

Artikelförfattare: **David Hälleberg**
 Titel: **Teknologie magister, energiteknik, Mälardalens högskola**
 Sysselsättning: **Energiansvarig, fastighetskontoret, Stockholms stad**
 Kontakt: **david.halleberg@stockholm.se**

Spillvärme – den andra energikällan

I flera av Stockholms stads publika byggnader råder ett konstant kylbehov året om. I en handfull projekt utvärderar fastighetskontoret i Stockholm olika tekniker för att återvinna lågvärdig överskottsenergi som tidigare kylts bort.

Metoderna som används lämpar sig väl för kulturhistoriskt värdefulla byggnader där ett konstant kylbehov föreligger under hela året. Tillsammans minskar de här redovisade projekten behovet av köpt energi med 3 GWh per år.

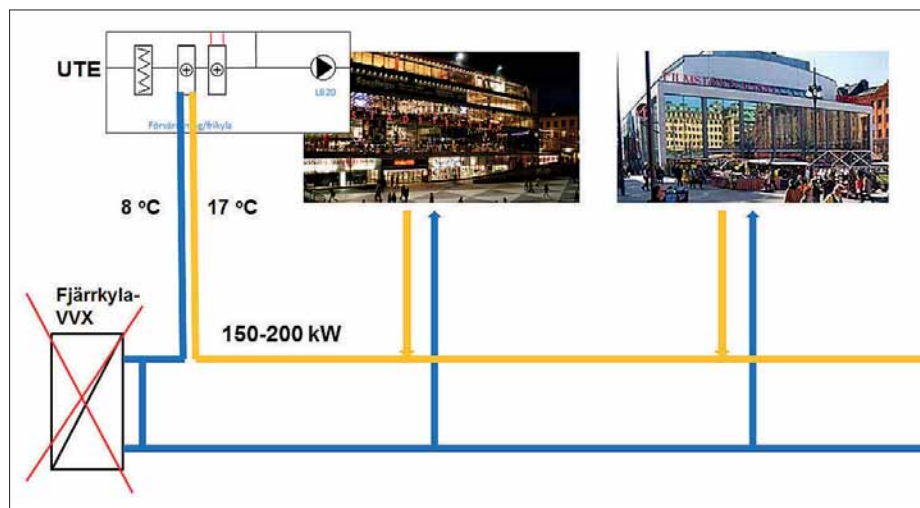
I artikeln jämförs fyra olika tekniker (i Stockholm) för att omhänderta denna tidigare outnyttjade energikälla.

- ▶ Förnyelsebar kylproduktion på Kulturhuset/Stadsteatern
- ▶ Återvinning av livsmedelskyla i Hötorgshallens saluhall
- ▶ Koldioxidkylmaskin i Östermalms nya saluhall
- ▶ Energiväxling mellan Tele2 Arena och Slakthusområdet.

Förnyelsebar kylproduktion

Kulturhuset/Stadsteatern i centrala Stockholm rymmer en rad spännande verksamheter, allt från teaterscener, biografer, bibliotek till utställningar och restauranger. Det är verksamheter som genererar överskottsvärme året om som behöver kylas bort.

Samtidigt har Kulturhuset/Stadsteatern ett stort värmebehov. Redan vid utomhus-temperaturer från +10 °C uppgår värmeeffektbehovet till 250 kW för att vid -10 °C vara 2 000 kW. En stor del av byggnadens



Figur 1: Med en ny systemlösning omhändertas nu den lågvärdiga överskottsenergin.

värmeeffektbehov åtgår för Stadsteaterns gemensamma förvärmningsaggregat, ett snart tio år gammalt FTX-aggregat med vätskeåtervinning, och ett dimensionerande luftflöde av 35 kubikmeter per sekund. Aggregatet förvärmer uteluften till efterbehandlingsaggregaten som ventilerar scener, repetitionssalar, måleri etcetera, verksamheter som har olika ventilationsprinciper och temperaturbehov.

