenkonsumtion.

Studier har visat att en stor del av VA-systemets energiförbrukning ligger på hushållsnivå i form av uppvärmning av varmvatten (Åmand, 2010). Denna värme kan tas tillvara på genom värmeåtervinning från gråvattnet. Gråvattnet innehåller 80 % av hushållsavloppsvattnets totala kemiska och termiska energi, lagrad i form av värme (Larsen, 2015). Vid värmeåtervinning ur gråvatten produceras högvärdig värme som kan användas för att minska hushållets totala energikostnader. Gråvattnet utgör den renare, större och den varmare fraktionen spillvatten (Larsen, 2015) då avloppsvattnet är källsorterat i svart- och gråvatten. Av denna anledning lämpar sig gråvatten väl för värmeåtervinning.

Värmeåtervinning från gråvatten kräver ett källsorterande avloppssystem där svartvattnet och gråvattnet har separerats. Det är en större ekonomisk investering att källsortera avloppsvatten jämfört med konventionell avloppshantering då separata avloppsrör för svartvattnet och gråvattnet måste anläggas. Källsorterade avloppssystem har flera ekologiska fördelar framför det konventionella systemet (Remy, 2010) men på grund av förhöjda investeringskostnader installeras de sällan. Det är bevisat att potentialen är god för värmeåtervinning från gråvatten, men i vilka fall är det mest lönsamt att utföra det i en stadsmiljö? Det vet man inte idag och därför har värmeåtervinningspotentialen och lönsamheten uppskattats för tre scenarion i detta arbete. Det första gäller hushållsgråvatten från stadsdelen H+ i Helsingborg, det andra gäller gråvatten från sjukhuset i Helsingborg och det tredje är den faktiska värmeåtervinningen från avloppsvatten vid avloppsreningsverket Öresundsverket i Helsingborg.

1.1 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet var att undersöka om värmeåtervinning från gråvatten är en lönsam investering vid nybyggnation av flerbostadshus med separerade avloppssystem i jämförelse med värmeåtervinning på ett sjukhus eller ett reningsverk.

Målet var att resultaten från examensarbetet skall kunna användas som beslutsunderlag för kommunala och privata aktörer som överväger värmeåtervinning från gråvatten då de arbetar med separerade avloppssystem.

1.2 Generell metod

För att uppfylla syftet har två delmoment utförts; en litteraturstudie och en beräkningsstudie.

I arbetets litteraturdelen sammanställs svenska schablonvärden och litteraturvärden som nyttjas i beräkningsstudien.

I beräkningsdelen uppskattades energibesparingen som värmeåtervinning från gråvatten kan medföra samt utfördes beräkningar för att jämföra lokal värmeåtervinning på fastighetsnivå med central värmeåtervinning på reningsverket. Vidare jämfördes dessa resultat med den värmeåtervinningspotential som kan erhållas på sjukhuset och Öresundsverket i Helsingborg. Sist beräknades nuvärdeskostnaden för investeringar i värmeåtervinning från gråvatten.

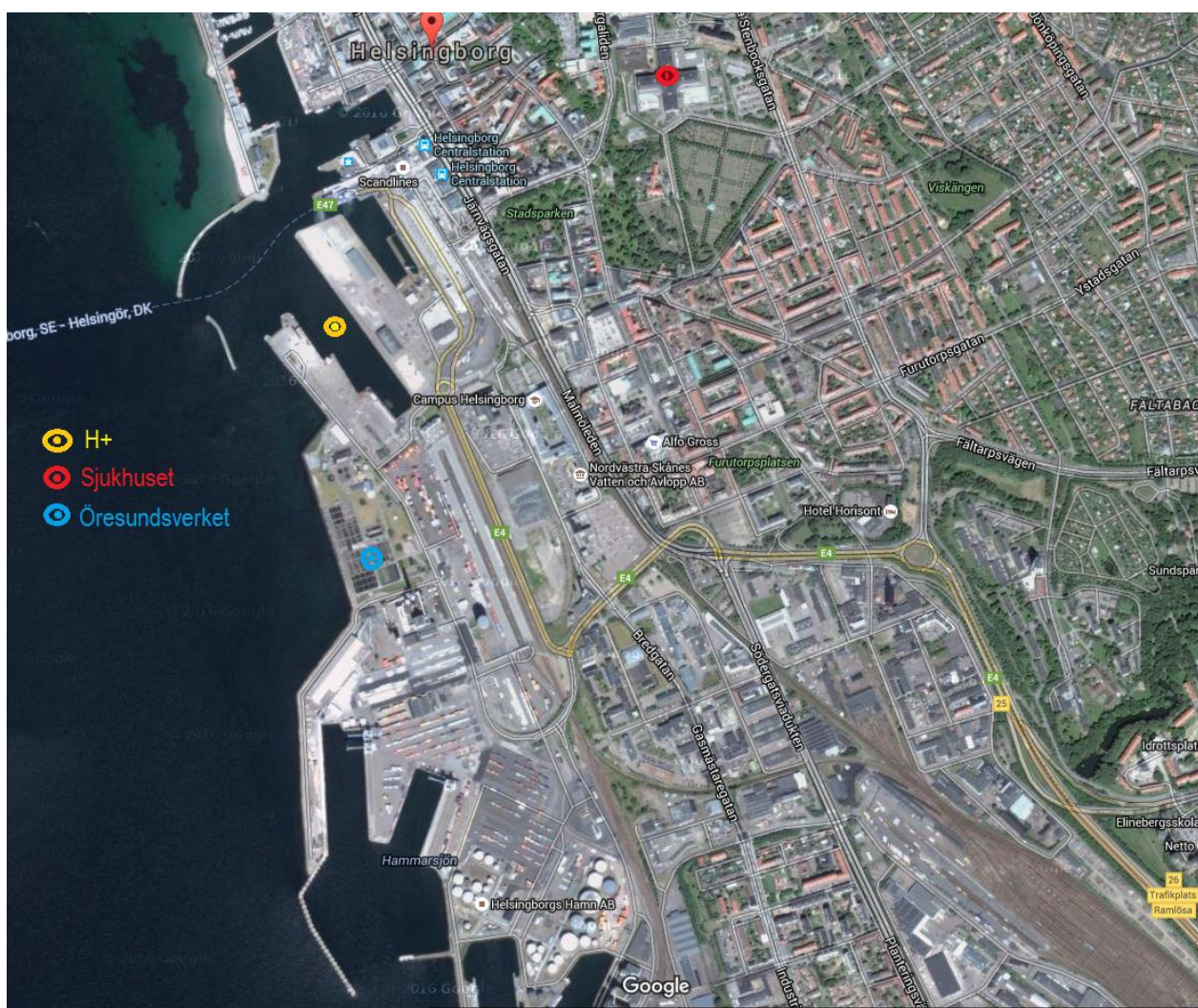
1.3 Avgränsning

Rening och återanvändning av gråvatten ingår inte i detta arbete och därmed inkluderas inte den energibesparing som tillkommer om gråvattnet återanvänds och drickvattenkonsumtionen minskar. Värmeåtervinningslösningar bestående av enbart värmeväxlare inkluderas inte i beräkningsstudien och inte heller värmeåtervinning utförd direkt i lägenheten.

Kostnadsförändringar som är förenade med separerat svartvatten och en matavfallskvarn ingår inte i lönsamhetsberäkningarna.

2. Områdesbeskrivning

I detta avsnitt följer en generell områdesbeskrivning där de studerade områdena beskrivits närmare. Samtliga studerade områden är belägna i Helsingborg. Helsingborg är en stad i nordvästra Skåne med mer än 135 000 invånare (Helsingborg stad, 2015a). Stadens vision är ”år 2035 ska Helsingborg vara en livskraftig, energineutral och attraktiv stad som existerar i harmoni med människan och i balans med naturen”. En del av arbetet för att nå visionen sker genom byggandet av en hållbar och modern stadsdel som heter H+ (Helsingborg stad, 2015b). Figur 1 visar en satellitbild över Helsingborg där H+, sjukhuset och Öresundsverket är utmarkerade (Google Maps, 2016). Nedan följer en närmare beskrivning av respektive plats.



Figur 1. Satellitbild över Helsingborg med H+, sjukhuset och Öresundsverket utmarkerade, från Google Maps.

2.1 H+

H+ är ett stadsförnyelseprojekt som skall byggas i södrahamnen i centrala Helsingborg. Området skall totalt rymma ca 11 000 invånare, 4 000 - 5 000 lägenheter, fem till sex förskolor, två grundskolor samt lokaler för handel och service, och det planeras stå klart år 2035 (Helsingborg stad, 2013). Bygget är uppdelat i etapper och Etapp 1 beräknas vara klart 2018. Det är inte bestämt exakt när övriga etapper ska vara klara men detaljplanarbetet för Etapp 2 har påbörjats under våren 2016 (Helsingborg stad, 2016). Figur 2 nedan illustrerar det preliminära utformandet av Etapp 1 och Etapp 2 (HD, 2015).



Figur 2. Översikt över Etapp 1 och Etapp 2 vid H+. Publicerad med tillstånd från Krister Cronqvist/Sydsvenskan.

Helsingborg stad har som mål att vara energineutralt till år 2035 och tanken är att H+ ska bidra till detta mål genom nytänkande, smarta och effektiva lösningar. Några av utgångspunkterna för planeringen har varit att skapa ett system med maximal resurseffektivitet och återföring av resurser, optimerad anpassning till klimatförändringarna samt med minimal produktion av restprodukter och utsläpp (Helsingborg stad, 2011). Arbetet kring tänkbara energi-, vatten-, avlopps- och avfallssystem (EVAA) innehöll hållbara lösningar för energi- och vattenanvändningen samt för avloppssystemet och avfallshanteringen i H+. Det planerade systemet har bl.a. ett källsorterat avloppssystem där gråvatten och svartvatten separeras, vakuumtoaletter samt köksavfallskvärl i köksvasken som separerar vattnet från köksvasken från det övriga gråvattnet. Gråvattenfaktionen i H+ består alltså av vattnet från dusch, vask,

diskmaskin och tvättmaskin. Köksvasken, som är den mest förorenade gråvattenfraktionen (Larsen et al., 2013) ska inte ingå i gråvattnet från H+.

Det har ännu inte beslutats huruvida värmeåtervinning från gråvatten skall installeras eller inte, men då det har bestämts att man ska ha ett källsorterande avloppssystem finns förutsättningarna på plats.

2.2 Sjukhuset

I december 2015 påbörjades renoveringen och nybyggnationen av sjukhuset i Helsingborg. Den nuvarande sjukhusbyggnaden kommer ha 330 vårdplatser när renoveringen är klar och en ny sjukhusbyggnad med 80 vårdplatser kommer att byggas till öster om den nuvarande sjukhusbyggnaden (Kihlman, 2016). Under renoveringen av sjukhuset har man passat på att uppdatera sjukhusets vattenresurshantering. En egen dricksvattenkälla ska byggas och den ska fungera som reserv om det kommunala dricksvattnet skulle slås ut (Asmoarp, 2016).

Ett sjukhus producerar mycket avloppsvatten då det är en plats där många är i rörelse dagligen och en del av detta vatten är hög-tempererat processvatten. Processvattnet uppstår då ett sjukhus måste rengöra och desinfektera utrustning dagligen vilket kräver höga temperaturer. Av denna anledning är det möjligt att gråvattnet på ett sjukhus är varmare än vanligt hushållsgråvatten, vilket gör det intressant ur värmeåtervinningsynpunkt. Vid nybyggnation och renovering av ett sjukhus finns möjlighet att byta avloppssystem till ett källsorterande system och i detta arbete ska det undersökas om detta är rekommenderbart ur värmeåtervinningsynpunkt.

2.3 Öresundsverket

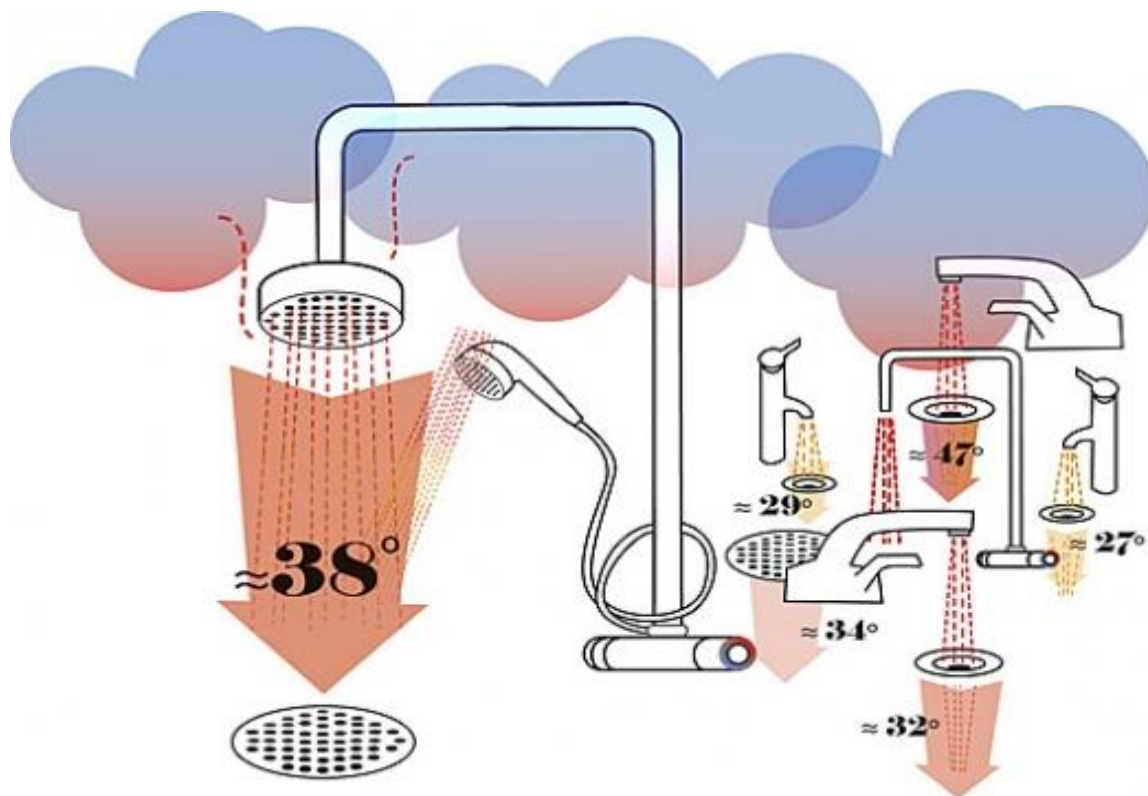
Öresundsverket är ett kommunalt avloppsreningsverk i Helsingborg som tar emot vatten från 119 000 personer och är dimensionerat för 143 700 personekvivalenter (PE). Sedan 1996 har man återvunnit värme från det behandlade avloppsvattnet med hjälp av en värmepump och värmeåtervinningen bidrar med 10 % av Helsingborgs fjärrvärmebehov. (NSVA, 2014) Det längsta avståndet mellan tappkälla och Öresundsverket är ca 21 km (NSVA, 2016).

Ett reningsverk tar emot stora volymer avloppsvatten. Avloppsvattnet består oftast av en blandning av hushållsavloppsvatten, dagvatten och industrivatten och det transporteras sträckan mellan tappkällan och reningsverket innan behandling. Avloppsvattnet som når reningsverket har en medeltemperatur på mellan 10-15 °C (Sievers et al., 2014) och temperaturen är säsongsberoende, det vill säga den är varmare på sommaren och kallare på vintern på grund av värmeförluster till omgivningen (Eckenfelder, 2006).

Då ett reningsverk tar emot stora volymer vatten kan relativt stora mängder värme återvinnas trots att avloppsvattnet har låg temperatur. Värmeåtervinning på reningsverk efter reningsprocessen är en beprövad värmeåtervinningsmetod och det utförs på flera reningsverk i Sverige (Olsson, 2008). I detta arbete ska den värmeåtervinningspotential som finns på ett avloppsreningsverk sättas i relation till den motsvarande värmeåtervinningspotentialen som H+ och sjukhuset i Helsingborg har.

3. Bakgrund

Varje år försvinner miljarder kilowattimmar energi ner i avloppet från hushåll (Snis, 2013). Totalt finns 80 % av denna energi koncentrerad som värmeenergi i gråvattnet (Larsen, 2015) men detta är en resurs som det inte tas tillvara på i någon större utsträckning idag. Skulle denna värmeenergi utnyttjas på fastighetsnivå genom värmeåtervinning skulle man kunna minska energianvändningen i hemmet. I figur 3 illustreras värmeförlusterna i hemmet (Snis, 2013).



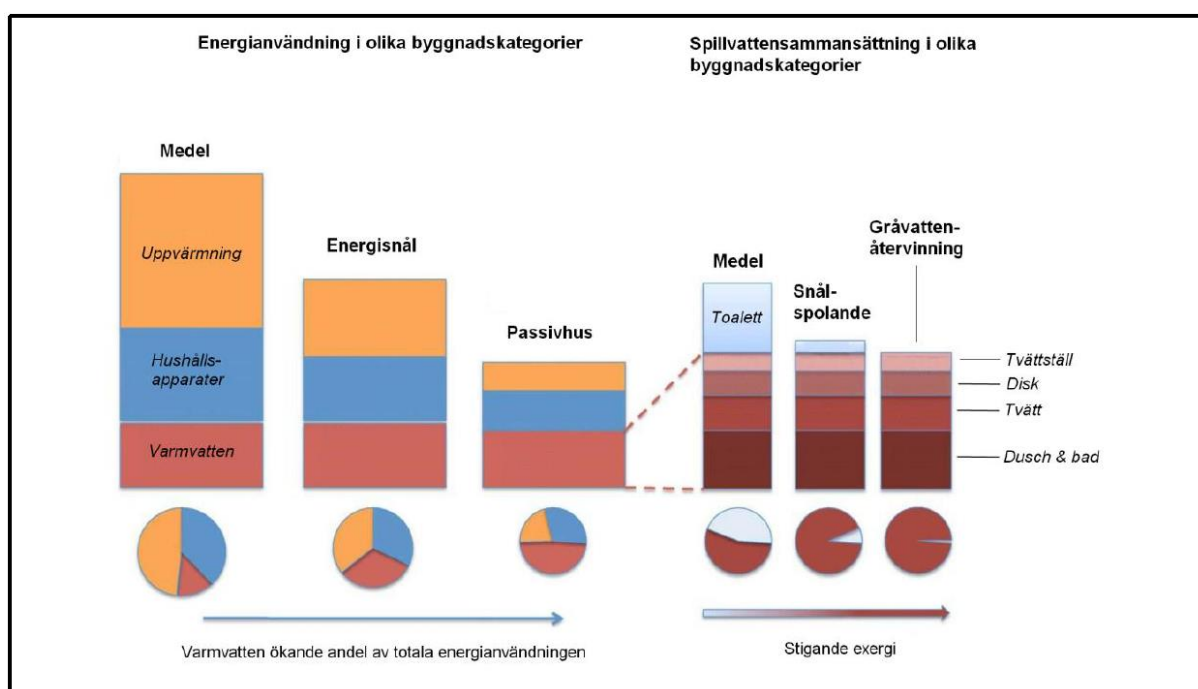
Figur 3. Illustrerar värmeförlusterna från hushållsgråvatten. Publicerad med tillstånd av Ulrika Majstrovic Hansén/Tidningen Bofast.

Värmeåtervinning från spillvatten är inte nytt. Reningsverk har länge utnyttjat värmen i avloppsvatten innan det släpps ut till recipienten (Durrenmatt & Wanner, 2014). Exempelvis Öresundsverket i Helsingborg har återvunnit värme från avloppsvattnet sedan 1996 med hjälp av en värmepump (Baaring, 2015). Värmeåtervinning är effektivare ju närmare tappkällan den utförs då värmeförluster från transport i ledningsnät undviks (Larsen, 2015). Värmeförlusterna i ledningsnätet är särskilt stora vintertid (Abdel-Aal et al., 2014). I hushållens avloppsvatten finns den termiska energin koncentrerad i gråvattnet, där 80 % av avloppsvattnets totala energipotential finns lagrad (Larsen, 2015). Vid lokal värmeåtervinning på fastighetsnivå utnyttjas värmen i spillvattnet direkt utan de värmeförluster som är associerade med långa transporter i rör, samtidigt som dess omedelbara användbarhet i hushållen kan utnyttjas. (Larsen, 2015) Således finns alltså en potential för effektivare värmeåtervinning då den utförs nära tappkällan.

3.1 Hushållens energianvändning

Hushåll står för en stor del av världens totala energikonsumtion och byggnader står för två tredjedelar av elanvändning i världen (Meggers & Leibundgut, 2010). I Sverige utgör bostäder och lokaler 39 % av den totala nationella energiförbrukningen, varav 60 % går till uppvärmning och varmvatten (Lundh & Hiller, 2011). För att minska hushållens energiförbrukning föreslår Meggers & Leibundgut (2010) att man antingen kan öka tillgängligheten på förnyelsebar energi eller att man minskar hushållens energibehov genom hållbara tekniklösningar såsom värmeåtervinning.

Genom teknikutveckling har energiförbrukningen hos nybyggda passivhus kunnat minskas till mindre än hälften av den energiförbrukning ett genomsnittligt hushåll har (Meggers & Leibundgut, 2010). Trots denna teknikutveckling har energianvändningen för varmvattenuppvärmning stått oförändrad (Nykvist, 2012). Detta skildras i figur 4 nedan (Meggers & Leibundgut, 2010). Figuren visar utvecklingen av energisnålt byggande samt den outnyttjade värmepotentialen som finns i gråvattnet. Hushåll konsumerar mycket energi och ett relativt nytt och oprövat sätt att minska på denna energianvändning är alltså att utnyttja den termiska energin som finns i gråvattnet.

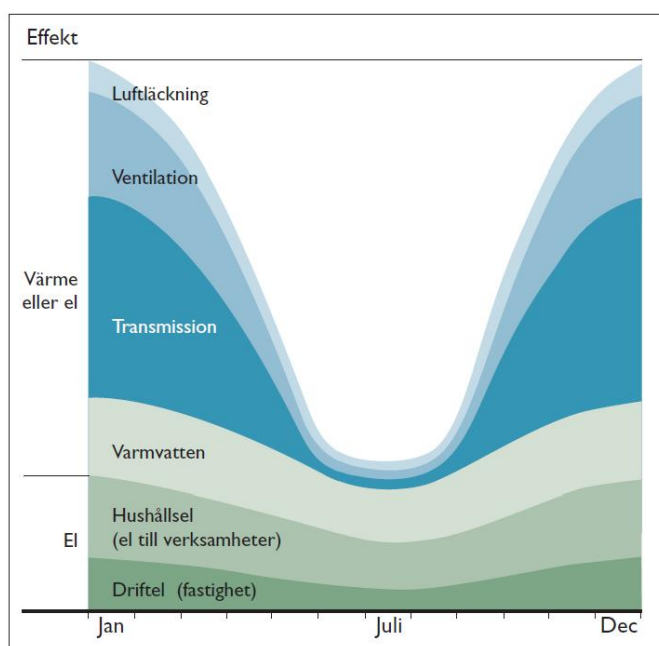


Figur 4. Värmepotentialen i gråvattnet skildras samt hushålls energianvändning. Publicerad med tillstånd av Elsevier.

3.1.1 Varmvatten

Varmvattnet står för mellan 10 - 20 % av ett genomsnittligt hushålls totala energiförbrukning (Meggers & Leibundgut, 2010), men i ett passivhus står det för över 50 % då man minskat energiförbrukningen för uppvärmning och hushållsapparater (figur 4). Nästa steg i utvecklandet

av nollenergihus borde rimligtvis vara att minska varmvattnets energianvändning. Behovet av varmvatten är stabilt över året och det påverkas relativt lite av utomhustemperaturen (Persson, 2002). Energianvändningens årsvariation i ett hushåll skildras i figur 5 nedan (Person, 2002). I genomsnitt förbrukar ett hushåll i Sverige mellan 115-190 MWh/ år för uppvärmningen av varmvattnet (Stengård, 2009). Figuren visar att varmvattenanvändningen inte är lika säsongsberoende som uppvärmningen av bostaden. Detta innebär att det finns ett jämnt behov av varmvatten året om och därmed en direkt användning av det varmvattnet som en värmepump kan extrahera från gråvattnet.



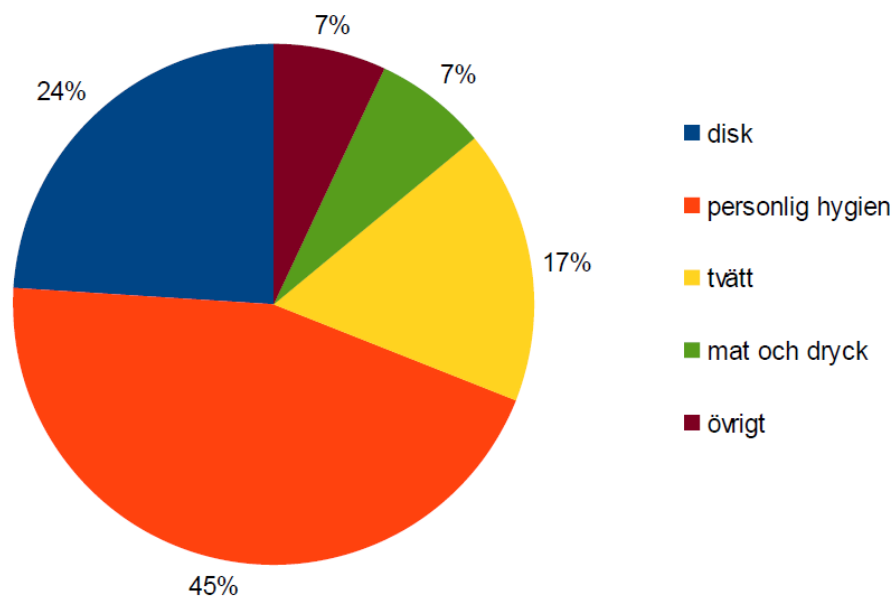
Figur 5. Skildrar energiförlusternas årsvariation i ett hushåll. Publicerad med tillstånd av Persson (2002).

Temperaturen på varmvattnet i ett hushålls ackumulatortank bör vara mellan 50-60 °C för att undvika tillväxt av legionellabakterier, då dessa inte kan föröka sig i vatten som är varmare än 45 °C varmt. Av denna anledning rekommenderar Boverket (2013) en framledningstemperatur på 50 °C eller mer. Meggers et al (2011) använde en framledningstemperatur på 50 °C vid värmeåtervinning från gråvatten. Framledningstemperaturen är den temperatur som värmepumpen höjer det inkommande tappvattnet till (NIBE, 2015). Genom att utnyttja värmeåtervinning från gråvatten kan energianvändningen för uppvärmningen av varmvattnet minska.

3.3 Gråvatten

Gråvatten är ett samlingsnamn för vatten från tvättmaskin, diskmaskin, vask, samt dusch och bad, alltså allt hushållsavloppsvatten förutom toalettvattnet. I genomsnitt är mellan 60-70 % av avloppsvattnet gråvatten (Friedler, 2004). Gråvattnets volym är fördelad på källor i hemmet enligt följande cirkeldiagram skildrat i figur 6 (Archer, 2012). Som figuren visar är

gråvattenanvändningen fördelad på disk, personlig hygien, tvätt, mat och dryck samt övrigt. Då varje gråvattenkälla har en specifik temperatur och kemisk karaktär påverkas gråvattnets kvalité av fördelningen presenterad i figuren.



Figur 6. Gråvattenvolym uppdelad på källor i hemmet. Publicerad med tillstånd av Emulsionen (2012).

Gråvatten kan delas upp i ljust gråvatten, som är det mindre förorenade vattnet från dusch och bad, och mörkt gråvatten, som är det mer förorenade vattnet från diskmaskin, tvättmaskin och köksvasken (Sievers et al., 2014). Ljust gråvatten innehåller främst tvål, schampo, tandkräm, smink och andra kroppsvårdsprodukter, samt hår, hud, kroppsfetter och det kan även innehålla spår av urin och avföring. Mörkt gråvatten innehåller främst matrester, höga halter oljor och fett samt diskmedel, tvättmedel, blekningsmedel, och det kan innehålla spår av urin och avföring om tygblöjor tvättas i tvättmaskinen (Morel & Diener, 2006). Höga halter av oljor och fett i vattnet kan leda till beläggningar och sätta sig på de värmeöverförande ytorna i värmeåtervinningssystemet vilket kan minska värmeöverföringen och systemets effektivitet (Nykvist, 2012). Köksvasken har identifierats som den mest förorenade gråvattenströmmen och innehåller mellan 40-60 % av gråvattnets totala föroreningar och höga halter av oljor och fett. (Larsen et al., 2013) Värmeåtervinning från spillvatten kan påverkas av innehållet i vattnet, dels på grund av att föroreningar kan sätta sig på de värmeöverförande ytorna och minska värmepumpens verkningsgrad och dels på grund av att vissa föroreningar (särskilt fett och oljor) kan orsaka stopp i rören då spillvattentemperaturen är låg efter värmeåtervinningen (Nykvist, 2012).

3.3.1 Gråvattnets kvalité och kvantitet

Litteraturvärden för gråvattenflöden och temperatur varierar i olika rapporter och mätningar. Vattenanvändningen i Sverige är i genomsnitt 160 liter per person och dag (Svenskt vatten,

2016). Studier har visat att mellan 60-70 % av avloppsvattnet är gråvatten (Friedler, 2004). Litteraturvärden varierar mellan 66-133 liter gråvatten per person och dag (Archer, 2012). I Tyskland är gråvattenproduktionen mellan 60-90 liter per person och dag och medianvärdet i Europa ligger på 110 liter per person och dag (Sievers et al., 2014). Vattenanvändning är nära kopplat till livsstils- och konsumtionsvanor (WWF, 2014) och därför varierar litteraturvärdena för gråvattenflöden både mellan och inom länder. Skillnaderna mellan max- och minflöden är större i bostäder med färre boende (Friedler, 2004). En värmepump kräver ett kontinuerligt inflöde av vatten och därmed måste en ackumulatortank installeras i anslutning till värmepumpen i de fall som gråvattenflödet inte är tillräckligt stort för att leverera ett kontinuerligt jämnt flöde till värmepumpen (Nykvist, 2012).

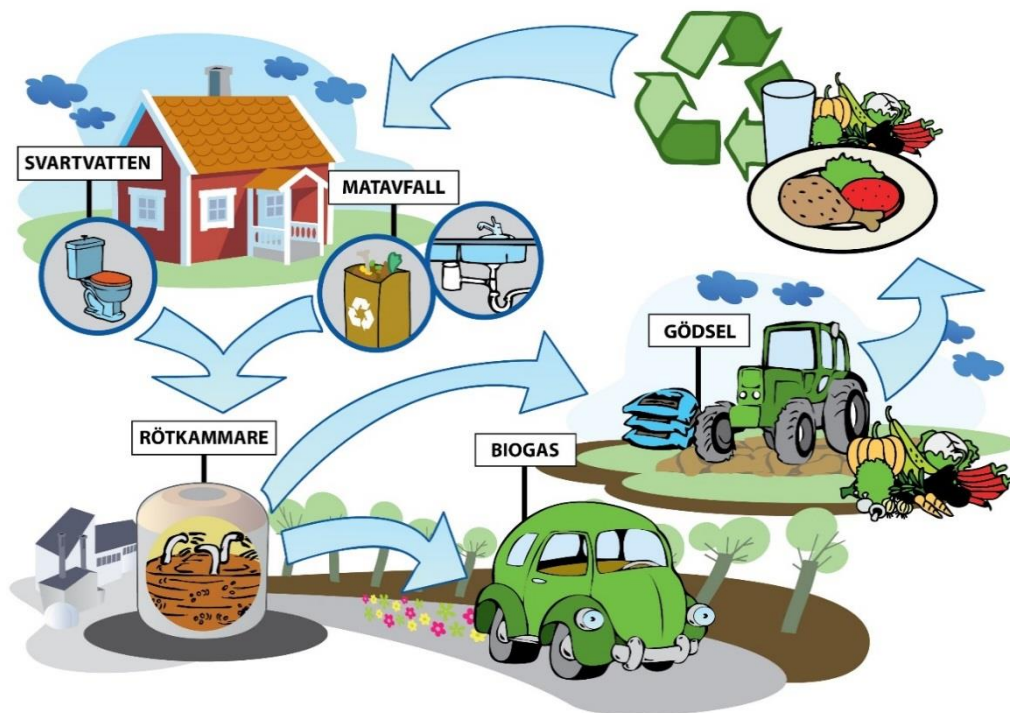
Gråvattnet har en högre temperatur än det övriga hushållsavloppsvattnet men dess temperatur varierar beroende på källan. Avloppsvatten som når det kommunala reningsverket har en medeltemperatur mellan 10-15 °C, medan gråvattnets medeltemperatur kan variera mellan 14.6–43 °C (Sievers et al., 2014). Medeltemperaturen fluktuerar mycket då gråvattnets källor oftast inte har en konstant temperatur; dusch- och badvattnets temperatur kan variera mellan 15-40 °C, tvättmaskinens vattentemperatur är oftast 40 °C men kan även producera vatten som är 80-85 °C varmt och diskmaskinens vattentemperatur varierar mellan 50-70 °C (Larsen et al., 2013). Gråvatten varierar alltså mycket i både temperatur och innehåll beroende av vilken källa i hushållet det kommer ifrån. Ju fler hushåll gråvattnet kommer ifrån, desto stabilare är flödet (Naturvårdsverket, 2007) och temperaturen (Malm, 2010). I tabell 1 nedan presenteras en sammanställning över gråvattentemperaturer från olika litterära källor. Tabellen visar att gråvattnets temperatur varierar mycket mellan olika litterära källor. Medeltemperaturen beräknades från samtliga källor listade i tabellen till 25 °C och denna temperatur har använts som utgångspunkt i arbetets beräkningsstudie.

