

# CHALMERS



## Utnyttjande av lågtempererad spillvärme

– Förstudie om uppvärmning av bostäder genom tillvaratagande av restvärme från en livsmedelsbutik

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Maskinteknik*

**KARIN AGESTAM**  
**EMMA KARLSTRÖM THYLANDER**

Institutionen för Energi och Miljö

*Avdelningen Energiteknik*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2009

ISSN 1654-532X

## Utnyttjande av lågtempererad spillvärme

*Förstudie om uppvärmning av bostäder genom tillvaratagande av restvärme från en livsmedelsbutik*

KARIN AGESTAM

EMMA KARLSTRÖM THYLANDER

© AGESTAM, KARLSTRÖM THYLANDER, 2009

ISSN 1654-532X

Institutionen för Energi och Miljö

Chalmers Tekniska högskola

412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

ISSN 1654-532X

## Utnyttjande av lågtempererad spillvärme

*Förstudie om uppvärmning av bostäder genom tillvaratagande av restvärme från en livsmedelsbutik*

KARIN AGESTAM  
EMMA KARLSTRÖM THYLANDER

Institutionen för Energi och Miljö  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2009





**Spill** subst. *~et*

ORDLED: spill-et

Ngt som blir över vid hantering av material e.d., och som vanl. inte anv. {→**spillo**}: *spillolja; spillvärme; man måste alltid räkna med ett visst ~; ta vara på ~et*

**Värme** subst. *~t* äv *~en*

ORDLED: värm-et

Form av energi som utgörs av rörelser hos materiens smådelar samt ibl. äv. av deras lägesenergi; kan yttra sig i hög temperatur men anv. äv. om lägre temperaturer än vad som är brukl. i allmänspråket <fys.>: *värmeenergi; värmeförluster; värmeledare; värmemängd; värmepump; värmestrålning; smältvärme; ångbildningsvärme; magasinera ~ i underjordiska bassänger; det avgivna ~et bortgår genom ledning, konvektion eller strålning; mer än hälften av den tillförda energin bortgår som ~*

*Nationalencyklopedins ordbok, 2003*



## Förord

Rapporten beskriver ett projekt som avser ett examensarbete för Technologie kandidatexamen inom maskinteknik på Chalmers Tekniska högskola. Den är skriven av Emma Karlström Thylander och Karin Agestam som båda läser tredje året på civilingenjörsutbildningen inom maskinteknik. Där ingår bland annat kurser i Termodynamik, Miljö- och Energiteknik samt Strömningsmekanik.

Projektet motsvarar 15 högskolepoäng och har utförts under våren 2009.

Ett stort tack riktas till alla som har hjälpt till i projektet och till alla er som har tagit er tid till att svara på frågor och varit till hjälp vid rapportskrivande.

Ett speciellt tack till Martin Blixt, Älvstranden Utveckling AB och Elsa Fahlén och Erik Ahlgren, institutionen för Energi och Miljö, Chalmers Tekniska Högskola som har handlett och examinerat projektet. Ni har varit ett stort stöd.

Stor tack till Claes Karlström som gav oss möjligheten att göra detta kandidatarbete.

Tack till er från Älvstranden Utveckling AB, KF Fastigheter AB, Göteborg Energi AB, Ekosofia AB, Power Pipe AB och Mark & EnergiByggarna AB för att ni har engagerat er i projektet. Den hjälp vi har fått med information, rådgivning och svar på frågor har varit värdefull.

Emma Karlström Thylander och Karin Agestam

Göteborg, den 18 maj 2009



## **Abstract**

Questions about the environment are in focus today, alternative energy systems are especially discussed around the world. Different restricted energy resources are lively debated and at the same time a large part of the produced energy become waste in form of heat.

In many ways are different alternatives for efficiency and renewal of heat systems evaluated. To look forward in the future for a sustainable development in energy supply and demand new innovations needs to be investigated and evaluated.

This thesis report investigates the use of low-temperate waste heat for heating. In the report is the supply of waste heat from a future grocery store in Backaplan, Gothenburg, is compared with the demand of heating from residential buildings in the same near district. This supply and demand of heat could be connected in a so called near heating system.

The waste heat from the grocery store would not be able to cover the total heating requirement, both when it comes to the power of heat but also the need of temperature. Therefore the system needs a complement to the waste heat.

Two suggestions of system concepts for low-temperate near heating systems are presented. These are compared with an extension of the existing district heating in Gothenburg. The comparison is processing the economical and the environmental view of the alternatives. This is being done by calculating investment costs, energy costs and the discharge of carbon dioxide for the different alternatives.

After the comparison the results are being analyzed and discussed for the alternatives which lead to a conclusion that further research can be carried out to reach more exact values. The values can be the foundation of the decision of developing a near heating system in the future.



## Sammanfattning

Frågor kring miljön är idag högst aktuella speciellt diskuteras alternativa energisystem. Olika begränsade energiresurser debatteras samtidigt som en stor del av energin går till spill i form av bland annat värme.

På flera sätt utvärderas olika alternativ för effektivisering och förnyelse av system för uppvärmning. För att se framåt mot en hållbar utveckling genom att möta tillgång och efterfrågan av energi behöver nya innovationer undersökas och utvärderas.

Den här rapporten utreder nyttiggörande av lågtempererad spillvärme för uppvärmning. I rapporten jämförs tillgången på spillvärme från en Coop-butik, som är planerad på Backaplan, med efterfrågan på uppvärmning och tappvarmvatten i bostäder i närområdet. Dessa skulle kunna sammankopplas i ett så kallat närvärmesystem.

Spillvärmen från Coop skulle inte kunna täcka hela värmebehovet, dels effektmässigt och dels temperaturmässigt, så systemet behöver kompletteras. I rapporten utreds hur dels fjärrvärme och dels värmepumpar skulle kunna komplettera spillvärmen.

I rapporten presenteras två konceptförslag på hur ett lågtempererat närvärmesystem skulle kunna se ut. Dessa jämförs med en utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet i Göteborg. Jämförelsen sker ur en ekonomisk samt ur en miljömässig synvinkel. Detta görs genom att beräkningar av investeringskostnader, energikostnader samt koldioxidkonsekvenser jämförs för de olika alternativen.

Efter jämförelsen analyseras och diskuteras resultaten för alternativen som leder till en slutsats att vidare forskning kan genomföras för att få fram mer exakta värden. Detta som i sin tur kan ligga till grund för beslutet om utveckling av ett närvärmesystem.





# Förkortningar och formler

## Förkortningslista

Följande förkortningar används i rapporten.

$T_{vv}$  = Tappvarmvatten

$G_v$  = Golvvärme

$V_p$  = Värmepump

$F_v$  = Fjärrvärme

$För_v$  = Förvärmning

## Formler

Energibevaringsprincipen har tillämpats under beräkningar i rapporten. För värmeväxlare och värmepumpar antas en verkningsgrad på 100 % vilket innebär att samma mängd energi som kommer in, kommer ut. Följande formler har använts vid beräkningar

### Värmekapacitetsformeln

Samband mellan massa, effekt och temperatur  $P = m \cdot c_p \cdot \Delta T$

$P$  = Effekt [W]

$c_p$  = Specifik värmekapacitet [J/kg\*K]

$m$  = Massflöde [kg/s]

$\Delta T$  = Temperaturdifferens [°C]

Den specifika värmekapaciteten,  $c_p$ , antas i samtliga fall vara 4,2 kJ/kg\*K. Storleken på  $c_p$  varierar med temperaturen men den kan avrundas till 4,2 kJ/kg\*K för temperaturer under 100 °C.

*Mörstedt* [5]

### Flöde

Samband mellan volymflöde, flödeshastighet och area  $Q = v \cdot A$

$Q$  = Flöde [m<sup>3</sup>/s]

$v$  = Flödeshastighet [m/s]

$A$  = Flödesarea [m<sup>2</sup>]

*Mörstedt* [5]

### Värmepumpsformeln

För värmepumpars elförbrukning gäller  $P_{ut} = P_{in} \cdot vp\text{-fakt}$

$P_{ut}$  = Värmeeffekten från värmepumpen [W]

$P_{in}$  = Värmeeffekten som krävs för att driva värmepumpen [W]

$vp\text{-fakt}$  = COP (Coefficient Of Performance) = Värmepumpsfaktor

*Karlström* [1]



# Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	2
1.2. Syfte	2
1.3. Metod	3
1.4. Avgränsningar	3
2. Bakgrund till lågtempererad spillvärme	5
2.1. Kvarteret Seglet i Karlstad	5
2.2. Integrerat värmesystem mellan bostäder och livsmedelsbutik i Sannegårdshamnen	5
2.3. Integrerat uppvärmnings- och kylsystem i Oskarshamn	6
3. Förutsättningar för lågtempererad uppvärmning av bostadsområdet vid Backaplan	7
3.1. Tillgänglig spillvärme från livsmedelsbutikens kylanläggningar	7
3.2. Bostadshusens efterfrågan och krav på uppvärmning och tappvarmvatten	8
3.3. Göteborgs fjärrvärmenät	9
4. Konceptframtagning	11
4.1. Referensalternativ	12
4.2. Koncept 1	13
4.3. Koncept 2	14
4.4. Andra alternativ för back up-system	15
5. Beräkningar av energibehov samt dimensionering av komponenter	17
5.1. Energiförbrukning för uppvärmning av tappvarmvatten	17
5.2. Uppvärmningssystemets energiförbrukning	17
5.3. Totalt energiförbrukning för uppvärmning och tappvarmvattnet	17
5.4. Dimensionering efter medianen energiförbrukning	18
5.5. Behovsberäkningar för referensalternativet med fjärrvärme	18
5.6. Behovsberäkningar för koncept 1	18
5.6.1. Värmepumpens energiförbrukning	19
5.6.2. Energiförbrukning från fjärrvärme	19
5.6.3. Förvärmning	20
5.7. Behovsberäkningar för koncept 2	20
6. Ekonomisk kalkyl	23
6.1. Investeringskostnader	23
6.1.1. Utbyggnad av fjärrvärmenätet	23
6.1.2. Utbyggnad av närvärmenätet	23
6.1.3. Värmeväxlare mot spillvärme	24

6.1.4. Värmeväxlare mot fjärrvärme, golvvärme och tappvarmvatten .....	24
6.1.5. Anslutningsavgift för fjärrvärme.....	25
6.1.6. Värmepump .....	25
6.1.7. Förvärmning i ackumulatortank: .....	25
6.2. Reinvestering och löpande drift .....	25
6.3. Energikostnader.....	26
6.3.1. Fjärrvärmekostnader.....	26
6.3.2. Elkraftskostnader.....	26
6.3.3. Kostnad för spillvärmen från Coop.....	27
7. Konsekvenser ur miljöperspektiv .....	29
7.1. Allokering av emissioner .....	29
7.2. Marginal- eller medelvärden för koldioxidutsläpp.....	29
7.3. Miljöbedömning av fjärrvärme .....	30
7.4. Miljöbedömning av spillvärmen från Coop .....	30
7.5. Miljöbedömning av el .....	31
7.6. Årsvariationer för koldioxidutsläpp .....	31
7.7. De olika alternativens koldioxidutsläpp.....	31
8. Resultat och analys .....	33
8.1. Energianalys .....	33
8.2. Investeringskostnader och övriga kostnader .....	35
8.3. Känslighetsanalys för energikostnader.....	36
8.3.1. Känslighetsanalys av elpriset .....	36
8.3.2. Känslighetsanalys av fjärrvärmepriset .....	37
8.3.3. Analys över spillvärmepriset.....	37
8.4. Miljöperspektiv .....	38
9. Diskussion och slutsatser .....	41
9.1. Närvärmesystem.....	41
9.2. Ekonomiska aspekter.....	42
9.2.1. Priset för en bättre miljö.....	42
9.3. Miljömässiga aspekter .....	43
9.3.1. Energikällor för uppvärmning av bostadshus.....	43
9.3.2. Övrig miljöpåverkan från närvärmesystem.....	44
9.4. Tekniska aspekter kring närvärmesystemet .....	44
9.4.1. Mängd tillgänglig spillvärme och hur stor bostadsyta den räcker till .....	44
9.4.2. Reglersystem .....	45

9.4.3. Alternativ systemuppbyggnad .....	45
9.5. Äkta spillvärme och alternativa kylsystem .....	45
9.6. Miljövänligt byggande .....	46
9.7. Eventuell användning av fjärrvärmens returledning .....	46
9.8. Rekommendation .....	47
9.8.1. Rekommendation till fortsatta studier .....	47
10. Slutord från författarna .....	49
Källförteckning .....	51
Appendix 1 – Energiberäkningar .....	I
Appendix 2 – Beräkningar koncept 1 .....	III
Appendix 3 – Beräkningar koncept 2 .....	VII
Appendix 4 – Beräkning av gradtimmar .....	IX
Appendix 5 – Energitillförsel under 33°C i koncept 2 .....	XI
Appendix 6 – Dimensionering av rör .....	XIII
Appendix 7 – Ekonomi .....	XV
Appendix 8 – Medelpris för fjärrvärmens .....	XIX



# 1. Inledning

Frågor kring miljön är idag högst aktuella, det handlar om allt från glaciärer som smälter på grund av för mycket koldioxid i atmosfären, till vilket bränsle du ska använda i bilen och till sinande oljeresurser i världen. Ingen av dessa frågor är lätta att hantera och de oroar antagligen människor över hela världen.

Samtidigt som vi oroar oss för att energiresurserna ska ta slut ”slängs” idag stora mängder energi i form av spillvärme. Vi tar helt enkelt inte tillvara på alla de energiresurser vi förbrukar. Detta sker överallt, i en vanlig glödlampa, i bilarnas motorer och på kärnkraftverk, där värme uppstår utan att vara den egentliga produkten. På många ställen börjar man ta tag i dessa problem, antingen genom energieffektivisering som till exempel att byta ut alla glödlampor mot lågenergilampor, eller genom att utnyttja spillvärmen för ett annat syfte. Det blir till exempel allt vanligare att spillvärme från industrier utnyttjas som fjärrvärme.

Frågan är hur mycket vi kan effektivisera alla system så att mängden spillvärme begränsas. Hur långt kan utnyttjningen av spillvärmen gå? Hur många gånger kan man ”återanvända” energin på ett resurseffektivt sätt? Och vem ska betala för det? Ofta krockar ekonomiska och ekologiska intressen med varandra, hur löser man det?

Ett exempel på spillvärme som idag inte tas tillvara, kommer från livsmedelsbutikernas kyldiskar. Alla som har en kyl eller frys hemma vet att dessa avger värme till omgivningen. I livsmedelsbutiker går stora delar av denna värme ofta rakt ut i luften genom stora kylfläktar, se Figur 1.



**Figur 1. Kylfläktar på taket av Coop Forum, Bäckebo.**

Spillvärme från livsmedelsbutiker har en betydligt lägre temperatur än vad spillvärme från exempelvis industrier har och lämpar sig därför inte för det traditionella fjärrvärmenätet, som håller en betydligt högre temperatur. I den här rapporten utreds hur man skulle kunna ta tillvara på lågtempererad spillvärme för uppvärmning av bostadshus.

Är det tekniskt möjligt att skapa ett system där spillvärmen tas tillvara och som fortfarande är ekonomiskt försvarbart? Då man bygger nya system måste man räkna med att dagens förutsättningar kan komma att ändras. Hur skulle till exempel systemet kunna anpassas om tillgången på spillvärme minskar eller helt försvinner? Om man i framtiden vill använda

systemet tillsammans med solpaneler, skulle det då fortfarande fungera? Vi måste bygga robust system som tål förändringar.

Vid utbyggnad av nya bostadsområden bör man sträva efter en långsiktigt hållbar utveckling. FN definierade detta som ”En hållbar utveckling tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov” i en rapport av *Brundtland* [2]. Detta har funnits i åtanke genom hela projektets gång.

## **1.1. Bakgrund**

Att ta tillvara på spillvärme från livsmedelsbutiker är relativt nytt och rapporten utreder om det är långsiktigt hållbart att använda sig av spillvärme från kylanläggningar för uppvärmning av bostadshus i närliggande områden. Detta för att skapa ett så kallat närvärmesystem. Den här rapporten behandlar projektet som specifikt utreder det här för en livsmedelsbutik och ett bostadsområde på Backaplan i Göteborg.

Projektet görs i samarbete med Älvstranden Utveckling AB. De har i uppdrag att planera Göteborg stads utveckling, kring bland annat Backaplan, i form av bebyggelse och infrastruktur. Planeringen ska göras så att man strävar efter en långsiktig hållbar utveckling ur ekonomiskt, socialt och ekologiskt perspektiv. I den nya planen för Backaplan vill man skapa en attraktiv blandstad för att på det sättet utvidga Göteborgs stadskärna över älven. Med blandstad avses ett område som består av en blandning av bostäder, handel, kultur och service, referens *Göteborgs Stad, Stadsbyggnadskontoret* [3].

Som en del av Älvstranden Utveckling AB:s uppdrag ska energiförsörjningen kring Backaplan ses över då framtida användning och villkor skiljer sig från dagens. I den kommande blandstaden finns varierande behov av uppvärmning för de olika byggnaderna och lokalerna. I den här rapporten ska det ses över om det är möjligt att sammankoppla dessa behov för att bättre ta tillvara på energin. Rapporten ska utreda hur ett närvärmesystem skulle kunna utformas för att passa ett område kring Backaplan och tillgodose dess varierande kyl- och värmebehov.

Dagens ökande efterfrågan av hållbara och effektiva energisystem gör att ämnet inte bara är aktuellt för området kring Backaplan. Om det visar sig vara lönsamt kan liknande system utvecklas på fler ställen. Förhoppningsvis kan detta arbetet komma till nytta vid liknande projekt på andra ställen i framtiden.

I rapporten används begreppen fjärrvärme och närvärme. Med fjärrvärme avses Göteborgs storskaliga fjärrvärmesystem där värmekällan finns längre bort. Med närvärme menas det mindre system som tar tillvara på spillvärmerna i närområdet. I ett närvärmesystem passerar inte flödet någon fjärrvärmecentral.

## **1.2. Syfte**

Rapporten utreder om utvecklingen av ett lokalt, lågtempererat närvärmesystem där man utnyttjar spillvärme, leder till en långsiktig hållbar utveckling ur ekologiskt och ekonomiskt perspektiv. Det ska utredas hur man med hjälp av spillvärme ska kunna tillgodose behovet av uppvärmning av bostäder samt tappvarmvatten i delar av Backaplan.

Projektet har för avsikt att resultera i ett konceptförslag på ett system för hur spillvärme från kylanläggningar kan tas tillvara i ett lokalt närvärmesystem. Detta kommer göras specifikt för Backaplan där Coop tillhandahåller spillvärmerna. Systemet ska om möjligt vara sammankopplat med det befintliga fjärrvärmesystemet i området. Vid konceptframtagningen ska hänsyn tas till variationer av tillgång och efterfrågan över dygnet och året.



I konceptsystemets beskrivning ska det finnas en övergripande skildring över hur det lokala systemet i Backaplan ska integreras med det befintliga systemet som antagligen kommer att finnas som kompletteringssystem.

Konceptet skall utvärderas ur en ekonomisk och ekologisk synvinkel, detta för att systemet ska vara en del av den hållbara utvecklingen i området. Konceptet kommer även att jämföras med en utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet.

### **1.3. Metod**

Projektet inleddes med inhämtning av information i form av litteraturstudier, intervjuer och studiebesök. Utifrån informationen har ett antal koncept tagits fram på hur bostäderna vid Backaplan skulle kunna värmas upp med hjälp av spillvärme. Konceptframtagning har skett med hjälp av idégenerering där olika egenskaper för systemen jämförts för att ta fram det bästa konceptförslaget.

Fyra preliminära konceptförslag togs fram, dessa jämförs vidare genom diskussion och beräkningar. De fyra olika koncepten beskrev närvärmesystem som, med olika placeringar, innehöll värmeväxling mot spillvärme, värmeväxling mot fjärrvärmesystem för en stabil tillgång till spetsvärme, alternativt för utnyttjning som back up-system, och värmepump. Dessa koncept omarbetades och diskuterades vilket resulterade i två koncept för vilka beräkningar och vidare jämförelser utfördes.

Beräkningar har utförts för att ta fram det bästa alternativet ur ekonomisk och miljömässig synvinkel. Beräkningar har gett siffror på el- och fjärrvärmeanvändning, flödeshastigheter och rördimensioner.

För att kunna bedöma koncepten ekonomiskt utförs en så kallad Life Cycle Cost-analys (LCC). En LCC-analys innebär att en kostnad för hela eller en del av systemet beräknas med avseende på en antagen livslängd. Detta är ett komplement till en investeringskalkyl som enbart beräknar investeringskostnaden med eventuella avskrivningar. En LCC-analys är intressant att genomföra då skillnader mellan till exempel energikostnader kommer fram på ett övergripligt sätt. Fokus har legat på kostnader som skiljer mellan systemalternativen.

I LCC-analysen jämfördes även koncepten med ett referensalternativ som motsvarar utbyggnad av Göteborgs fjärrvärmenät.

De olika systemens miljöpåverkan bedömdes utifrån koldioxidutsläpp från el- och fjärrvärmeanvändning.

Resultatet från ekonomi- och miljöberäkningarna gav underlag för en jämförelse mellan koncepten och referensalternativet. En rimlighetsbedömning för de olika koncepten har utförts. För de ekonomiska beräkningarna har känslighetsanalyser av energipriserna genomförts.

I diskussionen vägs för- och nackdelar med de olika systemen mot varandra. Diskussionen har resulterat i en rekommendation för fortsatt utredning till företaget Älvstranden Utveckling AB.

### **1.4. Avgränsningar**

Projektet syftar inte till att ta fram detaljritningar för hur spillvärmen ska användas i ett närvärmesystem. Endast en övergripande struktur kommer att beskrivas. Golvvärmesystemets uppbyggnad kommer inte att utredas, projektet kommer att utgå från de krav på golvvärmesystem som beskrivs senare. Inte heller inkopplingen vid Coop kommer att utredas närmare.