Med en ny systemlösning återvinns nu kylcentralens inkomna överskottsenergi

i stället för att som tidigare kylas bort med fjärrkyla. Med nya cirkulationspumpar, förvärmningsbatterier och 260 meter nya kylledningar flyttas kylcentralens lågvärdiga överskottsenergi till fläktrummet på plan 12.

För att maximera värmeåtervinningen nyttjas den befintliga systemuppbyggnaden med en gemensam kylcentral och en 300 meters kulvert till Hötorgshallen för att koppla samman Hötorgshallens köldbärarretur med Kulturhuset Stadsteaterns.



Med förvärmningsbatterier före vätskeåtervinningen produceras förnyelsebar kyla samtidigt som friskluftstemperaturen höjs med fem grader.

Vintertid uppgår den totala tillgängliga värmeeffekten till 150–200 kW.

Genom anborring på köldbärarreturen före fjärrvärmväxlarna flyttas den lågvärdiga överskottsenergin upp till fläktrummet och förvärmningsbatterierna, placerade före de befintliga värmeåtervinningsbatterierna. Då ventilationen är i drift förvärms uteluften samtidigt som den kyler byggnadens köldbärare till önskad framledningstemperatur. Det ger en förnyelsebar kylenergiproduktion motsvarande 2 500 kvadratmeter solceller.

Återvinningslösningen förvärmer utetemperaturerna med minst cirka 5 °C vid dimensionerande luftflöde. Förutom en förbättrad temperaturverkningsgrad med befintlig teknik genereras samtidigt förnybar kyla i form av frikyla under sju månader per år. Frikylasäsongens längd beror på två faktorer: straffavgifter till följd av en för kall fjärrkylareturntemperatur och byggnadens behov av kall köldbärare.

Ett optimeringsarbete pågår med att bygga bort de flaskhalsar som kräver extra låga köldbärartemperaturer, till exempel serverrum, för att därefter kunna höja framledningstemperaturen och förlänga frikylasäsongen.

Den nya systemlösningen är uppkopplad i byggnadens styrsystem, av typ Struxure Ware. Med temperaturgivare och energimätare pågår en intrimning med fokus på att omhänderta all återvunnen värmeenergi och på så vis minimera behovet av fjärrkyla. Med tillhörande driftoptimering av luftflöden väntas installationen minska byggnadens energibehov med cirka tio procent, motsvarande 1,1 GWh/år där förvärmningen sparar cirka 400 MWh/år värme och samtidigt genererar lika mycket kyla.



Ombyggnaden av Östermalms saluhall väntas vara klar våren 2018.

Återvinning av livsmedelskyla

I den senaste ombyggnaden av Hötorghallens saluhall installerades kyldiskar och ett nytt lokalt köldbärarsystem. Dock installerades inget system för återvinning av kondensorvärmnet, utan fjärrkyla installerades. Saluhallens livsmedelskyla har en installerad kyleffekt på cirka 250 kW inklusive redundans. Kondensorvärmeeffekten uppmättes till 80–140 kW med en temperatur mellan 26 och 35 °C. I detta projekt omhändertogs denna tidigare outnyttjade värmekälla.

Med goda erfarenheter av både Öppen fjärrvärme (ett projekt att sälja tillbaka värme respektive kyla till nätägaren) och andra värmepumpslösningar fick valet av tekniklösning för omhändertagande av livsmedelskylans kondensorvärme utvärderas genom en livscykelkostnadsanalys (LCC). Tekniklösningen med absolut lägst totalkostnad blev att installera en värmes-

pump för att återvinna kondensorvärmnet direkt till fastighetens värmesystem.

I projektet installerades en värmepump med 145 kW i värmeeffekt. Det är något i underkant för att få så stabil drift som möjligt. Värmepumpens syfte är att minska byggnadens behov av både fjärrvärme och fjärrkyla. Under tiden fastigheten har ett uppvärmningsbehov omhändertogs livsmedelskylans lågvärdiga överskottsenergi via den nya värmepumpens förångare. Samtidigt återvinns överskottsenergin som nu har en högre temperatur direkt till fastighetens värmesystem via värmepumpens kondensorsida.