Tabell 1. Sammanställning över litteraturvärden för gråvattentemperatur.

Gråvattentyp	Temperatur	Källa
Gråvattentemperatur enligt litteratursammanställning	18-30	Morel & Diener (2006)
Gråvattentemperatur enligt litteratursammanställning	18-38	Eriksson et al (2002)
Mätning av temperatur på inkommande gråvatten till en trekammarbrunn i Tyskland	20 +/- 0.3	Li et al (2008)
Mätning av temperatur på gråvatten från fastighet i Tyskland	14.6 -43	Knerr et al (2009)
Medeltemperaturen på ljus gråvatten för fastighet i Tyskland	30	Menger Krug et al (2010)
Mätning av gråvattentemperatur i Tyskland i april	21.1–24.6	Sievers et al (2014)
Uppmätt gråvattentemperatur under ett år i Sneek, Nederländerna	10-27	Wiersma (2013)
Medeltemperatur vid prototypanläggning i Winnipeg, Kanada	35	Proskiw (1995)
Medelvärde	25	Beräknat

3.4 Källsorterande avloppssystem

Värmeåtervinning från gråvatten kräver ett sorterande avloppssystem, där gråvattnet separeras från det övriga avloppsvattnet. Sorterande avloppssystem har visat sig ha många ekologiska fördelar då det bland annat möjliggör en ökad näringsåtervinning och därmed bidrar till ett cirkulärt kretslopp av näringsämnen som figur 7 visar nedan (Kjerstadius et al., 2012). I detta avsnitt ska möjligheter och begränsningar med ett sorterande avloppssystem presenteras.



Figur 7. Bild som skildrar nyttan av separerat svartvatten. Publicerad med tillstånd från NSVA.

3.4.1 Möjligheter med källsorterande system

Nedan listas möjligheterna med källsorterande avlopp i punktform.

- Möjligt att utnyttja den termiska energin som finns lagrad i gråvattnet. Gråvattnet innehåller 80 % av den totala termiska och kemiska energi som finns i avloppsvattnet (Larsen, 2015). Genom att separera gråvattnet får man en fraktion där den termiska energin finns koncentrerad vilket resulterar i att en effektivare värmeåtervinning är möjlig.
- Ökad biogasproduktion. Genom att ytterligare sortera avloppsvattnet i gråvatten, svartvatten och matavfallskvarn kan biogasproduktionen ökas med mellan 70-100% (Kjerstadius et al., 2012).
- Man får ett renare avloppsslam från avloppsreningsverket (Helsingborg stad, 2013), vilket resulterar i en renare gödselprodukt och effektivare

näringsåtervinning. Svartvattnet (vattnet som kommer från toaletten) består av urin, avföring och spolvatten. I urinen finns 79 % av avloppsvattnets kväve och 47 % av dess fosfor (Larsen et al., 2013). Genom att separera denna ström görs näringsämnen mer lättillgängliga för återvinning och kväveåtervinningen kan öka med mellan 30-650 % (Kjerstadius et al., 2012).

- Möjlighet till mer energi- och resurseffektiv rening. Då gråvattnets och svartvattnets kemiska sammansättnings skiljer sig åt, kan en mer effektiv och riktad rening göras mot de separerade fraktionerna samt möjlighet att återanvända gråvattnet. Gråvattnet, som utgör en större del av avloppsvattnets volym men innehåller låga halter av näringsämnen, behöver inte lika avancerad rening som svartvattnet. (Larsen et al., 2013)
- Minskad vattenanvändning om man använder vakuumpoletter.

3.4.2 Begränsningar med källsorterande system

Nedan listas begränsningarna med källsorterande avlopp i punktform.

- Höjd investeringskostnad. Det är dyrare att installera ett separerande avloppssystem jämfört med ett traditionellt. Kärman et al., (opubl)
- Omständigt att installera i befintliga hushåll. Då hela hushållets ledningsnät måste bytas ut lämpas det framförallt hos nybyggnation alternativt befintliga bostäder med behov av stambyte. (Nykvist, 2012)
- Påverkan på reningsverkets nitrifikation om värmeåtervinning utförs innan reningsverket. Efter värmeåtervinningen är temperaturen på det utgående gråvattnet sänkt då den lagrade värmen har extraherats av värmepumpen. Detta resulterar i att avloppsvatten med en lägre temperatur når reningsverket vilket kan påverka reningsprocessens effektivitet och kan därmed kräva en förlängd behandlingstid alternativt en större volym. Nitrifikationen blir särskilt påverkad av sänkt spillvattentemperatur (Emanuelsson, 1994).

Det finns alltså både möjligheter och begränsningar med källsorterande avloppssystem. Den främsta fördelen är att det är ett mer ekologiskt hållbart sätt att ta hand om avloppsvattnet jämfört med konventionell hantering (Remy, 2010). Det möjliggör en effektivare återvinning av näringsämnen, ökad biogasproduktion och mer resurs- och energieffektiv reningsprocess. Källsorterat avloppsvatten kan resultera i ytterligare energibesparingar om värmeenergin som finns koncentrerad i den separerade gråvattenfraktionen utnyttjas genom värmeåtervinning.

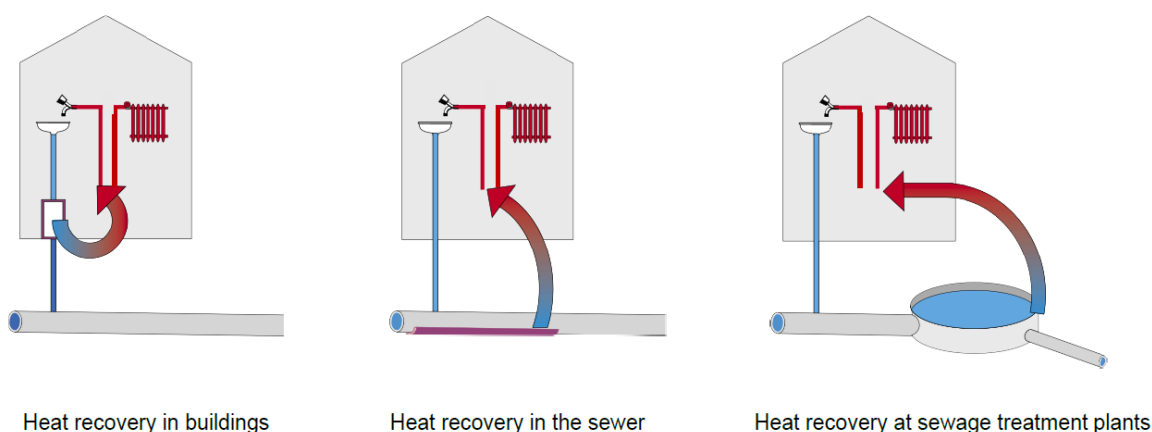
4. Teori om värmeåtervinning

Värmeåtervinning från gråvatten handlar om att tillvarata den termiska energin som finns lagrad i gråvattnet. Detta kan antingen göras med värmeväxlare eller med värmepump. Detta arbete har avgränsats till att endast behandla värmepumpslösningar då studier visat att värmeåtervinningspotentialen är störst vid värmeåtervinning med värmepumpar (Sievers et al., 2014; Meggers et al., 2011). I detta avsnitt behandlas teorin kring värmeväxlare, värmepumpar och värmeförluster som kan uppstå i ledningsnätet. Teori om värmeväxlare presenteras då de flesta värmepumpslösningar innehåller värmeväxlare. Den energimängd som finns lagrad i gråvattnet kan beräknas med ekvation 1.

$$Q = V * \rho * c_p * dT \quad (\text{Ekvation 1})$$

Där Q är värmeenergin [kWh], V är volymen [$\text{m}^3/\text{år}$], ρ är densiteten [kg/m^3], c_p är vattnets specifika värmekapacitet [$\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$], dT är temperaturskillnaden mellan gråvattnets temperatur och framledningstemperaturen [$^{\circ}\text{C}$].

Värmeåtervinningen som berörs i detta examensarbete är mellan två flytande medium; avloppsvattnet och varmvattnet. Värmeåtervinning kan ske på tre olika nivåer; direkt i byggnaden, i avloppsrören eller centralt på reningsverket. Detta illustreras i figur 8 nedan (Sievers et al, 2014). I detta arbete har endast två av dessa nivåer studerats närmare; värmeåtervinning direkt i byggnaden och centralt på reningsverket. Detta beror på att värmeåtervinning från avloppsrör framförallt utförs av värmeväxlare, vilket inte inkluderats i denna studie.



Figur 8. Skildrar de tre vanligaste värmeåtervinningsalternativen: i hushållet, i avloppsrören samt på reningsverket. Publicerad med tillstånd av Bauhaus Universitet.

4.1 Värmeväxlare

Enligt termodynamikens andra huvudsats flödar värme alltid spontant från en varmare plats till en kallare (Nationalencyklopedin, 2016). Denna process utnyttjar man vid värmeväxling. Genom att

ha ett varmt medium och ett kallt, kan värmeenergi från det varma mediet värma det kalla utan extern energitillförsel.

Värmeväxlare för två flytande medium kan vara utformade på flera olika sätt men består alltid av ett varmt och ett kallt medium som är separerade av ett värmeledande material. (Nykvist, 2012). Värmeväxlarens värmetransport (Q) från det varma mediet till det kalla kan beräknas med ekvation 2.

$$Q = m_1 * c_{p1} * \Delta_1 = m_2 * c_{p2} * \Delta_2 \quad (\text{Ekvation 2})$$

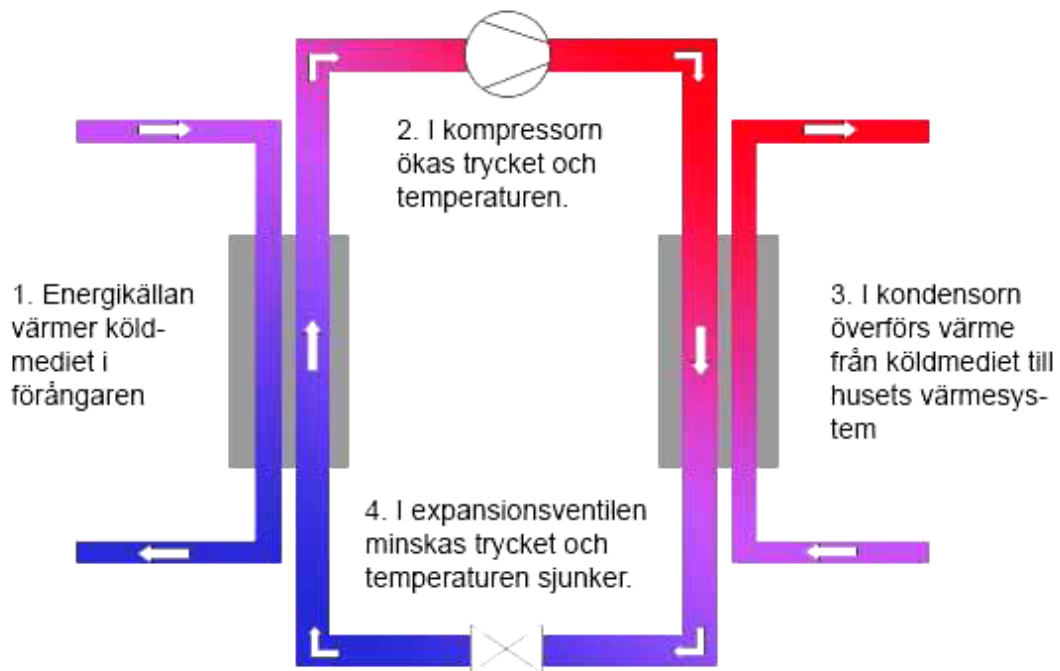
Där m_1 är massan för det varma mediet [kg], m_2 är massan för det kalla mediet [kg], Δ_1 är temperaturdifferensen för det varma mediet och Δ_2 är temperaturdifferensen för det kalla mediet.

Verkningsgraden hos en värmeväxlare påverkas av flera olika faktorer. Ju högre temperaturdifferensen mellan det varma och det kalla mediet är, ju högre verkningsgrad har värmeväxlaren. Värmeväxlarens verkningsgrad är även starkt kopplad till värmeöverföringsytans area, ju större ytan är ju högre blir verkningsgraden. Valet av värmeöverförande material mellan den varma och kalla sidan påverkar också verkningsgraden (Nykvist, 2012). Med andra ord kan man påverka en värmeväxlarens verkningsgrad på flera sätt och därmed optimera dess funktion.

4.2 Värmepumpar

En värmepump överför värme från ett kallt medium till ett varmare med hjälp av extern energitillförsel. Värmepumpen extraherar värme från en värmekälla och den levererade värmeenergin är summan av den extraherade värmen och den tillförda elektriciteten, vilket resulterar i att dess effektivitet är flera gånger så stor som konventionell användning av el till värmeproduktion (US department of energy, 2012).

Värmepumpen består av en kompressor, en kondensator, en förångare och en expansionsventil, och det är kompressorn som drivs av elektricitet. Figur 9 nedan visar en förenklad bild av en värmepump (Polarpumpen, 2014). Ett köldmedium cirkulerar i värmepumpen och används för att transportera värmeenergin från det kalla mediet till det varma.



Figur 9. Förenklad bild av en värmepumps funktion. Publicerad med tillstånd från Polarpumpen (2014).

Den genererade värmemängden (Q_1) som värmepumpen tillför det varma mediet är summan av värmemängden från det kalla mediet (Q_2) och tillförd elektricitet till kompressorn (E). De faktorer som påverkar mängden energi som den kan extrahera är värmefaktorn samt volymen som passerar värmepumpen. Nedan skildras ekvation 4 som används för att beräkna värmeenergin som värmepumpen ger upphov till och ekvation 5 som används för att beräkna den termiska energi som finns lagrad i värmekällan.

$$Q_1 = Q_2 + E \quad (\text{Ekvation 4})$$

$$Q_2 = V * \rho * c_p * dT \quad (\text{Ekvation 5})$$

Där Q_1 är den värmemängd som värmepumpen genererar [kWh/år], Q_2 är den värmemängd som finns lagrad i värmekällan [kWh/år] och E är den mängd elektricitet som värmepumpens kompressor drivs av [kWh/år].

4.2.1 Värmefaktor

Värmefaktorn, även kallad Coefficient Of Performance (COP), används för att beräkna vilken effekt som levereras från en värmepump och beskrivs som kvoten mellan den genererade värmemängden (Q_1) och den tillförda elektriciteten E (ekvation 4). COP kan bestämmas med ekvation 6 och ekvation 7. COP är alltså en måttenhet som säger hur många gånger mer energi man får ut i form av värme relativt det som sätts in i form elektricitet. Ju högre COP är, ju effektivare är värmepumpen. Ett högt COP uppnås genom ett minimerat temperaturlyft ($T_h - T_c$) och därför lämpar sig gråvatten bättre än spillvatten för värmeåtervinning med värmepump.

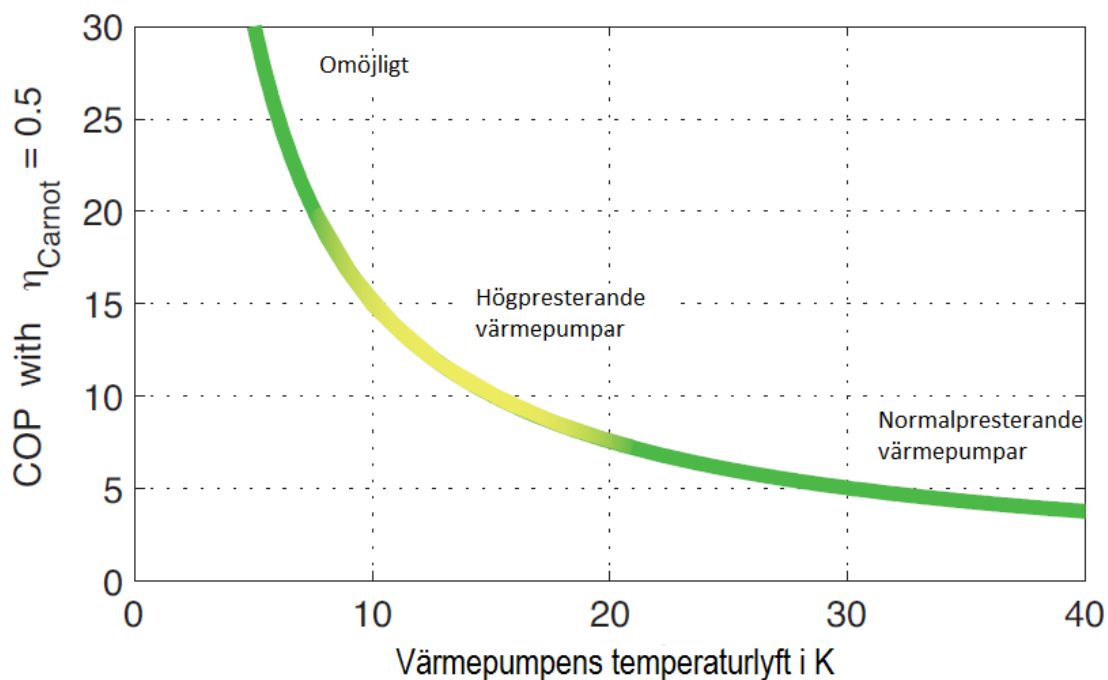
Den teoretiskt högst möjliga värmefaktorn beräknas med ekvation 6 och den praktiskt möjliga värmefaktorn beräknas med ekvation 7.

$$COP = \frac{T_h}{T_h - T_c} \quad (\text{Ekvation 6})$$

$$COP = n * \frac{T_h}{T_h - T_c} = \frac{Q_1}{E} \quad (\text{Ekvation 7})$$

Där T_h är köldmediets kondenseringstemperatur [°C], T_c är köldmediets förångningstemperatur [°C] och n är Carnots verkningsgrad [enhetlös].

Det framgår av ekvation 7 att en värmepump är effektivare ju mindre temperaturlyft, $T_h - T_c$, den ska åstadkomma. Temperaturlyftet är skillnaden mellan gråvattnets temperatur och framledningstemperaturen. Av denna anledning är värmepumpen effektivare ju högre gråvattentemperaturen är och ju lägre framledningstemperaturen är. Enligt en studie utförd av Meggers & Leibundgut (2010). kan högpresterande värmepumpar utvecklas genom att ha ett temperaturlyft som är mindre än 20 °C, vilket resulterar i en COP som är över 8. Relationen mellan temperaturlyftet och COP skildras i figur 10 nedan (Meggers & Leibundgut, 2010).



Figur 10. Visar hur COP påverkas då värmepumpens temperaturlyft ändras. Publicerad med tillstånd av Elsevier.

4.3 Värmeförluster

När vatten som har en högre temperatur än sin omgivning transporteras i ett rör, sker en kontinuerlig värmeförlust från vattnet till omgivningen. Denna värmeförlust beror dels på avståndet som vattnet ska transporteras, på den omgivande temperaturen samt rörets

dimensionering och design. Värmeförlusten kan beräknas med ekvation 8 och ekvation 9 (Sundbom, 2016). Resultatet kan användas för att uppskatta hur stor värmeförlusten blir som funktion av avståndet mellan tappkälla och reningsverk. Vidare kan detta resultat användas för att beräkna kostnaden av denna värmeförlust vid värmeåtervinningen.

$$q = S * 5.5 * \pi * \frac{dy}{1000} * mt \quad (\text{Ekvation 8})$$

Där q är effekten [W], S är en säkerhetsfaktor [enhetlös], 5.5 är en enhetslös dimensioneringskonstant, mt är den dimensionerade marktemperaturen [°C] och dy är rörets ytterdiameter [mm]. Värdet på mt beror på geografisk placering och mer information om detta hittas i Appendix V.

$$dt = \frac{Q}{\dot{V} * \rho * c} * L_{rör} \quad (\text{Ekvation 9})$$

Där dt är temperaturförlusten [°C], \dot{V} är flödet [l/h], c är värmekapaciteten [Wh/(kg*°C)] och $L_{rör}$ är rörets längd [m].

5. Pågående projekt och tillgänglig teknik

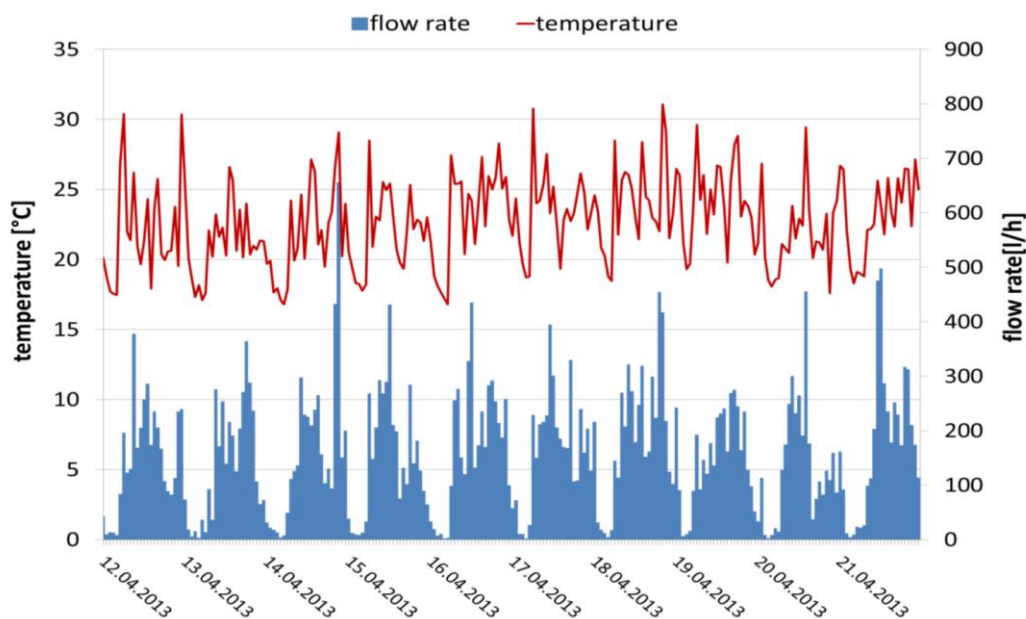
Även om värmeåtervinning från gråvatten är ett relativt nytt område så finns teknik tillgänglig idag och olika versioner av värmeåtervinning från gråvatten har implementerats på flera platser runt om i världen. Flera badhallar i Sverige värmeåtervinner exempelvis från duschvattnet (Almstedt, 2014), flera hotell i Spanien har implementerat gråvattenvärmeåtervinning (Hansgrohe, 2016) och i Korea har värmeåtervinning utförts på hotell med spa- och bastuanläggningar (Baek, 2005). I detta avsnitt har tre värmeåtervinningsprojekt presenterats närmare och tre olika typer av värmepumpar har beskrivits. Syftet med denna presentation är dels att skildra erfarenheter från annat håll och dels att påvisa teknikens genomförbarhet. Projekten som presenterats i detta avsnitt är utförda i Tyskland och Sverige och de valdes på grund av geografisk och ekonomisk närhet till Helsingborg samt relevans till detta arbete.

5.1 Värmeåtervinningsprojekt

Nedan har två projekt som utförts i Tyskland och ett utfört i Sverige beskrivits närmare. Projekten från Tyskland har valts att presenteras dels på grund av att flera värmeåtervinningsprojekt redan har implementerats i Tyskland (Nolde, 1999) och dels på grund av geografisk och ekonomisk närhet med Sverige. Projektet i Sverige presenteras för att illustrera hur värmeåtervinning kan integreras i en smart och energisnål designlösning.

5.1.1 Värmeåtervinning från gråvatten i Jenfelder Au i Hamburg

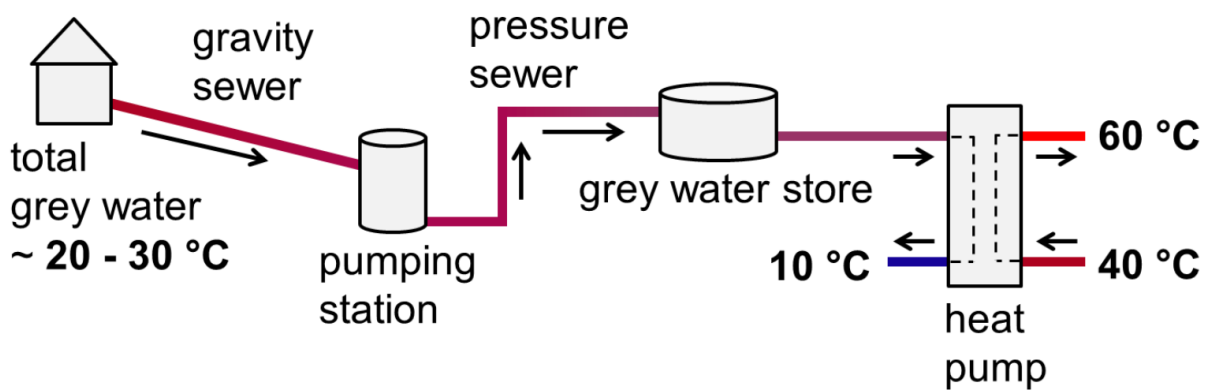
En ny innovativ och hållbar stadsdel, Jenfelder Au, håller på att byggas i Hamburg. Den är en del av ett större koncept som kallas Hamburg Water Cycle (HWC), där man i Jenfelder Au genom att installera ett separerat avloppssystem vill utnyttja synergieffekten som uppstår mellan avloppsvattenhantering, avfallshantering och energiproduktion. När det står klart, ska området bestå av 720 lägenheter med ca 2500 invånare. Svartvattnet och gråvattnet ska separeras och ett gråvattenflöde på mellan 60-90 liter per person och dag samt en viktad medeltemperatur på mellan 21.1 – 24.6 °C har uppmätts. Figur 11 nedan visar mätdata på gråvattnets flöde och temperatur (Sievers et al., 2014). Figuren visar dygnsvariationerna för gråvattenflödet och temperaturen (Sievers et al, 2014).



Figur 11. Visar flödes- och temperaturvariationerna hos gråvattenmätningar i Hamburg. Publicerad med tillstånd av Bauhaus Universitet.

Tre scenarier har undersökts närmare i en förstudie utförd av Sievers et al., (2014). Ett centralt scenario med värmeåtervinning via en värmepump belägen på avloppsreningsverk, som skildras i figur 12 nedan (Sievers et al, 2014), och två lokala med värmeåtervinning via duschvärmeväxlare. I förstudiens centrala alternativ (figur 12) samlas allt gråvatten från hela området i ett avloppsrör som för vattnet till en lagringstank á 80 m³ via en pumpstation. Gråvattnet förs därefter till en värmepump, som kyler det inkommande gråvattnet till 10 °C. Denna temperatur valdes då studier visat att en spillvattentemperatur på 10 °C är nödvändig vid den biologiska reningsprocessen som gråvattnet genomgår efter värmeåtervinningen (Sievers et al, 2014). Samtidigt höjs temperaturen på varmvattnet från 40 °C till 60 °C. Förstudiens lokala alternativ (alternativ A och B) innehöll två variationer av duschvärmeväxlarlösningar. I alternativ A är det endast en del av det inkommande kallvattnet som kan värmas upp av värmeväxlaren, medan i alternativ B leds hela det inkommande kallvattenflödet till värmeväxlaren för föruppvärmning. Resultatet visade att den centrala värmeåtervinningen har högst verkningsgrad på 69 %, alternativ B hade en verkningsgrad på 41 % och alternativ A på 25 %.

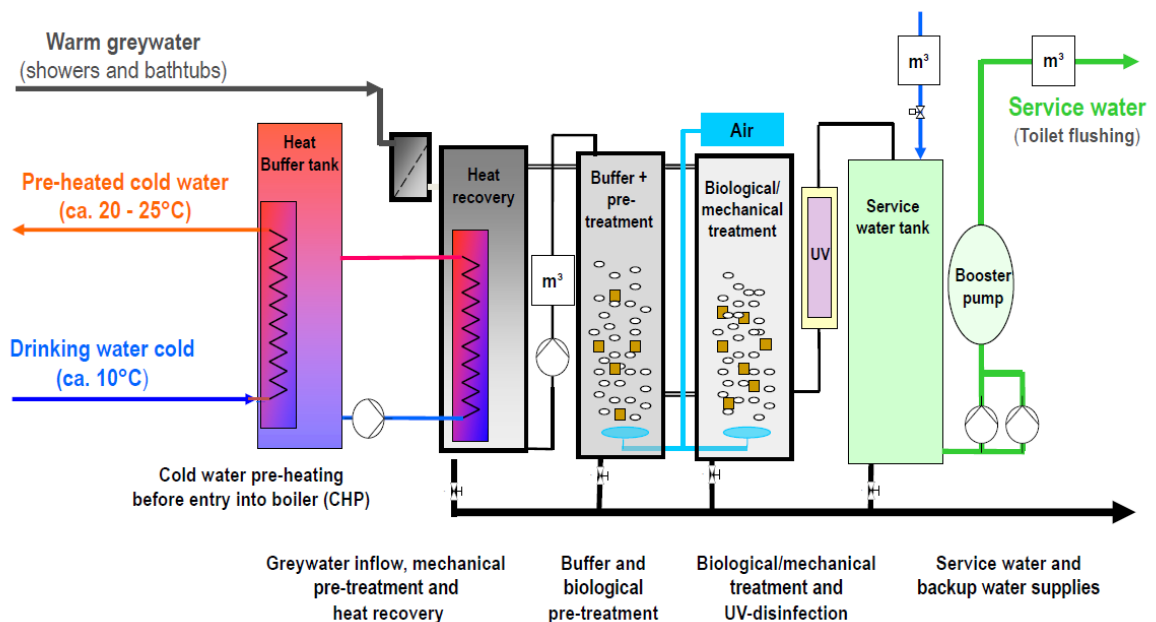
Slutsatserna man kan dra från denna studie är dels att den centrala värmepumpslösningen är den av de studerade alternativen som har högst effektivitet samt att gråvattnets temperatur endast borde sänkas till 10 °C för att inte ha negativ inverkan på den biologiska reningsprocessen.



Figur 12. Illustrerar värmeåtervinning från gråvatten på ett reningsverk. Publicerad med tillstånd av Bauhaus Universitet.