Någon ingående investeringskalkyl för närvärmesystemet kommer inte tas fram, jämförelsen mellan olika alternativ kommer att ske med en så kallad Life Cycle Cost-analys. I analysen kommer kostnadsuppskattningar att göras, siffrorna ska inte ses som exakta priser.

För att bedöma miljöpåverkan från systemet kommer endast koldioxidutsläppen från el- och fjärrvärmeanvändning att beräknas. Givetvis påverkar systemet miljön på andra sätt men dessa behandlas inte här. Koldioxidutsläppen bedöms här ge en indikation på hur miljöpåverkan skiljer mellan alternativen.

Vid konceptframtagningen finns många olika varianter på back up-system, i projektet utreds endast ett fåtal av dessa.

## 2. Bakgrund till lågtempererad spillvärme

Spillvärme är energi som blir till värme istället för att till exempel bli till ljus eller rörelse. Spillvärme uppstår även vid produktion av kyla, eftersom kyla är avsaknad av värme.

Största skillnaden mellan spillvärme från industrier och den spillvärme rapporten kommer att hantera är att den industriella har mycket högre temperatur, cirka 100°C, än den som kommer från livsmedelsbutikernas kylanläggningar, här cirka 33°C. På många ställen i landet pågår utredningar och försök på hur man kan ta tillvara på spillvärme vid så låga temperaturer. Det är inte lönsamt att skicka ut spillvärme med så låg temperatur i det befintliga fjärrvärmenätet då det skulle sänka temperaturen på detta. Där emot kan den användas i ett närvärmsystem där man inte kräver lika höga temperaturer. Så frågan är inte om det går att använda den lågtempererade spillvärmerna, utan hur det ska göras på bästa sätt och om det är lönsamt.

För att användning av spillvärme inte ska bidra till ökad miljöbelastning krävs det att man använder sig av ”äkta” spillvärme. Det råder i dagsläget en diskussion om vad ”äkta” spillvärme är. I projektet har definitionen ”*utnyttjande av förluster som annars inte skulle ha blivit nyttiggjorda, och ingen alternativ användning av värmen bedöms finnas*” använts, den kommer från Swedish Energy Agency, *Holmgren* [4]. Detta innebär att processen som avger värmen har så små värmeförluster som möjligt, samtidigt som man i första hand tar till vara på energin inom det egna systemet.

Nedan följer beskrivning av exempel på andra ställen i landet där man har lågtempererade system som är intressanta att titta på.

### 2.1. Kvarteret Seglet i Karlstad

Ett intressant exempel på ett lågtempererat uppvärmningssystem finns i Karlstad där man värmer ett flerbostadshus med fjärrvärmenätets returledning. Detta bostadshus är energieffektivt. Detta innebär att energiförsörjningen är jämförbart mycket lägre än i ett traditionellt byggt hus. Bostadshuset är välisolerat och uppvärmningen står för en förhållandevis liten del av husets energiförbrukning, *Beiron* [5].

Då värme behöver tillföras används returen på fjärrvärmenätet, denna har tillräckligt hög temperatur för att kunna värma bostäderna. Tappvarmvattnet förvärms först av fjärrvärmereturen och värms sedan ytterligare av en värmepump. Värmepumpen använder fjärrvärmereturen som värmekälla. Trots att värmepumpen drar en del el utgör systemet en energibesparing jämfört om man skulle ha kopplat in sig på fjärrvärmenätets framledning, *Beiron* [5].

I rapporten från Karlstads universitet nämns problematiken för hur man bedömer miljöbelastningen när man använder returen på fjärrvärmenätet och sänker temperaturen på denna. En sänkt returtemperatur innebär att kraftvärmeverket som producerar el och fjärrvärmen får en högre verkningsgrad, man kan få ut mer värmeeffekt från samma mängd fjärrvärmevatten, *Beiron* [5].

### 2.2. Integrerat värmesystem mellan bostäder och livsmedelsbutik i Sannegårdshamnen

Ett exempel på tillvaratagande av lågtempererad spillvärme utreds i Sannegårdshamnen i Göteborg där en livsmedelsbutik ska kunna värma upp bostäderna i samma område. Jämfört med det här projektet på Backaplan är examensprojektet i Sannegårdshamnen i en mindre skala. Livsmedelsbutiken är på 5 500 m<sup>2</sup> och den kommer värma en bostadsyta på cirka 25 000 m<sup>2</sup>, *Tabrizi* [6].

För att ta tillvara på spillvärmen har ett koncept tagits fram där man kompletterar och spetsar spillvärmen med både fjärrvärme och värmepumpar. Temperaturen på spillvärmevattnet höjs först med hjälp av en värmepump, sedan värmväxlas vattnet mot matarvattnet i närvarmenätet som därefter värms ytterligare genom värmväxling mot det befintliga fjärrvärmenätet. Värmepumpen i systemet kan även användas till komfortkyla för livsmedelsbutiken under sommarhalvåret, *Tabrizi* [6].

I projektet har även en LCC-analys gjorts som styrker valet av koncept för uppvärmning. En känslighetsanalys har även genomförts där framtida prisökningar för el och fjärrvärme samt kalkylräntan analyseras, denna styrker fastställandet av konceptval, *Tabrizi* [6].

### **2.3. Integrerat uppvärmnings- och kylsystem i Oskarshamn**

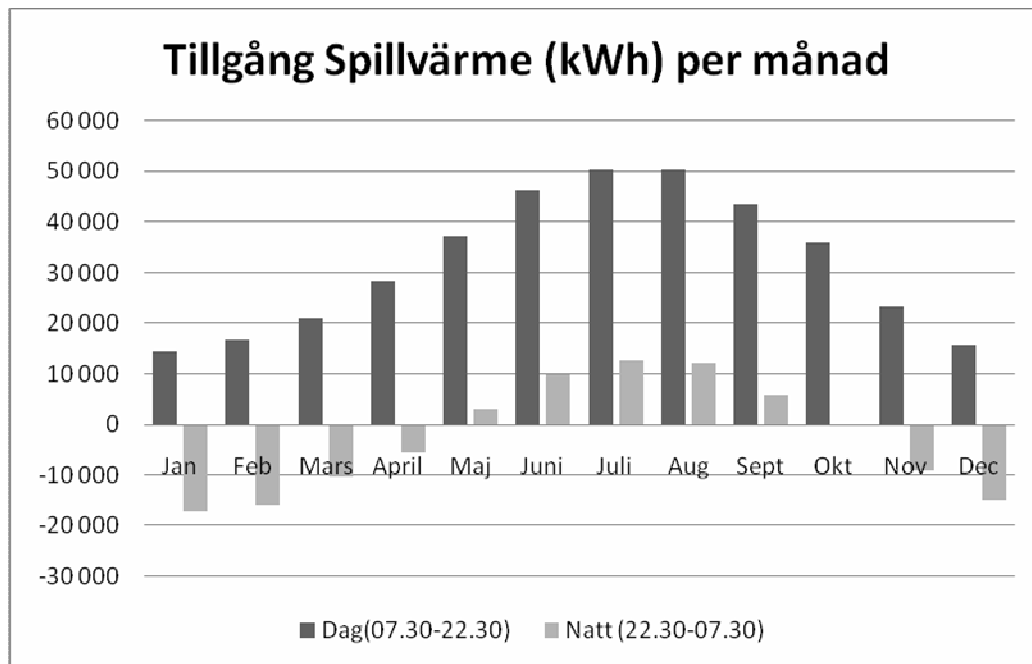
I Oskarshamn finns ett integrerat uppvärmningssystem mellan is- och simhall. Detta byggdes år 2004 och är uppbyggt runt en kyl- och värmepump. Vintertid används pumpen främst för att kyla isen, överskottsvärmen som uppstår då används för att värma simhallen. I simhallen värms badvatten samt tappvarmvatten i duschar.

Då inget behov av kyla finns i ishallen används kylan, vid behov, som komfortkyla i simhallen. Pumpen har en effekt på 200 kW. Dessa uppgifter kommer från *Nilsson* [7].

### 3. Förutsättningar för lågtempererad uppvärmning av bostadsområdet vid Backaplan

#### 3.1. Tillgänglig spillvärme från livsmedelsbutikens kylanläggningar

KF fastigheter AB kommer att äga den byggnad som den aktuella mataffären, Coop, kommer att ligga i. De kommer alltså att producera äkta spillvärmen. Mängden tillgänglig spillvärme från Coop som kan användas i närvärmesystemet beror på vilken tid på dygnet, samt vilken månad det är. Års- och dygnsfördelningen visas i diagrammet nedan och siffror finns i Appendix 1.



Figur 2. Beräknad mängd tillgänglig spillvärme, källa Ek [16].

Negativa siffror i diagrammet innebär att Coop köper in fjärrvärme för uppvärmning under dessa tider. Som tidigare nämnts kommer spillvärmen i första hand att användas inom den egna byggnaden för uppvärmning. Genom detta är det såkallad "äkta" spillvärme som blir överskottet från livsmedelsbutiken och det är detta som visas i diagrammet ovan, Ek [16].

Den nybyggda affärens kylanläggning kommer att fungera enligt följande. Ett kylaggregat producerar en köldbärare av glykol och vatten med en temperatur på  $-8^{\circ}\text{C}$ . Denna köldbärare går till kyldiskar och kylrum. För frysdiskar och frysrum kommer ett fryssystem med köldmedium av koldioxid att användas. Detta fryssystem kommer ha en förångningstemperatur på  $-35^{\circ}\text{C}$ , enligt Ek [16].

Kylaggregatens kondensorsida kommer att kylas med en kylmedelskrets, bestående av glykol och vatten, till en kylmedelskylare placerad utomhus. Vid ett värmeåtervinningsbehov kommer denna temperatur att höjas till cirka  $33^{\circ}\text{C}$ , en cirkulationspump för kylmedlet genom primärsidan på en värmeväxlare. Värmeväxlarens sekundärsida är ansluten till livsmedelbutikens värmesystem som värmer upp butiken genom ventilationssystemet. Det överskott som finns efter den interna uppvärmningen kan sedan användas till ett externt närvärmesystem. Den ska då kunna klassas som "äkta spillvärme", Ek [16].



**Figur 3. Ett exempel på intern värmeåtervinning i form av en varmluftsridå vid entrén. Bilden är tagen vid Coop Bäckebo.**

Temperaturen på spillvärmen kommer att sjunka om uttaget överstiger tillgången av värmeeffekten. Tillgången på värme är endast baserad på vilket kyleffektbehov som finns i kyl- och frysdiskarna och rummen, *Ek* [16].

KF Fastigheter AB har även tittat på andra kylsystem för sin nya butik. Det som främst har diskuterats är val av köldmedium. Dels finns det kylsystem som drivs på traditionella köldmedier och dels med koldioxid som köldmedium. Det första alternativet drar mindre energi men där är köldmedierna miljöfarliga. Det andra alternativet drar mer energi men eftersom köldmediet är koldioxid har själva köldmediet lägre miljöpåverkan. Om man bara ser till själva kylsystemen har det med traditionellt köldmedium lägst miljöpåverkan, men eftersom det andra ger mer spillvärme så skulle den totala miljöpåverkan ändå kunna bli lägre.

En diskussion vilket kylsystem som skapar det mest miljövänliga systemet totalt sett kan föras i framtiden. I projektet används det system som beskrivs här ovan.

En anslutning till fjärrkylanätet skulle också kunna bli aktuellt för Coop. Fjärrkylanätet kommer antagligen att byggas ut i Göteborg de kommande åren. Detta utreds inte vidare projektet.

Dessa uppgifter framkom under intervju med *Swartz* [17].

### **3.2. Bostadshusens efterfrågan och krav på uppvärmning och tappvarmvatten**

Älvstranden Utveckling AB ansvarar för planering av områdena kring älvstranden i Göteborg. De har gjort planritning, i samarbete med stadsbyggnadskontoret samt övriga kommunala organ, för området och har anvisat var bostadshusen och mataffären kommer att ligga.

Bostadshuset som närvärmenätet dimensioneras för kommer bestå av cirka 38 000 m<sup>2</sup> bostadsyta och antas vara uppdelat på runt 5 hus med 76 lägenheter per hus. Uppskattningsvis kommer dessa att befinna sig cirka 500 meter från Coops affär, enligt *Strömer* [11].

Miljöanpassat byggande, *Göteborg stad* [10], beskriver hur byggnader i Göteborg bör byggas med avseende på en hållbar utveckling. När det gäller energihushållning inom byggnader bör man sträva efter energieffektiva lösningar och välja förnybara energislag. Man påpekar att ett helhets- och livscykelperspektiv är viktigt att tillämpa vid val av energisystem. För flerbostadshus har man satt som mål att inte överstiga 45 kWh/m<sup>2</sup> och år för total mängd köpt energi. I projektet används 60 kWh/m<sup>2</sup> och år för total mängd köpt energi, detta fördelas mellan uppvärmning och tappvarmvatten. Detta högre värde används för att undvika underdimensionering av systemet.

Energibehovet för uppvärmning av bostadshuset är beräknat till 45 kWh/m<sup>2</sup> och år. Detta värde grundar sig på att husen är moderna och energisnåla. Beräkningar på energisnåla hus ger ofta en lägre energiförbrukning än 45 kWh/m<sup>2</sup> och år, liksom rekommendationerna i *Miljöanpassat byggande, Göteborg stad* [10].

En viktig faktor för att lågtempererad spillvärme ska kunna tas tillvara på är att husen är energieffektiva, det vill säga att de är väl isolerade och har ett väl fungerande ventilationssystem. Det är också viktigt att ha ett långsamt uppvärmningssystem, exempelvis golvvärme, för att den låga temperaturen ska kunna utnyttjas. Detta beror på att ett dåligt isolerat hus har ett så pass mycket större uppvärmningsbehov att ett lågtempererat system inte räcker till.

I golvvärmsystem i lågenergihus är en temperatur på 23°C på framledningen tillräcklig för uppvärmning, detta enligt *Blixt* [13] samt *Karlström* [1].

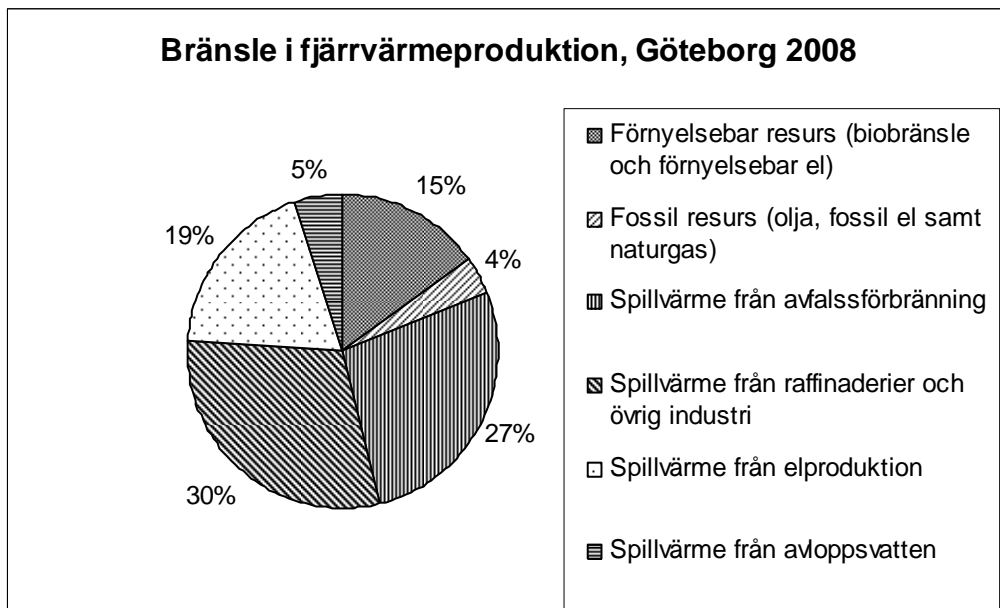
Den antagna energimängden för tappvarmvatten är 15 kWh/m<sup>2</sup> och år. Temperaturen på färskvattnet varierar mellan 0-20°C enligt *Olsson B.* [14]. Som dimensioneringsvärde används 5°C som är ett rimligt värde. Varmvattnet värms, med hänsyn till Boverkets regler, till cirka 60°C och vid uttappning är temperaturen cirka 52-55°C, *Boverket* [15].

### **3.3. Göteborgs fjärrvärmenät**

Fjärrvärmenätet i Göteborg ägs av Göteborg Energi AB och är utbrett över stora delar av staden. Det finns redan på de ställen på Backaplan som i dagsläget är förnyade.

Årsmedeltemperaturen på framledningen i fjärrvärmenätet var 87,6°C i januari 2008 och returtemperaturen var 43,4°C, enligt *Göteborg Energi AB* [8].

I Figur 4 visas fördelningen av bränsle i Göteborgs fjärrvärmenät. Hur de olika bränslena miljöbedöms diskuteras senare i rapporten.



**Figur 4. Bränsle i fjärrvärmeproduktion i Göteborg 2008, källa Göteborg Energi AB [9].**

Göteborg Energi AB äger även fjärrkylennätet i Göteborg som idag är under utbyggnad. De har ett framtida mål att leverera 100 MW år 2014. Fjärrkylennätet i Göteborg hämtar främst sin kyla från älven, i andra hand använder de absorptionskyla från fjärrvärmen och i sista hand älvkylda kylmaskiner, enligt *From* [10].

Fjärrvärme skulle kunna fungera som back up för ett lågtempererat närvärmesystem. En utbyggnad av fjärrvärmenätet kommer att vara den referens som konceptförslagen jämförs med.



## 4. Konceptframtagning

De konceptalternativ som framtogs genom idégenerering omarbetades efter diskussion och rimlighetsbedömning. Till exempel uteslöts koncept på grund av att fjärrvärmen kopplades in i närvärmesystemet genom backventiler, en sådan inkoppling kan vara svår att reglera efter systemets behov.

Detta resulterade i två koncept som var konkurrenskraftiga mot varandra och referenskonceptet som innebar utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet.

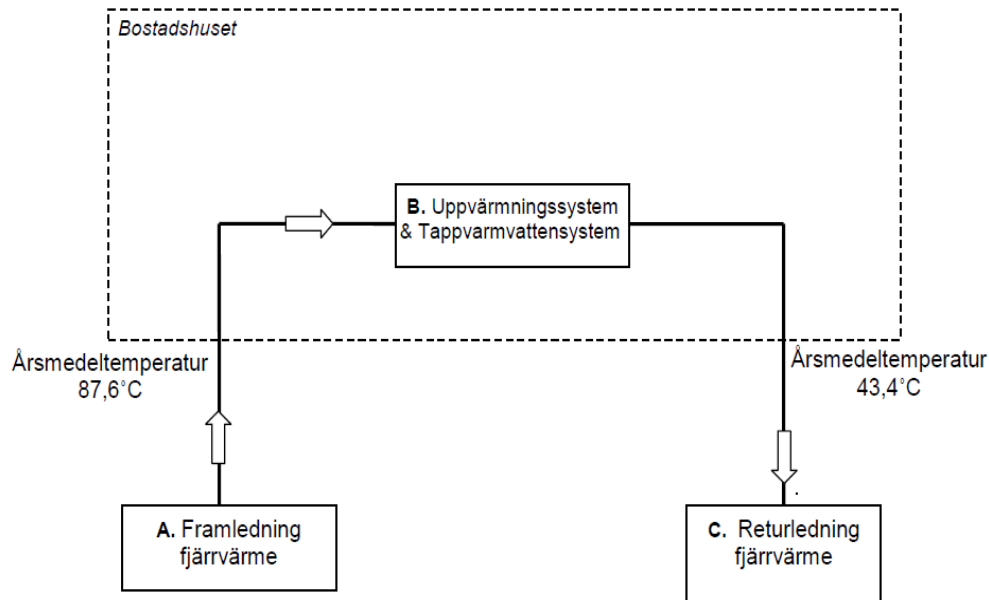
Eftersom värmeväxlingen mot spillvärmen från livsmedelsbutiken inte kommer att vara tillräcklig för att möta värmebehovet från bostadshuset dygnet runt för varje år är det nödvändigt med ett back up-system. Detta gäller speciellt under de kallaste månaderna då behovet är som störst och när det inte finns någon tillgänglig spillvärme från livsmedelsbutiken.

Ett alternativ är att koppla in det befintliga fjärrvärmenätet och använda det vid behov tillsammans med ett ytterligare komplement för att höja temperaturen tillräckligt för tappvarmvattnet. Ett annat förslag är att använda fjärrvärme för att höja temperaturen i hela närvärmesystemet så att framledningstemperaturen är tillräckligt hög för tappvarmvattnet.

En stor fördel med att koppla samman närvärmesystemet med fjärrvärmenätet är systemets robusthet. I ett framtida scenario måste man räkna med att tillgången på spillvärme från livsmedelsaffären kan minska eller helt försvinna. Om man då redan har en anslutning till fjärrvärmenätet så kan systemet fortsätta att fungera och anläggningen kan fortfarande vara ekonomiskt försvarbar med avseende på gjorda investeringskostnader.

## 4.1. Referensalternativ

Referensen som koncepten ska jämföras med består av en utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet i Göteborg.



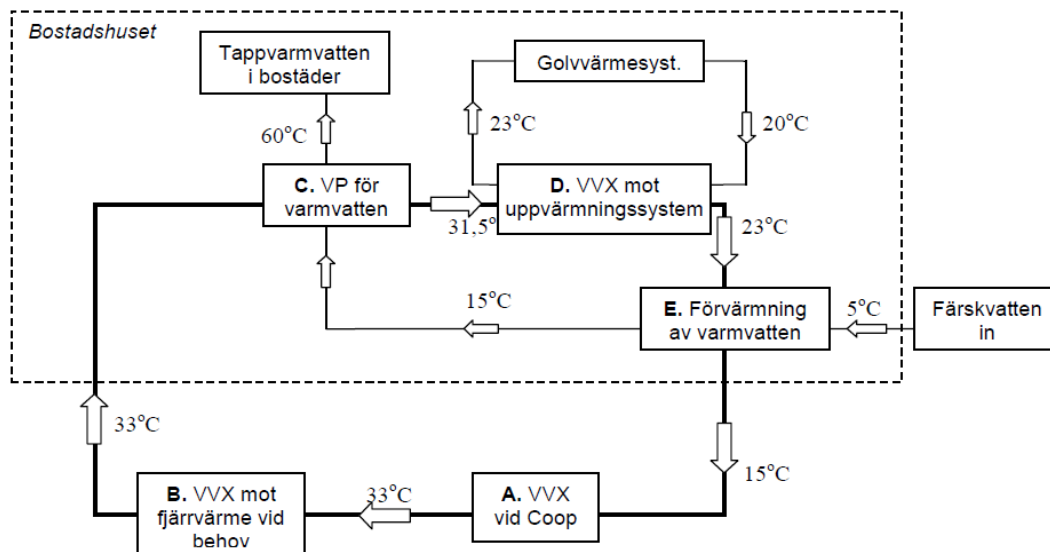
Figur 5. Principiell skiss för uppbyggnad av fjärrvärmesystem, referensalternativ.

