

KYLTEKNIK OCH FÖRNYBAR ENERGI I KONTORSHUS

En förstudie



Elsa Fahlén, Eva Grill, Kajsa Flodberg

2013-06-26

Fotot på rapportens framsida visar en detalj från byggnaden *Dreieck GHC* i Schweiz, ett passivhuskontor med hög andel förnybar energi från solfångare, solceller och marklager (fotograf: Reinhard Zimmermann, Adliswil).

Kontakt

Elsa Fahlén (elsa.fahlen@ncc.se)
NCC Construction Sverige AB
405 14 Göteborg

FÖRORD

Projektet har utförts av Elsa Fahlén, Eva Grill och Kajsa Flodberg, samtliga från NCC Teknik. Elsa Fahlén har varit projektledare och är huvudförfattare till denna rapport. Ett stort tack riktas till SBUF för finansiering av projektet. Projektgruppen vill även tacka referensgruppen som bidragit med idéer och synpunkter. Tack till Åke Blomsterberg (Lunds tekniska högskola), Jan-Olof Dalenbäck (Chalmers tekniska högskola), Per Jonasson (VD för kyl- och värmepumpföretagen), Tyko Sandell (Carrier), Magdalena Kvernes (PEAB) och Tommy Walfridson (SKANSKA).

Elsa Fahlén,

Göteborg, juni 2013

SAMMANFATTNING

Denna förstudie har undersökt förutsättningarna kring kylteknik baserad på förnybara energikällor i nybyggda kontorshus i Sverige. Undersökningen visar att Boverkets byggregler inte utgör några direkta hinder för kylinstallationer i kombination med förnybar energi. Däremot främjar de vissa förnybara tekniker (solenergi) genom att all producerad energi som momentant tas tillvara i byggnaden får räknas bort från den specifika energianvändningen, vilket inte tillåts för andra tekniker (exempelvis vindkraft). Den samtidighet mellan behov och produktion som erhålls sommartid med solenergibaserad komfortkyla saknas för andra förnybara energitekniker. Med anledning av detta har studien fokuserat på soldriven kyla.

Det finns en hel del forskning inom området solvärmedriven kyla och flera hundratals installationer av solfångare i kombination med hetvattendrivna kylmaskiner, varav de flesta i centrala Europa, Mellanöstern och Australien. Däremot finns fortfarande liten erfarenhet av installerade anläggningar i Sverige. Solvärmedriven kyla har fortfarande tekniska utmaningar att lösa på systemnivå, särskilt vad gäller optimering och styrning av sådana system. Soleldriven kyla har en fördel gentemot solvärmedriven kyla med hänsyn till enkelhet i drift och styrning. Något förenklat kan sägas att byggnader som har installationer av både solceller och en eldriven kylanläggning har soldriven kyla.

Illustrerande beräkningsexempel baserade på förutsättningar för komfortkyla i nybyggda kontorshus visar att soleldriven kompressionskyla även har en klar energieffektivitetsfördel gentemot solvärmedriven absorptionskyla vid dagens prestanda för solceller, solfångare och kylmaskiner. En solenergianläggning skulle ge ett överskott av el och värme under tidpunkter då solinstrålningen är hög men behovet av aktiv kyla är lågt eller obefintligt. Dimensionering och driftoptimering är viktig både för värmebaserade kyllosningar, där möjligheten till export av värme ofta är begränsad, och för elbaserade kyllosningar, eftersom priset på såld el oftast är betydligt lägre än för köpt el.

Förstudien lyfter även behovet av mindre kylmaskiner med goda dellastegenskaper för att matcha det låga och varierande komfortkylbehovet i nybyggda svenska kontor. Studien har fokuserat på nybyggda kontorshus med normal energianvändning för kyla (12 kWh/m² år, och ett kyleffektbehov på mellan 200 och 250 kW). För att kylmaskinerna ska erhålla en hög prestanda även i dellast, vilket är den huvudsakliga lasten för komfortkyla i kontorshus i Sverige, ställs dessutom krav på varvtalsstyrning av kylmaskinerna. Priset för varvtalsstyrda kompressorer är förhållandevis hög för små kylmaskiner, men den tekniska utvecklingen som sker väntas leda till lägre och mer konkurrenskraftiga priser inom några år. En sådan utveckling skulle leda till ännu mer energi- och kostnadseffektiva eldrivna kyllosningar.

Sammanfattningsvis visar förstudien att soleldriven kyla är överlägsen solvärmedriven kyla ur både energieffektivitetssynpunkt och med hänsyn till

enkelhet i drift och styrning. En intressant frågeställning vid en fortsatt utredning vore vad som krävs i form av energipriser, styrmedel, bortröjande av hinder för en ökad integration av solenergi i framtidens byggnader. Därtill vore det spännande att undersöka om komfortkylapplikationen, genom möjligheten till ett högt utnyttjande av den egenproducerade solenergin, skulle kunna bidra till en bättre ekonomi vid installation av solenergianläggningar.

ORDLISTA

CAV	Constant air volume flow, konstant ventilationsflöde
COP	Coefficient of performance, prestanda för värmepumpar, används även för att beskriva EER (se nedan) i kyltekniksammanhang
EER	Energy efficiency ratio, prestanda för kylmaskiner, definieras som producerad kyla från en enhet använd el eller värme
ESEER	Säsongsverkningsgrad som bygger på en generell lastprofil för att få fram ett årsviktat EER-värde
VAV	Variable air volume flow, variabelt ventilationsflöde

INNEHÅLL

INLEDNING	7
BAKGRUND.....	7
SYFTE OCH MÅLGRUPP	8
METODIK OCH AVGRÄNSNINGAR	9
TEKNIKINVENTERING	10
FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR KOMFORTKYLA I NYA KONTORSHUS.....	10
<i>Begränsningar och möjligheter i svenska byggregler</i>	10
<i>Vanliga lösningar i nya kontorshus</i>	11
TILLGÄNGLIGA KYLMASKINER PÅ MARKNADEN.....	12
<i>Eldrivna kylmaskiner</i>	12
<i>Värmedrivna kylmaskiner</i>	13
KYLTEKNIK BASERAD PÅ FÖRNYBAR ENERGI	14
<i>Soleldriven kyla</i>	15
<i>Solvärmedriven kyla</i>	16
<i>Biobränsle driven kyla</i>	18
DIMENSIONERING FÖR ETT TYPKONTOR	20
INTERNA KYLSYSTEM OCH KYL- OCH VÄRMELASTER I ETT TYPKONTORSHUS	20
<i>Beskrivning av internt ventilation- och kylsystem</i>	20
<i>Kyl- och värmelaster</i>	21
DIMENSIONERING AV KYLMASKINER OCH ACKUMULATORER	21
<i>Effektkrav för kylmaskiner och behov av ackumulatortankar</i>	22
<i>Eldriven kylmaskin med och utan varvtalsstyrning</i>	24
<i>Hetvattendrivna kylmaskiner</i>	24
INSTALLATIONER AV FÖRNYBAR ENERGI	25
<i>Solceller</i>	25
<i>Solfångare</i>	26
<i>Biobränsle</i>	26
ILLUSTRERANDE BERÄKNINGSEXEMPEL	29
SOLENERGIBASERAD KYLA	29
BIOBRÄNSLEDRIVEN KYLA	31
DISKUSSION & SLUTSATSER	32
REFERENSLISTA	35
BILAGOR	38
BILAGA 1. FRÅGEFORMULÄR TILL FASTIGHETSÄGARE	39
BILAGA 2. SAMMANSTÄLLNING AV SVAR FRÅN FASTIGHETSÄGARNA	41
BILAGA 3. SIMULERINGAR AV VÄTSKEKYLARE	42

INLEDNING

Att kunna erbjuda kyllosningar baserade på förnybar energi skapar ett mervärde för kunden samtidigt som detta är en viktig del i byggsektorns omställning till att kunna erbjuda nära-nollenergi (NNE)-byggnader. I detta inledande kapitel presenteras möjliga lösningar för att tillgodose komfortkylbehov i framtidens kontorsbyggnader på ett hållbart sätt. Vidare presenteras studiens angreppssätt för att identifiera möjligheter och hinder och för att ringa in de mest lovande kyllosningarna.

Bakgrund

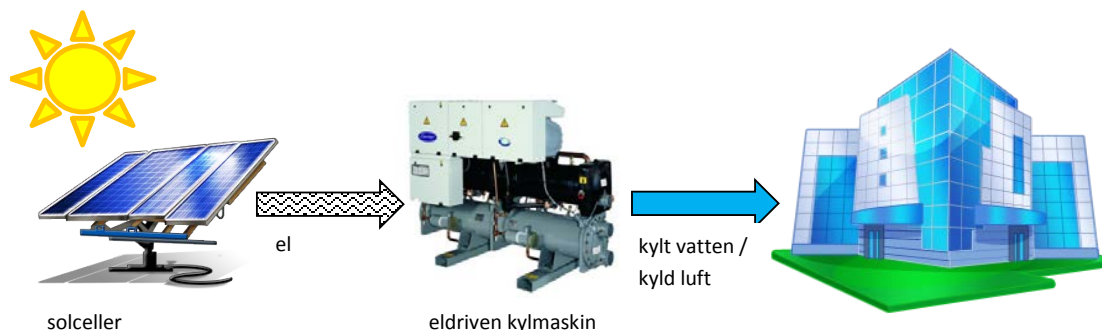
I det EU-direktiv som syftar till att öka andelen NNE-byggnader framgår att dessa byggnader ska ha mycket hög energiprestanda (Europaparlamentets och rådets direktiv, 2010). Dessutom krävs att den lilla mängden energi som tillförs dessa byggnader i hög grad ska utgöras av förnybar energi, inklusive förnybara energikällor på plats eller i närheten. Mycket arbete har utförts kring att minska energianvändningen, och då särskilt värmebehovet, i våra byggnader. Medan värmeanvändningen i svenska kontor generellt sett minskar, så ökar kylbehovet. Nyligen presenterades en licentiatavhandling om energieffektiva kontorsbyggnader med fokus på att även reducera behovet av kyla (Flodberg, 2012). Däremot finns det få utredningar kring hur det resterande kylbehovet ska tillgodoses för att uppfylla direktivet.

Teknikmöjligheterna att tillgodose kylbehovet baserat på förnybar energi är många. Frikyla kan utnyttjas i form av kall uteluft eller kallt vatten från närliggande sjö, vattendrag, hav, eller i form av kall mark/grund. När frikylan inte räcker till krävs någon form av aktiv kyla, vilken kan produceras i el-, ång- eller hetvattendrivna kylmaskiner, antingen i fjärrkylanläggningar eller lokalt. Den el som används i kompressionskylmaskiner kan antingen tas direkt från elnätet eller vara lokalt producerad, exempelvis från solceller, se Figur 1, eller från biokraftvärmeverk. På liknande sätt kan lågtemperatur-absorptionskylmaskiner drivas av fjärrvärme eller med lokalt producerad värme från solfångare, se Figur 2, eller hetvattenpannor/kraftvärmeverk eldade med biobränsle.

