



Uppvärmning och kylning av lokaler ur energi- och miljömässigt samt ekonomiskt perspektiv

Anna Boss, Monica Axell, Caroline Haglund Stignor,
Roger Nordman, Lennart Rofsman

Uppvärmning och kylning av lokaler ur energi- och miljömässigt samt ekonomiskt perspektiv

Anna Boss, Monica Axell, Caroline Haglund Stignor, Roger Nordman, Lennart Rolfman

Abstract

Demand for cooling of commercial buildings is increasing and there is a potential for expanding district cooling systems, especially in district heating areas. Using district heating and district cooling has been compared to heat pump techniques. Primary energy, environmental influence and economy have been evaluated. Four buildings in Gothenburg have been included in the study and certain differences have been found depending on demands of heating and cooling, which vary according to design and activity.

The results are specific for Gothenburg due to the combination of production methods for district heating and cooling and the pricing, which differ compared to other places. Different perspectives on production of electricity, district heating and district cooling, e.g. average or marginal production, is of vital importance when comparing environmental influence.

In most of the case studies the demand of primary energy is lower for district heating and cooling compared to heat pump systems. With a marginal perspective district heating and cooling will lead to lower emissions of greenhouse gases. Using the perspective of average production will on the other hand rate heat pump systems to have a lower influence on the greenhouse effect in most of the cases.

Which technique is the most cost efficient depends mainly upon relation of heating and cooling demands. Where there is a greater demand for cooling than for heating, district heating and cooling is more advantageous.

It is a need for improved data in commercial buildings from reliable field measurements. The quality of the evaluation is very much dependent on reliable measured data from real installations.

Key words: heating, cooling, commercial buildings, district heating, district cooling, heat pump, primary energy, environmental influence, economical analysis

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2009:40
ISBN 978-91-86319-28-1
ISSN 0284-5172
Borås 2009

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	7
Använda begrepp och förkortningar	8
Sammanfattning	9
1 Inledning	10
1.1 Bakgrund	10
1.2 Syfte	10
1.3 Omfattning	10
1.4 Metod	10
2 Lokaler och deras energibehov	12
2.1 Lokalval och datainsamling	12
2.1.1 Energi och effektdata för de olika lokalerna	12
2.2 Stampgatan – Kontor mm	13
2.2.1 Beskrivning av byggnaden	13
2.2.2 Energibehov	14
2.3 Handelshögskolan – Utbildning	15
2.3.1 Beskrivning av byggnaden	15
2.3.2 Energibehov	16
2.4 Etage – Köpcentrum	18
2.4.1 Beskrivning av byggnaden	18
2.4.2 Energibehov	18
2.5 Academicum och Anatomihöghuset – Kontor och konferenslokaler	21
2.5.1 Beskrivning av byggnaden	21
2.5.2 Energibehov	22
3 Systemlösningar	23
3.1 Metod	23
3.2 Stampgatan	23
3.2.1 Fjärrvärme och fjärrkyla	23
3.2.2 Bergvärme	23
3.2.3 Luftvärmepump	27
3.2.4 Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin	31
3.3 Handelshögskolan	33
3.3.1 Fjärrvärme	33
3.3.2 Luftvärmepump med fjärrvärmespets	34
3.3.3 Luftvärmepump med elspets	36
3.4 Etage	36
3.4.1 Fjärrvärme och fjärrkyla	36
3.4.2 Bergvärme	36
3.5 Academicum och Anatomihöghuset	40
3.5.1 Fjärrvärme och fjärrkyla	40
3.5.2 Bergvärme med fjärrvärmespets	41
3.5.3 Bergvärme med elspets	42

4	Energi- och miljöanalys	43
4.1	Metod	43
4.1.1	Miljöanalys	43
4.1.2	Allokering av miljöbelastning	44
4.1.2.1	Energimetoden	44
4.1.2.2	Exergimetoden	44
4.1.2.3	Alternativproduktionsmetod	44
4.1.2.4	200 % metoden	45
4.1.2.5	Ekonomisktvärde metod	45
4.1.2.6	Kraftbonusmetoden eller primärenergimetoden	45
4.1.2.7	Dynamisk metod	46
4.1.3	Val av allokeringsmetod	46
4.1.4	Betraktelsesätt för miljövärdering av el, värme och kyla	46
4.1.5	Beräkningsprogram för miljöanalys	47
4.1.6	Produktion av el, värme och kyla	48
4.1.7	Primärenergi	52
4.1.8	Miljöanalys och Effem	53
4.2	Stampgatan	55
4.2.1	Energi	55
4.2.2	Miljöanalys	56
4.3	Handelshögskolan	59
4.3.1	Energi	59
4.3.2	Miljöanalys	60
4.4	Etage	63
4.4.1	Energi	63
4.4.2	Miljöanalys	63
4.5	Academicum och Anatomihöghuset	66
4.5.1	Energi	66
4.5.2	Miljöanalys	67
5	Ekonomisk analys	70
5.1	Metod	70
5.2	Stampgatan	71
5.2.1	Fjärrvärme och fjärrkyla	71
5.2.2	Bergvärme	72
5.2.3	Luftvärmepump	72
5.2.4	Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin	72
5.2.5	Jämförelse	73
5.2.6	Parametervariationer	73
5.3	Handelshögskolan	74
5.3.1	Fjärrvärme	74
5.3.2	Luftvärmepump med fjärrvärmespets	74
5.3.3	Luftvärmepump med elspets	74
5.3.4	Jämförelse	75
5.3.5	Parametervariationer	75
5.4	Etage	76
5.4.1	Fjärrvärme och fjärrkyla	76
5.4.2	Bergvärme	76
5.4.3	Jämförelse	77
5.4.4	Parametervariationer	77
5.5	Academicum och Anatomihöghuset	78
5.5.1	Fjärrvärme och fjärrkyla	78
5.5.2	Bergvärme med fjärrvärmespets	78
5.5.3	Bergvärme med elspets	78
5.5.4	Jämförelse	78

5.5.5	Parametervariation	79
6	Sammanställning av resultat	80
7	Diskussion	82
7.1	Data för energibehov	82
7.2	Data för systemlösningar	83
7.3	Energi- och miljöanalyser	84
7.4	Ekonomiska analyser	85
7.5	Övrigt	86
8	Slutsatser	87
9	Framtida arbete	89
	Referenser	90
	Bilaga A Primärenergifaktorer	92
	Bilaga B Beräkning av primärenergifaktorer för Göteborg Energi	93
	Bilaga C Beräkning av miljöeffekter	95

Förord

Föreliggande arbete har genomförts av en projektgrupp på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut och finansierats av Göteborg Energi AB:s stiftelse för forskning och utveckling. Till vår hjälp har vi haft en referensgrupp bestående av följande personer som vi vill rikta ett varmt tack till:

Enno Abel	Akademiska Hus AB
Karin Ekh	Göteborg Energi AB
Göran Hellström	Lunds Tekniska Högskola
Morgan Runesson	Refcon AB
Anders Ådahl	Göteborg Energi AB

Använda begrepp och förkortningar

Allokering	Fördelning av miljöbelastning från en process som resulterar i flera produkter, t.ex. till el respektive fjärrvärme från kraftvärmeverk.
A_{temp}	Uppvärmad area
BTA	Bruttoarea
COP	Värme-/ köldfaktor. Från värmepump producerad värme- eller kyleffekt dividerat med el till värmepump (kompressor och intern pump). Används även vid fjärrkylproduktion för producerad kyla dividerat med använd el (kompressor eller frikyla) respektive fjärrvärme (absorptionskylmaskin).
Genomsnittsproduktion	Genomsnittlig mix av aktuella produktionsmetoder för el, fjärrvärme respektive fjärrkyla i ett område.
Marginalproduktion	Produktion av el, fjärrvärme respektive fjärrkyla med den dyraste metoden, den som ökas i sista hand när behovet ökar.
Primärenergi	Energi som finns i en naturresurs innan utvinning och förädling. Total primärenergi omfattar både fossila råvaror och förnybara resurser. Icke förnybar primärenergi utesluter förnybara resurser
SPF	Seasonal performance factor. Begreppet används här om summan av värme- och kylbehov dividerat med totalt elbehov för värmepumpssystem inklusive pumpar och kylmedelskylare under ett år.
Varaktighetsdiagram	Diagram över värme- och kylbehov mot tid, sorterat efter stigande temperatur.

Sammanfattning

Det är en ökande efterfrågan på kyla i lokaler och en potential att bygga ut fjärrkyla, speciellt i områden där det redan finns fjärrvärme. Att kyla lokaler med fjärrkyla och värma med fjärrvärme har jämförts med värmepumpande teknik. Jämförelsen har gjorts ur tre olika perspektiv: primärenergianvändning, miljöbelastning och ekonomi. Fyra lokaler i Göteborg har studerats och vissa skillnader i resultat finns beroende på lokalernas olika behov av värme och kyla, som varierar med utformning och verksamhet.

Resultatet från analyserna är specifikt för Göteborg, detta beroende på att produktionsmixen för fjärrvärme- och fjärrkyl är specifika för Göteborg och har en viss specifik prisättning, som skiljer sig andra orter. Vid jämförelsen mellan de olika systemlösningarnas miljöbelastning är valet av synsätt för hur el, fjärrvärme och fjärrkyla är producerat ofta av avgörande betydelse. Om systemet studeras ur ett marginal eller genomsnittsperspektiv får en stor påverkan på resultatet.

I de flesta av de studerade fallen är primärenergibehovet lägre för fjärrvärme och fjärrkyla än för värmepumpssystem. Med marginalperspektiv blir belastningen av växthuseffekten lägre för fjärrvärme och fjärrkyla än med värmepumpssystemen. Omvänt blir växthuseffekten med genomsnittliga produktionsmixer oftast lägre för värmepumpssystem än med fjärrvärme och fjärrkyla,

Vilket alternativ som är mest kostnadseffektivt varierar framförallt beroende av relationen mellan värme- och kylbehov. Är kylbehovet större än värmebehovet är en systemlösning med fjärrvärme och fjärrkyla mer fördelaktig.

En viktig slutsats från det här projektet är att det finns ett stort behov att få fram bättre underlag i form av tillförlitliga mätdata för lokaler. Det sker mycket mätningar idag men mätdata är oftast ofullständiga eller av för dålig kvalitet för att vara tillförlitliga som indata till den typ av analyser som genomförts i det här projektet.

Sökord: Uppvärmning, kylning, lokaler, fjärrvärme, fjärrkyla, värmepump, primärenergi, miljöbelastning, ekonomisk analys

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Projektet grundar sig på en ökande efterfrågan på kyla i lokaler. Det finns potential att bygga ut fjärrkyla, speciellt i områden där fjärrvärme redan är väl utbyggd. Ökad avfallsförbränning och intresse för energikombinat innebär också möjligheter att producera värmedriven kyla. En förutsättning för utbyggnad är dock att detta kan genomföras så att tekniken är energi-, miljömässigt och ekonomiskt konkurrenskraftig jämfört med värmepumpande teknik.

1.2 Syfte

Lokalers geografiska lokalisering, utformning och verksamhet avgör deras behov av uppvärmning och kylning och hur detta varierar över året. Beroende på hur dessa behov tillgodoses ser energibehov, miljöpåverkan och ekonomi olika ut. Syftet med det här projektet är att jämföra fjärrvärme och fjärrkyla med värmepumpande teknik ur dessa tre perspektiv samt att utreda för vilka lokaler det är lämpligt att välja den ena eller den andra tekniken.

1.3 Omfattning

Studien omfattar fyra lokaler med olika utformning och verksamhet. Geografiskt är studien begränsas till lokaler placerade i Göteborg. En av lokalerna ligger dock i Trollhättan, men analyseras som om den skulle ligga i Göteborg. Begränsningen innebär bl.a. ett antagande om ett utomhusklimat motsvarande Göteborg samt att analyserna av fjärrvärme och fjärrkyla baseras på det system som finns i Göteborg, med givna produktionsmixer och priser.

Studerade uppvärmnings- och kylningsmetoder har valts för respektive lokal. Fjärrvärme- och fjärrkylsystemen är lika för alla lokaler, men värmepumpssystem har valts utifrån förutsättningar. I något fall har både system med bergvärme och med luftvärme studerats och i ett par fall har kombination av värmepump och fjärrvärme varit ett alternativ.

Jämförelse har gjorts mellan de alternativa uppvärmnings- och kylningsmetoderna, medan distributionssystem och ventilation har antagits vara detsamma. Jämförelserna omfattar energi, miljö och ekonomi.

1.4 Metod

Projektet har genomförts av en projektgrupp på SP med stöd av en referensgrupp med företagsrepresentanter. Från SP har Monica Axell, Anna Boss, Caroline Haglund Stignor, Roger Nordman och Lennart Rolfman medverkat. I referensgruppen har följande personer ingått:

Enno Abel, Akademiska Hus AB
Karin Ekh, Göteborg Energi AB
Göran Hellström, Lunds Tekniska Högskola
Morgan Runesson, Refcon AB
Anders Ådahl, Göteborg Energi AB

Uppgifter om lokaler och deras energibehov (värme och kyla) har samlats in från fastighetsägare eller fjärrvärme- och fjärrkylleverantör. I första hand har uppmätta data från ett år använts. I ett fall har behoven simulerats. Utifrån behoven har varaktighetsdiagram tagits fram. Insamlade behovsdata har använts som de är utan normalårskorrigerings.

Befintliga teknislösningar från de studerade lokalerna har använts där det varit möjligt. I övrigt har system dimensionerats utifrån behoven och med hjälp av datablad och beräkningsprogram från tillverkare.

Primärenergi för de olika systemen har beräknats enligt metod i standarden EN 15603 (2008) och miljöpåverkan har analyserats med hjälp av programvaran Effem (2008). I EFFem kan användaren antingen välja på att definiera en elmix eller att använda några färdiga elmixar bl.a. Sverigemix, EU-mix, miljöklassad el eller marginalet. Val av något annat beräkningsprogram bör ge samma resultat med samma indata.

Analyserna baseras på två olika fördefinierade "mixer" för energiproduktionen; marginalproduktion för el, fjärrvärme och fjärrkyla respektive nordisk mix för el och Göteborg Energis genomsnittliga produktionsmix för fjärrvärme och fjärrkyla.

Årliga kostnader för de olika systemlösningarna har beräknats enligt annuitetsmetoden. Beräkningar har gjorts på ett 30-årsperspektiv med kalkylränta på 7 %. Investerings- och underhållskostnader bygger i de flesta fall på uppskattningar enligt diskussioner i referensgruppen. För energipriser har statistik och aktuella prislistor använts. För att utreda resultatens känslighet för variationer i indata har elpris, avskrivningstid och servicekostnad varierats och redovisats för samtliga alternativ i indexform. Under respektive avsnitt beskrivs metoderna för systemlösningar och analyser mer i detalj.

2 Lokaler och deras energibehov

2.1 Lokalval och datainsamling

Fyra lokaler ingår i studien. Dessa har valts ut i samråd med referensgruppen för att representera olika typer och storlekar. De ligger i eller nära Göteborg. För projektets syfte är det av intresse att de ligger i ett område med fjärrkyla eller där det finns möjlighet till framtida utbyggnad av fjärrkylnät. En annan faktor i lokalvalet var tillgängligheten på data.

Två av de studerade objekten är till största delen kontorslokaler, ett är en högskola och det fjärde ett köpcentrum.

I Sverige finns en total lokalarea på 130 miljoner m² fördelat på 52 000 fastigheter (Energistatistik för lokaler 2006, 2007). Den största delen, 59 % värms helt med fjärrvärme. Värmepump som enda uppvärmnings källa används bara för 1,4 % av arean, men värmepump kombinerat med andra uppvärmningssätt för 9 %.

De vanligaste typerna av lokaler är kontor, förvaltning och skolor, som står för 24 % vardera av arean. Handel står för 12 % av arean. Enligt statistiken använder en genomsnittlig lokal 138 kWh/m² uppvärmd area för uppvärmning och varmvatten under ett år. Inkluderar energi för kylning (fjärrkyla och el till komfortkyla) är den genomsnittliga energiförbrukningen 143 kWh/m².

Data för lokalernas uppvärmnings- och kylbehov har samlats in antingen från värme- och kylleverantör, där fjärrvärme och fjärrkyla används eller från fastighetsägare som har mätt upp energiförbrukningen alternativt genom simulering. Nedan följer beskrivningar av respektive lokal.

Lokalernas energibehov har relaterats till temperatur under perioden (timdata år 2007: Bäck, 2008; månadsdata år 2008: SMHI, 2008). Värdena har sorterats efter stigande temperatur och presenteras i varaktighetsdiagram.

2.1.1 Energi och effektdata för de olika lokalerna

Målsättningen med det här projektet var att basera samtliga beräkningar på uppmätta indata för de valda fastigheterna. De fastigheter som ingår i studien är följande:

- Kontor, Stampgatan, Göteborg
- Skola, Handelshögskolan, Göteborg
- Köpcentrum, Etage, Trollhättan
- Kontor och konferenslokal, Academicum och Anatomihögskolan, Göteborg

För de olika lokalerna har inte i något fall fullständiga uppmätta indata kunnat erhållas för beräkningar. Med fullständiga avses främst energidata innefattande producerad värme samt producerad kyla skild från frikyla. I praktiken innebär det att uppmätta data har fått kompletteras med indata som beräknats. Levererad fjärrvärme och fjärrkyla till lokalen på Stampgatan bör antagas vara korrekta eftersom dessa data är debiteringsdata för energileveranser från Göteborgs Energi. Information om det totala kylbehovet saknas eftersom debiterade kylenergi inte innefattar den ”frikyla” som har erhållits via undertempererad tilluft. Beräknade data från simuleringsprogram kan vara både brutto behov av kylenergi och nettoenergi dvs vad en fjärrkylleverantör behöver leverera. Det är vid installation av kylcentral antingen den är en lokal kylmaskin eller en fjärrkylcentral väsentligt att skilja

på dessa två begrepp. Vid den första installationen av ammoniakmaskiner på Handels-högskolan ser detta inte ut att ha varit fallet.

Vid beräknade behov från verifierade simuleringsprogram blir erhållna energimängder ”riktiga” under förutsättning att indata är korrekta. Det skall dock poängteras att dessa beräknade data stämmer med verkligheten under förutsättningen att hela anläggningen är optimalt dimensionerad och injusterad. Ofta ger beräkningsprogram ett bruttobehov. En verklig installation kommer att behöva mindre energileveranser, men en marginal för ooptimerad drift bör finnas vid dimensionering. Denna osäkerhet är inräknad vid erfarna konsulter bedömning av behovet. I praktiken bör därför simulerade data vara lägre än de verkliga som är lägre än vad en konsult skattar behovet till.

2.2 Stampgatan – Kontor mm

2.2.1 Beskrivning av byggnaden

En av lokalerna som har studerats ligger på Stampgatan i centrala Göteborg. Den allra största delen av ytan består av kontor, men där finns också gym, tandläkarmottagning och arbetsförmedling. Nedan ges mer detaljer (Bång, 2008).

Tabell 1. Beskrivning Stampgatan

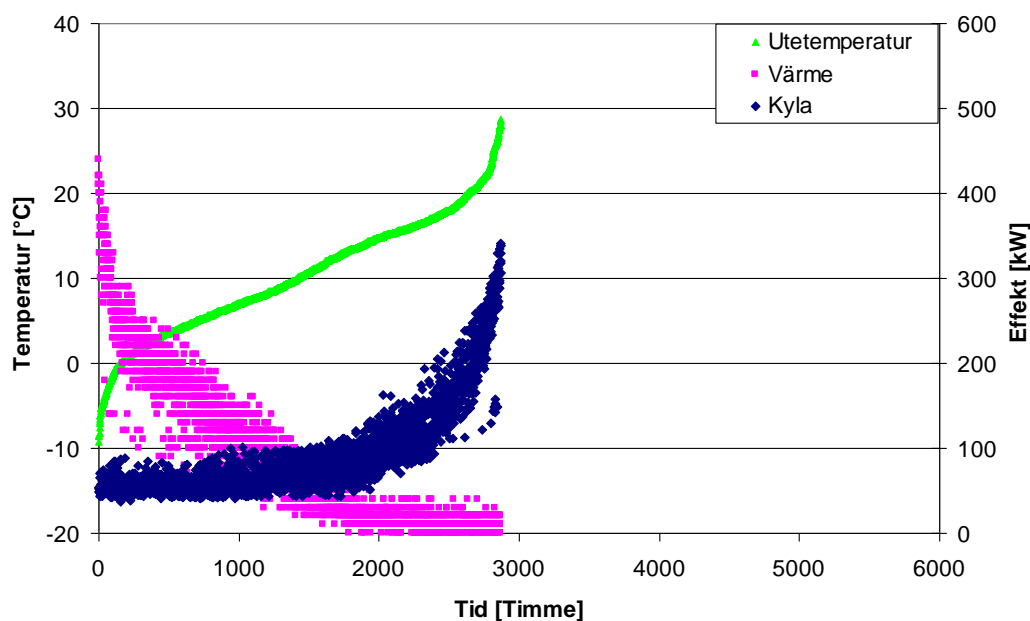
Geografisk placering	Stampgatan 14, centrala Göteborg.
Verksamhet	Kontor, konferensrum, gym/sjukgymnastik, tandläkarmottagning, arbetsförmedling (samt garage).
Area	10 000 m ² BTA
Byggnad och klimatskal	Sex våningar över mark och två våningar garage under markplan (lägre temperatur) samt ett vindsplan. C:a 60 % av fasaden är fönster (Wallenstam, 1986). Ingen utvändig solavskärmning.
Interna laster	Årlig elanvändning 50 kWh/m ² , installerad belysning 15-20 W/m ² , arbetstider huvudsakligen vardagar kl. 7-19, gym längre tid och även helger.
Distributionssystem	Vattenburen värme med radiatorer. Vattenburen kyla med kyltak. Krav på framledningstemperatur för värme 60°C. Krav på framledningstemperatur för kyltak 14 °C, för ventilation enligt dimensionering 6°C, men framledning fjärrkyla 8 °C vid högsta effekt enligt mätning, retur 15 °C.
Ventilation	18 l/s/person, drifttid normalt vardag c:a kl. 7-19. Värmeåtervinning. Temperatur på tilluft normalt 18°C, justeras efter rumstemperatur.
Uppvärmningsmetod	Fjärrvärme. Dimensionerande effekt 517 kW.
Kylmetod	Fjärrkyla. Dimensionerande effekt 500 kW.
Övrigt	–

2.2.2 Energibehov

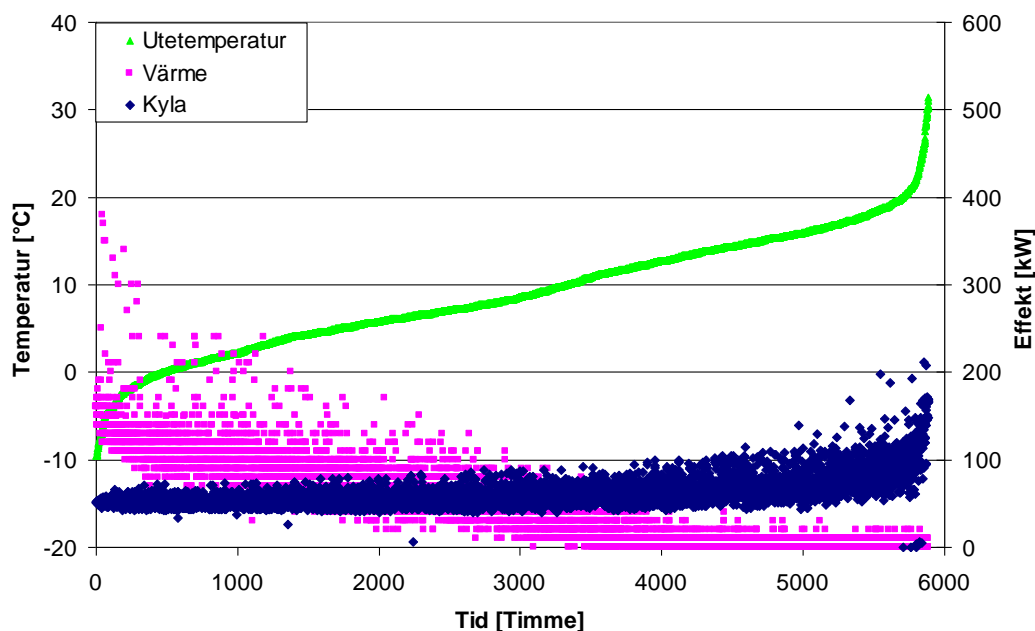
För lokalen på Stampgatan har data på levererad fjärrvärme och fjärrkyla erhållits från Göteborg Energi AB (Bång, 2008). Data representerar timvärden för värme- och kyleffekt under år 2007.

Behoven varierar kraftigt över tiden, inte bara beroende på temperatur, utan också på om människor finns närvarande samt att ventilation, belysning m.m. endast är i drift under dagtid. För att skapa en uppfattning om dessa variationer har behoven uppdelats på två varaktighetsdiagram, ett för dagtid kl. 8-18 på vardagar, d.v.s. i stort sett normal arbetstid, samt ett för helger och nätter, se Figur 1 och Figur 2. Från dessa kan utläsas att det finns ett basbehov av kyla under hela året omkring 60 kW och toppar på 350 kW under årets varmaste timmar. Det finns även ett basbehov av värme omkring 10-20 kW, vilket troligen svarar mot tappvarmvattenbehovet. Högsta värmebehovet under de kallaste timmarna är 450 kW. Man kan också tydligt se att det krävs högre effekter för såväl värme som kyla under arbetstid, då de interna lasterna och ventilationsflödena är högre. Totalt värmebehov under det undersökta året var 566 MWh och totalt kylbehov var marginellt större, 638 MWh.

Det finns ett relativt stort samtida behov av uppvärmning och kylning. Det tyder på att tilluften värms under den kalla årstiden, men att vissa ytor med högre interna laster än vad ventilationen klarar att föra bort, behöver kylas med den vattenburna kylkretsen.



Figur 1. Stampgatan – Energibehov sorterat efter stigande utetemperatur under dagtid, vardagar.



Figur 2. Stampgatan – Energibehov sorterat efter stigande utetemperatur under nätter och helger.

2.3 Handelshögskolan – Utbildning

2.3.1 Beskrivning av byggnaden

Handelshögskolan i centrala Göteborg innehåller lokaler för utbildning, så som hörsalar och bibliotek samt kontor för anställda. Beskrivning enligt nedan kommer från Olson (2008) och Akademiska hus (2008).

Tabell 2. Beskrivning Handelshögskolan

Geografisk placering	Vasagatan 1, centrala Göteborg.
Verksamhet	Utbildning (universitet), kontor, hörsalar, bibliotek.
Area	25 514 m ² BTA.
Byggnad och klimatskal	Byggår 1952, ombyggnad och utbyggnad 1995. 4-6 våningar. u-värde c:a 0,25 W/(m ² K) för ytterväggarna. Ingen yttre solavskärmning.
Interna laster	Total årlig elanvändning 110 kWh/m ² exklusive el till värmepump och kylmaskin. Installerad belysning c:a 10 W/m ² . Studenter motsvarande 3500 helårsstudieplatser samt 400 anställda. Lokalerna används främst dagtid, men i viss mån även på kvällar.
Distributionssystem	Vattenburen värme och kyla. Framledningstemperatur för värme 55 °C. Framledningstemperatur kyla 8 °C.
Ventilation	Dimensionerande ventilationsflöde 63 m ³ /s, variabelt ventilationsflöde i de flesta utrymmen. Nästan alla fläktar stängs av nattetid. Tilluftstemperatur 18-20 °C. Värmeåtervinning med roterande värmeväxlare.
Uppvärmningsmetod	Luftvärmepump 535 kW värme vid +3 °C utetemperatur. Fjärrvärme 1200 kW.
Kylmetod	Två ammoniakkylnmaskiner, totalt 1600 kW. Luftvärmepump 360 kW vid +3°C utetemperatur.

Övrigt	Luftvärmepumpen används höst, vinter och vår främst för uppvärmning. När den inte räcker för uppvärmning samt för varmvatten används fjärrvärme. Den allra största delen av kylan från luftvärmepumpen går direkt till uteluften, en mindre (och ej uppmätt) del används för kyla till delar av lokalerna, bl.a. datorrum och kök. Värmepumpen stängs av vid utetemperatur under -7 °C. Ammoniakkylmaskiner används på sommaren för kylning och då kan inte luftvärmepumpen användas.
--------	---

2.3.2 Energibehov

För Handelshögskolan finns uppmätta data på värme från värmepump och från fjärrvärme samt värmepumpens elförbrukning (Olson, 2008). Däremot saknas data på kylbehov. Data på el till kylmaskinen, som används sommartid finns, så därifrån skulle man kunna göra en uppskattning av kylbehovet under den tiden. I Figur 3 visas månadsvis värmebehov för 2007 sorterat efter stigande utetemperatur samt beräknat kylbehov utifrån uppmätt el till kylmaskinerna och en antagen kylfaktor på 3.

Värmebehovet varierar mellan 11 och 346 MWh per månad, det lägsta behovet under sommaren då det enbart finns ett tappvarmvattenbehov. Totalt värmebehov under året var 1873 MWh. Uppskattat kylbehov var som högst 23 MWh under en månad och 44 MWh under hela sommaren, d.v.s. endast 2 % av värmebehovet.

Som jämförelse gav Olson (2008) en uppskattning av rimligt kylbehov under sommaren utifrån ett antagande om maximal kyleffekt på 25 W/m^2 (640 kW) och beräknade kylenergin för halva denna effekt under 1500 timmar. Det gav ett totalt kylbehov sommartid på 450 MWh, d.v.s. 10 gånger mer än beräkningen utifrån eleffekt till kylmaskiner. Kylbehovet för de delar av lokalen som kräver kyla året runt uppskattade Olson till c:a 30 kW eller 270 MWh under hela året, vilket är på samma nivå per månad som den varmaste månaden enligt beräkningen från el till kylmaskiner.