Referensförslaget, som ska användas för att kunna jämföra de olika koncepten, är en utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet. Referensförslaget förutsätter golvvärme som uppvärmningssystem och samma princip för tappvarmvattensystem som för konceptförslagen.

- A. Framledningen av fjärrvärmenätet som ligger på en årsmedeltemperatur på 87,6 °C.
- B. Fjärrvärmen värmer upp bostädernas uppvärmningssystem och tappvarmvatten.
- C. Systemets returledning, returen i Göteborgs fjärrvärmenät har en årsmedeltemperatur på 43,5 °C.

## 4.2. Koncept 1

Följande principiella skiss togs fram för koncept 1.



Figur 6. Principiell skiss för uppbyggnad av närvärmesystem, koncept 1.

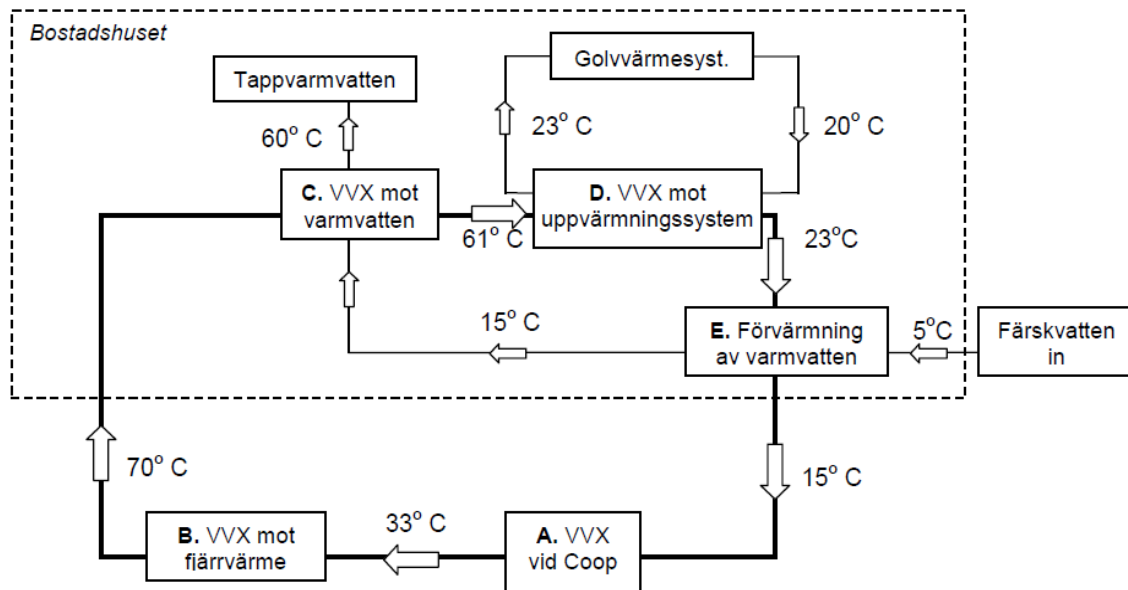
Bilden visar principiell uppbyggnad av det första systemförslaget. Temperaturerna i skissen är ungefärliga, för exakta temperaturer se Appendix 2. De olika komponenterna fungerar enligt följande:

- Närvärmesystemets vatten värmeväxlas mot spillvärmen vid Coop. Efter denna värmeväxling är temperaturen i närvärmesystemet maximalt 33°C.
- Om temperaturen i närvärmesystemet ej kommer upp i 33°C vid värmeväxlingen vid Coop sker en värmeväxling mot fjärrvärmenätet så att temperaturen blir 33°C.
- En värmepump använder närvärmen och el som energikällor för att höja temperaturen på tappvarmvattnet till 60°C.
- Närvärmen värmeväxlas mot golvvärmesystemet i bostaden.
- Det kalla färskvattnet förvärmns till cirka 15°C. Detta i en ackumulatorvattentank.

I detta system är spillvärme, fjärrvärme och elkraft energikällor för uppvärmningen. För värmepumpen tillförs elkraft och närvärme för att värma tappvarmvattnet. Fördelen med systemet är att man tar tillvara på en stor del av spillvärmen men nackdelen är att det krävs väldigt stora flöden som i sin tur kräver stora rördimensioner.

### 4.3. Koncept 2

Följande principskiss togs fram för koncept 2.



Figur 7. Principiell skiss för uppbyggnad av närvärmsystem, koncept 2.

Bilden visar principiell uppbyggnad av det andra systemförslaget. Temperaturerna i skissen är ungefärliga, för exakta temperaturer se Appendix 3. De olika komponenterna fungerar enligt följande:

- Närvärmsystemets vatten värmeväxlas mot spillvärmen vid Coop. Efter denna värmeväxling är temperaturen i närvärmsystemet maximalt 33°C.
- Närvärmsystemets vatten värmeväxlas mot fjärrvärmenätet så att temperaturen höjs till 70°C.
- Tappvarmvattnet värmeväxlas mot närvärmen så att temperaturen på tappvarmvattnet blir 60°C. Efter denna värmeväxling är temperaturen på närvärmen cirka 61°C.
- Närvärmen värmeväxlas mot golvvärmsystemet i bostaden.
- Det kalla färskvattnet förvärmns till ca 15 grader. Detta sker i en ackumulatortank.

I detta system tillförs energi för uppvärmning från spillvärmen och från fjärrvärme. Detta gör att inte lika stor mängd spillvärme kan utnyttjas som i koncept 1, eftersom spillvärmen inte har tillräckligt hög temperatur. Det medför också att fjärrvärme måste tillföras även under sommarhalvåret då tillgången på spillvärme är stor. I senare avsnitt visas beräkningar på hur stor användningen av fjärrvärme är under årets olika månader.

#### **4.4. Andra alternativ för back up-system**

I de koncept som har tagits fram fungerar fjärrvärme och värmepump som back up-system som tillför den extra energi som behövs då spillvärmen från livsmedelsbutiken inte räcker till.

Även andra energikällor skulle kunna användas som back up-system i framtiden. Detta skulle kunna vara till exempel solpaneler, bergvärme eller frånluftsvärme.

Ett annat alternativ är att utnyttja fjärrvärmenätets returledning. Denna har i dagsläget tillräckligt hög temperatur, cirka 45°C, för att värma bostäder med golvvärme. Det är positivt ur energisynpunkt att sänka temperaturen på fjärrvärmens returledning, detta för att en stor temperaturdifferens mellan framledningen och returen ger en högre verkningsgrad för fjärrvärmesystemet. Vid en utnyttjning av fjärrvärmereturen bör man dock ta hänsyn till att temperaturen på denna troligtvis kommer att sjunka i framtiden som en följd av effektiviseringar i samhället. I projektet kommer inkoppling mot fjärrvärmereturen inte att utredas vidare.



## 5. Beräkningar av energibehov samt dimensionering av komponenter

Beräkningar har utförts på respektive koncepts energibehov. Även beräkningar på systemens flöden har utförts.

### 5.1. *Energibehov för uppvärmning av tappvarmvatten*

Beräkningarna för tappvarmvattnets energibehov grundar sig på vissa antaganden. Temperaturen på det kommunala färskvattnet antas vara 5 °C. Systemet har, utifrån Boverkets regler, *Boverket* [15], dimensionerats efter en temperatur på tappvarmvattnet på 60°C. Energiförbehovet beräknas med värmekapacitetsformeln och den energi som behövs för att värma upp tappvarmvattnet beräknas till 231 kJ/kg.

Energiförbehovet för tappvarmvatten antas vara 15 kWh/m<sup>2</sup> och år. Detta har delats upp efter dygns- och månadsvariationer för att kunna jämföra det totala värmebehovet med tillgången av spillvärme. För tappvarmvattnet innebär detta endast dygnsvariationer eftersom behovet antas vara lika under hela året. Fördelning av behovet över dygnet ges genom 80/20-regeln, vilken innebär att 80 % av behovet finns på dagen och 20 % under natten. Detta ger ett dagsbehov på 1 kWh/m<sup>2</sup> per månad och nattbehov på 0,25 kWh/m<sup>2</sup> och månad, se Appendix 1. Det finns många andra sätt att beräkna tappvarmvattensbehovet över ett dygn och flera olika teorier bland annat från Svensk Fjärrvärmes hemsida, där en värmelastkurva från 1986 används som exempel, *Selinder* [18].

Tappvarmvattnet förvärms genom en ackumulatortank i båda konceptförslagen, detta görs mot returledningen i närvärmesystemet för att utnyttja så mycket energi som möjligt i närvärmesystemet. Det görs också för att få ner dess returtemperatur till en så låg temperatur som möjligt. Detta höjer temperaturen på tappvarmvattnet från 5°C till 15°C. Då kan en energimängd på cirka 2,7 kWh/m<sup>2</sup> per år utvinnas från förvärmningen. Se Appendix 2 för beräkning av detta.

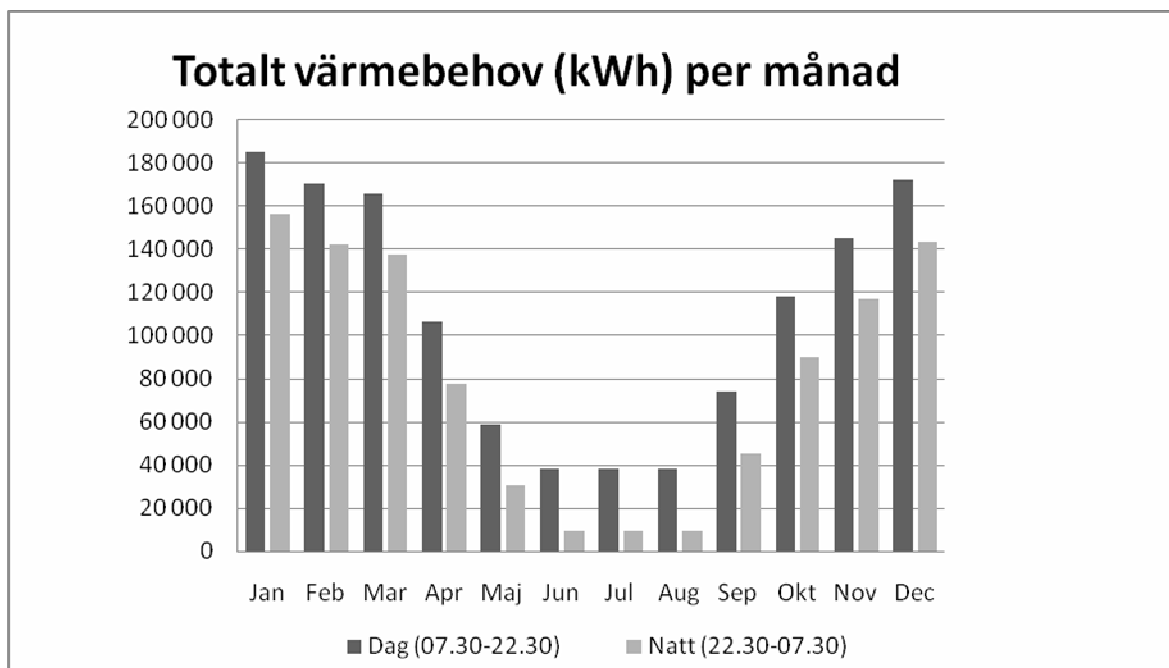
### 5.2. *Uppvärmningssystemets energibehov*

Bostäderna värms med hjälp av ett golvvärmesystem. Närvärmesystemet värmeväxlas mot golvvärmesystemet så att det begärda effektuttaget uppnås. Framledningstemperaturen i golvvärmesystemet antas vara 23°C som är en förhållandevis låg temperatur. Eftersom golvvärmesystem i allmänhet är tröga och har god värmeöverföringsförmåga antas denna låga temperatur vara tillräcklig. Temperaturer över 23°C kommer aldrig att behövas för en komfortabel inomhustemperatur i bostäderna.

Den totala energiförbrukningen har antagits vara 45 kWh/m<sup>2</sup> och år för golvvärme. Hur uppvärmningsbehovet är fördelat över årets månader beräknas med hjälp av gradtimmar. Hur gradtimmarna är beräknade beskrivs i Appendix 1. Gradtimmarna räknas om till den andel av energin som förbrukas under en viss månad. Uppvärmningsbehovet antas vara lika fördelat över hela dygnet samt noll under sommarmånaderna. Detta betyder att uppvärmning sker under perioden 15 september till 15 maj. Fördelning av uppvärmningen visas i Appendix 1.

### 5.3. *Totalt energibehov för uppvärmning och tappvarmvattnet*

Det totala energibehovet, för både tappvarmvatten och uppvärmning, för 38 000 m<sup>2</sup> blir 2 280 MWh/år, som behöver tillgodoseas. Hur fördelningen ser ut över året visas i Figur 8.



Figur 8. Totalt värmebehov för bostäderna, inkluderat energibehov för uppvärmning och tappvarmvatten.

#### 5.4. Dimensionering efter medianen energibehovet

Vissa av de ingående komponenterna i koncepten dimensioneras efter flödet i systemet. För att inte överdimensionera systemet används medianvärdet av månadsvariationerna över energibehovet. Medianvärdet motsvarar energibehovet under oktober månad som ligger på  $4,3 \text{ kWh/m}^2$  och månad, se Appendix 1. Att dimensionera efter medelvärdet skulle ge ett för lågt värde eftersom det inte finns något uppvärmningsbehov under sommaren.

Man skulle också kunna tänka sig att dimensionera efter det högsta energibehovet under året, som uppstår i januari. Detta skulle dock medföra risk för orimligt stora ingående komponenter. För att klara ett högre energiuttag kan man istället höja temperaturen i systemet med hjälp av fjärrvärme då det behövs. Exakt hur systemet ska dimensioneras beskrivs, som tidigare nämnts, inte i denna rapport.

#### 5.5. Behovsberäkningar för referensalternativet med fjärrvärme

Det referensalternativ koncepten jämförs med innebär en utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet i Göteborg därifrån man kommer att köpa in all värme, både för uppvärmningen samt för tappvarmvattnet. Den totala energiförbrukningen för detta är beräknad till  $60 \text{ kWh/m}^2$  och år. För  $38\,000 \text{ m}^2$  krävs det  $2\,280 \text{ MWh/år}$  inköpt fjärrvärme.

#### 5.6. Behovsberäkningar för koncept 1

Det kvarvarande energibehovet, efter användning av spillvärme, för koncept 1 har beräknats, i detta fall innebär det att fjärrvärme köps in vid behov samt att el förbrukas i värmepumpen.

Mellan punkt C och D i Figur 6 är temperaturen  $31,5^\circ\text{C}$ . Denna temperatur är beräknad så att systemet ska bli så optimalt som möjligt ur energisynpunkt. Se Appendix 2 för närmare beskrivning av dessa beräkningar. Utifrån temperaturkrav och energibehov för uppvärmning och tappvarmvatten beräknas flödena i närvärmesystemet. Även dessa beräkningar beskrivs i Appendix 2 och ger ett flöde i närvärmesystemet för koncept 1 på  $6,28 \text{ kg/s}$ .



### 5.6.1. Värmepumpens energibehov

Värmepumpen finns i systemet för att höja temperaturen på tappvarmvattnet. Värmefaktorn för värmepumpen antas vara 4. Köldbärarsidans temperaturer fås från framledningen i närvärmesystemet och denna är 33°C och dess returledning är 31,5°C. Värmepumpen har alltså en temperaturdifferens på ca 1,5°C att arbeta med, vilket har bedömts vara tillräcklig enligt *Karlström* [1].

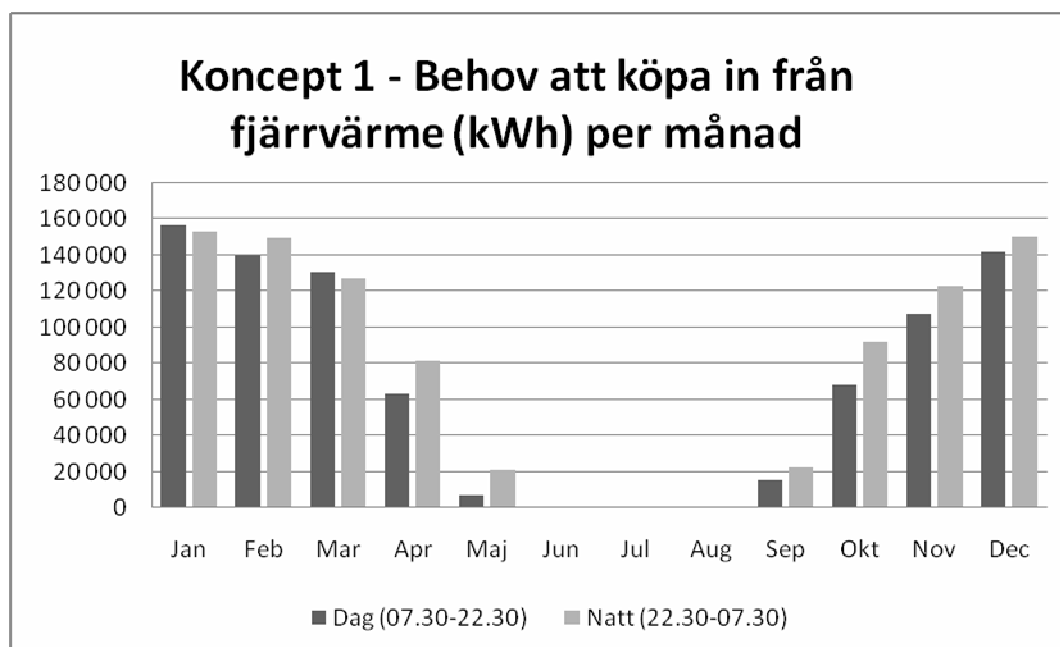
Tappvarmvattnet är 15°C efter förvärmningen och det ska värmas upp ytterligare till 60°C, vilket betyder att det finns ett behov att tillföra ytterligare energi på 12,27 kWh/m<sup>2</sup> per år. Eftersom värmefaktorn är satt till fyra, betyder det att elförbrukningen för värmepumpen kommer att ligga på 3,07 kWh/m<sup>2</sup> och år, totalt sett blir detta drygt 117 MWh/år. Resten av energibehovet hämtas ur närvärmenätet, se Appendix 2.

### 5.6.2. Energibehov från fjärrvärme

Eftersom mängden spillvärme från livsmedelsbutiken inte alltid är tillräcklig för att höja temperaturen på framledningen i närvärmesystemet behövs en viss mängd fjärrvärme för att täcka detta behov.

Fjärrvärmebehovet är summan av behovet av energi från närvärmesystemet för tappvarmvattnet samt uppvärmningssystemet. Den energi tappvarmvattnet kräver från närvärmesystemet i värmepumpen är det totala energibehovet för tappvarmvattnet subtraherat värmepumpens elförbrukning samt den energi som tillförs i förvärmningen. Energibehovet för uppvärmning redovisas i Appendix 1 och det är det samma som den energimängd uppvärmningssystemet kräver från närvärmesystemet.

Det totala behovet jämförs med tillgången på spillvärme och detta ger det kvarvarande behovet som behöver köpas in från fjärrvärmen med hänsyn tagen till dygns- och årsvariationer, se Appendix 2.



Figur 9. Mängd fjärrvärme som behöver köpas in för koncept 1.

I ovanstående diagram visas det kvarvarande energibehov som behövs från fjärrvärme för att klara av det totala energibehovet, efter att närvärmesystemet har utnyttjat maximal energi från

spillvärmen. Totalt behövs 1 820 MWh fjärrvärme per år köpas in för att täcka de behov en bostadsyta på 38 000 m<sup>2</sup> kräver.

### **5.6.3. Förvärmning**

Förvärmningen som sker i ackumulatortanken ses här som en avlastning från den totala energiförbrukningen för koncept 1 och koncept 2. Energiåtgången för uppvärmning och tappvarmvatten är fortfarande den samma som för referensalternativet, men då förvärmningen höjer den totala verkningsgraden i systemet och även för Coops kylsystem, medför detta att den totala mängden energi som behöver köpas in blir mindre.

Detta betyder alltså att koncepten har en lägre total energiförbrukning av spillvärme, fjärrvärme eller el.