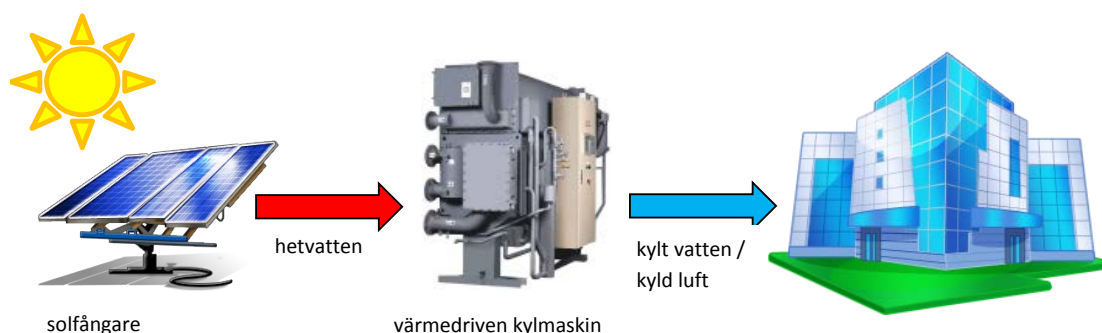
Ur energieffektivitetssynpunkt finns det en brytpunkt för då elbaserade kylsystem är att föredra framför värmebaserade kylsystem, och här skiljer sig förutsättningarna idag jämfört med tidigare. Jämfört med äldre eldrivna kompressionskylmaskiner kan nya avancerade kompressions-kylmaskiner erhålla mycket högre prestanda, särskilt i delast om de utrustas med varvtalsstyrning. Nya hetvattendrivna absorptionskylmaskiner har endast något högre prestanda än äldre kylmaskiner, men kan numera drivas med allt lägre drivtemperaturer, vilket är en viktig aspekt om dessa drivs med hetvatten från solfångare, kraftvärmearläggningar och industriell spillvärme.

Medan tekniklösningarna är många saknas tillräckligt underlag kring den senaste kyltekniken för att kunna utföra detaljerade beräkningar. Det är oklart hur lokal

generering av förnybar el och värme till kylproduktion behandlas i byggreglerna samt hur styrmedel och tekniska regleringar påverkar val av kyllosningar.



Figur 1 Principskiss för solenergidriven kyla med ett elbaserat system.



Figur 2 Principskiss för solenergidriven kyla med ett värmebaserat system.

Syfte och målgrupp

Syftet med studien är att göra en inventering av tillgängliga kyltekniker samt en undersökning av vilka förutsättningar som råder kring olika komfortkyllosningar baserad på förnybar energi i nybyggda kontorshus. Målet är att visa på vilka kylteknikalternativ som framstår som mest fördelaktiga för kontorshus givet olika förutsättningar samt att identifiera vad som behöver utredas vidare.

Projektet vänder sig i första hand till entreprenörer och projektörer inom kontorsbyggnad för att öka kunskapen om pågående utveckling och förutsättningar kring alternativa kyllosningar. Medan projektet är avgränsat till komfortkylning av kontorsbyggnader, kan resultaten givetvis nyttjas till kunskapsspridning för andra typer av byggnader och kylapplikationer.

Metodik och avgränsningar

Projektet har pågått under första halvåret av 2013. Genomförandet av projektet består i huvudsak av tre delar:

1. **Teknikinventering** och undersökning av förutsättningar som utgör möjligheter och hinder för olika kyllosningar i kontorshus. Detta innefattar dels att inventera tillgänglig kylteknik och förnybar energiteknik, vilket omfattar övergripande litteraturstudier och avstämning med leverantörer och universitet. Dels omfattar undersökningen att ta reda på hur lokal generering av förnybar el och värme till kylproduktion behandlas i byggreglerna samt hur styrmedel och tekniska regleringar påverkar val av kyllosningar. Utöver detta ingår att inventera befintliga kyllosningar och installationer av förnybar energi för nybyggda och nyligen renoverade kontorshus.

Fastighetsägare inom BELOK har tillfrågats att delta genom att fylla i ett frågeformulär innehållande nio frågor för kontorshus (eller för den del av byggnaden som består av kontorslokaler) som är byggda eller renoverade 2007 eller senare. Frågorna rör val av lösning för ventilationssystemet, nyttjande av frikyla, val av aktiv kyla (fjärrkyla eller kylmaskiner), samt eventuella installationer av förnybar energiteknik i anslutning till byggnaderna (se Bilaga 1). Av 16 tillfrågade medlemsrepresentanter har formulärsvar erhållits från fem fastighetsägare omfattande totalt tio byggnader, varav sju utgörs av nybyggnationer och resterande av renoveringar; tre har svarat att de inte har någon relevant byggnad för inventeringen; för hälften av de tillfrågade saknas svar.

2. **Dimensionering** av kyl- och effektbehov samt av kylsystem har bestämts utifrån ett typkontor som precis uppfyller energikraven för lokaler med annan uppvärmning än elvärme. Som typkontor antas ett nybyggt renodlat kontor placerat i Stockholmsregionen. I tillägg presenteras kyleffektbehovet och årsbehov av kyla för ett motsvarande lågenergikontor för att påvisa skillnader i dimensioneringsförutsättningar (används dock inte i vidare beräkningar i denna förstudie).
3. **Illustrerande beräkningsexempel** tas fram över brytpunkter mellan el- och värmebaserade kylsystem drivna med solenergi eller biobränsle, vid olika förutsättningar. Detta syftar till att visa på vilka kylteknikalternativ som framstår som mest fördelaktiga givet olika förutsättningar för kontorshus.

TEKNIKINVENTERING

Teknikinventeringen omfattar att identifiera förutsättningar och vilka tekniker som används i nybyggda och nyligen renoverade kontorshus, samt att identifiera tillgängliga kyltekniker och kombinationer med förnybar energi på marknaden.

Förutsättningar för komfortkyla i nya kontorshus

I detta avsnitt utreds hur byggregler och olika styrmedel påverkar utformningen av komfortkylsystem som baseras på förnybar energi. Dessutom görs en inventering av vanliga kylsystemlösningar i nybyggda kontorshus i Sverige.

Begränsningar och möjligheter i svenska byggregler

Till skillnad från många andra länder så används inte viktningfaktorer i de svenska energikraven för att styra val av energikälla. Istället används andra styrmedel för att reglera energikällor, såsom energipriser och andra ekonomiska incitament (statliga stöd för förnybar energi, koldioxidskatter, nettodebitering m.m.), handel med utsläppsrätter, elcertifikat, hållbarhetskriterier för biobränslen, ursprungsgaranti för el samt lokala beställarkrav och kommunala planbestämmelser.

Boverket ställer krav på byggnadens energianvändning, dvs. köpt energi för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi. Boverkets byggregler (Boverket, 2012) är utformade som funktionskrav vilket ska möjliggöra för byggherren att fritt välja kostnadsoptimala tekniska lösningar liksom förnybar energi.

Byggreglerna ska vara teknikneutrala. Dock har Boverket valt systemgränser som kan påverka byggherren vid val av kyltekniklösning och förnybar energi. Syftet med detta är att skapa incitament för att minska elanvändningen i byggnader, exempelvis är det mycket tuffare energikrav för eluppvärmda byggnader. Vidare räknas komfortkyla som produceras med eldrivna kylmaskiner upp med en faktor 3 (om det inte är en eluppvärmd byggnad som redan har hårdare krav). Detta främjar användandet av frikyla eller annan kyla som produceras med förnybar energi. Uppräkningen av elen för komfortkyla innebär också att fjärrkylans prestanda blir mer jämförbar med den eldrivna kylmaskinens prestanda, vilket gynnar byggnader med fjärrkyla.

Enligt Boverkets byggregler får förnybar energi från solen enbart tillgodoräknas i den specifika energianvändningen om solfångarna och solcellerna är placerade på huvudbyggnad, uthus eller byggnadens tomt och i den omfattning byggnaden kan tillgodogöra sig energin. Detta innebär att producerad solenergi som inte kan användas momentant i byggnaden och som levereras till el- och fjärrvärmenät inte kan reducera den specifika energianvändningen. Denna reglering finns till för att solenergi inte får överproduceras på bekostnad av försämrat klimatskal.

Regleringen rimmar dock väl med att använda solenergi för komfortkyla, eftersom kylbehovet är som störst under sommarhalvåret när det finns som mest solenergi i Sverige.

Förnybar energi från småskalig vindkraft omnämns inte alls i byggreglerna. Boverket anser att ett småskaligt vindkraftverk inte är en integrerad del av byggnaden utan klassas som ren energiproduktion, vilken inte ska omfattas av byggreglerna (Boverket, 2011). Därför får lokalt producerad vindkraft inte tillgodoräknas i byggnadens specifika energianvändning.

Även om Boverket begränsar vilken sorts förnybar energi som kan tillgodoräknas i byggnadens specifika energianvändning, finns det inget i byggreglerna som hindrar användandet av exempelvis vindkraft för att producera el till komfortkyla. Den förnybara energin kan tillgodoräknas vid klassning av nollenergihus. Enligt den mest vedertagna svenska kravspecifikationen för nollenergihus, FEBY 12 (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2012), gäller (utöver kraven för passivhus) att summan av levererad viktad energi *till* byggnaden skall vara mindre än eller lika med summan levererad viktad energi *från* byggnaden under ett år. Här används alltså olika viktningsfaktorer beroende på energikälla och dessutom får energi från lokala vindkraftverk tillgodoräknas.

Dessutom får överproducerad energi som levereras till el- och fjärrvärmenäten medräknas enligt FEBY 12. Dock gäller att all energi måste produceras på den till byggnaden tillhörande fastigheten. Detta kan innebära problem för stora kontorsfastigheter inne i stadsbebyggelse, där byggnadsskalet och tomten inte räcker till för att producera den stora mängd energi som ändå behövs för att driva en stor fastighet, trots att den är energieffektiv.

Vanliga lösningar i nya kontorshus

Den vanligaste kylsystemlösningen för nybyggda kontor i Sverige är att ha luftburen kyla och variabelt ventilationsflöde (VAV-system). Vissa utsatta rum kompletteras ibland med vattenburen kyla. Denna slutsats baseras dels på en state-of-the-art-studie av lågenergikontor i norra Europa (Flodberg, 2012), och dels på svaren på frågeformuläret från fastighetsägarna i BELOK.

En sammanställning av svaren från medlemmarna i BELOK presenteras i Bilaga 2. Totalt finns det uppgifter om nio fastigheter i Stockholmsregionen, Göteborg och Malmö som drivs av Akademiska Hus, Diligentia, Midroc och Swedavia. Dessutom har Vasakronan svarat hur de generellt designar nybyggda kontor i Stockholmsregionen vilket i sammanställning räknas som en fastighet.

Samtliga av de inrapporterade fastigheterna har ett kylbatteri i luftbehandlingsaggregatet för att kyla ventilationsluften, 6 av 10 kompletterar dessutom med vattenburen kyla i vissa rum. 8 av 10 fastigheter har behovsstyrd ventilation med VAV-system, alternativt i kombination med CAV-system (konstant ventilationsflöde). Två av fastigheterna har renodlade CAV-system men dessa är bägge renoveringsprojekt och det har troligtvis inte varit rimligt att installera VAV-system av utrymmesskäl.