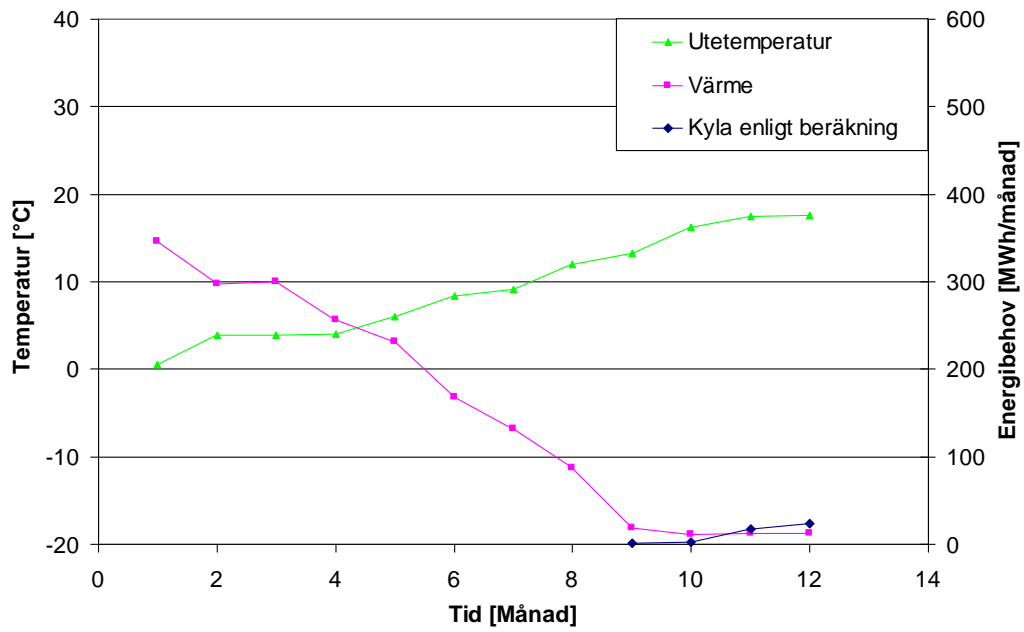
Möjligen kan frikyla via ventilationen räcka under en del av tiden för den kyla som behövs. Om temperaturskillnaden mellan tilluft och frånluft antas vara 2 °C skulle maximal tillgänglig frikyla via ventilationen vara c:a 150 kW under den tid då utemperaturen är tillräckligt låg. En uppskattning av total frikyla skulle kunna vara följande

- alltid undertempererad inblåsning
- under 9 månader dagtid bara frikyla
- under 3 månader dagtid halva tiden frikyla

Den erhållna frikyla energin kan uppskattas till 670 MWh under ett år. Under den tid som kylaggregaten är igång dagtid på sommaren skulle på samma sätt dessa ge 95 MWh. Ovan har kylbehovet beräknats till $450+270 \text{ MWh} = 720 \text{ MWh}$ Och med antagandena om frikyla $670+95 = 765 \text{ MWh}$. Med de många osäkra antagandena är överensstämmelsen tillräckligt bra för att misstänka att mycket verklig kylenergi erhålles via tilluften.

Det är värt att notera storleken på installerade kylmaskiner i förhållande till beräkningar och uppmätning av verkligt kylbehov.

Alternativt kan det tänkas att mätningen av el till kylmaskinerna är felaktig. Är behovet mycket större än vad dessa visar borde det dock ge utslag på att övrig el till lokalen (total el subtraherat med el till värmepumpar och kylmaskiner) ökar. Tvärtom minskar den istället något under sommaren.



Figur 3. Handelshögskolan – Energibehov månadsvis sorterat efter stigande utetemperatur. Punkterna för kyla representerar beräkning från el till kylmaskiner.

2.4 Etage – Köpcentrum

2.4.1 Beskrivning av byggnaden

Etage är ett köpcentrum i utkanten av Trollhättan. Beskrivning ges nedan (Skoogh, 2008; Geomatic, 2004).

Tabell 3. Beskrivning Etage

Geografisk placering	Ladugårdsvägen 13, Trollhättan (Överby köpcentrum)
Verksamhet	Köpcentrum.
Area	20 100 m ² A _{temp.}
Byggnad och klimatskal	Två våningar. Öppningsår 2004. Glasad fasad mot norr. u-värde ytterväggar 0,23 W/(m ² K), u-värde glasfasader 1,9 W/(m ² K).
Interna laster	Årlig elanvändning 190 kWh/m ² , utöver el till elvärme-panna och kylmaskiner. Öppettider c:a 8-19 måndag-fredag, 9-18 lördag-söndag. C:a 5 000 – 10 000 kunder/dag
Distributionssystem	Vattenburen värme och kyla. Framledningstemperatur värme 60°C, kyltak 14°C, kyla till ventilation 7°C.
Ventilation	Flöde c:a 6 m ³ /s. Konstantflödessystem, stängs normalt av på natten. Om rumstemperaturen på natten understiger 16 °C startar ventilationen för uppvärmning och om rumstemperaturen överstiger 22 °C startar ventilationen för kylning med uteluft förutsatt att uteluften är minst 3 °C lägre än rumstemperaturen.
Uppvärmningsmetod	Två elpannor à dimensionerande effekt 425 kW. Varmvattenberedare (el) i varje butik – inkluderas inte i studien.
Kylmetod	Två kylmaskiner à dimensionerande effekt 600 kW. Kylmedelskylare som även kan användas för kylning utan kylmaskinerna.
Övrigt	–

2.4.2 Energibehov

För Etage finns uppmätta data på uppvärmning månadsvis, men inte för kyla. De mätningar som finns när det gäller kyla är el till kylmaskinerna, men för kylmedelskylarna finns inga systematiska mätdata. Kylmedelskylarna står troligen för en relativt stor del av kylningen, eftersom de under kalla dagar används för frikyla utan att kylmaskinerna går. Dessutom tillkommer undertempererad tilluft under en stor del av året som källa till frikyla.

Det finns simulerade data för behoven (Roos, 2008) från simuleringsprogrammet IDA Klimat och Energi 4.0. Dessa har använts för både uppvärmning och kylning.

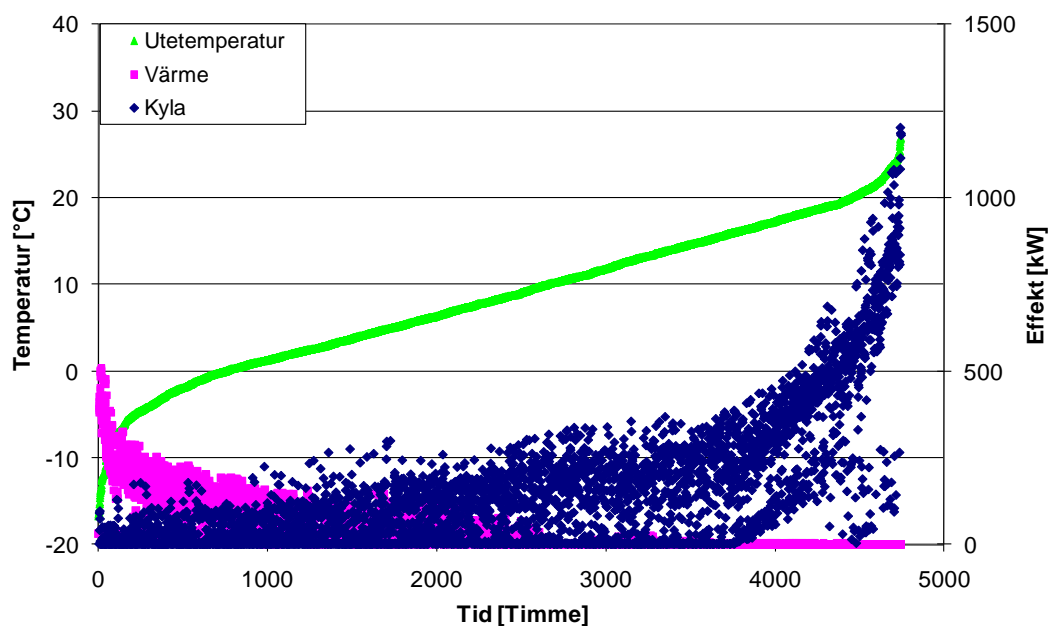
Figur 4 och Figur 5 visar varaktighetsdiagram för simulerade energibehov under dagtid (kl. 7-19) respektive nattetid för ett normalår (temperaturer för Trollhättan). Simuleringsmodellen tar hänsyn till kylning nattetid med uteluft genom extra ventilation, men det som visas i diagrammen är kyleffekt utöver denna frikyla.

Totalt värmebehov under ett normalår är enligt simuleringen 251 MWh och kylbehovet 685 MWh. Kylbehovet är nästan tre gånger så stort som värmebehovet. Högsta värmeeffekt under de kallaste timmarna är omkring 500 kW och högsta kyleffekt under den varmaste tiden är ungefär 1200 kW. Under nätterna är både kyl- och värmebehov nära noll.

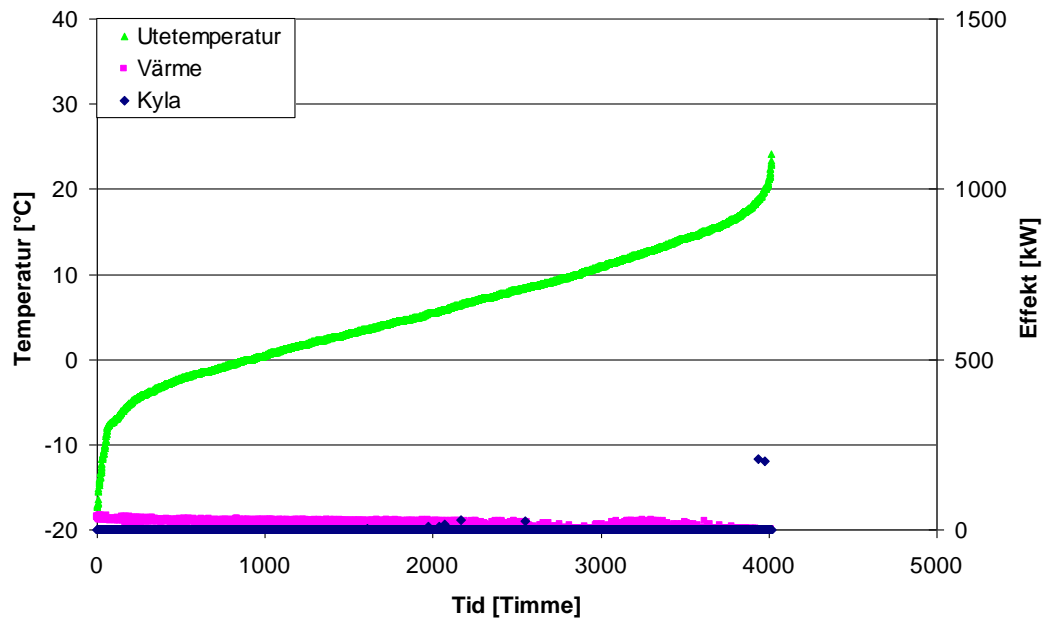
Som jämförelse kan nämnas att totala värmebehovet under 2006 (el till elpannor) uppmättes till 420 MWh (Skoogh, 2008), vilket är betydligt högre än simuleringens 251 MWh, dessutom med en något högre årsmedeltemperatur jämfört med ett normalår. Uppmätt el till kylmaskinerna under 2006 var 307 MWh. El till kylmedelskylare har inte mätts upp under ett helt år, men under en månad i november/december 2008 uppmättes det till 4 MWh, vilket troligen ger ett väsentligt bidrag till kylningen utan att kylmaskinerna körs. För att möjliggöra analys används de simulerade värdena.

Det skall anmärkas att verkliga energimängder har varit väsentligt högre än de simulerade. Kylaggregaten borde med normal service och injustering ha givit ett COP på åtminstone 3, vilket medför en producerad kylenergi i aggregaten på $3 \cdot 307 = 921$ MWh förutom frikyla direkt från kylmedelskylarna. Eftersom dessa är dimensionerade för att ge full kylning av kondensorvärmens varmaste dagen kan det antagas att de med kall omgivning kan ge väsentliga bidrag kylenergi utan att aggregaten är i drift. Verklighetens data anger betydligt högre både värme och kylbehov än de beräknade.

Värme $420/251 = 170\%$ och kyla $921/685 = 130\%$.



Figur 4. Etage – Effektbehov sorterat efter stigande utetemperatur under dagtid.



Figur 5. Etage – Effektbehov sorterat efter stigande utetemperatur nattetid.

2.5 Academicum och Anatomihöghuset – Kontor och konferenslokaler

2.5.1 Beskrivning av byggnaden

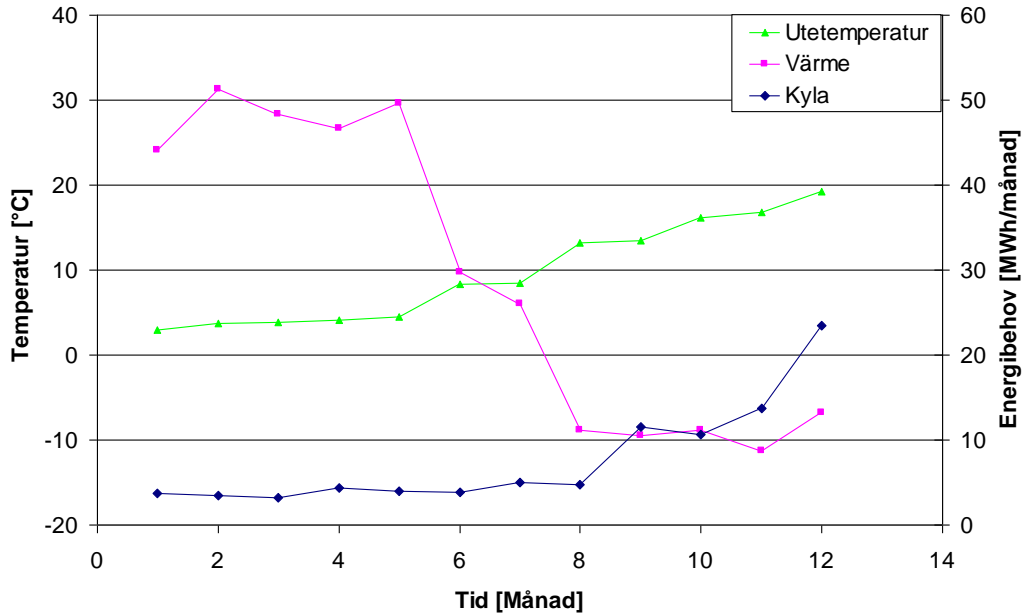
Academicum och Anatomihöghuset är två byggnader på Medicinareberget i Göteborg med gemensamt bergvärmesystem. Lokalerna består bl.a. av kontor, hörsal och student-service. Se vidare beskrivning nedan (Maripuu, 2006; Jagemar, 2005).

Tabell 4. Beskrivning Academicum och Anatomihöghuset

Geografisk placering	Medicinaregatan 3, Medicinareberget, Göteborg.
Verksamhet	Academicum: Stor foajé, konferensrum, hörsal (150 platser), kök, Faculty Club, personalrum, 14 kontor. Anatomihöghuset: 65 kontor, konferensrum, personalrum, expedition för student-service, serverutrymme.
Area	5050 m ² BTA (Academicum och Anatomihöghuset är ungefär lika stora).
Byggnad och klimatskal	Academicum: 3 våningar + källare. Möteslokaler med stora glasfasader, mot söder solskydd med invändiga gardiner. Anatomihöghuset: 5 våningar + vind. Byggår Academicum 2004, Anatomihöghuset 60-talet, renoverat 2004.
Interna laster	Årlig elanvändning 55 kWh/m ² , exklusive el till värmepump. Används främst dagtid.
Distributionssystem	Golvvärme i gemensamma utrymmen, radiatorer i kontor. Kyla integrerad med ventilation. Framledningstemperatur ventilation 15 °C. Framledningstemperatur värme: golvvärme 37 °C, radiatorsystem Academicum 55 °C, radiator-system Anatomihöghuset 60 °C.
Ventilation	Variabelt flöde (VAV), avstängt eller lägsta flöde utanför arbetstid, används 3500 h/år, dimensionerande flöde 5,0+3,6 m ³ /s. Värmeåtervinning med värmeväxlare. Tilluftstemperatur 15 °C.
Uppvärmningsmetod	Tre bergvärmepumpar à 35 kW, fjärrvärme 100 kW + 30 kW.
Kylmetod	Tre bergvärmepumpar à 36 kW och borrhål 60 kW. 11 st 180 m djupa borrhål.
Övrigt	För uppvärmning används i första hand värmepumparna. Fjärrvärme används för effektoppar vintertid. Tappvarmvattnet bereds med fjärrvärme i en intilliggande byggnad och ingår inte i mätningarna. Kyla fås sommartid huvudsakligen direkt från borrhål och effektoppar täcks av värmepumparnas förångare. När värmepumparna går i kyl-drift används kondensorvärme för uppvärmning och överskott dumpas i frånluften.

2.5.2 Energibehov

Energibehov har mätts upp av Akademiska hus (Abel, 2008). Figur 6 visar månadsbehoven för september 2007 – augusti 2008 (sorterat efter stigande utetemperatur). Varmvatten ingår inte. Värmebehovet varierar mellan 9 MWh och 51 MWh per månad och kylbehovet mellan 3 MWh och 24 MWh per månad. Kylbehov under vintern finns i serverrum. Totala energibehov under året är 351 MWh värme och 92 MWh kyla, d.v.s. kylbehovet är ungefär en fjärdedel av värmebehovet.



Figur 6. Academicum och Anatomihöghuset – Energibehov månadsvis sorterat efter stigande utetemperatur.

3 Systemlösningar

3.1 Metod

Systemlösningar har arbetats fram för respektive lokal, utifrån befintliga system samt datablad och beräkningsprogram från tillverkare av värmepumpar, beroende på vad som finns tillgängligt i varje enskilt fall. Jämförelser har också gjorts med mätningar från liknande system och diskussioner har förts i referensgruppen.

Distributionssystem i lokalerna har antagits vara de befintliga oberoende av de olika uppvärmnings- och kylningsmetoderna i respektive lokal.

Förenklade bilder visas av lösningar med värmepumpssystem. Ventiler, pumpar m.m. har inte ritats in. Siffrorna anger temperaturer i °C vid dimensionerande fall. I de fall två temperaturnivåer anges gäller den första vid dimensionerande värmebehov och den andra vid dimensionerande kylbehov.

3.2 Stampgatan

3.2.1 Fjärrvärme och fjärrkyla

Lokalen på Stampgatan använder i nuläget fjärrvärme och fjärrkyla. Dimensionerande effekt är för värme 517 kW och för kyla 500 kW. Totalt årligt behov av fjärrvärme är 566 MWh och av fjärrkyla 638 MWh. Data för behoven månadsvis behövs i analyserna och framgår av Tabell 5.

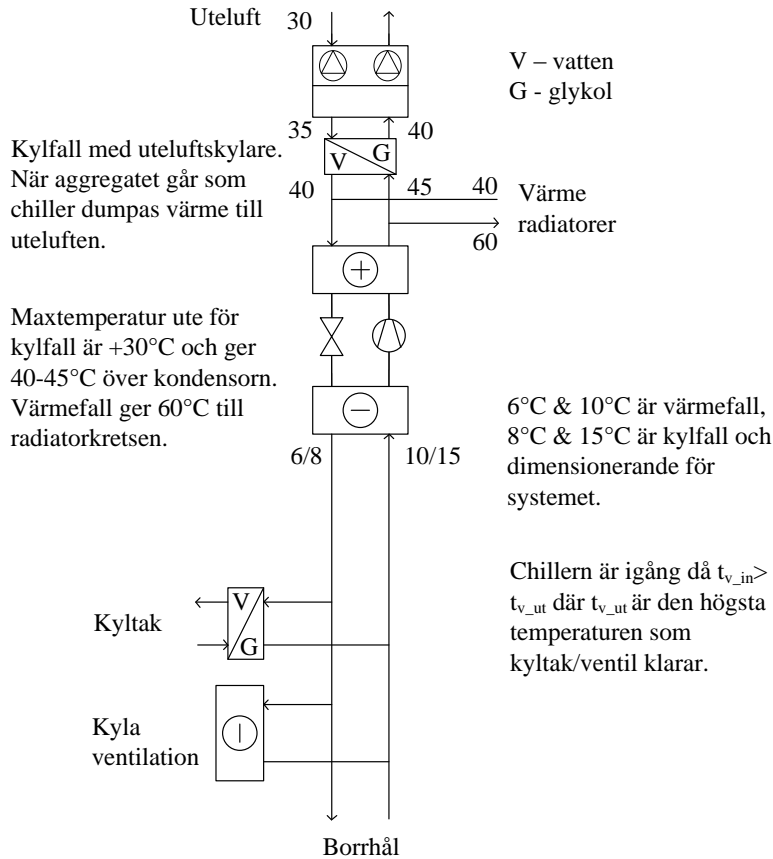
Tabell 5. Behov av fjärrvärme och fjärrkyla för en systemlösning med enbart fjärrvärme och fjärrkyla på Stampgatan.

Månad	Fjärrvärme [MWh]	Fjärrkyla [MWh]
Januari	90,8	40,4
Februari	108,5	36,9
Mars	67,1	49,1
April	34,1	56,0
Maj	18,1	56,8
Juni	5,7	83,1
Juli	4,6	62,2
Augusti	6,2	84,1
September	11,5	52,6
Oktober	43,8	42,9
November	85,3	38,4
December	90,2	35,5

3.2.2 Bergvärme

Ett bergvärmesystem har dimensionerats utifrån de effekter som det existerande fjärrvärme- och fjärrkylsystemet är dimensionerat för. Under sommaren antas lokalen kylas i första hand med frikyla från ett borrhållager. Värmepump används för att höja kyl-effekten och sänka temperaturen från lagret samt för att tillgodose samtida värmebehov.

Vintertid används värmepumpen i första hand för att värma lokalen och tar då värme från lokalens kylsystem, i den utsträckning kylbehov finns, och från borrhålslagret. I Figur 7 visas en schematisk bild av systemet.



Figur 7. Schematisk bild av antaget bergvärmesystem på Stampgatan. Temperaturer i °C.

Borrhålslager

Ett borrhål antas tillsammans med el till värmepump kunna ge en värmeeffekt på c:a 50 W/m. Totalt 10 000 m krävs då för att ge en maximal effekt av 500 kW. Med 150 m djupa hål behövs omkring 70 st, vilka skulle täcka en markyta på c:a 2500 m² om avståndet mellan hålen är 6 m.

Värmepumpens prestanda och hur mycket frikyla som kan erhållas direkt från borrhåls-lagret beror på temperaturnivån i lagret, vilket i sin tur är beroende av relationen mellan värme- och kylbehov under året. Utifrån givna behov och antaganden om total borrhåls-längd enligt ovan, har temperaturnivån uppskattats med hjälp av beräkningar från en licentiatuppsats om borrhålslager (Naumov, 2005).

Naumovs uppsats innehåller inga beräkningar för de exakta förutsättningar som gäller i det här fallet, men med extrapoleringar fås en lägsta genomsnittlig köldbärartemperatur på c:a 8 °C och en högsta på c:a 25 °C. En köldbärartemperatur på 25 °C är dock en för hög temperatur för att kunna användas för kylning, utan den högsta möjliga användbara temperatur måste begränsas av kylsystemets returtemperatur. Detta betyder att frikyla inte kan användas när lagret är som varmast och värmepumpen måste därmed kunna täcka hela det dimensionerande kylbehovet. Den lägsta genomsnittliga köldbärartemperaturen avgör förångningstemperaturerna vid dimensionerande kylbehov.

Värmepump

Beräkningsprogram från värmepumpstillverkaren Carrier (2007) har använts för dimensionering av värmepump och beräkning av elbehov beroende på värme- och kylbehov samt krav på temperaturer. I Tabell 6 framgår vilken värmepump som valts och i Tabell 7 framgår prestanda vid dimensionerande värme- respektive kylbelast.

Prestanda för uppvärmning vid dimensionerande värmebehov har beräknats utifrån den lägsta genomsnittliga köldbärartemperaturen enligt ovan. Temperatur till förångaren sattes till 10 °C och antogs sänkas med 4 °C. Distributionssystemets temperaturer är 40/60 °C, vilket ger kondensortemperaturerna.

Enligt de mätningar av fjärrkyla som gjorts under 2007 var framledningstemperaturen c:a 8 °C och returtemperaturen c:a 15 °C vid de högsta effekterna. Samma temperaturer används för värmepumpens förångarsida för beräkning av prestanda vid dimensionerande kylbehov.

Tabell 6. Val av bergvärmepump för Stampgatan.

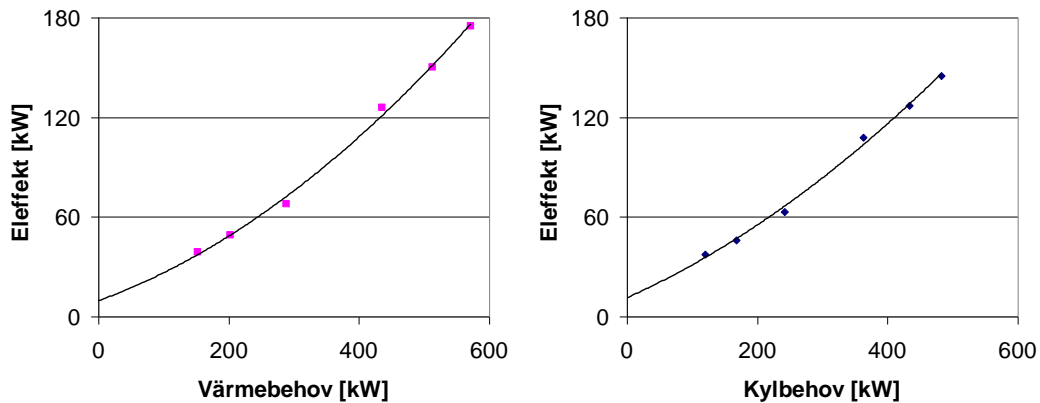
Värmepump	Carrier 30HXC155-PH3opt150
Köldmedium	R-134A, 111 kg
Vätska förångare	28 % propylenglykol
Vätska kondensor	Vatten
Kompressortyp	Skruv, 2 st

Tabell 7. Prestanda för bergvärmepump på Stampgatan.

	Dimensionerande värme	Dimensionerande kyla
Förångartemperatur	6/10 °C	8/15 °C
Kondensortemperatur	40/60 °C	40/45 °C
Värme-/ kyleffekt	574 kW	482 kW
Eleffekt	175 kW	145 kW
COP (värme/kyla)	3,28	3,32

Med hjälp av Carriers beräkningsprogram har elbehov vid olika delast beräknats. Temperaturen till kondensorn antogs minska linjärt till 20 °C när värmebehovet går mot noll. Vid delastkyla minskar temperaturen till kondensorn mot 35 °C.

Resultaten presenteras i Figur 8. Programmet anger vid de olika delasterna eleffekt och kyleffekt. För värmeberäkning summeras dessa för att ge värmeeffekten. Vid dimensionerande värmeeffekt anger programmet värmeeffekten som 2 % lägre än summan av el- och kyleffekter. Samma procentuella förlust har räknats för delasterna. För att beräkna eleffekt vid givna behov har en andragsgradanpassning gjorts till punkterna.



Figur 8. Prestanda för bergvärmepump på Stampgatan vid aktuella temperaturnivåer.

En uppskattning av tillgänglig frikyla har gjorts genom att jämföra med uppmätta energier för Astronomihuset i Lund (Akademiska Hus, 2004) och diskussion med Enno Abel (Abel, 2008). Energin som kan tas ut som frikyla från borrhålslagret har utifrån detta beräknats som 1/3 av den energi som tas ut för uppvärmning. Den största delen av tillgänglig frikylenergi tas ut i början av kyla-säsongen, eftersom marken värms upp allt mer. För att förenkla beräkningarna har dock en genomsnittlig frikyleffekt, fördelat över de timmar då frikyla kan användas, beräknats genom iteration. Modellen ger att 173 kW frikyla nyttjas under 291 timmar.

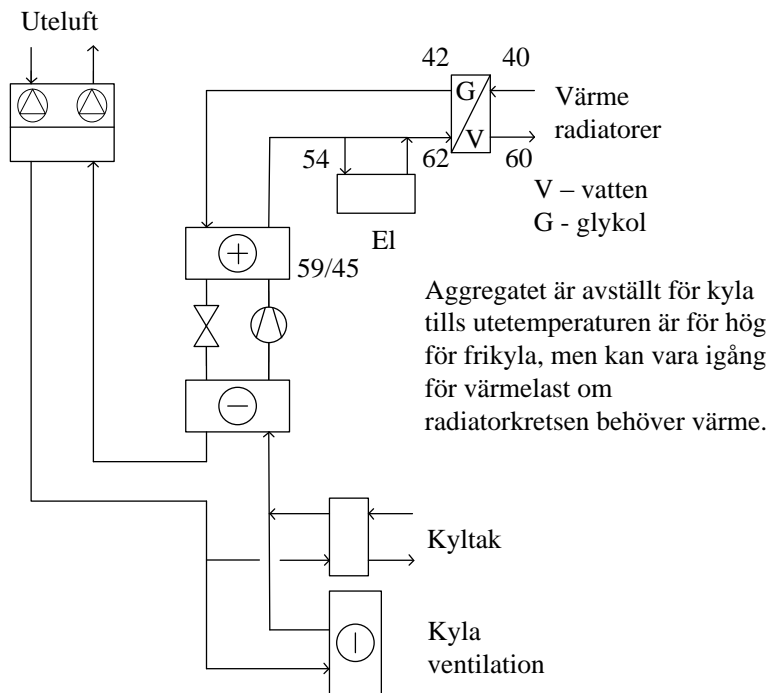
Värmepumpens elbehov under ett år har beräknats utifrån det effektbehov (värme eller kyla) som för varje timme kräver mest, utöver frikyla i de fall det kan nyttjas, och den andra delen antas fås ”på köpet”.

Kylmedelskylare och pumpar

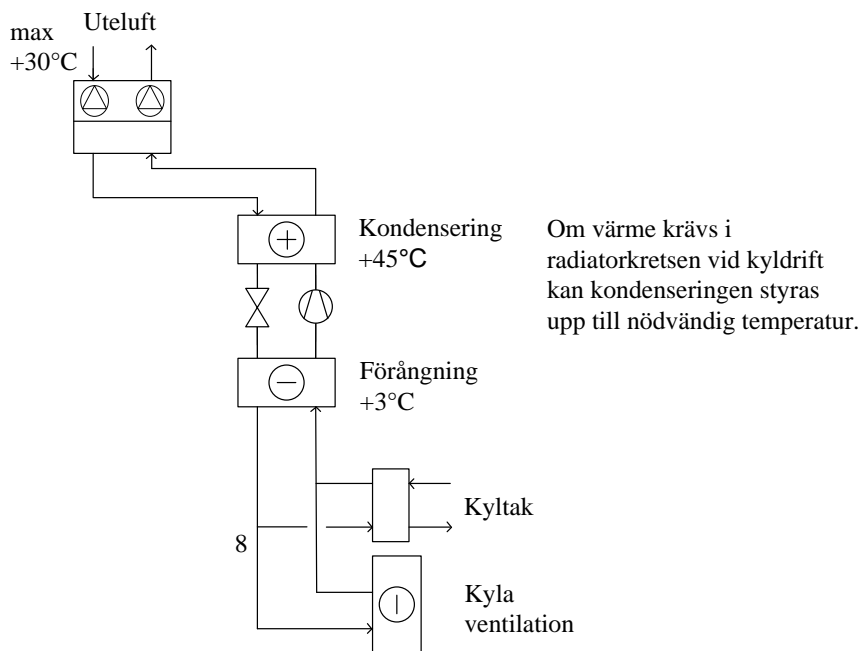
För att kyla bort överskottsvärme som inte kan tillföras lokalens värmesystem eller borrhålslagret har en kylmedelskylare från AIA valts ut m.h.a. deras beräkningsprogram (AIACalc, 2009). Den har dimensionerats för 450 kW värme och 30 °C utetemperatur. Modellen benämns XPM-91X-26-4B1-V-900-144 och köldbäraren består av 35 % etylenglykol. Beräkningsprogrammet anger bara maximal eleffekt, 30 kW. Beräkningar har gjorts för att uppskatta effekten vid dellast. Erforderligt värmegenomgångstal har beräknats för de uppmätta behoven under året. Genom att anta att värmegenomgångstalet per areaenhet är konstant fås hur stor del av kylmedelskylarens area som behöver användas, vilket relaterar till hur många fläktar som är igång. Fläkteffekten uppskattas därmed genom att antas vara proportionell mot det beräknade värmegenomgångstalet.

Elenergi till pumpar i borrhålslagret har antagits vara 2 kWh/m² BTA.