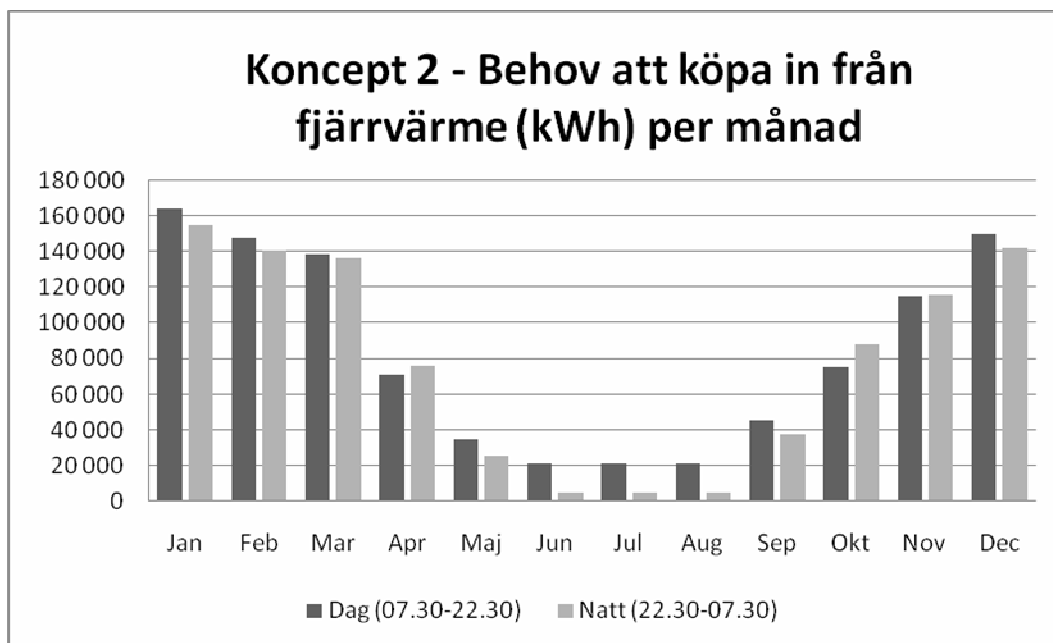
### **5.7. Behovsberäkningar för koncept 2**

Mellan punkt C och D i Figur 7 är temperaturen 61°C. Denna temperatur är beräknad så att systemet ska bli så optimalt som möjligt ur energisynpunkt. De beräkningar som gjorts beskrivs i Appendix 3. Utifrån temperaturkrav och energibehov för uppvärmning och tappvarmvatten beräknas flödena i närvärmesystemet. Beräkningarna beskrivs i Appendix 3 och ger ett flöde i närvärmesystemet för koncept 2 på 1,4 kg/s.

Energibehovet för tappvarmvattnet är efter förvärmningen 12,27 kWh/m<sup>2</sup> och år och uppvärmningsbehovet för golvvärmen är som tidigare nämnts 45 kWh/m<sup>2</sup> och år. Med hänsyn tagen till dygns- och årsvariationer har en behovstabell tagits fram för det totala uppvärmningsbehovet, se Appendix 1. Närvärmesystemet i koncept 2 är ett högre tempererat system än det i koncept 1, med en framledningstemperatur på 70°C. Fjärrvärme kommer därför alltid att behöva tillföras. Detta för att spillvärmens temperatur som högst är 33°C.

Beräkningarna för hur mycket fjärrvärme som behövs är gjorda i två steg. Först beräknas den mängd energi som kan tillföras under 33°C utifrån värmekapacitetsformeln och energibevaringsprincipen, för beräkning av detta se Appendix 8. Beräkningarna ger att 33 % av energin kan tillföras genom värmeväxling mot spillvärmen. Därefter beräknas andelen fjärrvärme att köpa in för att höja temperaturen på hela närvärmesystemet från 33°C till 70°C, vilket alltså motsvarar 67 % av totala energibehovet.

Då de två beräkningarna gällande inköp av fjärrvärme adderas fås det totala fjärrvärmebehovet med dygns- och årsvariationer, se Appendix 3 och Tabell 3.



**Figur 10. Mängd fjärrvärme som behöver köpas in för koncept 2.**

Den totala mängden fjärrvärme som behöver köpas in för systemet med bostäder på 38 000 m<sup>2</sup> är 2 007 MWh per år.



## 6. Ekonomisk kalkyl

De ekonomiska aspekterna redovisas i en Life Cycle Cost-analys, LCC, där kostnaderna för en utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet jämförs med de två olika koncepten som har blivit framgenererade och bearbetade. I den givna LCC-mallen från 2008 från Älvstranden Utveckling AB har vissa variabler redan blivit medtagna som grundantaganden. LCC-analysen har gjorts på en tidsperiod på 30 år med en kalkylränta på 7 % per år. Vid beräkning av totala LCC-kostnaden över perioden används nuvärdemetoden.

### 6.1. Investeringskostnader

De olika investeringsposterna som har antagits och beräknas har avgränsats till uppskattningar av de delarna som skiljer sig mellan en utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet och de två olika konceptförslagen. Dessa utgörs av

- Utbyggnad av fjärrvärmenätet för referensen
- Utbyggnad av närvärmenätet för koncept 1 och 2
- Värmeväxlare mot spillvärme och mot fjärrvärmen för koncept 1 och 2
- Värmeväxlare mot tappvarmvatten för referensen och koncept 2
- Värmepump för tappvarmvatten för koncept 1
- Värmeväxlare mot uppvärmningssystem i bostäder för referensen och koncept 1 och 2
- Anslutningsavgift för fjärrvärme för referensen
- Ackumulatortank för förvärmning av tappvarmvatten för koncept 1 och 2

#### 6.1.1. Utbyggnad av fjärrvärmenätet

Prisuppskattning för en utbyggnad av fjärrvärmenätet, enligt beskrivning för referensalternativet i 4.1, har fått genom kontakt med E.ON. Kalkylpriset för nedgrävning i asfaltmiljö är uppskattat till 6 000 kr/m, med 500 meter till bostadshuset från livsmedelsaffären ger detta en totalkostnad på 6 000 000 kr för framledning och returledning. Kostnaden för framdragning från närmsta befintliga fjärrvärmesystem är inte medräknad här, denna antas vara samma för referensen som för de två koncepten. Källa *Enström* [19].

Ett annat kostnadsförslag för utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet i Göteborg kommer från kontakt med Mark & EnergiByggarna AB. Det priset ligger på 3 500 kr per meter inklusive material och schaktgrävning. För inkoppling av fjärrvärmenätet till bostadshuset, genom värmewäxling mot tappvarmvattnet och mot uppvärmningssystemet, skulle kostnaden för dessa ligga runt 20 000 kr per värmewäxlare exklusive styrsystem enligt *Odell* [20].

I denna rapport används det senare kostnadsförslaget, detta kommer från ett lokalt företag och antas känna till förutsättningarna bättre i Göteborgsområdet.

#### 6.1.2. Utbyggnad av närvärmenätet

För schaktgrävning för utbyggnad av närvärmesystemet skulle priset ligga på 1 500 kr per meter inräknat schaktgrävning och arbete i Göteborgsområdet enligt *Odell* [20].

Närvärmenätets rörsystem skulle bestå av isolerade fjärrvärmerör med larmsystem, skarvmuffar och olika slags vinkelböjar. För de två koncepten skulle isolerade dubbelrör passa bäst, om markförhållandena tillåter, då färre skarvar behövs och kostnaderna för schaktgrävning blir lägre. Standardlängden för samtliga rör är 12 m, för 500 meter behövs alltså 42 stycken rörlängder.

En skarvmuff behövs i varje skarv mellan längderna och en behövs för varje ytterligare rördel. Igenomsnitt skulle en muff per rörlängd behövas. Källa *Landström*[21].

Eftersom nedgrävningsvägen för närvärmesystemet i dagsläget inte är bestämd så är kostnader för vinkelböjar inte medräknade i denna rapport, kostnaderna för dessa bedöms inte vara avgörande för valet av koncept.

För koncept 1 skulle en rördiameter behövas på 114,3 mm, se Appendix 6 för beräkning av detta. Ytterdiametern på det isolerade dubbelröret blir då 315 mm. Kostnaden för en rörlängd med dessa dimensioner ligger på 7332 kr. Priset per skarvmuff ligger på 1601 kr styck, inklusive montage och skumning. Utöver detta kommer kostnad för svetsning av stålet på 650 kr per skarvmuff.

Totalsumman för rördelar i koncept 1 blir alltså  $42 \cdot (7332 + 1602 + 650) = 402\,528$  kr.

För koncept 2 är en rördiameter på 48,3 mm nödvändig i närvärmesystemet, se Appendix 6 för beräkning av detta. Vid val av isolerat dubbelrör kommer den totala ytterdiametern på röret ligga på 160 mm. Kostnaden per längd blir då 2837 kr. Skarvmuff inklusive montage och skumning kostar 784 kr styck. Utöver detta tillkommer svetsning av stålet på 450 kr per skarvmuff.

Totalsumman för rördelar i koncept 2 blir alltså  $42 \cdot (2837 + 784 + 450) = 170\,982$  kr.

Källa för samtliga rördelskostnader *Landström* [21].

### **6.1.3. Värmeväxlare mot spillvärme**

Enligt *Olsson O.* [22] på KF Fastigheter AB skulle värmeväxlare mot spillvärmerna vid Coop kosta cirka 100 000 kr för vardera av koncept 1 och 2. Detta är baserat på liknande system på andra ställen. Denna värmeväxlare kommer att arbeta med köldmediet i Coops kylsystem, glykol och vatten, på primärsidan och med vattnet i närvärmesystemet på sekundärsidan. Samtliga resterande värmeväxlare arbetar med vatten på både primär- och sekundärsida vilket gör att de är betydligt billigare.

### **6.1.4. Värmeväxlare mot fjärrvärme, golvvärme och tappvarmvatten**

Prisuppgifter för värmeväxlare har begärts från Alfa Laval Corporate AB. Prisuppgifter för respektive värmeväxlare återfinns i kommande tabellen. Värmeväxlarnas storlekar är beräknade utifrån givna och antagna temperaturer, samt beräknade massflöden för respektive koncept. De kursiva flödena är de i närvärmesystemet och dessa beräknas i Appendix 2 och 3. Värmeväxlarna mot golvvärmesystemet och tappvarmvattnet är beräknade för varje hus, det totala flödet i närvärmesystemet är därför dividerat med 5.

Fjärrvärme-, golvvärme- och tappvarmvattensystemens flöden är beräknade genom att en energibalans är uppställda över respektive värmeväxlare. Detta är gjort med hjälp av värmekapacitetsformeln, förutsatt att verkningsgraden i värmeväxlarna är 100 %.

Tabell 1. Priser på värmeväxlare utifrån temperaturer och flöden, källa *Mezher* [23]

	Primärsida			Sekundärsida			Kostnad (kr/styck)	Antal (st)	Summa (kr)
	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>ut</sub> (°C)	Flöde (kg/s)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>ut</sub> (°C)	Flöde (kg/s)			
<b>Koncept 1</b>									
Mot fjärrvärme	90	40	1,06	25	33	6,6	22000	1	22000
Mot golvvärmesystem	31	23	1,32	23	20	3,52	18300	5	91500
									<b>113500</b>
<b>Koncept 2</b>									
Mot fjärrvärme	90	40	1,26	70	25	1,4	19600	1	19600
Mot tappvarmvatten	70	61	0,28	15	60	0,06	5600	5	28000
Mot golvvärmesystem	61	23	0,28	20	23	3,55	16500	5	82500
									<b>130100</b>

### 6.1.5. Anslutningsavgift för fjärrvärme

Kostnaden för anslutning av fjärrvärmenätet uppskattas till 40 kr/m<sup>2</sup> bostadsyta ovan mark, enligt *Blixt* [13]. För samtliga alternativ tillkommer denna kostnad, den gäller för anslutning till Göteborgs Energi AB:s fjärrvärmenät och baseras på kostnader i liknande områden.

### 6.1.6. Värmepump

Koncept 1 har värmepump för uppvärmning av tappvarmvattnet. Prisuppgifter för denna kommer från IVT Värmepumpar. Utifrån temperatur- och energikrav har fås följande alternativ: En värmepump av modellen IVT Greenline G+22 som drar 9 kW i elförbrukning och ger ungefär 40 kW i värme. Detta är för en köldbärare på 30°C i framledningstemperatur och som då ger 65 grader ut till varmvattensberedning. Denna värmepump har en värmefaktor fyra vilket innebär att en fjärdedel av energin tillförs i form av el och tre fjärdedelar i form av värme från närvärmesystemet, källa *IVT Värmepumpar* [24].

För 25 lägenheter behövs en slingtank på 750 liter och en IVT Greenline G+22 värmepump för att tillfredsställa varmvattensbehovet. För hela systemet på 38 000 m<sup>2</sup> som antas innehålla cirka 380 lägenheter behövs således 16 stycken värmepumpar och 16 stycken slingtankar. Slingtanken antas ha 6 stycken tappvarmvattenslingor. Priset för IVT Greenline G+22 är 87 900 kr brutto och för slingtanken på 750 liter 28 000 kr brutto. Utöver detta tillkommer installations- och materialkostnader som uppskattas till 1,5 gånger värmepumpspriset. Totalt, för 16 stycken värmepumpar och slingtankar, inklusive installation och material, kommer investeringen att bli drygt 2,8 miljoner kr, källa *IVT Värmepumpar* [24].

### 6.1.7. Förvärmning i ackumulatortank:

Akkumulatortankar för förvärmningen av tappvarmvattnet ska värma tappvarmvattnet från 5°C till 15°C uppskattas till sammanlagt tre stycken 3 000 liters tankar per hus, dessa kostar 24 000 kr styck. För varje ackumulatortank tillkommer varmvattenslingor på sammanlagt 60 meter per tank, dessa kostar 30 000 kr, samt kulvertslingor på 15 meter per tank för 5 500 kr styck. Den sammanlagda kostnaden per tank blir då 59 500 kr, och för samtliga fem hus med tre tankar i varje 892 500 kr. Priser enligt *Holmberg* [25].

## 6.2. Reinvestering och löpande drift

Då kostnader för reinvestering och utbyte är komplexa att anta har en avgränsning gjorts mot detta. De framtida kostnaderna är svåra att uppskatta och kommer inte ha en betydande roll vid valet av koncept. Kostnaderna för den löpande driften under perioden förmodas vara

högre för de två koncepten, detta kan vara en felkälla för den totala kostnadskalkylen. Inga kostnader för reinvestering och underhåll tas med i LCC-analysen.

Eventuella hyresintäkter och hyresbortfall tas inte med i LCC- analysen. Dessa kostnader och eventuella intäkter förväntas inte vara avgörande i val av och jämförelse mellan koncepten.

### **6.3. Energikostnader**

I LCC-analysen beräknas kostnader för användning av fjärrvärme samt elkraft. För kostnadsprognoserna över elen är den årliga realprisökningen 10 % och för fjärrvärmen är den årliga realprisökningen 5 %. Elpriset har en högre realprisökning eftersom den ofta följer marknadspriset medans fjärrvärmepriset oftare följer konsumentprisindex och får därför en lägre ökning. Dessa prisökningsparametrar har använts för de beräknade prognoser över energikostnaderna som gjorts i LCC-analysen. Källa *Älvstranden Utveckling AB* [26].

#### **6.3.1. Fjärrvärmekostnader**

Fjärrvärmepriset för samtliga alternativ är beräknade utifrån Göteborg Energi AB:s prissättning för 2009. Fjärrvärmepriset varierar över månaderna och det består av en energidel och en effektdel.

Energidelen beräknas månadsvis genom mätning av energiförbrukningen under månaden multiplicerat med energipriset för aktuell månad.

Effektdelen består av dels ett fast pris och dels ett rörligt pris. Det fasta priset fås ur en tabell och beror av medelvärdet av de tre högsta dygnsmedeleffekterna under det senaste året. Här antas den prisgrundande medeleffekten vara dygnsmedelvärdet av fjärrvärmeförbrukningen i januari. Den rörliga delen av effektpriset beräknas genom att dygnsmedeleffekten multipliceras med en given rörlig effektkostnad. Den fasta och den rörliga delen adderas för ett år och divideras med antalet dagar för ett år. Effektpriset kan sedan beräknas för varje månad genom att multiplicera priset per dag med motsvarande dagar för varje månad. Källa *Göteborg Energi AB* [27].

För referensalternativet har fjärrvärmepriset beräknats med en dygnsmedeleffekt på 474 kW. Den fasta kostnaden för effektpriset blir då 18 500kr/år och den rörliga delen är satt till 580 kr/kW. Den totala kostnaden för fjärrvärme per år för utbyggnad av fjärrvärmenätet blir cirka 1 141 000 kr, se Appendix 7.

För koncept 1 är dygnsmedeleffekten satt till 453 kW. Effektkostnaden räknas på samma sätt som tidigare nämnt med samma fasta och rörliga kostnader. Den totala kostnaden för fjärrvärmen blir då cirka 1 034 000 kr per år, se Appendix 7.

För koncept 2 är dygnsmedeleffekten beräknad till 466 kW och samma kostnad för det fasta och det rörliga priset gäller också här. Den totala fjärrvärmekostnaden blir cirka 1 071 000 kr per år, se Appendix 7.

På grund av den ändringen som Göteborg Energi AB har gjort av sin prismodell 2009 kan inte uträkningarna av fjärrvärmepriset föras in i den färdiga LCC-mallen så dessa har beräknas separat. För att få den korrekta totalsumman av fjärrvärmepriset är insättningen av fjärrvärmeförbrukningen felaktigt med den beräknade förbrukningen. Detta är dock något som inte ska påverka resten av analysen i någon stor omfattning.

#### **6.3.2. Elkraftskostnader**

Kostnaden för värmepumpens elförbrukning i koncept 1 är beräknad med elpris från DinEl i maj 2009. Priset avser ett medelklasspris för företaget med rörligt pris. Detta pris är på 79,3



öre/kWh inklusive energiskatt, det tillkommer även en nätavgift som uppskattas till cirka 25 % av det totala elpriser per kilowattimme. För el märkt Bra Miljöval tillkommer 1,5 öre/kWh, exklusive moms, enligt *Palviainen* [28]. Totalt blir detta 1,057 kr/kWh för den icke miljömärkta elen och 1,072 kr/kWh för den miljömärkta elen exklusive moms. Den totala elkostnaden för koncept 1 blir cirka 123 000 kr per år med ej miljömärkt el och cirka 125 000 kr per år med miljömärkt el. Kostnaden för miljömärkt el är den som kommer att analyseras i rapporten, se Appendix 7.

### **6.3.3. Kostnad för spillvärmens från Coop**

Det är i dagsläget mycket svårt att avgöra vad priset för spillvärmens från Coop skulle kunna ligga på. Det som kan konstateras är att priset kommer att vara betydligt lägre än priset för fjärrvärmens eftersom spillvärmens har en lägre temperatur. Senare i rapporten utförs en analys över spillvärmepriiset, i övriga beräkningar är inga kostnader för spillvärmens inräknade.



## 7. Konsekvenser ur miljöperspektiv

Miljöaspekten är en viktig del av arbetet för en hållbar utveckling, där pratar man ofta om den som det ekologiska perspektivet. I detta projekt görs endast beräkningar på koldioxidutsläppen för el- och fjärrvärmeanvändning, självklart påverkas miljön även på annat sätt men här bedöms att den största påverkan kommer från just koldioxiden och det är den som gör störst skillnad mellan de olika alternativen. Energiförbrukningen som beskrivs i Kapitel 5 ligger till grund för dessa beräkningar.

### 7.1. Allokering av emissioner

För processer som resulterar i flera olika produkter finns det meningsskiljaktigheter kring hur koldioxidutsläppen för de olika produkterna ska fördelas. Det kan till exempel gälla kraftvärmeverk som producerar både fjärrvärme och el eller industriella processer där spillvärme uppstår och som sedan säljs som fjärrvärme.

Koldioxidutsläppens fördelning mellan produkterna kan beräknas med hjälp av ett antal olika metoder. Det finns idag ingen standard för vilket metod som bör användas och ingen av metoden är mer korrekt än de andra men resultatet är ofta starkt beroende av vilken metod som används. Nedan beskrivs tre olika metoder som kan användas för beräkning av koldioxidutsläpp.

- *Allokering efter primärenergi*  
Vid uppdelning utifrån primärenergi tar man hänsyn till hur mycket icke förnyelsebart bränsle som har gått åt till produktionen. Inget bidrag från koldioxidutsläppen tillräknas spillvärme med denna metod.
- *Allokering efter energiinnehåll*  
Koldioxidutsläppen delas upp efter hur stort energiinnehåll processens olika produkter har. Om, till exempel, ett kraftvärmeverk producerar 70 kWh el och 30 kWh fjärrvärme kommer 70 % av koldioxidutsläppen tillräknas elen och resterande 30 % fjärrvärmens.
- *Alternativproduktionsallokering*  
Vid uppdelning efter alternativproduktion tas hänsyn till hur effektivt produkten i fråga skulle ha kunnat produceras. För exemplet med kraftvärmeverk tar man här hänsyn till hur mycket el man skulle ha kunnat producera om endast el hade producerats och på samma sätt för fjärrvärmens.

Ovan beskrivna fakta kommer från *Romanus* [29] och *Svensby* [30].

### 7.2. Marginal- eller medelvärden för koldioxidutsläpp

För koldioxidutsläppen kan antingen marginal- eller medelvärden användas. Marginalvärden visar hur stora utsläpp den sist producerade elen eller fjärrvärmens orsakade. Medelvärden visar medelvärdet av utsläppen från den totala el- eller fjärrvärmeproduktionen under en viss tidsperiod. Värdet för marginalproduktion ger en indikation för hur koldioxidutsläppen skulle förändras vid till exempel en utbyggnad av nya bostadsområden. Detta gör att marginalvärden alltid är högre än medelvärden.

Vid miljöbedömningen i projektet används medelvärden för koldioxidutsläpp. Detta motiveras med att de nya bostäderna kring Backaplan kommer att innebära en utbyggnad och förändring av staden.

När det gäller fjärrvärme kommer antagligen distributionssystemet och produktionssätten för denna att förändras under husens *faktiska* livstid. En utbyggnad kring Backaplan skulle kunna påverka fjärrvärmenätet eftersom detta är lokalt, därför används medelvärden för koldioxidutsläppen från fjärrvärmen.

Elproduktionen är inte lika lokal och kommer därför inte att påverkas på samma sätt som fjärrvärmen av utbyggnaden på Backaplan, däremot kommer antagligen även elproduktionssystemet att byggas ut under husens livstid. Idag går utvecklingen mot mer miljövänliga elproduktionsmetoder som antagligen kommer sänka koldioxidutsläppen från den producerade elen. Det man också bör ta hänsyn till är att husen på Backaplan ersätter annan befintlig verksamhet i området, elnätet är redan utbyggt där och det är mycket svårt att uppskatta om elanvändningen i området faktiskt kommer att innebära en ökad belastning på elnätet. Därför anses här att medelvärden för elproduktionens koldioxidutsläpp ger den mest rättvisa bilden av miljöpåverkan.