5 av 10 rapporterar att de helt eller delvis använder fjärrkyla. 4 av 10 har installerat eldrivna kylmaskiner och flertalet av dessa har varvtalsstyrda

kompressorer med EER-värden kring 4-5. Två fastigheter har värmedrivna absorptionskylmaskiner och den ena av dessa drivs av förnybar energi från biobränsle och spillvärme.

Eftersom samtliga fastigheter kyler med ventilationsluften är det rimligt att anta att frikyla utnyttjas en stor del av året när kall uteluft tas in direkt i aggregatet. De flesta (7 av 10) har dessutom mer sofistikerade lösningar för frikyla såsom kyltorn, frikylebatteri, marklager och akvifärlager (grundvatten).

Endast ett fåtal av fastigheterna har någon form av förnybar energi för värme- el- och kylproduktion. En fastighet har biobränsleanläggningar både för värme och för absorptionskyla. En fastighet har solceller för elproduktion. En stor fastighet använder akvifärlagret i en närliggande rullstensås för att pumpa upp och ner både varmt och kallt vatten. I en annan fastighet har man testat solfångarvärme för sorptiv kyla men upplevt problem med fukt och dålig lukt och frångått denna lösning.

Tillgängliga kylmaskiner på marknaden

I detta avsnitt presenteras tillgängliga kylmaskiner på marknaden samt övergripande om pågående forskning och utveckling inom området.

Eldrivna kylmaskiner

Inventeringen visar att det är svårt att hitta små kompressionskylmaskiner med lika hög prestanda som för stora kylmaskiner, som används till exempelvis fjärrkylproduktion, men utveckling pågår. Utveckling pågår för att förbättra verkningsgrad på eldrivna kylmaskiner upp till 250 kW; exempelvis kan en mikrokanalvärmväxlare (MCHX) reducera köldmediefyllningen samt effektivisera värmväxlingen mellan luft och köldmediet i en luftkyld vätskekylare (Carrier AB, produkt 30RB).

En ständig utveckling sker mot mer effektiva kompressorer, exempelvis genom att kompressorens konstruktion optimeras för givna tryckförhållanden, samt att effektiva permanentmagnetmotorer kombineras med varvtalsstyrning (Danfoss VZH compressor 2012). Prisbilden för varvtalsstyrda kompressorer är fortfarande hög, men den tekniska utvecklingen som sker väntas leda till lägre och mer konkurrenskraftiga priser inom några år.

Kringutrustningen med elektriska motorsystem som pumpar och fläktar är ofta varvtalsstyrda och blir mer energieffektiva. Från och med januari 2013 är det krav på förbättrad effektivitet enligt ekodesigndirektivet (Europaparlaments och rådets direktiv, 2009). Pumpleverantörerna har under en längre tid haft kännedom om direktivets genomförande och därför satsat på utveckling av godkända energieffektiva produkter. Från 2015 kommer kravet utvidgas till att även gälla exempelvis inbyggda pumpar, vilket ytterligare ökar systemverkningsgraden.

Ett större fokus läggs idag på att reglera och samordna kylmaskiner och kringutrustningen för att erhålla lägre energianvändning och driftsäkrare system. Vid system under 250 kW används ofta flera mindre aggregat, vilket även ger en

större redundans och enklare installationer och placeringar pga. maskinernas mindre fysiska storlek. Det är exempelvis relativt sällsynt att leverantörer erbjuder varvtalsstyrning till små luftkylda kompressionskylmaskiner. Enligt Tony Johannesson på Carrier AB (2013) beror detta dels på att varvtalsstyrning är avsevärt mycket dyrare per installerad kyleffekt för små jämfört med stora kompressionskylmaskiner. Varvtalsstyrningen är ofta för dyr i förhållande till vad det ger i förbättrad prestanda och till minskade kostnader för köpt energi. Detta innebär att kontorshus med litet kylbehov endast till viss del kan ta del av den teknikutveckling som skett inom kompressionskyltekniken.

Enligt Eva Hellman (2013), Bengt Dahlgren AB, är de ledande leverantörerna av vätskekylare i effektspannet 100-300 kW i Sverige idag (utan inbördes ordning): Daikin, Climaveneta (säljs via AQS), Clivet (säljs via SKIAB), Carrier, RC och Ciat (säljs via Dahl) samt Aermec (säljs via Kylma).

Värmedrivna kylmaskiner

Stora värmedrivna kylmaskiner har funnits i många årtionden, och är ofta designade för att möta ett baslastbehov av kyla (Mugnier och Jakob, 2012), och inte för att användas tillsammans med solenergi (IEA, 2011). De huvudsakliga framstegen som skett det senaste årtiondet har varit inom området att utveckla mindre kylmaskiner (Mugnier och Jakob, 2012 samt IEA, 2011). Henning och Wiemken (2009) uppger att Europeiska företag har startat utvecklingen av hetvattendrivna kylmaskiner i storleksordningen 50 kW ner till 5 kW, men även att det vid tidpunkten endast fanns väldigt få absorptionskylmaskiner med en kylkapacitet under 100 kW.

Den vanligast förekommande värmedrivna kylmaskinen för vattendistribuerad kyla, och som tillverkas av flertalet tillverkare globalt, är absorptionskylmaskinen med litiumbromid och vatten som arbetspar. Dessa kan drivas av gas, solvärme, spillvärme osv. Med en enstegs absorptionsprocess krävs drivtemperaturer på åtminstone 70-90°C, vilket ger verkningsgrader på mellan 0.6 och 0.8, medan en tvåstegs absorptionsprocess kräver drivtemperaturer på minst 140°C och ger en verkningsgrad upp till ca 1.2 (Kovacs. m.fl., 2009). Forskning pågår med att sänka värmekällans temperatur samt med att förbättra verkningsgraden.

Enligt Mugnier och Jakob (2012), är den senaste utvecklingen inom området värmedriven kylteknik trestegs absorptionskylmaskiner med EER-värden (COP) uppemot 1.8, vilket kan jämföras med tvåstegsmaskiner med EER-värden uppemot 1.2 och enstegsmaskiner med EER-värden uppemot 0.8.

Evaporativ kyla fungerar så att fukt tillsätts direkt i tilluften och evaporerar tills önskad temperatur uppnås. Tilluftens ursprungliga fuktighet begränsar mängden fukt som kan tillsättas eftersom man då når mättnadstillstånd. På grund av risk med fuktigt klimat har denna lösning inte studerats vidare inom denna förstudie.

En sorptionskylmaskin består av en avfuktare (fuktupptagande rotor) som torkar luften och en evoporativ del som kyler luften. Tekniken är kommersiellt gångbar,

exempelvis har Munters en anläggning som kallas DesiCool (Munters, 2012). Vid varma och fuktiga dagar ger sorptiv kyla en högre effekt och mindre risk för fuktproblem än ren evaporativ kyla. Solvärmedriven sorptiv kyla har testats på kontorshuset Pennfäktaren, på Vasagatan i Stockholm. Pennfäktaren, som ägs av Vasakronan, är ett 70-tals hus som totalrenoverades 2009. Där installerades fyra ventilationsaggregat, varav två var konventionella aggregat, och två var av typen Munters DesiCool som drevs med hetvatten från solfångare. Erfarenheterna visar att man klarat att tillgodose kyllasten, men på grund av fukt- och luktproblem har de två DesiCool-aggregaten ersatts med ventilationsaggregat med konventionell kyla.

Adsorptionskylmaskiner använder solida sorptionsmaterial istället för vätskor. De mest kommersiella systemen använder vatten som kylmedie och silikongel alternativt Zeolith som sorbent. Processen drivs av temperaturer på 60-80°C och når vid höga temperaturer ett EER på 0.6. Kylmaskinen är enkel och robust, men förhållandevis stor och tung. Det finns stor potential för förbättring i konstruktionen, exempelvis av värmeväxlare, vilket skulle reducera både vikt och volym. Idag finns endast, ett fåtal tillverkare av adsorptionskylmaskiner (SOLAIR project, 2009).

Kylteknik baserad på förnybar energi

I detta avsnitt presenteras möjligheten att basera kylproduktion på förnybar energi och pågående utveckling inom området. Även om det finns flera möjliga kyllosningar med förnybar energi, fokuseras här enbart på el- och värmedriven kyla i kombination med sol - och bioenergi.

Komfortkyla är troligen den solenergitillämpning för vilken tillgång och efterfrågan tidsmässigt stämmer allra bäst överens. Detta konstateras i Fjärrsynrapporten "Konkurrenskraftig soldriven kyla" (Kovacs. m.fl., 2009). I studien presenteras resultat från simuleringar för en befintlig industrifastighet i Borås som visar att lasten för komfortkyla och soldriven kylproduktionen sammanfaller ganska väl. Medan solvärmedrivna kylmaskiner når sitt maximum mitt på dagen (med söderriktade solfångare) är kyllastens topp förskjuten mot eftermiddagen. Därför konstanteras att det behövs någon form av lagring av energi.

Den samtidighet mellan behov och produktion som erhålls med solenergibaserad kyla sommartid, saknas för andra förnybara energitekniker för kylproduktion. Vindkraftens produktion är kopplad till vindprofilen, varför det krävs stor lagringskapacitet om elen ska användas till att producera kyla. Det finns därför ingen anledning att hänföra denna el till just kylproduktionen. Enligt en IEA-rapport inom Solar Heating and Cooling (SHC)-programmet ses inte heller installationer av solceller i kombination med eldrivna kylmaskiner som solkylsystem eftersom solcellsanläggningarna drivs oberoende av kylanläggningarna (IEA SHC, 2011). Dock nämns att detta kan ändras om intäkterna för såld el blir lägre än priset på el, vilket är fallet i Sverige idag. I en artikel i Energi & Miljö (EM 2/2013) uppger Jan-Olof Dalenbäck (Svensk Solenergi, Chalmers tekniska högskola) att ersättningen för den el som produceras i solceller i Sverige ofta bara är en tredjedel

jämfört med priset på köpt el. En högre integration av el från intermittenta förnybara energikällor kan påverka prisbilden ytterligare. Detta innebär att styrningen av en anläggning är viktig för att så långt som möjligt utnyttja samtidigheten mellan behov och produktion och minimera överskott.

För att möta det kraftigt varierande komfortkylbehovet i kontorshus med kylmaskiner som drivs av värme och/eller el från bibränsleeldad hetvattenpanna, kraftvärme- eller kondensanläggning (endast elproduktion), krävs antingen en stor anläggning som till största del körs i delast eller en mycket stor ackumulatortank. En sådan lösning bedöms vara mer lämplig för storskalig produktion i ett fjärrvärme- och fjärrkylnät än för enskilda kontorshus. Med den eventuella framtida möjligheten att exportera värme till fjärrvärmenätet (och eventuellt kyla till ett fjärrkylnät) genom så kallat tredjepartstillträde, skulle dock en anläggning kunna installeras med ett större effektbehov än vad kontorshuset kräver. En bibränslebaserad lösning skulle kunna vara ännu mer intressant om man tittar på möjligheten att producera el, värme och kyla samtidigt, så kallad trigeneration.