Pumpar på den varma sidan, exklusive distributionen i lokalen, har uppskattats förbruka elenergi motsvarande 1,5 % av värmepumpens elbehov.



Figur 10. Schematisk bild av tänkt luftvärmepumpssystem i frikyladrift på Stampgatan.



Figur 11. Schematisk bild av tänkt luftvärmepumpssystem i kyl drift/chiller på Stampgatan.

Luftvärmepumpen dimensionerades för utetemperaturer mellan -15 och +30 °C, vilket ungefär motsvarar spannet för normalårstemperaturer i Göteborg. Val av kompressor har gjorts i Gea Grassos beräkningsprogram Comsel (2008) och specificeras i Tabell 9.

Tabell 9. Val av luftvärmepump för Stampgatan.

Kompressor	Grasso LR-L2655-28
Köldmedium	Ammoniak (R-717), 100 kg*
Vätska förångare	35 % etylenglykol
Vätska kondensator	35 % etylenglykol
Kompressortyp	Skruv

*Köldmediemängd uppskattad i jämförelse med värmepumpar av samma storlek.

Vid det största värmebehovet och den lägsta utetemperaturen antogs förångningstemperaturen vara -30 °C. Byggnadens distributionssystem för värme är dimensionerat för 60 °C framledning och 40 °C retur. Eftersom värmepumpen innehåller kylmedel behövs en värmeväxlare mellan värmepumpen och distributionssystemet, vilket innebär att en högre temperatur behövs på kylmedelssidan (se Figur 9). 62 °C kan vara rimligt. Den högsta kondenseringstemperaturen som aktuell kompressor kan ge (vid övriga angivna data) är 59 °C och värmeeffekten blir då 287 kW, 60 % av det högsta totala effektbehovet. Framledningstemperaturen efter värmepumpen blir då omkring 54 °C, vilket också motsvarar 60 % av en temperaturhöjning från 42 till 62 °C. Resterande effekt tillgodoses med elpanna, som alltså dimensionerats för 230 kW.

Dimensionerande temperaturer vid största kylbehov har satts utifrån krav på framledningstemperatur, 8 °C enligt mätning på nuvarande fjärrkylssystem, och högsta utetemperatur.

Sammanställning av prestanda vid dimensionerande temperaturer finns i Tabell 10.

Tabell 10. Prestanda vid dimensionerande temperaturer för kompressor till luftvärmepump på Stampgatan.

	Dimensionerande värme	Dimensionerande kyla
Förångningstemperatur	-30 °C	3 °C
Kondenseringstemperatur	59 °C	45 °C
Värme-/ kyleffekt	287 kW	563 kW
Eleffekt	150 kW	134 kW
COP (värme/kyla)	1,91	4,21

Högsta värmeeffekt från värmepumpen tas ut så länge värmebehovet överstiger 60 % av det maximala behovet. Genomsnittligt elbehov för den värmeeffekten har beräknats vid den genomsnittliga utetemperatur för detta behov som är c:a -4 °C (Bång, 2007). Förångningstemperaturen sattes då till -19 °C. Dessa data visas i Tabell 11. Vid dellast varierar förångningstemperaturen upp till +3 °C och kondenseringstemperaturen ned till 20 °C när inget värmebehov finns.

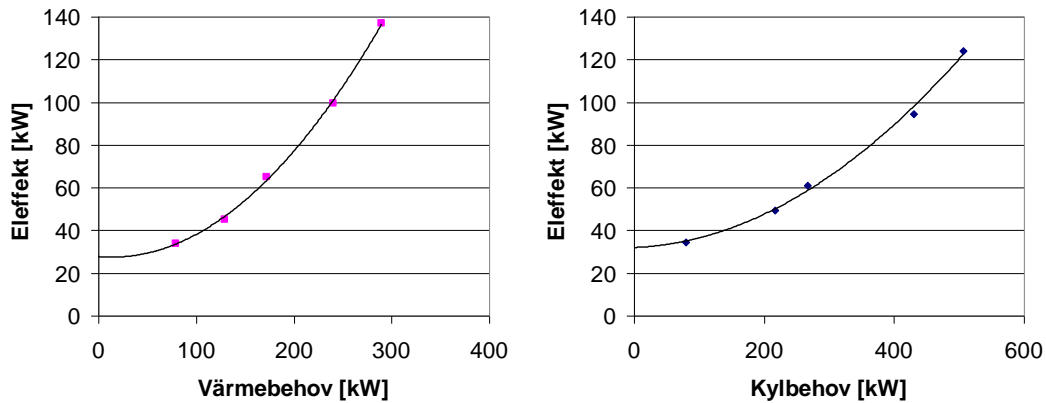
Som Tabell 10 visar är den maximala kyleffekten något högre än vad som maximalt krävs. Eleffekten vid högsta kylbehov (500 kW) räknades därför vid dellast, se Tabell 11.

Tabell 11. Prestanda vid största behov för kompressor till luftvärmepump på Stampgatan.

	Genomsnitt vid maximalt värmeuttag	Maximalt kylbehov, dimensionerande temperaturer
Förångningstemperatur	-19 °C	3 °C
Kondenseringstemperatur	59 °C	45 °C
Värme-/ kyleffekt	290 kW	507 kW
Eleffekt	137 kW	124 kW
COP (värme/kyla)	2,12	4,08

Vid lägre kylbehov varierar förångnings- och kondenseringstemperaturer linjärt med kylbehov 500 – 0 kW till 15 respektive 30 °C.

Eleffekt vid dellaster har beräknats vid c:a 20, 40, 60 och 80 % effekt och visas i Figur 12 nedan. Andragsgradsanpassning har gjorts till punkterna.

**Figur 12.** Elbehov vid dellaster för luftvärmepump på Stampgatan.

Eleffekten har beräknats för varje timme utifrån det behov som kräver den största eleffekten. När värmebehovet är större än vad värmepumpen kan ge har en eleffekt motsvarande skillnaden lagts till.

Luftaggregat och pumpar

För att kyla bort kondensorvärmens när inte tillräckligt uppvärmningsbehov förekommer används en kylmedelskylare, AIAs XP120-V-8-705 rpm-228. Maximal kyleffekt är 704 kW och det kräver 30 kW el. Årligt elbehov har uppskattats på samma sätt som för bergvärmesystemets kylmedelskylare. Man har också antagit att samma aggregat används för att ta värme från uteluften när värmebehovet dominerar och beräkningar av elbehov har gjorts på samma sätt.

För att pumpa runt vätska i systemet (ej distribution i lokalen) har uppskattats att elenergi motsvarande 3 % av kompressorns elförbrukning åtgår. Observera att inte i något av alternativ har pumpningen i byggnaden för distribution medräknats. För FV+FK alternativet har tryckfallet på undercentralens sekundärsida försumrats.

Avfrostning

Luftvärmepumpar behöver emellanåt avfrostas vid värmedrift för att bibehålla sin funktion, vilket leder till högre elförbrukning för givet värmebehov. Prestanda för kompressorn enligt ovan har beräknats vid utetemperaturer mellan -15 och +7 °C och tillägg i elförbrukning har gjorts för luftaggregatet. COP har sedan jämförts med testdata från mätningar utförda på SP av ett antal luft-/vattenvärmepumpar av villastorlek. Jämförelsen visar att den studerade värmepumpens beräknade COP har ett liknande temperaturberoende som de provade.

COP från testdatan inkluderar avfrostning där det förekommer. Extrapoleras trenderna för COP som funktion av utetemperatur mellan mätpunkter där avfrostning sker respektive inte sker, kan avfrostningen uppskattas sänka COP c:a 10 %. Ytterligare 10 % av kompressorns och luftaggregatets eleffekt har därför lagts till vid värmedrift. Den aktuella värmepumpen hamnar inom spannet för de testade.

Total elanvändning

Årligt elbehov enligt beräkningarna visas i Tabell 12 för både värme och kyla. Totalt SPF för värme och kyla är 2,9, värme- och kylenergi dividerat med hela elenergin.

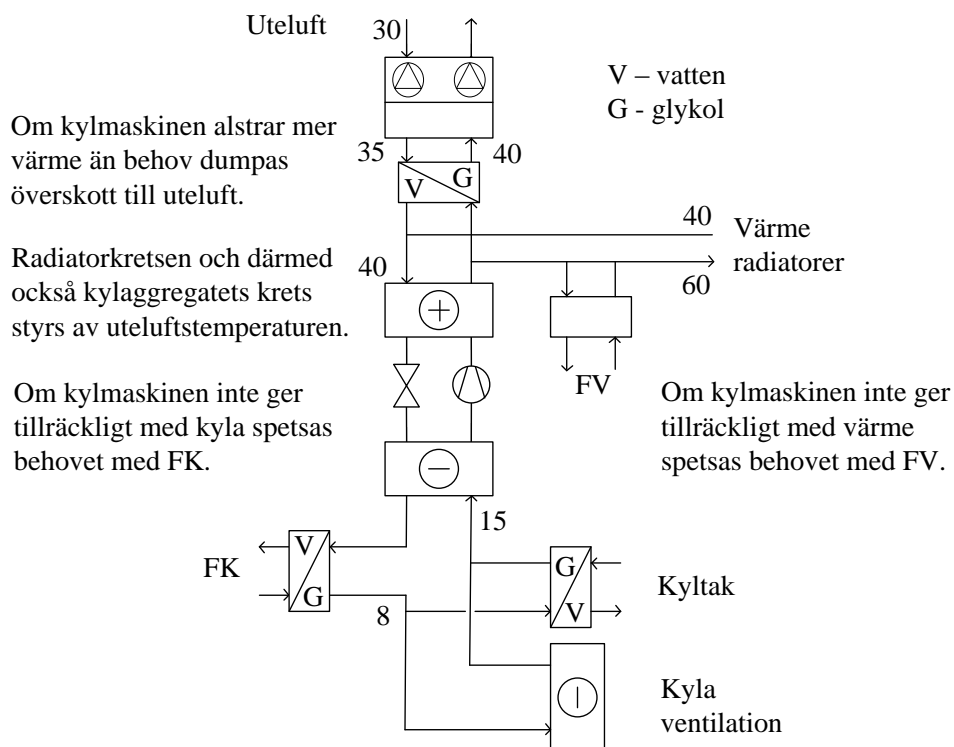
Tabell 12. Årligt elbehov för luftvärmesystem på Stampgatan.

Värmepump (kompressor)	367 MWh
Elpanna	5 MWh
Luftaggregat / kylmedelskylare	22 MWh
Pumpar	11 MWh
Avfrostning	16 MWh
Total elanvändning	421 MWh

3.2.4 Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin

Lokalen på Stampgatan har alltid ett basbehov av kyla, även när det är kallt ute. Därför har ytterligare en systemlösning studerats där systemen för fjärrvärme och fjärrkyla kompletteras med en kylmaskin som täcker detta basbehov, c:a 50 kW och minskar behovet av fjärrkyla. Värmen som alstras av kylmaskinen kan då användas i värmesystemet för att även minska behovet av fjärrvärme.

Figur 13 illustrerar denna systemlösning. I Tabell 13 och Tabell 14 beskrivs den kylmaskin som valts ut med hjälp av Carriers beräkningsprogram (Carrier, 2007).



Figur 13. Schematisk bild av antaget system för fjärrvärme och fjärrkyla tillsammans med kylmaskin på Stampgatan.

Tabell 13. Val av kylmaskin för kombination med fjärrvärme och fjärrkyla för Stampgatan.

Kylmaskin	Carrier 30RW060
Köldmedium	R-407C, 7,9 kg
Vätska förångare	Vatten
Vätska kondensor	Vatten
Kompressortyp	Hermetisk scroll, 2 st

Tabell 14. Prestanda för kylmaskin för kombination med fjärrvärme och fjärrkyla på Stampgatan.

	Värme	Dimensionerande kyla
Förångartemperatur	-	10/15 °C
Kondensortemperatur	-	40/45 °C
Värme-/ kyleffekt	71 kW	54 kW
Eleffekt	-	17,8 kW
COP (värme/kyla)	3,99	3,03

Kylmaskinen ger en kyleffekt på 54 kW och en värmeeffekt på 71 kW. Kylmaskinen antas köra på full effekt under hela året. Behovet av fjärrkyla minskar med 54 kW under de timmar då kylbehovet är större än så.

Behovet av fjärrvärme minskar med 71 kW så länge värmebehov finns. Vid höga utetemperaturer då endast värmebehov för tappvarmvatten finns används dock inte värmeöverskottet från kylmaskinen. Dels skulle kondensortemperaturen i så fall behöva höjas, vilket innebär sämre verkningsgrad, dels är effektbehovet relativt litet. En gräns har

dragits vid 13 °C utetemperatur. Månadsvis behov av fjärrvärme och fjärrkyla framgår av Tabell 15.

Tabell 15. Behov av fjärrvärme och fjärrkyla för systemlösning med fjärrvärme och fjärrkyla kompletterat med kylmaskin på Stampgatan.

Månad	Fjärrvärme [MWh]	Fjärrkyla [MWh]
Januari	39,7	1,9
Februari	61,0	2,0
Mars	22,3	9,5
April	4,9	17,2
Maj	3,8	16,7
Juni	4,8	44,5
Juli	4,3	22,3
Augusti	4,3	43,9
September	4,6	14,4
Oktober	8,7	4,7
November	35,8	1,9
December	37,7	0,3

Värmeöverskottet bortförs via uteluften genom en kylmedelskylare, vald med AIAs beräkningsprogram, XPM-80X-2-3B1-V-900-18. Maxkapaciteten vid 30 °C utetemperatur är 53,4 kW och eleffekten 2,4 kW. Om den körs för fullt vid utetemperatur över 13 °C förbrukas 7 MWh/år.

Pumpar som behövs för kylmaskinens funktion har uppskattats förbruka motsvarande 3 % av den elenergi som kylmaskinen behöver. Det innefattar cirkulation på både den varma och den kalla sidan, men inte distribution i lokalen.

Systemets årliga energibehov sammanställs i Tabell 16.

Tabell 16. Årligt energibehov för fjärrvärme och fjärrkyla tillsammans med kylmaskin på Stampgatan.

Fjärrvärme	232 MWh
Fjärrkyla	179 MWh
Kylmaskin, el	156 MWh
Kylmedelskylare, el	7 MWh
Pumpar, el	5 MWh

3.3 Handelshögskolan

Då data för Handelshögskolans kylbehov är osäkert (se kapitel 2.3.2) har analys bara gjorts för värme.

3.3.1 Fjärrvärme

Handelshögskolan har en fjärrvärmecentral som tidigare användes för hela värmebehovet, men som senare har kompletterats med luftvärmepump för att minska behovet av fjärrvärme. För analys av fjärrvärme kan därför samma dimensionerande effekt användas som

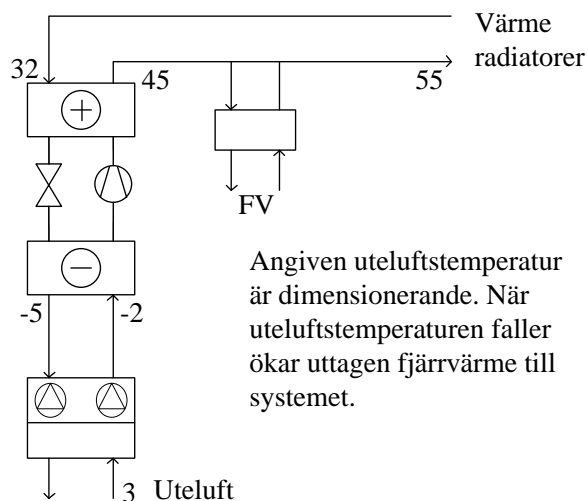
den befintliga fjärrvärmecentralen har, 1200 kW. Totalt årligt behov av fjärrvärme är 1873 MWh, fördelat över året enligt Tabell 17.

Tabell 17. Behov av fjärrvärme för systemlösning med enbart fjärrvärme på Handelshögskolan.

Månad	Fjärrvärme [MWh]
Januari	297,1
Februari	346,2
Mars	232,1
April	132,1
Maj	87,4
Juni	12,4
Juli	11,1
Augusti	12,3
September	18,5
Oktober	167,8
November	257,0
December	299,6

3.3.2 Luftvärmepump med fjärrvärmespets

I dagsläget används i första hand luftvärmepump för uppvärmning. Vid större effektbehov spetsas det med fjärrvärme. Systemet illustreras i Figur 14.



Figur 14. Schematisk bild system för luftvärmepump med fjärrvärmespets på Handelshögskolan. Värmepumpen är en Carrier HZ-250 (Kylkontroll Göteborg AB, 2005) och beskrivs nedan i Tabell 18 och Tabell 19. Den är dimensionerad för +3 °C utetemperatur.

Tabell 18. Luftvärmepump (befintlig) på Handelshögskolan.

Kylmaskin	Carrier HZ-250
Köldmedium	R-407C, 123 kg
Vätska förångare	35 % etylenglykol
Vätska kondensor	Vatten
Kompressortyp	Semihemetisk kolv, 7 st

Tabell 19. Prestanda för luftvärmepump på Handelshögskolan.

	Värme	Kyla
Förångartemperatur	-5/-2 °C	-
Kondensortemperatur	32/45 °C	-
Värme-/ kyleffekt	535 kW	360 kW
Eleffekt	176,5 kW	-
COP (värme/kyla)	3,03	2,04

När det är som kallast ute räcker inte värmepumpen till. Kapaciteten avtar med minskande utetemperatur och klarar inte den angivna effekten på 535 kW under årets kallaste timmar då temperaturen går ned till -15 °C. Befintlig fjärrvärmecentral är dimensionerad för 1200 kW och för beräkningarna för denna systemlösning har antagits att samma dimensionerande effekt behövs, då effekten från värmepumpen blir låg vid de kallaste utetemperaturerna. Vid ekonomisk analys används värdet 700 kW för högsta dygnsmedeleffekt, vilket är uppmätt under 2006 (Olson, 2008). Fjärrvärmebehov månadsvis visas i Tabell 20.

Tabell 20. Behov av fjärrvärme för systemlösning med luftvärmepump med fjärrvärmespets på Handelshögskolan.

Månad	Fjärrvärme [MWh]
Januari	94,9
Februari	99,9
Mars	29,2
April	22,5
Maj	21,8
Juni	12,1
Juli	11,1
Augusti	12,3
September	18,5
Oktober	21,5
November	25,7
December	29,6

Mätningarna under 2007 visar att det åtgår 412 MWh el till värmepumpen och 399 MWh fjärrvärme för att tillgodose värmebehovet på totalt 1873 MWh. I dessa siffror ingår inte el till pumpar och kylmedelskylare för värmepumpssystemet. Dessa har antagits kräva ytterligare 10 % el (Olson, 2008). I Tabell 21 sammanställs det årligt energibehovet.

Tabell 21. Årligt energibehov för luftvärmepump med fjärrvärmespets på Handelshögskolan.

Värmepump, el	412 MWh
Pumpar och kylmedelskylare, el	41 MWh
Fjärrvärme	399 MWh

3.3.3 Luftvärmepump med elspets

Ett tredje alternativ är luftvärmepump enligt ovan, som istället för fjärrvärme spetsas med el. Elpannans dimensionerande effekt har antagits vara densamma som den befintliga fjärrvärmecentralens, 1200 kW. Totalt årligt elbehov för värmepump, pumpar, kylmedelskylare och elpanna skulle med denna systemlösning vara 852 MWh.

3.4 Etage

3.4.1 Fjärrvärme och fjärrkyla

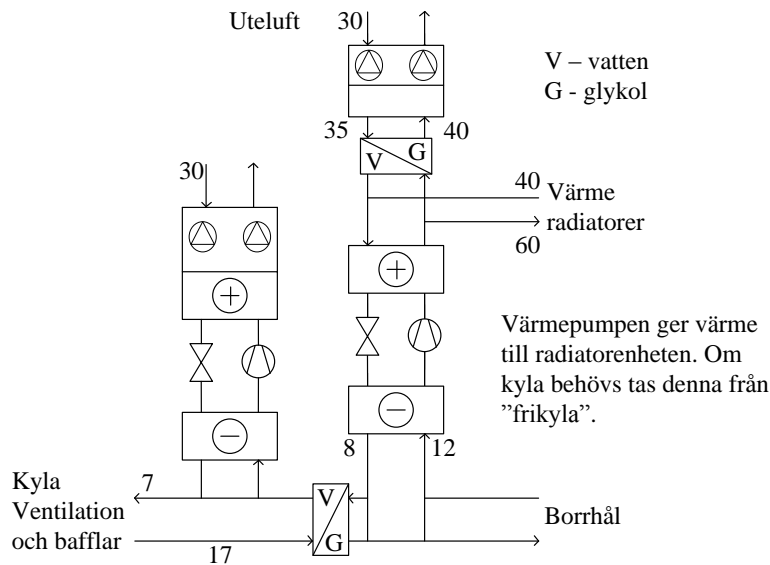
Etage värms i nuläget av elpannor med en total effekt på 850 kW. Enligt simuleringen är dock den högsta effekten 500 kW. Fjärrvärmecentralen dimensionerades för det simulerade maxbehovet. Fjärrkylcentralen dimensionerades för 1200 kW, vilket motsvarar det simulerade maxbehovet och överensstämmer med effekten hos dagens kylmaskiner. Totalt årligt fjärrvärmebehov skulle bli 251 MWh och fjärrkylbehovet 685 MWh för att täcka hela värme- och kylbehoven. Behovet av fjärrvärme och fjärrkyla redovisas månadsvis i Tabell 22.

Tabell 22. Behov av fjärrvärme och fjärrkyla för systemlösning med enbart fjärrvärme och fjärrkyla på Etage.

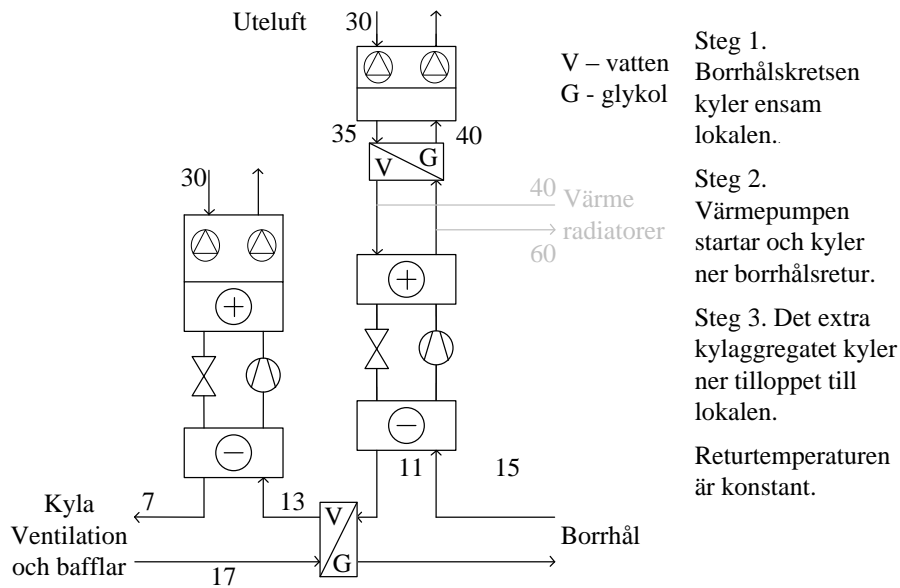
Månad	Fjärrvärme [MWh]	Fjärrkyla [MWh]
Januari	56,6	12,2
Februari	46,4	13,2
Mars	35,3	21,6
April	13,9	40,3
Maj	4,9	63,9
Juni	1,3	92,7
Juli	1,3	144,8
Augusti	1,3	150,2
September	3,6	67,8
Oktober	11,9	41,7
November	26,0	23,8
December	49,0	13,4

3.4.2 Bergvärme

Etage har ett effektbehov av kyla (1200 kW) som är betydligt större än behovet av värme (500 kW). Om en värmepump dimensioneras för att täcka hela kylbehovet skulle den ha en stor överkapacitet för värme. Därför har värmepump istället valts för att täcka värmebehovet och för de största kylbehoven kompletteras med en extra kylmaskin. Det tänkta systemet visas i Figur 15a-b.



Figur 15a. Schematisk bild av antaget bergvärmesystem på Etage, värmedrift.



Figur 15b. Schematisk bild av antaget bergvärmesystem på Etage, kyl drift.

Bergvärmepump

Ett borrhålslager som antas ge en värmeeffekt efter värmepump (d.v.s. tillsammans med el) på 50 W/m behöver ha en total borrhålslängd på 10 000 m för att täcka värmebehovet på 500 kW. Lägsta genomsnittliga köldbärartemperatur har uppskattats till 10 °C för vinterfallet. Uppskattningen har skett på samma sätt som för Stampgatan i kapitel 3.2.2 (Naumov, 2005). (En skillnad mot Stampgatan är att det årliga kylbehovet för Etage är större i förhållandet till värmebehovet.) Värmepump valdes med hjälp av Carriers beräkningsprogram (Carrier, 2007) enligt Tabell 23.

Tabell 23. Val av bergvärmepump för Etage.

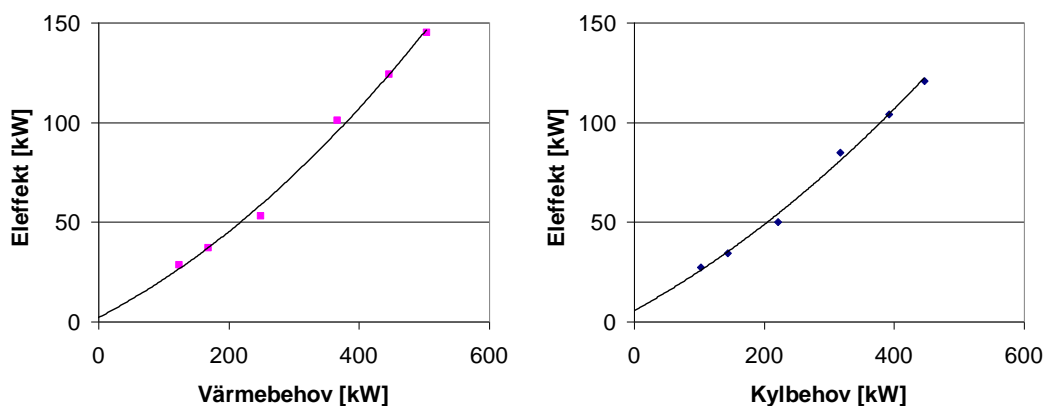
Värmepump	Carrier 30HXC130-PH3opt150
Köldmedium	R134a, 98 kg
Vätska förångare	28 % propylenglykol
Vätska kondensor	Vatten
Kompressortyp	Skruv, 2 st

Värmepumpen är vald för att tillgodose det största värmebehovet vid den lägsta borrhålstemperaturen. Kondensortemperaturen motsvarar dimensionerande temperatur för radiatorsystemet. När kylbehovet är som störst är borrhålslagret för varmt för att kunna användas och därmed får kylaggregatet kyla hela systemet utan hjälp från värmepumpen. Temperaturer på förångarsidan är valda så att temperatursänkningen och kyleffekten från värmepumpen ska utgöra en ungefär lika stor andel av den totala kyleffekten för systemet som den effekt kylmaskinen bidrar med, vilket är 40 %. Dimensionerande data framgår av Tabell 24.

Tabell 24. Prestanda för bergvärmepump på Etage.

	Dimensionerande värme	Dimensionerande kyla
Förångartemperatur	8/12 °C	11/15 °C
Kondensortemperatur	40/60 °C	40/45 °C
Värme-/ kyleffekt	506 kW	446 kW
Eleffekt	145 kW	121 kW
COP (värme/kyla)	3,49	3,69

Elbehov vid dellaster har beräknats på samma sätt som för bergvärmesystemet på Stampgatan, beskrivet i kapitel 3.2.2. Även här har temperaturen till kondensorn antagits gå mot 20 °C i värmefallet och mot 35 °C i kylfallet när respektive behov avtar. Resultaten visas i Figur 16.

**Figur 16.** Elbehov vid dellaster för bergvärmepump på Etage.

Kylmedelskylare och pumpar i borrhålslager

Kylmedelskylare för att kyla bort överskottsvärme från värmepumpen är dimensionerad för 600 kW och 30 °C utetemperatur. AIAs DXP120-8-960 rpm-212 uppfyller kraven och förbrukar vid maxeffekt 54 kW el. Elbehov vid dellaster har beräknats på samma sätt som i kapitel 3.2.2.

Elenergi till pumpar i borrhålslagret har, som för Stampgatan, antagits vara 2 kWh/m² BTA och el till pumpar på kondensorsidan har uppskattats till 1,5 % av värmepumpens elanvändning.

Kylmaskin

Systemet för kyla har antagits uppbyggt med en värmeväxlare, som ger en temperaturdifferens på 2° C, mellan värmepumpens förångarsida och byggnadens distributionsystem för att skilja kylmedelskretsen till borrhålslagret från den vattenburna kyldistributionen i lokalen. En luftkyld kylmaskin sätts in efter värmeväxlaren för att sänka framledningstemperaturen vid dimensionerande kylbehov, även den vald med Carriers beräkningsprogram, se Tabell 25 och Tabell 26.

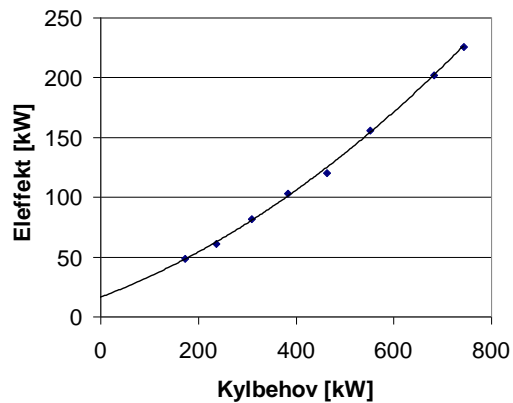
Tabell 25. Val av kylmaskin för Etage.

Värmepump	30GX207-PH3
Köldmedium	R-134A, 205 kg
Vätska förångare	Vatten
Medium kondensor	Luft
Kompressortyp	Skruv, 3 st

Tabell 26. Prestanda för kylmaskin på Etage.

	Dimensionerande kyla
Förångartemperatur	7/13 °C
Lufttemperatur	30 °C
Kyleffekt	743 kW
Eleffekt (inkl. luftaggregat)	226 kW
COP (värme/kyla)	3,29

Den extra kyleffekten från kylmaskinen behövs enligt simuleringen av kylbehov när utetemperaturen överstiger c:a 17 °C. Elbehovet för dellaster har därför beräknats ned till denna lufttemperatur, se Figur 17.



Figur 17. Elbehov vid dellaster för kylmaskin på Etage.

Totalt elbehov

Totalt beräknat elbehov för värme och kyla under ett år är 259 MWh och redovisas för de olika delarna i Tabell 27. Total SPF (hela elbehovet) för värme och kyla är 3,6.

Tabell 27. Årligt elbehov för värmepumpssystem på Etage.