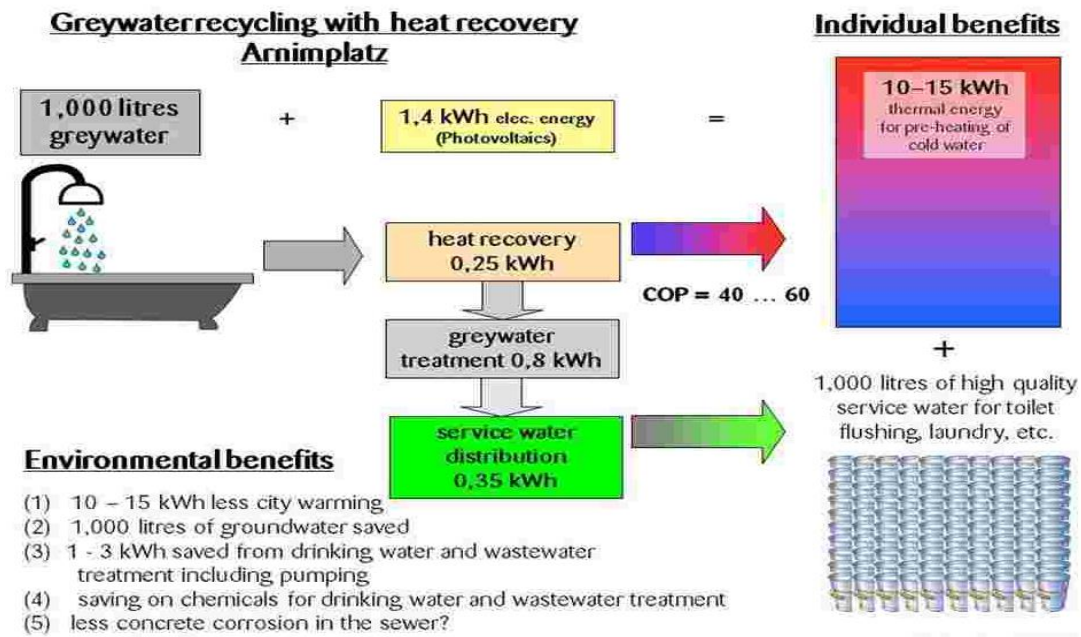
5.1.2 Gråvatten värme- och vattenåtervinning i Arnimplatz i Berlin

Det vatten- och energisnåla flerbostadshuset Arnimplatz byggdes 2012 och består av 41 lägenheter med 123 invånare. Ljust gråvatten, d.v.s. vatten från dusch och bad, separeras och förs till en värmeväxlare där det inkommande kallvattnet förvärms från 10 till 20-25 °C, därefter behandlas gråvatten och återanvänds som spolvatten i lägenheterna. Ett processschema över systemet illustreras i figur 13 nedan (Nolde, 2014). Figuren visar hur det inkommande gråvattnet först passerar en värmeväxlare där det förvärmer det inkommande kallvattnet, därefter passerar det genom en biologisk reningsprocess samt UV-desinfektering innan det pumpas tillbaka till fastigheten för användning som spolvatten. (Nolde, 2014)



Figur 13. Visar processchema över värmeåtervinning samt renings av gråvatten. Publicerad med tillstånd av Nolde & Partner.

Figur 14 nedan illustrerar resultatet från värme- och vattenåtervinningen vid Arnimplatz (Nolde, 2014). För varje tusen liter duschvatten produceras 10-15 kWh netto-värmeenergi och 1000 liter spolvatten till toalett. Energibesparingen från värmexchångern är med andra ord relativt liten i jämförelse med vattenbesparingen som återanvändningen av det använda duschvattnet ger upphov till. Processen behöver 0.1 m² area per person och investeringskostnaden är 15-20 euro/m² boarea. (Nolde, 2014)

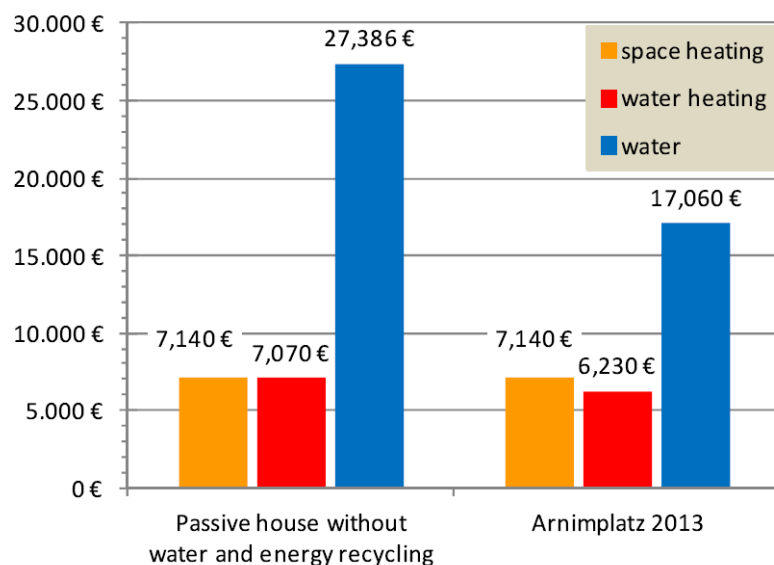


Figur 14. Visar energi- och vattenbesparingen i Arnimplatz, Berlin. Publicerad med tillstånd av Nolde & Partner.

En utvärdering av kostnadsbesparingarna ett år efter installationen visade att den största besparingen gjordes på det minskade dricksvattenbehovet tack vare gråvattenåteranvändningen. Detta skildras i figur 15 nedan (Nolde, 2014). Figuren visar att vattenåteranvändningen ger upphov till en kostnadsbesparing på ca 10 000 euro per år jämfört med värmeåtervinningen som ger upphov till mindre än 1 000 euro kostnadsbesparing per år. Rapportens slutsatser (Nolde, 2014) var att det är ekonomiskt lönsamt med decentraliserad vattenhantering och att en kombination av värmeåtervinning och vattenåtervinning ger bäst resultat. Värmeåtervinningen består i nuvarande system av värmexchångare som totalt sparar 12 000 kWh el per år och undersökningen visade att om man bytt ut värmexchångaren mot en värmepump skulle man kunna spara 33 000 kWh el istället och man skulle haft en COP på 3.5. (Nolde, 2014)

Slutsatserna man kan dra från denna studie är att störst värmeåtervinningspotential erhålls då värmeåtervinning kombineras med återanvändning av det reade gråvattnet samt att decentraliserad värme- och vattenåtervinning på fastighetsnivå är ekonomiskt lönsamt.

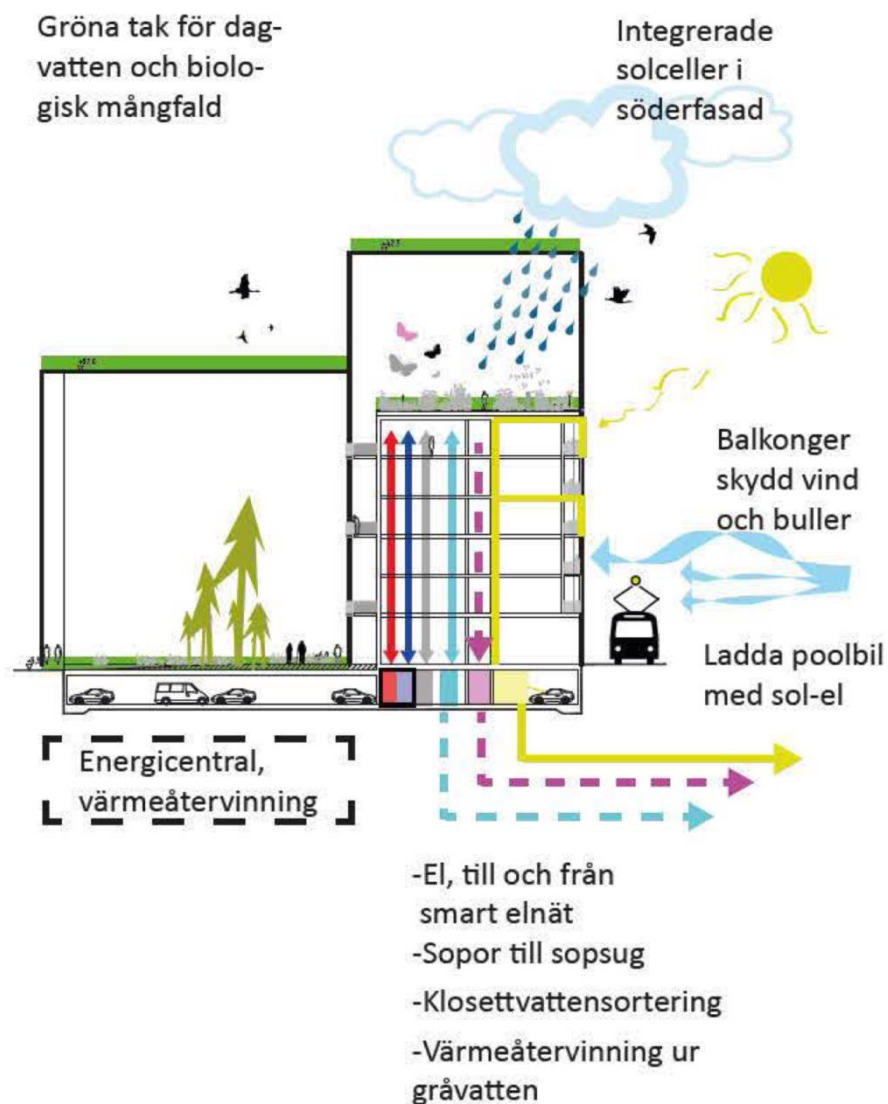
Water and energy costs



Figur 15. Visar resultatet av värme- och vattenåtervinnig i Arnimplatz, Berlin. Publicerad med tillstånd av Nolde & Partner.

5.1.3 Äldreboendet vid Brofästet, Norra Djurgårdstaden i Stockholm

Under 2016 ska det börja byggas ett äldreboende med 153 lägenheter i Norra Djurgårdsstaden i Stockholm som en del av Etapp Brofästet och det planeras stå klart 2018-2019. Tanken är att boendet ska vara energisnålt och hållbart. Man ska bl.a. fraktionera matavfallet via en avfallskvarn i varje lägenhet, grå- och svartvatten ska separeras och värmeåtervinning ska utföras från gråvattnet via värmeväxlare. Man har uppskattat att värmeåtervinningen från gråvattnet kommer ge en energibesparing på ca 3 kWh/m²*år (Stockholm stad, 2011). Figur 16 nedan illustrerar fastighetens lösningar för att minska hushållets energianvändning och öka dess hållbarhet (White Arkitekter, 2013). Figuren visar hur kretsloppstänk kan integreras i ett hushålls design där resursflöden utnyttjas och spillprodukter såsom restvärme ses som resurser (White Arkitekter, 2013).



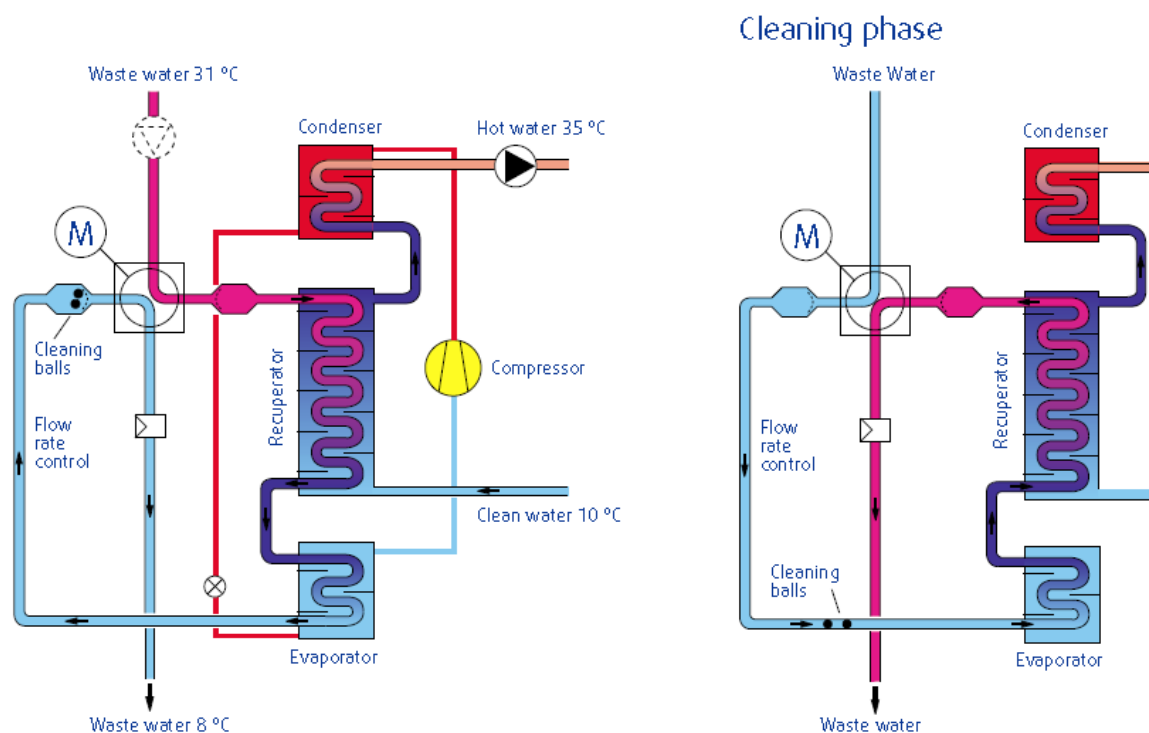
Figur 16. Illustration över de energibesparande åtgärderna som ska implementeras vid äldreboende vid Etapp Brofästet i Stockholm. Illustration publicerad med tillstånd av White arkitekter.

5.2 Tillgänglig teknik

Värmeåtervinning från gråvatten är ett relativt nytt område men det finns företag som erbjuder olika typer av värmepumpar som är utformade för att ta emot bl.a. gråvatten. Nedan följer en kortare presentation av tre värmepumpar som finns på marknaden dag. Syftet med denna presentation är att ge några konkreta exempel på värmepumpar som skulle kunna implementeras i de studerade beräkningsalternativen i detta arbete.

5.2.1 Menerga AquaCond 44

Denna värmepump är lämplig för värmeåtervinning i exempelvis sjukhus, vårdboenden, tvättstugor, simhallar samt vid industriella processer och den skulle alltså vara lämplig för implementering vid sjukhusscenarioet i detta arbete. Värmepumpen kan hantera flöden på mellan 0.8 – 5.4 m³/h och den kan spara upp till 90 % av energin för uppvärmning av varmvatten beroende på applikation. Systemet kombinerar en värmeväxlare med en värmepump samt en ackumulatortank. Storleken på värmepumpen varierar med dess kapacitet; ju större flödeskapacitet ju större är värmepumpen och dess storlek varierar mellan 1.1 – 6.2 m³. Värmepumpens COP beror på gråvattentemperaturen och framledningstemperaturen och dess maximala COP är 12. AquaCond 44 kan ta emot allt gråvatten oberoende av nedsmutsningsgrad och den har en automatiserad rengöringsfunktion som rengör sig själv vid behov. Figur 17 nedan visar AquaCond 44s processschema under driftförhållande samt under rengöringsfasen (Menerga, 2016). Gråvattnet passerar först värmeväxlaren innan det når värmepumpen. Tappvattnet passerar systemet motströms och värms upp till vald framledningstemperatur. (Menerga, 2016)



Figur 17. Processchema över AquaCond 44s värmeåtervinningssystem. Publicerad med tillstånd av Menerga.

5.2.2 Sewage heatrecovery SHARC

Denna värmepump är utformad för att hantera stora flöden från bl.a. flerbostadshus, kommersiella och offentliga byggnader samt till produktion av fjärrvärme och den skulle alltså vara lämplig för implementering vid det centrala värmeåtervinningsscenarioet vid avloppsreningsverk för H+. Den är bäst lämpad för flöden större än 200 PE och kan leverera en energibesparing på mellan 30-85 %, beroende på de involverade temperaturerna. Den upptar en

yta på ca 3.6 m³ och flera enheter kan installeras i serie för att öka flödeskapaciteten vid användning på exempelvis ett reningsverk. Värmepumpen har lång livstid, är luftfri och har en automatiserad bakspolnings- och rengöringsprocess. Figur 18 visar en bild på hur SHARC ser ut. (International wastewater systems, 2016a)



Figur 18. Bild på värmepumpen SHARC. Publicerad med tillstånd från International Wastewater Systems.

5.2.3 Sewage heatrecovery PIRANHA

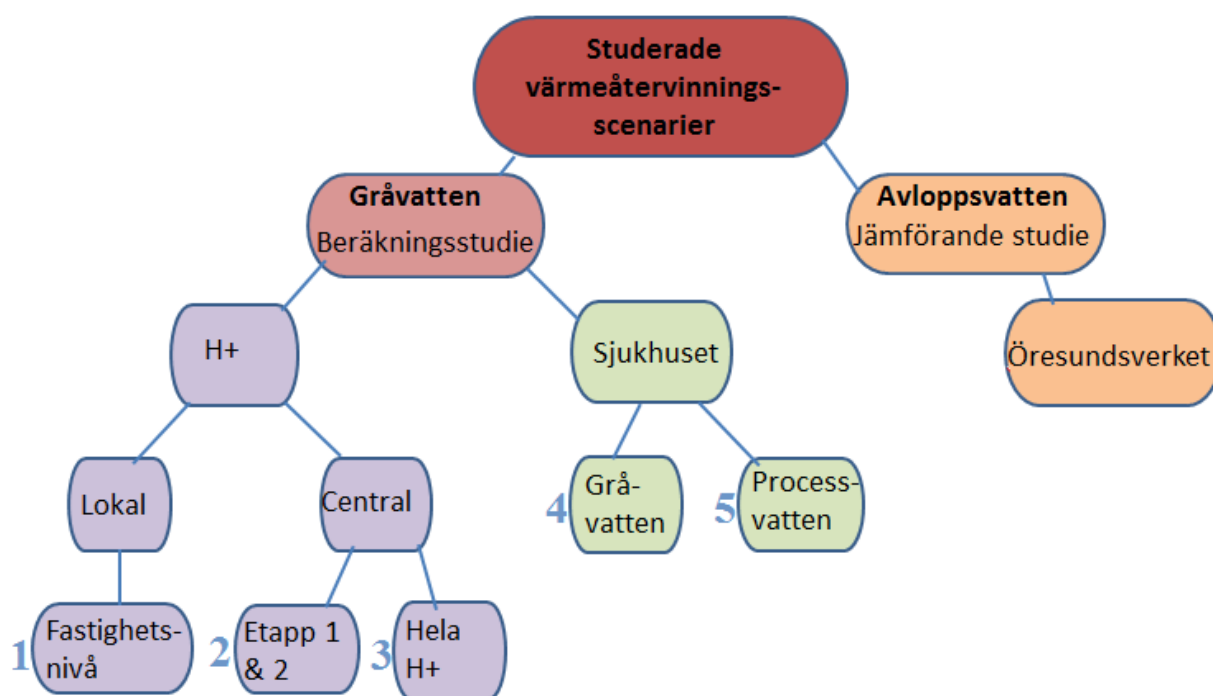
Denna värmepump är optimerad för användning vid flerbostadshus med mellan 50-200 PE och kan producera mellan 7 500 -15 000 liter varmvatten om dagen som kan användas direkt i fastigheten, vilket gör denna värmepump mest lämplig för implementering i det lokala värmeåtervinningsscenarioet på fastighetsnivå vid H+. En framledningstemperatur på upp till 71 °C kan väljas men som framgår av ekvation 7 i avsnitt 4.2.1 så minskar produktens COP ju högre framledningstemperaturen är. Figur 19 nedan visar en bild på värmepumpen (International wastewater systems, 2016b). PIRANHA blev vinnare i AHR EXPOs tävling ”Innovation award – green buildings” 2016. Potentiella applikationer förutom i fastigheter är i skolor, sporthallar, badhallar, sjukhus samt handelsbyggnader. Värmepumpen är 3.25 m³ stor och har en självrengöringsfunktion. (International wastewater systems, 2016b)



Figur 19. Bild på värmepumpen PIRANHA. Publicerad med tillstånd från International Wastewater Systems.

6. Metod

För att uppfylla arbetets syfte har en beräkningsstudie utförts. Beräkningar för värmeåtervinning på central och lokal nivå i H+ har utförts samt för sjukhuset i Helsingborg, därefter har detta resultat ställts i relation till den nuvarande värmeåtervinningspotentialen på Öresundsverket i Helsingborg. I figur 20 nedan skildras de studerade värmeåtervinningsalternativen. Figuren visar att en beräkningsstudie för värmeåtervinning från gråvatten har utförts med H+ och sjukhuset som studerade alternativ, och data från värmeåtervinningen på Öresundsverket har jämförts med resultatet från beräkningsstudien för att uppskatta var den största värmeåtervinningspotentialen återfinns. Figuren visar arbetets fem beräkningsscenarier; lokal värmeåtervinning på fastighetsnivå på H+ (1), central värmeåtervinning vid reningsverk på H+ för Etapp 1 och 2 (2) och för hela H+ (3) samt värmeåtervinning från gråvattnet (4) och processvattnet (5) på sjukhuset.



Figur 20. De studerade värmeåtervinningsalternativen i detta arbete. Beräkningsscenarierna är numrerade 1-5.

Vid genomförandet av beräkningarna har antaganden gjorts. En kvalitativ känslighetsanalys utfördes på de parametrar som efter preliminära beräkningar uppskattades ha störst inverkan på resultatet. För att uppskatta investeringarnas lönsamhet utfördes en kostnadsanalys med nuvärdesmetoden där energibesparingens nuvärde beräknades för samtliga studerade scenarion. Detta nuvärde kan sedan användas som jämförelse mot investeringskostnader för olika gråvattenssystem för att avgöra om en investering är lönsam eller inte. Detta har inte utförts i examensarbetet på grund av svårigheter med att bedöma investeringskostnader för olika intressenter.

Samtliga beräkningar har utförts och sammanställts i tabeller och diagram i Microsoft Excel.

6.1 Beräkningsstudie

Genom värmeåtervinning kan man minska den energimängd som krävs vid uppvärmningen av varmvattnet. Denna energimängd kan minskas på två olika sätt. Antingen kan man minska mängden vatten som ska värmas upp, eller så minskar man det temperaturintervall över vilket vattenmängden ska värmas upp (Nykvist, 2012). För att beräkna den termiska energin som finns lagrad i gråvattnet har ekvation 1 använts. Med den beräknas vilken energimängd Q som behövs för att höja vattentemperaturen.

$$Q = V * \rho * c_p * dT \quad (\text{Ekvation 1})$$

Värmeenergin som värmepumpen kan producera (Q_1) är summan av den termiska energin som kan utnyttjas i gråvattnet samt den elektriska energi som värmepumpen drivs av (E). Detta beräknades med sambandet i ekvation 4.

$$Q_1 = Q_2 + E \quad (\text{Ekvation 4})$$

För att beräkna Q_1 behövs värmepumpens COP, som berättar hur många gånger mer energi värmepumpen extraherar i förhållande till vad den konsumerar. COP beräknades med ekvation 7.

$$COP = n * \frac{T_h}{T_h - T_c} = \frac{Q_1}{E} \quad (\text{Ekvation 7})$$

Genom att kombinera ekvation 1, 4 och 7 beräknades hur mycket energi värmepumpen extraherar. Detta förhållande skildras i ekvation 10 nedan.

$$Q_1 = V * \rho * c_p * dT + \frac{V * \rho * c_p * dT}{COP - 1} \quad (\text{Ekvation 10})$$

6.1.1 Värmeåtervinning på H+

I detta avsnitt har det lokala och centrala värmeåtervinningsscenariot på H+ presenterats. H+ är en stadsdel som kommer att bestå av mellan 4 000 – 5 000 lägenheter då den är klar 2035. Byggandet ska ske i etapper med start 2016. Information om H+ har samlats in från NSVA i Helsingborg och sammanställts i tabell 2 nedan. Tabellen visar information som använts för att beräkna gråvattenflödet för scenario 1, 2 och 3. Kolumnen för fastighetsnivån representerar det lokala värmeåtervinningsscenariot (scenario 1) och kolumnerna för Etapp1 och 2 (scenario 2) samt hela H+ (scenario 3) representerar det centrala. I beräkningarna har det antagits att en typfastighet består av 50 lägenheter. Då etapp 1 och 2 ska bestå av 400 lägenheter totalt resulterar detta i åtta fastigheter och om hela H+ ska bestå av 4500 lägenheter blir det 90 fastigheter. Enligt statistiska centralbyrån (SCB) (SCB, 2010) bor det i genomsnitt 2.1 personer per lägenhet.

Tabell 2. Data använd i beräkningsstudie för värmeåtervinning på lokal och central nivå på H+.

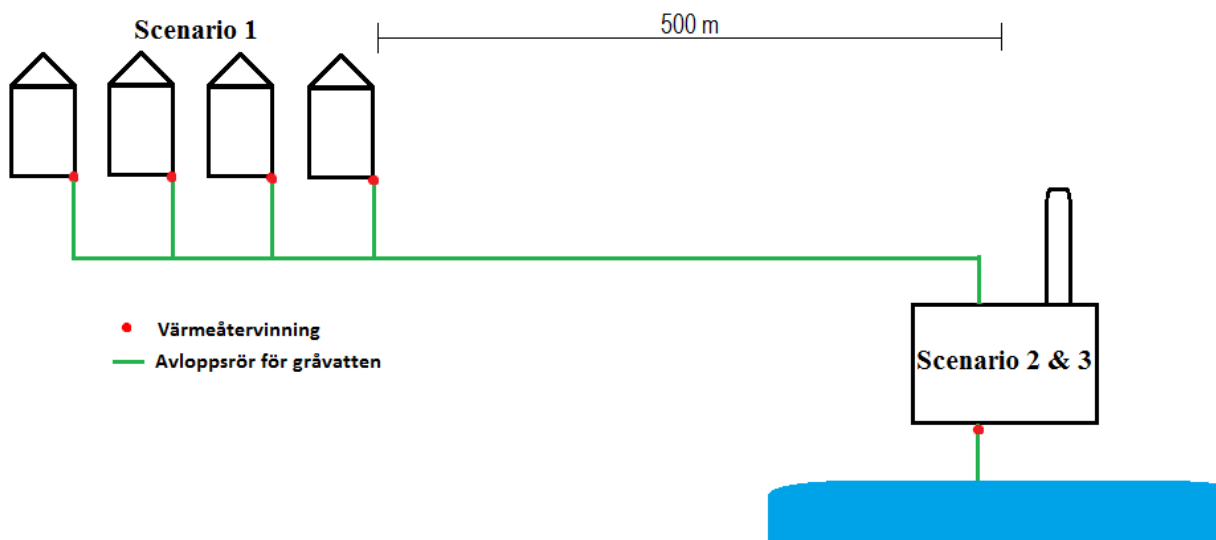
	Fastighetsnivå [st]	Etapp 1 & 2 [st]	Hela H+ [st]	Källa
Antal lägenheter	50	400	4500	NSVA
Capita per lägenhet	2.1	2.1	2.1	SCB (2010)
Total capita	105	840	9450	Beräkning
Lägenheter per fastighet	50	50	50	Antagande
Antal fastigheter	1	8	90	Antagande

Tabell 3 nedan visar mer indata som använts vid beräkningarna för H+. Ett gråvattenflöde på 104 liter per person och dag har antagits utifrån litteraturvärden sammanställda i bakgrunden och det har använts i alla beräkningar för H+. Gråvattentemperatur på 25 grader och framledningstemperatur på 50 grader har använts. Fjärrvärme- och elpriserna har på lokal nivå givits av en av byggherrarna (Sundprojekt, 2016) som ska bygga en fastighet i Etapp 1 vid H+ och från NSVA för värmeåtervinning på central nivå.

Tabell 3. Data använd i beräkningsstudie för värmeåtervinning på lokal och central nivå på H+.

	Fastighetsnivå	Etapp 1 & 2	Hela H+	Enhet	Källa
				Liter/person & dag	Beräkning
Gråvattenflöde	104	104	104		
Antal personer	105	840	9450	st	NSVA
Gråvattentemp.	25	25	25	°C	Litteraturvärde
Framledningstemp.	50	50	50	°C	Litteraturvärde
Fjärrvärmepris	587	567	567	Kr/MWh	Sundprojekt(2016) NSVA
Elpris	1003	932	932	Kr/MWh	Sundprojekt(2016) NSVA

I figur 21 nedan skildras de värmeåtervinningsscenarion som har undersökts närmare för H+. Dels lokalt på fastighetsnivå (scenario 1) och dels centralt på reningsverket efter reningsprocessen (scenario 2 & 3). Scenariot på fastighetsnivå valdes då värmeåtervinningen sker nära tappkällan och värmeförluster i ledningsnätet är begränsade samt då det finns ett direkt varmvattenbehov i fastigheten där den producerade värmen kan nyttjas. Det centrala värmeåtervinningsscenariot valdes då värmeåtervinning på reningsverk är en beprövad värmeåtervinningsmetod samt för att flödes- och temperaturvariationerna är begränsade på grund av att flödet är större. För samtliga värmeåtervinningsalternativ på H+ har det antagits att gråvattnet är 25 °C (baserat på litteraturdelen i avsnitt 3.3.1) och att framledningstemperaturen är 50 °C (för att undvika legionellatillväxt, baserat på litteraturdelen i avsnitt 3.1.1). Som figuren visar är det 500 m från H+ till reningsverket vilket är ett kort avstånd jämfört med det längsta avståndet som avloppsvattnet transporteras till Öresundsverket på 21 km (NSVA, 2016). När vatten transporteras i rör försvinner en del av den lagrade värmeenergin till omgivningen. Denna värmeförlust har beräknats för de centrala värmeåtervinningsalternativen med ekvation 8 och 9. Ett avstånd på 500 meter visade sig resultera i en värmeförlust < 0.5 °C och därmed försummas värmeförluster för samtliga scenarier på H+.

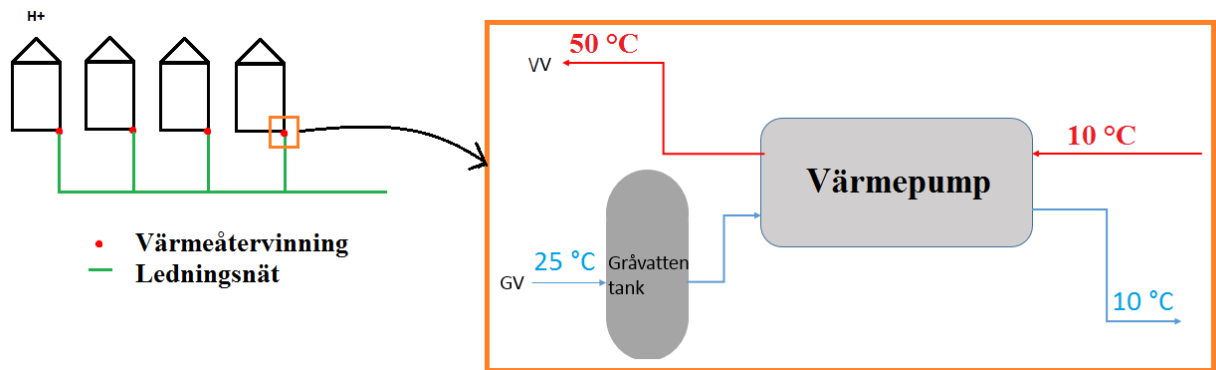


Figur 21. Schematisk bild över de studerade värmeåtervinningsscenariorna för H+, dels på fastighetsnivå (scenario 1) och dels centralt (scenario 2 & 3).

Lokal värmeåtervinning

Lokal värmeåtervinning på fastighetsnivå (scenario 1) möjliggör ett direkt utnyttjande av värmeenergin som resulterar i en minskad energianvändning för varmvattnet i fastigheten. Varmvattenproduktionen resulterar i en minskad energikostnad för fastighetsägaren. Beräkningarna för detta scenario motsvarar ett flöde från en typ-fastighet bestående av 50 lägenheter. Värmeåtervinning på fastighetsnivå kan utföras av exempelvis International Wastewater Systems värmepump PIRANHA som beskrivits i avsnitten 5.2.3.