En annan aspekt av bibränslebaserad produktion är att storskaliga anläggningar har möjlighet till bättre avgasrening än vad småskaliga anläggningar har, vilket är en viktig aspekt för tätbebyggda områden. Vad som även talar emot alternativet med en bibränslepanna nära en kontorsbyggnad är att tillåten byggnadshöjd ofta är begränsad. Detta innebär i flera fall att skorstenen till en eldningspanna inte kan rymmas inom denna begränsning. Biibränslebaserade system för komfortkyla i Sverige är få, och driften av en biibränsleanläggning är vanligen frikopplad ifrån kyllasten.

Utifrån detta bedömdes tidigt i projektet att solenergibaserad kyla är den mest intressanta lokala lösningen för komfortkyla baserad på förnybar energi i kontorshus, varför studien har fokuserat på detta. Biibränslebaserad kylproduktion behandlas endast översiktligt.

Solelddriven kyla

En elbaserad kyllosning med kompletterande solceller kan alltid leverera den energi byggnaden kräver i och med att el kan köpas och säljas. Samtliga byggnader som har både eldrivna kylmaskiner och solcellsinstallationer kan sägas ha solelbaserad kyla, beroende på var man sätter systemgränsen. Eldrivna kylmaskiner finns i mycket små storlekar men oftast med lägre prestanda än större eldrivna kylmaskiner. Solcellsprestandan påverkas inte av antalet installerade solcellsmoduler, men däremot minskar troligtvis de relativa systemförlusterna vid större solcellsinstallationer.

Enligt Ricardo Bernardo (2013) är solinstrålningen i södra Sverige ca 1000 – 1100 kWh/m² och år på en horisontell yta. Bernardo uppskattar årlig energiprestanda för solceller i södra Sverige till ca 120 – 150 kWh/m² och år. Intervallet för effekten är ca 130 – 170 W/m² givet en solinstrålning på 1000 W/m².

Solvärmedriven kyla

Plana solfångare och oglasade solfångare kan nyttja både direkt och diffus solinstrålning, vilket innebär att dessa kan generera värme även under molniga dagar (IEA SHC, 2012). Solfångarnas prestanda varierar kraftigt med kollektortemperaturen i förhållande till omgivningens temperatur. Ju lägre kollektortemperatur desto högre prestanda. Plana solfångare har en högre prestanda vid låga arbetstemperaturer men verkningsgraden faller snabbt vid högre arbetstemperaturer. Vakuumsolfångarnas prestanda faller inte lika snabbt vid ökad arbetstemperatur.

Plana solfångare är effektivast för kollektortemperaturer på 50°C över omgivningstemperaturen, medan vakuumsolfångare är mer effektiva för högre temperaturer. Plana solfångare klarar arbetstemperaturer uppemot 100°C och vakuumsolfångare klarar arbetstemperaturer uppemot 150°C. Koncentrerade solfångare fokuserar solinstrålningen från en stor solfångararea till en lite yta med hjälp av parabol eller speglar, vilket möjliggör mycket höga arbetstemperaturer, upp till 400°C. Dock kan dessa solfångare endast nyttja den direkta solinstrålningen, varför dessa lämpar sig bäst i områden med begränsad molnighet (IEA SHC, 2012).

I en artikel i Byggvärlden (2010-03-15) presenteras en försöksanläggning med koncentrerande teknik på taket på Närvård Härnösand, som anges vara den första anläggning som använder koncentrerande teknik i kombination med solceller för att generera solkyla. Parabolen följer solen och koncentrerar solljuset till en yta med solceller som producerar el. En vattenkrets kyler anläggningen och kylvattnet leds sedan till en klimatanläggning som lagrar värmen i salt och omvandlar den lagrade värmen till kyla. Absolicon var kända för deras hybridsolfångare som både producerar el och värme, men enligt en artikel i Energi och Miljö (EM 2/2013) gick företaget i konkurs i januari 2013. Climatewell har utvecklat klimatanläggningen i Härnösand som var företagets första anläggning i Sverige.

När årlig energiprestanda (kWh/m², år) jämförs mellan olika typer av solfångare ska energiproduktionen presenteras per glasad yta (aperturarean, som inkluderar ytan mellan vakuumsolfångarna), och inte per absorberingsytan som många tillverkare gör (Ricardo Bernardo, 2013). Effekten och den årliga energiprestandan för solfångarna kan variera betydligt beroende på hur systemet är uppbyggt (ackumulatorer och/eller koppling till fjärrvärmesystemet) och på själva värmelasten.

Variationen av solfångares verkningsgrad beror på deras specifika egenskaper och förutsättningar (optisk verkningsgrad, värmeförluster samt vinkelberoende effekter). Dessutom varierar prestandan med arbetstemperaturen, in och ut från solfångare, som nämnts tidigare. Returtemperaturen tillbaka till solfångarna varierar och beror på solinstrålningen, antal solfångare och deras egenskaper, samt beroende på ackumulatorkapaciteten samt värmelasten (Ricardo Bernardo, 2013). En hög värmeanvändning samt en större ackumulatortank på värmesidan ger en lägre returtemperatur till solfångarna, vilket ökar deras verkningsgrad.

En aspekt att ta hänsyn till då absorptionskylmaskiner drivs av hetvatten från solfångare är att en hög returtemperatur från kylmaskinerna (som ofta arbetar med en temperaturdifferens på enbart 10°C) påverkar solfångarnas prestanda negativt. Höga returtemperaturer är även ett problem för kraftvärmeanläggningar.

För att få en mer korrekt uppskattning av energiprestanda givet olika arbetstemperaturer för plana solfångare och vakuumsolfångare krävs detaljerade simuleringar för specifika solfångare med hänsyn till värmelasten och storlek på ackumulatortanken. Det finns en optimal storlek för ackumulatortanken på värmesidan som bör beräknas i samband med värmelasten (som härrör från komfortkylasten).

Installationer av mindre solvärmedrivna kylanläggningar har ökat, särskilt i Spanien. Dock stannade utvecklingen av 2008 på grund av finanskrisen. 2011 fanns det dock flera hundratals installationer, huvudsakligen i centrala Europa, Mellanöstern, Australien och medelhavsöarna (IEA SHC, 2012). 2011 installerades i världen 750 solvärmedrivna kylsystem, vilket även inkluderar små installationer (ned till mindre än 20 kW) (Mugnier och Jakob, 2012). Även på svensk front konstateras att tekniken med solvärmedriven kylproduktion är på frammarsch, särskilt för små anläggningar (100 kW ned till 5 kW), men att antalet installerade och välfungerande anläggningar i världen än så länge är få (Kovacs m.fl., 2009). 2007 uppges ca 250 anläggningar finnas installerade i Europa, men att det vid tidpunkten inte fanns någon kommersiell anläggning i Sverige, bara planer.

För drivtemperaturer under 110°C finns ett stort utbud av robusta och kostnadseffektiva solfångare, medan det finns desto färre solfångare som klarar högre temperaturer (IEA SHC, 2011). Koncentrerande teknik är fortfarande ung och utveckling på området behövs. I IEA-rapporten "Solar cooling position paper" nämns utveckling av mindre tvåstegsmaskiner som ett viktigt utvecklingsområde (IEA SHC, 2011).

Trots att komponenterna för solvärmedriven kyla redan finns på marknaden, är solvärmekylmarknaden fortfarande något av en nischmarknad under utveckling (Mugnier och Jakob, 2012). Ett av hindren tycks just vara bristen av praktisk kunskap om design, styrning och drift av systemen (Henning och Wiemken, 2009).

Ur en teknisk synvinkel uppges den huvudsakliga begränsningen för solvärmebaserad kylteknik ligga på systemnivå (IEA SHC, 2011). Det finns brister vid integrationen av de olika komponenterna till ett helhetssystem. Det finns dessutom få företag som erbjuder helhetslösningar för solvärmedriven kyla. Ett exempel är företaget SOLID (2013) i Österrike som byggt flera anläggningar med solvärmedriven absorptionskyla runt om i världen. YAZAKI (2013) är ett japanskt företag som tillverkar absorptionskylmaskiner för solkyla. I Sverige finns företaget ClimateWell (2013) som erbjuder solkyllosningar. Det krävs en utvecklad driftstrategi för att systemet ska köras så effektivt som möjligt i fullast och under dellast samt för att få så hög tillförlitlighet av systemet. Systembrister vad gäller design och styrning resulterar i en hög elanvändning för stödutrustningen.

En slutsats som dras är vikten av energieffektiv stödutrustning (IEA SHC, 2011). Exempelvis kräver kyltorn mycket el och dessa är ofta inte varvtalsstyrda. Små våta kyltorn är ofta relativt dyra och har orimligt stort behov av underhåll. Torra kyltorn kan kräva mer el och ofta är returtemperaturen för hög för kylmaskinerna. Hybridsystem (torr/våt) ses som en intressant lösning, men det finns endast få av dessa, och som inte är utvecklade för solvärmedrivna kylsystem.

En annan systemaspekt av solvärmedriven kyla är att möjligheten till export av överskottsvärme ofta är begränsad. Detta är en viktig parameter vid dimensionering av en anläggning så att solvärmesystemet drivs så energieffektivt som möjligt, med utnyttjande av värme till andra ändamål, såsom för uppvärmning av tappvarmvatten, och till komfortvärme under vår och höst.

Biobränsle driven kyla

Kombinationen med biobränsle och kyla är kanske inte lika uppenbar som soldriven kyla, men det finns en hel del forskning på området, ofta i kombination med samtidig el- och värmeproduktion. Biobränslebaserade system för komfortkyla i Sverige är få, och driften av en biobränsleanläggning är vanligen frikopplad från kyllasten.

Akademiska hus har absorptionskylmaskiner på Chalmers tekniska högskola som drivs dels av fjärrvärme och dels av två biobränsleeldade anläggningar på Chalmers Kraftcentral (Loveryd, 2013). Dessa utgörs av en fastbränsleeldad hetvattenpanna och en biooljaeldad ångpanna som försörjer campusområdet med värme och delar av elbehovet. I och på dessa pannor bedrivs forskning, idag framförallt kring bioförgasning. Total årlig produktion från dessa är ca 30 000 MWh värme och 100-3000 MWh el. Det finns även kylmaskiner/värmepumpar på området, som tillsammans med övriga komponenter driftoptimeras efter bästa ekonomi.

Redan år 2006 konstaterades att kunskapsläget inom områdena småskalig kraftproduktion och småskalig värmeproduktion (enheter under 50 kW) var stor i Sverige (Energimyndigheten, 2006) och att det dessutom fanns ett brett utbud av företag och organisationer som projekterar, tillverkar, säljer och underhåller sådana anläggningar. Däremot presenteras färre aktörer inom småskalig bränslebaserad kraftvärme, men desto fler inom mikrokraftvärme (under 5 kW_{el}). Stirlingmotorn som används för kommersiell småskalig kraftvärme i Europa nämns som en möjlig lösning för biobränslen, även om naturgas närmast uteslutande används i dessa.