Bergvärmepump	169 MWh
Kylmedelskylare för bergvärmepump	25 MWh
Pumpar borrhålslager	40 MWh
Pumpar kondensorsida	3 MWh
Kylmaskin inkl. kylmaskinens luftaggregat	24 MWh
Total elanvändning	262 MWh

3.5 Academicum och Anatomihöghuset

3.5.1 Fjärrvärme och fjärrkyla

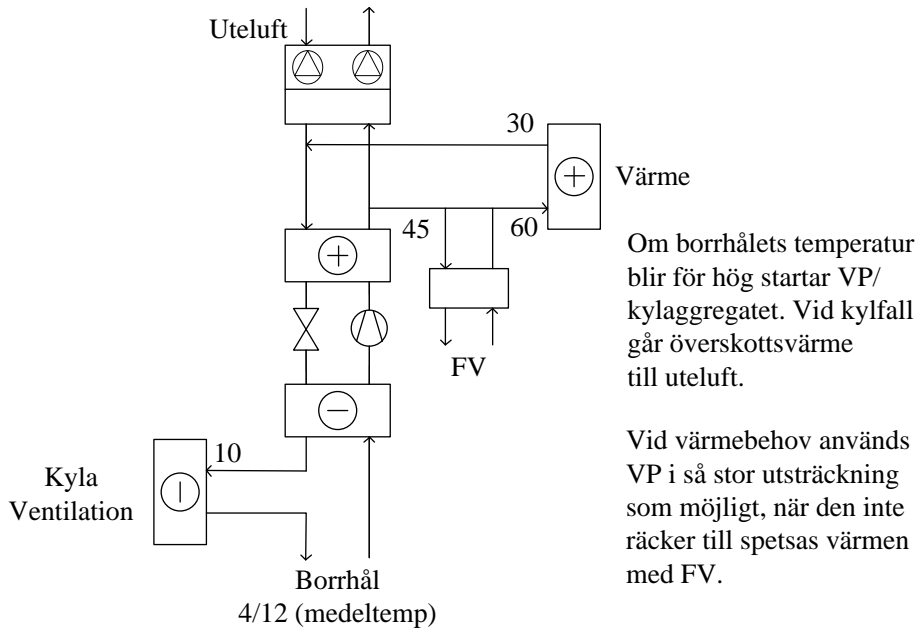
Behoven av fjärrvärme och fjärrkyla, om det nuvarande värmepumpssystemet på Academicum och Anatomihöghuset skulle bytas ut, framgår av behoven enligt kapitel 0. Total under ett år skulle krävas 351 MWh fjärrvärme och 92 MWh fjärrkyla (se även Tabell 28 för månadsdata). Fjärrvärmecentral har dimensionerats för summan av effekterna för befintliga fjärrvärmecentraler och värmepumpar, 230 kW. Fjärrkylcentral har dimensionerats som dagens installerade kylkapacitet för borrhål och värmepumpar, 168 kW.

Tabell 28. Behov av fjärrvärme och fjärrkyla för systemlösning med enbart fjärrvärme och fjärrkyla på Academicum och Anatomihöghuset.

Månad	Fjärrvärme [MWh]	Fjärrkyla [MWh]
Januari	51,3	3,5
Februari	49,6	4,0
Mars	44,1	3,7
April	26,1	5,0
Maj	10,5	11,6
Juni	11,2	10,6
Juli	13,3	23,5
Augusti	8,7	13,7
September	11,2	4,7
Oktober	29,7	3,8
November	46,6	4,3
December	48,4	3,2

3.5.2 Bergvärme med fjärrvärmespets

Academicum har i dagsläget ett system med borrhålslager och värmepumpar kombinerat med spets av fjärrvärme. För att analysera det här systemet användes data för det system som finns med uppmätta data för värme, kyla samt el till värmepumparna och köpt fjärrvärme. Systemet visas schematiskt i Figur 18. Det innehåller tre värmepumpar av fabrikatet IVT med R-407C som köldmedium. Köldmediemängden har uppskattats utifrån effekten och jämförelse med andra system till totalt 20 kg för de tre värmepumparna. Dimensionerande data beskrivs i Tabell 29 (Abel, 2009).



Figur 18. Schematisk bild av bergvärmesystem med fjärrvärmespets (befintligt) på Academicum och Anatomihöghuset.

Tabell 29. Prestanda för värmepump på Academicum och Anatomihöghuset.

	Dimensionerande värme
Förångningstemperatur	0 °C
Kondenseringstemperatur	40 °C
Värmeeffekt	40 kW

Borrhålslagret består av 11 st, 180 m djupa hål och har en medeltemp som under året varierar mellan 4-12 °C (Jagemar, 2005).

Fjärrvärmecentralerna som används för värmespets har den dimensionerande effekten 130 kW.

För de kombinerade värme- och kylbehoven under det studerade året (september 2007 – augusti 2008) förbrukade värmepumparna 120 MWh el och cirkulationspumpen för borrhålslagret förbrukade 11 MWh (Abel, 2008). Utöver detta användes 10 MWh fjärrvärme (fördelat månadsvis enligt Tabell 30). Årliga energibehov sammanställs också i Tabell 31.

Tabell 30. Behov av fjärrvärme för en systemlösning med bergvärme med fjärrvärmespets på Academicum och Anatomihöghuset.

Månad	Fjärrvärme [MWh]
Januari	1,0
Februari	0,5
Mars	1,7
April	0,1
Maj	0,2
Juni	0,4
Juli	0,9
Augusti	0,5
September	0,6
Oktober	0,7
November	2,3
December	1,0

Tabell 31. Årligt energibehov för bergvärmesystem med fjärrvärmespets på Academicum och Anatomihöghuset.

Värmepumpar, el	120 MWh
Pumpar borrhålslager, el	11 MWh
Spetsvärme, fjärrvärme	10 MWh

3.5.3 Bergvärme med elspets

Istället för med fjärrvärme skulle bergvärmesystemet på Academicum och Anatomihöghuset kunna spetsas med el. För att studera ett sådant system användes datan enligt ovan. Den fjärrvärme som i det befintliga systemet används som spets antogs i den här systemlösningen ersättas med el (c:a 3 % av värmeenergin på ett år) och fjärrvärmecentralerna ersättes av elpanna med samma dimensionerande effekt, 130 kW. För beskrivning av bergvärmesystemet, se föregående avsnitt.

Totalt årligt energibehov är förstås lika stort som i det befintliga systemet, men utgörs här bara av el, 141 MWh. Se Tabell 32. Den totala årliga elanvändningen för värme och kyla motsvarar en total SPF på 3,1.

Tabell 32. Årligt elbehov för bergvärmesystem med elspets på Academicum och Anatomihöghuset.

Värmepumpar	120 MWh
Pumpar borrhålslager	11 MWh
Elspets	10 MWh
Total elanvändning	141 MWh

4 Energi- och miljöanalys

4.1 Metod

Utifrån energibehov och de alternativa systemen för uppvärmning och kylning har olika former av energi- och miljöanalyser genomförts. Mängden el och fjärrvärme som behöver produceras för att tillgodose behoven för olika systemlösningar har summerats. Primär-energi har beräknats med utgångspunkt från metod EN 15603 (2008). Miljöpåverkan har analyserats med hjälp av programvaran Effem (2008).

4.1.1 Miljöanalys

För att kunna bedöma miljöpåverkan från uppvärmning och kylning av en lokal har den energi som används vid skapandet av inomhusmiljön analyseras. Energi som utnyttjas i en lokal brukar kallas slutanvänd energi och är i de fall som studeras i rapporten el, fjärrvärme och fjärrkyla. Dessa energibärare har producerats utanför lokalen och transporterats till lokalen i distributionsnät. För produktionen har använts primärenergi i någon form t ex avfall vid avfallsförbränning. För transporten har det behövts energi i form av pumpar för transport av fjärrvärme och fjärrkyla, eller t.ex. diesel för att transportera pellets i lastbil till värmeverket. Vid transport av el sker det förluster i elnätet bland annat på grund av värmetransmission. Samtliga steg i kedjan från omvandling av primärenergi till energibärare, transport av energibärare till slutanvändare samt den slutliga användningen av energi för att uppnå ett inomhusklimat i lokalen ger upphov till miljöpåverkan i olika former. Vid beräkning av miljöpåverkan uppstår ett antal frågor som måste besvaras samtidigt som man använder sig av en etablerad metodik. Exempel på frågeställningar som måste besvaras är:

- Om flera olika former av slutanvänd energi produceras samtidigt t ex el och värme. Hur skall miljöpåverkan fördelas mellan dessa två energibärare? Metoden att fördela miljöpåverkan mellan olika energibärare kallas allokering av miljöbelastning. Det finns olika modeller för att allokera, vilket presenteras mer i detalj i kapitel 4.1.2 nedan.
- En energibärare i ett distributionssystem kan vara en blandning av produkter från flera olika produktionsanläggningar. Ett exempel är produktion av fjärrkyla i Göteborg som antingen kan komma direkt från Göta Älv eller från kompressor drivna chillers (kylmaskiner). Hur produktionsanläggningarnas drift beror på ett antal olika faktorer där driftekonomi och nätbelastning är de viktigaste faktorerna som styr hur produktionen av fjärrkyla varierar i tiden. Olika produktionsanläggningar har olika driftekonomi och ägaren vill, enligt teorin, maximera sin vinst genom att producera den momentant behövda energin på billigast möjliga sätt. Produktionsmixen beräknas utifrån andelen energi som levereras med de olika produktionsmetoderna under en given tidsperiod. Baserat på denna information kan miljöbelastningen för den konsumerade slutenergin, i detta fall fjärrkyla, beräknas för en given tidsperiod.
- Transporten ger upphov till användning av energi samt förluster, dessa måste omräknas till den extra tillsats av primärenergi som behövs för att energibäraren skall nå slutanvändaren.
- Slutligen är det viktigt att ta hänsyn till den tidshorisont beräkningarna skall gälla för. Hur kommer de i näten distribuerade energibärarna att produceras under projektets tidshorisont?

En analys av miljöpåverkan under ett objekts hela livstid brukar kallas för en livscykelanalys, LCA.

4.1.2 Allokering av miljöbelastning

Nedan redovisas ett antal olika metoder som kan användas för allokering av emissioner och resurser vid kombinerad produktion av el och värme.

4.1.2.1 Energimetoden

Metoden fördelar emissioner och resurser per producerad energienhet (kWh) oberoende av om det är el eller värmeenergi. Om en kraftvärmeanläggning producerar 65 andelar värme och 35 andelar el kommer allokeringen att göras med dessa procentsiffror. Om motsvarande värmemängd hade producerats i en värmeanläggning skulle samma miljöbelastning ha uppstått. För elenergin skulle en renodlad elenergianläggning ha resulterat i en större miljöbelastning.

Metoden ger hela miljövinsten med den kombinerade produktionen till elektriciteten.

$$\text{Allokeringsfaktor}_{\text{värme}} = \frac{\text{Värme}_{\text{prod}}}{\text{Värme}_{\text{prod}} + \text{Värme}_{\text{prod}}}$$

4.1.2.2 Exergimetoden

Metoden fördelar emissioner och resurser proportionellt till exerginnehållet i den producerade energin. Exergi kan beskrivas som möjligt arbete och exergi innehållet minskar från produktion till konsumtion. Exerginnehållet i värme och el bestäms av kvalitetsfaktorn q . Beräkning kan genomföras enligt dessa formler

$$\text{Producerad exergi}_{\text{värme}} = \text{Producerad energi}_{\text{värme}} * q$$

Där $q = \frac{T-T_0}{T}$ för värme, q för elektricitet är 1.

$$\text{Allokeringsfaktor}_{\text{värme}} = \frac{\text{Exergi}_{\text{värme}}}{\text{Exergi}_{\text{värme}} + \text{Exergi}_{\text{el}}}$$

4.1.2.3 Alternativproduktionsmetod

Alternativproduktionsmetoden ger både värme och el fördelar av samproduktion. Metoden fördelar miljöpåverkan i proportion till det bränslebehovet som skulle krävts vid produktion i separata anläggningar av samma mängd värme och elenergi. Metoden utvecklades först av den Finska Fjärrvärmeföreningen och finns idag i flera versioner med varierande komplexitet.

I beräkningsexemplet nedan illustreras hur beräkningen går till.

Ett kombikraftverk producerar 30 enheter elenergi och 60 enheter värmeenergi.

Alternativ produktion kan göras med följande verkningsgrader:

Verkningsgraden för el är 0,4 och motsvarande verkningsgrad för värme är 0,9.

Bränslebehovet för respektive alternativproduktion beräknas enligt nedan:

- Bränslebehovet för elproduktion är $30/0,4=75$ enheter
- Bränslebehovet för värme är $60/0,9= 67$ enheter
- Det totala alternativa bränslebehovet blir $75+67= 142$ enheter för att producera samma energimängder.

Allokeringen baseras på bränslebehovet vid alternativ produktion i separata anläggningar och fördelningen mellan elproduktion och värmeproduktion beräknas baserat på den relativa andelen av den totala alternativa bränslebehovet enligt nedan.

- Elproduktionen belastas med 53 %, vilket beräknas enligt följande $75/142=53\%$.
- Värmeproduktionen belastas med 47%, vilket beräknas enligt följande $67/142=47\%$.

Allokeringsfaktorn för värmeproduktionen kan därmed uttryckas enligt följande:

$$Allokeringsfaktor_{värme} = \frac{\frac{Värme_{prod_CHP}}{\eta_{alternativ_värme_{prod}}}}{\frac{Värme_{prod_CHP}}{\eta_{alternativ_värme_{prod}}} + \frac{El_{prod_CHP}}{\eta_{alternativ_el_{prod}}}}$$

4.1.2.4 200 % metoden

Med den här metoden kommer värmeenergin att erhålla alla fördelar av samproduktionen. Elenergin anses ha producerats med samma verkningsgrad som i en kondensanläggning. Värmeenergin belastas bara med den bränslemängd som ytterligare behövs enligt följande:

$$Allokeringsfaktor_{värme} = \frac{Värme_{prod}}{2 * Bränsle_{in}}$$

Med den här metoden verkar det som om värmen har producerats med 200 % verkningsgrad. Metoden används i Danmark.

4.1.2.5 Ekonomisktvärdeemetod

Den här metoden fördelar miljöpåverkan proportionellt mot det ekonomiska värdet av den producerade energin. Nackdelen med metoden är svårigheten med att det ekonomiska värdet varierar både från kund till kund och över tiden.

$$Allokeringsfaktor_{värme} = \frac{Ekonomiskt_värde_{värme}}{Ekonomiskt_värde_{värme} + Ekonomiskt_värde_{el}}$$

4.1.2.6 Kraftbonusmetoden eller primärenergimetoden

Elenergin får här samma miljöpåverkan och primärenergianvändning som om den vore producerad i en kondensanläggning. Det bränsle som därutöver används i kraftvärmeverket allokeras till värmeenergin. Detta leder till att den miljöpåverkan som allokeras till värmeproduktionen kan vara negativt om verkningsgraden i kombikraftverket är tillräckligt högt i förhållande till alternativet. Den här metoden förordas i ENEFF-utredningen som dock förordar att negativt bränslebehov vid värmeproduktion sättes till 0. I standarden EN 15316-4-5 finns följande definition:

$$f_{P,DH} = \frac{\sum E_{F,i} * f_{P,F,i} - E_{el,CHP} * f_{P,el}}{\sum_j Q_{del,j}}$$

Eller uttryckt med designparametrar och verkningsgrader:

$$f_{P,DH} = \frac{(1 + \sigma)}{\eta_{nn} + \eta_{CHP}} * f_{P,CHP} - \frac{\sigma}{\eta_{hn}} f_{P,el}$$

$$f_{P,DH} = \frac{(1 + \sigma)\beta}{\eta_{nn} + \eta_{CHP}} * f_{P,CHP} + \frac{1 - \beta}{\eta_{hn} * \eta_{T,gen}} * f_{P,T,gen} - \frac{\sigma * \beta}{\eta_{nn}} f_{P,el}$$

$E_{F,i}$	=	bränsle i levererat till CHP-processen
$E_{el,chp}$	=	El producerad i CHP-processen
$Q_{del,j}$	=	Värme levererat till slutanvändare (mäts före undercentralen)
$f_{P, F,i}$	=	primär energi faktor för bränsle i
$f_{P, DH}$	=	primär energifaktor för fjärrvärmesystemet
$f_{P, chp}$	=	primär energifaktor för bränsle
$f_{P, T, gen}$	=	primär energifaktor bränsle bara för värme
$f_{P, el}$	=	primär energifaktor för el
β	=	värme från CHP/ total värme
σ	=	producerad el/producerad värme
η_{hh}	=	verkningsgrad fjärrvärmesystem
η_{chp}	=	verkningsgrad CHP anläggning
$\eta_{T,gen}$	=	verkningsgrad bara för värmeproduktion

4.1.2.7 Dynamisk metod

Den dynamiska allokeringsmetoden är en mer komplex variant av kraftbonusmetoden som tar hänsyn till dellastsituationer. Denna metod baseras på att miljöpåverkan vid dellast beräknas med en programvara (MARKAL). Inverkan av laständringar är skillnaden mellan beräknat produktionsresultat med och utan inverkan av laständring. Metoden är intressant, men ännu på utvecklingsnivå och svår att använda i praktiken.

4.1.3 Val av allokeringsmetod

I rapporten har alternativproduktionsmetod använts som allokeringsmetod, se kapitel 4.1.2.3. En anledning till att metoden valts är att den inte favoriserar något speciellt energislag.

Göteborgs fjärrvärme är till stor del baserad på spillvärme, vilket leder till samma resultat som om kraftbonusmetoden hade använts för den delen av fjärrvärmerna. Naturgasförbränning är mindre än 1/3 av fjärrvärmeproduktionen, men står med alternativ produktionsmetod för 90 % av miljöbelastningen. Kraftbonusmetoden skulle ge motsvarande reduktion av miljöbelastningen avseende växthuseffekt. Allokeringsmetoden har mindre betydelse för förhållanden i Göteborg än i många andra städer på grund av den stora mängden spillvärme.

4.1.4 Beträktningsätt för miljövärdering av el, värme och kyla

Genom att beräkna hur produktionssystemet teoretiskt skall se ut för att maximera produktionsanläggningarnas vinst, kan i varje driftsfall ett teoretiskt värde beräknas baserat på historiska driftsdata. Två olika sätt att se på det momentana driftsfallet är statiskt och dynamiskt.

I det statiska synsättet beräknas den mix/kombination av produktionsanläggningar som kan anses vara igång. I praktisk hantering brukar man ta med den blandning av anläggningar som motsvarar ett normaltillstånd och se på en mix för hela nätet eller delar av nätet under en definierad tidsperiod vanligtvis ett år. För el användes här Nordisk elmix eftersom denna mix anses vara den som är relevant för Sverige med nuvarande förutsättningar/begränsningar att importera/exportera el till och från Sverige.

Ett dynamiskt synsätt innebär att endast påverkan av senast startade produktionsanläggning är med i miljöbedömningen. Ett annat namn på detta är marginalmodell. Rapporten innehåller redovisning av båda dessa synsätt.

Vid den statistiska beräkningen, baserat på en mix eller medelvärde, har för fjärrvärme använts data från Göteborgs Energi för 2007 och fjärrkyla uppskattade data för full utbyggnad 2014. Elmixen är från nordisk elmarknad 2006.

Det dynamiska perspektivet för fjärrvärme och fjärrkyla har månadsdata för respektive anläggning använts för en månadsberäkning för miljöbelastningen utifrån den aktuella månadsproduktionen. Den marginalet som användes är det som traditionellt används för den nordiska elmarknaden. Resultaten från analyserna i denna rapport visar på den stora betydelse som valet av statisk (mix/medelvärde) eller dynamisk (marginal) betraktelse har.

Miljöbelastning avseende växthuseffekt för olika metoder i kgCO₂-ekv/MWh

Tabell 33. Miljöbelastning uttryckt i CO₂-ekvivalenter för statisk (årsmedel) och dynamisk (marginal) modell.

El	kgCO ₂ -ekv/MWh
Dynamisk metod Marginal	670
Statisk metod mix	120

4.1.5 Beräkningsprogram för miljöanalys

Miljöanalysen baseras på beräkningar genomförda med programmet Effem. Effem är en programvara som tagits fram inom ramen för programmet EFFEKTIV. EFFEKTIV är ett kunskapsprogram med syfte att vara en kvalificerad kunskapsbas beträffande energi-, miljö- och kostnadseffektiva energisystem i framför allt bostäder och lokaler. Bakom EFFEKTIV står näringslivet och staten tillsammans. SP har uppdaterat databasen som används i Effem för produktion av fjärrvärme och elproduktion under 2008, vilket baseras på de då tillgängliga siffrorna från år 2006. I Effem finns det möjlighet att antingen välja produktionsmix ur databasen eller att definiera en egen produktionsmix.

De indata som har använts finns angivna för de olika beräkningsfallen i anslutning till dessa. Idag har hemsidan ungefär 500 besök i veckan från olika aktörer på marknaden.

En närmare beskrivning av programmet finns på EFFEKTIVs hemsida.

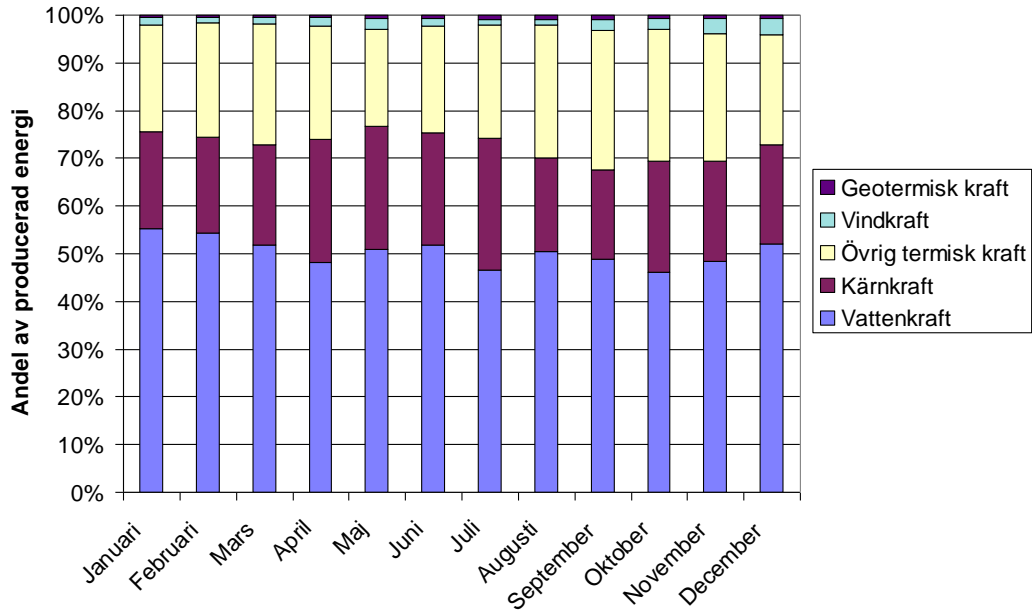
Systemgränsen i Effem är dragen så att energislagets hela livscykel inkluderas, dock är uppbyggnad av produktionsanläggningar, distributionssystem och liknande exkluderad. Hänsyn tas till förluster i produktion och distribution.

Effem är konstruerat för att användaren ska ange årligt värmebehov för en byggnad och direkt jämföra miljöpåverkan från olika systemlösningar.

För allokering av miljöbelastning vid samtida produktion av el och fjärrvärme i kraftvärmeverk använder Effem alternativproduktionsmetoden. Det innebär att miljöbelastningen från kraftvärmeverk fördelas i proportion till mängden bränsle som skulle gått åt om produktionen skedde i separata kraft- respektive värmeverk.

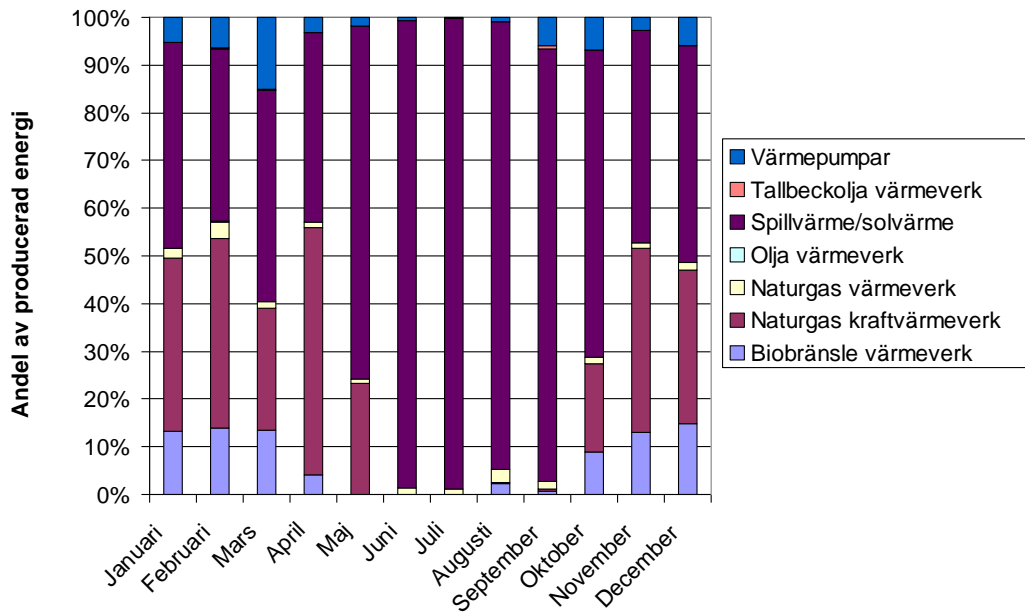
4.1.6 Produktion av el, värme och kyla

Två olika analyser har gjorts, vilka representerar olika synsätt. Dels har primärenergi-användningen och miljöpåverkan från genomsnittliga produktionsmixer för fjärrvärme och fjärrkyla jämförts med genomsnittlig produktionsmix för el till värmepumpssystem. För el har en nordisk mix använts. Data för detta finns integrerade i Effem och representerar årsmedelvärden från 2006. En jämförelse med statistik från Nordel (2006) visar att variationen mellan olika månader är relativt liten, se Figur 19 .

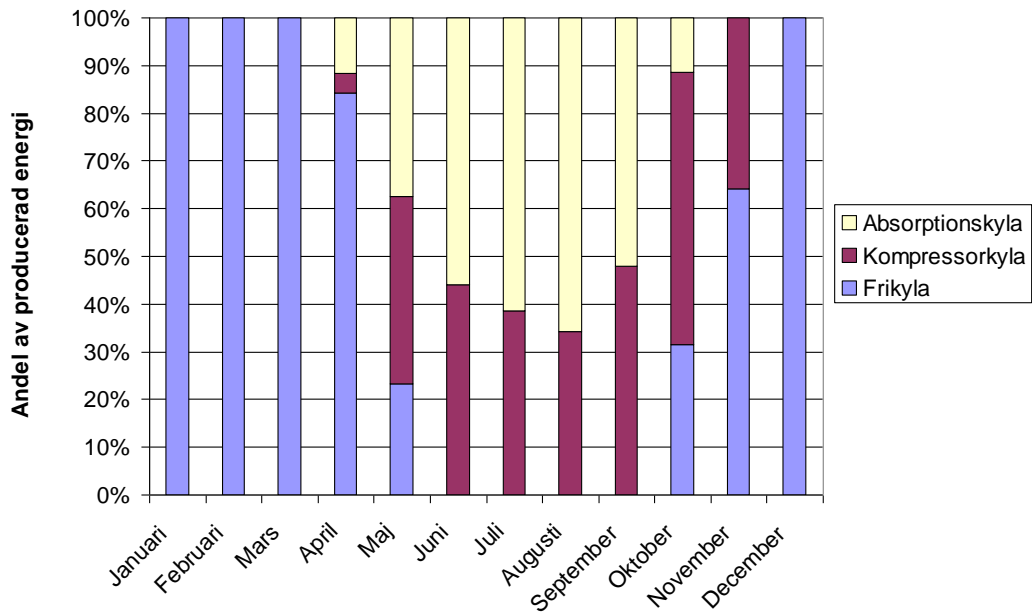


Figur 19. Nordisk genomsnittlig elproduktionsmix 2006.

När det gäller fjärrvärme och fjärrkyla har månadsvis produktionsmixer från Göteborg Energi använts (Andersson, 2008), se Figur 20 respektive Figur 21. Uppgifterna för fjärrvärme gäller år 2007. Fjärrkylsystemet är ännu under uppbyggnad och data representerar istället planerad produktionsmix när systemet är utbyggt omkring år 2014.

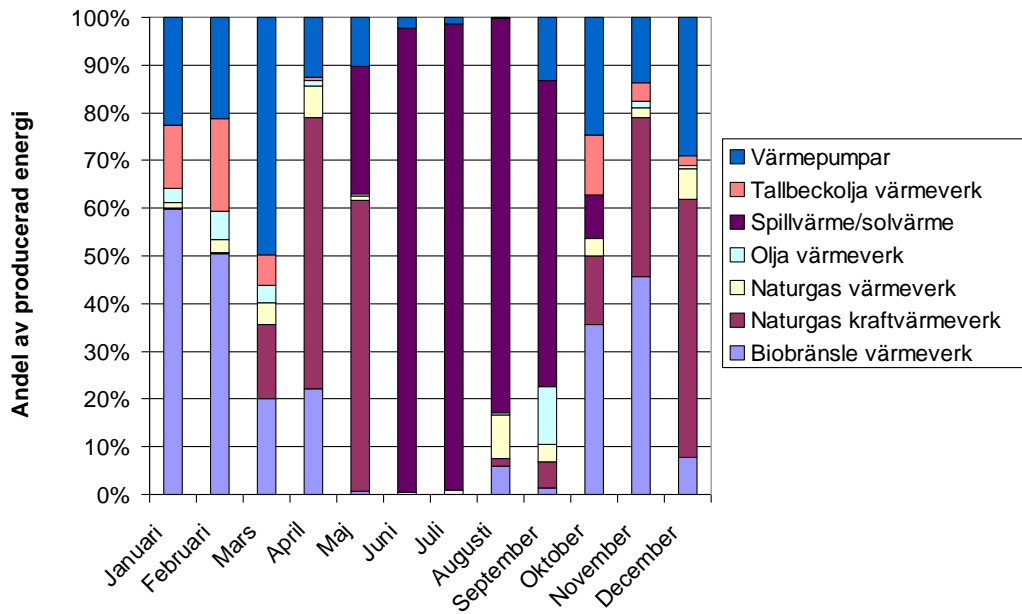


Figur 20. Göteborg Energis genomsnittliga produktionsmix för fjärrvärme 2007.

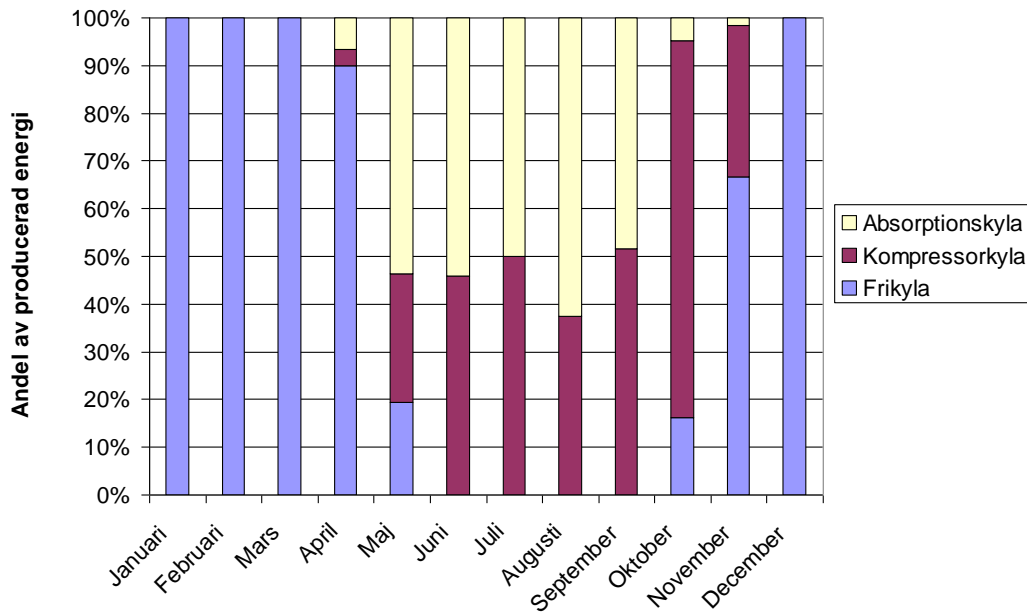


Figur 21. Göteborg Energis genomsnittliga produktionsmix för fjärrkyla, planerat 2014.