Inkopplingen på förångarsidan är seriellt före den befintliga fjärrkylaväxlaren. Fjärrkyla kyler fortsatt bort kylmaskinernas kondensorvärme som värmepumpen inte kylt bort, eller genom primär kondensorkylning sommartid då inget värmebehov föreligger. Värmepumpens kondensorvärme värmer enbart värmekretets VS1 medan tappvarmvattnet som tidigare värms med fjärrvärme. Värmepumpen är ansluten till VS1 parallellt efter fjärrvärmväxlaren och värmepumpen styrs från fjärrvärmväxlarens befintliga styrsignal, med premierring av värmepumpen. Bakgrunden till att parallell inkoppling valts är att fjärrvärmens returtemperatur inte ska påverkas negativt.

Installationen följdes av ett optimerings- och injusteringsarbete. Både byggnaden och värmepumpen behövde anpassas efter de nya temperaturerna. Genom återcirkulation av värmebäraren kan en högre framledningstemperatur uppnås, men på bekostnad av en något lägre värmefaktor. COP varierar mellan 4 och 4,5.

Efter drifttagning och intrimning vän-



Figur 2: Under uppvärmningssäsong ersätter den återvunna kondensorvärmnet köpt fjärrvärme. Övrig tid bereds tappvarmvatten och överskottsenergin kyls bort med gaskylare och fjärrkyla.

tas värmepumpsinstallationen minskar fastighetens energibehov med omkring 800 MWh/år med en återbetalningstid på cirka tre år.

Koldioxidkylmaskin i saluhall

Pågående ombyggnadsprojekt ska utveckla Östermalms saluhall, byggd år 1888, till en miljövänlig och modern handelsplats. Förutom ny teknik ska saluhallens kulturhistoriska och arkitektoniska värden lyftas fram. Krav på tilläggsisolering av väggar eller tak har fått ge vika, varför i stället nya fönster har valts med omsorg. Krav på lufttätning har införts. Förutom energieffektiva installationer har projektet haft en tydlig inriktning på hur livsmedelskylans lågvärdiga överskottsenergi ska tillvaratas.

För ökad energieffektivitet och minskat buller kommer kyldiskar och kyl- och frysrum vara anslutna till ett lokalt köldbärarnät och kylas med koldioxidkylmaskiner. Koldioxid är ett miljövänligt köldmedium som är framtidssäkrat mot kommande regler om utfasning av köldmedier med en stark klimatpåverkan. Koldioxid har även egenskaper som är väl lämpade för värmeåtervinning. Med höga kondenseringsstemperaturer på normalt 60 °C, och upp till 80 °C, kan livsmedelskylans kondensorvärme värmväxlas direkt mot byggnadens värmesystem, utan extra värmepumpar. Koldioxidkylmaskinernas tillgängliga kondensoreffekt är i stort sett konstant över året, med en uppskattad värmeeffekt av 113 kW dagtid och 56 kW nattetid.

För effektiv drift kräver koldioxidkylmaskinen en låg returtemperatur på kondensorvärmens, cirka + 20 °C, något saluhallens framtida värmesystem kommer att helt anpassas efter.

Den valda systemlösningen har vuxit fram genom löpande energimöten med kunniga konsulter och en tydlig beställare. Alla värmväxlare är rangordnade efter temperaturbehov och placerade i serie för att säkerställa lägsta möjliga returtemperatur till koldioxidkylmaskin.

Värmesystemets utformning:

- ▶ **Steg 1:** Varmvattenberedning i ackumulatortankar: 75 °C
- ▶ **Steg 2:** Radiatorkrets (110 kW): 60/45 °C
- ▶ **Steg 3:** Ventilationskrets (390 kW): 50/25 °C
- ▶ **Steg 4:** Markvärme (10 kW): 33/25 °C
- ▶ **Steg 5:** Förvärmning av tappvarmvatten
- ▶ **Steg 6:** Gaskylare: för kylning av överskottsvärme
- ▶ **Steg 7:** Fjärrkyla retur: för kylning av överskottsvärme
- ▶ **Steg 8:** Fjärrkyla primärledning: för kylning av överskottsvärme.