Vid tidpunkten (2006) utvecklade ComPower ett kommersiellt kraftvärmesystem i storleken 25 kW för den europeiska marknaden med naturgas som bränsle, samt ett mikrokraftvärmeverk för förnybara bränslen i storleksordningen 2-3 kW (Energimyndigheten, 2006). 2013 finns att läsa på Energimyndighetens hemsida att "Compower, vid Ideon Innovation i Lund, utvecklar en värmepanna med mikroturbin som genererar både värme och el. Genom "kraftvärmeverket" i villor eller flerfamiljshus kan energikostnaderna i bästa fall minska till hälften" (Energimyndigheten, 2013 a).

Ett annat exempel som presenteras är utvecklingen av småskalig ”kraftvärme” (1-100 kW) som kombinerar solceller och biobränsle (rapsolja och pellets) (Energimyndigheten, 2006). Projektet gick under namnet *TPV-Thermophotovoltaic cogeneration* (SERC, 2009).

Potentialen för kraftvärme i storleksordningen 10-20 MW i fjärrvärme- och närvärmenät eller i industrin är stor i Sverige, men anläggningarna har låg prestanda och kostnaderna är höga (Energimyndigheten, 2012). Om producerad el används för att reducera inköp av el, så framhävs dock att även mycket små serietillverkade utrustningar för enskild småskalig kraftvärme som intressanta (ned till storlekar om 100 kW värme och 50 kW el). Risken för skärpta krav för utsläpp av partiklar och kolväten skulle dock kunna göra det svårt för småskalig biobränsleeldning i framtiden. Energimyndigheten (2013 b) har nyligen i ett samarbete mellan forskningsfinansiärer från Tyskland, Polen, Storbritannien och Sverige eftersökt forskning för att utveckla småskalig värme- och/eller elproduktion med fasta biobränslen (ERA-NET Bioenergy).

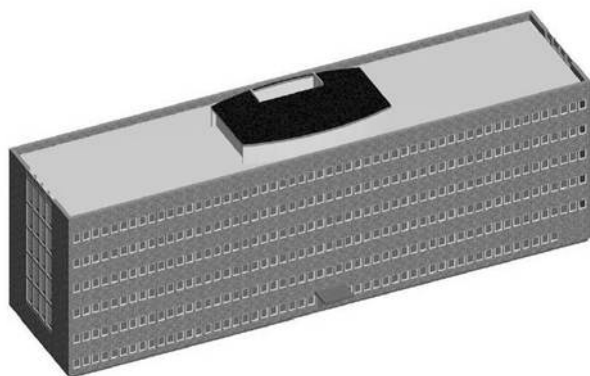
DIMENSIONERING FÖR ETT TYPKONTOR

I detta kapitel presenteras ett exempel på dimensionering av ett kylsystem baserad på förnybar energi givet förutsättningar för ett typkontor. Detta innefattar simulering av typkontorets energianvändning samt dimensionering av kylmaskiner och installationer av förnybar energi.

Interna kylsystem och kyl- och värmelaster i ett typkontorshus

I detta avsnitt beskrivs typkontorshuset som används vid dimensionering av kylmaskiner. Byggnadens installationstekniska förutsättningar grundar sig i resultatet från teknikinventeringen. Kontorets kylbehov och topp effekter har beräknats för att användas som input till kylmaskinsdimensioneringen.

Som typkontor väljs samma referenskontor som användes i en licentiatavhandling för detaljerade dynamiska simuleringar i energiberäkningsprogrammet IDA ICE 4 (Flodberg, 2012). Kontoret existerar inte mer än i systemhandlingar, men byggnadsformen och storleken är representativ för nybyggda, svenska, mellanstora kontorshus enligt state-of-the-art-studien i samma avhandling. Referensbyggnaden är långsmal och kompakt i sex plan med en uppvärmd golvyta, A_{temp} , på 6180 m² (se Figur 3). Fönstermängden i förhållande till fasaden är måttlig, 35 %, dessutom finns invändiga solskydd. Byggnadens klimatskal är inte särskilt välisolerat eller lufttätt, men det är någorlunda representativt för ett kontor som precis uppfyller nybyggnadsenergikraven. Brukarindata är hämtad från Sveby-programmets vägledning (Sveby, 2010). Byggnaden simuleras för Stockholmsklimat.



Figur 3 Skiss av referenskontoret (Christer Blomqvist, WSP).

För att ta hänsyn till framtida passivhus- och nollenergikontor, där energibehovet eftersträvas så lågt som möjligt, görs en simulering för en lågenergivariant med halverad energianvändning jämfört med referenskontoret. Detta kontor har ett klimatskal i passivhusstandard, utvändigt solavskärmning, större tillåten variation av inomhustemperaturen, högre temperaturverkningsgrad i värmeväxlaren och framförallt energieffektiv belysning och utrustning med lägre internvärme.

Beskrivning av internt ventilation- och kylsystem

Ventilationssystemet är ett VAV-system med luftflöden som tillåts variera mellan 7 och 100 l/s och person under drift. Flödet styrs med temperatur- och CO₂-givare. Ventilationssystemet antas vara helt avstängt på nätter och helger. Kylan distribueras med ventilationsluften. Dessutom antas styr- och reglerförluster reducera effektiviteten, både för värmen och för kylan, med faktor 0.81. Lufttemperaturen tillåts variera mellan 22-23°C i beräkningen, vilket är en vanlig måltemperatur i svenska kontor. I lågenergisimuleringen tillåts temperaturen variera mellan 21-24°C.

Kyl- och värmelaster

Referenskontoret är designat för att precis uppfylla nybyggnadskraven vad gäller specifik energianvändning för lokaler som har annat uppvärmningssätt än elvärme. För referensfallet visar sig värme och verksamhetsel vara dominerande energiposter. Kylbehovet är måttligt, 12 kWh/m² och år (se Tabell 1), vilket kan förklaras av rimlig fönstermängd, solskydd och ett stort luftläckage. Lågenergikontoret har ett litet kylbehov på 4 kWh/m² och år, mycket tack vare minskad internvärme och snällare temperaturkrav. Detta kontor används inte för vidare beräkningar, men presenteras här som ett exempel för att visa på förutsättningar för kylan i ännu mer energinåla kontorshus.

Tabell 1 Energi och toppeffekter i typkontoret

	Referenskontor		Lågenergikontor	
	Energibehov (kWh/m ² och år)	Toppeffekt (kW)	Energibehov (kWh/m ² och år)	Toppeffekt (kW)
Kyla	12	502	4	197
Värme	34	212	22	170
Varmvatten inkl. vvc	6	11	6	11
Fastighetsel	20	80	15	33
Verksamhetsel	47	85	28	65

Trots det måttliga kylbehovet i referenskontoret är toppeffekten hög. Detta beror på att tillgängliga kyl- och värmeeffekter är helt obegränsade i IDA-simuleringarna. Det innebär att effekterna kan bli orimligt höga vissa timmar i simuleringen och detta visas som toppeffekt. Om tillgänglig kyleffekt begränsas kommer istället inomhustemperaturen att stiga något när kyleffekten momentant inte räcker till. Simuleringar för referenskontoret visar att vid en halvering av tillgänglig kyleffekt, jämfört med maximalt kyleffektbehov, enligt den ursprungliga IDA simuleringen, ökar inomhustemperaturen med maximalt 2.5 K under ett fåtal timmar de tre varmaste sommardagarna. Den nedjusterade kyleffekten motsvarar 40 W/m² A_{temp}.

Dimensionering av kylmaskiner och ackumulatorer

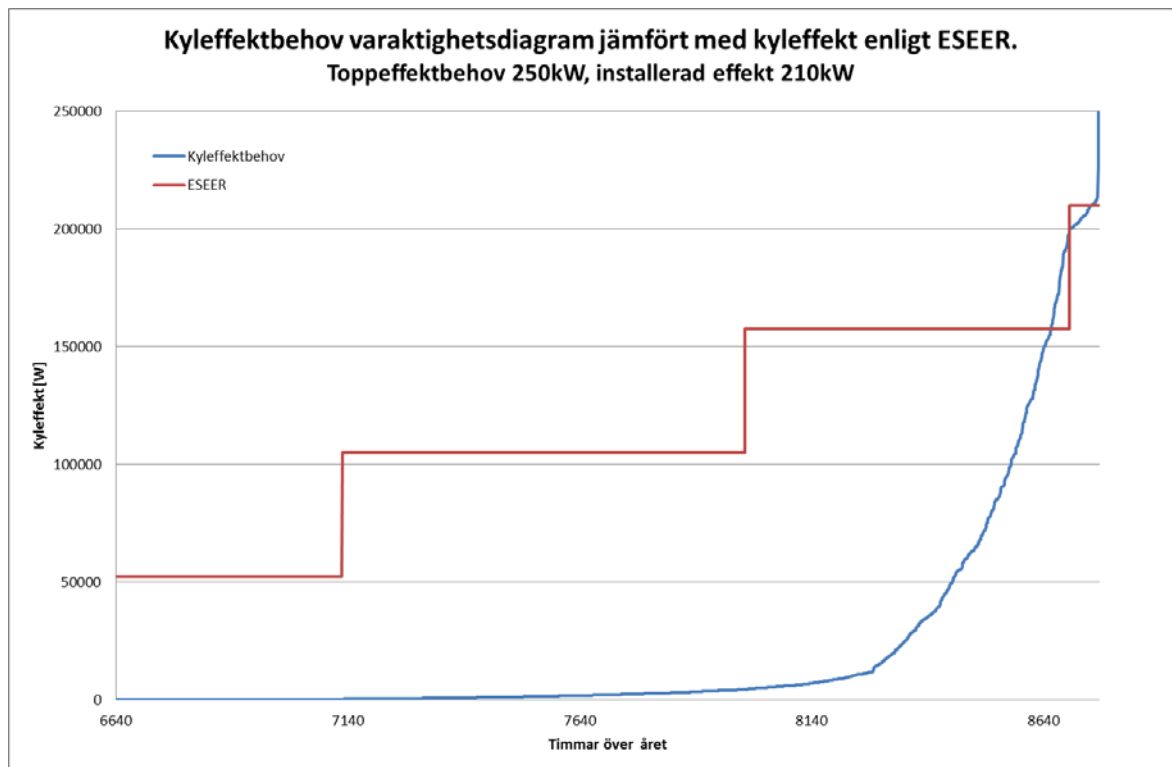
I detta avsnitt dimensioneras kylmaskiner och ackumulatorer för referenskontoret som presenteras i föregående avsnitt.

Effektkrav för kylmaskiner och behov av ackumulatortankar

Kyleffektbehovet varierar naturlig över året och dygnet. I system med förnybara energikällor tar vi vara på det faktum att kylbehovet i stort sätt följer solinstrålningen, med en grundlast av interlaster som belysning, datorer mm. Ackumulatortankar behövs för att jämna ut behovskurvan, dels för att slippa installera stora kylmaskiner som går på maxeffekt endast ett fåtal timmar per år, dels för att kunna möta låga effektbehov utan att om vartannat behöva starta upp och stänga ned kylmaskinen.

För ett värmedrivet kylsystem kommer även ackumulatortankarna behövas för värmelagring, eftersom kylmaskinen vid uppstart bör förses med hett vatten, samt säkerställa drift även då solen går i moln. Vid ett eldrivet kylsystem kommer det endast finnas behov av kylagring för att reglera kompressorns start/stopp intervall samt minska toppeffekten för kylmaskinen. Kylagring kan ske med kallt vatten eller med lagring av fasomvandlat material. Det enklaste är kylt vatten, vilket antas för vidare beräkningar i den här förstudien.