Den andra analysen baseras på marginalproduktion av fjärrvärme, fjärrkyla och el, d.v.s. den dyraste produktionsmetoden som vid varje tidpunkt är i drift och därmed ökar då behovet ökar. För fjärrvärme och fjärrkyla har återigen data från Göteborg Energi använts, från samma tidsperioder som de genomsnittliga mixerna. Analysen baseras på hur många timmar varje månad en viss produktionsmetod utgör marginalen och visas i procent i Figur 22 och Figur 23. För jämförelse med förändringarna i produktion i de befintliga fjärrvärme- och fjärrkylnäten är det rimligt att använda marginalet producerad i kolkondensverk, vilket alltid är i drift någonstans i Nordeuropa och kan anses påverkas av ändringar i elbehov.



Figur 22. Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme 2007.



Figur 23. Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrkyla, planerat 2014.

Vid beräkning av hur mycket energi som behöver produceras för lokalernas behov har en distributionsförlust på 6 % använts för el (förvalsvärde i Effem), 8 % för fjärrvärme (Andersson, 2008) och 2 % för fjärrkyla. Elbehov för pumpar i fjärrvärmenätet är 2,2 % av producerad fjärrvärme och för fjärrkylnätet är motsvarande siffra 2,5 %. Elbehov i proportion till dessa värden har därför lagts till för respektive lokal när fjärrvärme och fjärrkyla används.

Eftersom produktionsmixen för fjärrvärme varierar över året har månadsvis behovsdata och månadsvis produktionsmix räknats om till genomsnittlig årsmix för varje lokal:

$$a_{\text{produktionsmetod}}^{FV} = \frac{1}{Q_{FV}} \sum_{\text{månad}} Q_{FV, \text{månad}} \cdot a_{\text{produktionsmetod, månad}}$$

där

$a_{\text{produktionsmetod}}^{FV}$ = andel av fjärrvärmeproduktionen som sker med en viss produktionsmetod, årsmix

Q_{FV} = årligt behov av levererad fjärrvärme

$Q_{FV, \text{månad}}$ = behov av levererad fjärrvärme, månadsvis

$a_{\text{produktionsmetod, månad}}$ = andel av fjärrvärmeproduktionen som sker med en viss produktionsmetod, månadsvis

Fjärrkyla produceras med frikyla, kompressorer och absorptionskylmaskiner som använder el och fjärrvärme. Behoven av fjärrkyla har därför räknats om till den el, $Q_{el, \text{producerad}}^{FK}$ och fjärrvärme, $Q_{FV, \text{producerad}}^{FK}$ som åtgår i produktionen. Även detta är räknat månadsvis så att fjärrkyla relateras till de produktionsmetoder för fjärrvärme som används under den tid kylbehov finns.

$$Q_{el, \text{producerad}}^{FK} = 1/\eta_{FK-distr} \cdot 1/\eta_{eldistr} \cdot \sum_{\text{månad}} Q_{FK, \text{månad}} \cdot (a_{\text{frikyla, månad}} / COP_{\text{frikyla}} + a_{\text{kompressor, månad}} / COP_{\text{kompressor}})$$

$$Q_{FV, \text{producerad}}^{FK} = 1/\eta_{FK-distr} \cdot \sum_{\text{månad}} Q_{FK, \text{månad}} \cdot a_{\text{abs, månad}} / COP_{\text{abs}}$$

$$a_{FV\text{-produktionsmetod}}^{FK} = \frac{1}{\sum_{\text{månad}} Q_{FK, \text{månad}} \cdot a_{\text{abs, månad}}} \sum_{\text{månad}} Q_{FK, \text{månad}} \cdot a_{\text{abs, månad}} \cdot a_{\text{produktionsmetod, månad}}$$

där

$a_{FV\text{-produktionsmetod}}^{FK}$ = andel av fjärrvärmeproduktionen för fjärrkyla som sker med en viss produktionsmetod, årsmix

$\eta_{FK-distr}$ = verkningsgrad för distribution i fjärrkylnätet

$\eta_{eldistr}$ = verkningsgrad för distribution i elnätet

$Q_{FK, \text{månad}}$ = behov av levererad fjärrkyla månadsvis

$a_{\text{frikyla, månad}}$ = andel av fjärrkylproduktionen som sker med frikyla, månadsvis

$a_{\text{kompressor, månad}}$ = andel av fjärrkylproduktionen som sker med kompressorkyla, månadsvis

$a_{\text{abs, månad}}$ = andel av fjärrkylproduktionen som sker med absorptionskyla, månadsvis

COP_{frikyla} = kylfaktor för frikyla

$COP_{\text{kompressor}}$ = kylfaktor för kompressorkyla

COP_{abs} = kylfaktor för absorptionskyla

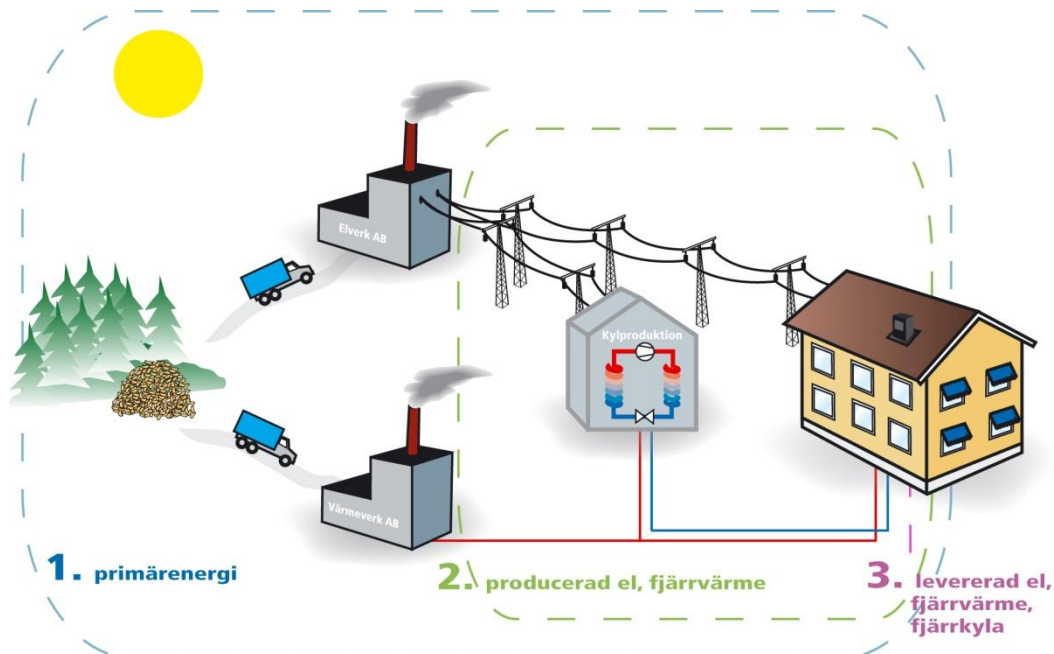
Mängden el och fjärrvärme som åtgår för fjärrkyla skiljer något beroende av synsätt – genomsnitt eller marginal – eftersom fördelningen mellan kylproduktionsmetoderna skiljer.

I Tabell 34 visas prestanda för de olika kylproduktionsmetoderna.

Tabell 34. Prestanda för Göteborg Energis produktionsmetoder av fjärrkyla, planerat 2014.

Metod	Energiform	COP
Frikyla	El	21,9
Kompressorkyla	El	10,5
Absorptionskyla	Fjärrvärme	0,68

Figur 24 visar schematiskt de olika energibegrepp och systemgränser som används. För varje lokal och systemlösning presenteras levererad (köpt) energi i form av el, fjärrvärme och fjärrkyla. Den är sedan omräknad till hur mycket el och fjärrvärme som behöver produceras för att även kompensera för distributionsförluster och producera fjärrkyla enligt ovan. Slutligen presenteras primärenergien, vilket beskrivs mer i följande avsnitt.



Figur 24. Beskrivning av använda energibegrepp.

4.1.7 Primärenergi

Primärenergi har beräknats enligt Europastandarden EN 15603 med primärenergifaktorer främst enligt standardens bilaga E, för total primärenergi och icke förnybar primärenergi. Där den svenska energieffektiviseringsutredningen (SOU 2008:25) har gjort andra värderingar (spillvärme, avfall och tallbecksolja) har dessa använts, och där dessa två källor saknar information har kompletteringar gjorts med verkningsgrader från bilaga 1 i ÅF:s utredning Allt eller inget (Persson, 2005) (för energiomvandling i energisektorn till värme respektive el). Använda primärenergifaktorer och referenser för alla bränslen och energiomvandlingar listas i bilaga A.

Tabell 35 sammanställer primärenergifaktorer för el, fjärrvärme och fjärrkyla (inklusive distribution). För el representerar dessa faktorer genomsnittlig nordisk elmix respektive marginal producerad av kolkondens. Samma primärenergifaktorer för el har använts under hela året. För fjärrvärme och fjärrkyla representerar faktorerna Göteborg Energis årliga genomsnittsmix respektive marginal. Hur de genomsnittliga primärenergifaktorerna beräknas redovisas i bilaga B. För de specifika lokalerna och systemlösningarna har dock olika faktorer använts beroende på hur behoven fördelar sig över året och hur produktionen därmed är sammansatt.

Tabell 35. Primärenergifaktorer – årliga genomsnitt och marginal.

	Genomsnitt		Marginal	
	Total	Icke förnybar	Total	Icke förnybar
El	1,98	1,38	4,05	4,05
Fjärrvärme	0,56	0,43	0,95	0,70
Fjärrkyla	0,34	0,25	0,61	0,53

I energieffektiviseringsdirektivet (SOU 2008:110) anges också generella viktningfaktorer för att värdera användning av el, fjärrvärme, fjärrkyla, oljeprodukter och bibränslen i Sverige. Dessa är uppdelade för beräkning på ”basåren”/genomsnitt och energibesparing/marginal. De här faktorerna tar alltså inte hänsyn till var i landet produktion eller användning sker, men beräkningar har ändå gjorts för jämförelse med primärenergien för de produktionsmixer som har antagits i de specifika fallen. De använda faktorerna listas i Tabell 36.

Tabell 36. Viktningsfaktorer enligt energieffektiviseringsdirektivet.

Energislag	Basår/Genomsnitt	Energibesparing/Marginal
El	1,5	2,5
Fjärrvärme	0,9	1,0
Fjärrkyla	0,4	0,4

4.1.8 Miljöanalys och Effem

Effem är ett webbaserat program för att analysera miljöpåverkan från uppvärmningssystem och kan användas för att jämföra olika system med varandra. I det här projektet har miljöpåverkan från varje system analyserats var för sig för att kunna ta med mer detaljer, som varierande produktionsmixer för fjärrvärme och varierande värmefaktor, COP, för värmepumpar över året samt för att möjliggöra beräkningar för kyla.

Indata till Effem är:

- System (i detta fall fjärrvärme eller el)
- Elmix
- Fjärrvärmemix
- Distributionsverkningsgrad
- Årligt värme-/energibehov

Systemgränsen i Effem är dragen så att energislagets hela livscykel inkluderas, men inte uppbyggnad av produktionsanläggningar, distributionssystem och liknande. Hänsyn tas till förluster i produktion och distribution.

Effem är konstruerat för att användaren ska ange årligt värmebehov för en byggnad och direkt jämföra miljöpåverkan för olika systemlösningar. I den här undersökningen har istället behoven av producerad el och fjärrvärme för att tillgodose både värme- och kylbehov för de olika systemlösningarna angetts. Detta motsvarar energin vid systemgräns 2 i Figur 24, vilket inkluderar el till pumpar och distributionsförluster. Eftersom distributionsförlusterna redan är medräknade har distributionsverkningsgraden vid beräkningarna i Effem satts till 100 %. För att räkna på miljöeffekterna kopplade till elbehovet har uppvärmningssystemet elvärme valts och totala elbehovet skrivits in i rutan för värmebehov.

Årliga produktionsmixer för fjärrvärme har beräknats utifrån månadsvis behov och produktion innan det lagts in i Effem, enligt ekvation i kapitel 4.1.6.

För allokering av miljöbelastning vid samtida produktion av el och fjärrvärme i kraftvärmeverk använder Effem alternativproduktionsmetoden. Det innebär att miljöbelastningen från kraftvärmeverk fördelas i proportion till mängden bränsle som skulle gått åt om produktionen skedde i separata kraft- respektive värmeverk.

Påverkan på växthuseffekten från läckage av köldmedier från fjärrvärmeproduktion ingår i beräkningarna från Effem. Från värmepumpar (vars miljöbelastning beräknats utifrån

elanvändning i Effem) och fjärrkylsystem har detta lagts till separat, vid sidan om Effem, med data på klimatpåverkan från en utredning från AFEAS och U.S. Department of Energy (Sand, 1997). Göteborg Energi anger att utsläppen av köldmedium från fjärrkylproduktionen är 172 kg R-134A per år, vilket motsvarar $1,4 \cdot 10^{-6}$ kg/kWh producerad kyla (Andersson, 2008).

Läckagen från värmepumpar har beräknats som 1 % av mängden fyllning per år. Läckage från kyl- och luftkonditioneringsaggregat har minskat med åren, uppskattningsvis från 15-35 % för produkter tillverkade före 1970 till under 1 % för produkter från 1999 och senare (figur 6 i Johansson, 2003).

Effem räknar samman emissioner av följande ämnen:

- CH₄
- CO
- CO₂
- N₂O
- NH₃
- NMVOC
- NO_x
- Partiklar
- SO_x

Programmet beräknar också miljöpåverkan från emissionerna i kategorierna:

- Växthuseffekten
- Försurning
- Övergödning
- Marknära ozon, NO_x
- Marknära ozon, flyktiga kolväten
- Partiklar

Miljöpåverkan beräknas i Effem med karaktäriseringsfaktorer från Miljöstyrningsrådet. De redovisas i bilaga C.

Andra verktyg för att beräkna energiförbrukningens miljöpåverkan finns men LCA beräkningar måste då konstrueras mer från grunden. EFFem har konstruerats av SP på uppdrag av Svensk Fjärrvärme för att ge användare i Sverige möjlighet att utföra analyser av alternativa uppvärmningsmetoder.

4.2 Stampgatan

4.2.1 Energi

Lokalen på Stampgatan har ett årligt värmebehov på 566 MWh och kylbehov på 638 MWh (kapitel 2.2.2). I kapitel 3.2 beskrivs olika systemlösningar för att tillgodose dessa behov och mängden levererad energi i form av el, fjärrvärme och fjärrkyla (systemgräns 3 i Figur 24) för respektive lösning sammanställs nedan i Tabell 37.

Tabell 37. Behov av levererad energi till Stampgatan.

Systemlösning	El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]	Fjärrkyla [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	0	566	638
Bergvärme	295	0	0
Luftvärmepump	421	0	0
Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin	165	232	179

Tabell 38 visar hur mycket el och fjärrvärme som produceras (systemgräns 2 i Figur 24) för att täcka behoven av levererad energi. För behoven av fjärrkyla skiljer det något mellan genomsnitt- och marginalproduktion eftersom mixen av produktionsmetoder för fjärrkyla skiljer beroende av synsätt.

Tabell 38. Totala behov av producerad el och fjärrvärme för Stampgatan.

Systemlösning		El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	Genomsnitt	63	915
	Marginal	64	902
Bergvärme		314	0
Luftvärmepump		448	0
Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin	Genomsnitt	197	378
	Marginal	198	372

Slutligen har primärenergi (systemgräns 1 i Figur 24) beräknats enligt kapitel 4.1.6, för fjärrvärme och fjärrkyla med hänsyn tagen till hur behoven är fördelade över året, och sammanställts i Tabell 39.

Tabell 39. Primärenergibehov för Stampgatan.

Systemlösning	Genomsnitt		Marginal	
	Total	Icke förnybar	Total	Icke förnybar
	MWh/år	[MWh/år]	[MWh/år]	[MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	520	390	1080	840
Bergvärme	580	410	1190	1190
Luftvärmepump	830	580	1710	1710
Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin	530	380	1080	980

Systemlösningen med luftvärmepump använder mest primärenergi oavsett vilket perspektiv man utgår från – bakåtblickande med genomsnittliga produktionsmixer eller framåtblickande med marginalproduktion – och oavsett om den totala primärenergin inkluderas eller bara den icke förnybara delen. Bland övriga är skillnaderna mindre, men det befintliga systemet med fjärrvärme och fjärrkyla samt det antagna systemet där detta kompletteras med en kylmaskin för att täcka baslasterna har något mindre behov av primärenergi än bergvärmesystemet.

Som jämförelse har behoven av levererad el, fjärrvärme och fjärrkyla också viktats enligt energieffektiviseringsfaktorer för primärenergi (SOU 2008:110), vilka inte tar hänsyn till någon specifik produktionsmix, se Tabell 40. Jämfört med beräkningarna på primärenergi enligt ovan värderar viktningsfaktorerna i SOU 2008:110 energi för fjärrvärme och fjärrkyla högre och ger, med faktorerna för basår/genomsnitt, bergvärmesystemet det bästa resultatet, och med primärenergifaktorerna för energibesparing/marginal, ungefär lika för bergvärmesystemet och fjärrvärme och fjärrkyla kombinerat med kylmaskin.

Tabell 40. Viktning av energi enligt energieffektiviseringsutredningens faktorer.

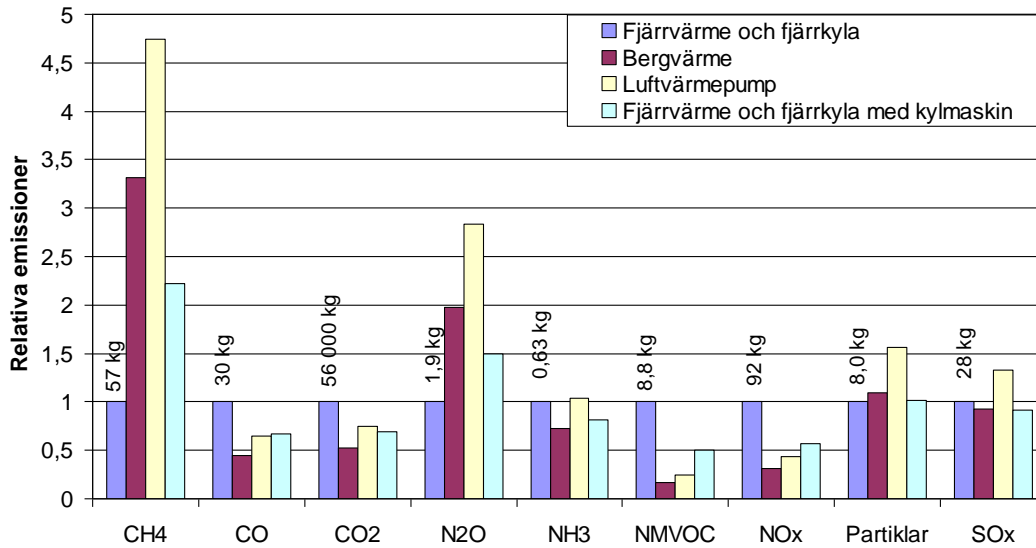
Systemlösning	Basår/Genomsnitt [MWh/år]	Energibesparing/Marginal [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	760	820
Bergvärme	440	740
Luftvärmepump	630	1050
Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin	530	720

4.2.2 Miljöanalys

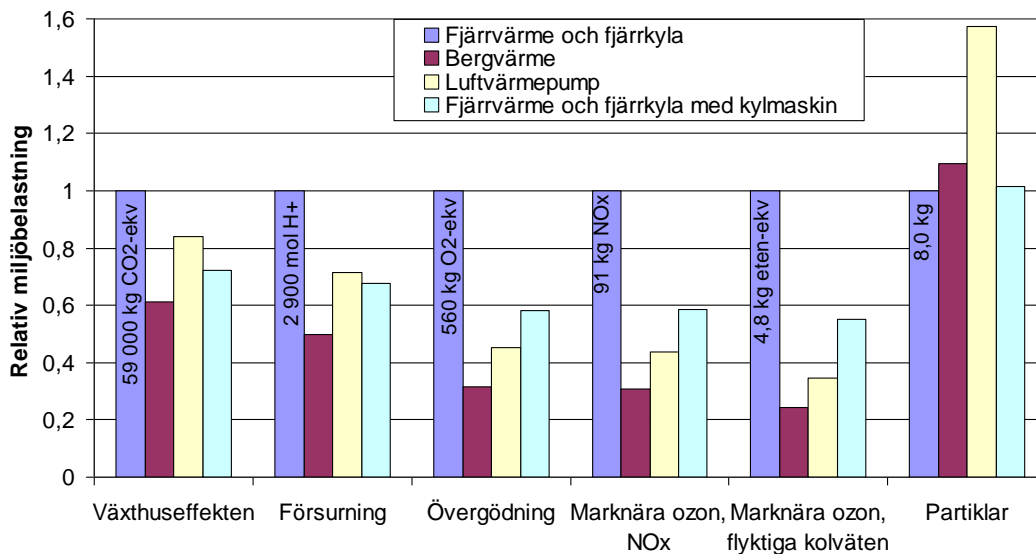
Miljöbelastning har beräknats i Effem utifrån de årliga behoven av producerad el och fjärrvärme som anges i Tabell 38. Marginalproduktionsmix och genomsnittlig produktionsmix för fjärrvärme är beräknade utifrån hur behoven är fördelade över året.

Genomsnitt

Figur 25 och Figur 26 visar resultaten från Effem i form av relativa emissioner och relativ miljöbelastning för de olika systemlösningarna beräknat för nordisk elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmixer. Diagramstaplarna har normerats (mot alternativet fjärrvärme och fjärrkyla) för att kunna samla dem i samma diagram. Absoluta värden för fjärrvärme och fjärrkyla anges med siffror. Systemen med fjärrvärme och fjärrkyla ger störst belastning och bergvärme ger minst på alla kategorier utom partiklar.



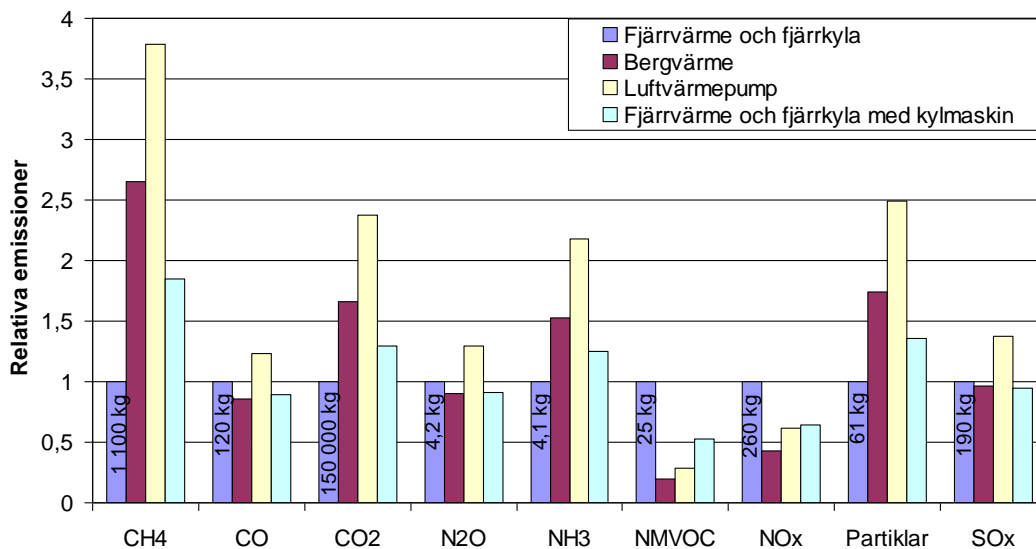
Figur 25. Emissioner för de olika systemlösningarna på Stampgatan, normerat mot emissionerna från fjärrvärme och fjärrkyla. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmix.



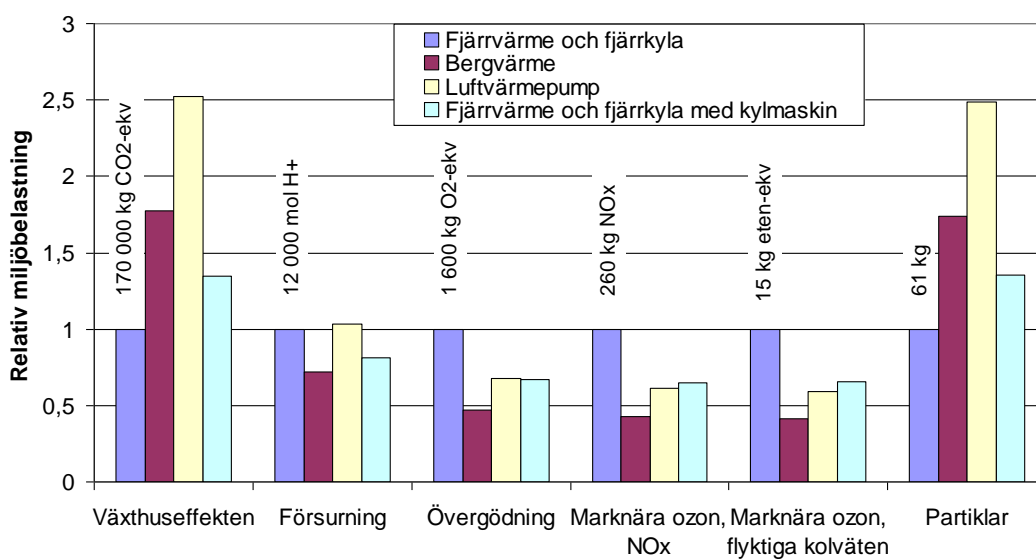
Figur 26. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Stampgatan, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme och fjärrkyla. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmix.

Marginal

Studeras istället marginalproduktion, Figur 27 och Figur 28, ger det rena fjärrvärme- och fjärrkylsystemet fortfarande högst och bergvärme lägst belastning på övergödning och marknära ozon. Fokuserar man på växthuseffekten, som idag ofta ses som det allvarligaste hotet, ger marginalsynsättet istället lägst belastning från fjärrvärme och fjärrkyla och högst från luftvärmepump.



Figur 27. Emissioner för de olika systemlösningarna på Stampgatan, normerat mot emissionerna från fjärrvärme och fjärrkyla. Marginalen och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme och fjärrkyla.



Figur 28. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Stampgatan, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme och fjärrkyla. Marginalen och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme och fjärrkyla.

4.3 Handelshögskolan

4.3.1 Energi

Handelshögskolans årliga värmebehov är 1873 MWh (kapitel 2.3.2). Kylbehovet är osäkert och därför analyseras endast system för värme. I Tabell 41 framgår lokalens energibehov för undersökta systemlösningar och i Tabell 42 är levererad energi omräknad till behov av producerad energi på samma sätt som för Stampgatan i föregående kapitel.

Tabell 41. Behov av levererad energi till Handelshögskolan.

Systemlösning	El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]
Fjärrvärme	0	1873
Luftvärmepump med fjärrvärmespets	453	399
Luftvärmepump med elspets	852	0

Tabell 42. Totala behov av producerad el och fjärrvärme för Handelshögskolan.

Systemlösning	El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]
Fjärrvärme	47	2036
Luftvärmepump med fjärrvärmespets	492	433
Luftvärmepump med elspets	907	0

Primärenergibehoven framgår av Tabell 43. Oavsett synsätt – genomsnitt eller marginal och total eller enbart icke förnybar primärenergi – kräver luftvärmepumpen med elspets enligt beräkningarna mest primärenergi. Räknat på genomsnittlig produktionsmix kräver den befintliga lösningen, luftvärmepump med fjärrvärmespets, något mindre primärenergi än vad ett rent fjärrvärmesystem skulle göra. För perspektivet marginalproduktion är däremot fjärrvärme den systemlösning som kräver minst icke förnybar primärenergi, men mer total primärenergi.

Skulle även kyla inkluderas i analysen är det möjligt att värmepumpslösningarna skulle få bättre resultat i jämförelse med fjärrvärme och fjärrkyla eftersom värmepumparna i viss mån kan användas för kylning samtidigt som de producerar värme. Detta förutsätter dock att det finns samtida behov av värme och kyla. Det största kylbehovet finns på sommaren när Handelshögskolans luftvärmepump är avstängd och separat kylmaskin istället används. Om kyla skulle inkluderas beror resultatet alltså till stor del av hur kylbehovet är fördelat över året. Därför skulle vinsten av en systemlösning som tillgodoser samtida behov inte vara så stor.

Tabell 43. Primärenergiebehov för Handelshögskolan.

Systemlösning	Genomsnitt		Marginal	
	Total [MWh/år]	Icke förnybar [MWh/år]	Total [MWh/år]	Icke förnybar [MWh/år]
Fjärrvärme	1310	990	2670	1910
Luftvärmepump med fjärrvärmespets	1160	820	2300	2290
Luftvärmepump med elspets	1690	1170	3450	3450

Primärenergiebehovet viktat enligt energieffektiviseringsutredningen (Tabell 44) är lägst för luftvärmepump med fjärrvärmespets, vilket stämmer överens med primärenergieberäkningarna baserat på specifika genomsnittliga produktionsmixer och även total primärenergie enligt marginalbegreppet. Vilket system som kräver mest energi skiljer beroende av vilket synsätt som används.

Tabell 44. Viktning av energi enligt energieffektiviseringsutredningens faktorer.

Systemlösning	Basår/Genomsnitt [MWh/år]	Energibesparing/Marginal [MWh/år]
Fjärrvärme	1690	1870
Luftvärmepump med fjärrvärmespets	1040	1530
Luftvärmepump med elspets	1280	2130

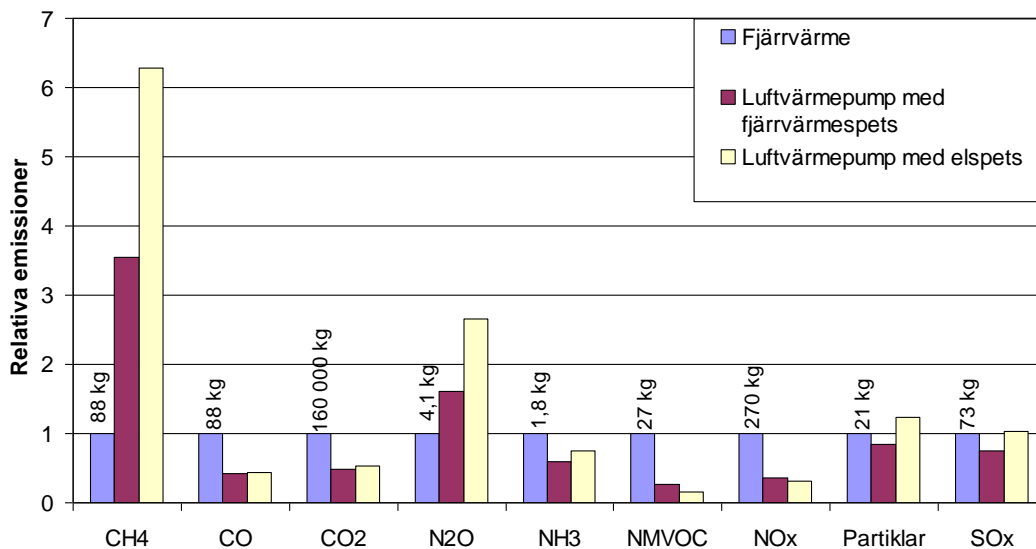
4.3.2 Miljöanalys

Miljöpåverkan från de alternativa systemlösningarna för Handelshögskolan har beräknats i Effem och sammanställs nedan. I diagrammen är emissioner och miljöpåverkan normerade mot respektive parameter för fjärrvärmesystemet. Absoluta värden för fjärrvärme är inskrivna i diagrammen.