### 7.3. Miljöbedömning av fjärrvärme

Olika aktörer på energimarknaden beräknar koldioxidutsläppen från fjärrvärmeproduktionen i Göteborg med olika metoder. Hur dessa beräkningsmetoder samt dess resultat skiljer sig från varandra visas i tabellen nedan.

Tabell 2. Skillnaden mellan olika aktörers beräkningsmetoder, källa *Romanus* [29] och *Svensby* [30]

Produktions- metod Beräk- ningsmetod	Göteborg Energi AB:s produktion	Spillvärme från raffinaderier	Avfalls- förbränning	Pumpel	CO <sub>2</sub> -utsläpp, fjärrvärme- produktion 2008
Göteborg Energi AB:s beräkning	Göteborg Energi AB:s beräkning, inkl. pumpel	Inget bidrag	Inget bidrag	Inkluderat i beräkningen för Göteborg Energi AB:s produktion	15 g/kWh
Allokering efter energiinnehåll	Allokering efter energiinnehåll	Allokering efter energiinnehåll	Allokering efter energiinnehåll	Allokering efter energiinnehåll för Göteborg Energi AB:s egenproducerade el	92 g/kWh
IVL:s metod	Alternativ- produktions- allokering	Allokering efter energiinnehåll	Alternativ- produktions- allokering	Allokering efter energiinnehåll för Göteborg Energi AB:s egenproducerade el	77 g/kWh

I projektet används värden som är beräknade enligt IVL:s metod. IVL, svenska miljöinstitutet, är ett fristående och icke vinstdrivande forskningsinstitut. Resultaten från deras beräkningar används eftersom de kan anses vara oberoende i frågan. Enligt IVL ska man i första hand använda sig av alternativproduktionsallokering och i andra hand av allokering av energiinnehåll. Deras metod strävar efter att ge ett helhetsperspektiv för beräkning av koldioxidutsläpp. I projektet kommer alltså fjärrvärme anses bidra till koldioxidutsläpp på 77 g/kWh, källa *Romanus* [29] och *Svensby* [30].

### 7.4. Miljöbedömning av spillvärmen från Coop

I rapporten tillräknas inga koldioxidutsläpp spillvärmen från Coop. Detta motiveras med att spillvärmen från Coop anses vara äkta då de i första hand återanvänder värmen inom den egna byggnaden och ingen extra el tillförs för att producera spillvärmen. Trots detta bör en koldioxidbedömning av spillvärmen göras för att få en helt korrekt bedömning. Då denna

bedömning görs måste hänsyn tas till att spillvärmen är lågtempererad och kan därför anses ha ett lägre värde.

## 7.5. Miljöbedömning av el

Den el som används i rapporten kommer från företaget DinEl. Enligt dem är medelvärdet för koldioxidutsläppen för deras svenska elmix 114 g/kWh och medelvärdet för deras miljöval 0 g/kWh, enligt *DinEl* [31]. Enligt *Romanus* [29] och *Svensby* [30] är medelvärdet för koldioxidutsläppen från DinEl:s miljöval 0,4 g/kWh. Deras beräkningar grundar sig på värden från Naturskyddsföreningen och det är detta värde som kommer att användas vid miljöbedömning. Anledningen till att DinEl uppger 0 g/kWh är att de avrundar 0,4 till närmsta heltal som då blir noll, *Romanus* [29] och *Svensby* [31].

I rapporten visas två scenarion för koldioxidutsläppen från koncept 1, dels ett med medelvärden för miljömärkt el och dels ett med medelvärden för svensk elmix. Älvstranden Utveckling AB köper endast in miljömärkt el och denna el kommer att användas i en del av husen på Backaplan. Allt fler företag väljer att köpa in miljömärkt el och därför kan en stor vikt läggas vid scenariot med den miljömärkta elen.

## 7.6. Årsvariationer för koldioxidutsläpp

Koldioxidutsläppen från el och fjärrvärme varierar över året, till exempel består fjärrvärmen under sommarmånaderna till största del av spillvärmen, men på vintern behöver mer energi produceras och då används produktionsmetoder som i större utsträckning bidrar till koldioxidutsläpp. För att bedömningen av koldioxidutsläppen ska bli helt korrekt kan även beräkningar med hänsyn till årsvariationerna göras. Detta kommer inte att ingå i projektet då det anses att medelvärdet för koldioxidutsläppen ger tillräckligt bra värden för att få en uppfattning om miljöpåverkan.

## 7.7. De olika alternativens koldioxidutsläpp

Med hjälp av de metoder som beskrivs ovan har en miljöbedömning av koncept 1, koncept 2 och referensalternativet gjorts. Bedömningen grundar sig alltså på energianvändningen i de olika systemen och de får följande värden på koldioxidutsläppen:

Tabell 3. De olika alternativens koldioxidutsläpp utifrån energiförbrukning

	Energi-förbrukning fjärrvärme [kWh/m <sup>2</sup> , år]	Energi-förbrukning el [kWh/m <sup>2</sup> , år]	Koldioxidutsläpp [g/m <sup>2</sup> , år]	
			Fjärrvärme: 117g/kWh	
			El miljöval: 0,4 g/kWh	Svensk elmix: 77 g/kWh
Referens	60	0	4620	4620
Koncept 1	48	3,2	3540	3860
Koncept 2	53	0	3920	3920



## 8. Resultat och analys

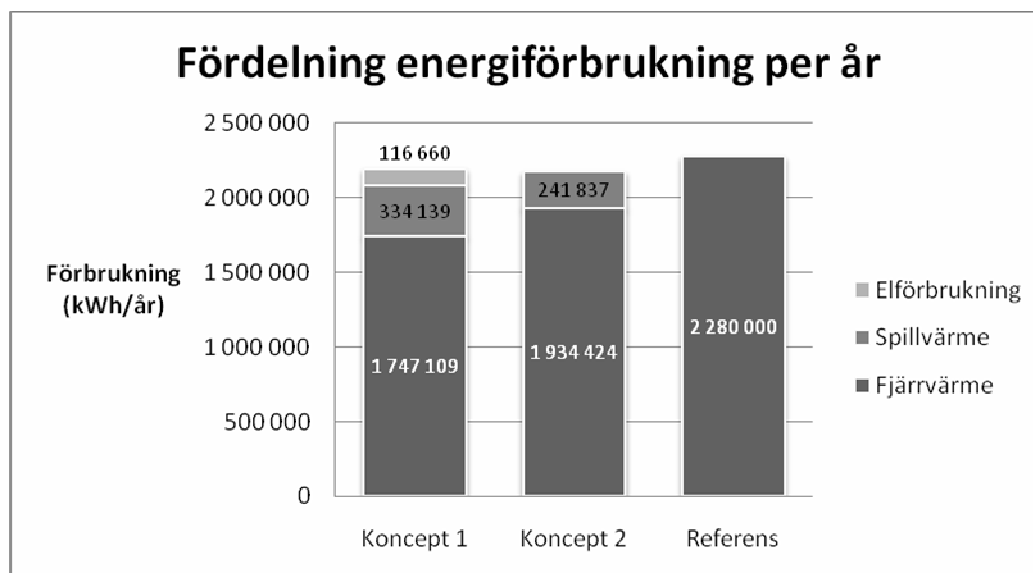
I detta kapitel presenteras och analyseras sammanställda resultat från tidigare delar av rapporten, se Kapitel 5, 6 och 7. Eftersom den här rapporten är en förstudie och samtliga beräkningar har genomförts med flertalet antaganden så bör resultaten över energianvändning, kostnader och koldioxidkonsekvenser ses som grova uppskattningar.

### 8.1. Energianalys

Den totala energiförbrukningen per år har beräknats för varje alternativ, se Figur 8, 9 och 10. Resultatet av beräkningarna visar att de båda koncepten, det med spillvärme och värmepump samt det med endast spillvärme, har en något lägre total energiförbrukning jämfört med referensalternativet. Detta beror på att tappvarmvattnet förvärms i de två koncepten.

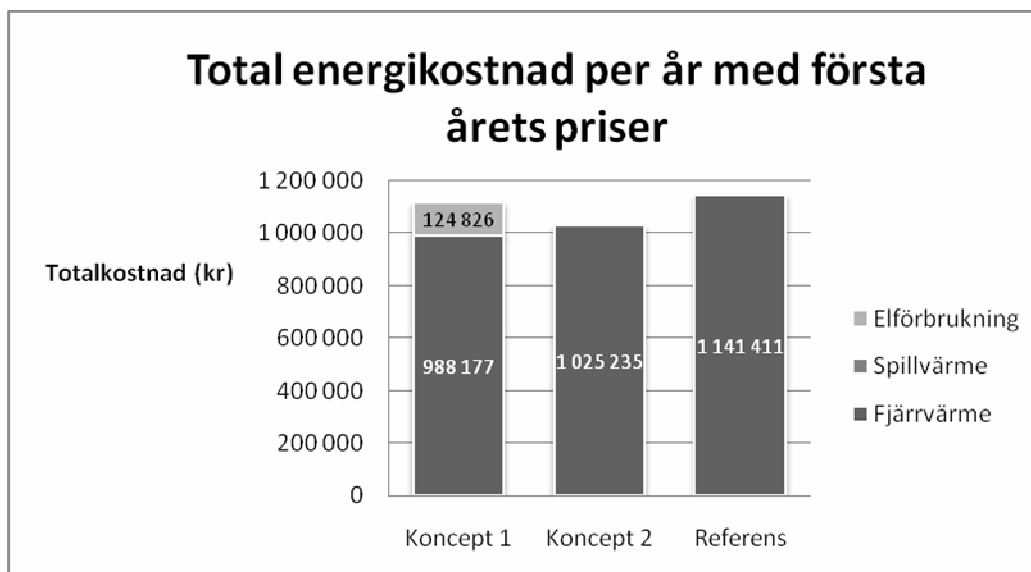
För koncept 1, se Figur 6, står spillvärmen för cirka 15 % av den totala energiförbrukningen och elförbrukningen av värmepumparna motsvarar cirka 5 %. Resterande 80 % kommer från fjärrvärme.

I koncept 2, se Figur 7, står spillvärmen för cirka 12 % av den totala förbrukningen. Resterande förbrukning kommer från fjärrvärme. På grund av ett högre temperaturkrav kan inte lika mycket spillvärme tas till vara i koncept 2 som i koncept 1.



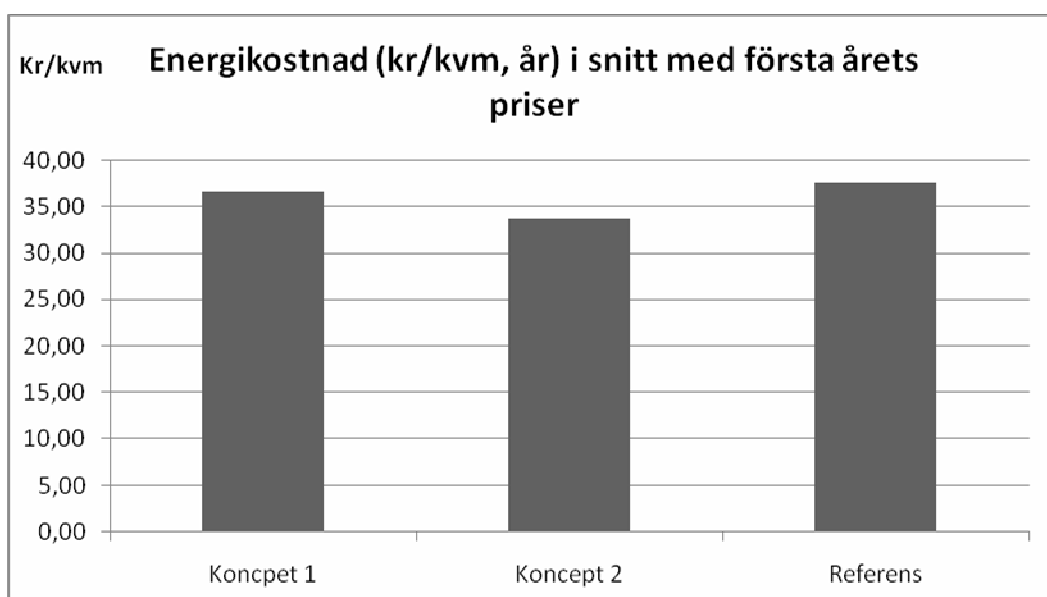
Figur 11. Fördelning av energiförbrukning för de olika alternativen.

Energikostnaderna för de olika alternativens energiförbrukning är beräknad som summan av det första årets fjärrvärme- och elkostnader. De olika alternativen skiljer sig inte markant från varandra. Dock är referensalternativet det dyraste då det alternativet har störst andel fjärrvärme med en energikostnad på 1,14 miljoner kronor per år. Därefter kommer koncept 1 som det näst dyraste alternativet på grund av att elkostnaden står för cirka 11 % av den totala energikostnaden. Energikostnaden för koncept 1 ligger på 1,11 miljoner kronor per år. Koncept 2 har den lägsta energikostnaden på 1,06 miljoner kronor per år, se Figur 12.



**Figur 12.** Diagram över den totala kostnaden för energiförbrukningen för de olika alternativen med första årets priser. För el används pris för miljömärkt el. Kostnaderna är inklusive moms.

Samma diagram med första årets kostnader per kvadratmeter och år visas i Figur 13.

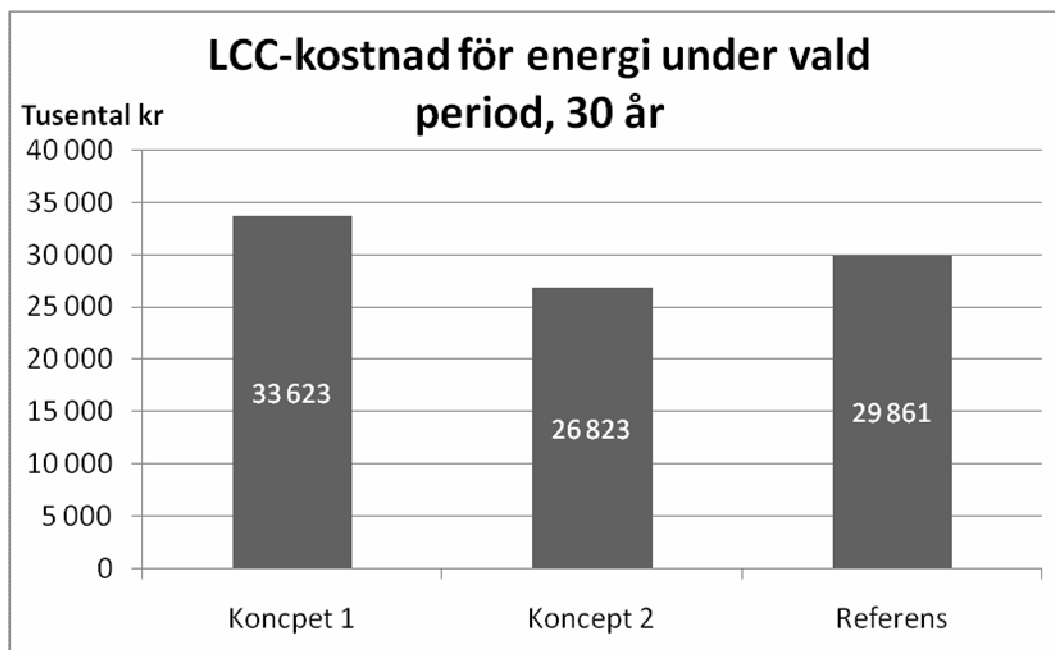


**Figur 13.** Energikostnad per kvadratmeter och år med första årets priser, inklusive moms.

Genom att beräkna energikostnaderna i en LCC-analys under en 30-års period kan en prognos för energiförbrukningen uppskattas. Denna analys förstärker skillnaderna i kostnad mellan alternativen. Konzept 2 är det alternativ med den lägsta kostnaden för energiförbrukning. Referensalternativet är det dyraste alternativet givet de energipriser som tidigare nämnts, det skiljer dock inte så mycket mellan referensen och koncept 1.

I analysen är inte kostnad för spillvärmens från Coop inräknad. Priset för denna är i dagsläget mycket svår att uppskatta, men den kommer troligtvis att ha ett betydligt lägre pris per kilowatt än fjärrvärmens i och med att den är svårare att nyttiggöra. Detta på grund av att den är lågtempererad och inte har lika högt energivärde.

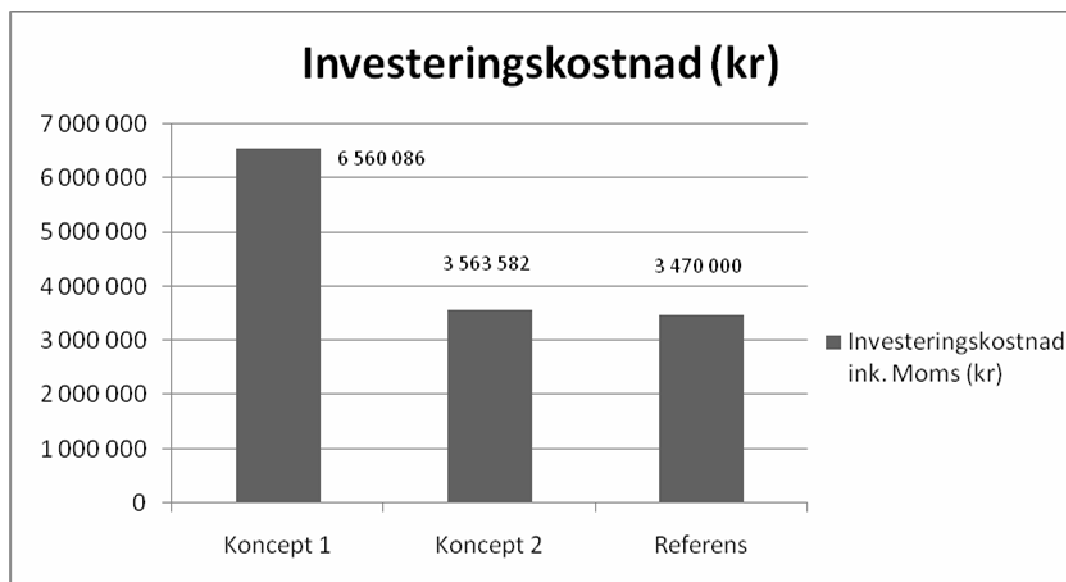




Figur 14. Diagram över kostnaden för energiförbrukningen över en 30-års period, inklusive moms.

## 8.2. Investeringskostnader och övriga kostnader

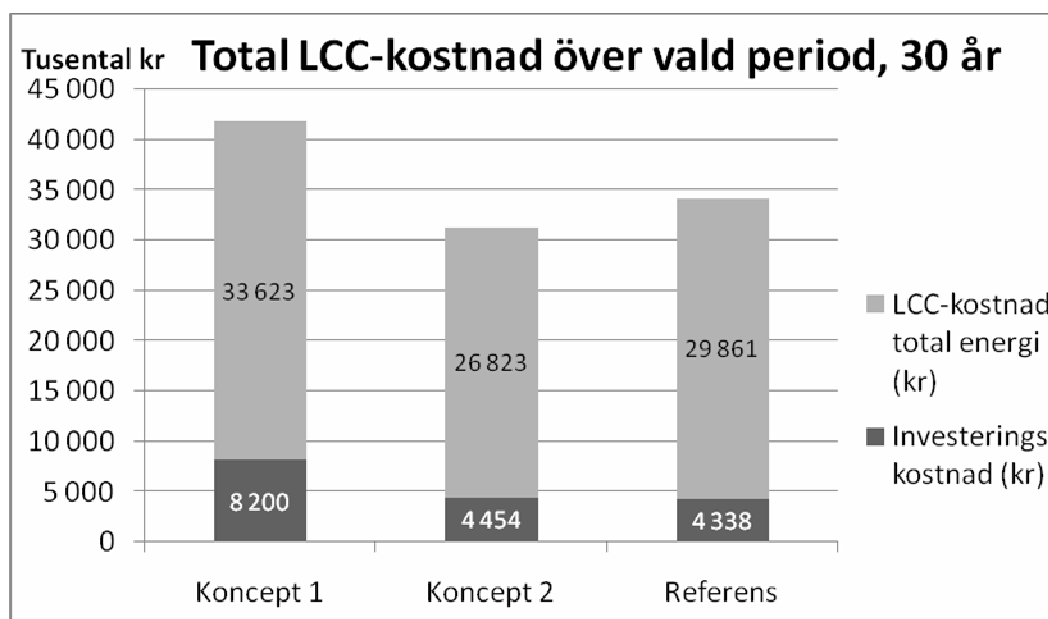
Investeringskalkyl har genomförts utifrån de antaganden och förenklingar som tidigare finns beskrivna, se Kapitel 6. Efter beräkningar har en investeringskalkyl gjorts för samtliga alternativ och redovisas i diagrammet nedan.



Figur 15. Diagram över investeringskostnaden för de olika alternativen.

Enligt den kalkyl som har utförts är koncept 1 dyrast, ut investeringssynpunkt, av de tre alternativen, se Figur 15. Detta beror främst på investeringskostnad för värmepumparna och den ökade kostnaden som tillkommer för större rördimension. Referensalternativet är billigast ur investeringssynpunkt givet tidigare nämnda antaganden. Genom en total LCC-analys för hela perioden kan en total kostnad jämföras, se Figur 16. I LCC-analysen används nuvärdesmetoden för beräkning av total kostnad över hela perioden. Även här har koncept 2

den lägsta kostnaden. Koncept 1 har en betydligt högre totalkostnad för energin vilket beror på att realprisökningen för el är betydligt högre än den för fjärrvärmens.