Eurovent är en europeisk branschorganisation för tillverkare av ventilations- och kylprodukter. De har tagit fram en säsongsverkningsgrad (ESEER) som bygger på en generell lastprofil för att få fram ett årsviktat EER-värde (Saheb m.fl., 2006). Vid en jämförelse av varaktigheten i den simulerade fastighetens kyleffektbehov med lastfördelningen enligt Eurovents definition av ESEER, se Figur 4, kan slutsatsen dras att kyleffektbehovet i Sverige inte har samma fördelning. Kyleffektbehovet för det simulerade kontorshuset ligger t.ex. under 25 % last 85 % av tiden, jämfört med 23 % av tiden enligt Eurovents lastprofil, se Tabell 2.



Figur 4 Varaktighetsdiagram för simulerat kyleffektbehov under kylsäsongen (blå kurva) samt lastprofil för typkontoret, enligt ESEER (röd kurva).

Eftersom EER vanligtvis blir bättre vid lägre laster kommer vi i denna förstudie använda ESEER för vidare beräkningar. I t.ex. Storbritannien använder man en säsongsverkningsgrad på samma sätt som ESEER, men med drifttiderna byggnadsspecifika. Det kan vara intressant att i en senare utredning fortsätta studera en eventuell mer relevant säsongsverkningsgrad som bättre motsvarar förutsättningarna i moderna kontorshus i Norden.

Tabell 2 Dellastprofil enligt ESEER och i referenskontor i Stockholm

Effekt	Drifttid enligt Eurovent	Drifttid i referenskontor Stockholm
100 %	3 %	3 %
75 %	33 %	5 %
50 %	41 %	7 %
25 %	23 %	85 %

Dimensionering av ackumulatortank för kyla:

Köldbärartemperaturen är bestämd till 14/18°C och tanken kommer således att laddas med den temperaturen när kyleffektbehovet är lägre än kylmaskinens produktionskapacitet.

Värmemängden i tanken är

$$E = m * \Delta T * cp$$

$$E = \text{Värmemängd [kJ]}$$

M = Massan [kg]

ΔT = Temperaturdifferans mellan temp in- och utlopp [K]

c_p = Specifik värmekapacitet [kJ/kg*K] (4,18 kJ/kg för vatten)

Med ovanstående formel ges en lagringskapacitet på enligt nedan:

$$1000 * (18-14) * 4,18 = 16,7 \text{ MJ} = 4,6 \text{ kWh/m}^3$$

Referensbyggnaden simulerades med obegränsad respektive maximerad tillgänglig kyleffekt 250 kW. Det senare resulterar i tre dagar över sommaren där inomhustemperaturen stiger mer än 1 K jämfört med det fall där kyleffekten är obegränsad. Om kylmaskinen dimensioneras för en topp effekt på 210 kW kommer det krävas en ackumulatortank som kan lagra 50 kWh vilket motsvarar 11 m³.

Eldriven kylmaskin med och utan varvtalsstyrning

Som indata för dimensionering av en eldriven kylmaskin används följande antaganden:

- Kyleffekt 210-250kW
- Köldbärartemperatur 14/18°C
- Dimensionerande utetemp max 27°C, min -20°C

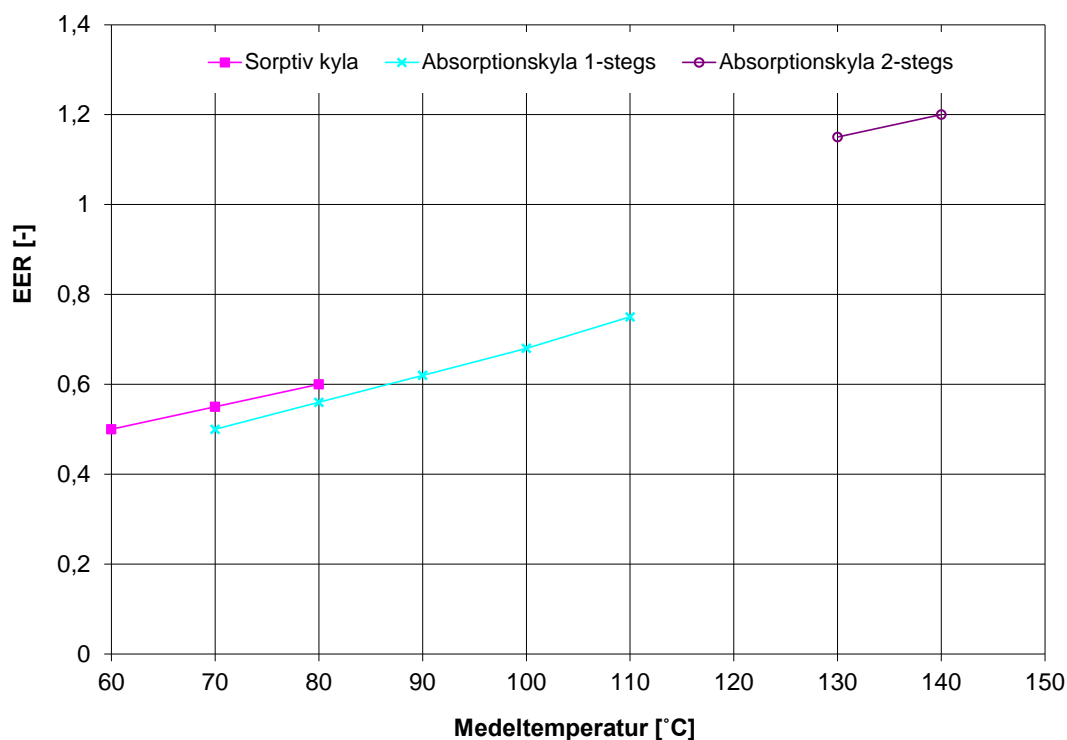
Simuleringar utfördes av AQS (Blom, 2013) för en luftkyld vätskekylare med eller utan stegstyrning eller varvtalsstyrning, se Bilaga 3. Resultaten visar att den bästa prestandan ges för en stegstyrd kylmaskin med EER på mellan ca 4 (i fullast) och ca 7 (vid 50 % delast), vilket med kylastprofilen enligt Figur 4, ger ett ESEER på ca 6.

Hetvattendrivna kylmaskiner

Inom projektet simulerades Carriers minsta enstegs-absorptionskylmaskin (350 kW) för olika drivtemperaturer. Resultaten visar att hetvattentemperaturer över 80°C påverkar verkningsgraden marginellt på det studerade aggregatet, EER ligger strax över 0.7. En högre hetvattentemperatur och ett större ΔT ökar däremot aggregatets tillgängliga kyleffekt (Sandell, 2013).

I dagsläget har Carrier inte så små kylmaskiner som är anpassade till typkontorets låga kylasteffektbehov, vilket gör att dimensioneringsförutsättningarna inte blir optimala. Därför används istället typiska värden för enstegs- och tvåstegs-absorptionskylmaskiner (som drivs med 100 respektive 140°C hetvatten) baserade på data i Kovacs m.fl. (2009), se Figur 5. För en enstegs- och tvåstegs kylmaskin, används EER på ca 0.7 respektive 1.2.

Samma referens används för antagna värden för sorptiv kyla i de illustrerande beräkningsexemplen. För sorptiv kyla används EER 0.5 och 0.6 vid 60 respektive 80°C drivtemperatur.



Figur 5 Ungefärliga EER-variationer som funktion av drivtemperatur för de olika typerna av värmedrivna kylmaskiner. Figuren och data är baserade på Kovacs m.fl. (2009).

Installationer av förnybar energi

I detta avsnitt beräknas behovet av solceller och solfångare utifrån behovet av el och värme till kylmaskinerna. På samma sätt dimensioneras en biobränslebaserad anläggning.

Installation av förnybar energi till en kylanläggning dimensioneras enbart för referenskontoret. Om takytan räcker för att möta detta behov med en solenergibaserad kyllosning, kommer det troligtvis räcka även för att möta kylbehovet för lågenergikontoret som presenteras i Tabell 1, såvida inte prestandan för ännu mindre kylmaskiner är avsevärt sämre än för de som antas för referenskontoret.

I dessa beräkningar tas ej hänsyn till de simuleringar som visat att kylbehovstoppen normalt sett kommer på eftermiddagen medan produktionen når sitt max mitt på dagen (Kovacs m.fl. 2009), utan här antas att ackumulatörer för kyla används för att hantera att topparna sker vid olika tillfällen på dagen. Dessutom tas ingen hänsyn till systemförluster varken för de el- eller värmebaserade lösningarna, vilka uppskattats till ca 10 % för både typerna av kyllosning (Kovacs m.fl., 2009).

Solceller

För att uppnå 210 kW kyleffekt med en kompressionskylmaskin som har ett EER på 4 i fullast krävs installation av solceller motsvarande en eleffekt på 53 kW. Vid en solinstrålning på 1000 W/m² antas optimalt riktade solceller ge 130-170 W/m² modularea (Ricardo Bernardo, 2013). Om produktionen kan matchas med lasten

med hjälp av ackumulatorer krävs därmed en solcellmodularea på mellan ca 300 och 400 m². Referenskontorets takyta är 1030 m² och bedöms därmed räcka för en solkylanläggning som ska kunna möta komfortkylbehovet med en soleldriven kylanläggning.

Solfångare

Figur 6 presenterar momentan prestanda (W/m² byggarea) för plana solfångare och vakuum-rörsolfångare vid olika solinstrålning (baserat på vinkelrätt infall). Plana solfångare ger en högre värmeeffekt vid en hög solinstrålning, medan vakuumrörsolfångare ger en högre effekt per byggarea vid en lägre solinstrålning och en högre kollektortemperatur. På grund av vakuumrörsolfångarnas utformning kan dessa bättre utnyttja snett infallande solinstrålning, vilket gör att dessa erhåller en högre årsprestanda (kWh/m², år) än plana solfångare, se Figur 7.

För ett solvärmebaserat kylsystem med en enstegs- eller tvåstegs kylmaskin (som drivs med 100 respektive 140°C hetvatten) med EER på ca 0.7 och 1.2, enligt Figur 5, krävs en värmeeffekt på 309 och 175 kW. Med en antagen momentan prestanda för optimalt riktade plana solfångare vid en solinstrålning på 1000 W/m² enligt Figur 6, krävs en byggarea för plana solfångare på 653 m² för att tillgodose kylbehovet med en enstegs-absorptionskylmaskin som drivs med 100°C hetvatten. Motsvarande för vakuumrörsolfångare, krävs en byggarea på 932 respektive 589 m² för att tillgodose kylbehovet med en enstegs- eller tvåstegskylmaskin.

Med ungefärliga årsutbyten för solfångare som är monterade i 45 graders lutning mot söder samt ungefärliga EER-variationer för kylmaskinerna enligt Figur 7 skulle typkontorets årsbehov av kyla på 12 kWh/m² gott och väl täckas med dessa solfångare och kylmaskiner. Dessutom skulle ges ett överskott av värme på mellan 6 och 34 kWh/m², år. Största värmeöverskott ges för kyllosningen med vakuumrörsolfångare som levererar hundrigradigt hetvatten, och minsta överskottet ges för kyllosningen med plana solfångare. Detta överskott kan användas till andra energibehov i byggnaden alternativt levereras till närliggande fjärrvärmenät.