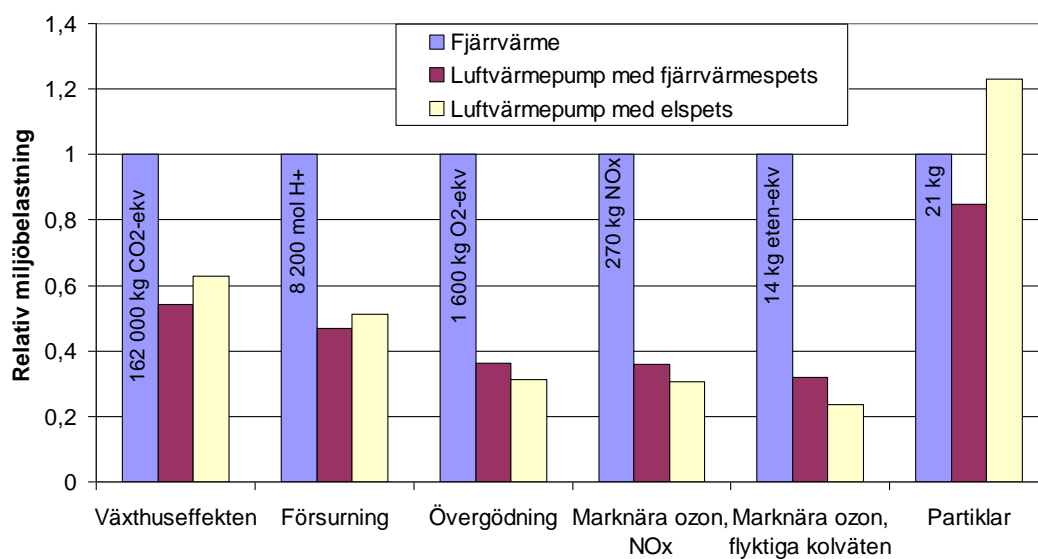
Påverkan på växthuseffekten från läckage av köldmedium från värmepumpen har beräknats genom att anta att det årliga läckaget är 1 % av fyllningsmängden, 123 kg R-407C (Kylkontroll Göteborg AB, 2005). Läckaget utgör då c:a 2 % av påverkan på växthuseffekten från båda värmepumpslösningarna vid räkning på genomsnittliga produktionsmixer. För marginalanalysen är motsvarande värden 0,4 % och 0,2 % för värmepump med fjärrvärmespets respektive elspets.

Genomsnitt

Figur 29 visar emissioner och Figur 30 visar miljöbelastning beräknat på genomsnittliga produktionsmixer. För alla miljöpåverkanskategorier utom partiklar är belastningen från fjärrvärme betydligt större än från de båda värmepumpslösningarna, vilka ger relativt lika belastning.



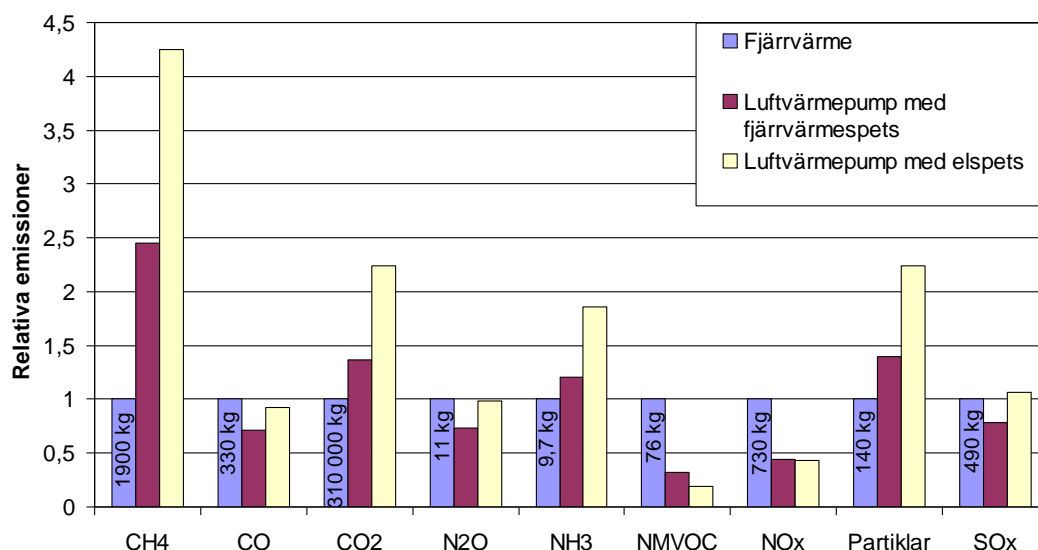
Figur 29. Emissioner för de olika systemlösningarna på Handelshögskolan, normerat mot emissionerna från fjärrvärme. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärmemix.



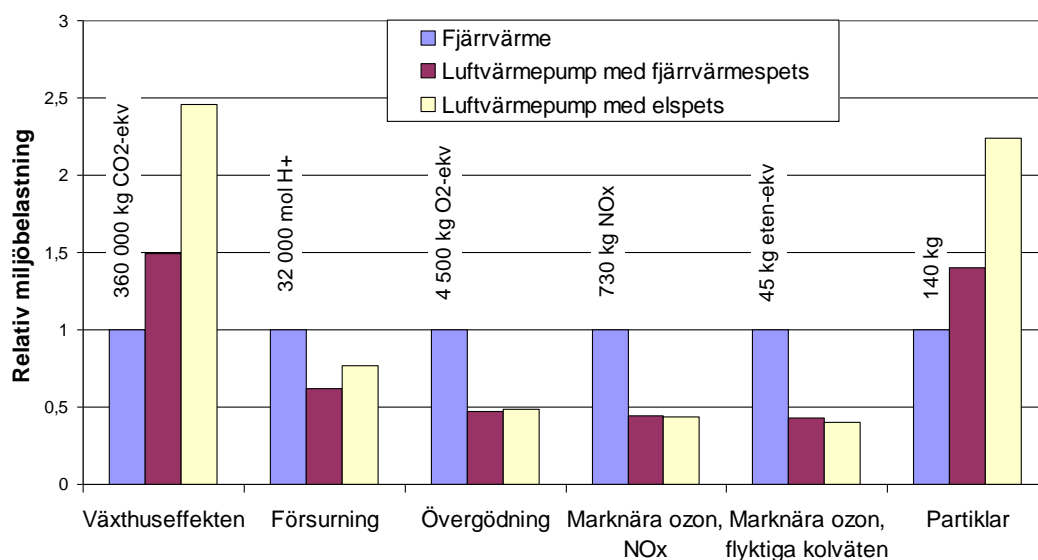
Figur 30. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Handelshögskolan, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärmemix.

Marginal

Emissioner och miljöbelastning enligt marginalperspektiv presenteras i Figur 31 respektive Figur 32. För försurning, övergödning och marknära ozon ger fjärrvärme även enligt marginalperspektivet högst belastning. Till växthuseffekten samt partiklar, ger däremot fjärrvärme den minsta belastningen och luftvärmepump med elspets ger den högsta belastningen.



Figur 31. Emissioner för de olika systemlösningarna på Handelshögskolan, normerat mot emissionerna från fjärrvärme. Marginalen och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme.



Figur 32. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Handelshögskolan, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme. Marginalen och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme.

4.4 Etage

4.4.1 Energi

Årligt värme- och kylbehov på Etage är 251 MWh respektive 685 MWh. Tabell 45 visar behov av levererad energi för de två alternativa systemlösningarna, fjärrvärme och fjärrkyla respektive bergvärme. I Tabell 46 framgår hur mycket el och fjärrvärme som behöver produceras för att tillgodose dessa behov.

Tabell 45. Behov av levererad energi till Etage.

Systemlösning	El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]	Fjärrkyla [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	0	251	685
Bergvärme	262	0	0

Tabell 46. Totala behov av producerad el och fjärrvärme för Etage.

Systemlösning		El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	Genomsnitt	57	736
	Marginal	59	706
Bergvärme		278	0

Behovet av primärenergi är sammanställt i Tabell 47 och som jämförelse anges primärenergibehovet beräknat med viktningfaktorer enligt SOU 2008:110 i Tabell 48. Systemlösningen med fjärrvärme och fjärrkyla kräver mindre primärenergi än bergvärme-systemet enligt samtliga av de fyra beräkningarna.

Tabell 47. Primärenergibehov för Etage.

Systemlösning	Genomsnitt		Marginal	
	Total [MWh/år]	Icke förnybar [MWh/år]	Total [MWh/år]	Icke förnybar [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	310	230	680	560
Bergvärme	490	340	1000	1000

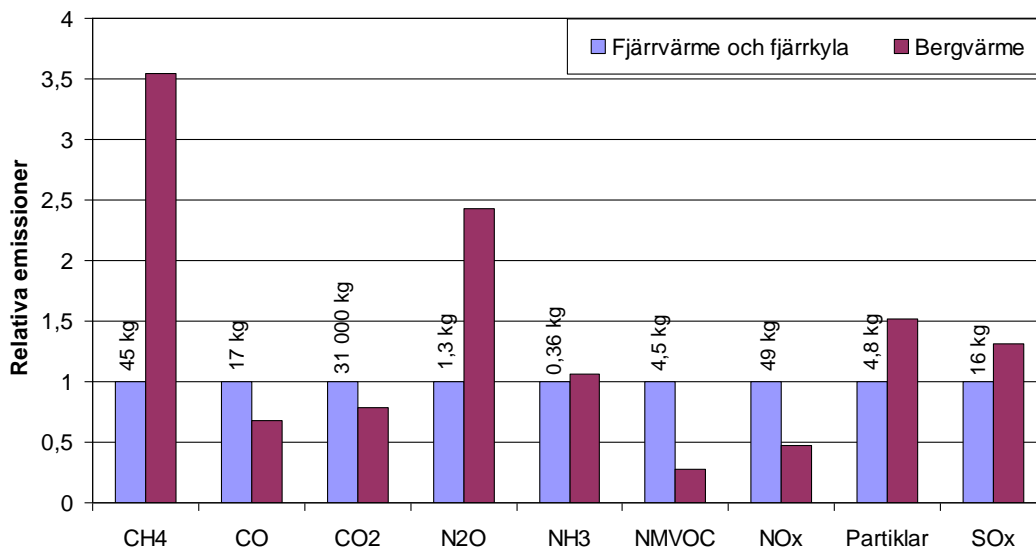
Tabell 48. Primärenergibehov enligt energieffektiviseringsutredningens viktningfaktorer.

Systemlösning	Basår/Genomsnitt [MWh/år]	Energibesparing/Marginal [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	500	530
Bergvärme	390	650

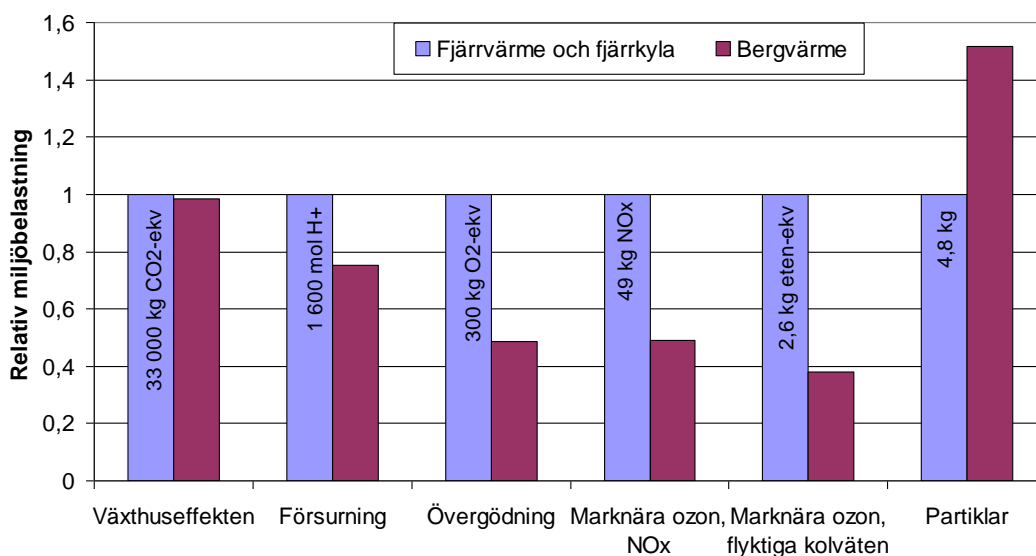
4.4.2 Miljöanalys

Genomsnitt

I Figur 33 och Figur 34 visas resultat från miljöanalysen med antagande om genomsnittsproduktion. Det båda alternativa systemen ger här ungefär samma bidrag till växthus-effekten. Bergvärme-systemet ger lägst belastning på försurning, övergödning och marknära ozon, medan fjärrvärme och fjärrkyla ger minst partiklar.



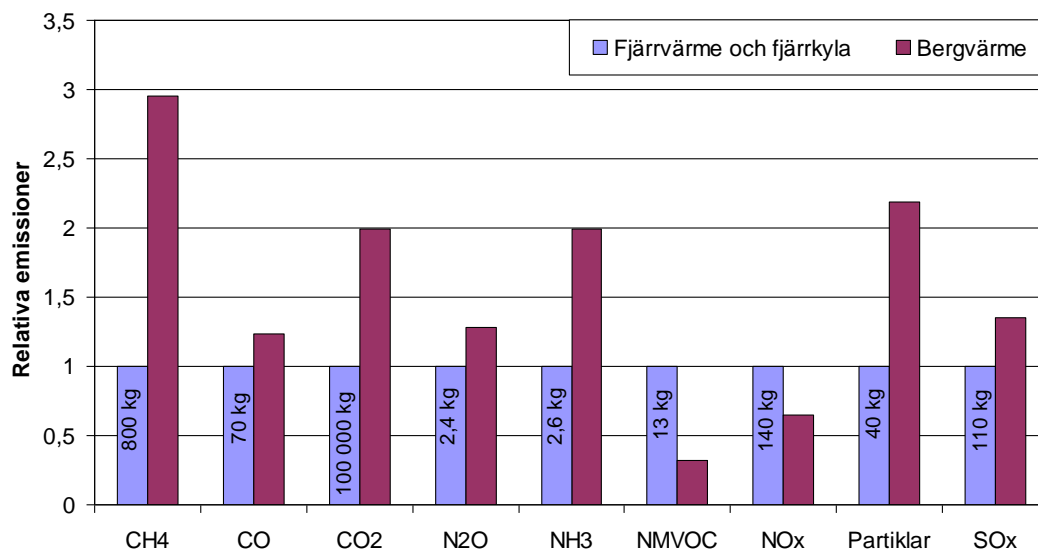
Figur 33. Emissioner för de olika systemlösningarna på Etage, normerat mot emissionerna från fjärrvärme och fjärrkyla. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmix.



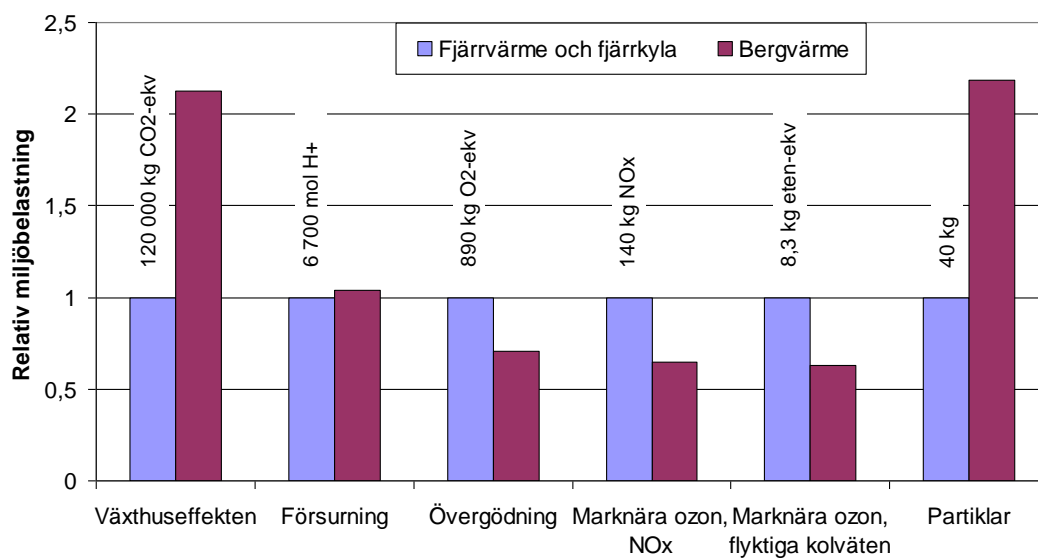
Figur 34. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Etage, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme och fjärrkyla. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmix.

Marginal

Miljöberäkningar med marginalperspektiv ger resultat enligt Figur 35 och Figur 36. Fjärrvärme och fjärrkyla ger den minsta belastningen på växthuseffekten och partiklar enligt dessa beräkningar. För övergödning och marknära ozon är bergvärmesystemet ett bättre alternativ även enligt marginalperspektivet.



Figur 35. Emissioner för de olika systemlösningarna på Etage, normerat mot emissionerna från fjärrvärme och fjärrkyla. Marginalrel och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme och fjärrkyla.



Figur 36. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Etage, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme och fjärrkyla. Marginalrel och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme och fjärrkyla.

4.5 Academicum och Anatomihöghuset

4.5.1 Energi

Totalt värmebehov under ett år för Academicum och Anatomihöghuset är 351 MWh och kylbehovet är 92 MWh (se kapitel 0). Tabell 49 sammanfattar behoven av levererad energi för de olika systemlösningarna beskrivna i kapitel 3.5. Elbehovet inkluderar el till värmepumpar och pumpar i borrhålslager, men inte el för distribution av fjärrvärme/fjärrkyla.

Tabell 49. Behov av levererad energi till Academicum och Anatomihöghuset.

Systemlösning	El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]	Fjärrkyla [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	0	351	92
Bergvärme med fjärrvärmespets	131	10	0
Bergvärme med elspets	141	0	0

I Tabell 50 visas hur mycket el och fjärrvärme som behöver produceras för att täcka behoven av levererad energi enligt ovan. Detta inkluderar el till pumpar i borrhålslager och fjärrvärme- och fjärrkylnät samt förluster i distributionsnäten. Fjärrkylanvändningen är omräknad till el och fjärrvärme som används i produktionen, vilken varierar beroende av produktionsmix, därav två alternativa rader för fjärrvärme och fjärrkyla.

Tabell 50. Totala behov av producerad el och fjärrvärme för Academicum och Anatomihöghuset.

Systemlösning		El [MWh/år]	Fjärrvärme [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	Genomsnitt	16	437
	Marginal	16	434
Bergvärme med fjärrvärmespets		140	11
Bergvärme med elspets		150	0

Tabell 51 visar primärenergibehov för lokalens uppvärmning och kylning. Oavsett om man studerar genomsnittsproduktion eller marginalproduktion, är skillnaden i primärenergi mellan de tre alternativen liten. I alla fallen kräver systemet med fjärrvärme och fjärrkyla något mindre primärenergi än bergvärme.

Som jämförelse har också primärenergibehovet beräknats viktat utifrån den svenska energieffektiviseringsutredningens (SOU 2008:110) generella viktningsfaktorer för el, fjärrvärme och fjärrkyla (Tabell 52). Enligt dessa skulle istället bergvärmesystemet (i stort sett oberoende av värmespetsen) ha det lägsta energibehovet.

Tabell 51. Primärenergibehov för Academicum och Anatomihöghuset.

Systemlösning	Genomsnitt		Marginal	
	Total [MWh/år]	Icke förnybar [MWh/år]	Total [MWh/år]	Icke förnybar [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	240	180	500	370
Bergvärme med fjärrvärmespets	260	180	540	540
Bergvärme med elspets	280	190	570	570

Tabell 52. Viktning av energi enligt energieffektiviseringsutredningens faktorer.

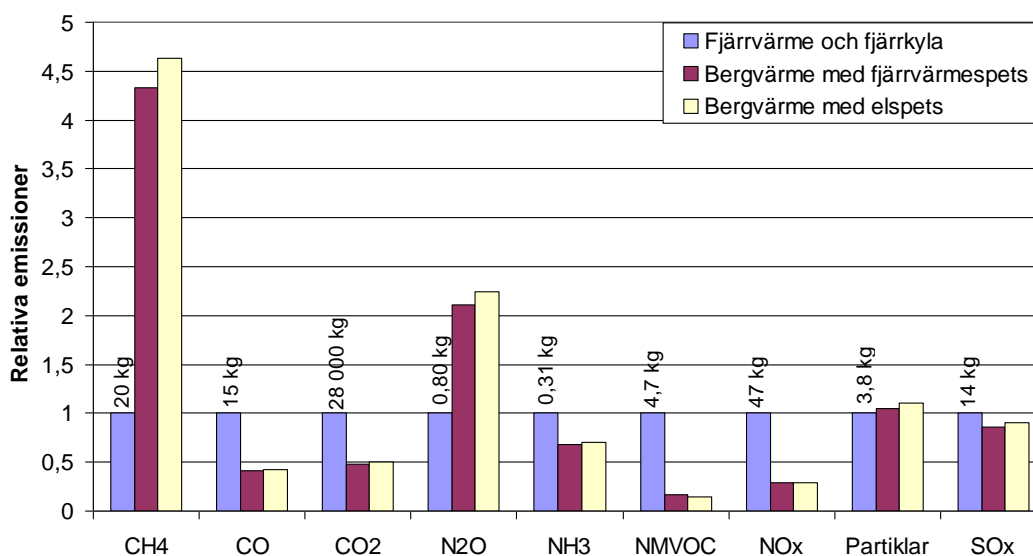
Systemlösning	Basår/Genomsnitt [MWh/år]	Energibesparing/Marginal [MWh/år]
Fjärrvärme och fjärrkyla	350	390
Bergvärme med fjärrvärmespets	210	340
Bergvärme med elspets	210	350

4.5.2 Miljöanalys

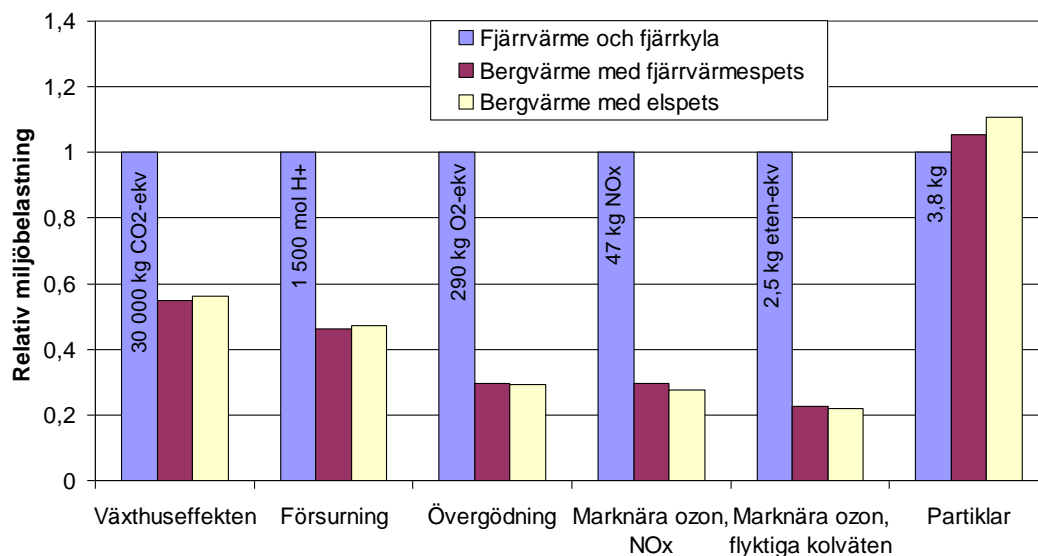
Miljöpåverkan har beräknats i Effem utifrån de årliga behov av producerad el och fjärrvärme som visas i Tabell 50. Genomsnittlig produktionsmix och marginal för fjärrvärme är beräknade utifrån hur behovet är fördelat månadsvis över året.

Genomsnitt

Figur 37 och Figur 38 visar resultaten från Effem i form av relativa emissioner och relativ miljöbelastning för de olika systemlösningarna beräknat för nordisk elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmixer. Diagramstaplarna har normerats (mot alternativet fjärrvärme och fjärrkyla). Absoluta värden för fjärrvärme och fjärrkyla anges med siffror. I alla kategorier utom partiklar ger bergvärmesystemen lägre miljöbelastning än fjärrvärme och fjärrkyla. Om värmebehovet spetsas med el eller fjärrvärme har ingen större påverkan på resultatet.



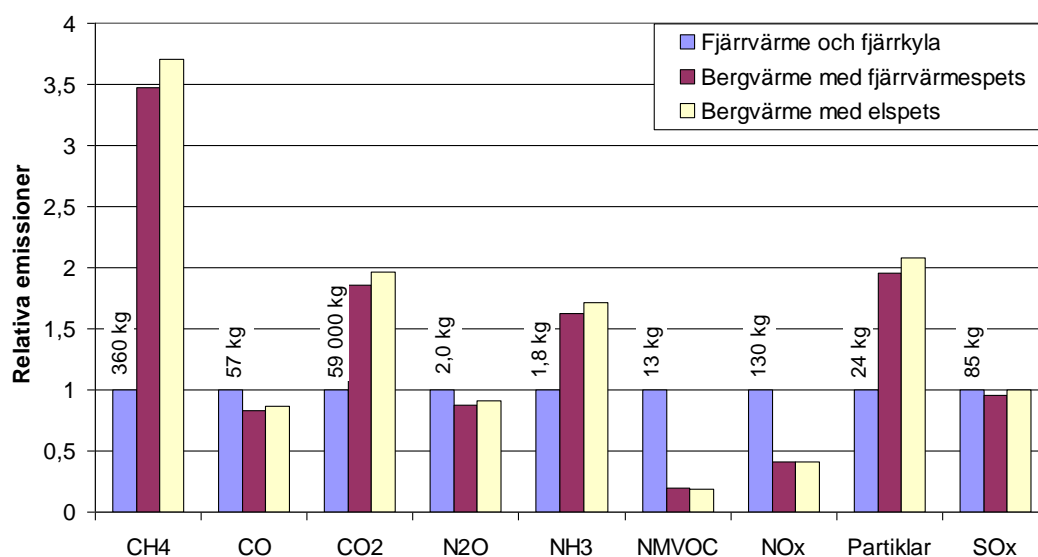
Figur 37. Emissioner för de olika systemlösningarna på Academicum och Anatomihöghuset, normerat mot emissionerna från fjärrvärme och fjärrkyla. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmix.



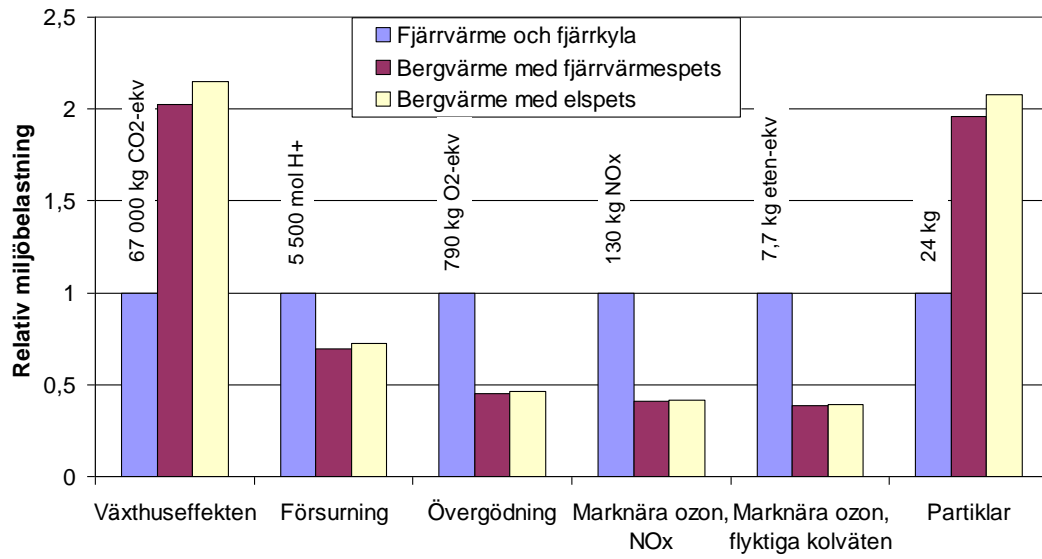
Figur 38. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Academicum och Anatomihögskolan, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme och fjärrkyla. Nordisk genomsnittlig elmix och Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmix.

Marginal

Görs beräkningarna istället med marginalperspektivet ger fjärrvärme och fjärrkyla den minsta belastningen på växthuseffekten, till skillnad mot fallet med genomsnittsproduktion. Fjärrvärme och fjärrkyla ger också minst mängd partiklar (i denna beräkning såväl som ovan), medan beredningssystemen ger lägre belastning på försurning, övergödning och marknära ozon. Emissioner och miljöbelastning för marginalperspektivet framgår av Figur 39 respektive Figur 40.



Figur 39. Emissioner för de olika systemlösningarna på Academicum och Anatomihögskolan, normerat mot emissionerna från fjärrvärme och fjärrkyla. Marginal och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme och fjärrkyla.



Figur 40. Miljöbelastning för de olika systemlösningarna på Academicum och Anatomihöghuset, normerat mot miljöbelastning från fjärrvärme och fjärrkyla. Marginal och Göteborg Energis marginalproduktion av fjärrvärme och fjärrkyla.

5 Ekonomisk analys

5.1 Metod

Ekonomiska analyser har gjorts med 30-årsperspektiv enligt diskussion i referensgruppen och kalkylräntan har satts till 7 %, vilket anses vara representativt för stora svenska fastighetsägare. Resultaten presenteras som årliga kostnader enligt annuitetsmetoden.

För fjärrvärme och fjärrkyla har priser från Göteborg Energi använts. Prismodell för företagskunder 2009 (Göteborg Energi, 2008), löpande pris, har använts i beräkningarna av fjärrvärmekostnader. Priset varierar över årstiderna och omfattar en energidel, den använda energin årstidsvis, och en effektdel, medelvärdet av det senaste årets tre högsta dygnsmedeleffekter. Effektdelen består dessutom av en fast och en rörlig del. Tabell 53 och Tabell 54 visar de priser som använts.

Tabell 53. Energipris för fjärrvärme.

Månader	Energipris [SEK/MWh]
Januari, februari, mars, december	469
April, oktober, november	321
Maj, juni, juli, augusti, september	98

Tabell 54. Årligt effektpris för fjärrvärme.