I detta scenario installeras en värmepump och en ackumulatortank i källaren av varje fastighet och värmepumpen extraherar varmvatten för användning direkt i fastigheten. Ackumulatortankens syfte är att generera ett jämnt flöde gråvatten till värmepumpen. Då värmeåtervinningen utförs nära tappkällan har värmeförlusterna antagits vara försumbara. Nedan skildras en förenklad bild av processschemat (figur 22). Figuren visar värmeåtervinningsprocessen. Gråvattnet samlas först i en tank innan det fördelas i ett jämnt flöde till värmepumpens förångare. Värmepumpen värmer det inkommande kallvattnet till en framledningstemperatur på 50 °C samtidigt som gråvattnets temperatur sänks till 10 °C. Ackumulatortanken behövs vid värmeåtervinning på fastighetsnivå då flödena varierar under dagen (se figur 6 i bakgrunden) och den ser till att det levereras ett jämnt gråvattenflöde till värmepumpen.

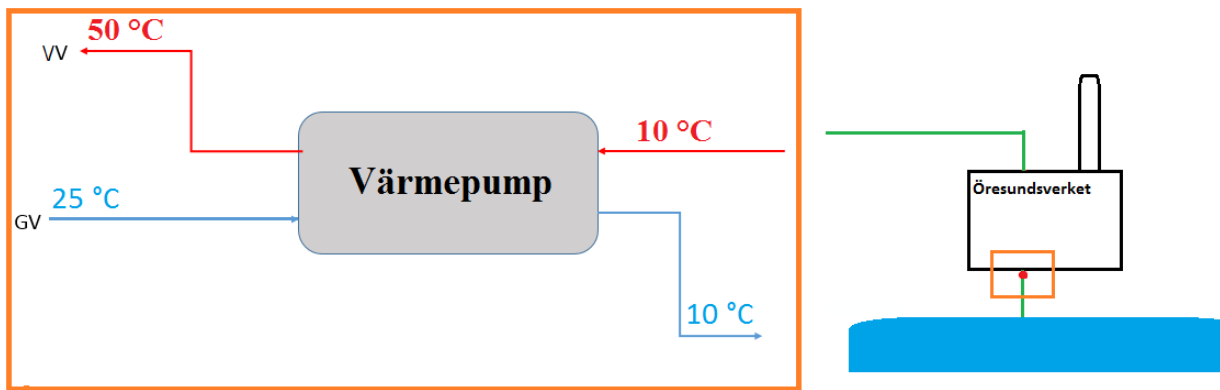


Figur 22. Schematisk bild över scenario 1 på H+, VV står för varmvatten och GV gråvatten.

Central återvinning

Vid central värmeåtervinning på reningsverket installeras ett värmeåtervinningssystem med värmepumpar i serie med kapacitet för det totala gråvattenflödet. Detta system har möjlighet till att byggas ut i framtiden genom att man installerar fler värmepumpar och därmed ökar systemets totala kapacitet. Detta möjliggör att etapper inkluderas allt eftersom de blir klara. Värmeåtervinningen på reningsverket kan utföras av exempelvis International Wastewater Systems värmepump SHARK, som beskrivits i avsnitt 5.2.2. Den kan installeras i serie så att dess flödeskapacitet kan hantera det totala flödet från hela H+. Vattnet transporteras först i ledningsnät ca 500 m från H+ till reningsverket. Värmeåtervinning på reningsverk installeras oftast efter reningsprocessen, då det biologiska reningssteget är effektivare då temperaturen på spillvattnet är hög (Emanuelsson, 1994). Det har beslutats att behandlingen av gråvattnet från H+ ska ske inomhus (NSVA, 2016) vilket minimerar värmeförlusten under reningsprocessen. Av denna anledning samt på grund av det korta avståndet mellan H+ och reningsverket, har det antagits att gråvattnets temperatur är densamma för det lokala och det centrala värmeåtervinningssystemet på H+.

Figur 23 visar ett förenklat processchema över värmepumpen vid central värmeåtervinning på H (scenario 2 och 3). Gråvattnets temperatur har antagits vara densamma som vid lokal värmeåtervinning. Värmeenergin som värmepumpen genererar på reningsverket kan antingen användas för att producera fjärrvärme till Helsingborg alternativt kan den användas lokalt på området. I beräkningsstudien har det antagits att värmepumpen används för att producera värme som ska användas på området och därmed har en framledningstemperatur på 50 °C använts i beräkningarna. Fjärrvärmeproduktion kräver en framledningstemperatur på 75 °C, vilket sänker värmepumpens COP och effektivitet. Detta alternativ har behandlats i känslighetsanalysen.



Figur 23. Visar processchema över scenario 2 & 3 på H+, VV står för varmvatten och GV gråvatten.

6.1.2 Sjukhuset

Då spillvattnet från ett sjukhus innehåller hög-tempererat processvatten är det av intresse att uppskatta värmeåtervinningspotentialen dels från hela gråvattenfraktionen (scenario 4) och dels från det hög-tempererade processvattnet (scenario 5). Dessa alternativ har valts att studera närmare då resultatet från scenario 4 är jämförbart med resultaten från värmeåtervinningen vid H+, och scenario 5 är intressant då det utnyttjar det hög-tempererade processvattnet. Hög temperatur på gråvattnet resulterar i ett mindre temperaturlyft för värmepumpen och därmed en effektivare värmepump. Av dessa anledningar har det utförts två beräkningsscenarioer för sjukhuset. Värmeåtervinningen på sjukhuset skulle exempelvis kunna utföras av Menergas värmepump AquaCond 44 som beskrivits i avsnitt 5.2.1.

Ett sjukhus extraherar mycket spillvatten då det är en plats där många människor är i rörelse varje dag, både sjukhuspersonal och patienter. Vattenkonsumtionen varierar mellan 400 till 1200 liter per vårdplats och dag och i genomsnitt ger ett sjukhus upphov till 750 liter avloppsvatten per bädd och dag (Emmanuel et al., 2002). Stora volymer vatten används dagligen på ett sjukhus för desinfektering och rengöring av utrustning. Processvattnet som bildas vid denna rengöring har hög temperatur. Desinfektionstemperaturen ska vara mellan 75-95 °C för att säkerställa fullständig desinfektion och i Sverige används ofta processtemperaturen 90 °C. Temperaturen och tvättiden varierar för olika maskiner enligt fastställda typkurvor. Följande värden gäller för en disk-desinfektör (tabell 4). (Walder, 2014)

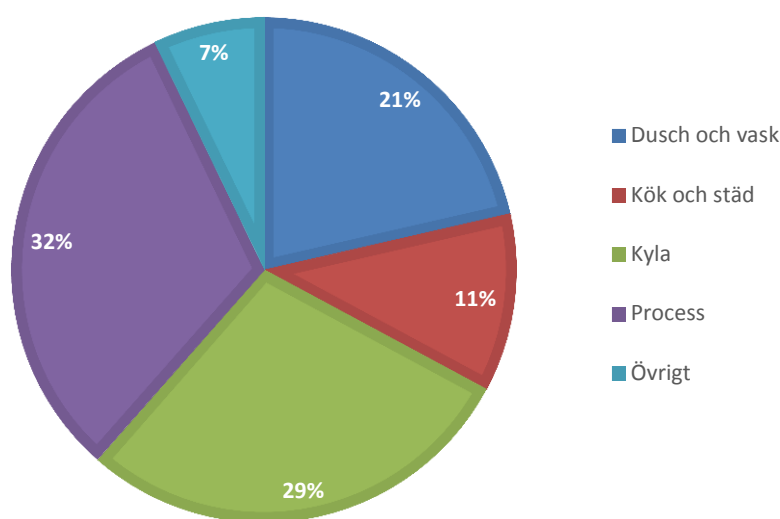
Tabell 4. Visar temperaturer och tider för tvätt i en disk-desinfektör enligt en fastställd typkurva.

Temperatur (°C)	Tid (min)
90	1
80	10
70	100

En lista över rengörings- och desinfektionsutrustningen som fanns på sjukhuset i Helsingborg 2015 har studerats och ur den har processvattnets medeltemperatur beräknats till 45 °C. Listan återges i Appendix III. Listan innehåller totalt över 200 maskiner och det var inte möjligt att hitta

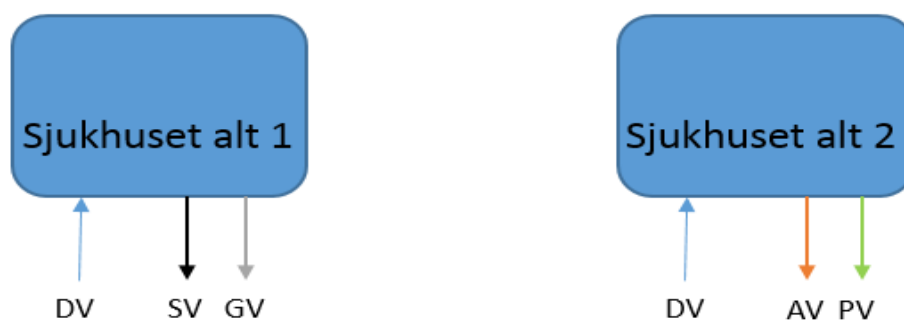
information om alla på internet, men medeltemperaturen beräknades ur den funna informationen. Då antagandet av processvattnets medeltemperatur bygger på svag data, studerades hur resultatet påverkas då processvattnets temperatur höjdes till 70 °C. Känslighetsanalysen (återges inte i examensarbetet) visade att processvattnets temperatur inte påverkade gråvattnets värmeåtervinningspotential på sjukhuset nämnvärt och därmed har en processvattentemperatur på 45 °C använts i beräkningsstudien för sjukhus-scenariot.

Det förbrukades totalt $87.7 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ vatten per år på sjukhuset i Helsingborg år 2015 (Liliebladh, 2016), vilket motsvarar 590 liter per bädd och dag. Denna siffra stämmer ganska väl med litteraturvärdet på 750 liter per bädd och dag som Emmanuel et al., (2002) angivit. Av detta antas 10 % vara svartvatten och alltså generas $79 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ gråvatten per år. Detta gråvatten antas vara fördelat som dusch och vask, kök och städ, kyla, process samt övrigt enligt figur 23 nedan baserat på underlag från The Pacific Institute (2000). För att beräkna en medeltemperatur samt volym för gråvattnet från ett sjukhus har data från en amerikansk studie (Pacific Institute, 2000) använts. En uppskattad fördelning av gråvattnet har gjorts och den bygger på den amerikanska studien som skildras i figur 24 nedan. Den amerikanska studien (Pacific Institute, 2000) bygger på schablonvärden för sjukhus vid västkusten i USA där exempelvis 17 % av vattenanvändningen gick till bevattning och 7 % gick till tvätt. Det har antagits att det inte finns ett bevattningsbehov på sjukhus i Sverige, och sjukhuset i Helsingborg skickar sin tvätt till ett externt tvätteri. Av denna anledning har dessa två poster tagits bort från fördelningen som använts i detta arbete.



Figur 24. Visar uppskattad fördelning av gråvatten i ett sjukhus baserad på data från the Pacific Institute (2000)

Två värmeåtervinningsalternativ har studerats på sjukhuset (scenario 4 och 5). I det första alternativet separeras svart- och gråvattnet och värmeåtervinningen utförs endast på gråvattnet. I det andra alternativet separeras det varma processvattnet från det övriga avloppsvattnet och det utförs värmeåtervinning på processvattnet. De två alternativen illustreras i figur 25 nedan.



Figur 25. Visar två värmeåtervinningsalternativ på sjukhuset. Alternativ 1 där svartvatten (SV) och gråvatten (GV) separeras, samt alternativ 2 där processvatten (PV) sorteras från det övriga avloppsvattnet (AV).

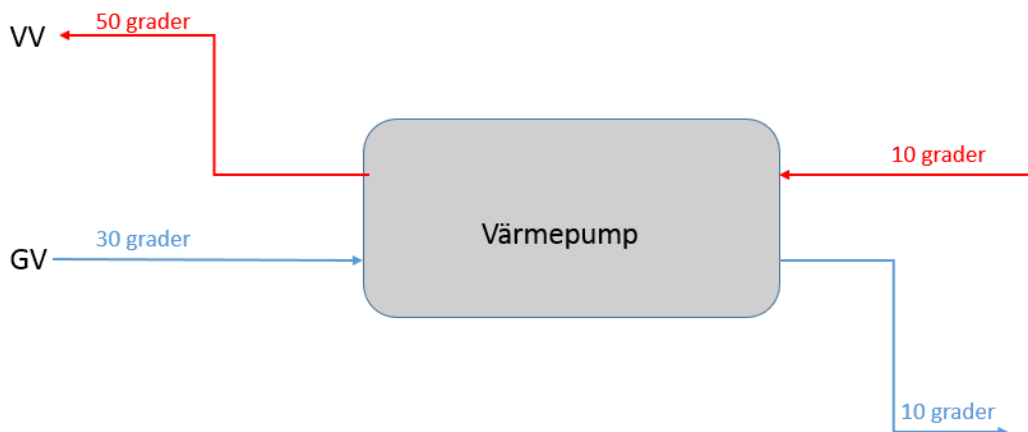
Tabell 5 nedan visar den indata som använts i beräkningarna för sjukhusscenerierna. Gråvattenflödet är baserat på data från sjukhuset samt gråvattenfördelningen presenterad i figur 24. Gråvattentemperaturen är beräknad och beräkningarna finns i Appendix II. Fjärrvärme- och elpriserna har samlats in från sjukhuset.

Tabell 5. Data använd i beräkningsstudie för värmeåtervinning på gråvatten och processvatten vid sjukhuset i Helsingborg.

Kolumn1	Gråvatten	Processvatten	Enhet	Källa
Gråvattenflöde	590	160	Liter/bädd och dag	Baserad på data från sjukhuset
Gråvattentemp.	30	45	°C	Beräkning se Appendix II
Framledningstemp.	50	50	°C	Antagande baserat på litteratur
Fjärrvärmepris	511	511	Kr/MWh	Liliebladh (2016)
Elpris	800	800	Kr/MWh	Liliebladh (2016)

Värmeåtervinning från allt gråvatten på sjukhus

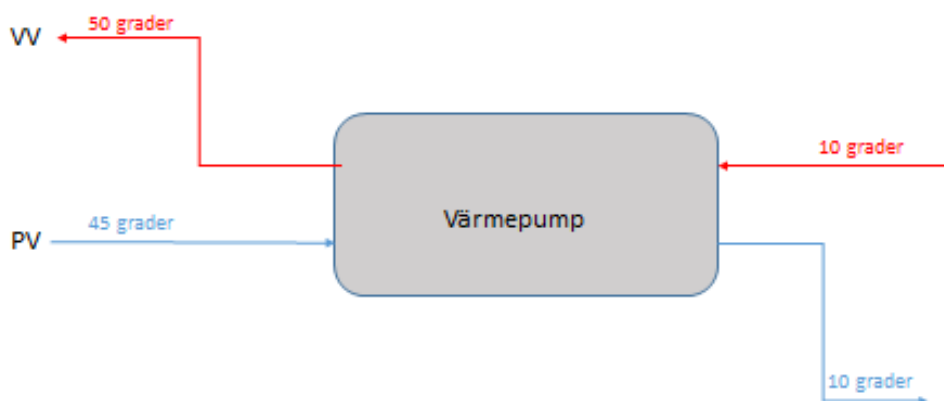
I detta alternativ (scenario 4) separeras svart- och gråvattnet i sjukhuset och allt gråvatten förs till en värmepump. Sjukhuset består av flera byggnader och därför föreslås det att allt gråvatten samlas och leds till en värmeåtervinningscentral som placeras på sjukhusområdet. Sjukhusets gråvatten har beräknats ha en medeltemperatur på 30 grader och beräkningarna är baserade på gråvattenfördelningen i figur 24. Figur 26 nedan visar ett förenklat flödesschema för värmepumpen. Som figuren visar extraherar värmepumpen värmen från gråvattnet för att värma varmvattnet till 50 grader.



Figur 26. Processchema över värmeåtervinningsalternativ 1 på sjukhuset, VV står för varmvatten och GV gråvatten.

Värmeåtervinning från enbart processvatten vid sjukhus

I detta alternativ (scenario 5) separeras processvattnet från det övriga avloppsvattnet och allt processvattnet förs till en värmepump. Sjukhusets processvatten har beräknats ha en medeltemperatur på 45 grader och beräkningarna är baserade på information om processmaskinerna som är listade i Appendix III. Processmaskinerna är placerade över hela huvudsjukhusbyggnaden. Figur 27 nedan visar ett förenklat flödesschema över värmepumpen. Som figuren visar extraherar värmepumpen värmen från gråvattnet för att värma varmvattnet till 50 grader.

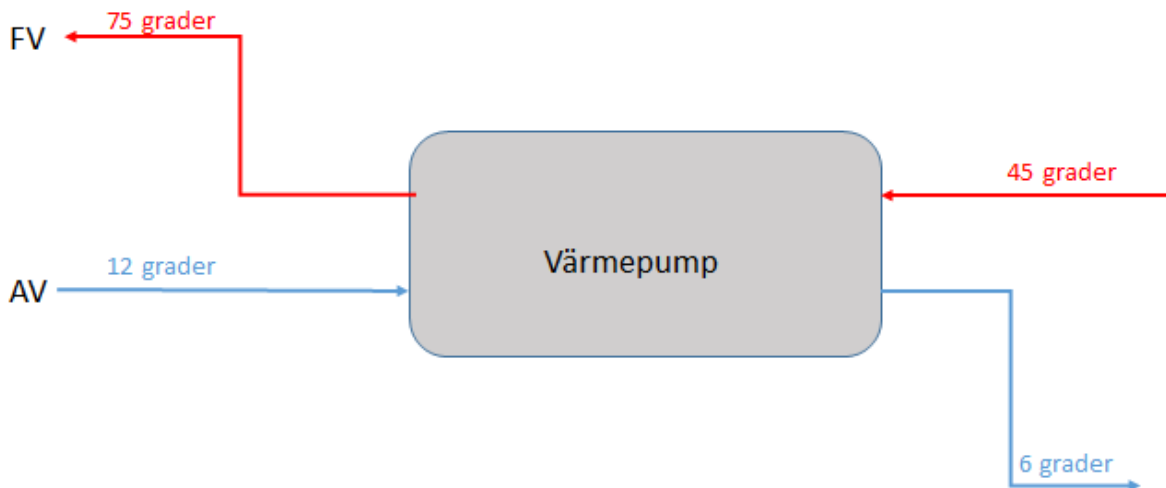


Figur 27. Processchema över värmeåtervinningsalternativ 2 på sjukhuset, VV står för varmvatten och PV processvatten.

6.1.3 Värmeåtervinning vid Öresundsverket

Avloppsreningsverket Öresundsverket i Helsingborg har en värmepump installerad som extraherar värme från det behandlade avloppsvattnet. Data från denna värmepump har samlats in från Öresundskraft (Baaring, 2016). Dessa data har därefter använts för att jämföra värmeåtervinningspotentialen från behandlat avloppsvatten med beräkningsstudierna utförda på

H+ och sjukhuset. Figur 28 nedan visar värmeåtervinningsprocessen på Öresundsverket. Värmeåtervinningen sker efter reningsprocessen och värmepumpen används för att producera fjärrvärme till Öresundskraft. Temperaturen på det inkommande avloppsvattnet sänks med 6 °C i värmepumpen och denna värme används för att producera fjärrvärme som har en temperatur på 75 °C. (Baaring, 2016)



Figur 28. Processchema över värmeåtervinningen av behandlat avloppsvatten på Öresundsverket i Helsingborg.

Tabell 6 visar värmepumpens faktiska värmeproduktion de senaste åren. Tabellen visar att värmeproduktionen har varierat mycket från år till år, vilket beror på förändringar i elpriset. Värmepumpens COP är ca 3 vilket är relativt lågt och dess lönsamhet påverkas därför mycket av elpriset. När elpriset är högt sänker man värmepumpens värmeproduktion. (Baaring, 2016)

Tabell 6. Öresundsverkets värmepumps energiproduktion 2013-2015 (Baaring, 2016).

År	MWh/år
2013	103 532
2014	57 937
2015	29 200

6.2 Livscykelkostnadsanalys

För att få en uppskattning om hur lönsam en investering i värmeåtervinning ur grävatten är har en livscykelkostnadsanalys (LCC) utförts. LCC är totalkostnaden för en produkt under hela dess livslängd (Jernkontorets energihandbok, 2012). Detta beräknas genom att man diskonterar en investerings framtida kostnader och intäkter och därigenom får fram ett nuvärde av dess vinst eller förlust. Diskonteringen görs genom att man multiplicerar nussummefaktorn (NF) med en årligt återkommande kostnad. Genom att göra det beräknas kostnadens nuvärde. Nussummefaktorn beror på kalkylräntan samt investeringens livslängd och i detta arbete har en kalkylränta på 6 % valts enligt en rapport från Energimarknadsinspektionen (2011), och en

livslängd på 20 år valdes enligt ett litteraturvärde från Energiportalen (2014). NF beräknades genom ekvation 11.

$$NF = \frac{(1+r)^n - 1}{r \cdot (1+r)^n} \quad (\text{Ekvation 11})$$

Den totala livscykelkostnaden har beräknats genom ekvation 12. Den är summan av investeringskostnaden samt nuvärdet av energiförbrukningens livscykelkostnad LCC_{energi} , som har beräknats genom ekvation 13, och nuvärdet av underhållslivscykelkostnaden $LCC_{underhåll}$, som beräknas genom ekvation 14. Det bör förtydligas att i detta arbete har endast LCC_{energi} beräknats på grund av stor osäkerhet och variation i investeringskostnaderna och underhållskostnaderna för ett källsorterande avloppssystem.

$$LCC_{total} = \text{investeringskostnad} + LCC_{energi} + LCC_{underhåll} \quad (\text{Ekvation 12})$$

$$LCC_{energi} = \text{årlig energikostnad} * \text{nusumme faktorn} \quad (\text{Ekvation 13})$$

$$LCC_{underhåll} = \text{årlig underhållskostnad} * \text{nusumme faktorn} \quad (\text{Ekvation 14})$$

I detta arbete har lönsamheten uppskattats genom att beräkna energibesparingens nuvärde (LCC_{energi}). Kostnadsbesparingen som uppstår till följd av den minskade energianvändningen beräknades genom att först beräkna energibesparingen som värmepumpen ger upphov till och därefter multiplicera denna energimängd med fjärrvärmekostnaden då det antagits att värmepumpen ersätter fjärrvärmeproducerad värme. Därefter beräknades värmepumpens elförbrukning och denna energimängd multiplicerades med motsvarande elkostnad. Sist subtraherades kostnaden för värmepumpens elförbrukning från den kostnadsbesparing som värmepumpen ger upphov till på grund av minskad fjärrvärmeförbrukning.

Tabell 7 nedan visar fjärrvärmepriser och elpriser från 2015 som använts i beräkningsstudien för att beräkna energibesparingens nuvärde. Priserna för värmeåtervinning på fastighetsnivå har samlats in från Byggherren Sundprojekt som är en av byggherrarna som ska bygga fastigheter i H+, uppgifter om sjukhusets och Öresundsverkets energipriser är insamlade från ansvariga på respektive verk.

Tabell 7. Fjärrvärmepriser och elpriser för 2015 som använts vid beräkning av energibesparingens nuvärde.

Scenario	Fjärrvärmepris (kr/MWh)	Elpris (kr/MWh)
Lokalt på H+	587	1003
Sjukhuset	511	800
Centralt på H+ samt Öresundsverket	567	932

6.3 Känslighetsanalys

För att undersöka resultatens tillförlitlighet har det utförts en känslighetsanalys på tre parametrar; COP, gråvattnets volym på fastighetsnivå och elpriset. En känslighetsanalys utförs för att bedöma resultatets känslighet då man låter indata variera. På så sätt kan man förstå hur förändringar i specifika parametrar påverkar resultatet samt kan man uppskatta vilka enskilda parametrar som påverkar resultatet mest. (Scott et al., 2006) I detta arbete har en kvalitativ bedömning gjorts och valda parametrar har uppskattats ha störst inverkan på resultatet. Genom att studera hur resultatet påverkas då värdet av dessa parametrar förändras kan slutsatser om resultatets tillförlitlighet dras.

COP beror på gråvattnets temperatur samt framledningstemperaturen (se ekvation 7) vars värden bestämts utifrån litteraturvärden. Värdet på gråvattentemperaturen varierade i olika litterära källor och är platsspecifik. Genom en känslighetsanalys för COP studeras effekten av en förändrad gråvatten- och framledningstemperatur. Detta har dels undersökts genom att studera effekten på energibesparingens nuvärde på fastighetsnivå och dels genom att studera inverkan av gråvattentemperaturen på COP för en framledningstemperatur på 40, 50 samt 75 °C. Dessa temperaturer har valts att undersöka närmare då de är genomförbara i de studerade scenarierna. En framledningstemperatur på 40 °C kan användas på fastighetsnivå om en kompletterande värmekälla används alternativt om värmen utnyttjas i ett slutet radiatorsystem. En framledningstemperatur på 50 °C motsvarar en nivå som inte kräver ytterligare uppvärmning och bl.a. Meggers & Leibundgut (2010) har använt denna i sin studie. En framledningstemperatur på 75 °C kan användas om den producerade värmen ska användas för fjärrvärmeproduktion. Av dessa anledningar har känsligheten av dessa parametrar studerats närmare.

Effekterna av gråvattnets volym på fastighetsnivå har studerats då denna indata valts till 104 liter per person och dag baserat på Svenskt Vattens (2016) genomsnittliga dricksvattenkonsumtion i Sverige samt Sievers (2004) beräkning att gråvattnet utgör 60-70 % av avloppsvattnets totala volym. För korrekta värden borde en lokal datainsamling göras. Detta har undersökts genom att studera inverkan av gråvattenflödets volym på energibesparingens nuvärde på fastighetsnivå.

Elpriset ökade med totalt 5.2 % under 2011 (Nils Holgersson-gruppen, 2011) och det har ökat från ca 20 öre per kWh år 2000 till nästan 100 öre per kWh 2011 (SCB, 2013). Det totala elpriset varierar mycket mellan olika år och detta beror framförallt på elhandelspriserna (Nykvist, 2012). Värmepumpar drivs av elektricitet och dess lönsamhet påverkas därmed av elprisets nivå. I beräkningsstudien har elpriserna för 2015 använts (se tabell 5). För att undersöka effekten av en höjning av elpriset har förändringen hos energibesparingens nuvärde för samtliga studerade alternativ beräknats då elpriset ökat med 500 kr per MWh för samtliga studerade scenarier. Valet av att studera effekten av en höjning på 500 kr bygger på antagandet att en höjning av elpriset i Sverige påverkar H+, sjukhuset samt Öresundsverket lika och därmed resulterar i en likvärdig prishöjning.

Syftet med känslighetsanalysen var att dels undersöka hur känsligt resultatet på fastighetsnivå var, och dels att jämföra de studerade scenariernas känslighet i förhållande till varandra för att kunna dra slutsatser om vilken investering som är tryggast enligt känslighetsanalysen.

7. Resultat och diskussion

Syftet med detta examensarbete var att undersöka om värmeåtervinning från gråvatten är en lönsam investering vid nybyggnation av flerbostadshus med separerade avloppssystem i jämförelse med värmeåtervinning på ett sjukhus eller ett reningsverk. För att besvara detta syfte utfördes en beräkningsstudie vars resultat presenterats i detta avsnitt. Resultatet behandlar först värmeåtervinningsscenarierna på H+ och sjukhuset och därefter har de olika scenarierna jämförts med varandra samt med Öresundsverket för att uppskatta vart den största värmeåtervinningspotentialen återfinns.

7.1 H+

Resultaten innehåller dels värmeåtervinning på fastighetsnivå och dels värmeåtervinning centralt. En COP på 4.7 har räknats fram med ekvation 7 och använts i samtliga H+ beräkningar. Resultatet från H+ visar värmeåtervinningspotentialen som finns i ett flerbostadshus, vilket är intressant för en fastighetsägare som planerar investera i ett värmeåtervinningsystem med separerat gråvatten. Därefter presenteras resultatet för central värmeåtervinning som framförallt är intressant för berörd VA-huvudman vid storskalig planering av ett område med separerat avloppssystem. Resultatet i detta avsnitt syftar åt att jämföra det lokala värmeåtervinningsalternativet med det centrala för att ge en uppskattning om vilket av alternativen som är lönsammast.

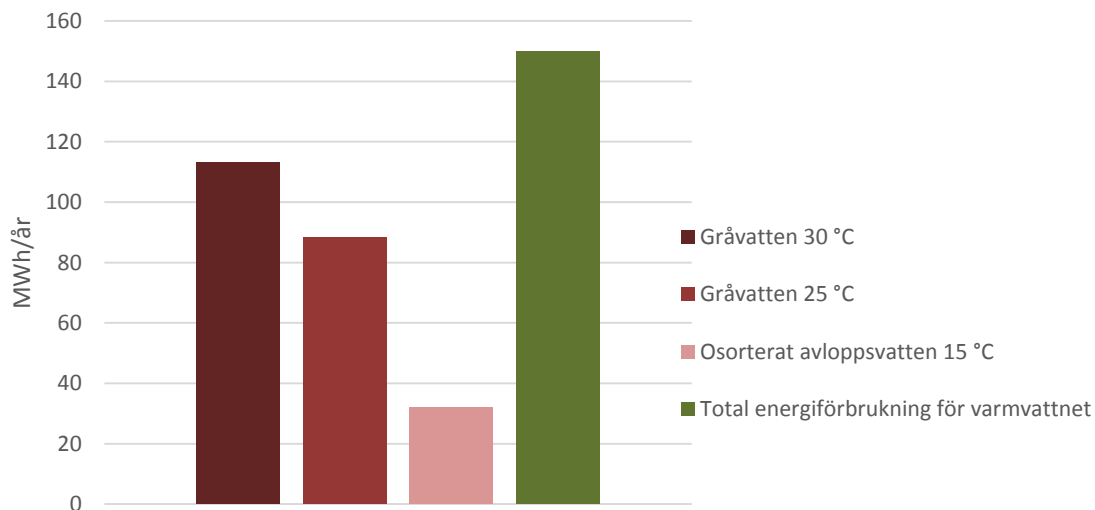
7.1.1 Resultat för värmeåtervinning på fastighetsnivå

Vid värmeåtervinning på fastighetsnivå utnyttjas värmen i gråvattnet nära tappkällan och värmeförlusterna är därför försumbara. Den producerade värmen kan nyttjas direkt i fastigheten som varmvatten och värmeåtervinningslösningen blir därmed decentraliserad och värmen direkt utnyttjad.