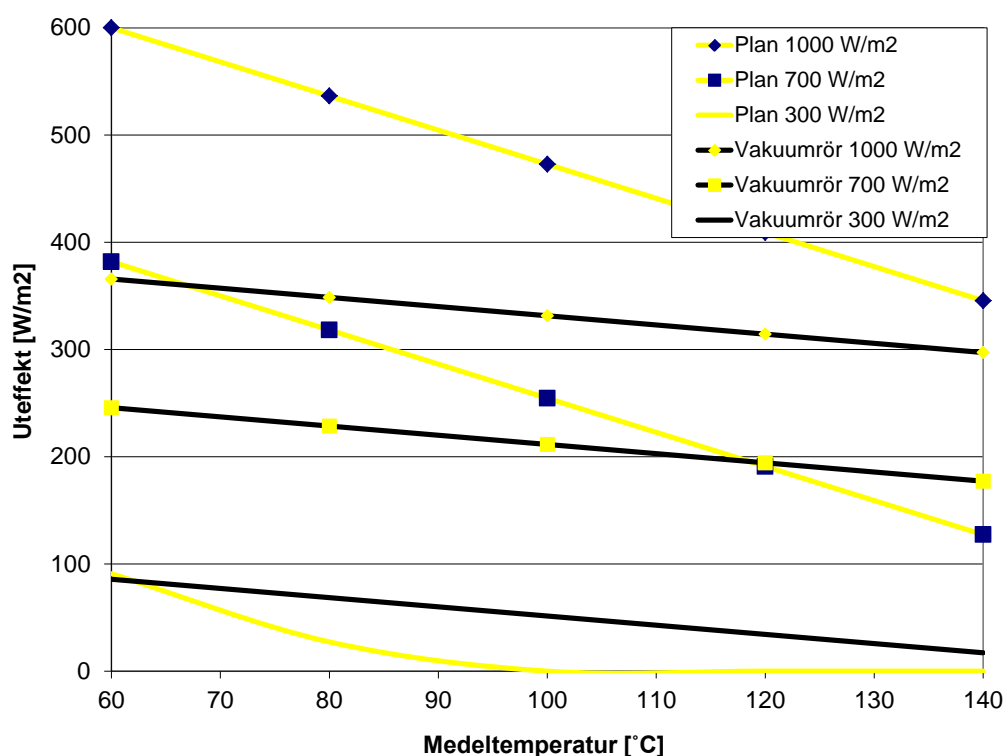
Referenskontorets takyta (1030 m²) bedöms därmed räcka även för en solvärmedriven kylanläggning. För en kyllosning baserad på värme från vakuumrörsolfångare krävs att dessa jobbar med en relativt hög temperatur för att dessa ska ge tillräcklig effekt och rymmas inom takets begränsningar. Detta förutsätter även att kyleffektbehovet kan halveras från ca 500 till 250 kW, enligt diskussion i tidigare avsnitt.

Biobränsle

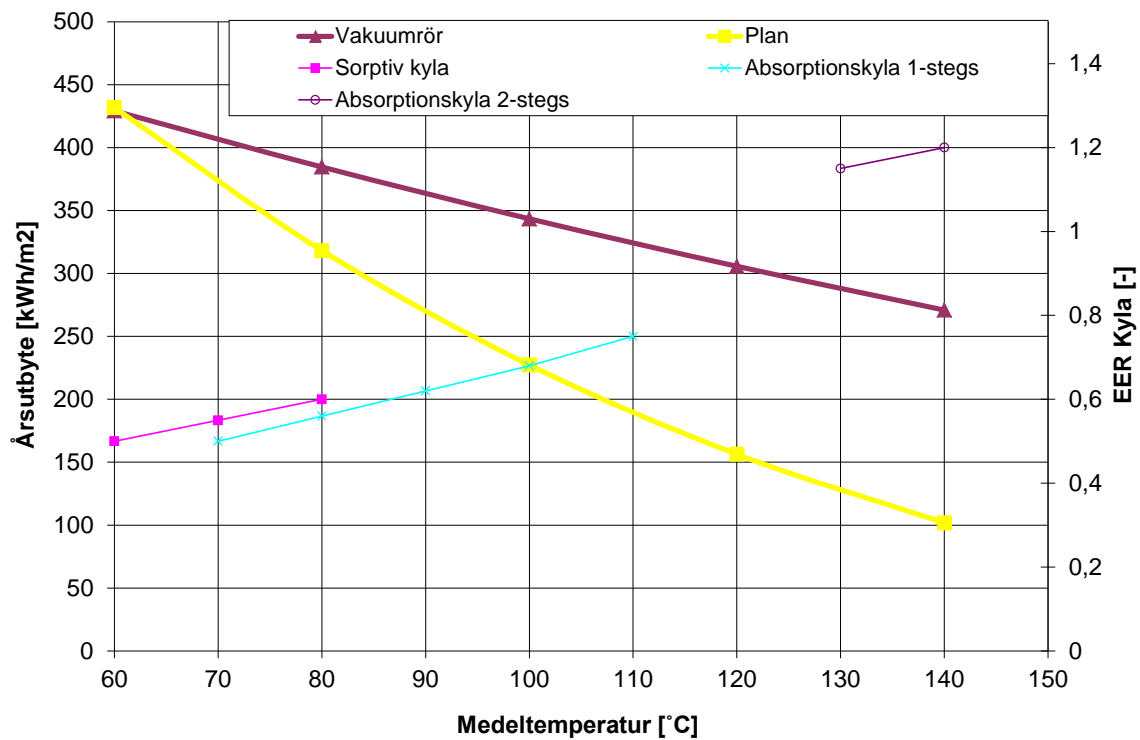
Med en enstegs-absorptionskylmaskin (EER = ca 0.7) och en biobränsle-hetvattenpanna med en antagen verkningsgrad på 90 % krävs 343 kW biobränsle. Med en tvåstegs-absorptionskylmaskin (EER = 1.2) behövs 194 kW biobränsle. Att installera en biohetvattenpanna i storleksordningen 200-350 kW är fullt möjligt.

Med en kompressionskylmaskin ($EER = 4$) och en bibränsleeldad kondenskraftanläggning krävs en installerad eleffekt på drygt 50 kW, vilket är en relativt liten anläggning för fasta bränslen. För gasformiga eller oljebaserade bibränslen finns ett större utbud, vilket diskuterats i tidigare avsnitt. För dimensionering av ett kraftvärmebaserat kylsystem blir behovet av installerad effekt ännu lägre, och beror på typ av kraftvärmesystem, om det bygger på en gascykel, ångcykel eller en kombination av båda.

Ovanstående beräkningar ger endast en uppskattning av behovet av bibränsle till kyla. I ett verkligt fall skulle en bibränsleanläggning givetvis dimensioneras utefter byggnadens hela energianvändning och inte isolerat för byggnadens behov av kyla.



Figur 6 Avgiven värmeeffekt som funktion av medeltemperatur i solfångaren och instrålningsnivån för vakuumrör respektive plana solfångare (baserat på byggarea och vinkelrätt infall). Figuren kommer från Fjärrsyn-rapporten "Konkurrenskraftig soldriven komfortkyla" (Kovacs m.fl., 2009).



Figur 7 Ungefärliga årsutbyten för plana solfångare och vakuumsolfångare (vid 45 graders lutning mot söder) samt ungefärliga EER-variationer som funktion av drivtemperatur för de studerade alternativen. Figuren och data är baserade på Kovacs m.fl. (2009).

ILLUSTRERANDE BERÄKNINGSEXEMPEL

I detta kapitel presenteras illustrerande beräkningsexempel där soleldrivna kylmaskiner jämförs med solvärmedrivna kylmaskiner. Motsvarande för kylanläggningar som drivs med biobränsle jämförs elbaserade kyllosningar med värmebaserade. Illustrationerna används för att ringa in vilka lösningar som är att föredra vid förutsättningar som avspeglar tillämpningen komfortkylbehov i kontorshus.

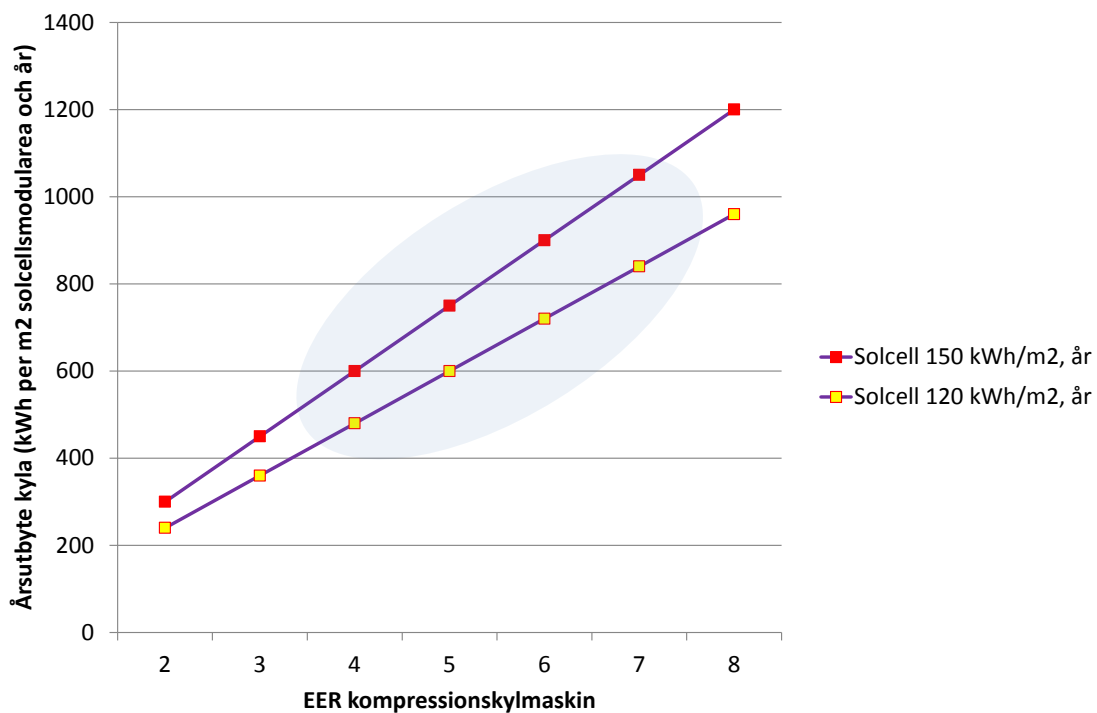
Solenergibaserad kyla

Figur 8 presenterar årsutbytet av kyla per kvadratmeter modularea för solceller då den solel som produceras används i en kompressionskylmaskin för att producera kyla. Det skuggade området representerar det prestandaområde som är aktuellt för en liten kompressionskylmaskin (200-250 kW) som är anpassad till referenskontorsbyggnadens kylbehov. Notera att kylmaskinens prestanda är som lägst i fullast då kylbehovet är som störst, vilket bör beaktas i en mer detaljerad studie.