Effekt [kW]	Fast pris [SEK]	Rörligt pris [SEK/kW]
50-100	8 000	640
100-250	11 000	610
250-500	18 500	580
500-1000	78 500	460
1000-2500	108 500	430

Utöver de löpande kostnaderna tillkommer anslutningsavgift för ledningar och fjärrvärmecentral, vilken ges för varje lokal och beror av ledningslängd och dimensionerande effekt (Lie, 2008). Anslutningsavgifterna förutsätter att fjärrvärme finns framdragat (eller att utbyggnad pågår) i området. Service och underhåll ingår i den löpande taxan.

Löpande priser för fjärrkyla beräknas på liknande sätt som för fjärrvärme, men där innefattas anslutning förutsatt att avtal tecknas på tio år (Ericsson, 2008). Energipris för aktuella lokaler framgår av Tabell 55 och det årliga effektpriset är 480 SEK/kW.

Tabell 55. Energipris för fjärrkyla.

Månader	Energipris [SEK/MWh]
Maj – september	250
Oktober – april	140

Distributionskostnader för kyla och värme i byggnaden har i jämförelsen antagits vara lika avseende kostnad för pumpning, och därför inte utelämnats i analysen. Tryckfallet på sekundärsidan i FV och FK centraler har försumrats medan det har medtagits i de övriga systemen. Den angivna kostnaden för pumpning kan i dessa fall därför verka låg. Kostnader för investeringar i borrhållslager, värmepumpar m.m. samt underhåll och utbyte av komponenter har tagits fram med hjälp av erfarenhet från referensgruppen, genom

olika uppskattningar, t.ex. kostnad per installerad effektenhet och med uppgifter från tillverkare.

En uppskattning för inköp och installation av komplett bergvärmesystem är 12 000 - 18 000 SEK/kW installerad effekt (Hellström, 2008). Genomsnittet 15 000 SEK har använts i beräkningarna. Borrhålen utgör ungefär halva kostnaden och värmepump och andra maskiner en tredjedel.

För luftvärmepumpssystem med dimensionerande effekt över 700 kW har kostnaden för värmepumpen satts till 1000 SEK/kW installerad kyleffekt. Kostnad för installation av komplett system beräknas som 2500 SEK/kW. För mindre system med 400 kW effekt eller lägre är kostnaden per effektenhet den dubbla. Maskinerna utgör ungefär halva totalkostnaden (Runesson, 2009).

Priser för elpanna är cirkapriser från leverantörer för angivna effekter (Värmebaronen, 2009; Ernstsson, 2009).

Kostnader för service och underhåll av värmepumpssystem har beräknats som 6 % av investeringen i maskiner per år. Detta antas då utföras löpande av utomstående firma. Har fastighetsägaren själv möjlighet att utföra service och underhåll skulle kostnaden antagligen bli något lägre.

Kostnader för elförbrukning har beräknats med statistik från Energimyndigheten (Statens energimyndighet, 2007). Pris för industrikund i aktuell typkundsgrupp (beroende av årlig förbrukning) har beräknats genom att extrapolera priserna under fem år, juli 2002 – januari 2007, till 2009 (medelvärde av januari- och julipris). Priset är elhandelspris inkl. elcertifikatpris och nätpris. I Tabell 56 sammanställs aktuella typkundsgrupper tillsammans med uppskattat pris. Detta gäller tillverkningsindustri som beskattas med 0.5 öre/kWh. Här justeras priset till icke tillverkningsindustri med 28,2 öre/kWh. En höjning med 27.7 öre/kWh.

Tabell 56. Definition av typkundsgrupper och uppskattade elpriser.

Typkundsgrupp	Årlig elförbrukning [MWh]	Maximalt årligt effektuttag [kW]	Uppskattat pris [öre/kWh]	Pris med elskatt 28.2 Öre/kWh
Id	1 250	500	71	99
Ie	2 000	500	64	92
If	10 000	2 500	60	88

5.2 Stampgatan

Beräkningar av kostnader för de alternativa systemen beskrivs i kapitel 5.2.1 - 5.2.4 och i kapitel 5.2.5 jämförs resultaten.

5.2.1 Fjärrvärme och fjärrkyla

Investeringskostnaden för fjärrvärme består av kostnad för ledningsdragning och fjärrvärmecentral. Dimensionerande effekt är 517 kW och ledningslängden 60 m utomhus och 35 m inomhus, vilket ger den totala investeringskostnaden 636 000 SEK (Lie, 2008). Som angivet i kapitel 5.1 har fjärrkyla ingen separat investeringskostnad, utan den inkluderas i den löpande taxan.

Löpande kostnader för förbrukning av fjärrvärme och fjärrkyla är beräknade enligt uppmätta data (Tabell 5 i kapitel 3.2.1). Medelvärde av ett års tre högsta dygnsmedeleffekter för fjärrvärme har beräknats till 257 kW utifrån uppmätta timdata. För fjärrkyla är motsvarande siffra 197 kW.

5.2.2 Bergvärme

Investeringskostnad för ett bergvärmesystem har beräknats utifrån värmepumpens dimensionerande värmeeffekt, 574 kW, och uppskattningen 15 000 SEK/kW, till 8 610 000 SEK. Årlig underhållskostnaden har beräknats till 172 000 SEK utifrån antagandet att den är 6 % av investeringskostnaden för maskiner, vilken är en tredjedel av den totala investeringskostnaden.

295 MWh el används per år för bergvärmesystemet enligt beräkningarna i kapitel 3.2.2. Total årlig elförbrukning för lokalen är i dagsläget ca 520 MWh (Bång, 2008). Till sammans med värmepumpssystemets elförbrukning, och uppskattningen att maximalt effektuttag är mindre än 500 kW, skulle lokalen hamna i typkundsgrupp ”Id” (se Tabell 56). Årlig energikostnad för bergvärmesystemet skulle då bli 291 000 SEK.

5.2.3 Luftvärmepump

För system med luftvärmepump har investeringskostnaden beräknats utifrån värmepumpens kyleffekt, 563 kW, och uppskattningen 5 000 SEK/kW, till 2 815 000 SEK. Som jämförelse skulle endast kompressorn som beräkningarna har baserats på, utan inkoppling, kosta ca 735 000 SEK (Sommerlund, 2009). Systemet behöver kompletteras med en elpanna på 230 kW, för vilken kostnaden utifrån cirkapriser från leverantörer har uppskattats till 85 000 SEK. Underhållskostnad har uppskattats på samma sätt som för bergvärmesystemet, 6 % av maskininvesteringskostnaden i årligt underhåll, till 90 000 SEK.

Typkundsgruppen skulle bli densamma som för bergvärmesystemet och årlig energikostnad skulle bli 297 000 SEK.

5.2.4 Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin

Anslutningsavgiften för fjärrvärme har antagits vara densamma som för det rena fjärrvärme- och fjärrkylsystemet om detta kompletteras med en kylmaskin (636 000 SEK). Effektskillnaden blir relativt liten (54 kW kyla och 71 kW värme), så det bör inte göra någon större skillnad. Investeringskostnaden för kylmaskinen har beräknats på samma sätt som för luftvärmepumpen, till 270 000 SEK. Underhållskostnaden för kylmaskinen har beräknats till 8 000 SEK per år.

Energipris för fjärrvärme respektive fjärrkyla har beräknats på samma sätt som för det rena fjärrvärme- och fjärrkylsystemet, och maxeffekterna har minskats med kylmaskinens effekt. Årlig energi- och effektkostnad för fjärrvärme skulle bli 220 000 SEK och för fjärrkyla 109 000 SEK. Typkundsgruppen för elpris blir även här ”Id” (Tabell 56) och årlig elkostnad har beräknats till 118 000 SEK.

5.2.5 Jämförelse

Tabell 57 sammanställer kostnader för Stampgatans alternativa systemlösningar. Lägst årlig kostnad med givna antaganden skulle det nuvarande fjärrvärme- och fjärrkylsystemet kompletterat med en kylmaskin ha. Högst skulle kostnaden vara för det antagna bergvärmesystemet.

Investeringskostnaderna är högre för värmepumpssystem medan de årliga energikostnaderna är lägre jämfört med fjärrvärme och fjärrkyla. Med ökad kalkylränta eller minskad avbetalningstid skulle alternativen med värmepump ha högre årlig kostnad.

Tabell 57. Kostnader för de alternativa systemlösningarna på Stampgatan.

	Fjärrvärme och fjärrkyla	Bergvärme	Luftvärmepump	Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin
Investering [SEK]	636 000	8 610 000	2 900 000	906 000
Årlig investeringskostnad [SEK]	51 000	694 000	234 000	73 000
Årlig underhållskostnad* [SEK]	0	172 000	90 000	8 000
Årlig energikostnad [SEK]	613 000	291 000	416 000	494000
Årlig totalkostnad [SEK]	664 000	1 157 000	740 000	575 000

*För fjärrvärme och fjärrkyla ingår underhåll i den löpande energi- och effekttaxan.

5.2.6 Parametervariationer

I beräkningarna har parametrar med dagens värden använts. Dessa parametrar har naturligtvis både en geografisk och tidsmässig variation. För att få någon uppfattning om variationens betydelse har en känslighetsanalys gjorts för de här specifika fallen. I känslighetsanalys är index för FV+FK satt till 100. Elpriset varierar både med efterfrågan i förhållande till tillgång och politiska styrmedel så som skatter. Nedan listas alternativa totala årskostnader med 10, 20 och 30 % högre elpriser. Någon påverkan på FV+FK antas inte även om en viss påverkan kommer att finnas.

Tabell 58. Parametervariation med avseende på elpriset

Elpris	FV+FK	Bergvärme	Luftvp	FV+FK +kylmaskin
Beräkning	100	174	111	87
+10%	100	179	118	89
+20%	100	183	124	92
+30%	100	187	130	94

En parameter som kan diskuteras är hur avskrivningstiderna skall se ut för olika alternativ i förhållande till servicekostnaden. I beräkningen är 6% av installationskostnaden ansatt per år för service. I detta ingår då även återinvestering av rörliga delar under 30 årsperioden. Halva serviceavsättningen är tänkt som sparande till en ny investering under investeringsperioden. En annan metod är att sänka återbetalningstiden för rörliga delar till 15 år och samtidigt minska serviceavsättningen till hälften. Detta innebär att efter 15 år

kommer en ny investering med 15 års avskrivning. Observera här att FV+FK inte ändras eftersom service och återinvestering ingår i investering och årlig fakturering.

Tabell 59. Parametervariation med avseende på avskrivningstiden

	FV+FK	Bergvärme	Luftvp	FV+FK +kylmaskin
Beräkning	100	174	111	87
Ändrad avskrivningstid	100	169	108	87

Hur inverkar en högre årlig kostnad för FV+FK?
Se på 10 och 30% ökning med i övrigt lika förhållanden.

Tabell 60. Parametervariation med avseende på FV+FK kostnaden

Beräkning	Årlig faktura +10%	Årlig faktura +30%
100	109	128

5.3 Handelshögskolan

5.3.1 Fjärrvärme

Handelshögskolan har fjärrvärme med dimensionerande effekt på 1200 kW (som numera används som spets för luftvärmepump). Ledningslängden är 47 m utomhus och 17 m inomhus. Kostnaden för en sådan anslutning är 730 000 SEK (Lie, 2008).

Löpande kostnader har beräknats från energiförbrukning enligt Tabell 17 och maximal dygnsmedeleffekt är 1100 kW (Olson, 2008). Fakturering av de årliga kostnaderna är inte baserad på installerad effekt.

5.3.2 Luftvärmepump med fjärrvärmespets

Investeringskostnad för luftvärmepump med tillbehör har uppskattats utifrån angiven kyl-effekt 360 kW och samma antagande om pris per effektenhet som för Stampgatan ovan (5000 SEK/kW) till 1 800 000 SEK. Underhållskostnad för värmepumpssystemet har beräknats till 54 000 SEK.

Lokalens totala årliga elförbrukning med den här systemlösningen (befintlig) är 3 200 MWh (Olson, 2008). Typkundgruppen den tillhör är då "If", såvida maxeffekten är mindre än 2 500 kW (Tabell 56), vilket den kan antas vara rimligt (jämför med systemet med elspets nedan som skulle ha den största eleffekten). Årlig kostnad för el till värmepumpssystemet har beräknats till 380 000 SEK.

Samma fjärrvärmecentral används som innan luftvärmepumpen installerades och samma dimensionerande effekt har antagits behövas (se kapitel 3.3.2). Anslutningskostnaden är alltså samma som ovan. Behov av fjärrvärme framgår av Tabell 20 och maximal dygnsmedeleffekt är 700 kW. Tillsammans ger det en årlig fjärrvärmekostnad på 574 000 SEK.

5.3.3 Luftvärmepump med elspets

Investeringskostnad för värmepump är samma om den kompletteras med elpanna som om den kompletteras med fjärrvärme enligt ovan. Kostnaden för en elpanna med samma

effekt som befintlig fjärrvärmecentral skulle vara c:a 450 000 SEK (Värmebaronen, 2009; Ernstsson, 2009).

Lokalens totala årliga elförbrukning skulle bli 3 600 MWh med el istället för fjärrvärme. Maximal effekt har uppskattats utifrån fjärrvärmecentralens dimensionerande effekt och antagandet att nuvarande total elenergi, utöver den del som används för värmepumpen, inte har några extrema effekttoppar, och är då mindre än gränsen på 2 500 kW för typkundsgrupp ”If”. Årlig elkostnad för systemet luftvärmepump med elspets skulle alltså bli 714 000 SEK.

5.3.4 Jämförelse

I Tabell 61 sammanställs kostnaderna för de studerade systemlösningarna för Handelshögskolan. Högst årlig kostnad skulle ett rent fjärrvärmesystem ha enligt beräkningarna. Lägst skulle kostnaden vara för luftvärmepump med elspets, bara drygt 70% av det dyraste systemet.

Jämförs den löpande kostnaden för uppvärmning ser man att fjärrvärmespetsen kostar mer än elspetsen. Det beror på att effektdelen av fjärrvärmesystemet blir stor, 401 000 SEK, eftersom maximalt effekttuttag är högt (när det är som kallast och luftvärmepumpen är mindre effektiv) trots att energimängden är relativt liten.

Om även kyla skulle inkluderas i studien, skulle luftvärmepumpen i viss mån kunna användas även för detta utan att öka kostnaden. Dock skulle värmepumpen behöva kompletteras med ytterligare kyla. I dagsläget används kylmaskiner under sommaren.

Tabell 61. Kostnader för de alternativa systemlösningarna på Handelshögskolan.

	Fjärrvärme	Luftvärmepump med fjärrvärmespets	Luftvärmepump med elspets
Investering [SEK]	730 000	2 530 000	2 250 000
Årlig investeringskostnad [SEK]	59 000	204 000	181 000
Årlig underhållskostnad* [SEK]	0	54 000	81 000
Årlig energikostnad [SEK]	1 323 000	954 000	714 000
Årlig totalkostnad [SEK]	1 382 000	1 212 000	976 000

*För fjärrvärme ingår underhåll i den löpande energi- och effekttaxan.

5.3.5 Parametervariationer

I beräkningarna har parametrar med dagens värden använts. Dessa parametrar har naturligtvis både en geografisk och tidsmässig variation. För att få en uppfattning om variationens betydelse kan man se på en känslighetsanalys för de här specifika fallen. I analysen är index för FV satt till 100 med de här angivna värdena. Elpriset varierar både med efterfrågan i förhållande till tillgång och med politisk styrmedel så som skatter. Nedan listas alternativa totala årskostnader med 10 och 30 % högre elpriser. Någon påverkan på FV ansättes inte även om en viss påverkan kommer att kunna erhållas.

Tabell 62. Parametervariation med avseende på elpriset

Elpris	Fjärrvärme	Luftvärmepump Med fjärrvärmespets	Luftvärmepump Med elspets
Beräkning	100	88	71
+10%	100	90	76
+30%	100	96	86

Det finns skäl att tro att anslutningen till fjärrvärme gjordes med för stor ansluten effekt, eftersom där står en överdimensionerad klimatkylanläggning. Den årliga fakturan bestäms däremot efter verkliga effekttuttar, varför denna kan antagas vara ok.

Tabell 63. Parametervariation med avseende på ansluten effekt

Ansluten effekt	FV
Beräkning	100
- 20 %	99
-40 %	98

Se på annan avskrivning. I beräkningen har använts 30 år för hela investeringen. Ändra detta till 15 år på delar och med en lägre servicekostnad som ej innehåller utbyte av rörliga delar. Efter 15 år göres en ny investering av dessa.

Tabell 64. Parametervariation med avseende på avskrivningstiden

Avskrivning	Fjärrvärme	Luftvärmepump Med fjärrvärmespets	Luftvärmepump Med elspets
Beräkning	100	88	71
15 år på rörliga delar	100	92	73

5.4 Etage

5.4.1 Fjärrvärme och fjärrkyla

Uppgifter om Etage har använts som om köpcentret skulle ligga i Göteborg, inom område där fjärrvärme och fjärrkyla finns tillgängligt. För ekonomisk beräkning har ett antagande gjort att fjärrvärmeledning på 100 m behövs. Dimensionerande värmeeffekt är 500 kW och kostnaden per meter ledning är då 5 400 SEK (Lie, 2008). Kostnad för fjärrvärme-central är 320 000 SEK.

Löpande kostnader för fjärrvärme och fjärrkyla har beräknats utifrån simulerade energibehov (månadsvis i Tabell 22) och dygnsmedeleffekter. Medelvärdet av de tre högsta dygnsmedeleffekterna för fjärrvärme är 186 kW och för fjärrkyla 425 kW.

5.4.2 Bergvärme

Investeringskostnad för bergvärmesystem har beräknats utifrån värmepumpens dimensionerande värmeeffekt, 506 kW, och kylmaskinens dimensionerande kyleffekt, 743 kW (7 590 000 + 1 858 000 SEK). Maskinkostnaden har uppskattats på samma sätt som för Stampgatan, till en tredjedel av bergvärmesystemets och halva kylmaskinens kostnad, och den årliga underhållskostnaden som 6 % av denna.

För systemlösningen bergvärme används årligen 262 MWh el. Övrig elförbrukning på Etage är c:a 3 800 MWh, vilket gör att lokalen hamnar i typkundsgrupp ”If”.

5.4.3 Jämförelse

I Tabell 65 har kostnaderna för de båda systemlösningarna som studerats för Etage sammanställts. Systemet med fjärrvärme och fjärrkyla har enligt beräkningarna en betydligt lägre årlig totalkostnad. Anledningen är att bergvärmesystemet har en hög investeringskostnad som resulterar i en annuitet på 761 000 SEK, alltså bara den högre än fjärrvärme-/fjärrkylsystemets totala årskostnad.

Tabell 65. Kostnader för de alternativa systemlösningarna på Etage.

	Fjärrvärme och fjärrkyla	Bergvärme
Investering [SEK]	860 000	9 448 000
Årlig investeringskostnad [SEK]	69 000	761 000
Årlig underhållskostnad* [SEK]	0	208 000
Årlig energikostnad [SEK]	570 000	219 000
Årlig totalkostnad [SEK]	639 000	1 188 000

*För fjärrvärme och fjärrkyla ingår underhåll i den löpande energi- och effekttaxan.

5.4.4 Parametervariationer

I beräkningarna har parametrar med dagens värden använts. Dessa parametrar har naturligtvis både en geografisk och tidsmässig variation. För att få någon uppfattning om variationens betydelse kan man se på en känslighetsanalys i de här specifika fallen. I känslighetsanalysen är index för FV+FK satt till 100 med de här angivna värdena. Elpriset varierar både med efterfrågan i förhållande till tillgång och med politiskstyrmedel så som skatter.

Nedan listas alternativa totala årskostnader med 10 och 30 % högre elpriser. Någon påverkan på FV+FK ansättes inte även om en viss påverkan kommer att kunna erhållas. Den ändring som införts avseende avskrivning innebär att rörliga delar skrivs av på 15 år och hålet för bergvärme på 50 år. Service kostnaden sänks från 6 % till 3 % och efter 15 år utföres en ny investering med 15 års livstid.

Tabell 66. Parametervariation med avseende på elpris och avskrivningstid

	FV+FK	Bergvärme
Beräkning	100	186
Elpris + 10 %	100	189
Elpris + 30 %	100	196
Ändrad avskrivning	100	181

5.5 Academicum och Anatomihöghuset

5.5.1 Fjärrvärme och fjärrkyla

Investeringskostnad för fjärrvärmecentral med dimensionerande effekt 235 kW och uppskattningsvis 120 m ledning inomhus är 480 000 SEK (Lie, 2008).

Löpande kostnader för energi i form av fjärrvärme och fjärrkyla har beräknats på samma sätt som för övriga lokaler, med uppmätta energibehov månadsvis enligt Tabell 28. Dygnsmedeleffekter finns inte uppmätta för Academicum och Anatomihöghuset. Medelvärde av de tre högsta dygnsmedeleffekterna har istället uppskattats som 40 % av dimensionerande effekt, utifrån jämförelse med Stampgatan och Etage. Prisgrundande effekter blev då 94 kW fjärrvärme respektive 67 kW fjärrkyla.

5.5.2 Bergvärme med fjärrvärmespets

Värmepumpens dimensionerande värmeeffekt är 105 kW och investeringskostnaden för systemet har uppskattats till 1 575 000 SEK, varav en tredjedel är maskinkostnad. Underhållskostnaden har uppskattats till 32 000 SEK/år, vilket motsvarar 6 % av investeringen i maskiner. För värmespets finns en fjärrvärmecentral med dimensionerande effekt 130 kW, vilken tillsammans med 120 m inomhusledning skulle kosta 390 000 SEK (Lie, 2006).

Academicum och Anatomihöghuset beräknas hamna i typkundsgrupp ”Id” för elförbrukning. Årlig kostnad för bergvärmesystemets elförbrukning har därmed beräknats till 122 000 SEK.

Som ovan har medelvärdet av de tre högsta dygnsmedeleffekterna för fjärrvärme uppskattats som 40 % av fjärrvärmecentralens dimensionerande effekt, till 52 kW. Kostnaden för fjärrvärmeenergi har beräknats med värden från Tabell 30. Löpande årskostnad för fjärrvärmespets skulle med dessa data bli 44 000 SEK.

5.5.3 Bergvärme med elspets

Kostnader för bergvärme med elspets har beräknats som ovan, men med elpanna istället för fjärrvärmecentral, vilken uppskattats kosta 60 000 SEK (Värmebaronen, 2009; Ernstsson, 2009). Även här har underhållskostnaden beräknats som 6 % per år av investeringen i maskiner. Lokalen skulle hamna i samma typkundsgrupp för elförbrukning som ovan och kostnaden för bergvärmesystemets och elpannans elförbrukning har beräknats till 131 000 SEK.

5.5.4 Jämförelse

Kostnaderna enligt ovanstående beräkningar har sammanställts i Tabell 67. Lägst har den årliga kostnaden beräknats vara för fjärrvärme och fjärrkyla, men det skiljer inte mycket jämfört med bergvärme med elspets. Dyrast skulle enligt beräkningarna det existerande systemet bergvärme med fjärrvärmespets vara.

Tabell 67. Kostnader för de alternativa systemlösningarna på Academicum och Anatomihögskolan.

	Fjärrvärme och fjärrkyla	Bergvärme med fjärrvärmespets	Bergvärme med elspets
Investering [SEK]	480 000	1 965 000	1 635 000
Årlig investeringskostnad [SEK]	39 000	158 000	132 000
Årlig underhållskostnad* [SEK]	0	32 000	35 000
Årlig energikostnad [SEK]	249 000	166 000	131 000
Årlig totalkostnad [SEK]	288 000	356 000	298 000

*För fjärrvärme och fjärrkyla ingår underhåll i den löpande energi- och effekttaxan.

5.5.5 Parametervariation

I beräkningarna har parametrar med dagens värden använts. Dessa parametrar har naturligtvis både en geografisk och tidsmässig variation. För att få någon uppfattning om variationens betydelse kan man se på en känslighetsanalys i de här specifika fallen. I känslighetsanalysen är index för FV satt till 100. Elpriset varierar både med efterfrågan i förhållande till tillgång och med politiska styrmedel så som skatter. Nedan listas alternativa totala årskostnader med 10, 30 % högre elpriser. Någon påverkan på FV ansättes inte även om en viss påverkan kommer att finnas.

Tabell 68. Parametervariation med avseende på elpriset

Elpris	FV+FK	Bergvärme + FV	Bergvärme + elpanna
Beräkning	100	124	104
+ 10 %	100	128	108
+ 30 %	100	137	117

I beräkningarna har 30 års avskrivning använts för all utrustning. Samtidigt har 6% på en del av maskininvesteringarna använts som årlig servicekostnad. Här visas nu på två andra alternativa beräkningar.

Allt utom fjärrvärmeinstallationen sättes till 15 år med 3% av hela den investeringen som servicekostnad. Endast en del av investeringen sättes till 15 års avskrivning och på denna ansättes 3% servicekostnad.

Tabell 69. Parametervariation med avseende på avskrivningstakten för utrustning

	FV+FK	Bergvärme + FV	Bergvärme + elpanna
Beräkning	100	124	104
Kort livslängd	100	145	125
Delad livslängd	100	124	103

6 Sammanställning av resultat

I det här kapitlet har resultaten från en del av analyserna sammanställts i tabellform och de alternativa systemlösningarna rangordnas, där 1 är bäst och 4 är sämst. När det gäller miljöanalyserna har endast växthuseffekten tagits med i tabellerna för att göra det mer överskådligt. Fullständiga resultat med siffervärden framgår i kapitel 4 och 5. Där flera alternativ har ungefär samma värde har de getts samma rangordning.

Tabell 70. Rangordning av studerade systemlösningar på Stampgatan enligt några av analyserna.

Parameter	Produktionsmix	Fjärrvärme och fjärrkyla	Bergvärme	Luftvärmepump	Fjärrvärme och fjärrkyla med kylmaskin
Total primärenergi	Marginal	1	3	4	1
	Genomsnitt	1	3	4	1
Icke förnybar primärenergi	Marginal	1	3	4	2
	Genomsnitt	1	1	4	1
Växthuseffekt	Marginal	1	3	4	2
	Genomsnitt	4	1	3	2
Årlig totalkostnad		2	4	3	1

Tabell 71. Rangordning av studerade systemlösningar på Handelshögskolan enligt några av analyserna.

Parameter	Produktionsmix	Fjärrvärme	Luftvärmepump med fjärrvärmespets	Luftvärmepump med elspets
Total primärenergi	Marginal	2	1	3
	Genomsnitt	2	1	3
Icke förnybar primärenergi	Marginal	1	2	3
	Genomsnitt	2	1	3
Växthuseffekt	Marginal	1	2	3
	Genomsnitt	3	1	2
Årlig totalkostnad		3	2	1

Tabell 72. Rangordning av studerade systemlösningar på Etage enligt några av analyserna.

Parameter	Produktionsmix	Fjärrvärme och fjärrkyla	Bergvärme
Total primärenergi	Marginal	1	2
	Genomsnitt	1	2
Icke förnybar primärenergi	Marginal	1	2
	Genomsnitt	1	2
Växthuseffekt	Marginal	1	2
	Genomsnitt	1	1
Årlig totalkostnad		1	2

Tabell 73. Rangordning av studerade systemlösningar på Academicum och Anatomihöghuset enligt några av analyserna.

Parameter	Produktionsmix	Fjärrvärme och fjärrkyla	Bergvärme med fjärrvärmespets	Bergvärme med elspets
Total primärenergi	Marginal	1	2	3
	Genomsnitt	1	2	3
Icke förnybar primärenergi	Marginal	1	2	3
	Genomsnitt	1	1	1
Växthuseffekt	Marginal	1	2	3
	Genomsnitt	3	1	1
Årlig totalkostnad		1	3	2

7 Diskussion

Lokalers utformning och verksamhet avgör deras behov av uppvärmning och kylning och hur detta varierar över året. Beroende på hur dessa behov tillgodoses ser energibehov, miljöpåverkan och ekonomi olika ut. Syftet med det här projektet är att jämföra fjärrvärme och fjärrkyla med värmepumpande teknik ur dessa tre perspektiv och skapa en uppfattning om för vilka typer av lokaler det är lämpligast att välja den ena eller den andra tekniken.

7.1 Data för energibehov

Resultatet visar att värme- och kylbehov skiljer sig åt mellan olika lokaltyper och att det finns ett behov av att få fram mer tillförlitliga data på de verkliga kyl- och värmebehoven. Det bästa vore om man kunde använda data på uppmätt behov timme för timme (eller ännu tätare) under ett år, men projektet visar tyvärr att kompletta och tillförlitliga data sällan finns att tillgå.

För lokaler som i dagsläget använder fjärrvärme och fjärrkyla lagrar Göteborg Energi timdata för levererad energi. För lokaler med värmepumpar registreras ofta bara värmepumpens elanvändning och eventuellt värmeenergi. Kylenergi saknas ofta och för att analysera värmepumpssystemen skulle mätningar även behöva omfatta el till hjälpsystem som pumpar och kylmedelskylare. De lokaler där vi har fått fram mätdata för kyla från värmepumpar representerar nya lokaler eller lokaler där omfattande upprustning av klimatsystemet har gjorts. Inte heller där har det funnits fungerande system för att lagra timdata, även om det finns installerat på t.ex. Academicum och förhoppningsvis har börjat fungera nu (Abel, 2008).

Ingen mätning av kyla har gjorts på Handelshögskolan och den uppskattning som ges av kylmaskinens elanvändning anses som realistiskt låg och säger dessutom ingenting om kylbehovet under vinterhalvåret. Därför har kylan inte inkluderats i analyserna. Det är dock viktigt att hålla i minnet att värmepumpen som har analyserats där också i viss mån bidrar med kyla under vinterhalvåret, medan byte av värmesystem till enbart fjärrvärme inte skulle ge någon kylning och troligen skulle kräva separat kylning. Kylmaskinen fanns innan luftvärmepumpen installerades.

För köpcentret Etage har simulerade data för värme- och kylbehov använts. Det simulerade värmebehovet under ett år är lägre än det uppmätta, men i referensgruppen har det resonerats om att simulerade värdena ofta representerar den nivå man skulle kunna komma ner till om systemen är väl injusterade.

Skillnaden mellan ”producerad” kylenergi och frikyla bör noteras. Vid simulering beräknas ofta ett totalt kylenergiebehov för lokalen. Vid tillräckligt kall omgivning tillföras undertempererad luft som representerar en väsentlig del av årets kylenergiebehov. Denna skillnad mellan brutto och netto energibehov är väsentlig vid dimensionering av kylproduktion eftersom effektbehovet är detsamma i brutto och nettofallen.

En erfarenhet genom hela projektet är avsaknaden av data eller att från objekt erhållna data vid en närmare analys visar sig vara inkonsistenta. Hur användningen av olika typer av data har påverkat projektet är svårt att se igenom.

Verifierade datamodeller levererar ”riktiga” data i den meningen att ett givet objekt skulle kunna uppföra sig på det sättet. Avvikelse verklighet - modell kan sedan finnas dels på grund av ”fel” i indata dels på grund av icke optimal drift t ex samtidig värmning och kylning i samma utrymme. Även verklighetens ofullkomlighet t ex steg i apparatstorlekar och förenklingar i styrsystem ger lägre effektivitet. Här finns även en variation

beroende på noggrannhet, möjlighet och tid för injusteringar vid driftsättningen. Ytterligare en nivå av energidata kan erhållas vid dimensioneringsberäkningar som ofta innehåller en marginal för att undvika garantidiskussioner. För en leverantör av kyla och värme måste sedan skillnaden mellan brutto och netto behov vara klarlagd. Brutto är hela lokalens kylbehov medan netto är det som återstår när alla former av ”fri” kyla har räknats bort. De data som erhålles från en energileverantör är nettobehovet. Ett annat sätt att uttrycka synen på olikheter i datakällor är att data från ett objekt som timme för timme beskriver det verkliga händelseförloppet skulle kunna vara långt från någon optimal drift av samma objekt. En anslutning till fjärrvärme och samtidig eller senare korrektion av drift och styrning av de tekniska systemen skulle kunna ge stora avvikelser i försäljningsomfattning.