Sommartid produceras i första hand varmvatten för att vid utomhustemperaturer under +20 °C kylas med gaskylare alternativt fjärrkyla retur och därefter fjärrkyla primär.

Ombyggnaden av Östermalms saluhall



Tele2 Arena är en multiarena där den lågvärdiga överskottsenergin inte utnyttjas maximalt.

väntas minska fastighetens årsenergiebehov från cirka 400 kWh/kvm A_{temp} till cirka 142 kWh/kvm A_{temp} , varav återvinningen bidrar med ca 40 kWh/kvm A_{temp} .

Östermalms nya saluhall blir den första saluhallen i sitt slag att anamma koldioxidtekniken.

Energiväxling mellan Tele2 Arena och Slakthusområdet

Slakthusområdet är ett tidigare industriområde söder om Stockholms innerstad. Fastighetskontoret har påbörjat utvecklingen av området där byggnaderna kallade hus 7 och 8 är först ut. Det är två tomställda byggnader som ursprungligen innehöll en hudbod och ett tarmrenseri. Ombyggnaden av hus 7 och 8 ingår i EU:s stadsutvecklingsprojekt Grow Smarter, vars syfte är att utveckla och sprida energismarta tekniska lösningar. Förutom ett klimatskal med ett lågt effekt- och energibehov har byggnadernas installationer utvärderats ur ett livscykelperspektiv. Vidare ska solceller installeras och klimatpåverkan minimeras med klimatsmarta energikällor.

Förutom de kulturhistoriska värdena är byggnadernas geografiska läge unikt. Inom en radie av 200 meter återfinns slakthusområdets kylcentral, serverhallar, Tele2 Arena och Globens kylcentral, anläggningar med ett stort kylbehov året om. I två av fastigheterna återvinns Fortum lågvärdig överskottsenergi. Förutom i de tekniska utmaningarna i att återvinna en gång redan producerad energi ligger utmaningen i att hitta rätt samarbetsform mellan olika fastighetsägare.

Hösten 2014 uppvaktade fastighetskontoret det kommunägda Stockholm Globe Arena fastigheter (SGA), som förvaltar

arenorna i Globenområdet (Hovet, Globen och Tele2 Arena), för att diskutera framtida hållbara energilösningar inom stadens gemensamma intressen. Fastighetskontoret fick godkänt att utreda och projektera en möjlig teknisk lösning för att återvinna spillvärme (överskottsenergi) från Tele2 Arena. Miljöförvaltningen lät delfinansiera utredningen. Mätvärden analyserades och kostnadskalkyler togs in. Vidare jämfördes flera alternativa uppvärmningskällor till hus 7 och 8 ur ett livscykelperspektiv.

Följande alternativ studerades:

- ▶ Energiväxling med Tele2 Arena/fjärrvärme
- ▶ Fjärrvärme/fjärrkyla (kräver ny fjärrkylaledning in på området)
- ▶ Bergvärme/bergkyla (ett förslag som senare utgick på grund av tunnelbanebygget).

Alternativet med lägst klimatpåverkan var att återvinna lågvärdig överskottsenergi från Tele2 Arena. Samma alternativ, men med en justering för samutnyttjande, hade också lägst livscykelkostnad. Ett samutnyttjande är nödvändigt då det tillgängliga värmeeffektbehovet väl överstiger det hos hus 7 och 8.

Tele2 Arena är en ny multiarena där den lågvärdiga överskottsenergin inte utnyttjats maximalt. Inom Tele2 Arena finns två kylsystem:

- ▶ **KM12:** Tele2 Arena. Via en central ringslinga på plan 5 kyls restauranger, vip-lounger, mottagningskök, kaféer, barer, pubar och kiosker. Det finns också en omfattande central isproduktion för restaurangbruk. Kondensorvärme kyls med kylmedelkylare på tak.
- ▶ **KM11:** Tolv Stockholm (ett mat- och nöjes-

koncept om 12 000 kvadratmeter i Tele2 Arena), plan 1–3. Här kyls bland annat en nattklubb, en korvfabrik och ett ställverk med kompressorkyla. Kondensorvärmens värmer garage via fläktkonvektorer, markvärme, golvvärme. Garaget är oftast övertempererat.