Energibesparing

I figur 29 nedan visas värmepumpens energibesparing för scenario 1. Figuren visar energibesparingen för 25 °C gråvatten, som enligt litteraturstudien är medeltemperaturen på gråvatten och grundscenariot i detta arbete, och 30 °C gråvatten, som är med då den kallare fraktionen gråvatten från köksvasken inte är inkluderad i gråvattnet vid H+ och därmed är det möjligt att gråvattnet har en något högre temperatur än 25 °C. Som intressant jämförelse har värmeåtervinningspotentialen från 15 °C osorterat avloppsvatten inkluderats i figuren. I figuren har värmeåtervinningspotentialen jämförts med den totala energiförbrukningen för varmvattnet i en fastighet. Figuren visar att värmeåtervinningspotentialen är starkt påverkad av gråvattnets temperatur vilket även går att utläsa ur ekvation 1 och 7. Vid en gråvattentemperatur på mellan 25-30 °C blir energibesparingen mellan 58-75 % för varmvattnet i en fastighet. Motsvarande siffra för värmeåtervinning från osorterat avloppsvatten är 21 % vilket är en intressant jämförelse. Den gråvattentemperatur som använts i resterande beräkningar för värmeåtervinning vid fastighetsnivå är 25 °C då flest litterära källor stödjer det antagandet. Slutsatsen från denna figur är att ju högre gråvattnets temperatur är, ju större blir värmeåtervinningspotentialen, och en

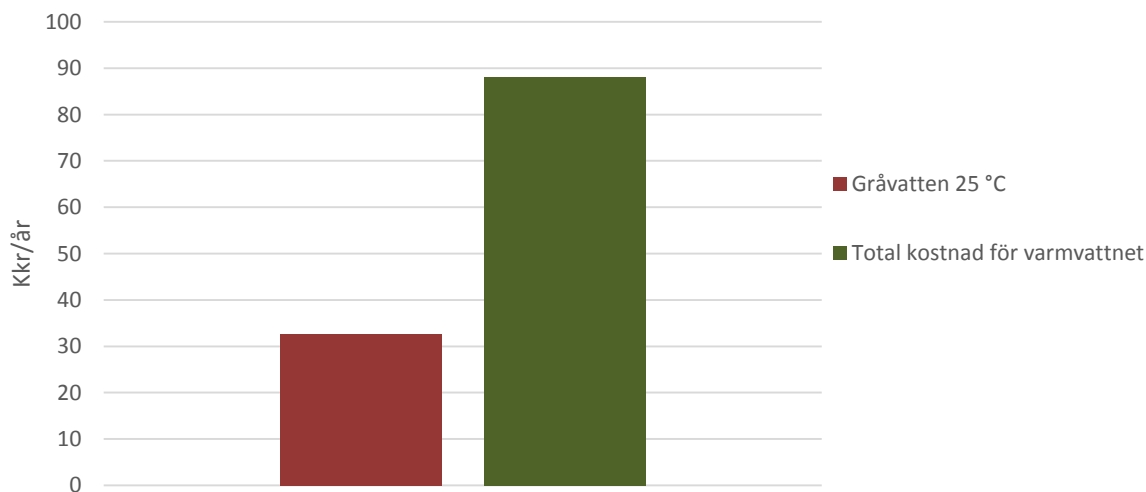
värmeåtervinning från 30 °C gråvatten ger upphov till mer än tre gånger så mycket värme än värmeåtervinning från 15 °C avloppsvatten.



Figur 29. Värmeåtervinningspotentialen på fastighetsnivå jämfört med energiförbrukningen för att värma upp fastighetens varmvatten.

Årlig kostnadsbesparing

Värmepumpen extraherar energi som kan utnyttjas för att värma upp varmvattnet i en fastighet samtidigt som den konsumerar elektrisk energi. Figur 30 nedan visar netto-kostnadsbesparingen som värmepumpen generar per år på grund av energibesparingen. Figuren visar att värmeåtervinning från gråvatten kan generera en årlig kostnadsbesparing på ca 36 %. Jämförs denna figur med figur 29 ser man att energibesparingen är större än kostnadsbesparingen. Energibesparingen låg på 58 % för motsvarande gråvatten. Detta beror på att värmepumpens kompressor drivs av el, och el har ett högre kWh pris än fjärrvärmens (se tabell 6). Av denna anledning är kostnadsbesparingen mindre än energibesparingen.

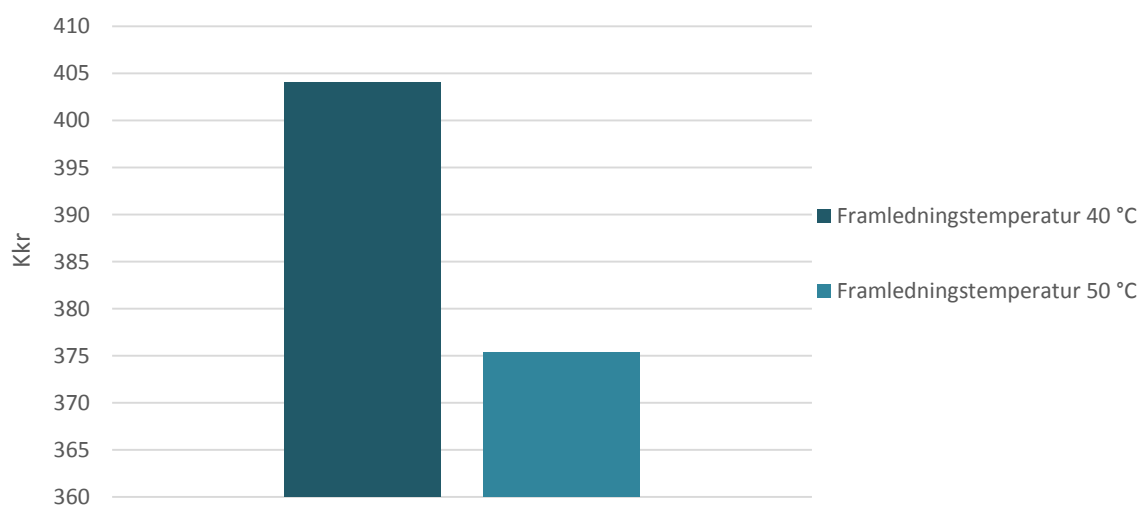


Figur 30. Energibesparingens kostnadsbesparing på fastighetsnivå för 25°C gråvatten jämfört med totala energikostnaden för att värma upp fastighetens varmvatten.

Nuvärdet av energibesparingen

För att uppskatta lönsamheten av en investering i värmeåtervinning från gråvatten har energibesparingens nuvärde beräknats enligt metodiken presenterad i Avsnitt 6.2. Resultatet från nuvärdesberäkningen ska ställas mot investeringskostnaden. Om nuvärdet av energibesparingen är större än investeringskostnaden är projektet lönsamt. Investeringskostnaden och underhållskostnader har inte beräknats i detta arbete. Energibesparingens nuvärde för värmeåtervinning på fastighetsnivå skildras i figur 31 nedan. Figuren visar energibesparingens nuvärde vid en framledningstemperatur på 40 °C samt 50 °C och figuren visar att nuvärdet är högre då framledningstemperaturen är lägre. Båda temperaturerna är tillämpbara på fastighetsnivå (Nykvist, 2012) men en lägre framledningstemperatur leder till en effektivare värmepump.

Det är inte möjligt för en fastighetsägare att påverka gråvattnets temperatur utan den beror på de boendes levnadssätt, men fastighetsägaren kan påverka framledningstemperaturen. Av denna anledning har två framledningstemperaturer jämförts. Värmepumpens elkostnader kan minimeras för en fast gråvattentemperatur genom att sänka framledningstemperaturen och istället komplettera uppvärmningen av varmvattnet med en extern värmekälla som exempelvis fjärrvärme eller solfångare. Alternativt kan man ha en lägre framledningstemperatur och använda värmen i ett slutet radiatorsystem eller som golvvärme. Golvvärme håller normalt en framledningstemperatur som är 10 grader lägre än ett radiatorsystem vilket kan förbättra COP med upp till 30 % (LK Systems, 2014). Resultatet i figur 32 visar att en lägre framledningstemperatur ger ett högre nuvärde. På grund av legionellarisk måste vattnet som används som varmvatten i hushållet hålla en temperatur mellan 50-60 °C och därmed krävs en framledningstemperatur på minst 50 °C, men om värmen ska användas i ett slutet radiatorsystem gäller inte dessa krav. Det är med andra ord främst genom framledningstemperaturen som fastighetsägaren kan påverka värmepumpens effektivitet.



Figur 31. Energibesparingens nuvärde på fastighetsnivå för gråvatten med en framledningstemperatur på 40 °C och 50 °C.

Separerat avloppsvatten möjliggör en mer ekologiskt hållbar urban vattenhantering och kan därmed användas för att miljöprofilera en fastighet eller stadsdel. Vid nybyggnation av passivhus ställs höga energikrav på byggherren. Ett sätt att ytterligare sänka hushållets energikonsumtion är att utnyttja värmeenergin i gråvattnet. Genom att värmeåtervinna från gråvattnet på fastighetsnivå kan fastighetsägaren tjäna in de utgifter som varit förenade med att separera avloppsvattnet samt installationen av en värmepump. Investeringen blir lönsam om summan av investeringskostnaden och nuvärdet av underhållskostnaden understiger nuvärdet av energibesparingen. Potentialen för ökad miljönnytta är troligen störst om man utnyttjar de positiva synergieffekter som källsorterat avloppsvatten ger upphov till, som presenterades i avsnitt 3.4.

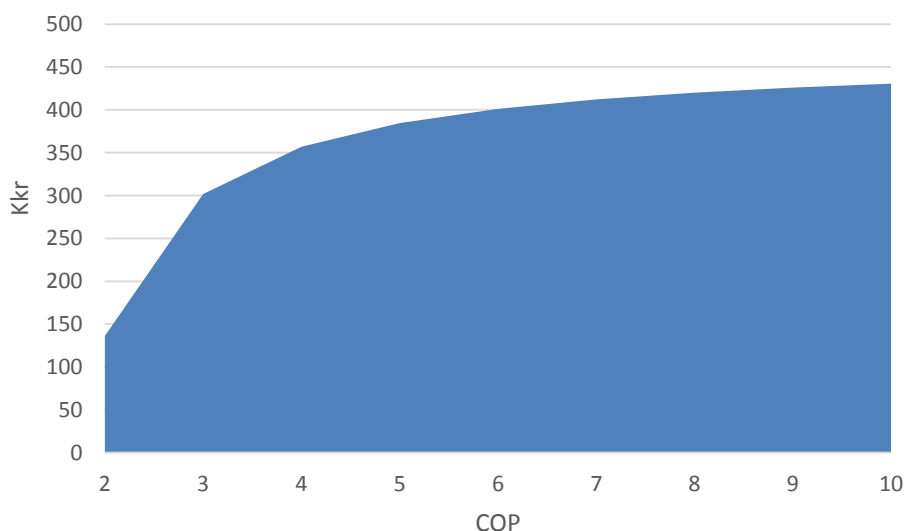
Gråvattenfraktionen från köksvasken innehåller ofta höga halter av oljerester. Vid H+ ska vattnet från köksvasken ledas i ett separat rör och därmed slipper man de problem som kan orsakas av olja i ledningarna. Vid värmeåtervinning sänker man temperaturen på det utgående gråvattnet. Hög oljehalt i avloppsvattnet i kombination med sänkt temperatur efter värmeåtervinningen ökar risken för stopp i ledningen. Om värmeåtervinning från gråvatten planeras i hushåll där kökswattnet inkluderas i gråvattnet bör riskerna med stopp undersökas närmare alternativt att central värmeåtervinning väljs framför lokal då avståndet det kylda gråvattnet ska transporteras i ledningsnätet minimeras.

Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har utförts för att fastställa hur känsligt resultatet på fastighetsnivå är för variationer i de parametrar som enligt litteraturgenomgången varierade mest. Nedan presenteras hur en förändring av värmepumpens COP samt gråvattnets volym påverkar energibesparingens nuvärde. Detta är av intresse för byggherrar som överväger att investera i ett värmeåtervinningssystem i fastigheten men som är osäkra på flöde, temperatur och COP för det planerade systemet.

COP

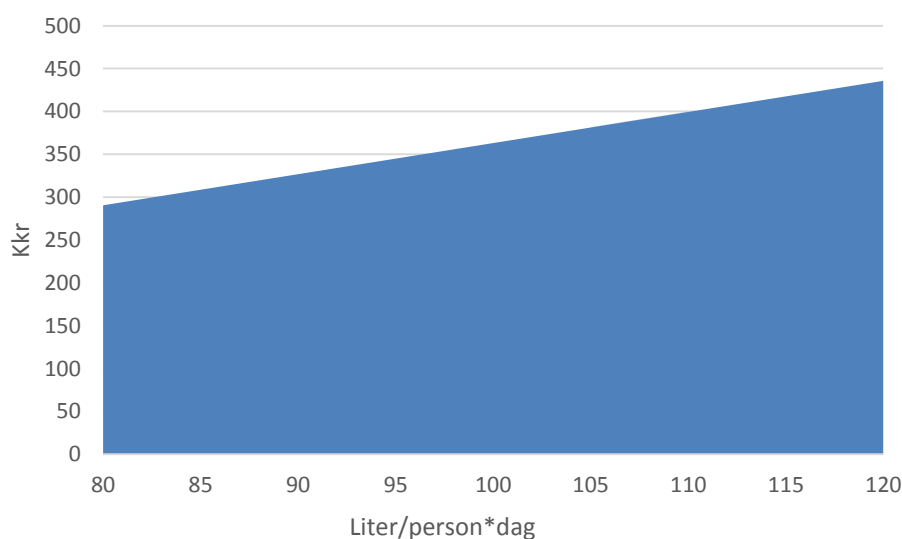
Figur 32 nedan visar hur energibesparingens nuvärde på fastighetsnivå påverkas av olika värden på COP. Figuren visar att energibesparingens nuvärde påverkas mer av en förändring på COP då COP är lågt än om COP är högt. Med andra ord är resultatet osäkrare för värmepumpar som opererar med låg COP då en liten förändring av COP kan påverka energibesparingens nuvärde mer än vad motsvarande förändring skulle påverka om värmepumpens COP var högre. I figuren ser man att värmepumpar som har en COP under 4 ger ett osäkrare resultat. Då COP är över 4 ges ett stabilare resultat och en förändring i COP har endast begränsad inverkan på energibesparingens nuvärde. Vid H+ har en COP på 4.7 beräknats och eventuell osäkerhet i resultatet har alltså en mindre inverkan på energibesparingens nuvärde.



Figur 32. COPs inverkan på energibesparingens nuvärde på fastighetsnivå.

Volym

I detta arbete har det antagits att en person ger upphov till 104 liter grävatten per dag. Resultatet har visat att detta flöde resulterar i att energibesparingens nuvärde är ca 375 kkr för en fastighet. Medelvärdet för grävattenflödet per person i Europa ligger på 110 liter per dag och i Tyskland ligger motsvarande siffra på 90 liter per dag (Sievers et al., 2014). Figur 34 visar hur energibesparingens nuvärde på fastighetsnivå påverkas då grävattenflödet ändras. Förhållandet mellan energibesparingens nuvärde och flödets volym är linjärt. Figur 33 visar att ett lågt grävattenflöde på 80 liter per person och dag resulterar i ett nuvärde på strax under 300 kkr och ett högt flöde på 120 liter per person och dag resulterar i ca 430 kkr. Volymen har med andra ord stor inverkan på energibesparingens nuvärde.



Figur 33. Flödesvolymens inverkan på energibesparingens nuvärde på fastighetsnivå.

Sammanfattningsvis visar känslighetsanalysen på fastighetsnivå att variationer i COP och gråvattnets volym kan påverka nuvärdet av energibesparingen att variera mellan ca 300 – 450 kkr. Detta bör tas hänsyn till vid planerandet av värmeåtervinningssystemet. Slutsatsen av resultatet på fastighetsnivå är att en investering i värmeåtervinning på fastighetsnivå är ekonomiskt lönsam då investeringskostnaden samt nuvärdet av underhållskostnaden understiger det beräknade värdet av energibesparingens nuvärde som beräknat till 375 kkr.

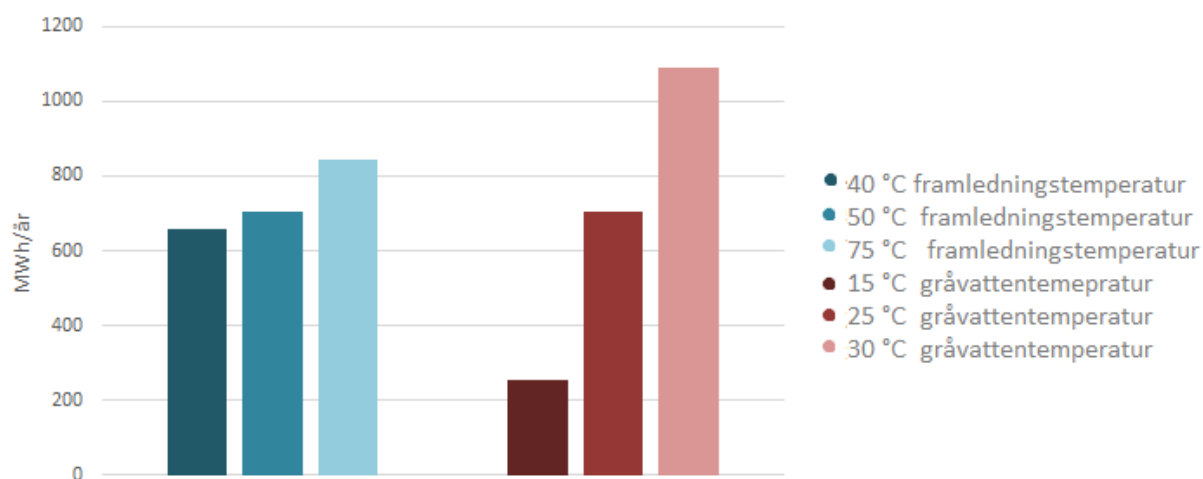
7.1.2 Resultat för värmeåtervinning vid H+ Etapp 1 och 2

Scenario 2 behandlar gråvattenflödet från Etapp 1 och 2, som totalt består av 400 lägenheter fördelade på åtta fastigheter. Vid värmeåtervinning på ett reningsverk hanteras ett större flöde än vid lokal värmeåtervinning då det tas emot gråvatten från ett större område. Då flödet är större resulterar det i mindre temperatur- och flödesvariationer och därmed ett stabilare resultat. Då värmeåtervinningen sker på ett reningsverk kan den producerade värmen antingen användas på reningsverket för fjärrvärmeproduktion eller användas på området. Detta beslut påverkar valet av framledningstemperatur och därmed värmepumpsystemets effektivitet och energibesparingens nuvärde. Då värmen inte utnyttjas nära tappkällan kan det uppstå värmeförluster i ledningsnätet då vatten transporteras från tappkälla till reningsverket.

Energibesparing

Energibesparingen för Etapp 1 och 2 visas i figur 34 nedan. Figuren visar först hur energibesparingen för 25 °C gråvatten påverkas av en förändrad framledningstemperatur (blå staplar) och därefter hur energibesparingen påverkas av olika gråvattentemperaturer med fast framledningstemperatur på 50 °C (röda staplar). Syftet med denna figur är att illustrera hur resultatet påverkas vid olika gråvatten- och framledningstemperaturer som är relevanta för denna studie. En framledningstemperatur på 40 °C kan väljas om värmen används i ett slutet radiatorsystem. En framledningstemperatur på 50 °C kan väljas om värmen ska användas för att värma upp varmvattnet. En framledningstemperatur på 75 °C kan väljas om värmen ska användas

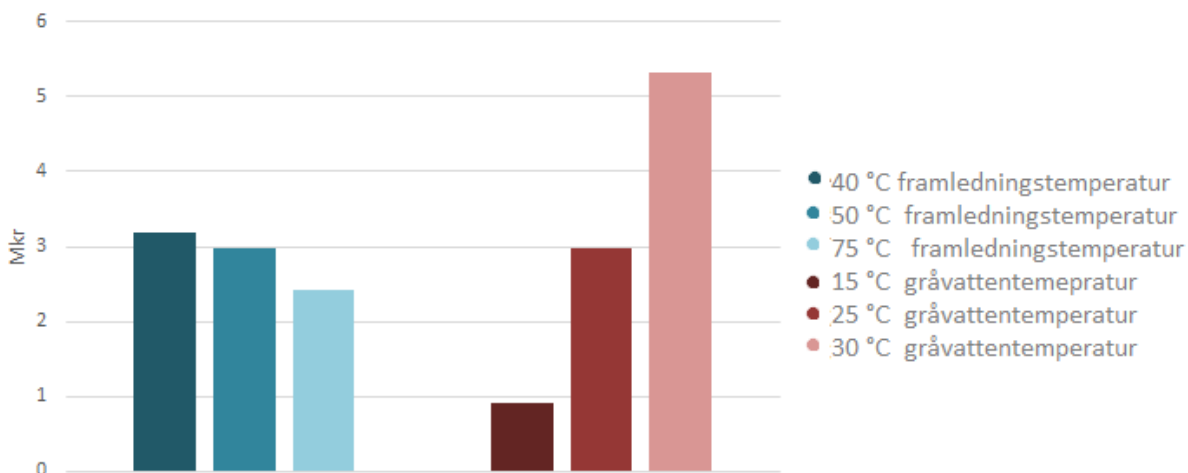
till fjärrvärmeproduktion. Resultatet visar att energibesparingen påverkas mer av en förändrad gråvattentemperatur än av en förändrad framledningstemperatur. Vidare visar figuren att en högre framledningstemperatur resulterar i större energibesparing än en lägre. Sammanfattningsvis visar resultatet att gråvattnets temperatur påverkar resultatet i större utsträckning än vad framledningstemperaturen gör, men framledningstemperaturen går att påverka till skillnad från gråvattnets temperatur.



Figur 34. Energibesparingen för central värmeåtervinning av etapp 1 och 2 för olika framledningstemperaturer (blå skala) och olika gråvattentemperaturer (röd skala).

Nuvärdet av energibesparingen

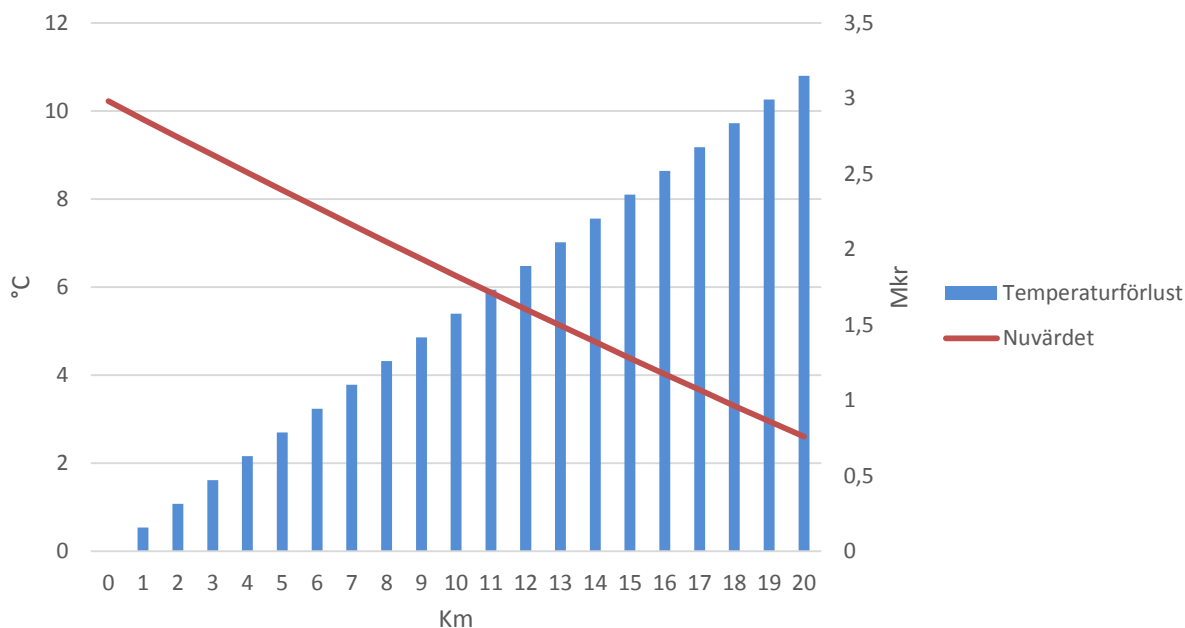
Figur 35 nedan visar energibesparingens nuvärde för Etapp 1 och 2. Figuren visar att en framledningstemperatur på 75 °C leder till ett lägre nuvärde jämfört med en framledningstemperatur på 40 °C och 50 °C. Detta resultat kan tyckas motsätta sig resultatet från figur 35 som visade att energibesparingen var störst då framledningstemperaturen var 75 °C. En framledningstemperatur på 75 °C leder till ett lågt COP vilket resulterar i att värmepumpen drar mer elektricitet och då elpriset är högre än fjärrvärmepriset resulterar detta i lägre lönsamhet. En fördel med värmeåtervinning på fastighetsnivå är att framledningstemperaturen kan bestämmas till det värde som är effektivast. Vid central värmeåtervinning kan värmen antingen utnyttjas på området då en låg framledningstemperatur kan väljas, alternativt kan den utnyttjas till produktion av fjärrvärme. Vid fjärrvärmeproduktion krävs en hög framledningstemperatur, vilket resulterar i lägre COP och sämre effektivitet, och det gör dessutom energibesparingens nuvärde mer känsligt för höjda elpriser. Med andra ord påverkar valet av framledningstemperatur systemets lönsamhet. I kommande beräkningar har en framledningstemperatur på 50 °C samt en gråvattentemperatur på 25 °C använts vid den centrala värmeåtervinningen.



Figur 35. Energibesparingens nuvärde för central värmeåtervinning av etapp 1 och 2 för olika framledningstemperaturer (blå skala) och olika gråvatten temperaturer (röd skala).

Värmeförluster

Då bostadsbygget i H+ kommer att utföras 500 m från reningsverket har värmeförlusterna beräknats. I diagrammet nedan kan man utläsa att detta avstånd endast medför en försumbar temperaturförlust på gråvattnet, alltså påverkas inte värmepumpens effektivitet av lokal eller central värmeåtervinning vid detta specifika fall. Avståndet mellan bostadsområdet och reningsverket är i detta fall ovanligt kort. I Helsingborg är det längsta avståndet som avloppsvattnet transporteras innan det når Öresundsverket 21 km. Avståndet från hushåll till reningsverk skiljer sig mycket beroende på storleken av staden och reningsverkets placering. Figur 36 visar att nuvärdet av energibesparingen kraftigt påverkas av avståndet från tappkälla till reningsverk. Ett avstånd på 13 km resulterar i ett halverat nuvärde. I denna figur kan man även avläsa på vilket sätt energibesparingens nuvärde påverkas av kallare gråvatten alternativt osorterat avloppsvatten. Om värmeåtervinning ska utföras ur osorterat avloppsvatten kan man räkna med att dess temperatur är 15 °C, det vill säga 10 °C kallare än gråvattnet. Detta ger ett nuvärde på ca 0,9 miljoner kr, jämfört med 3 miljoner kr för gråvatten. Det är alltså bättre att värmeåtervinna från gråvatten så pass nära tappkällan att värmeförlusternas inverkan på resultatet är begränsad.



Figur 36. Inverkan av avståndet mellan tappkälla och reningsverk på avloppsvattnets temperatur och energibesparingens nuvärde.

Resultatet är anpassat efter skånskt klimat och värmeförlusterna skulle därmed vara större om ett liknande projekt utfördes i en kallare region än Skåne. För information om övriga parametrar som ingår i beräkningarna se ekvation 8 och 9. Sammanfattningsvis har avståndet mellan tappkälla och värmepump stor inverkan på investeringens lönsamhet, men då avståndet endast är 500 m vid H+ så har värmeförlusterna endast en försumbar inverkan på resultatet i detta specifika fall.

7.1.3 Lokalt eller centralt

Sammanfattningsvis finns för- och nackdelar med lokal och central värmeåtervinning och flera av parametrarna som påverkar valet är platsspecifika, såsom gråvattentemperatur, framledningstemperatur, avstånd mellan tappkälla och värmepump samt elpriset. Av denna anledning bör det tas hänsyn till lokala omständigheter innan beslut tas kring implementering av värmeåtervinning från gråvatten. I det specifika H+ fallet som detta arbete har studerat påverkas värmepumpens effektivitet av valet mellan lokal och central värmeåtervinning endast om valet av framledningstemperatur skiljer sig mellan fallen. Om valet står mellan användning av den producerade värmen som exempelvis golvvärme lokalt i fastigheten (som endast kräver en låg framledningstemperatur) och med fjärrvärmeproduktion på reningsverket (som kräver en hög framledningstemperatur) är kostnads- och energibesparingen större för det lokala alternativet då resultatet visat att en lägre framledningstemperatur leder till en effektivare värmepump.

De främsta fördelarna med lokal värmeåtervinning är 1) att man har större frihet vid valet av framledningstemperatur, 2) värmen extraheras och återanvänds nära tappkällan och nära konsumenten, 3) enskilda byggherrar kan ta egna initiativ till värmeåtervinning. De främsta fördelarna med central värmeåtervinning är 1) att risken för stopp i ledningsnätet minskar då gråvattnen kyls ner precis innan det ska släppas ut till recipienten, 2) värmeåtervinningen kan utföras efter reningsprocessen och reningsprocessen påverkas därför inte negativt av den sänkta

gråvattentemperaturen, 3) värmeåtervinningen utförs på ett stort flöde vilket resulterar i att temperatur- och flödesvariationerna är minimerade och därmed blir värmepumpens effekt stabilare och mer förutsägbar, 4) det är enklare med storskalig planering och att utnyttja de positiva synergieffekterna som källsorterat avlopp medför då ansvaret hamnar på ansvariga VA-huvudmän och 5) investeringskostnaderna är förmodligen lägre. Av dessa anledningar, samt på grund av att reningsverket är stationerat väldigt nära H+ och värmeförlusterna därmed inte har stor inverkan på resultatet, rekommenderas central värmeåtervinning framför lokal i detta fall. Lönsammast är det lokala alternativet om det väljs en låg framledningstemperatur.

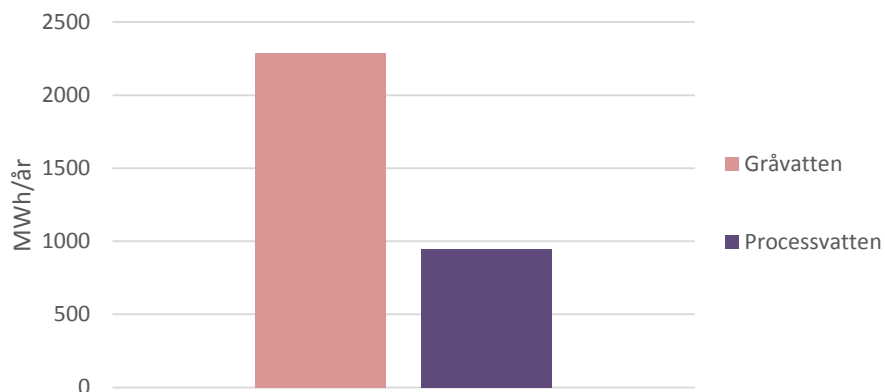
Oavsett om det beslutas att värmeåtervinningen sker lokalt eller centralt krävs ett helhetstänkande kring vattenhanteringen för att ha möjlighet att utnyttja alla positiva synergieffekter som uppstår vid separerat avloppsvatten. Ytterligare energi kan potentiellt sparas om gråvattnet renas separat och ännu mer om det återanvänds efter reningen. Nolde (2014) visade i sin studie att 90 % av energibesparingen vid värme- och vattenåtervinningen i ett flerbostadshus i Berlin kommer från den minskade av vattenkonsumtionen. Dessutom kan högvärdig energi produceras i form av biogas. Värmeåtervinning ur gråvattnet innebär att värme som annars skulle gått förlorad utnyttjas och används där den behövs. Detta i kombination med en effektivare reningsprocess, ökad biogasproduktion, näringsåtervinning samt minskad vattenkonsumtion resulterar i en mer ekologiskt hållbar och resurseffektiv vattenreningsprocess än dagens konventionella vattenrening. Detta innebär att den totala kostnadsbesparingen samt miljönyttan i själva verket är större än beräknat i detta arbete.

7.2 Sjukhuset

Gråvatten från ett sjukhus har inte samma sammansättning som gråvatten från ett hushåll. En stor skillnad är att ett sjukhus extraherar stora volymer hög-tempererat processvatten från rengörings- och desinfektionsprocesser. Det varma processvattnet har god värmeåtervinningspotential då den höga temperaturen gör att värmepumpens temperaturlyft blir litet och därmed ökar värmepumpens COP och effektivitet (Meggers & Leibundgut, 2011). Det varma processvattnet har beräknats höja sjukhusets gråvattentemperatur till 30 °C (beräkningar finns i Appendix II), vilket använts som medeltemperatur för gråvattnet från sjukhuset i samtliga beräkningar. Då det hög-tempererade processvattnet är intressant ur värmeåtervinningsynpunkt ska värmeåtervinningspotentialen hos sjukhusets gråvatten jämföras med processvattnet.