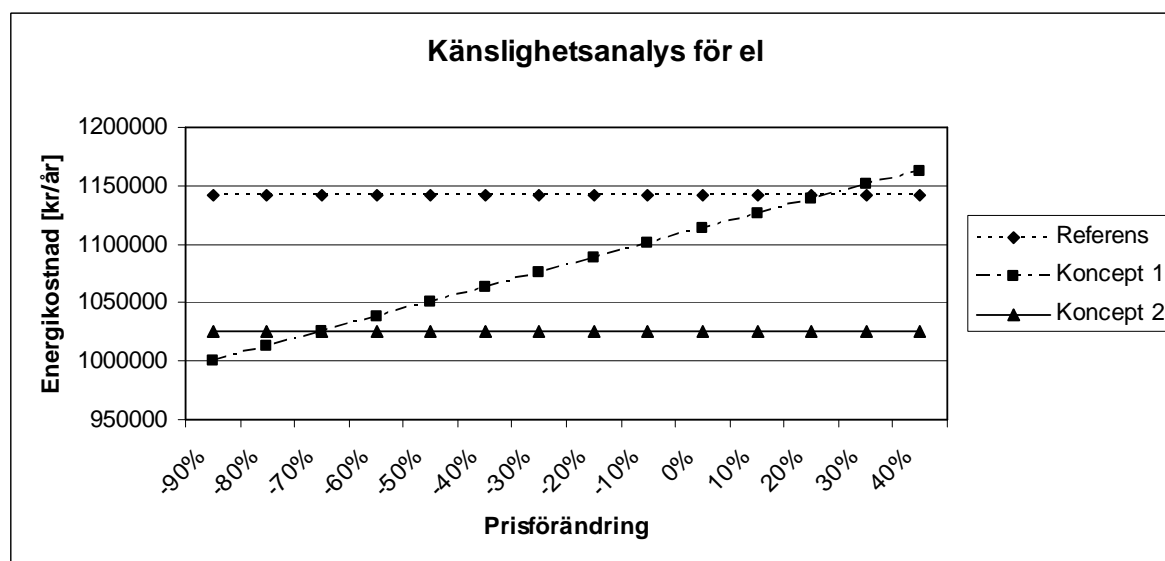
Figur 16. Total LCC-kostnad över 30 år som visar totalkostnaden för energi och investeringskostnaden för respektive alternativ, inklusive moms.

### 8.3. Känslighetsanalys för energikostnader

En känslighetsanalys av de totala energikostnaderna för varje alternativ har utförts. Denna visar hur känsligt respektive alternativ är för förändringar av energipriset. Två stycken känslighetsanalyser har utförts, en för el och en för fjärrvärme. Även en prisanalys har genomförts för spillvärmens. Observera att axlarna på de olika graferna inte har samma skala. De ursprungliga kostnaderna representeras där prisförändringen är 0 %.

#### 8.3.1. Känslighetsanalys av elpriset

Elpriset är en viktig parameter vid resonemang kring kostnaderna för koncept 1. En markant förändring av denna kostnad skulle kunna förändra valet av koncept.

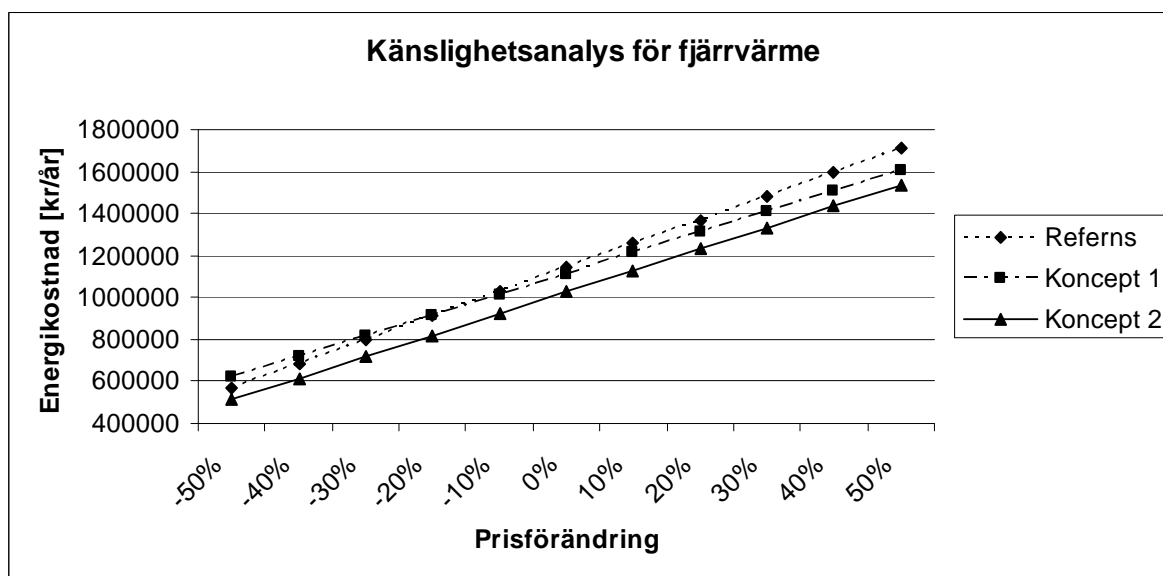


Figur 17. Känslighetsanalys över elpriset.

Känslighetsanalysen för elpriset visar att priset på elen kan öka med cirka 20 % innan koncept 1 får en högre total kostnad för energin än referensalternativet, förutsatt att fjärrvärmepriset inte förändras. Analysen visar också att om elpriset sjunker med 70 % så blir energikostnaderna i koncept 1 lägre än de båda andra alternativen med oförändrat fjärrvärmepris. En sådan stor minskning av elpriset ses dock inte som troligt.

### 8.3.2. Känslighetsanalys av fjärrvärmepriset

Då fjärrvärmen står för en stor del av kostnaden i samtliga alternativ, därför är även priset för denna intressant att analysera. Detta görs i Figur 18.

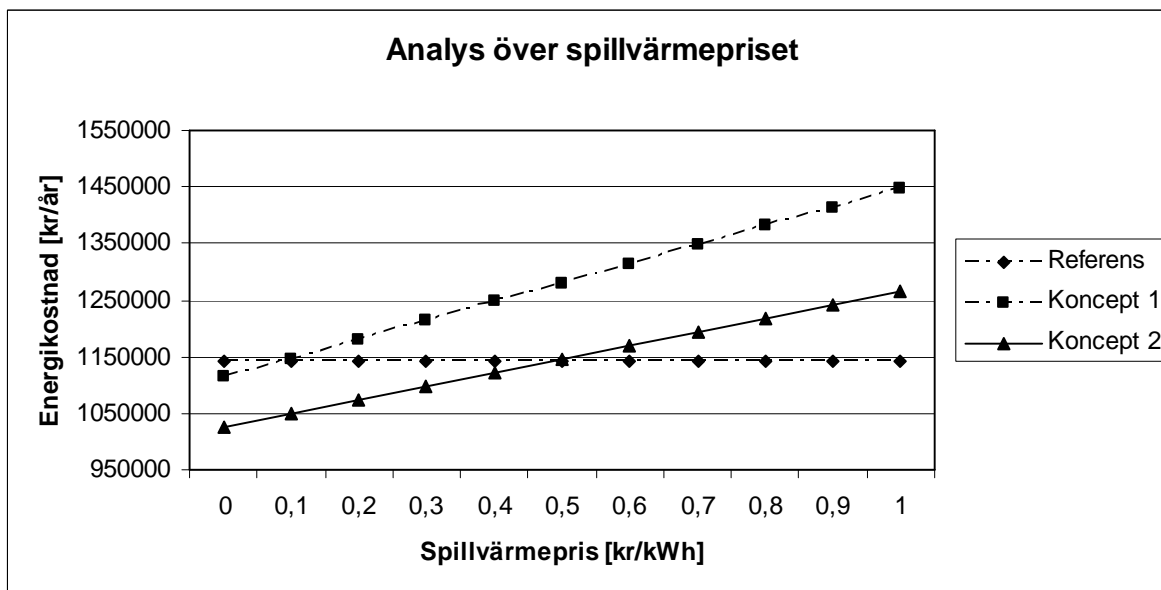


Figur 18. Känslighetsanalys över fjärrvärmepriset.

Känslighetsanalysen av fjärrvärmepriset visar att de ekonomiska skillnaderna mellan koncepten inte förändras märkbart vid en förändring av fjärrvärmepriset. Då fjärrvärme är en uppvärmningskälla i samtliga alternativ följer graferna varandra nästan parallellt. Detta innebär att resultaten inte är så känsliga för förändring av fjärrvärmepriset. Referensalternativet är det som är känsligast för förändring av fjärrvärmepriset eftersom det är störst fjärrvärmekonsumtion i det alternativet.

### 8.3.3. Analys över spillvärmepriset

Som tidigare nämnts är det mycket svårt att i dagsläget uppskatta priset för spillvärmen, dock kan prissättningen av spillvärmen vara avgörande för valet av alternativ. Därför har en kostnadsanalys över spillvärmepriset utförts utifrån energianvändningen i de olika alternativen. Resultatet från denna analys ses i diagrammet nedan.



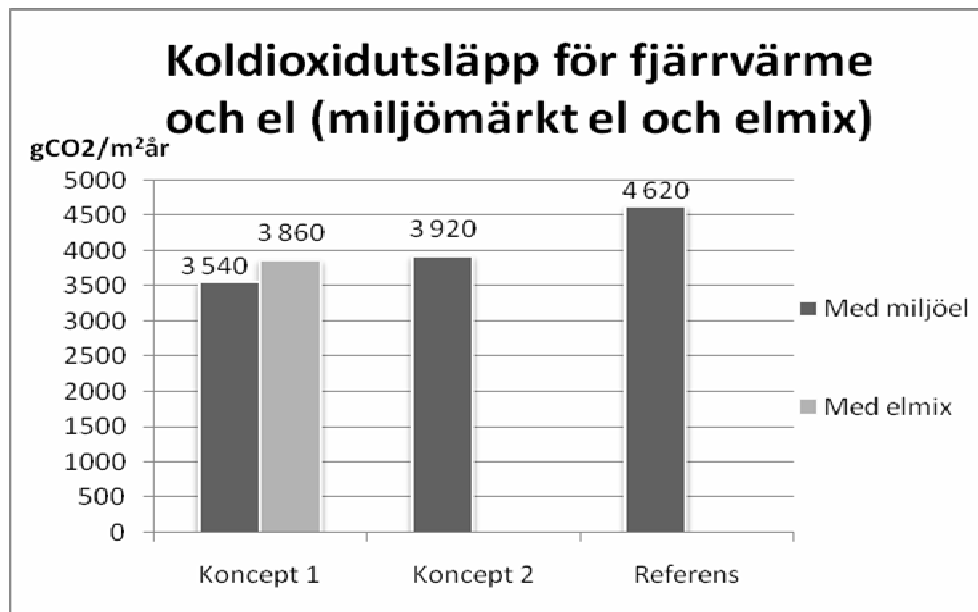
Figur 19. Känslighetsanalys över spillvärmepriset.

Det man kan utläsa ur Figur 19 är att, givet de tidigare nämnda antagandena, koncept 2 är billigast ur en total energikostnadssynpunkt om priset för spillvärmes ligger under 50 öre/kWh. Koncept 1 är billigare än referensalternativet om priset för spillvärme ligger under 10 öre/kWh. Detta ska jämföras med medlet för fjärrvärmepriset i de tre alternativen som ligger på 53 öre/kWh, se Appendix 8.

#### 8.4. Miljöperspektiv

Jämförelsen av de olika alternativens koldioxidutsläpp visar att koncept 1 bidrar lägst utsläpp av koldioxid och referensalternativet ger högst, se Figur 20. Även med den svenska elmixen, som har väsentligt högre värde för koldioxidutsläppen, så är den totala påverkan av koldioxid för koncept 1 lägre än för de andra alternativen.

En bedömning med marginalvärden för koldioxidutsläpp skulle antagligen ge ett annat resultat och en sådan skulle vara intressant att göra i framtiden. I jämförelsen är spillvärmes från Coop inte tillräknad några koldioxidutsläpp, detta skulle kunna göras med till exempel alternativproduktionsallokering.



**Figur 20. Koldioxidutsläpp per år för respektive alternativ, inräknat fjärrvärme och el. För koncept 1 visas två koldioxidutsläppen dels med miljömärkt el och dels med svensk elmix.**



## 9. Diskussion och slutsatser

De metoder som är använda i rapporten är valda utifrån olika aspekter. Självklart kan de diskuteras och andra metodval kan ge andra resultat utifrån de som redovisas i denna rapport. Andra ekonomiska analysmetoder kan ge ett annat resultat än till exempel den valda LCC-analysen som behandlas här. Även andra val av antaganden kan ge ett annat resultat än de som finns i rapporten. Dock anses dessa metoder och antaganden vara tillräckligt användbara för denna förstudie.

Då många av de beräknade resultaten som presenteras i rapporten är grova uppskattningar, bör slutsatser dras med försiktighet. De rekommendationer som beskrivs, görs med den bakgrund av uppskattningar som har beskrivits i rapporten.

Studiens resultat visar att en investering i ett närvärmesystem kan vara ekonomiskt och ekologiskt hållbart på längre sikt givet de antaganden som använts i studien. Detta förutsätter att systemet är uppbyggt så att det kan möta framtida förändringar i behov och förutsättningar. För att öka systemets robusthet i strukturen rekommenderas att uppbyggnaden är sådan att andra förnyelsebara energikällor kan anslutas för att kunna tillgodose bostädernas uppvärmningsbehov i framtiden.

### 9.1. Närvärmesystem

Det kan finnas många fördelar med ett närvärmesystem istället för ett traditionellt fjärrvärmesystem. En fördel med närvärmesystem är dess flexibilitet, vi har idag ingen aning om vilka källor till värmeenergi som kommer att finnas i framtiden. Därför är det viktigt att redan idag planera för att kunna anpassa systemet efter nya behov och tillämpningar.

Tillgången på spillvärmen från Coop skulle till exempel kunna minska kraftigt. Detta skulle kunna bero på att kylprocessen har effektiviserats eller att förlusterna i affären har minskat i och med införande av lock på kyl- och frysdiskar, se Figur 21. Om detta händer måste andra uppvärmningskällor kunna ersätta de tidigare i närvärmesystemet.



**Figur 21.** Lock på kyl- och frysdiskar gör att tillgången på spillvärme minskar i och med att förlusterna begränsas.

I närvärmesystemet på Backaplan skulle även andra verksamheters spillvärme kunna tas tillvara och andra värmeenergikällor skulle kunna kopplas in. En källa till värmeenergi, som redan idag är realiserbar, är solpaneler. Detta skulle kunna bli en del av närvärmesystemet

som beskrivs i koncepten. På så sätt skulle man kunna bygga ett närvärmsystem på Backaplan där olika verksamheters spillvärme tas till vara på för att värma upp bostäder.

Ett annat sätt att utnyttja närvärmsystemet på är kyla via returen. I det alternativ för systemuppbyggnad som beskrivits i rapporten är returtemperaturen 15°C, detta kan Coop dra nytta av eftersom de inte behöver kyla lika mycket. Det kan i sin tur minska deras energianvändning. För att vidareutveckla detta skulle fjärrkylennätet kunna kopplas in mot närvärmenätets retur för att sänka denna temperatur ytterligare. Om detta leder till någon egentlig vinst i form energibesparing bör dock utredas.

## **9.2. Ekonomiska aspekter**

Ur en ekonomisk synvinkel skulle koncept 2 vara det bästa alternativet, med lägst totalkostnad. Detta gäller då spillvärmen från Coop skulle ha ett betydligt lägre pris än den inköpta fjärrvärmen. Prisanalysen visar att priset för spillvärmen skulle behöva ligga strax under 0,50 kr/kWh, som är ungefär lika högt som medelpriset av årets fjärrvärmepriser, för att fortfarande vara ekonomiskt försvarbart, förutsatt att investeringskostnaderna inte är medräknade. Skillnaden i investeringskostnad mellan koncept 2 och referensalternativet är drygt 100 000 kr, vilket inte borde ha någon större inverkan ur ett helhetsperspektiv. Att koncept 2 är det mest ekonomiska systemet ur en energikostnadssynpunkt beror även på att det är det alternativ som kräver minst inköpt energi i form av fjärrvärme och elkraft.

Koncept 1 är, det till skillnad från övriga studerade alternativ, känsligt för variationer i elpriset. Om elpriset skulle stiga med cirka 20 % skulle koncept 1 bli det dyraste konceptet ur energikostnadssynpunkt. Om det där emot skulle sjunka med cirka 70 %, vilket inte ses som ett särskilt troligt scenario, skulle det bli det alternativ med lägst kostnader för energianvändning.

Investeringskostnaderna för de två konceptalternativen är högre än för referensalternativet, även om denna skillnad är marginell för koncept 2. Den höga investeringskostnaden för koncept 1 beror främst på att det konceptet även har kostnader för värmepumpar. En annan bidragande faktor är att koncept 1 har lägre framledningstemperatur och därmed ett högre flöde i närvärmsystemet, vilket bidrar till ökade rör- och värmeväxlardimensioner

Totalt sett är koncept 2 det mest ekonomiska alternativet över en 30-års period enligt de aspekter och antaganden som denna rapport grundar sig på. Koncept 1 är det dyraste alternativet med högst investeringskostnad och det är även det enda alternativet som kräver elkraft. När elpriset analyseras över längre perioder används en högre procentsats, än för fjärrvärmen, när det gäller prisökningen. I LCC-analysen ger därför elkostnaden ett förhållandevis stort bidrag till totalkostnaden. Eftersom kostnader för reinvesteringar och kostnader för löpande drift inte har behandlats i rapporten ger de aspekterna en hög osäkerhet vid analysering av totalkostnader över en längre period.

Ytterligare ekonomiska beräkningar skulle kunna visa att det beskrivna närvärmsystemet inte är ekonomiskt försvarbart. Det kan visa sig att lönsamheten inte blir tillräckligt stor, antingen för att Coop är den enda spillvärmekällan eller att antalet kvadratmeter bostadsyta är så hög så att spillvärmen utgör ett för litet bidrag av totala energitillförseln. Det rekommenderas att genomföra fler beräkningar på både investeringskostnader och driftskostnader samt på energibehovet för bostäderna.

### **9.2.1. Priset för en bättre miljö**

Ofta finns det motsättningar mellan ekonomiska och ekologiska intressen och frågan är vem som ska betala för utvecklingen av en bättre miljö.



De olika aktörerna kring närvärmsystemet ser alla till sina egna ekonomiska intressen. För fjärrvärmeleverantörens del, i detta fall Göteborg Energi AB, innebär systemet en minskad försäljning av deras fjärrvärme. Även om de skulle äga närvärmenätet, kan de aldrig ta lika mycket betalt för den lågtempererade närvärmen som för den högtempererade fjärrvärmen. Eftersom fjärrvärmen har en högre temperatur anses den vara en mer högvärdig form av energi. För Coops del innebär systemet en möjlighet till inkomst för något som de i annat fall skulle ha gjort sig av med. Den aspekten kan leda till att Coop investerar i närvärmsystemet och ger en verklig möjlighet till att det kan utvecklas och genomföras.

Den vinst som samtliga inblandade företag kan få vid ett genomförande av ett närvärmsystem är en profilering som miljömedvetna företag. Företagen kan visa på konkreta exempel där deras egna ekonomiska intressen sätts i andra hand för att miljön ska förbättras. De kan profilera sig som nytänkare inom miljöfrågorna som vågar satsa pengar och engagemang. Eftersom koldioxidutsläppen från spillvärmen är låga eller obefintliga skulle det också kunna sänka enskilda företags utsläpp.

För Coops del kan det även innebära en minskning av deras totala koldioxidutsläpp. Som tidigare nämnts bör spillvärmen tillräknas en viss mängd koldioxidutsläpp, även om spillvärmen anses vara äkta. Försäljningen av spillvärmen blir då en miljömässig avlastning från Coop.

### **9.3. Miljömässiga aspekter**

Vid jämförelse av koldioxidutsläppen för varje alternativ har de två koncepten lägre utsläpp än referensalternativet. Koncept 1 ger lägre koldioxidutsläpp än koncept 2 oavsett om utsläppsvärdena för miljömärkt elkraft eller den svenska elmixen används. Här skulle en analys där värden för marginalel istället kunna användas som kan ge ett annat resultat. Vid denna jämförelse av koldioxidutsläppen redovisas inte något bidrag från spillvärmen vilket kan vara missvisande, då utnyttjande av spillvärmen kan anses ha en andel av Coops kylsystems totala koldioxidutsläpp. Detta skulle kunna beräknas med till exempel alternativproduktionsallokering.

Eftersom det endast är koldioxidutsläppen som är utvärderade i denna rapport bör även andra miljöbelastningar ses över för de olika systemen vid en fortsatt utvärdering av alternativen.

#### **9.3.1. Energikällor för uppvärmning av bostadshus**

En fråga som har kommit upp ett antal gånger under slutdelen är ifall el- eller fjärrvärmeanvändning är minst miljöbelastande för uppvärmning. Om man bara tittar på resultaten för de beräknade koldioxidutsläppen är elen klart bättre för miljön om den miljömärkta elen används. Om man tittar på vilket av våra koncept som påverkar miljön minst så är det koncept 1, oavsett om man använder sig av miljömärkt el eller svensk elmix, därför att man där använder el till värmepumpen istället för fjärrvärme.

Men hur skulle siffrorna för koldioxidutsläppen förändras om man istället använde sig av miljömärkt fjärrvärme? Norrenergi började i mars 2008 sälja fjärrvärme märkt med Bra Miljöval, *Naturskyddsföreningen* [32]. Detta finns i dagsläget inte i Göteborg men skulle kanske vara aktuellt i framtiden. Vid val av koncept bör en analys göras av hur stora koldioxidutsläppen skulle bli med miljövänlig fjärrvärme, då det är möjligt att denna kommer att användas i framtiden. En sådan beräkning skulle kunna ge lägre värden för koldioxidutsläpp för fjärrvärmen i samtliga alternativ.

Det råder ingen tvekan om att miljömärkt el tilldelas lägre koldioxidutsläpp, med de beräkningsmetoder som används i rapporten, än vad fjärrvärmen tilldelas. Trots det kan det

ifrågasätts om den miljömärkta elen bör användas för uppvärmning av bostäder. Som tidigare nämnts bör man inte bara se till koldioxidutsläppen vid val av uppvärmningsmetod. Elkraft är en mer högvärdig form av energi som har många fler användningsområden än vad fjärrvärmens har. Fjärrvärmens kan i stort sätt endast användas till uppvärmning.