Genom hopkoppling av de båda kylmediesystemen kan maximal värmeåtervinning erhållas. Vintertid varierar den tillgängliga kondensorvärmeeffekten mellan 250 och 400 kW. Det är upp till tio gånger mer än värmeeffektbehovet för hus 7 och 8, varför kulverten behöver samutnyttjas. En strategisk partner var Skolfastigheter i Stockholm (Sisab), med sin hotell- och restaurangskola, en fastighet på 18 800 kvadratmeter placerad längs Arenavägen mellan Tele2 Arena och hus 8.

Fastighetskontoret projekterar nu en kulvert mellan Tele2 Arena och Slakthusområdet med syfte att minska stadens klimatpåverkan. Inom Tele2 Arena värmväxlas kylmediesystemen KM11 och KM12 med den nya kulverten. Växlare och kulvert dimensioneras för 200 kW med en fram- och returledningstemperatur på 29 °C respektive 23 °C. I garageplan för-läggs sedan ledningar mot Arenavägen. Genom styrd borrning passerar kulverten under Arenavägen för att grävas ned i den befintliga banvallen längs Arenavägen mot

Tabell 1

		Kulturhuset Stadsteatern	Hötorgshallen – saluhall	Östermalms saluhall Åtgärd	Slakthusområdet
		Återvinning utan VP	Återvinning med VP	Återvinning med CO ₂ -kylmaskin	Energiväxling mellan fastigheter
Investering	tSEK	3 500	1 200	750	2 800
Kostnadsbesparing	tSEK	980	450	329	220
Energibesparing	MWh/år	1 100	800	500	440
CO ₂ -besparing	ton CO ₂ /år	51	71	28	49
Payoff	år	3,6	2,7	2,3	12,7
Energieffektivisering	kr/kWh	3,3	1,4	1,6	6,4

hus 8. För att minimera värmeförluster väljs effektiva värmväxlare och en väl isolerad kulvert. I banvallen längs Arenavägen väljs en kulvert med höggradig isolering av polystyrenblock.


Med serviceledningar och energimätare mäts fram- och returledningstemperaturen från hus 8 och till SISAB Hotell och restaurangskola. Väl i hus 8 höjer en mindre värmepump temperaturen på den återvunna energin till värmesystemets temperaturnivåer. Fjärrvärme används för beredning av tappvarmvatten och som backup.

Energileverantören SGA fastigheter ansvarar för framledningstemperaturen,

energimätare samt debitering och Fastighetskontoret investerar i kulverten mellan fastigheterna. SISAB är en långsiktig kund åt SGA fastigheter och till fastighetskontoret.

Energi- och klimatbesparing

Entreprenadkostnaden i *tabell 1* ovan omfattar marginalkostnaden för att återvinna den lågvärda överskottsenergin.

Tillsammans minskar återvinningsprojektet fastighetskontorets årliga energikostnad med cirka 2 miljoner kronor motsvarande 2,8 procent av fastighetsbeståndets årliga energianvändning. 



Sorptiv kyla ger låg driftskostnad

Munters DesiCool™ är ett klimatsystem med miljövänlig och energieffektiv sorptiv kyla. Fungerar perfekt i kombination med solvärme, överskottsvärme eller fjärrvärme.

- Sommartid omvandlas värme till kyla
- Vintertid 90% värmeåtervinning

airtreatment@munters.se / www.munters.se

 **Munters**
Your Perfect Climate

NY BOK
- VVS 2000 KYLTEKNIK

Beställ på www.energi-miljo.se



 ENERGI & MILJÖ
TEKNISKA FÖRENINGEN

 **Chiller**
AIR-CONDITIONING

EN NY OCH INNOVATIV LÖSNING FÖR HOTELLRUM OCH KONTOR.



GRAND (vari)
All-in-One Air-conditioner

 Innovative cooling, heating and energy solutions

www.chiller.fi/se