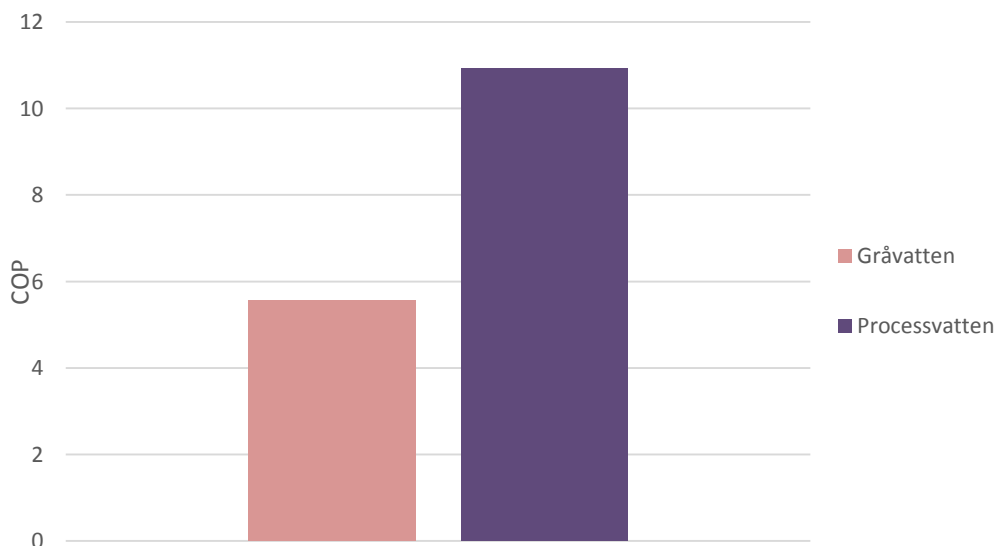
7.2.1 Jämförelse gråvatten och processvatten

I detta avsnitt jämförs värmeåtervinningspotentialen hos samlat gråvatten från ett sjukhus (scenario 4) med separerat processvatten (scenario 5) för att uppskatta vart den största potentialen för värmeåtervinning finns. Figur 38 nedan visar mängden värmeenergi som kan extraheras ur det samlade gråvattnet respektive processvattnet från sjukhuset. Från figur 24 vet vi att volymmässigt utgör processvattnet 32 % av den totala volymen gråvatten. Figur 37 visar att värmeåtervinning från det totala gråvattnet genererar en större energibesparing än värmeåtervinning från processvattnet. Slutsatsen blir alltså att värmeåtervinningspotentialen är större från det totala gråvattnet på sjukhuset än processvattnet då dess volym är större.



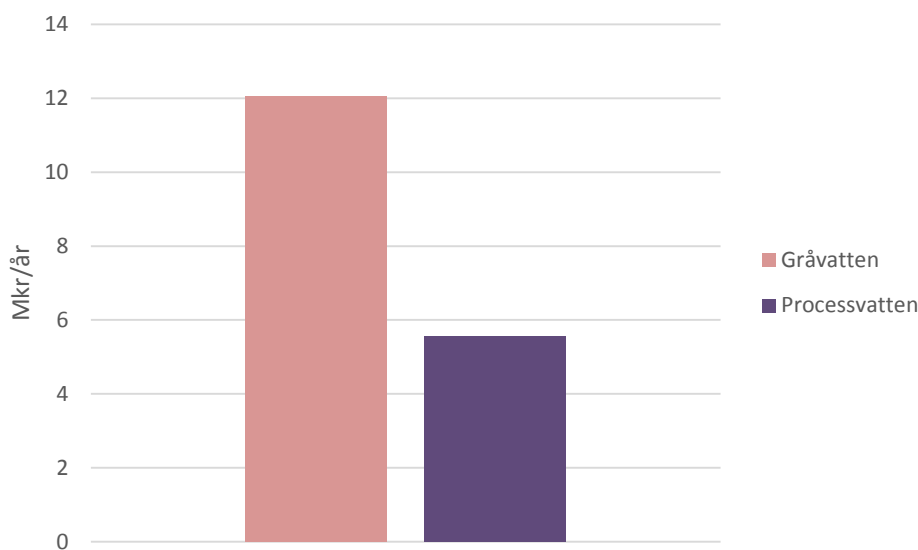
Figur 37. Energibesparingen av värmeåtervinning från gråvatten och processvatten på sjukhuset i Helsingborg.

Figur 38 visar gråvattnets och processvattnets COP och figuren visar att processvattnets COP är ungefär dubbelt så högt som gråvattnets. Då processvatten är varmare än vanligt gråvatten resulterar det i att värmepumpens temperaturlyft blir mindre, vilket innebär att värmepumpen får ett högt COP och klassas som högeffektiv enligt diagrammet i figur 9. En värmepump med så högt COP drar lite elektricitet i förhållande till den värmeenergi den extraherar och dess energikostnad är därmed inte lika beroende av elpriset som en värmepump med lägre COP. Slutsatsen blir alltså att det finns fördelar med värmeåtervinning från processvattnet även om värmeåtervinningspotentialen är mindre.



Figur 38. Värmepumpens COP vid värmeåtervinning från gråvatten och processvatten på sjukhuset i Helsingborg.

I figur 39 nedan jämförs energibesparingens nuvärde för värmeåtervinning från gråvatten och processvatten på sjukhuset. Figuren visar att nuvärdet är högre vid värmeåtervinning från gråvatten än från processvatten. Detta beror på att volymen gråvatten är större än volymen processvatten. Lönsamheten hos en värmepump med högt COP påverkas inte mycket vid höjda elpriser i framtiden då de drar lite el i förhållande till den värmeenergi de extraherar, vilket gör dem till ett stabilare alternativ. Höga elpriser motiverar val av värmepumpar med hög COP. Värmeåtervinningen är effektivare från processvattnet, men den totala mängden producerad värmeenergi är större från gråvattnet då dess volym är större.



Figur 39. Den årliga kostnadsbesparingen på grund av minskad energianvändning vid värmeåtervinning från gråvatten och processvatten på sjukhuset i Helsingborg.

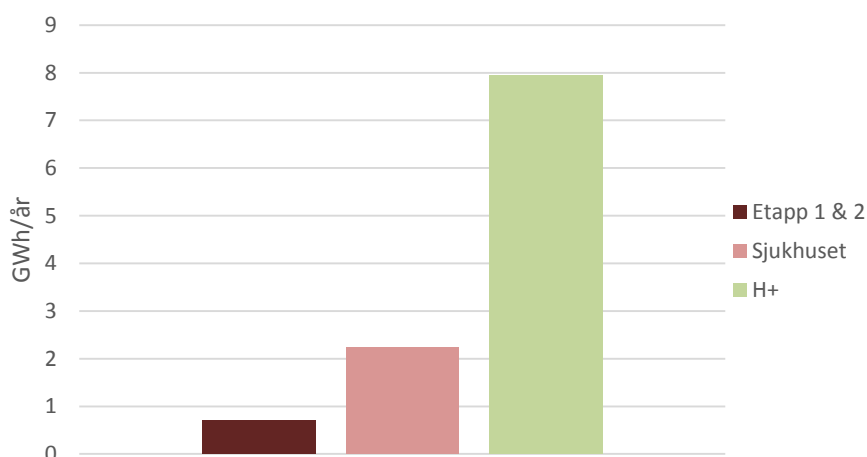
Sammanfattningsvis är värmeåtervinningen från processvatten effektivare än från gråvattnet vid sjukhuset men den producerade värmeenergin är större hos gråvattnet än hos processvattnet. Fördelen med värmeåtervinning från processvatten är att temperaturlyftet mellan processvattnet och framledningstemperaturen är litet vilket därmed resulterar i en högeffektiv värmepump med högt COP som drar lite el i förhållande till den värmeenergi den producerar. Fördelen med värmeåtervinning från gråvattnet är för det första att man värmeåtervinner dels från det varma processvattnet som diskuterades ovan samt från allt övrigt varmvatten som används på ett sjukhus, vilket gör värmeåtervinningspotentialen större. För det andra så har en karta över sjukhuset med alla processmaskiner utmarkerade (se Appendix IV) visat att processvattnet inte är koncentrerat till ett visst område på sjukhuset utan det är jämnt fördelat på hela sjukhuset på samma sätt som gråvattnet och en investering i källsorterat avloppsvatten skulle förmodligen kosta lika mycket för båda alternativen trots att värmeåtervinningspotentialen är högre för gråvattnet. För att besvara syftet i examensarbetet så visade beräkningsstudien att det var mer lönsamt att återvinna värme från hela gråvattenfraktionen (scenario 4) framför värmeåtervinning av enbart processvatten (scenario 5) på sjukhuset.

7.3 Jämförelse av värmeåtervinningspotential

I detta avsnitt jämförs värmeåtervinningspotentialen från H+ med sjukhusets värmeåtervinningspotential och därefter med Öresundsverkets för att få en uppfattning om vart den största värmeåtervinningspotentialen finns och därmed besvara examensarbetets syfte.

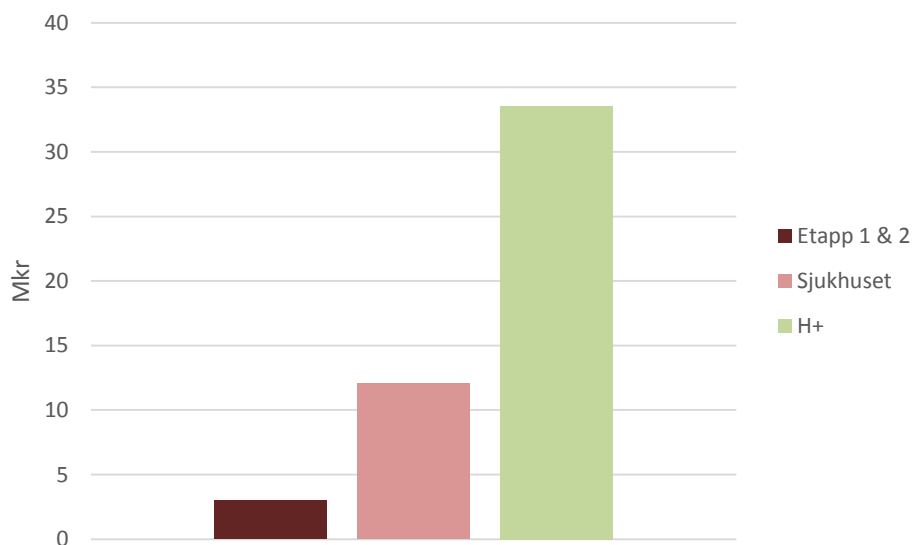
7.3.1 Jämförelse mellan H+ och sjukhuset

Hushåll och sjukhus genererar gråvatten av olika karaktär. Nedan jämförs resultatet från värmeåtervinning på H+ med värmeåtervinning från sjukhuset i Helsingborg. Figur 40 nedan visar mängden värmeenergi som kan återvinnas från gråvattnet i Etapp 1 och 2 (scenario 2), sjukhuset (scenario 4) samt hela H+ (scenario 3) sammanlagt. Figuren visar att den extraherade värmeenergin är större på sjukhuset än etapp 1 och 2 och att den är störst på hela H+. Detta beror framförallt på volymen behandlat vatten. Gråvattnet från Etapp 1 och 2 är likvärdigt gråvattnet från H+ i temperatur, COP och karaktär, den enda skillnaden är flödesvolymen. Flödet från hela H+ är ungefär 10 gånger större än flödet från Etapp 1 och 2 och därför är mängden producerad värmeenergi ca 10 ggr större för hela H+. Flödet från sjukhuset skiljer sig från de två H+ scenarierna då det har högre temperatur och COP och dess värmeenergi motsvarar ca 28 % av den totala producerade värmeenergin vid H+. Figuren visar att volymen spelar stor roll vid uppskattning av värmepotential och det är möjligt att producera mer värmeenergi ju större flödet är.



Figur 40. Jämförelse av energibesparingen vid etapp 1 och 2, sjukhuset och hela H+.

I figur 41 nedan jämförs nuvärdet av energibesparingen hos Etapp 1 och 2 med sjukhuset samt hela H+. Resultatet visar att nuvärdet för energibesparingen för värmeåtervinning från ett sjukhus med 400 bäddar motsvarar ca 35 % av värmeåtervinningen från ett bostadsområde med 4500 boenden. Denna siffra är något högre än motsvarande siffra för energibesparingen som låg på 28 %. Detta beror på att sjukhusscenarioet har en högre COP än och därmed påverkas inte resultatet från sjukhuset av elpriset i samma utsträckning som scenarierna på H+. Sammanfattningsvis visar resultatet att värmeåtervinningspotentialen i stor utsträckning påverkas av volymen gråvatten som behandlas. Nuvärdet av energibesparingen påverkas dels av volymen och dels av värmepumpens COP, som i sin tur beror på de ingående temperaturerna.



Figur 41. Jämförelse av energibesparingens nuvärde vid etapp 1 och 2, sjukhuset och hela H+.

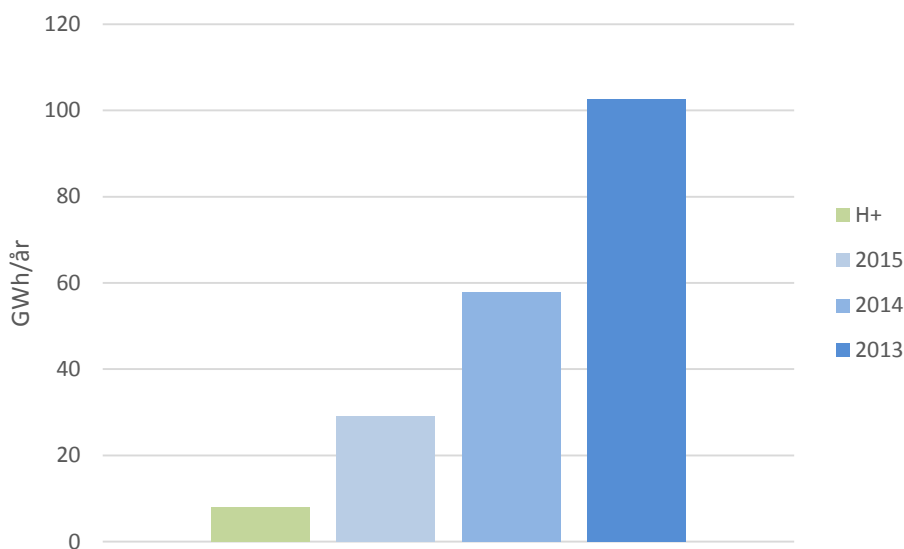
Resultatet har visat att värmeåtervinningspotentialen är temperaturberoende och att en förändring i gråvattentemperaturen påverkar lönsamheten mer än en förändring i framledningstemperaturen. Å andra sidan är det inte möjligt att påverka gråvattentemperaturen men man kan påverka valet av framledningstemperatur. Sjukhuset ger upphov till gråvatten som har en högre medeltemperatur än H+ vilket resulterar i en effektivare värmepump. Detta beror på att de extraherar hög-tempererat processvatten. Resultatet visade att sjukhusets värmepump har högre COP än H+ och detta resulterar i att deras värmepump drar mindre elektricitet i förhållande till producerad mängd värmeenergi samtidigt som det innebär att deras värmepump är mindre känslig för höjningar av elpriset i framtiden.

Fördelen med värmeåtervinning från sjukhuset är att man har möjlighet att utnyttja varmare gråvatten vilket ger en effektivare värmeåtervinning. Fördelen med värmeåtervinning på H+ är för det första att värmeåtervinningspotentialen har möjlighet att bli väldigt stor om samtliga etapper inkluderas i värmeåtervinningen. För det andra har man bättre möjligheter att utnyttja de positiva synergieffekter som källsorterade avlopp ger. Gråvattnet från sjukhuset skulle kunna transporteras till H+ för behandling där, för nyttjande av positiva synergieffekter, men det skulle behöva undersökas om gråvatten från ett sjukhus kräver en likvärdig rening som hållsgråvatten. Av dessa anledningar samt resultatet i figur 42 rekommenderas värmeåtervinning vid H+ framför värmeåtervinning på sjukhuset. Investeringskostnaderna för värmeåtervinning på H+ och sjukhuset kan skiljas åt och bör även inkluderas i bedömningen. För att besvara syftet i examensarbetet så visade beräkningsstudien att var mer lönsamt att återvinna värme vid hela H+ (scenario 3) än vid sjukhuset (scenario 4).

7.3.2 Jämförelse mellan H+ och Öresundsverket

Nedan har värmeåtervinningspotentialen hos hela H+ (scenario 3) jämförts med Öresundsverkets värmeåtervinning från behandlat avloppsvatten. Detta är av intresse då Öresundsverket värmeåtervinner från väldigt stora, låg-tempererade volymer avloppsvatten medan

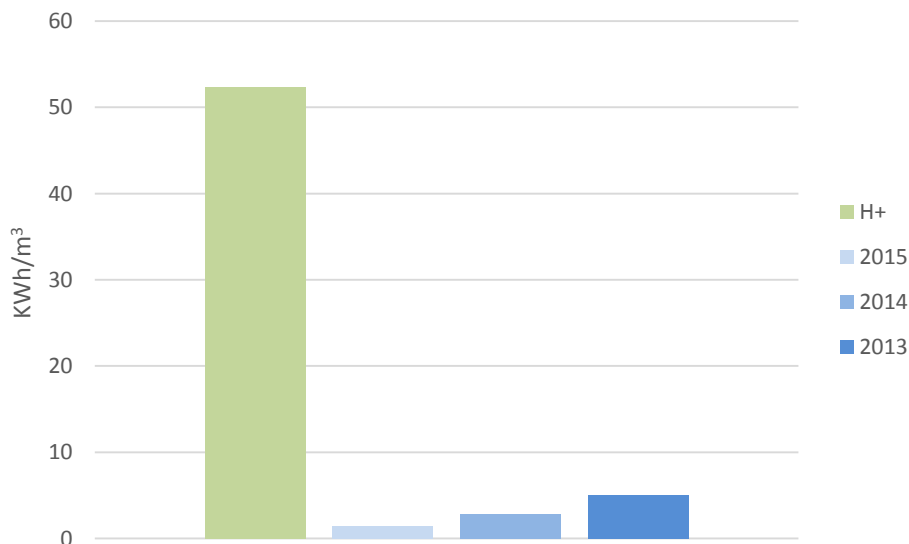
värmeåtervinningen på H+ skulle ske på mindre men varmare volymer gråvatten. Avloppsvattnet som når Öresundsverket har i genomsnitt en temperatur på 15 °C och värmepumpens COP är ca 3 (Baaring, 2016). Figur 42 nedan visar mängden återvunnen värme på H+ jämfört med data från värmepumpen på Öresundsverket för åren 2013-2015. I figuren ser man att värmeåtervinningen på Öresundsverket har varierat väldigt mycket från år till år och att trenden under dessa tre år har varit negativ. Detta beror på att elpriset har ökat dessa år (Svensk Energi, 2016) i kombination med att värmepumpen på Öresundsverket opererar med låg COP vilket gör den känslig för höga elpriser. Figuren inkluderar inte värmepumparnas elförbrukning utan endast deras värmeproduktion. För Öresundsverket motsvarar elförbrukningen ca 35 % av värmeproduktionen och för H+ motsvarar den ca 20 %. Värmepumpen på Öresundsverket extraherar mer värmeenergi än det är möjligt på H+ då den tar emot större flöden, men värmeproduktion varierar kraftigt från år till år då värmepumpen har lågt COP och är känslig mot höga elpriser. Slutsatsen är alltså att trots att värmeåtervinningspotentialen är störst på Öresundsverket så är dess värmeproduktion beroende av elpriset vilket kan påverka dess lönsamhet i framtiden.



Figur 42. Jämförelse av energibesparingen vid hela H+ och Öresundsverket år 2013-2015.

I figur 43 nedan presenteras värmeåtervinningen i kWh per m³. Värmeåtervinningspotentialen från H+ är mindre än den från Öresundsverket, vilket beror på att H+ extraherar gråvatten till en volym som motsvarar <1 % av den volym vatten som Öresundsverket tar emot. Figuren visar dock att värmeåtervinningspotentialen per volymenhet är större på H+ än på Öresundsverket. Detta visar att värmeåtervinning på H+ är effektivare på att utnyttja den termiska energin som finns lagrad i avloppsvattnet per kubikmeter än på Öresundsverket. Värmepumpen på Öresundsverket extraherar mycket värme på grund av att den tar emot stora volymer vatten, men endast en liten del av den totala termiska energi som initialt fanns lagrad i gråvattnet tas till vara på. Detta beror på två faktorer. För det första beror det på att avloppsvattnet som Öresundsverket

tar emot består av gråvatten, svartvatten och dagvatten. Svartvattnet och dagvattnet har lägre temperatur vilket sänker medeltemperaturen på avloppsvattnet. För det andra beror det på de långa avstånden som avloppsvattnet transporteras i ledningsnät från tappställe till reningsverk, vilket resulterar i värmeförluster som skildrats i figur 36.



Figur 43. Jämförelse av energibesparingen per kubikmeter vid hela H+ och Öresundsverket år 2013-2015.

Sammanfattat visar resultaten att den värmeåtervinning som extraherar mest värmeenergi är den som utförs storskaligt och som tar emot störst volymer vatten, även om vattnet har låg temperatur och systemet har stora värmeförluster per volymenhet. Trots detta visade resultatet ovan att värmeåtervinning på H+ i större utsträckning utnyttjar den termiska energi som finns lagrad i vattnet. Resultatet har påvisat att värmeåtervinning från stora volymer låg-tempererat avloppsvatten ger upphov till mer värmeenergi än vad värmeåtervinning från små volymer hög-tempererat gråvatten gör. Då volymen avloppsvatten som når värmepumpen är stor, resulterar värmeåtervinningen i stora mängder värmeenergi, men värmepumpens låga COP innebär att värmepumpen drar mycket elektricitet under processen.

Fördelen med värmeåtervinning på Öresundsverket är 1) det är ett enkelt sätt att ta tillvara på spillvärme som annars gått förlorad, 2) ett avloppsreningsverk som Öresundsverket tar emot stora volymer avloppsvatten varje dag och därför kan stora mängder värmeenergi produceras trots att värmepumpen inte är effektiv, 3) värmen kan användas till fjärrvärmeproduktion och 4) det är lätt att installera och det kan bidra till att göra avloppsreningsverket energineutralt. Fördelen med värmeåtervinning på H+ är 1) att man utnyttjar värmen nära tappkällan med försumbara värmeförluster, 2) man värmeåtervinner från gråvatten som är varmare än avloppsvatten vilket därmed resulterar i ett mindre temperaturlyft för värmepumpen och en högre COP, 3) man har möjlighet att utnyttja alla positiva synergieffekter som källsorterat avloppsvatten ger och 4) värmepumpen har en högre COP och därför är dess lönsamhet stabilare vid elprishöjningar. Med andra ord beror det på syftet med värmeåtervinningen. Är syftet att utveckla ett nytänkande, hållbart och smart system för den urbana vattenhanteringen är värmeåtervinning från källsorterat

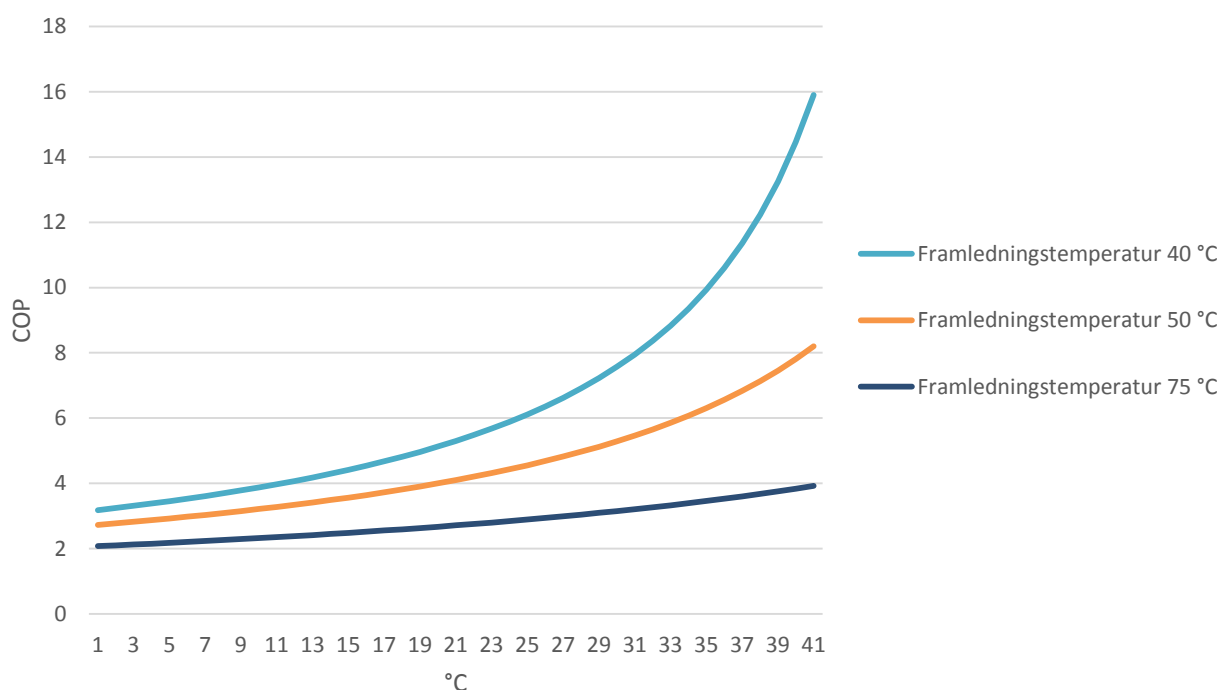
gråvatten ett lämpligare värmeåtervinningsalternativ, men om syftet är att göra ett konventionellt avloppsreningsverk mer energineutralt, är värmeåtervinning på Öresundsverket ett bättre alternativ. Syftet med detta examensarbete var att undersöka vilket alternativ som är lönsammast och resultatet har visat att värmeåtervinning från Öresundsverket har störst värmeåtervinningspotential samtidigt som systemet har låga investeringskostnader då ett källsorterat avloppssystem inte behöver installeras.

8. Känslighetsanalys

I detta avsnitt presenteras resultatet från känslighetsanalysen. Värmepumpens COP och elpriset har studerats närmare i denna analys. Effekterna av gråvattnets temperatur på COP för tre olika framledningstemperaturer har studerats samt effekterna på energibesparingen nuvärde för de studerade scenarierna då elpriset höjs.

8.1 COP

En värmepumps COP säger hur många gånger mer värmeenergi den extraherar i förhållande till den elenergi den drar. COP påverkas dels av gråvattnets temperatur, framledningstemperaturen samt av Carnots verkningsgrad (se ekvation 7) och värdet på COP blir högre ju mindre temperaturlyftet är mellan avloppsvattnets temperatur och framledningstemperaturen. Figur 44 nedan visar hur COP ändras med gråvattnets temperatur för en framledningstemperatur på 40°C, 50°C samt 75 °C. Dessa temperaturer har valts då en framledningstemperatur på 40 °C är den framledningstemperatur som Nykvist (2012) beräknade till den mest lönsamma i sin rapport om värmeåtervinning från spillvatten. En framledningstemperatur på 50 °C är den lägsta temperaturen man kan välja utan risk för tillväxt av legionellabakterier samt har andra som studerat ämnet (Meggers & Leibundgut, 2010) har använt den. Vid fjärrvärmeproduktion på reningsverk används en framledningstemperatur på 75 °C. Figuren nedan visar att COP påverkas av både gråvattnets temperatur samt framledningstemperaturen. En gråvattentemperatur på mellan 25-30 °C ger COP på ca 4.5 vid en framledningstemperatur på 50 °C och COP 6.5 för 40 °C. Detta kan påverka resultatet då elpriset blir högt. Ju högre COP en värmepump har, ju mindre påverkas dess lönsamhet av elpriset. Figuren visar även att COP påverkas mindre av gråvattnets temperatur då framledningstemperaturen är hög. En låg framledningstemperatur kan antingen kombineras med en extern värmekälla som exempelvis solfångare eller fjärrvärme, alternativt kan det användas i ett slutet radiatorsystem vars vatten inte exponeras utanför radiatören och därför inte påverkas av legionellabakterier. Slutsatsen är att en framledningstemperatur på 40 grader är effektivast.



Figur 44. Inverkan av avloppsvattnets temperatur(x-axeln) på COP för tre olika framledningstemperaturer; 40 °C, 50 °C och 75 °C.

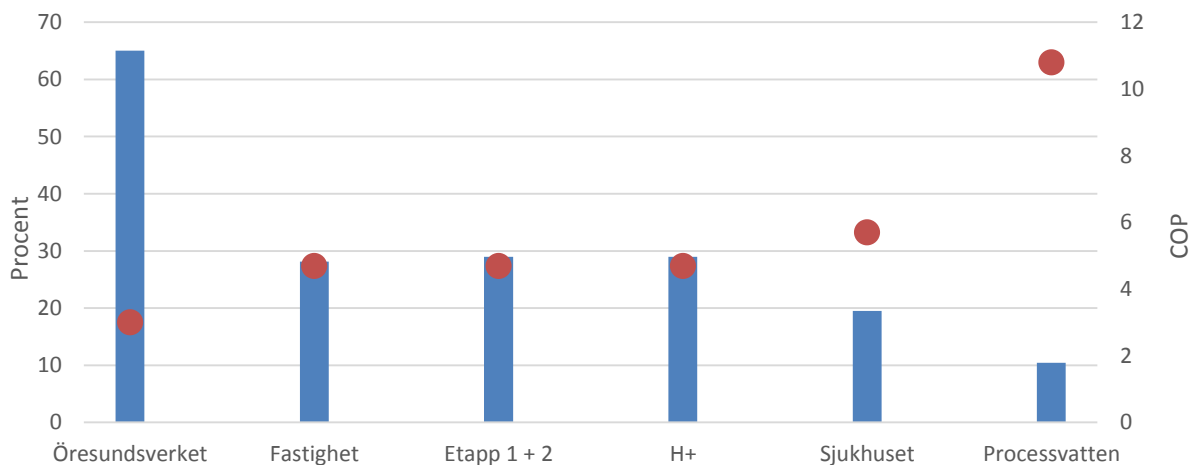
8.2 Elpris

Allt resultat i detta arbete är baserat på värmepumpslösningar och då en värmepump drivs av el påverkas resultatet av en förändring i elpriset. Värmepumpar med lågt COP är särskilt känsliga då de förbrukar mer elektricitet. I denna analys har 500 kr adderats till respektive elpris och effekterna av denna elprishöjning har studerats. I tabell 8 visas en sammanställning av elpriset samt det höjda elpriset för de studerade scenarierna. Höjningen på 500 kr valdes då effekterna av en jämn stor prishöjning skulle studeras.

Tabell 8. Sammanställning av elpriset samt det höjda elpriset för respektive scenario.

Alternativ	Elpris (kr/MWh)	Höjt elpris (kr/MWh)
Lokalt	1003	1503
Sjukhuset	800	1300
Centralt samt Öresundsverket	932	1432

I figur 45 nedan skildras hur mycket energibesparingsens nuvärde minskar (i %) då elpriset höjs med 500 kr per MWh samtidigt som COP är utmarkerat med röda prickar för respektive scenario. Figuren visar att nuvärdet sjunker mer ju lägre värdet på COP är och en korrelation mellan stigande COP och minskad inverkan på investeringens nuvärde kan utläsas. Detta resultat säger att elpriset har större inverkan på resultatet för värmepumpar med lågt COP. Investeringens långsiktiga lönsamhet påverkas alltså av värmepumpens COP och för att en investering ska vara lönsam ur ett långsiktigt perspektiv är det bättre att investera i en värmepump med högt COP.



Figur 45. Minskningen av energibesparingens nuvärde (i %) då elpriset höjs med 500 kr (blå staplar) samt värdet på COP för de studerade alternativen (röda prickar).