Vid val av produktionsmetod för närvärme bör man se det ur ett långsiktigt perspektiv. Om det uppstår äkta spillvärme i närområdet bör man ta till vara på denna, förutsatt att det är ekonomiskt hållbart, men man kan aldrig motivera någon verksamhet med försäljning av äkta spillvärme, då detta endast är en positiv bieffekt. Kan den ursprungliga verksamheten effektiviseras bör man göra detta, även om det resulterar i en mindre mängd spillvärme och en minskad inkomst från spillvärmeförsäljning. Man måste i dessa fall alltid säkerställa att spillvärmens verkligen är äkta.

### **9.3.2. Övrig miljöpåverkan från närvärmesystem**

Rapporten redogör inte för några andra miljöpåverkningar än utsläpp av koldioxid vid el- och fjärrvärmeproduktion men självklart kommer systemet att påverka miljön även på andra sätt. Främst skulle närmiljön påverkas vid nedgrävning av rör. Denna påverkan skulle närmiljön ha utsatts för även vid en utbyggnad av fjärrvärmensätet så den anses inte avgörande för val av system.

I koncept 1 används en värmepump som innehåller köldmedium. Traditionella köldmedier är ofta skadliga för miljön och detta skulle kunna medföra ytterligare miljöpåverkan från systemet. Därför bör alternativa köldmedium undersökas vid val av värmepump.

Utsläppen av koldioxid från fjärrvärmens är starkt beroende av vilken tid på året det är. Enligt Göteborg Energi AB består deras fjärrvärme under sommaren av nästan enbart spillvärme som har låga koldioxidutsläpp. Att göra en bedömning av koldioxidutsläppen, både med marginal- och medelvärden, och samtidigt ta hänsyn till årsvariationer i användning och utsläpp skulle kunna ge en mer korrekt bild av vilket system som faktiskt påverkar miljön minst ur koldioxidsynpunkt.

## **9.4. Tekniska aspekter kring närvärmesystemet**

### **9.4.1. Mängd tillgänglig spillvärme och hur stor bostadsyta den räcker till**

En viktig slutsats är att tillgången på spillvärme är som störst då efterfrågan på uppvärmning är som lägst, detta syns tydligt då Figur 3 och Figur 8 jämförs. Detta är en nackdel som medför vissa problem, till exempel att extra energi måste tillföras i form av spetsning eller back up-system. Ett exempel på system där tillgång och efterfrågan av värme stämmer bättre överens är det system i Oskarshamn som beskrivs i Avsnitt 2.3. Där finns störst mängd tillgänglig värme vintertid, när isen kyls ner i ishallen, samtidigt som uppvärmningsbehovet av simhallen är som störst. Detta bör finnas i åtanke vid till exempel byggandet av en ishall på Backaplan som skulle kunna vara en bra energikälla för närvärmesystemet.

Vad gäller storleken på bostadsyta som skall värmas upp av närvärmesystemet skulle detta behöva utredas ytterligare. Då resultaten i Kapitel 8 betraktas bör hänsyn tas till den stora bostadsyta som rapporten hanterar. Om spillvärmens skulle användas enbart i två av de studerade husen, i stället för i alla fem, så skulle detta troligtvis ge en större procentuell skillnad mellan fördelningarna i alternativens energiförbrukningar.

Hela uppvärmningsbehovet kommer aldrig att kunna tillgodoses av endast lågtempererad spillvärme, eftersom energin inte finns tillgänglig då energibehovet är som störst. Detta gör att det i de flesta fall antingen måste tillföras mycket extra energi vintertid eller så förspills

onödigt mycket energi under sommaren. Det gäller att hitta en balans mellan tillgång och efterfrågan på spillvärme och tillsätta fjärrvärme, eller någon annan form av spetsning, då tillgången på värme är låg.

En ytterligare nackdel med detta är att belastningen på fjärrvärmenätet är som högst de dagar då värmebehovet är som störst och vice versa då behovet är som lägst. Detta ger i sin tur hög påfrestning på de värmekällor som fjärrvärmen produceras i. Denna effekt blir bara ännu mer påtaglig om det finns många liknande spillvärmeleverantörer inom samma närvärmesystem.

#### **9.4.2. Reglersystem**

Systemet kommer att utsättas för en mycket varierande dygnslast och behöver konstrueras för att klara detta. Den strukturella systemuppbyggnad som finns beskriven i rapporten är tänkt att kunna anpassas efter ett varierande behov och för detta krävs ett väl fungerande reglersystem.

En nackdel med ett närvärmesystem med två energikällor är att reglersystem i dagsläget inte är standardiserade och kan bli komplexa att styra. För att underlätta reglering av systemet skulle värmeväxlingen mot fjärrvärmen, i de två koncepten, kunna ske inne i bostadshusen, i närheten av värmeväxlingen mot tappvarmvattnet och golvvärmesystemet. Det skulle kunna ge ett snabbare system som enklare kan anpassa mängden tillförd energi till närvärmesystemet efter den faktiska efterfrågan.

En flexibel parameter i systemet är temperaturen innan värmeväxlingen mot golvvärmesystemet i de båda koncepten. Tack vare golvvärmesystemets inbyggda tröghet är det inte så känsligt för fluktuationer i framledningstemperaturen och klarar därför av att energitillförseln för uppvärmning kan minska under de delar av dygnet då tappvarmvattensbehovet är högt. Detta kan kompenseras genom att mer energi tillförs för uppvärmning då tappvarmvattensbehovet är lågt.

#### **9.4.3. Alternativ systemuppbyggnad**

I rapporten beskrivs två alternativ för systemuppbyggnad av närvärmesystem. Dessa kan vidareutvecklas, nedan följer några förslag till förändring av systemuppbyggnad jämfört med de beskrivna koncepten.

Fjärrvärmen skulle kunna sammankopplas med systemet genom en direktkoppling istället för att använda sig av värmeväxlare. På detta sätt skulle man kunna utnyttja energin i fjärrvärmen mer effektivt.

I koncept 1 skulle värmepumpen kunna flyttas till efter värmeväxlaren mot golvvärmesystemet. Detta skulle ge en högre temperatur in i värmeväxlaren mot golvvärmesystemet. Det skulle då krävas en mindre värmeväxlare eftersom temperaturdifferensen mellan framledningen i när- och golvvärmesystemen skulle bli större.

### **9.5. Äkta spillvärme och alternativa kylsystem**

I Avsnitt 2.6.3. beskrivs två alternativ för kylsystem på Coop. I projektet har inte valet av kylsystem analyserats då detta ligger utanför projektets avgränsning men en diskussion kan ändå föras.

I det ena fallet har man ett kylsystem som innebär en högre energianvändning, men som genererar en stor mängd spillvärme och har en miljövänlig köldbärare. Detta ska jämföras med ett mindre energikrävande kylsystem, som ger en mindre mängd spillvärme och har en mindre miljövänlig köldbärare. Var ska man dra sin systemgräns för att få en rimlig och

rättvis miljöbedömning av systemet? Om man bara analyserar kylsystemet kommer miljöpåverkan för den mer energikrävande processen att vara högre, men om man väljer att också ta hänsyn till att spillvärmen återvinns till bland annat uppvärmning, så kan den totala miljöpåverkan bli lägre med det mer energikrävande alternativet, beroende på alternativ uppvärmningsform.

Begreppet ”äka” spillvärme har kommit upp på flera ställen i rapporten. Hur viktigt är det att man håller sig till det? I fallet med den mer energikrävande köldbäraren kan antagligen inte spillvärmen klassas som äka eftersom man tillför mer energi än vad man behöver inom den egna byggnaden, trots detta blir antagligen den bedömda miljöpåverkan lägre. Kan det i det fallet vara värt att omvärdera begreppet äka spillvärme?

## **9.6. Miljövänligt byggande**

En viktig faktor för att utnyttjande av lågtempererad spillvärme ska vara möjlig är att bostadshusen är energieffektiva. Det är mycket viktigt att de rekommendationer, angående energihushållning, som beskrivs i Miljöanpassat byggande, *Göteborg stad* [12], följs vid alla nybyggnation. Att följa dessa rekommendationer är minst lika viktiga som att hitta hållbara lösningar för uppvärmningssystem då det kan minska uppvärmningsbehovet i bostadshusen.

I lågenergihus är behovet av uppvärmning så pass lågt att det räcker med lågtempererade system. Detta gör att utbyggnad av stadsdelar med lågenergihus med fördel kan kombineras med utbyggnad av lågtempererade närvärmsystem.

## **9.7. Eventuell användning av fjärrvärmens returledning**

I rapporten har det tidigare nämnts att det är viktigt att ta tillvara på producerad energi, givet att det är ekonomiskt försvarbart. Detta gäller inte bara då spillvärme uppstår, utan även för fjärrvärmenätet som idag har en väldigt hög returtemperatur. Temperaturen på fjärrvärmen skulle kunna sänkas genom ekonomiska incitament i form av en prissättning som gynnar de kunder som har en hög utnyttjandegrad av fjärrvärmen, genom en stor temperaturdifferens.

I studien har ingen utredning gjorts kring utnyttjande av fjärrvärmereturen för uppvärmning. Utifrån projektet i Karlstad, se Avsnitt 2.1.1, och denna rapport som visar att det är möjligt att utnyttja låga temperaturer för uppvärmning, rekommenderas en ytterligare utredning av det. Fjärrvärmereturen har i dagsläget tillräckligt hög temperatur för golvvärmsystem i lågenergihus och det är ett slöseri att inte ta tillvara på den värmen bättre.

I konceptsystemet som beskrivs i rapporten skulle fjärrvärmens returledning kunna fungera som ett komplement till spillvärmen. Ett upplägg som skulle vara möjligt är att först värmeväxla närvärmen mot spillvärmen vid Coop och sedan värmeväxla den mot fjärrvärmens returledning. Därefter slutligen värmeväxla närvärmen mot fjärrvärmens framledning. Då skulle mer lågvärdig energi kunna tas tillvara på från fjärrvärmenätet och samtidigt garantera täckning av det efterfrågade effektbehovet.

Man skulle även kunna tänka sig att hus eller områden värms upp direkt mot fjärrvärmens retur, detta medför dock att ett back up-system måste finnas. Om en metod liknande den i Karlstad skulle användas behöver el för en värmepump tillföras. Det man också bör tänka på vid utvecklingen av sådana system är att fjärrvärmenätets retur kan komma att sjunka framöver, om risk finns för detta kan systemet komma att bli sårbart.

I framtiden skulle man kunna tänka sig bostadsområden där äldre och ny bebyggelse blandas med olika krav på uppvärmning. Om man integrerade bebyggelsernas uppvärmningssystem med varandra skulle en återanvändning av fjärrvärme inom samma bostadsområde kanske vara möjlig. Det skulle kunna fungera genom att de äldre husen, med krav på högre

temperaturer, värms först och att de nya, mer energieffektiva byggnaderna, värms efteråt med returen från de äldre.

## **9.8. Rekommendation**

Den i rapporten beskrivna förstudien indikerar att det kan vara ekonomiskt och ekologiskt försvarbart att investera i ett närvärmesystem, givet de antaganden som gjorts. Den systemuppbyggnad, som utifrån rapportens resultat, verkar vara att föredra ekonomiskt är den som beskrivs för koncept 2, eftersom den ger lägst kostnader för energi och investering.

De beräknade koldioxidutsläppen för koncept 2 är något högre än de för koncept 1, denna skillnad anses inte vara tillräckligt stor för att överväga de högre investeringskostnaderna i koncept 1. Koncept 2 kan ses som en god kompromiss mellan ekonomiska och ekologiska intressen. Dock rekommenderas ytterligare studier kring hur ett närvärmesystem skulle kunna byggas upp för de två koncepten, främst för koncept 2.

Förstudien visar att koncept 2 innebär lägre kostnader än referensalternativet, trots de högre investeringskostnaderna. Detta kan komma att ändras då kostnaden för spillvärmen tas med i kalkylen. En analys över spillvärmepriset där även investeringskostnader tas med rekommenderas därför. Detta skulle kunna ge en mer korrekt bild av hur mycket spillvärmen kan kosta för en senare totalkostnadsanalys.

Förstudien visar även att koncept 2 bidrar till mindre mängd koldioxidutsläpp än referensalternativet.

Utifrån rapporten rekommenderas även en utredning av vilka fler källor till spillvärme som skulle kunna finnas i området och som skulle kunna komplettera systemet.

### **9.8.1. Rekommendation till fortsatta studier**

De resultat som denna förstudie visar att det kan finnas lönsamhet i en utveckling av ett närvärmesystem på Backaplan. Dock krävs det ytterligare undersökningar för att få fram ett bättre beslutsunderlag. Detta kan till exempel bestå av:

- Ytterligare känslighetsanalyser av priserna för el, fjärrvärme och spillvärme där de kombineras så skillnader kan visas i två eller tre parametrar samtidigt.
- Känslighetsanalys av kalkylräntan.
- Känslighetsanalys av investeringskostnader, gärna i kombination med energipriserna.
- Beräkningar av koldioxid för energianvändning med marginalvärden för både el och fjärrvärme, gärna även med miljömärkt fjärrvärme.
- Miljöbedömning av spillvärmen från Coop med till exempel alternativproduktionsallokering.



## 10. Slutord från författarna

Genom att ta tillvara på spillvärme från livsmedelsbutiker för att värma upp bostäder kan man inte lösa de stora problemen med jordens energiförsörjning vi har idag, där emot kan man bidra till en liten minskning av energianvändningen. Det kan verka meningslöst att utföra så små åtgärder som inte gör någon större skillnad globalt sett, men för att lösa de miljöproblem vi har idag behövs åtgärder på alla plan. Alla bidrag till ett minskat resursslöseri är värdefulla.

En utbyggnad av ett närvärmsystem på Backaplan skulle innebära, som tidigare nämnts, en minskad försäljning av fjärrvärmen i Göteborg. Men är detta något negativt? I stället för att behålla gamla system så kan det vara bättre att se framåt och utveckla nya system. Detta kan ofta innebära en stor ekonomisk vinst totalt sett. Idag blir konsumenterna allt mer miljömedvetna och många är också beredda att betala mer för miljövänliga alternativ. Detta gör att man som kund kanske är beredd att betala lite extra för att få sitt hus delvis uppvärmt av spillvärmen från livsmedelsbutiken bredvid och på så sätt bidra till mindre belastning på klimatet.

Hur morgondagens energisystem kommer att se ut är det ingen som kan veta, det enda vi kan veta är att de inte kommer att se ut som dagens. Det är möjligt att både källorna till energi och distributionsmetoderna kommer att förändras. Vid förnyelse av en stadsdel som Backaplan är det viktigt att ställa sig frågorna om hur man kan klara av framtida förändringar.

Det finns fortfarande många frågor kvar kring användning av lågtempererad spillvärme för uppvärmning av bostäder. Förstudien som beskrivs i rapporten har inte givit något tydligt resultat för vad som är bäst, sett ur ett totalperspektiv. Rapporten visar dock att det finns potential i spillvärmeanvändning så ytterligare studier av ämnet rekommenderas.

Ligg inte i fas med utvecklingen ligg före den!





## Källförteckning

1. Claes Karlström, punktadd AB och Sävedalens Värme- & Kylservice AB, flera löpande kontakter (2009)
2. Brundtland G. H. (1987) Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, UN Documents, Oslo
3. Göteborgs Stad, Stadsbyggnadskontoret (2008) *Översiktsplan för Göteborg, fördjupad för Backaplan, Del 1, planföresättningar*, Samrådshandling från 2008-03-11
4. Holmgren K, Sjödin J (2008) *Styrmedel för industriell spillvärme, en förstudie*, Statens Energimyndighet, ISSN 1403-1892
5. Beiron J, Frodeson S, Wikström F (2007) *Lågenergihus med 44 lägenheter, Drifterfarenheter, driftstatistik samt miljöbedömning av energianvändning*, Karlstads Universitet, Avdelningen för energi- miljö- och byggt teknik,
6. Tabrizi H (2009) *Energieffektivisering – Integrerat värmesystem mellan bostäder och livsmedelsbutik*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola (Examensarbete inom Institutionen för bygg- och miljöteknik)
7. Lennarth Nilsson, Konstruktion, Programmering, Projektledning, Gila AB, telefonkontakt (2009-05-18)
8. Göteborg Energi AB, Kundservice, telefonkontakt (2009-05-19)
9. Göteborg Energi AB (2009) *Göteborg Energi 2008, Människorna gör jobbet*, Årsredovisning för Göteborg Energi AB 2008
10. Henrik From, Fjärrkyla, Göteborg Energi AB, telefonkontakt, (2009-05-19)
11. Cecilia Strömer, Stadsutveckling, Älvstranden Utveckling AB, flera kontakter (2009)
12. Göteborg Stad, Fastighetskontoret (2008) *Miljöanpassat byggande – program för Göteborg, Bostäder*, Remissversion, Göteborg Stad
13. Martin Blixt, Bygg & Projekt, Älvstranden Utveckling AB, löpande kontakt (2009)
14. Bengt Olsson, Göteborg Vatten, telefonkontakt (2009-05-14)
15. Boverket (2008) *Regelsamling för byggande BBR, Del två, Boverkets byggregler* Boverket
16. Anders Ek, Teknik och Energikyla, KF Fastigheter AB, flera kontakter genom e-post (2009)
17. Harry Swartz, Avdelningschef, Teknik och Energi, KF Fastigheter AB, flera kontakter (2009)
18. Selinder P, Ekström G (2003) *Kopplingsprinciper för fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump*, Svensk Fjärrvärme
19. Anders Enström, Försäljning, E.ON Sverige AB, telefonkontakt (2009-04-21)
20. Mats Odell, Avdelningschef, Mark & EnergiByggarna AB, telefonkontakt (2009-05-13)
21. Gunnar Landström, Säljare, Powerpipe Systems AB, möte (2009-05-11)
22. Oskar Olsson, Teknisk förvaltare, KF Fastigheter AB, möte (2009-04-28)
23. Bahaa Mezher, Alfa Laval Corporate AB, kontakter genom e-port (2009)

24. IVT Värmepumpar, Fastighetsservice försäljning, telefonkontakt (2009-04-20)
25. Anders Holmberg, Försäljning, Borö Pannan AB, telefonkontakt (2009-05-07)
26. Älvstranden Utveckling AB, Företaget, Goda exempel, LCC-mall 2008-04-11, hämtad från [www.alvstranden.com](http://www.alvstranden.com), (2009-01-19)
27. Göteborg Energi AB, Företag, Fjärrvärme, Erbjudanden & Priser, Prismodellen och Priser, från [www.goteborgenergi.se](http://www.goteborgenergi.se) (2009-05-06)
28. Timo Palviainen, Försäljning företagservice, DinEl, telefonkontakt (2009-05-06)
29. Bill Romanus, Ägare och seniorkonsult, Ekosofia AB, möte (2009-05-08)
30. Björn Svensby, Konsult, Ekosofia AB, möte (2009-05-08)
31. DinEl, Om DinEl, Miljö, Elens ursprung, från [www.dinel.se](http://www.dinel.se) (2009-05-11)
32. Naturskyddsföreningen, Natur & Miljö, från [www.naturskyddsforeningen.se](http://www.naturskyddsforeningen.se) (2009-05-11)
33. Mörstedt S-E, Hellsten G (1999) *Data och Diagram, Energi- och kemitekniska tabeller*, Liber
34. Powerpipe Systems AB (2008) *Katalog 2008*, Powerpipe Systems AB

## Appendix 1

### Energiberäkningar

I samtliga tabeller innebär dag kl 7.30-22.30 och natt kl 22.30-7.30.

#### **Tillgänglig spillvärme**

##### **Mängd tillgänglig spillvärme från Coop (kWh)**

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Dag	14400	16700	21200	28400	37400	46400	50400	50400	43700	36000	23400	15800
Natt	-17100	-15800	-10400	-5400	3200	9900	12600	12200	5900	0	-9000	-14900

#### **Tappvarmvattenbehov**

Tappvarmvattensbehovet är baserat på ett totalt behov på 15 kWh/m<sup>2</sup> och år

##### **Tappvarmvattensbehov över dygnet (kWh/m<sup>2</sup> och månad)**

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Dag	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Natt	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Totalt	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

#### **Uppvärmningsbehov**

Uppvärmningsbehovet är baserat på ett totalt behov på 45 kWh/m<sup>2</sup> och år

##### **Uppvärmningsbehov över dygnet (kWh/m<sup>2</sup> och månad)**

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Dag	3,87	3,50	3,37	1,80	0,55	0	0	0	0,95	2,11	2,83	3,53
Natt	3,87	3,50	3,37	1,80	0,55	0	0	0	0,95	2,11	2,83	3,53
Totalt	7,74	7,00	6,74	3,60	1,11	0	0	0	1,90	4,23	5,65	7,06

#### **Totalt energibehov för uppvärmning och tappvarmvattnet**

Summan av energibehovet för uppvärmning och tappvarmvatten ger det totala energibehovet per månad.

##### **Total efterfrågan per månad (kWh/m<sup>2</sup> och månad)**

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Dag	4,87	4,50	4,37	2,80	1,55	1	1	1	1,95	3,11	3,83	4,53
Natt	4,12	3,75	3,62	2,05	0,80	0,25	0,25	0,25	1,20	2,36	3,08	3,78

Det totala energibehovet för 38000 m<sup>2</sup> visas nedan.

##### **Total efterfrågan per månad för 38000 m<sup>2</sup> (kWh/månad)**

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Dag	185000	171000	166000	106000	59000	38000	38000	38000	74000	118000	145000	172000
Natt	157000	142000	138000	77800	30500	9500	9500	9500	45500	89800	117000	144000
Totalt	357000	327000	282000	191000	77000	47500	47500	47500	85400	213000	274000	328000



## Appendix 2

### Beräkningar koncept 1

Beräkningarna är utförda per kvadratmeter. De totala flödena är beräknade för en bostadsareal på  $A=38000 \text{ m}^2$ .