7.2 Data för systemlösningar

Referensgruppen har vid flera tillfällen diskuterat huruvida jämförelse mellan uppmätta data och beräknade data som anges av tillverkare är rättvist. Det kan finnas en risk att t.ex. prestanda för en värmepump anges till bättre värden än vad den kan leverera i verkligheten, speciellt efter några års användande. Det skulle förstås vara till nackdel för fjärrvärme- och fjärrkylsystem om det för dessa finns uppmätta värden. Tillgången på uppmätta och tillförlitliga data för värmepumpssystem är som nämnt ovan generellt sett dålig, så tillverkardata är i flera fall det bästa vi kunnat utgå från. Vi har också resonerat att dessa data inte bör vara allt för långt från sanningen, då de är allmänt accepterade på marknaden.

En jämförelse mellan beräknade årsfaktorer, SPF, för de aktuella bergvärmesystemen har gjorts med verkliga system och sammanställts i Tabell 74. SPF för värme och kyla hos bergvärmesystemet på Academicum och Anatomihöghuset har mätts upp till 3,3 inklusive el till pumpar men exklusive spetsvärme. För Astronomihuset i Lund är motsvarande siffra 4,8 (normalår) enligt presentation av Göran Hellström. Det skiljer mer mellan de båda systemen där mätningar gjorts än jämfört med de båda systemen som har räknats fram. SPF för de beräknade systemen ligger mellan värdena för de uppmätta. För bergvärmesystemet på Stampgatan har SPF beräknats till 4,1 och för systemet på Etage inklusive kylmaskin till 3,6. Behoven av kyla i förhållande till behoven av värme skiljer mellan systemen, vilket bör påverka SPF.

Tabell 74. Jämförelse av bergvärmesystem.

	Stampgatan	Etage*	Academicum och Anatomihöghuset	Astronomihuset
	Beräknat	Beräknat	Uppmätt	Uppmätt
Värme / kyla från värmepumpssystem	0,89	0,37	3,7	2,5
Andel spetsvärme av totalt värmebehov	0	0	3 %	5 %
SPF borrhål och värmepump	4,1	-	3,3	4,8
SPF totalt (inklusive spetsvärme)	4,1	3,6	3,1	4,0

* Inklusive kylmaskin

För det verkliga luftvärmepumpssystemet på Handelshögskolan är SPF för värme inklusive el till pumpar och kylmedelskylare 3,3 eller 2,2 inklusive spetsvärme (21 %).

För luftvärmepump på Stampgatan har SPF för enbart värme beräknats till 1,3 exklusive spetsvärme (1 %) och i stort sett samma inklusive spetsvärme, eller 2,9 för både värme och kyla.

En osäkerhetsfaktor vid värmepumpsberäkningar är temperaturnivån i borrhålslager. För Stampgatan beräknades dimensionerande värmefall vid en genomsnittlig borrhåls-temperatur på 8 °C (se kapitel 3.2.2). För att få en uppfattning om känsligheten gjordes också en beräkning med temperaturen 6 °C. COP sänktes då från 3,28 till 3,13 vid det dimensionerande fallet, alltså 5 %. Energibehovet skulle med en sådan förändring öka ungefär 5 % och därmed även på miljöpåverkan och energikostnad. Rangordningen mellan de alternativa systemlösningarna skulle i detta fall inte ändras.

Läckage av köldmedium från värmepumpar är en osäkerhetsfaktor för belastning på växthuseffekten. För de antaganden som gjorts utgör det någon eller ett par procent av den totala belastningen på växthuseffekten och en liten förändring skulle inte ha någon större effekt på resultatet. Däremot skulle läckaget i enstaka fall kunna vara betydligt större, som t.ex. i jämförelsen mellan nya och gamla värmepumpar som hänvisades till i kapitel 4.1.8.

7.3 Energi- och miljöanalyser

Val av produktionsmixer för el, fjärrvärme och fjärrkyla har stor betydelse för de olika systemlösningarnas primärenergibehov och miljöbelastning. Perspektiven med marginalproduktion kontra genomsnittlig produktion har gett helt olika resultat. Vid marginalproducerad energi blir miljöbelastningen för lösningar med fjärrvärme och fjärrkyla lägre än för lösningar med värmepump. Med genomsnittliga mixer ger värmepump en lägre miljöbelastning

Resultaten är specifika för aktuell plats. Fjärrvärme och fjärrkyla i andra städer än Göteborg har andra sammansättningar av produktionsmetoder. I en rapport om användning av fjärrkyla för att kyla kylmaskinernas kondensorer i livsmedelsbutiker har miljöbelastning för samma typ av systemlösningar analyserats för tre olika städer med stor skillnad i resultat (Haglund Stignor, 2003). Resultatet visar att fjärrkylans konkurrenskraft i ett miljöperspektiv är helt beroende av hur fjärrkylan produceras.

Förutom marginalproduktion och genomsnittliga produktionsmixer, vilka analyserats i det här projektet, skulle även produktionsspecifierad förnybar el och fjärrvärme kunna studeras. I ett yttrande om miljöpåverkan från fjärrvärme jämfört med bergvärme angående ett fall i Värnamo kommun där Miljö- och stadsbyggnadsnämnden försökte hindra en fastighetsägare att installera bergvärme, skriver Energimyndigheten bl.a. följanden:

En bergvärmepump som drivs med produktionsspecifierad förnybar elektricitet kan ur miljöhänseende vara bättre än fjärrvärme som till stor del är fossilbaserad. På samma sätt kan fjärrvärme med kontrakterad förnybar värme vara bättre ur miljöhänseende än bergvärme utan kontrakterad förnybar elektricitet. (Persson, 2008)

För allokering mellan el och fjärrvärme vid samtida produktion i kraftvärmeverk har alternativproduktionsmetoden använts. Om primärenergimetoden istället använts, vilket rekommenderas av energieffektiviseringsutredningen (SOU 2008:25), skulle systemlösningarna med fjärrvärme ha fått lägre miljöbelastning. Miljöbelastningen allokeras enligt den metoden i första hand till elproduktionen. Vid användande av alternativproduktionsmetoden fördelas miljöbelastningen från kraftvärmeverk i proportion till mängden bränsle som skulle gått åt om produktionen skedde i separata kraft- respektive

värmeverk. Med primärenergimetoden värderas el som om den skulle ha producerats på marginalen i separata kondensverk. Värmen värderas då utifrån hur mycket mer bränsle som används jämfört med om samma mängd el skulle ha producerats separat (men sätts till 0 om beräkningen ger negativt värde). (SOU 2008:25)

Skillnaden kommer framför allt in för naturgasförbränning i kraftvärmeverk för fjärrvärmemixen. Andelen av den produktionsmetoden i Göteborg Energis årliga fjärrvärmemix är 29 % och den står för ca 90 % av belastningen på växthuseffekten enligt beräkningen i Effem (när alternativproduktionsmetoden väljes). Det skall därför framhållas att med ett dynamiskt/marginal synsätt och allokering enligt primärenergimetoden kommer nästan hela fjärrvärmens miljöbelastning att försvinna.

En stor del av fjärrvärmen i Göteborg produceras med spillvärme, vilket ger lågt primärenergibehov och låg miljöbelastning. En del av det som klassas som spillvärme härrör från avfallsförbränning i kraftvärmeverk och skulle kunna ges högre primärenergi och miljöbelastning genom att allokera mellan el och fjärrvärme, beroende på hur avfall värderas.

7.4 Ekonomiska analyser

Prissättning för fjärrvärme och fjärrkyla skiljer mellan olika nät och därmed gäller resultaten bara för Göteborg. Som för miljöbelastning har även kostnad i tre olika städer jämförts av Haglund Stignor (2003). Även denna delen av analysen visar att det är viktigt att genomföra den här typen av analys på lokalnivå så länge det inte finns en harmoniserad modell för prissättning och även i detta fall slår val av produktionsmetod igenom i jämförelserna.

Även kostnad för borrhålslager skiljer beroende på plats på grund av olika berggrunder. Det kan t.ex. kosta 2000-3000 SEK/kW värme mer i Lund än i Göteborg (Abel, 2009).

Resultaten kan förändras om nya politiska styrmedel införs för att gynna någon systemlösning. Energipriser kan också variera kraftigt med produktionsmetoder och konjunkturer.

En väsentlig förändring som kan förväntas är effektivisering av befintliga tekniska system i byggnader. Effektiviseringen kommer att minska energibehov, om även en minskning av effektbehov kan förutses är mer osäkert. Storleken av kommande effektiviseringar är från det här projektet inte möjligt att uppskatta.

Hur inverkan av minskad energiförsäljning påverkar energibolagets kostnadstäckning ligger utanför det här projektet. En ökning av effektavgifter bör ge ökning av åtgärder för att sänka netto effektbehov. Sådana möjliga åtgärder kan vara

- En återgång till/ ökning av att använda återluft vid kalla och varma dagar
- Installation av utrustning att kapa effekttoppar som elpannor och chillers Se t ex jämförelsen för fjärrvärme spets och spets med elpanna för Handelshögskolan.
- Införande av större toleranser i styrningen av innetemperaturer.
- Mer värmeåtervinning från frånluft och andra interna värmekällor

Elpriset varierar beroende på tillgång och politisk vilja att använda skatter och avgifter som styrmedel. Sedan hösten 2008 har priset på Nordpol sjunkit troligen på grund av konjunktursvackan. Olika bedömningar inför framtiden existerar. ENEFF utredningen siade om i stort oförändrat pris fram till 2020 andra källor spår ökning.

Inköpspris och verklig servicekostnad för maskinutrustning varierar både med tillgång och kvalitet. Värmepumpar, chillers, pumpar och fläktar kan samtliga förväntas få en höjning av verkningsgrader genom EU-arbetet med Ecodesign. Hur den förändringen påverkar inköspriser är inte helt enkelt att förutse. Köldmediebyten som en följd av skärpningar i miljölagstiftningen kan förväntas öka priserna på speciellt klimat kyl-aggregat medan en ökad införsel från länder utanför EU skulle kunna minska priserna.. Ecodesign kommer att minska den interna värmelasten i många byggnader genom effektivare apparater. Detta påverkar både värme och kylbehov. Behovet av värmeeffekt kan förväntas öka i befintliga klimatskal medan motsvarande behov av kyleffekt minskar med i övrigt oförändrade förhållanden.

7.5 Övrigt

Faktorer som inte syns i analyserna, men som har betydelse för val av systemlösning, är utrymme som krävs för borrhålslager och även för luftvärmepumpar och kylmedelskylare, samt buller från luftaggregat. Ansvar för drift och skötsel skiljer också mellan fjärrvärme/fjärrkyla och värmepumpssystem.

8 Slutsatser

- Inte i något av de undersökta lokalerna finns det verkliga energibehovet för lokalen att tillgå i form av uppmätta timdata under ett år. I ett fall finns levererade energimängder för fjärrvärme och fjärrkyla som timdata. Hur dessa skiljer sig från verkligt behov är inte möjligt att bestämma. Det verkliga kylbehovet kan delvis uppfyllas av undertempererad tilluft när utemperaturen är tillräckligt låg. Detta innebär att jämförelsen med andra objekt blir svår att genomföra.
- Primärenergibehov och miljöbelastning för systemet är starkt beroende av produktionsmix för el, fjärrvärme och fjärrkyla. Mixen beror av de aktuella nät som studeras såväl som synsätt – marginal, genomsnittlig mix eller produktions-specificerad mix. Kostnaderna varierar beroende av aktuella fjärrvärme- och fjärrkylnät. Resultaten gäller alltså endast för Göteborg.
- Fjärrvärme och fjärrkyla är den energilösning som i de flesta av de undersökta fallen ger lägst förbrukning av primärenergi. För lokalen på Stampgatan, som har ett stort behov av samtida värme och kyla, är primärenergibehovet ungefär lika stort för det system där fjärrvärme och fjärrkyla kompletteras med en kylmaskin som för rent fjärrvärme- och fjärrkylsystem. För Handelshögskolan, där endast värme studerats, är det dock en systemlösningen med luftvärmepump med fjärrvärmespets som kräver minst primärenergi, förutom då det gäller icke förnybar primärenergi med marginalproduktion.
- Helt avgörande för resultatet av miljöbedömningen är hur och var den betraktade energin antages vara producerad, vald mix, och för kraftvärmeverk fördelningen, allokering, av bränslets miljöpåverkan mellan el och värme.
- Med Göteborg Energis marginalmix av fjärrvärme och fjärrkyla och marginalet är fjärrvärme och fjärrkyla det alternativ som ger minst belastning på växthus-effekten för samtliga studerade lokaler.
- Med Göteborg Energis genomsnittliga fjärrvärme- och fjärrkylmixer och nordisk elmix ger fjärrvärme och fjärrkyla tvärtom den största belastningen på växthus-effekten, utom för Etage där de två studerade systemlösningarna fjärrvärme och fjärrkyla respektive bergvärme ger samma belastning, troligen p.g.a. ett stort behov av kyla i förhållande till värme, då fjärrkyla ger en relativt låg belastning. Den valda allokeringen av miljöbelastning vid samtidig produktion av el och värme är alternativproduktionsmetoden.
- Stort behov av kyla i förhållande till behovet av värme gynnar alternativet fjärrvärme och fjärrkyla i en kostnadsjämförelse då priset för fjärrkyla är lägre än för fjärrvärme. Är behovet av kyleffekt dessutom mycket större än behovet av värmeeffekt behöver ett värmepumpssystem antingen vara överdimensionerat för värme eller kompletteras med extra kylmaskin, vilket gör det till ett dyrare alternativ. Det studerade köpcentret Etage har ett stort kylbehov, både vad gäller årligt energibehov och dimensionerande effekt, och den beräknade årskostnaden är också betydligt lägre för fjärrvärme och fjärrkyla än för bergvärmesystemet.
- För kontorslokalen på Stampgatan, där värme- och kylbehov är ungefär lika stora, är fjärrvärme och fjärrkyla också ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ i jämförelse med bergvärme och ungefär likvärdigt med luftvärmepump. Fjärrvärme och fjärrkyla kompletterat med en kylmaskin skulle ge en något lägre årskostnad, beroende på att det nästan hela året finns en baslast av både värme och

kyla som gör att kylmaskinen kan användas på ett effektivt sätt. Att det finns ett så pass stort behov av kyla även vintertid är specifikt för ett vattenburet kylsystem.

- För Academicum och Anatomihöghuset har bergvärme med elspets den lägsta årskostnaden, men kostnaden skiljer inte mycket jämfört med fjärrvärme och fjärrkyla. Behovet av värme är här stort i förhållande till behovet av kyla och kostnaden för fjärrvärme är därmed hög.
- I de två fall där två värmepumpsalternativ har studerats, med el respektive fjärrvärme för värmespets, har alternativet med elspets visat sig mer kostnads-effektivt. Det beror på att kostnaden är hög för höga maximala fjärrvärmeeffekter och effekttaxan blir därmed en stor del av den totala fjärrvärmekostnaden.
- För att dra mer generella slutsatser skulle det behövas förbättrad statistik på energibehov i verkliga lokaler av olika typer med god tidsupplösning samt på prestanda för värmepumpssystem. Dessutom behöver dessa data ange fördelningen av andelen köpt energi och ”fri” energi.

9 Framtida arbete

Genomgående för de undersökta lokalerna är att det saknas data som visar verkligt energibehov speciellt för kylning. Den verkliga energiförbrukningen kan vara och är troligen större än den minsta möjliga förbrukningen. Skälen till detta kan vara många. För att rätt kunna bedöma lokalers möjliga energiförbrukning behövs kunskap om verkligt läge idag i förhållande till det minsta möjliga energiförbrukning med bibehållen önskad komfort. En sådan bedömning är av värde för energibolag för att bedöma möjliga förändringar i den befintliga efterfrågan av energi och effekt.

Befintlig och kommande legala Ecodesign krav kommer att minska den interna värmealstringen från belysning, fläktar och pumpar. I EPBD för både befintliga och nya byggnader i det redan föreslagna recast från nov 2008 och ecodesignkrav som även kommer att omfatta byggnadsmaterial "energy related products" kan en framtida förändring av energibehov för både värme, ventilation och kyla skönjas. Förändringen blir dock utsträckt i tiden och kommer att påverkas av hur implementering av dessa EU direktiv genomförs på nationell nivå.

För att ge ett underlag för bedömning av dagsläget bör i ett nytt projekt verkliga mätningar genomföras och jämföras med beräkningar. De tekniska orsakerna till skillnader mellan verklighet och simulering skall kunna definieras. Om det sedan är möjligt att verifiera bedömningen av avvikelser genom att eliminera dessa skulle en klar kedja för de olika nivåerna kunna påvisas.

En annan faktor som vore värd att belysa i kommande arbeten är icke tekniska hinder. Ett av dessa är ägares bedömning av besväret/risken/icke budgeterbar kostnad att själva driva egna kyl och värmeproducerande enheter.

Referenser

- Abel, E. (2008, 2009, personlig kommunikation) Akademiska Hus AB.
- AIACalc version 0901.02 (2009) AIA Assarums Industri AB
- Akademiska Hus (2004) Astronomihuset vid Lunds Universitet. Projektinformation. Kortrapport april 2005 serie Energi 02.
- Akademiska Hus (2008) Campusområden – Näckrosdammen och Handels.
<http://www.akademiskahus.se/index.php?id=453&strEstateAreaUID=got6&view=byggnader>
- Andersson, G.L. (2008, personlig kommunikation) Göteborg Energi AB.
- Bång, M. (2008, personlig kommunikation) Göteborg Energi AB.
- Bäck, E. (2008, personlig kommunikation) Data från Lejonet 2005-2007. Miljöförvaltningen Göteborgs stad.
- Carrier ECAT2 for Windows version 4.41 (2007) Carrier Corp.
- Comsel – Grasso Compressor Selection Software version 3.8.00 (2008) Grasso Products B.V.
- Effem (2008) Effektiv. <http://www.effektiv.org/miljobel/>
- Energistatistik för lokaler 2006 (2007) Statens Energimyndighet och SCB. EN 16 SM 0703. ISSN 1404-5869.
- EN 15603 (2008) Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings. European standard. CEN European committee for standardization.
- Ericsson, A. (2008, personlig kommunikation) Göteborg Energi AB
- Ernstsson, M. (2009, personlig kommunikation) Osby Parca
- Geamatic styr AB (2004) Ritningar och funktionsbeskrivningar av styrsystem för uppvärmning, kylning och ventilation. Kv Briggen 7, Köpcentrum Överby, Trollhättan.
- Göteborg Energi (2008) Nytt fjärrvärmeerbjudande 2009 och en ny prismodell för företagskunder.
- Haglund Stignor, C. (2003) Kylning av kylmaskiners kondensorer med fjärrkyla i livsmedelsbutiker. Svensk Fjärrvärme. FOU 2003:92. ISSN 1402-5191.
- Hellström, G. (2008, personlig kommunikation) Lunds Tekniska Högskola
- Jagemar, L. (2005) Mätning och utvärdering av energi- och luftbehandlingssystemen på Academicum och Gamla Anatomihöghuset, Medicinareberget i Göteborg. Akademiska hus AB, Göteborg.
- Johansson, A. (2003) Phase-out of refrigerant R22. Kungliga tekniska högskolan, Stockholm. ISSN 1102-0245. ISBN 91-7283-526-5.

- Kylkontroll Göteborg AB (2005) Anbud 50610A Värmepump Handelshögskolan.
- Lie, G. (2008, personlig kommunikation) Göteborg Energi AB.
- Maripuu, M. (2006) Adapting Variable Air Volume (VAV) Systems for Office Buildings without Active Control Dampers – Function and Demands for Air Distribution Components. Chalmers tekniska högskola, Göteborg. ISSN 1652-6007.
- Naumov, J. (2005) Optimization of ground-coupled systems for heating and cooling of buildings. Chalmers University of Technology, Göteborg. ISSN 1652-6007.
- Nordel (2006) Annual Statistics 2006. www.nordel.org.
- Persson, A. m.fl. (2005) Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning. Version B. ÅF-Energi & miljö AB, Stockholm.
- Persson, T. (2008) Yttrande angående miljöbelastning av bergvärme som uppvärmning jämfört med fjärrvärme producerad med biobränsle. Energimyndigheten. Eskilstuna. Dnr. 510-08-1552.
- Olson, S. (2008, personlig kommunikation) Akademiska Hus AB.
- Roos, S. (2008, personlig kommunikation) Examensarbetare Chalmers.
- Sand, J.R. m.fl. (1997) Energy and global warming impacts of HFC refrigerants and emerging technologies. Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, Tennessee. AFEAS Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study / U.S. Department of Energy.
- Skoogh, R. (2008, personlig kommunikation) Steen och Ström Sverige AB.
- SMHI (2008) Års- och månadsstatistik från Väder och vatten. Temperatur och vind 1/2008-8/2008. <http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=10963&l=sv>
- Sommerlund, S (2009, personlig kommunikation) GEA Grasso Nordic A/S.
- Statens energimyndighet (2007) Energipriser på el och naturgas 1 januari 1997 – 1 januari 2007. ER 2007:10. ISSN 1403-1892.
- Statens offentliga utredningar (2008) Ett energieffektivare Sverige – Delbetänkande av energieffektiviseringsutredningen. SOU 2008:25. Stockholm. ISBN 978-91-38-22931-6. ISSN 0375-250X.
- Statens offentliga utredningar (2008) Vägen till ett energieffektivare Sverige – Slutbetänkande av energieffektiviseringsutredningen. SOU 2008:110. Stockholm. ISBN 978-91-38-23103-6. ISSN 0375-250X.
- Värmebaronen (2009) Cirkaprislistan. Prislista 090301. Kristianstad.
- Wallenstam Företag AB (1986) Layout Stampen 5:6 Ritning 6305-F-100, 6305-F-200, 6305-F-300, 6305-F-400.

Bilaga A Primärenergifaktorer

Primärenergi har beräknats utifrån primärenergifaktorer för bränslen och verkningsgrader för energiomvandling. Tabell 75 listar använda primärenergifaktorer för bränslen som kan användas för exempelvis el- eller fjärrvärmeproduktion. I Tabell 76 och Tabell 77 anges verkningsgrader för energiomvandling av bränsle till el respektive fjärrvärme. Slutligen anger Tabell 78 primärenergifaktorer för hela kedjan från primärenergi till levererad el för några produktionsmetoder.

Tabell 75. Primärenergi till levererat bränsle.

Bränsle	Total	Icke förnybar	Referens	Kommentar
Kol	1,30	1,30	EN 15603 (2008)	Medelvärde av antracit och lignit
Olja	1,35	1,35	EN 15603 (2008)	
Tallbecksolja	1,35	1,35	EN 15603 (2008)	Som olja enligt SOU 2008:25
Torv	1,35	1,35	EN 15603 (2008)	Som olja
Naturgas	1,36	1,36	EN 15603 (2008)	
Andra fossila bränslen, gasol	1,36	1,36	EN 15603 (2008)	Som naturgas enligt SOU 2008:25
Biobränsle	1,08	0,08	EN 15603 (2008)	Medelvärde av olika biobränslen
Avfall	0,66	0,66	SOU 2008:25	
Spillvärme/solvärme	0	0	SOU 2008:25	

Tabell 76. Verkningsgrader för elproduktion.

Produktionsmetod	Verkningsgrad	Referens	Kommentar
Kondenskraft	0,40	Persson (2005)	Medelvärde
Kraftvärmeverk	0,59	Persson (2005)	Medelvärde
Vindkraft	0	Persson (2005)	

Tabell 77. Verkningsgrader för fjärrvärmeproduktion.

Produktionsmetod	Verkningsgrad	Referens	Kommentar
Värmeverk	0,90	Persson (2005)	Hetvattenpanna
Kraftvärmeverk naturgas	1,16	Persson (2005)	
Värmepumpar	2,80	Persson (2005)	

Tabell 78. Primärenergifaktorer, primärenergi till levererad el.

Produktionsmetod	Total	Icke förnybar	Referens
Kärnkraft	2,80	2,80	EN 15603 (2008)
Vattenkraft	1,50	0,50	EN 15603 (2008)
Geotermisk kraft	0	0	Antagande, fritt flödande
Kolkondens	4,05	4,05	EN 15603 (2008)

Bilaga B Beräkning av primärenergifaktorer för Göteborg Energi

Tabell 79. Beräkning av primärenergifaktorer för fjärrvärme, medelproduktion

Bränsle och produktion, årsmedelvärde 2007	Bränslemix	Primärenergifaktor		η	Primärenergifaktor	
		Total	Icke-förnybar	värmeprod.	Total	Icke-förnybar
Biobränsle, värmeverk	9,7%	1,08	0,08	0,90	0,12	0,01
Naturgas, kraftvärmeverk	28,7%	1,36	1,36	1,16	0,34	0,34
Naturgas, värmeverk	1,7%	1,36	1,36	0,90	0,03	0,03
Olja, värmeverk	0,1%	1,35	1,35	0,90	0,002	0,002
Spillvärme/solvärme	54,1%	-	-	1,00	-	-
Tallbeckolja, värmeverk	0,1%	1,35	1,35	0,90	0,002	0,002
El, värmepumpar	5,6%	1,86	1,29	2,80	0,04	0,03
Summa:	100%				0,52	0,40
				η distribution	0,92	0,92
				Årsgenomsnitt primärenergifaktorer	0,56	0,43

Tabell 80. Beräkning av primärenergifaktorer för fjärrvärme, marginalproduktion

Bränsle och produktion, årsmedelvärde 2007	Bränslemix	Primärenergifaktor		η	Primärenergifaktor	
		Total	Icke-förnybar	värmeprod.	Total	Icke-förnybar
Biobränsle, värmeverk	20,6%	1,08	0,08	0,90	0,25	0,02
Naturgas, kraftvärmeverk	20,3%	1,36	1,36	1,16	0,24	0,24
Naturgas, värmeverk	3,6%	1,36	1,36	0,90	0,05	0,05
Olja, värmeverk	2,3%	1,35	1,35	0,90	0,03	0,03
Spillvärme/solvärme	31,7%	-	-	1,00	-	-
Tallbeckolja, värmeverk	4,8%	1,35	1,35	0,90	0,07	0,07
El, värmepumpar	16,7%	3,81	3,81	2,80	0,23	0,23
Summa:	100%				0,87	0,64
				η distribution	0,92	0,92
				Marginal produktion primärenergifaktorer	0,95	0,70

Tabell 81. Beräkning av primärenergifaktorer för fjärrkyla, medelproduktion

Bränsle och produktion, årsmedelvärde 2007	Bränslemix	Primärenergifaktor		COP	η	Primärenergifaktor	
		Total	Icke-förnybar		elnät	Total	Icke-förnybar
El, friskyla	50,3%	1,86	1,29	21,85	0,94	0,05	0,03
El, kompressorkyla	25,1%	1,86	1,29	10,47	0,94	0,05	0,03
Fjärrvärme, ABS-kyla	24,6%	0,52	0,40	0,68		0,19	0,14
Extra el, pumpar mm FK	2,5%	1,86	1,29	1,00	0,94	0,05	0,03
						0,33	0,24
					η (kyldistribution)	0,98	0,98
					Årsgenomsnitt primärenergifaktorer	0,33	0,25

Tabell 82. Beräkning av primärenergifaktorer för fjärrkyla, marginalproduktion

Bränsle och produktion, årsmedelvärde 2007	Bränslemix	Primärenergifaktor		COP	η	Primärenergifaktor	
		Total	Icke-förnybar		elnät	Total	Icke-förnybar
El, friskyla	49,0%	3,81	3,81	21,85	0,94	0,09	0,09
El, kompressorkyla	27,3%	3,81	3,81	10,47	0,94	0,11	0,11
Fjärrvärme, ABS-kyla	23,6%	0,87	0,64	0,68		0,30	0,22
Extra el, pumpar mm FK	2,5%	3,81	3,81	1,00	0,94	0,10	0,10
						0,60	0,52
					η (kyldistribution)	0,98	0,98
					Marginal produktion primärenergifaktorer	0,61	0,53

Tabell 83. Beräkning av primärenergifaktorer för el, Nordisk elmix 2006

	Nordisk elmix 2006	Primärenergifaktor		Primärenergifaktor	
		Total	Icke-förnybar	Total	Icke-förnybar
Kärnkraft	22,1%	2,63	2,63	0,58	0,58
Kondenskraft	4,7%	3,11	2,61	0,14	0,12
CHP, fjärrvärme	14,5%	2,11	1,77	0,31	0,26
CHP, industri	5,3%	2,11	1,77	0,11	0,09
Gas turbiner, etc.	0,1%	3,46	2,90	0,00	0,00
Vattenkraft	50,7%	1,41	0,47	0,72	0,24
Vindkraft	2,0%	-	-	-	-
Geotermisk kraft	0,7%	-	-	-	-
Summa				1,86	1,29
			η distribution	0,94	0,94
			Årsgenomsnitt primärenergifaktorer	1,98	1,38

Tabell 84. Beräkning av primärenergifaktorer för el, marginalproduktion

	Bränslemix	Primärenergifaktor	
		Total	Icke-förnybar
Kolkondens	100%	4,05	4,05

Bilaga C Beräkning av miljöeffekter

Effem beräknar miljöeffekter med kategoriseringsfaktorer från Miljöstyrningsrådet. De som används i programmet listas nedan i Tabell 85 - Tabell 88 (Effem, 2008). Alla emissioner räknas i gram.

Växthuseffekten beräknas som gram CO₂-ekvivalenter ur ett 100-årsperspektiv.

Tabell 85. Karaktäriseringsfaktorer för växthuseffekten, gram CO₂-ekvivalenter.

Ämne	Karaktäriseringsfaktor
CO ₂	1
N ₂ O	310
CH ₄	21

Försurning beräknas som försurningspotential representerat av mol H⁺.

Tabell 86. Karaktäriseringsfaktorer för försurning, mol H⁺.

Ämne	Karaktäriseringsfaktor
NO _x	0,0217
SO ₂	0,0312
NH ₃	0,0587

Bildning av marknära ozon redovisas på två sätt, dels som emissioner av NO_x, dels som flyktiga kolväten i gram etenekvivalenter.

Tabell 87. Karaktäriseringsfaktorer för bildning av marknära ozon, gram etenekvivalenter.

Ämne	Karaktäriseringsfaktor
NMVOG	0,416
CO	0,04

För övergödning beräknas syretäringspotential i gram O₂-ekvivalenter.

Tabell 88. Karaktäriseringsfaktorer för övergödning, gram O₂-ekvivalenter.

Ämne	Karaktäriseringsfaktor
NO _x	6
NH ₃	16

Partiklar anges som totala partikelemissioner i gram.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, hållbar tillväxt och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är ca 870 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och sex dotterbolag varav CBI, Glafo och JTI ägs till 60 % av SP och 40 % av industrin.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Energiteknik

SP Rapport 2009:40

ISBN 91-7848-978-91-86319-28-1

ISSN 0284-5172