Sammanfattningsvis har känslighetsanalysen visat att det är svårare att påverka värmepumpens COP om den har hög framledningstemperatur än om den har låg framledningstemperatur, samtidigt har värmepumpar med lågt COP visat sig vara mest känsliga för förändringar i elpriset. Värmepumpar med hög framledningstemperatur och låg COP hittar man framförallt på stora avloppsreningsverk som värmeåtervinner på det behandlade avloppsvattnet innan det släpps ut till recipienten. Detta är inte den mest effektiva metoden att ta tillvara på spillvärmerna i avloppsvattnet men den producerar störst mängd värmeenergi av de studerade alternativen. Syftet med detta examensarbete har varit att undersöka vilket av de studerade alternativen som är lönsammast. Resultatet i känslighetsanalysen har visat hur de studerade investeringarna skulle påverkas av en elprishöjning och analysen visade att Öresundsverkets lönsamhet skulle påverkas mest och värmeåtervinning från sjukhusets processvatten skulle påverkas minst.

9. Slutdiskussion

Syftet med detta arbete har varit att uppskatta om värmeåtervinning vid flerbostadshus är en lönsam investering jämfört med värmeåtervinning på ett sjukhus eller på ett reningsverk. För att besvara detta syfte utfördes en beräkningsstudie där värmeåtervinningspotentialen och lönsamheten för värmeåtervinning på H+, sjukhuset i Helsingborg och Öresundsverket uppskattats och jämfördes.

I beräkningsstudien jämfördes först lokal och central värmeåtervinning på H+ för att ta reda på vilket värmeåtervinningsalternativ som är lönsammast för flerbostadshus. Resultatet visade att detta framförallt beror på avståndet mellan tappkälla och värmepump samt valet av framledningstemperatur, under förutsättningen att den totala flödesvolymen är likvärdig för båda scenariona. Vid H+ är avståndet mellan bostadsområdet och reningsverket kort och resulterar endast i försumbara värmeförluster ($<0.5^{\circ}\text{C}$), alltså är det valet av framledningstemperatur som avgör vilket alternativ som är lönsammast. Vid lokal värmeåtervinning på fastighetsnivå kan en lägre framledningstemperatur väljas om värmen utnyttjas i ett slutet radiatorsystem. Vid central värmeåtervinning är det möjligt att använda värmen till fjärrvärmeproduktion vilket kräver en hög framledningstemperatur. Det alternativet med lägst framledningstemperatur har högst lönsamhet enligt beräkningsstudien. Andra faktorer att ta i beaktande är att vid central värmeåtervinning slipper man eventuell inverkan av låg temperatur på reningsprocessen och det är även enklare att besluta om storskalig värmeåtervinning istället för att varje enskild fastighetsägare själv beslutar huruvida värmeåtervinningen ska implementeras i deras fastighet eller inte. Slutsatsen är alltså att om en lägre framledningstemperatur väljs vid värmeåtervinning på fastighetsnivå är detta alternativ lönsammast trots att det finns andra fördelar med central värmeåtervinning.

Vidare jämfördes värmeåtervinning från gråvatten och processvatten på sjukhuset i Helsingborg för att ta reda på vilken av fraktionerna som det är lönsammast att värmeåtervinna från på ett sjukhus. Resultatet visade att värmeåtervinning från gråvatten är lönsammare framför värmeåtervinning ur processvattnet då värmeåtervinningspotential och energibesparingens nuvärde var större för gråvattnet. Detta beror på att värmeåtervinning från gråvattnet utnyttjar den termiska energin i det varma processvattnet samt värmeenergin i det övriga varmvattnet som används på sjukhuset. Samtidigt är det troligt att investeringskostnaden för båda värmeåtervinningssystemen är likvärdiga.

Jämförelsen mellan värmeåtervinning på H+ och på sjukhuset utfördes för att ta reda på vart värmeåtervinningen är lönsammast. Resultatet visade att värmeåtervinningen är effektivare på sjukhuset än på H+ då sjukhusets gråvatten är varmare. Huruvida värmeåtervinningspotentialen är störst på H+ eller sjukhuset beror på hur många etapper som inkluderas i värmeåtervinningen vid H+; om endast Etapp 1 och Etapp 2 inkluderas så har sjukhusets störst värmeåtervinningspotential men om hela H+ inkluderas i värmeåtervinningen så har H+ störst värmeåtervinningspotential. En fördel med värmeåtervinning på H+ framför sjukhuset är att det är enklare att ta tillvara på alla positiva synergieffekter som källsorterade avloppssystem ger upphov till. Slutsatsen är alltså att värmeåtervinningen är lönsammast på H+ om värmeåtervinningen utförs från hela det planerade bostadsområdet.

Sist jämfördes värmeåtervinning på H+ med värmeåtervinningspotentialen på Öresundsverket i Helsingborg för att uppskatta om värmeåtervinning från gråvatten är en lönsam investering i jämförelse med värmeåtervinning från kombinerat avloppsvatten på ett avloppsreningsverk. Resultatet visade att Öresundsverkets värmepump har större värmeproduktion än H+ men den opererar med låg effektivitet och drar därmed mycket elektricitet i förhållande till den värme den levererar. Resultatet från känslighetsanalysen visade att Öresundsverkets resultat är känsligt mot förändringar av elpriset. Data över värmepumpens värmeproduktion visade att värmeproduktionen minskat med 72 % mellan 2013 och 2015 på grund av höjt elpris. Slutsatsen är att värmeåtervinning från Öresundsverket är lönsammast trots en lågeffektiv värmepump men dess lönsamhet minskar då elpriset ökar och det är därmed oklart om detta är det lönsammaste alternativet i framtiden.

Huruvida värmeåtervinning från hushållsgråvatten är rekommenderbart framför värmeåtervinning från kombinerat avloppsvatten vid ett avloppsreningsverk beror på syftet bakom värmeåtervinningen. Är syftet att utveckla en hållbar och effektiv värmeåtervinning ska den utföras så nära tappkällan att värmeförlusterna är försumbara, men om syftet är att göra ett konventionellt avloppsreningsverk mer energineutralt, är värmeåtervinning på ett avloppsreningsverk ett bättre alternativ. Värmeåtervinning från hushållsgråvatten förutsätter att ett källsorterat avloppssystem är installerat. Studier har visat att källsorterade avloppssystem är mer ekologiskt hållbara än konventionella och de har bl.a. möjlighet att minska energi, - vatten, - och resursanvändningen samt öka biogasproduktionen och näringsåtervinningen. Detta arbete har visat att vid källsorterat avloppsvatten kan ytterligare resurser utnyttjas genom värmeåtervinning från gråvattnet. Vid källsorterande avloppssystem är ytterligare kostnadsbesparingar möjliga genom exempelvis en effektivare reningsprocess av gråvattnet, gråvattenåtervinning, ökad biogasproduktion samt effektivare näringsåtervinning och därmed utgör kostnadsbesparingen beräknad i detta arbete endast en del av den totala kostnadsbesparing som är möjlig vid källsorterade avloppssystem.

10. Slutsatser

Beräkningsstudien visade att värmeåtervinningspotentialen och lönsamheten är störst för värmeåtervinning på kombinerat avloppsvatten vid Öresundsverket på grund av det stora vattenflödet som hanteras. Samtidigt har värmepumpen på Öresundsverket lägst effektivitet av de studerade alternativen och värmeåtervinningspotential per kubikmeter spillvatten är större på H+ än Öresundsverket då mer av den termiska potentialen i avloppsvattnet tas tillvara på vid värmeåtervinning vid H+. Känslighetsanalysen visade att en elprishöjning påverkar Öresundsverkets lönsamhet mest. Resultatet visade alltså att värmepumpen på Öresundsverket har störst lönsamhet idag trots lågeffektiv värmepump men vid höjda elpriser i framtiden kan detta ändras då lönsamheten sänks när elpriset höjs.

Huruvida lokal värmeåtervinning från gråvatten i flerbostadshus är lönsammare än central beror på platsspecifika omständigheter. Resultatet visade att avståndet mellan tappkälla och värmepump samt valet av framledningstemperatur har störst inverkan på lönsamheten vid värmeåtervinning från flerbostadshus.

Lokal värmeåtervinning är lönsammare än central värmeåtervinning om avståndet mellan tappkälla och reningsverk är stort. Beräkningsstudien visade att ett avstånd på 13 km resulterar i ett halverat nuvärde på H+. Vid H+ är detta avstånd endast 500 m och värmeförlusterna har därmed liten inverkan på resultatet. Istället avgör valet av framledningstemperatur vilket av alternativen som är lönsammast. Låg framledningstemperatur leder till högre lönsamhet.

Värmeåtervinning på fastighetsnivå resulterar i en energibesparing på ca 60 % och en kostnadsbesparing på ca 30 % för varmvattnet. Alltså kan det vara lönsamt för en fastighetsägare att införa värmeåtervinning från gråvatten.

Resultatet visade att sjukhuset har effektivast värmeåtervinning av de studerade alternativen på grund av hög gråvattentemperatur. Huruvida lönsamheten är störst på H+ eller sjukhuset beror på hur stor del av H+ som inkluderas i värmeåtervinningen. Om värmeåtervinningen endast utförs från Etapp 1 och Etapp 2 är värmeåtervinningspotentialen större på sjukhuset men om värmeåtervinning utförs från hela H+ är värmeåtervinningspotentialen störst på H+.

11. Framtida forskning

I detta arbete behandlades inte rening och återanvändning av gråvatten. Nolde (1999) visade i sin studie att 90 % av kostnadsbesparingen vid värme- och vattenåtervinningen i Arnimplatz, Berlin kom från det minskade dricksvattenbehovet som uppstod på grund av återanvändandet av renat gråvatten. Mer studier och forskning inom detta område behövs för att uppskatta kostnadsbesparingen då gråvatten renas och återanvänds efter värmeåtervinningen.

För att kunna värmeåtervinna från gråvatten krävs ett källsorterande avloppssystem. Studier har visat att källsorterat avloppsvatten kan öka biogasproduktionen med mellan 70-100 % och kväveåtervinningen med mellan 30-650 % (Kjerstadius et al., 2012). Samtidigt är det möjligt att den miljöprofilering som källsorterat avloppsvatten innebär resulterar i att privatpersoner är beredda att betala mer för en bostadsrätt. Av dessa anledningar finns ett intresse att veta den totala kostnadsbesparingen som källsorterat avloppsvatten kan generera.

Utöver den totala faktiska kostnadsbesparingen som källsorterat avloppsvatten kan generera vore det intressant att veta den totala kostnadsbesparingen då även den miljönyttan som källsorterat avloppsvatten innebär, inkluderas i den ekonomiska analysen. En livscykelanalys (Remy, 2010) har visat att källsorterat avloppsvatten är ett ekologiskt hållbarare alternativ än konventionell hantering av avloppsvatten.

Sist, om man bortser från källsorterat avloppsvatten, vore det intressant att uppskatta värmeåtervinningspotentialen vid värmeåtervinning från avloppsvatten med väldigt snålspolande toaletter. Detta vore särskilt intressant att studera på exempelvis ett sjukhus, vars avloppsvatten visat sig ha en högre temperatur än vanligt hushållsavloppsvatten. På så vis kan potentiellt en effektiv värmeåtervinning utföras utan de investeringskostnader som är associerade med källsorterade avloppssystem.

12. Referenser

- Abdel-Aal, M., Smits, E., Mohamed, M., De Gussem, K., Schellart, A., Tait, S. 2014. *Modelling the viability of heat recovery from combined sewers*. Water Science and Technology 70 (2), 297-306. IWA Publishing, Bradford.
- Alekseiko, L.N., Slesarenko, V.V., Yudakov, A.A. 2015. *Combination of wastewater treatment plants and heat pumps*. Pacific Science Review, 1-4.
- Archer, D.E. 2012. *Utvärdering av system för BDT-vattenrening med avseende på resurseffektiva städer och hållbar urban livsstil inom EVAA-projektet och H+ området*. Helsingborg. Emulsionen Ekonomisk Förening, Göteborg.
- Asmoarp, Håkan; Projektledare för Region Skåne. Personlig kontakt februari 2016.
- Baaring, Jesper; Projektledare vid Öresundskraft AB. Personlig kontakt april 2016.
- Bjurling, F., Ngo, P. 2011. *Energiåtervinning ur avloppsvatten*. KTH, Stockholm
- Boverket. 2013. *Varmvattnets temperatur*. <http://www.omboende.se/sv/Aga1/Hus/Varmattnets-temperatur/>. Hämtad 2016-03-20
- Durrenmatt, D.J., Wanner, O. 2014. *A mathematical model to predict the effect of heat recovery on the wastewater temperature in sewers*. Water Research 48 (1), 548-558
- Eckenfelder. 2006. *Litterature review of temperature effects in biological treatment*. http://waterfacts.net/Review_of_Temperature_Effects_in_Biological_Treatment-web.pdf. Hämtad 2016-04-05
- Energimarknadsinspektionen. 2011. *Kalkylränta i elnätsverksamhet*. http://ei.se/Documents/Forhandsreglering_el/Viktiga_dokument/EIPM_2011_7_Kalkylranta_i_el_natsverksamhet.pdf. Hämtad 2016-04-20
- Energiportalen. 2014. *Hur lång livstid har en bergvärmepump*. <http://www.energiportalen.se/energiguiden/hur-laang-livslaengd-har-en-bergvaermepump-1922.asp>. Hämtad 2016-04-12
- Emanuelsson, M. 1994. *Drifterfarenheter med biologisk kvävereduktion*. Svenska vatten och avloppsverksföreningen. VA-forsks rapportserie 03. ISBN 91-88392-74-0. VA-FORSK, Stockholm.
- Emmanuel. E., Keck, G., Perrodin, Y., Vermande, P. 2002. *Effects of Hospital Wastewater on Aquatic Ecosystem*. 18th Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México
- Eriksson E., Auffarth K., Eilersen A.-M., Henze M., Ledin A. 2002. *Characteristics of greywater*. Urban Water, 4, 85 -104. Environment & Resources DTU, Technical University of Denmark, Bygningstorvet, Building. Lyngby.

Friedler, E. 2004. *Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities*. Environmental Technology. 25, 997-1008. Faculty of Civil and Environmental Engineering, Haifa.

Göteborg energi. 2014. *Varmvatten*. <http://www.goteborgenergi.se/Privat/Kundservice/-Energispartips/Lagenheter/Varmvatten>. Hämtad 2016-03-20

HD. 2015. *Nära mål för första husen i H+*. <http://www.hd.se/2015-11-17/nara-mal-for-forsta-husen-i-h>. Hämtad 2016-03-25

Helsingborg stad. 2011. *Möjligheternas H+ - Samordningen av de tekniska resursflödena*. Broschyr utgiven av Helsingborg stad, NSR, NSVA, Öresundskraft. Helsingborg.

Helsingborg stad. 2013. *Smarta system och listiga lösningar - Ställningstagande utifrån rapporten Möjligheternas H+, samordning av de tekniska resursflödena energi, vatten, avlopp och avfall (EVAA), Etapp 2*. Broschyr utgiven av Helsingborg stad, NSR, NSVA, Öresundskraft. Helsingborg.

Helsingborg stad. 2015a. *Perspektiv – befolkningsutveckling 2014*. Rapport nr 2. Helsingborg, Helsingborg stad.

Helsingborg stad. 2015b. *Helsingborgs miljöarbete*. <http://www.helsingborg.se/startside/bo-bygga-och-miljo/helsingborgs-miljoarbete/>. Hämtad 2016-04-02

Helsingborg stad. 2016. *Etapp 2*. <http://hplus.helsingborg.se/hplus/etapp-2/>. Hämtad 2016-03-20

International wastewater systems. 2016a. *SHARC – wastewater energy exchange system*. Information brochure

International wastewater systems. 2016b. *PIRANHA – wastewater heat recovery system*. Information brochure

Jernkontorets energihandbok. 2012. *Livscykelanalys LCC*. <http://www.energihandbok.se/formler-och-berakningar/livscykelkostnad>. Hämtad 2016-04-05

Karlsson, P., Aarstrud, P., Blois, M. 2008. *Återvinning av näringsämnen ur svartvatten*. Svenskt vatten utveckling. Rapport nr 10, 25-105, Stockholm.

Kihlman, Malin; Projektområdeschef Region Skåne. Personlig kontakt mars 2016.

Kjerstadius, H., Davidsson, Å., la Cour Jansen, J. 2012. *Hållbara system för biogas från avlopp och matavfall*. SGC Rapport 271. Svenskt Gastekniskt Center, Malmö.

Knerr H., Engelhardt M., Keuter V., Rechenburg A., Schmitt T. G. (2009). *Potentiale des Grauwasserrecyclings am Beispiel des BMBF-Verbundprojektes KOMPLETT*. Grauwasser-Recycling- Wasser zweimal nutzen, Schrif-tenreihe fbr 12, Hrsg. Fachverband Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. Darmstadt 2009, 31 -53. Fraunhofer, Berlin.

Larsen, T.A., Lienert, J., Udert, K.M. (red.). 2013. *Source separation and Decentralization for wastewater treatment*. IWA Publishing, London

- Larsen, T. 2015. *CO2-neutral wastewater treatment plants or robust, climate-friendly wastewater management? A system perspective*. Water research 49, 1-9. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf.
- Levin, P., Lilliehorn, P., Sandesten, S. 2008. *Livscykeleekonomi vid planering, byggande och förvaltning*. Boverket, Karlskrona.
- Li F., Behrendt J., Wichmann K., Otterpohl R. 2008. *Resources and nutrients oriented greywater treatment for non-potable reuses*. Water Science and Technology. 57 (12), 1901-1907. Technical University of Hamburg, Hamburg.
- Liliebladh, Tobias. Teknikförvaltare på Region Skåne. Personlig kontakt mars 2016.
- LK systems. 2015. *Golvvärme* <http://www.lksystems.se/sv/LK-Systems-Sverige1/Golvvarme/Support-Golvvarme/FAQ-Golvvarme/> Hämtad 2016-04-25
- Lundh, M., Hiller, C. 2011. *Energianvändning i hemmet – vardagliga aktiviteter*. Broschyr. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås
- Malm, Jakob. 2010. *Numerisk modell för spridning av avloppsvatten*. Uppsala universitet, Uppsala.
- Meggers, F., Mast, M., Leibundgut, H. 2010. *The missing link for low exergy buildings: Low temperature-lift, ultra-high COP heat pumps*. Conference: Proceedings of Clima 2010: Sustainable Energy Use in Buildings. ETH Zurich
- Meggers, F., Leibundgut, H. 2011. *The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump*. Energy and Buildings 43 (4), 879-886
- Menerga. 2016. *AquaCond 44: Heat recovery from waste water with counterflow coaxial recuperator and heat pump*. Technical Catalogue v3.00/2016
- Menger-Krug E., Tettenborn F., Hillenbrand T., Hiessl H., Erhardt M., Gropp M. 2010. *Entwicklung und Erprobung eines Anlagenkonzeptes zur Wärmerückgewinnung und Wasserrecycling aus Grauwasser - Ökonomische und ökologische Analyse der Pilotanlage*. Hansgrohe
- Morel A., Diener S. 2006. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf
- Nationalencyklopedin. 2016. *Värmeväxlare*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/varmevaexlare>. Hämtad 2016-03-15
- Naturvårdsverket. 2007. *Faktablad om avloppsreningsverk 200-2000 PE*. Fakta 8286. Stockholm
- NIBE. 2015. *Värmekurva*. <http://www.nibe.se/support/FAQ1/FAQ-bas-Service/Varmekurva/> Hämtad 2016-05-25

- Nolde, E., 2014. *Decentralised water and energy recycling in Buildings: A cornerstone for water, energy and CO2 emissions reduction*. Nolde & Partner, Berlin
- Nolde, E. 1999. *Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings over ten years' experience in Berlin*. Urban Water 1, 275–284
- NSVA. 2014. *Öresundsverket - Folder om det kommunala avloppsreningsverket i Helsingborg*. <http://www.nsva.se/globalassets/dokument/trycksaker/nsva-oresundsverket.pdf>. Hämtad 2016-04-05
- NSVA. 2016. *Pumpstationer kopplade till Öresundsverket*. [internt material] NSVA, Helsingborg.
- Nykvist, A. 2012. *Värmeåtervinning ur spillvatten i befintliga flerbostadshus*. KTH, Stockholm
- Olsson, G. 2008. *Effektivare reningsverk – några steg mot bättre energi- och resursutnyttjande*. Rapport 2008-19. Svenskt vatten utveckling, Stockholm.
- Pacific Institute. 2000. *Commercial Water Use and Potential Savings: Appendix E; Details of Commercial Water Use and Potential Savings, by Sector*. http://pacinst.org/wp-content/uploads/2013/02/appendix_e3.pdf. Hämtad 2016-04-05
- Palm, Björn; Professor i energiteknik vid KTH. Personlig kontakt mars 2016.
- Persson, A. 2002. *Energianvändning i bebyggelsen – En faktarapport inom IVA-projektet Energiframsyn Sverige i Europa*. IVA, Eskilstuna.
- Polarpumpen. 2014. *Så fungerar en värmepump*. <https://www.polarpumpen.se/varmepumpar>. Hämtad 2016-03-15
- Remy, C. 2010. *Life Cycle Assessment of conventional and source-separation systems for urban wastewater management*. Berlin
- SCB. 2010. *Bostads- och byggnadsstatistisk årsbok 2010*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB. 2013. *Energi – Statistisk årsbok 2013*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- Scott, F., Tucker, W.T. 2006. *Sensitivity in risk analyses with uncertain numbers*. Applied Biomathematics, Setauket, New York.
- Sievers, J., Londong, J., Stübler, A., Bestenlehner, D., Druck, H., Schönfelder, W. 2014. *Heat recovery potential of domestic grey water in the pilot project Jenfelder Au in Hamburg*. Proceedings of 17th International EWA Symposium “WatEnergyResources – Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions” during IFAT, 5-9 May 2014. Hennef: European Water Association.
- Snis, A. 2013. *Miljarder kilowattimmar spolas ner i avloppet*. http://www.bofast.net/1/1.0.1.0/226/1/?item=art_art-s1/2672. Hämtad 2016-04-03
- Stengård, L. 2009. *Hur används vatten? Mätning av kall- och varmvattenanvändning i hushåll. Förbättrad energistatistik i bebyggelsen och industrin*. Energimyndigheten, Eskilstuna.

- Stockholm Stad. 2011. *Norra Djurgårdsstaden - Illustrationsbilaga till Detaljplan för Del av etapp Brofästet*. <http://bygg.stockholm.se/Alla-projekt/norra-djurgardsstaden/Flytta-hit/Hjorthagen/Brofastet/>. Hämtad 2016-05-10
- Svensk energi. *El fakta*. 2016. <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Statistik/>. Hämtad 2016-04-25
- Svenskt vatten. 2016. *Dricksvattenfakta*. <http://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/>. Hämtad 2016-02-15
- Sundbom, Lars-Åke. Egen företagare Värmekabelteknik AB. Personlig kontakt mars 2016.
- US department of energy. 2012. *Heat pump water heaters*. <http://energy.gov/energysaver/heat-pump-water-heaters>. Hämtad 2016-03-10
- Walder, M. 2014. *Desinfektionsapparatur*. Vårdhandboken. <http://www.vardhandboken.se/Texter/Desinfektionsapparatur/Spoldesinfektor/>. Hämtad 2016-03-20
- White Arkitekter. 2013. *Meningsfyllt – Framtidens äldreboende I Norra Djurgårdsstaden*. <https://www.arkitekt.se/wp-content/uploads/2014/06/Tävlingar-2013-Framtidens-äldreboende-i-Norra-Djurgårdsstaden-Meningsfyllt.pdf>. Hämtad 2016-05-10
- WWF. 2014. *Ekologiska fotavtryck*. http://www.wwf.se/source.php/1476873/Ekologiska_fotavtryck_LR.pdf. Hämtad 2016-04-12
- Åmand, L. 2010. *Intryck från konferensen Water and Energy i Amsterdam*. IVL Svenska Miljöinstitutet.

Appendix I

Nedan listas de antaganden som beräkningsstudien varit baserad på

Att köldmediets förångningstemperatur är 5 °C lägre än gråvattnets temperatur (Palm, 2016).

Att köldmediets kondenseringstemperatur är 5 °C högre än framledningstemperaturen (Palm, 2016).

Att värmeförluster i värmepumpen och i fastighetens ledningsnät är försumbara.

Att värmepumpen används för att värma upp varmvattnet från den inkommande tappvattentemperaturen på 10 °C.

Att gråvattnets temperatur är 10 °C efter värmeåtervinningen. Ska enligt svenskt vatten inte ha lägre temperatur än det inkommande tappvattnet.

Att värmeåtervinningssystemen når full värmeöverföringseffekt omgående.

Att värmepumparna opererar med Carnots verkningsgrad på 0.5

Appendix II

I tabell A1 återfinns spillvattenfördelningen på ett sjukhus enligt den amerikanska källan Pacific. Denna fördelning anpassades till svenska förhållanden genom att ta bort bevattning, ta bort tvätt, lägga till en post för Övrigt. Den fördelning som användes i detta arbete återfinns i tabell A2.

Tabell A1. Spillvattenfördelning på ett sjukhus enligt amerikansk källa (Pacific)

Fördelning andel

<i>Toa</i>	0,1
<i>Kyla</i>	0,27
<i>Tvätt</i>	0,02
<i>Kök</i>	0,08
<i>Bevattning</i>	0,16
<i>Process</i>	0,22
<i>dusch</i>	0,15

Tabell A2. Gråvattenfördelning använd i detta arbete för sjukhusscenarioet

Fördelning andel

<i>Dusch och vask</i>	0,214
<i>Kök och städ</i>	0,114
<i>Kyla</i>	0,286
<i>Process</i>	0,314
<i>Övrigt</i>	0,071

För att beräkna gråvattnets medeltemperatur på sjukhuset användes fördelningen presenterad i tabell A2. Medeltemperaturen beräknades till 30 grader. Data som användes för denna beräkning återfinns i tabell A3.

Tabell A3. Data som användes vid beräkning av gråvattnets temperatur på sjukhuset

<i>Gråvattenkälla</i>	<i>andel</i>	<i>Volym [m³/år]</i>	<i>Temperatur [°C]</i>
<i>Dusch och vask</i>	0,214	16883	39
<i>Kyla</i>	0,286	22593	7
<i>Kök och städ</i>	0,114	8993	35
<i>Process</i>	0,314	24772	45
<i>Övrigt</i>	0,071	5601	7
<i>Totalt</i>		78893	30,5

Appendix III

I tabell A4 listas alla maskiner som ger upphov till processvatten på sjukhuset i Helsingborg. Listan har använts för att få information om apparaternas placering på sjukhuset samt deras processfunktioner.

Tabell A4. Lista över samtliga rengörings- och desinfektionsapparater på sjukhuset.

<i>Installation</i>	<i>Inst. benämning</i>	<i>Betjäning</i>	<i>Typ</i>	<i>Modell</i>	<i>Tillverknings nr.</i>	<i>Inst . år</i>
83010200 -V25-001	Diskdesinfektor	Obduktion	S-128	Decomat	72956	198 9
83010200 -V25-003	Spolo	Akutvårdsavd	S-607	S-607	W50033633	201 2
83010200 -V25-005	Spolo	Akutmott.Medicin	S-15L+S-123L	Minispolo+De kon	2248	197 4
83010200 -V25-010	Spolo	Förlossningen Avd.29	S-16L	Kontaminator	818	197 4
83010200 -V25-012	Diskdesinfektor	Förlossningen Avd 29	S-46-4	Diskdesinfektor	sevo 536200	200 5
83010200 -V25-013	Spolo	Neonatalavdelningen	S-16L	Dekontaminator	796	197 4
83010200 -V25-014	Diskdesinfektor	Ortopeden TÖM	4656	Decomat	702092	199 9
83010200 -V25-015	Spolo		S-615	Spolo	SEV 0240064	200 2
83010200 -V25-016	Spolo		S-15L	Minispol	5178	197 4
83010200 -V25-017	Spolo		S-615	Desinfection	SEV 0245211	200 2
83010200 -V25-018	Diskdesinfektor	Kem.Lab.	46-4-202	Desinfektor	W50019689	101 2
83010200	Spolo		S-615	Disinfection	SEV 0240109	200

-V25-019						2
83010200 -V25-020	Spolo	Fysiologiska	S-415	Disinfection	SEV 0309030	200 3
83010200 -V25-021	Diskdesinfekt or	Fysiologiska	4656	Decomat	703111	200 1
83010200 -V25-022	Diskdesinfekt or	Patologen	4656		700106	199 7
83010200 -V25-023	Spolo		S-615	Desinfection	SEV 0245208	200 2
83010200 -V25-024	Spolo	Cytologi	S-615	Desinfection	SEV 0245209	306
83010200 -V25-025	Spolo		S-615	Desinfection	SEV 0240101	200 2
83010200 -V25-026	Spolo		S-607	Spoldesinfekto r	W50032844	201 2
83010200 -V25-027	Diskdesinfekt or	Urologimott.	GE15	GE15	WAA065859	201 6
83010200 -V25-028	Endoskopimas kin	Urologimott.	ETD2 plus	Olympus	53079319	200 1
83010200 -V25-029	Diskdesinfekt or	Öronmott.	S-4656	Decomat	702031	199 9
83010200 -V25-031	Diskdesinfekt or	Öronmott.	S-4656	Disinfection	SEV 0244176	200 2
83010200 -V25-032	Diskdesinfekt or OBS! Bytt förvaltn - >52921-3160	Käk Kir.	4656	Decomat	700690	199 6
83010200 -V25-033	Diskdesinfekt or	Med.oKir.Mott.	4656	Decomat	702965	200 0
83010200 -V25-034	Diskdesinfekt or	Inf.63	S-1345	Disinfection	SEVO319095	200 3
83010200 -V25-035	Spolo	Med-Kirurgi-Ort mottagning	S-615	Disinfection	SEV 0245205	200 2
83010200	Spolo	Lung Med.	S-615	Disinfection	SEV 0245206	200

-V25-036							2
83010200 -V25-037	Endoskopimas kin	Lung Med.	ETD plus	2	Olympus Europe	53074577	200 1
83010200 -V25-038	Spolo	Kranskärlsröntge n	S-615		Decinfektion	971136	200 1
83010200 -V25-039	Spolo	Bröstenheten	S-615		Desinfection	SEVO148165	200 1
83010200 -V25-042	Endoskopimas kin	Endoskopi	ETD		Olympus	06130408	200 9
83010200 -V25-043	Spolo	Endoskopi	Ken 736			56441 11	198 9
83010200 -V25-045	Spolo	Dagkirurgi	S-415		Desinfektor	103785	199 5
83010200 -V25-046	Diskdesinfekt or	Röntgen Ultraljud	4656		Decomat	701932	199 9
83010200 -V25-047	Spolo	Röntgen Ultraljud	S-415		Disinfection	971407	200 1
83010200 -V25-048	Spolo	INF 63	S-615		spolo	SEV0240060	908
83010200 -V25-049	Spolo	INF 63	S-615		Disinfection	SEV 240100	200 2
83010200 -V25-050	Spolo	INF 63	S-615		Desinfection	SEV 0240062	200 2
83010200 -V25-051	Spolo	INF 63	S-615		Disinfection	SEV 0240099	341
83010200 -V25-052	Spolo	INF 63	S-615		Desinfection	SEV 0245212	200 2
83010200 -V25-053	Spolo	INF 63	S-615		Dekontaminat or	SEV0245207	200 2
83010200 -V25-054	Spolo	INF 63	S-615		Dekontaminat or	SEVO245210	200 2
83010200 -V25-055	Spolo	INF 63	S-615		Desinfection	SEV 0240102	200 2