#### Konstanter

$c_p=4,2$                       *Specifik värmekapacitet*

#### Tappvarmvattnet

$P_{\text{tvv}}=15 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$                       *Energien som måste tillföras tappvarmvattnet*

$T_{\text{tvv, in}}=5^\circ \text{C}$                       *Temperaturen på det kalla färskvattnet*

$T_{\text{tvv, ut}}=60^\circ \text{C}$                       *Temperaturen på tappvarmvattnet som går till kranen*

$T_{\text{tvv, förv}}=15^\circ \text{C}$                       *Temperaturen på färskvattnet efter förvärmning. Detta värde är antaget och baseras på att en temperaturhöjning på  $10^\circ \text{C}$  kan anses rimlig i förvärmningen. Antagandet styrks även av Karlström [1].*

#### Golvvärmesystemet

$P_{\text{gv/mån}}=4,3 \text{ kWh/m}^2, \text{mån}$                       *Energien som måste tillföras för uppvärmning under en oktober månad. Energiförbrukningen under oktober används för dimensionering då detta värde motsvarar medianen för uppvärmningsbehovet.*

$P_{\text{gv}}=5,9 \text{ W/m}^2$                       *Effekten som krävs för uppvärmning under oktober.*

$T_{\text{gv, in}}=20^\circ \text{C}$                       *Temperaturen i golvvärmesystemets retur. Detta värde är antaget och baseras på rumstemperaturen.*

$T_{\text{gv, ut}}=23^\circ \text{C}$                       *Den lägsta temperaturen som får gå in i golvvärmesystemet.*

#### Krav på närvärmesystemet

$T_{\text{nv, in}}=33^\circ \text{C}$                       *Temperaturen i närvärmesystemet efter värmväxling mot spillvärmen vid Coop, samt efter eventuell värmväxling mot fjärrvärmen*

$T_{\text{nv, ut}}=23^\circ \text{C}$                       *Temperaturen i närvärmesystemet efter värmväxling mot golvvärmen. Detta värde är antaget och är baserat på en rumstemperatur runt  $20^\circ \text{C}$ .*

$T_{\text{nv, retur}}=15^\circ \text{C}$                       *Temperaturen i närvärmenätets returledning. Denna temperatur är antagen.*

#### Förvärmning

I Figur 6 punkt E förvärms tappvarmvattnet från  $5^\circ \text{C}$  till  $15^\circ \text{C}$ . Här beräknas hur mycket energi som behöver tillföras i nästa steg, det vill säga hur mycket energi som är kvar att tillföra genom uppvärmning i värmepumpen.

$$P_{tvv,vp} = P_{tvv} \frac{T_{tvv,ut} - T_{tvv,förv}}{T_{tvv,ut} - T_{tvv,in}} \Rightarrow P_{tvv,vp} = 12,3 \text{ kWh/m}^2, \text{år} = 1,4 \text{ W/m}^2$$

Den energi som tillförs i förvärmningen är

$$P_{tvv,förv} = P_{tvv} - P_{tvv,vp} = 2,7 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$$

### **Energitillförsel i värmepumpen**

Värmepumpen antas ha en värmepumpsfaktor på fyra. Detta innebär att ¼ av energiuttaget som krävs av pumpen kommer från el, resterande mängd energi kommer från närvärmen. Med ett totalt energibehov på 12,3 kWh/m<sup>2</sup> och år, blir elförbrukningen 3,07 kWh/m<sup>2</sup> och år. Alltså behövs de resterande 9,20 kWh/m<sup>2</sup> och år från närvärmesystemet. Den totala elförbrukningen för 38000 m<sup>2</sup> blir 116700 kWh/m<sup>2</sup> och år.

### **Massflödesberäkning**

I närvärmesystemet kan temperaturen efter värmepumpen för tappvarmvattnet varieras efter behov. Dessa beräkningar ger de temperaturer som värmeväxlaren, respektive värmepumpen kan arbeta mellan för att systemet ska bli så energieffektivt som möjligt. Temperaturerna beräknas genom att sätta massflödet i värmeväxlaren och värmepumpen lika.

$$m_{nv,gv} = m_{nv,vp} \Rightarrow P_{tvv,vp} * c_p * \Delta T_{nv,tvv,vp} = P_{gv} * c_p * \Delta T_{nv,gv}$$

Den sammanlagda temperaturdifferensen för värmeväxlaren och värmepumpen är

$$\Delta T_{nv,tvv,vp} + \Delta T_{nv,gv} = T_{nv,in} - T_{nv,ut}$$

Detta ger

$$\Delta T_{nv,tvv,vp} = \frac{T_{nv,in} - T_{nv,ut}}{1 + \frac{P_{gv}}{P_{tvv,vp,nv}}} = 1,5^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_{nv,gv} = T_{nv,in} - T_{nv,ut} - \Delta T_{nv,tvv,vp} = 8,5^\circ \text{C}$$

Detta ger temperaturen i närvärmesystemet efter värmeväxlingen mot tappvarmvattnet och innan värmeväxlingen mot golvvärmesystemet

$$T_{nv,tvv,vvx,ut} = T_{nv,gv,in} = 31,5^\circ \text{C}$$

### **Beräkning av flöde i närvärme- och golvvärmesystemet**

Närvärmesystemets massflöde kan nu beräknas på två sätt, dels utifrån energibehovet i värmepumpen och dels utifrån energibehovet i värmeväxlaren mot golvvärmesystemet. Dessa värden bör bli lika.

En energibalans ställs upp över värmeväxlaren mot golvvärmesystemet, här gäller  $P_{in} = P_{ut}$  eftersom det beräknas med att verkningsgraden är 100 %.

$$P_{in} = c_p * T_{nv,gv,in} * m_{nv} + c_p * T_{gv,in} * m_{gv}$$

$$P_{ut} = c_p * T_{nv,ut} * m_{nv} + c_p * T_{gv,ut} * m_{gv}$$

Detta ger

$$m_{nv} = \frac{P_{gv}}{c_p * \Delta T_{nv,gv}} = 0,00017 \text{ kg / s, m}^2$$

$$m_{gv} = \frac{P_{gv}}{c_p * (T_{gv,in} - T_{gv,ut})} = 0,00020 \text{ kg / s, m}^2$$

På samma sätt fås, utifrån energibehovet i värmepumpen,

$$m_{nv} = \frac{P_{tvv,vp,nv}}{c_p \Delta T_{nv,tvv,vp}} = 0,00017 \text{ kg / s, m}^2$$

Det totala flödet i närvärmesystemet blir då

$$m_{nv,tot} = A * m_{nv} = 6,28 \text{ kg/s}$$

### **Fjärrvärmebehov**

Mängden fjärrvärme som behöver köpas in för Koncept 1 ges av efterfrågan varje månad, subtraherat tillgänglig spillvärme, värmepumpens elförbrukning samt avdrag för förvärmning.

<b>Koncept 1 - Behov kvar att köpa in genom fjärrvärme (kWh)</b>												
<b>Månad</b>	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>	<b>Maj</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>	<b>Sep</b>	<b>Okt</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>
<b>Dag</b>	156000	139000	130000	63200	6950	0	0	0	15600	67700	107000	142000
<b>Natt</b>	153000	149000	127000	81400	21100	0	0	0	22600	92000	123000	150000





## Appendix 3

### Beräkningar koncept 2

Se Appendix 4 för konstanter samt krav på tappvarmvatten, golvvärmesystem och närvärmesystem. Även beräkningar för förvärmning återfinns i Appendix 4. Det som bör tilläggas för koncept 2 är att temperaturen som går in i närvärmesystemet är,  $T_{nv,in}=70^{\circ}C$

#### Massflödesberäkning

I närvärmesystemet kan temperaturen efter värmeväxlingen mot tappvarmvattnet varieras efter behov. Dessa beräkningar ger de temperaturer som värmeväxlaren, respektive värmepumpen kan arbeta mellan för att systemet ska bli så energieffektivt som möjligt. Temperaturerna beräknas genom att sätta massflödet i värmeväxlaren och värmepumpen lika.

$$m_{nv,gv} = m_{nv,tvv,vvx} \Rightarrow P_{tvv,vvx} \times c_p \times \Delta T_{nv,tvv,vvx} = P_{gv} \times c_p \times \Delta T_{nv,gv}$$

Den sammanlagda temperaturdifferensen för värmeväxlaren och värmepumpen är

$$\Delta T_{nv,tvv,vvx} + \Delta T_{nv,gv} = T_{nv,in} - T_{nv,ut}$$

Detta ger

$$\Delta T_{nv,tvv,vp} = \frac{T_{nv,in} - T_{nv,ut}}{1 + \frac{P_{gv}}{P_{tv,vp}}} = 9,0^{\circ}C$$

$$\Delta T_{nv,gv} = T_{nv,in} - T_{nv,ut} - \Delta T_{nv,tvv,vvx} = 38,0^{\circ}C$$

Detta ger temperaturen i närvärmesystemet efter värmeväxlingen mot tappvarmvattnet och innan värmeväxlingen mot golvvärmesystemet

$$T_{nv,tvv,vvx,ut} = T_{nv,gv,in} = 61,0^{\circ}C$$

#### Beräkning av flöde i närvärme- och golvvärmesystemet

Närvärmesystemets massflöde kan nu beräknas på två sätt, dels utifrån energibehovet i värmeväxlaren mot tappvarmvattnet och dels utifrån energibehovet i värmeväxlaren mot golvvärmesystemet. Dessa värden bör bli lika.

En energibalans ställs upp över värmeväxlaren mot golvvärmesystemet, här gäller  $P_{in}=P_{ut}$  eftersom vi räknar med att verkningsgraden är 100 %.

$$P_{in} = c_p * T_{nv,gv,in} * m_{nv} + c_p * T_{gv,in} * m_{gv}$$

$$P_{ut} = c_p * T_{nv,ut} * m_{nv} + c_p * T_{gv,ut} * m_{gv}$$

Detta ger

$$m_{nv} = \frac{P_{gv}}{c_p * \Delta T_{nv,gv}} = 0,000037 \text{ kg / s, m}^2$$

$$m_{gv} = \frac{P_{gv}}{c_p * (T_{gv,in} - T_{gv,ut})} = 0,00020 \text{ kg / s, m}^2$$

På samma sätt fås, utifrån energibehovet i värmeväxlaren mot tappvarmvattnet,

$$m_{nv} = \frac{P_{tvv,vvx}}{c_p \Delta T_{nv,tvv,vp}} = 0,000037 \text{ kg / s, m}^2$$

Det totala flödet i närvärmesystemet blir då

$$m_{nv,tot} = A * m_{nv} = 1,4 \text{ kg/s}$$

### **Fjärrvärmebehov**

För Koncept 2 behövs fjärrvärmen dels för att täcka effektbehovet och dels för att höja temperaturen i närvärmenätet till 70° C. Detta innebär att fjärrvärme måste köpas in även under sommarmånaderna då energin i från spillvärmen egentligen täcker behovet men temperaturen är för låg för tappvarmvattnet.

Mängden fjärrvärme som behöver köpas in för Koncept 2 ges av energin som krävs för att höja temperaturen till 70° C varje månad, subtraherat tillgänglig spillvärme, samt avdrag för förvärmning

<b>Koncept 2 –Fjärrvärmebehov (kWh/mån)</b>												
Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Dag	164000	147000	138000	71000	35000	20900	20900	20900	45100	75400	115000	149000
Natt	155000	141000	136000	76000	25600	5230	5230	5230	37900	88100	115000	142000

## Appendix 4

### Beräkning av gradtimmar

Gradtimmarna används för att beräkna uppvärmningsbehov av bostadshus utifrån utomhustemperaturen. Gradtimmarna,  $h_{grad}$ , beror av önskad inomhustemperatur,  $T_{inomhus}$ , egenvärme i huset,  $T_{egen}$ , medeltemperaturen för den aktuella månaden,  $T_{medel}$ , antalet timmar i månaden,  $h$ , samt en solinstrålningsfaktor. Sambandet mellan faktorerna ges enligt:

$$h_{grad} = (T_{inomhus} - T_{egen} - T_{medel}) * h - \text{solinstrålningsfaktor}$$

Inomhustemperaturen antas här vara 20°C. Här används inte något värde för egenvärmen då detta inte påverkar andelen gradtimmar per månad. För normalhus ligger egenvärmen på ca 2°C. Avdrag för solinstrålning kan göras under september, april och maj och den kan antas vara 0,7.

Utifrån nedanstående värden på medeltemperaturen i Göteborg beräknas gradtimmarna.

#### Medeltemperatur Göteborg (°C)

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
$T_{medel}$ (°C)	-1,6	-1,6	1,2	5,2	10,9	-	-	-	12,2	8,2	3,7	0,3

I tabellen nedan visas gradtimmarna för respektive månad i Göteborg. Med andel menas antalet gradtimmar för den aktuella månaden dividerat med summan av alla gradtimmar under ett år. Energiförbrukningen som visas är baserad på en efterfrågan på 45 kWh/m<sup>2</sup> och år, detta är multiplicerat med andelen för varje månad.

#### Gradtimmor, Andel och Fördelning energiförbrukning

Månad	Jan	Feb	Mars	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
$h_{grad}$	16100	14500	14000	7460	2290	-	-	-	3930	8780	11700	14700
Andel	0,17	0,16	0,15	0,08	0,025	-	-	-	0,042	0,094	0,13	0,16
E (kWh/m <sup>2</sup> )	7,74	6,99	6,74	3,59	1,11	-	-	-	1,89	4,23	5,65	7,06



## Appendix 5

### Energitillförsel under 33°C i koncept 2

Den andel av energin som kan tillföras under 33°C i koncept 2 beräknas som en kvot mellan energitillförseln i form av spillvärme och den totala energitillförseln. Energin är proportionell mot effekten som ges av värmekapacitetsformeln och eftersom flödet och den specifika värmekapaciteten är samma i täljare och nämnare kan dessa förkortas bort. Detta ger en kvot mellan följande temperaturer.

$T_{\text{retur}}=15^{\circ}\text{C}$       *Närvärmenätets returtemperatur*

$T_{\text{nv}}=70^{\circ}\text{C}$       *Närvärmenätets framledningstemperatur*

$T_{\text{spillvärme}}=33^{\circ}\text{C}$       *Temperaturen i närvärmenätet efter värmeväxling mot spillvärmen vi Coop*

$$\frac{P_{\text{spillvärme}}}{P_{\text{totalt}}} = \frac{m * c_p * \Delta T_{\text{spillvärme}}}{m * c_p * \Delta T_{\text{totalt}}} = \frac{\Delta T_{\text{spillvärme}}}{\Delta T_{\text{totalt}}} = \frac{T_{\text{spillvärme}} - T_{\text{retur}}}{T_{\text{nv}} - T_{\text{retur}}} = \frac{33 - 15}{70 - 15} = 33\%$$



## Appendix 6

### Dimensionering av rör

Rörtjockleken bestäms av massflödet som ska passera genom röret. Enligt *Mörstedt* [33] är densiteten för vatten  $998 \text{ kg/m}^3$  vid  $20^\circ\text{C}$ , detta värde anses tillräckligt exakt för beräkningar även för andra temperaturer. Vattenflödet i Koncept 1, på  $6,6 \text{ kg/s}$ , motsvarar då  $0,0066 \text{ m}^3/\text{s}$  och flödet i koncept 2, på  $1,4 \text{ kg/s}$ , motsvarar  $0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$ . Rörtjockleken väljs sedan genom att iterera fram den rörstorlek som klarar flödet.

Följande värden är hämtade ur produktkatalog från *Powerpipe Systems AB* [34], dessa gäller för raka dubbelrör.

DN	D [mm]	A [m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
32	42,4	0,00141	0,8
40	48,3	0,00183	0,9
50	60,3	0,00286	0,9
...			
80	88,9	0,00621	1,0
100	114,3	0,01026	1,1
125	139,7	0,01533	1,3

DN = Dimension  
 D = Rördiameter  
 A= Flödesarea  
 v = Flödeshastighet

Med hjälp av formeln för flöde beräknas arean, som  $A = \frac{Q}{v}$ , för olika flödeshastigheter.

Utifrån detta väljs det minsta rör som klarar flödet för respektive koncept. De rör som väljs är kursiva och markerade i tabellen nedan.

	m	Q	v	A	Dimension
Koncept 1	6,6	0,0066	1,0	0,00661	
	<b>6,6</b>	<b>0,0066</b>	<b>1,1</b>	<b>0,00601</b>	<b>DN 40</b>
	6,6	0,0066	1,3	0,00509	
Koncept 2	1,4	0,0014	0,8	0,00175	
	<b>1,4</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,9</b>	<b>0,00156</b>	<b>DN 100</b>
	1,4	0,0014	0,9	0,00156	





## Appendix 7

### Ekonomi

#### Fjärrvärmepris

Fjärrvärmepriset är beräknat enligt Göteborg Energi AB:s prismodell med en energidel och en effektdel. Energidelen är samma i alla alternativ och effektdelen är olika för respektive alternativ. Effektdelen baseras på en prisgrundande medeleffekt som är medeleffekten för de tre dygn med högst energiförbrukning under de senaste tolv månaderna. Dessa tre dygn antas alla infalla i januari så dygnsmedeleffekten under januari används som prisgrundande medeleffekt i alla fallen. Källa *Göteborg Energi AB* [27].

---

#### Göteborg Energi AB fjärrvärmepriser 2009, Energidel

Vinter	469	kr/MWh	Januari, februari, mars, december
Vår/Höst	321	kr/MWh	April, oktober, november
Sommar	98	kr/MWh	Maj, juni, juli, aug, september

#### Referensförslag

Här beräknas effektdelen för referensförslaget.

---

#### Göteborg Energi AB fjärrvärmepriser 2009, Effektdel

Dygnsmedeleffekten är 474 kW

För intervallet 250-500 kW/dygn gäller följande pris

Fastpris effektkostnad fr tabell	18500	kr/år
Rörlig effektkostnad fr tabell	580	kr/kW
Rörlig effektkostnad	275204	kr/år
Effektpris Per dag	805	kr/dag

Med den givna förbrukningen varje månad blir de månadsvisa kostnaderna för fjärrvärme:

---

#### Referens: Fjärrvärmepris per månad

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Effekt(MWh)	342	313	304	184	89,4	47,5	47,5	47,5	119	208	262	316
Energipris(kr)	160000	147000	142000	59100	8760	4660	4660	4660	11700	66800	84200	148000
Effektpris(kr)	24900	24900	24900	24900	24900	24900	24900	24900	24900	24900	24900	24900
Fjärrvärmepris(kr)	185000	172000	167000	84000	33700	29600	29600	29600	36700	91800	109000	173000

Vilket ger ett totalt fjärrvärmepris på **1 141 000 kr/år**

## Koncept 1

---

### Göteborg Energi AB fjärrvärmepriser 2009, Effektdel

---

Dygnsmedeleffekten är 429 kW

För intervallet 250-500 kW/dygn gäller följande pris

Fastpris effektkostnad fr tabell	18500	kr/år
Rörlig effektkostnad fr tabell	580	kr/kW
Rörlig effektkostnad	248815	kr/år
Effektpris Per dag	732	kr/dag

Med den givna förbrukningen varje månad blir de månadsvisa kostnaderna för fjärrvärme:

---

### Koncept 1: Fjärrvärmepris per månad

---

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Effekt(MWh)	309	289	257	145	28	0	0	0	38	160	230	292
Energipris(kr)	145000	136000	121000	46400	2750	0	0	0	3750	51200	73800	137000
Effektpris(kr)	22700	22700	22700	22700	22700	22700	22700	22700	22700	22700	22700	22700
Fjärrvärmepris(kr)	168000	158000	143000	69100	25500	22700	22700	22700	26600	74000	96600	159000

Vilket ger ett totalt fjärrvärmepris på **988 000 kr/år**

## Koncept 2

---

### Göteborg Energi AB fjärrvärmepriser 2009, Effektdel

---

Dygnsmedeleffekten är 442 kW

För intervallet 250-500 kW/dygn gäller följande pris

Fastpris effektkostnad fr tabell	18500	kr/år
Rörlig effektkostnad fr tabell	580	kr/kW
Rörlig effektkostnad	256640	kr/år
Effektpris Per dag	754	kr/dag

Med den givna förbrukningen varje månad blir de månadsvisa kostnaderna för fjärrvärme:

---

### Koncept 2: Fjärrvärmepris per månad

---

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Effekt(MWh)	319	288	274	147	61	26	26	26	83	164	230	291
Energipris(kr)	149000	135000	128000	47200	5940	2560	2560	2560	8140	52500	73900	137000
Effektpris(kr)	23400	23400	23400	23400	23400	23400	23400	23400	23400	23400	23400	23400
Fjärrvärmepris(kr)	173000	158000	152000	70600	29300	25900	25900	25900	31500	75900	97300	160000

Vilket ger ett totalt fjärrvärmepris på **1 025 000 kr/år**

## **Elpris**

### **Koncept 1**

Elpriset för värmepumpen i koncept 1 är beräknat utifrån prisuppgifter från DinEl, källa *Palviainen* [28]. Nätavgiften är uppskattad till 25 % av det totala elpriset. Enligt Appendix 1 är den totala elförbrukningen 117 000 kWh/m<sup>2</sup> och år och den antas vara jämt fördelad över året. Elpriset är uppbyggt enligt följande

Elpris, DinEl	0,79 kr/kWh	Motsvarar ca 75%
Nätavgift	0,26 kr/kWh	Motsvarar ca 25%
Elpris totalt	1,06 kr/kWh	

Vilket, för den givna förbrukningen, ger en kostnad för el på **123 000 kr/år**



## Appendix 8

### Medelpris för fjärrvärmem

För att kunna relatera prissättningen på spillvärmem till något beräknas medelpriset av den fjärrvärmem som används i de tre alternativen. Eftersom kostnaden för fjärrvärmem i Göteborg beror på hur mycket man förbrukar blir medelkostnaden inte samma i de tre alternativen. Ett medel av alternativens kostnader beräknas sedan.

**Tabell 4 Medelfjärrvärmepreis per kilowattimme i de tre alternativen samt medelvärdet av dessa**

	Förbrukning [MWh/år]	Kostnad [kr/år]	Medelpris [kr/kWh]
Referens	2280	1141000	0,50
Koncept 1	1820	1034000	0,57
Koncept 2	2007	1071000	0,53

**Medel: 0,53**

Medelpriset för fjärrvärmem är alltså 53 öre/kWh.