83010200 -V25-056	Spolo	Avd 41	S-615	Desinfection	SEV 0240098	200 2
83010200 -V25-057	Spolo	INF 63	S-615	Dekontaminat or	SEVO245204	200 2
83010200 -V25-058	Spolo	INF 63	S-615	Dekontaminat or	335110	200 3
83010200 -V25-059	Spolo		S-615	Dekontaminat or	SEVO240108	200 2
83010200 -V25-060	Spolo	INF 63	S-615	Dekontaminat or	SEVO240106	200 2
Installati on	Inst. benämning	Betjäning	Typ	Modell	Tillverkning snr.	Ins t. år
83010200 -V25-061	Spolo	INF 63	S-615	Dekontaminat or	SEVO240061	200 2
83010200 -V25-062	Spolo					0
83010200 -V25-063	Endoskopimas kin	OP Sånghall	ETD 2 plus	Olympus	53085328	200 2
83010200 -V25-064	Spolo	OP Sånghall	Piccolo 50	Spolo	7862	200 1
83010200 -V25-065	Diskdesinfekt or	OP 1	46-4	Desinfektor	SEVO537105	200 5
83010200 -V25-066	Spolo	OP 1	733BW D	733BWD	62756	201 5
83010200 -V25-067	Diskdesinfekt or	OP 2	46-4	Decomat	SEVO537106	200 5
83010200 -V25-069	Diskdesinfekt or	OP 4-6 diskrum	46-4- 202	Desinfektor	W50018927	101 2
83010200 -V25-070	Diskdesinfekt or	OP 4-6 diskrum	46-4- 202	Desinfektor	W50021148	101 2
83010200 -V25-071	Diskdesinfekt or	OP 8	46:4	Decomat	w50018924	199 4
83010200	Diskdesinfekt	OP 11	46-4-	Desinfektor	W50026508	201

-V25-072	or		202			1
83010200 -V25-073	Spolo	OP 9	S-15	Minispolo	6589	197 4
83010200 -V25-074	Diskdesinfekt or	OP 10	46-4- 202	Desinfektor	W50018926	101 0
83010200 -V25-075	Spolo	OP 10	716OS	Spoldesinfekto r	39662	199 9
83010200 -V25-078	Diskdesinfekt or	OP 13	46-4- 202	Desinfektor	w50022507	200 5
83010200 -V25-079	Spolo	OP 13	733BW D	733BWD	61623	201 5
83010200 -V25-080	Diskdesinfekt or	OP 14	DS610S L	DS610SL	1506410ID01 0	201 5
83010200 -V25-081	Diskdesinfekt or	OP 15	46:4	46:4	WAA058534	201 5
83010200 -V25-082	Diskdesinfekt or	OP 15	46:4	Dekont	w50026524	200 1
83010200 -V25-083	Diskdesinfekt or	OP 16	46-4	Desinfektor	W50014143	201 1
83010200 -V25-084	Spolo	Barndagvård	S-615	Disinfection	SEVO326096	200 3
83010200 -V25-085	Diskdesinfekt or	Barn röd, grön, gul	4656	Decomat	SEVO327060	200 3
83010200 -V25-086	Spolo	Barn röd, grön, gul	S-615	Disinfection	SEVO326097	200 3
83010200 -V25-087	Diskdesinfekt or	Hud Mott.	46-2- 202	Desinfektor	W50016430	100 3
83010200 -V25-091	Diskdesinfekt or	Infektion Mott.	4656	Decomat	700120	199 4
83010200 -V25-092	Spolo	Barn&Ungdom Mott.	S-607	Spoldesinfekto r	W50016466	201 0
83010200 -V25-093	Spolo	Barn&Ungdom Mott.	S-16L	Dekontaminat or	716	197 4

83010200 -V25-094	Spolo	Barn	S-615	Disinfection	SEVO326093	200 3
83010200 -V25-095	Diskdesinfekt or	Ögon mottagningen	4656	Decomat	703255	200 1
83010200 -V25-097	Spolo	Gyn Mott.	S-615	Disinfection	971154	200 1
83010200 -V25-098	Diskdesinfekt or	Gyn avd 28	4656	Decomat	703222	200 1
83010200 -V25-099	Spolo	Gyn avd 28	S-615	Disinfection	971152	200 1
83010200 -V25-100	Spolo	Gyn Mott.	S-615	Disinfection	971153	200 1
83010200 -V25-101	Spolo	Perinatalavd.	S-615	Disinfection	SEVO142074	200 1
83010200 -V25-102	Diskdesinfekt or	BB avd 25	4656	Decomat	SEVO141121	200 1
83010200 -V25-103	Spolo	BB avd 25	S-615	Disinfection	SEVO142073	200 1
83010200 -V25-104	Diskdesinfekt or	Neonatalavd.	S-4656	Decomat	SEVO141086	200 1
83010200 -V25-106	Spolo	Avd.31	S-607	Spoldesinfekto r	W50026651	110 5
83010200 -V25-108	Spolo	Avd.31	S-607		W50028393	110 8
83010200 -V25-109	Diskdesinfekt or	Avd.31	S-4656	Decomat	700802	199 6
83010200 -V25-110	Spolo	Avd.31	S-415	Spoldesinfekto r	103392	199 4
83010200 -V25-111	Spolo	Avd.38	S-607	Spolo	W50038232	971 0
83010200 -V25-112	Spolo	Avd.33	S-415	Disinfection	105186	199 8
83010200 -V25-113	Spolo	Avd 42	S-415	Disinfection	105188	199 8

83010200 -V25-114	Diskdesinfekt or	Avd.33	4656	Decomat	701520	199 8
83010200 -V25-115	Spolo	Avd.33	S-415	Spolo	104981	199 7
83010200 -V25-116	Spolo	Avd.35-36	S-607	Spoldesinfekto r	W50029184	111 0
83010200 -V25-117	Spolo	Avd.35-36	S-415	Spoldesinfekto r	104305	199 6
83010200 -V25-118	Spolo	Avd.35-36	S-607	Spoldesinfekto r	W50029503	111 0
Installati on	Inst. benämning	Betjäning	Typ	Modell	Tillverkning snr.	Ins t. år
83010200 -V25-119	Diskdesinfekt or	Avd.35-36	S-4656	Decomat	700614	199 6
83010200 -V25-120	Spolo	Avd.35-36	S-415	Spoldesinfekto r	104228	199 6
83010200 -V25-121	Spolo	Avd.33	S-607	Disinfection	W50028392	110 8
83010200 -V25-122	Spolo	Avd.38	S-415	Spolo	105354	980 8
83010200 -V25-123	Spolo	Avd.38	607	Spolo	w50038179	201 2
83010200 -V25-124	Diskdesinfekt or	Avd.38	46:4	46:4	W50047381	201 4
83010200 -V25-125	Spolo	Avd.38	S-415	Disinfection	105581	199 8
83010200 -V25-126	Spolo	Avd.38	S-415	Disinfection	105356	199 8
83010200 -V25-127	Spolo	Avd.38	S-415	Spolo	105355	199 8
83010200 -V25-128	Spolo	Avd.41-42	S-415	Spoldesinfekto r	103387	199 4
83010200	Spolo	Avd.41	S-415	Disinfection	104594	199

-V25-129						6
83010200 -V25-130	Spolo	Avd.41-42	736	Spolo		201 2
83010200 -V25-131	Diskdesinfekt or	Avd.41-42	4656	Decomat	700801	199 6
83010200 -V25-132	Spolo		S-415	S-415	103390	199 4
83010200 -V25-133	Spolo	Avd.43-44	S-415	Disinfection	104978	199 7
83010200 -V25-134	Spolo	Avd.43	S-415	Disinfection	105189	199 8
83010200 -V25-136	Diskdesinfekt or	Avd.43-44	S-4656	Decomat	701521	199 8
83010200 -V25-137	Spolo	Avd.44	S-415	Disinfection	104979	199 7
83010200 -V25-139	Spolo	Avd.45	S-415	Spoldesinfekto r	103246	199 4
83010200 -V25-140	Spolo	Avd.45-46	S-607	Spoldesinfekto r	W50039266	201 2
83010200 -V25-141	Diskdesinfekt or	Avd.45-46	4656	Decomat	700011	199 3
83010200 -V25-142	Spolo	Avd.46	S-415	Spoldesinfekto r	103273	199 4
83010200 -V25-143	Spolo	Avd.47-48	S-415	Desinfection	105607	199 9
83010200 -V25-144	Spolo	Avd.48	S-415	Disinfection	105353	199 8
83010200 -V25-146	Diskdesinfekt or	Avd.47-48	S-4656	Decomat	701660	199 8
83010200 -V25-147	Spolo	Avd.48	S-415	Disinfection	105606	199 9
83010200 -V25-151	Spolo	Avd.56	S-16L	Dekontaminat or	745	197 4

83010200 -V25-154	Spolo	MAVA	FD1810	FD1810	W50035548	201 2
83010200 -V25-155	Spolo	MAVA	FD1810	FD1810	W50035549	201 2
83010200 -V25-203	Spolo	Barn	S-615	Disinfection	SEVO326095	200 3
83010200 -V25-204	Diskdesinfekt or	Barn	S-4656	Diskdesinfekto r	SEVO327059	200 3
83010200 -V25-257	Diskdesinfekt or	OP 2	46:4	46:4	WAA058556	201 5
83010200 -V25-258	Diskdesinfekt or	OP 3	46:6	Decomat	w50014269	200 2
83010200 -V25-259	Diskdesinfekt or	OP 14	46:6	Dekont	w50021444	200 2
83010200 -V25-260	Diskdesinfekt or	OP 11	46:4	Dekont	w50014268	200 2
83010200 -V25-261	Diskdesinfekt or	OP 9	4656	Decomat	244172	200 2
83010200 -V25-262	Diskdesinfekt or	OP 12	4656	Decomat	244175	200 2
83010200 -V25-263	Spolo	IVA	Ken736	Spoldesinfekto r	54803 10	199 4
83010200 -V25-264	Spolo	Post Uppvaket	OP S-615	Disinfection	SEV 142072	200 1
83010200 -V25-265	Spolo	KK	S-615	Disinfection	SEVO243065	200 2
83010200 -V25-266	Spolo	KK	S-615	Disinfektion	SEVO243062	200 2
83010200 -V25-267	Spolo	KK	S-615	Disinfektion	SEVO243066	200 2
83010200 -V25-268	Spolo	BB	S-615	Disinfektion	SEVO243064	200 2
83010200 -V25-269	Spolo	Neonatal	S-615	Disinfektion	SEVO203043	200 2

83010200 -V25-270	Spolo	Obstetrisk mott.	S-615	Disinfection	SEVO243063	200 2
83010200 -V25-271	Diskdesinfekt or	Ögon op rum 5.4-11	S-46-2		Sev0721083	200 7
83010200 -V25-272	Diskdesinfekt or	Endoskopi	Miele		G 7862	200 7
83010200 -V25-273	Diskdesinfekt or	Op 12	46-4	Dekont	736117	200 7
83010200 -V25-274	Diskdesinfekt or	IVA	S-46-2		SEVO727023	200 7
Installati on	Inst. benämning	Betjäning	Typ	Modell	Tillverkning snr.	Ins t. år
83010200 -V25-275	Diskdesinfekt or	Op 9	46-4		750013	200 7
83010200 -V25-276	Spolo	Barn gul	S-615		SEVO326094	200 3
83010200 -V25-277	Spolo	Barn Grön	S-615		SEVO326092	200 3
83010200 -V25-278	Spolo	IVA	736 OS		48533	200 6
83010200 -V25-279	Spolo	IVA	736 OS		48513	0
83010200 -V25-280	Spolo	IVA	736 OS		48530	200 6
83010200 -V25-281	Spolo OBS! Bytt förvaltn - > 52921- 3160!	IVA	736 OS		44330	200 2
83010200 -V25-300	Diskdesinfekt or	KK	46-4- 202	Desinfektor	SEVO843111	200 8
83010200 -V25-301	Spolo	AVd 46	S-607	Spolo	SEVO832038	200 9
83010200 -v25-302	Diskdesinfekt or	Op	4656		SEBO141087	0

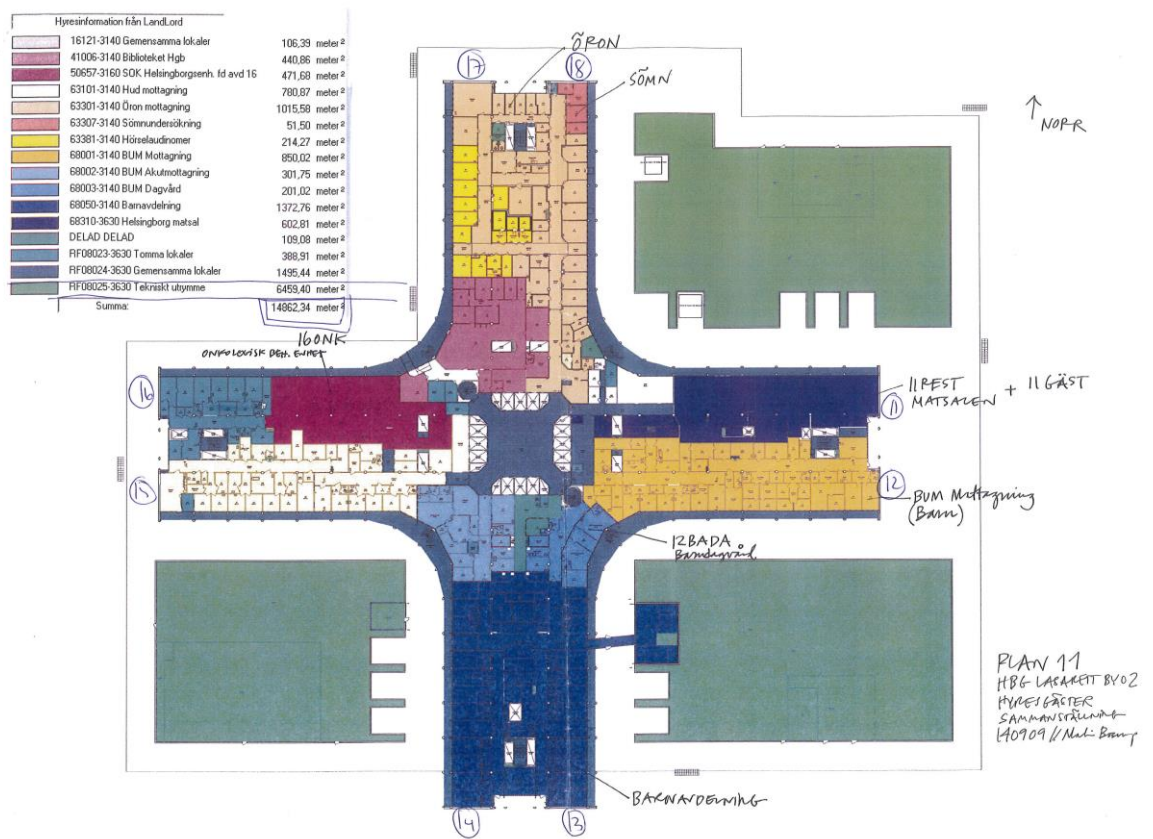
83010200 -V25-303	Spolo			S-607		W50032845	201 2
83010200 -V25-305	Diskdesinfekt or	Öron näsa hals	46-4- 202		Desinfektor	W50017594	201 0
83010200 -v25-306	Diskdesinfekt or	Öron näsa hals	46-4- 202		Desinfektor	W50017595	201 0
83010200 -V25-307	Spolo	Öron näsa hals	S-607		Spolo	W50017523	201 0
83010200 -V25-308	Spolo	Ort Akuten	736		Spolo	55201 Pod.nr35510	10 6
83010200 -V25-309	Spolo	Ort Akuten Isolerrum 25 2.6- 12	736		Spolo	55199 Prod.35318	10 6
83010200 -V25-310	Diskdesinfekt or	Ort Akuten Akutläkare 2.7- 19	46-2- 202			W50027901	110 6
83010200 -V25-311	Spolo	Ort Akuten Akutläkare 2.7- 19	736			55200 Prod 35318	10 6
83010200 -V25-312	Spolo	Akutrum Ambulanshall 2.5-01	736			55145 Prod 35318	10 2
83010200 -V25-313	Spolo	Kir Akuten 3.5- 07 (327)	736		Spol	55147 Prod 35318	10 2
83010200 -V25-314	Diskdesinfekt or	Kir Akuten 3.5- 07 (327)	46-4- 202		Desinfektor	W50018925	101 2
83010200 -v25-315	Spolo	Avd 33	S-607			W50026649	0
83010200 -V25-316	Diskdesinfekt or	Op	46-4			W50026482	0
83010200 -V25-319	Spolo	Barn och ungdoms mottagning	S-607			W500164666	0
83010200 -V25-320	Diskdesinfekt or	BUM		GE14		S/N W50014371	201 0

83010200 -V25-321	Spolo		S-607		W50032844	120 2
83010200 -V25-322	Diskdesinfekt or	INF 63	4656	Decomat	SEV0244172	211
83010200 -V25-323	Diskdesinfekt or	Neonatalavd.	46-4	Decomat	W50043059	130 9
83010200 -V25-324	Spolo	Inf 63 rum 6.6- 36	S-607		W50012655	0
83010200 -V25-325	Diskdesinfekt or		GE15	GE15	WAA060567	201 5
83010200 -V25-326	Spolo	Avd 44/HIA	S-607	S-607	W50040124	201 3
83010200 -V25-327	Diskdesinfekt or		CLAR O WD15	CLARO WD15	W50033730	201 2
83010200 -V25-328	ED-Flow	Endoskopimott	ED- Flow	ED-Flow	2H100170	201 2
83010200 -V25-329	Diskdesinfekt or	ÖNH-mott	PokaYo ke	PokaYoke	1045T009	201 0
83010200 -V25-330	ED-Flow	Urologmott	ED- Flow	ED-Flow	2H110176	201 2
83010200 -V25-331	ED-Flow	Endoskopimott	ED- Flow	ED-Flow	3H040215	201 3
83010200 -V25-332	ED-Flow	OP	ED- Flow	ED-Flow	2H110177	201 2
83010200 -V25-333	Spolo	Akutvårdsavd	S-607	S-607	W50033634	201 2
83010200 -V25-334	Diskdesinfekt or	Ort avd 38	46:4	46:4	W50047381	201 4
83010200 -V25-335	Spolo	Inf avd 63	S-607	S-607	W50049769	201 4
83010200 -V25-336	Spolo	Inf avd 63	S-607	S-607	W50049771	201 4
83010200	Spolo	Inf avd 63	S-607	S-607	W50049770	201

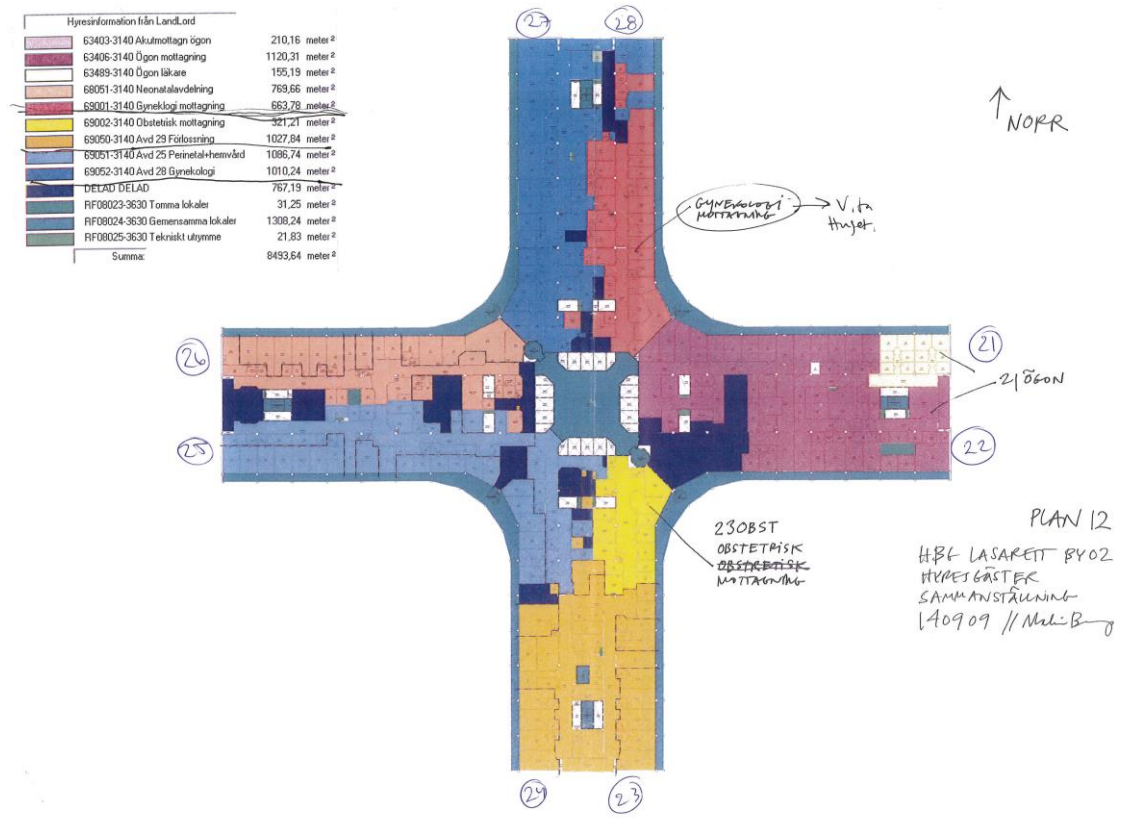
-V25-337						4
83010200 -V25-338	Diskdesinfekt or	Nya Jouren	GE-15	GE-15	W50038162	201 4
83010200 -V25-339	Diskdesinfekt or	Fysiologen	GE-14	GE-14	W50039978	201 4
83010200 -V25-340	Spoldesinfekt or	Endoskopimott	KEN 736	KEN 736	S/N59386	201 3
83010200 -V25-900	SpoloDiskTid Utr					0

Appendix IV

Figureerna A1-A5 visar fördelningen av sjukhuset i mottagningar. Figureerna har använts tillsammans med information i Tabell A4 för att platsbestämma källorna till processvatten på sjukhuset. Slutsatsen av platsbestämningen var att processvattenkällorna är jämnt fördelade över hela sjukhuset på samtliga våningsplan.

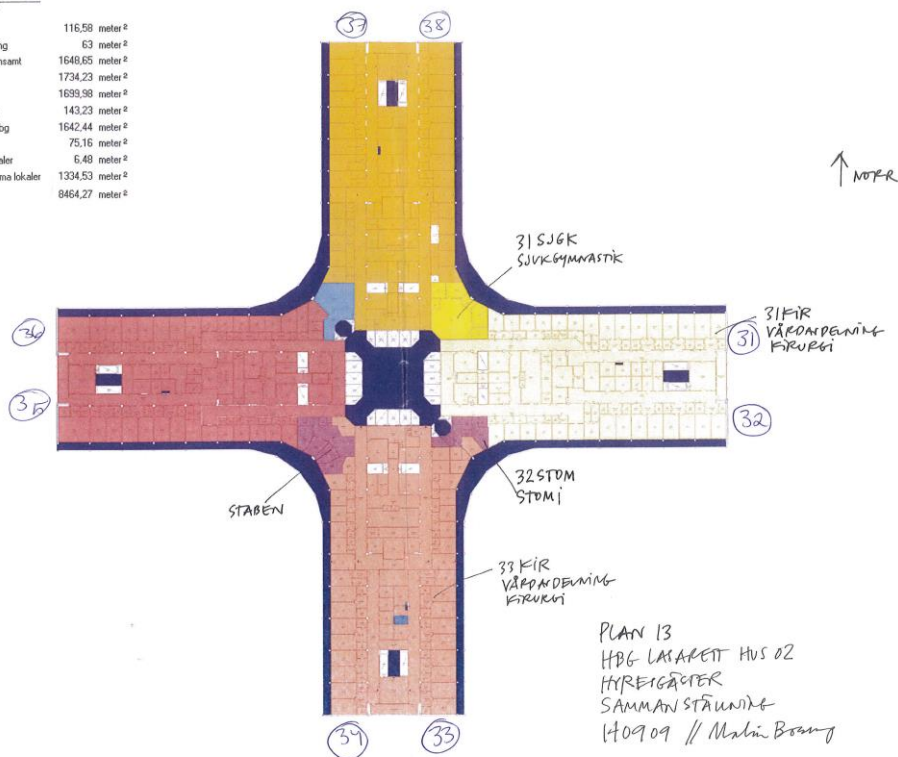


Figur A1. Illustration över fördelningen av mottagningar på plan 11-18 på sjukhuset

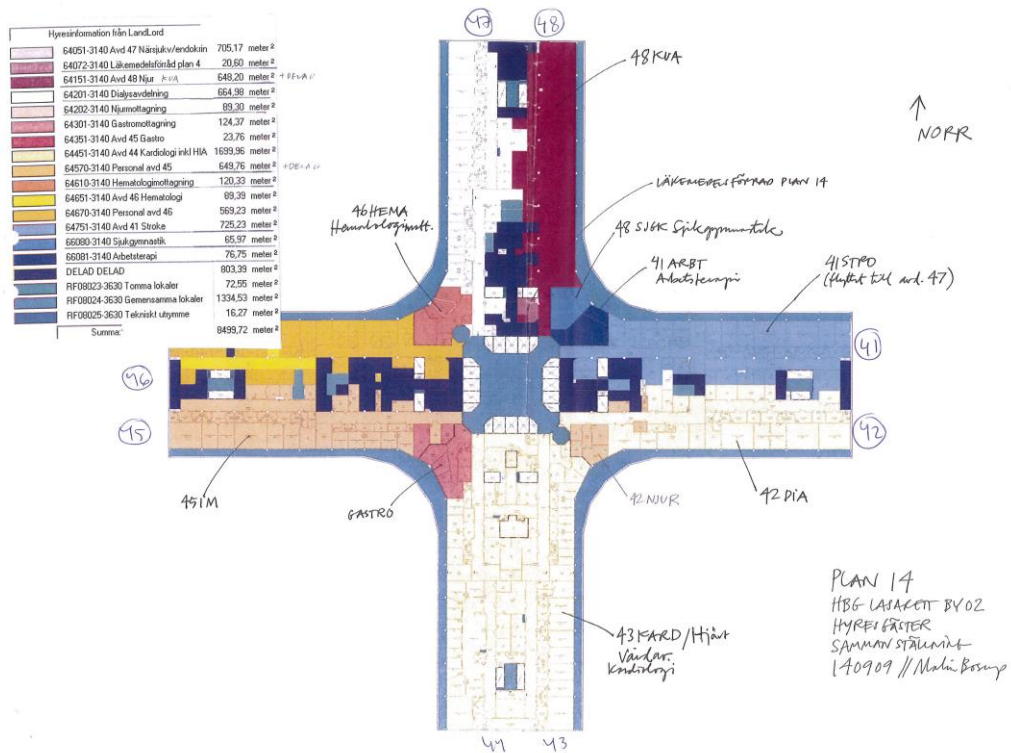


Figur A2. Illustration över fördelningen av mottagningar på plan 12 på sjukhuset

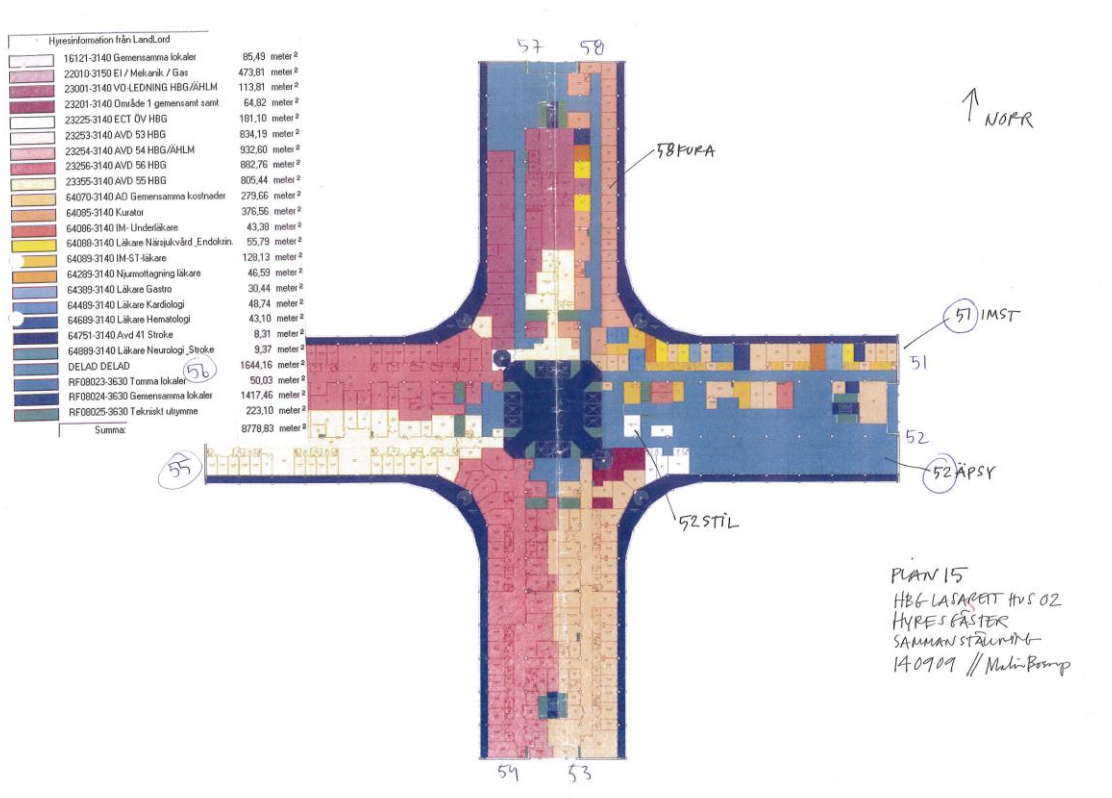
Hyresinformation från LandLord	
65001-3140 Staben	116,58 meter ²
65205-3140 Stominmottagning	63 meter ²
65250-3140 Avd 31, gemensamt	1648,65 meter ²
65252-3140 Avd 33 kir	1734,23 meter ²
65257-3140 KAVA, kirurgi	1699,98 meter ²
66080-3140 Sjukgymnastik	143,23 meter ²
66350-3140 Otoopedavid Hbg	1642,44 meter ²
DELAD DELAD	75,16 meter ²
RF08023-3630 Tonnas lokaler	6,48 meter ²
RF08024-3630 Gemensamma lokaler	1334,53 meter ²
Summa	8464,27 meter ²



Figur A3. Illustration över fördelningen av mottagningar på plan 13 på sjukhuset



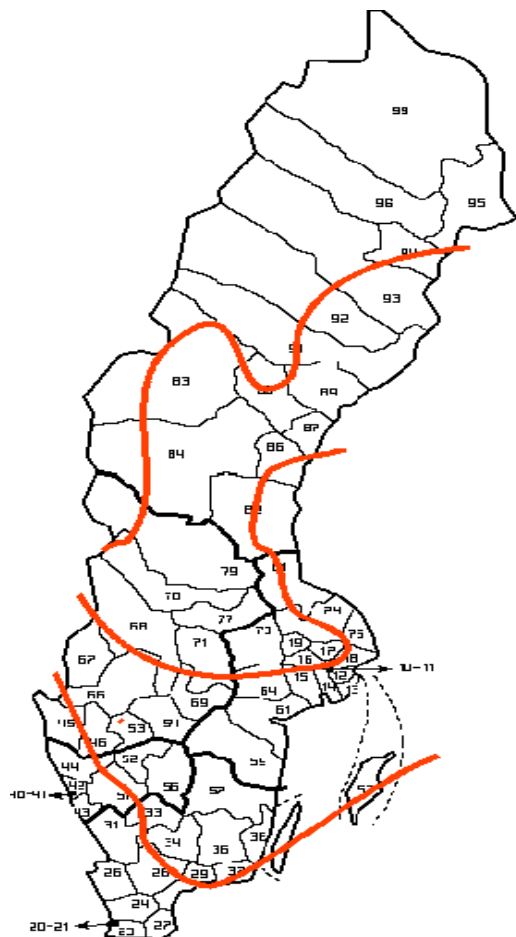
Figur A4. Illustration över fördelningen av mottagningar på plan 14 på sjukhuset



Figur A5. Illustration över fördelningen av mottagningar på plan 15 på sjukhuset

Appendix V

Figur A6 nedan visar zonindelningen av Sverige och tabell AX visar motsvarande dimensionerande markttemperatur för olika förläggningsdjup.



Figur A6. Zonindelning av Sverige

Tabell A5.

Förl.djup	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Zon 4
25	-17,6	-22,6	-27,8	-33
50	-7	-10,6	-13,8	-18
60	-6,5	-10,6	-13,2	-17,4
80	-5,3	-8,7	-12	-16,2
100	-4,1	-7,3	-10,7	-15
150	-1,2	-4	-7,5	-12
200		-0,7	-4,4	-9