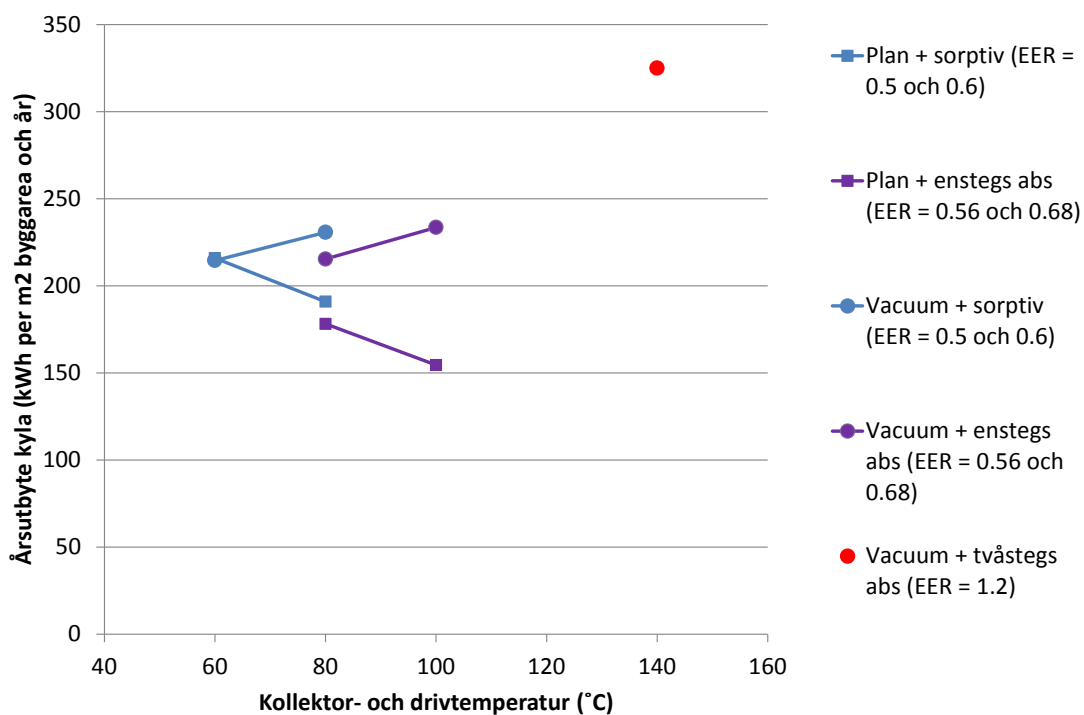
Figur 9 presenterar årsutbytet av kyla per kvadratmeter byggarea för solfångare då den producerade solvärmens används i en sorptionskylmaskin alternativt i en enstegs- eller tvåstegs-absorptionskylmaskin. Årsutbytet av kyla presenteras som funktion av kyllosningarnas kollektor- och drivtemperatur. Prestanda för solfångare och kylmaskiner är baserade på Kovacs m.fl. (2009). Observera att el till stödutrustningen (såsom pumpar och kyltorn/kylmedelskylare) inte tagits hänsyn till i dessa beräkningar.

Vid 60°C kollektor- och drivtemperatur har plana solfångare och vakuumrörsolfångare liknande prestanda och därmed jämförbart årsutbyte av kyla i kombination med en sorptionskylmaskin. Vakuumrörsolfångare kan ge ett högre årsutbyte av kyla i kombination med en enstegs- eller tvåstegskylmaskin, vilka kräver högre drivtemperaturer än en sorptionskylmaskin. Det högst årsutbytet av kyla ger kyllosningen med vakuumrörsolfångare och en tvåstegskylmaskin.

En jämförelse av årsutbytet för en soleldriven kyllosning och en solvärmedriven kyllosning, visar att en soleldriven kyllosning utnyttjar ytan mer energieffektivt än en solvärmedriven kyllosning vid kontorsspecifika förutsättningar, se Figur 8 och Figur 9. Denna slutsats ses som robust trots att jämförelsen inte tar hänsyn till systemförluster, el till stödutrustning samt att årsproduktionen av kyla presenteras för två olika areor. Byggarean bedöms vara 5 % större än solcellsmodularea, vilket endast påverkar jämförelsen marginellt. Jämfört med eldrivna kylmaskiner, ger de värme-drivna kylmaskinerna upphov till mer överskottsvärme (på grund av deras lägre EER-värde), vilket innebär en högre elanvändning för bortkylning i kylmedelskylare/kyltorn. Detta förstärker endast slutsatsen om att ett soleldrivet kylsystem är att föredra ur energieffektivitetssynpunkt.



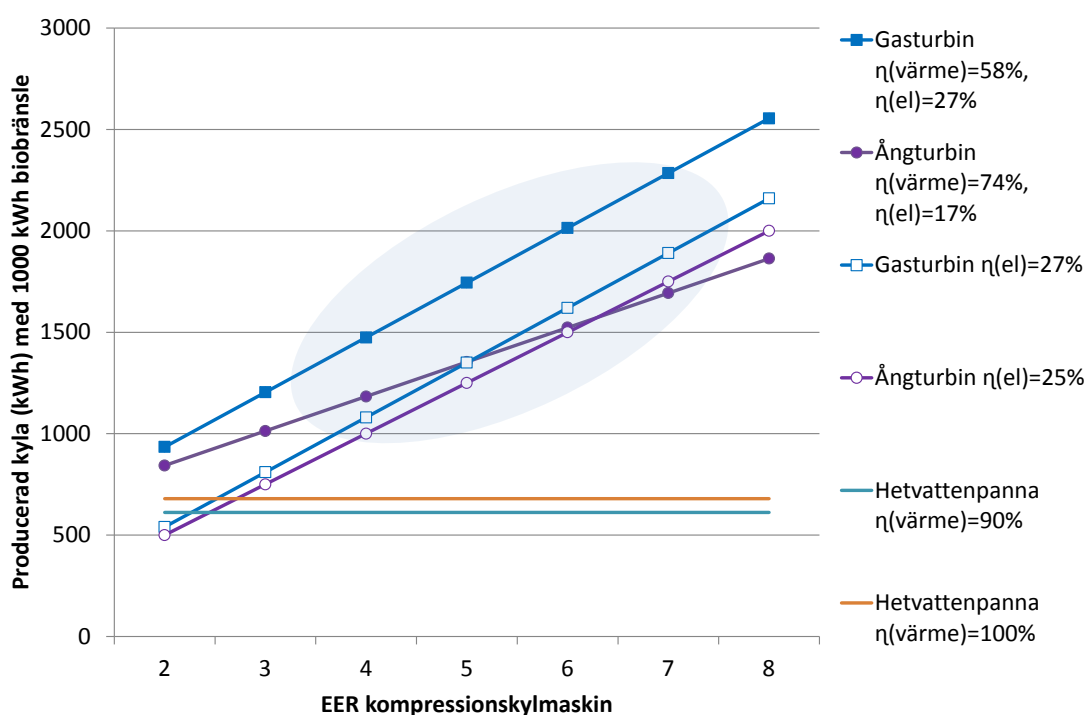
Figur 8 Årsutbyte av kyla per kvadratmeter modularea för solceller, vars el används i en kompressionskylmaskin. Årsutbytet av kyla presenteras som funktion av solcellernas prestanda och kylmaskinens prestanda (EER). Prestanda för solceller är baserat på uppgifter från Ricardo Bernardo (2013).



Figur 9 Årsutbyte av kyla per kvadratmeter byggarea för två olika typer av solfångare, vars värme används i en sorptiv kylmaskin, eller en enstegs- eller tvåstegsabsorptionskylmaskin.

Biobräsle driven kyla

Figur 10 presenterar hur mycket kyla som produceras genom att använda 1000 kWh biobräsle på tre olika sätt: 1) biobräsle används i en gasturbin eller ångturbin som producerar el som används i en kompressionskylmaskin, 2) biobräsle används i en panna som producerar hetvatten som används i en absorptionskylmaskin; 3) biobräsle används i en kraftvärmeanläggning som samtidigt producerar både el och värme som används i kompressions- och absorptionskylmaskiner. Prestanda för ångturbinen och gasturbinen i kraftvärmedrift är baserad på data i en Värmeforskningsrapport om småskalig kraftvärme (Kjellström, 2012). Dessa har kompletterats med antaganden om prestanda i kondensdrift samt prestanda för en hetvattenpanna.



Figur 10 Erhållen kyla (kWh) från 1000 kWh biobräsle vid produktion av el och värme som används i absorptions- och en kompressionskylmaskiner. Kylproduktionen presenteras som funktion av kompressionskylmaskinens prestanda (EER), medan absorptionskylmaskinens prestanda i beräkningen antas vara konstant (EER antas vara ca 0.7).

En jämförelse av kylproduktionen från 1000 kWh biobräsle i antingen en renodlad elbaserad kylanläggning eller en renodlad hetvattenbaserad kylanläggning, visar att en elbaserad lösning är att föredra framför en värmebaserad lösning redan vid relativt låga EER-värden för kompressionskylan, givet en antagen elverkningsgrad i kondensdrift kring 25 %, se Figur 10.

För en elbaserad kylanläggning med en kompressionskylmaskin och en gasturbin som drivs med ett gasformigt biobräsle ges en betydligt högre kylproduktion om dessutom värmen tas tillvara för att driva en absorptionskylmaskin.

Med ett fast/gasformigt bränsle som används för att driva en ångturbin ges en högre kylproduktion i kraftvärmedrift i kombination med absorptionskylmaskiner, än i kondensdrift i kombination med kompressionskylmaskiner, men bara upp till ett visst EER-värde. Brytpunkten går vid ett EER på 6.5, men det bör nämnas att den exakta brytpunkten är kraftigt beroende på antagna verkningsgraderna i kondens- och kraftvärmedrift, och att det finns fler möjliga kraftvärmetekniker än de som inkluderats i figuren.

DISKUSSION & SLUTSATSER

I detta avslutande kapitel presenteras de huvudsakliga slutsatserna från förstudien om kylteknik och förnybar energi i svenska kontorshus. Slutligen beskrivs behovet av fortsatta utredningar.

Kyllösningar i kontorshus baserade på sol-, vind- och bioenergi är tekniskt sett fullt möjliga i Sverige – antingen med ett elbaserat system eller ett värmebaserat, eller en kombination av båda. Boverkets byggregler sätter inga direkta hinder för någon av dessa lösningar, men de främjar vissa förnybara tekniker (solenergi) genom att all producerad energi som tas tillvara i byggnaden får räknas bort från den specifika energianvändningen, vilket inte tillåts för andra tekniker (exempelvis vindkraft).

Den samtidighet mellan behov och produktion som sommartid erhålls med solenergibaserad komfortkyla, saknas för andra förnybara energitekniker. Med anledning av detta har studien fokuserat på soldriven kyla. Det finns en hel del forskning inom området solvärmedriven kyla och flera hundratals installationer, varav de flesta i centrala Europa, Mellanöstern och Australien. Däremot finns fortfarande liten erfarenhet av installerade anläggningar i Sverige. Utmaningen för värmebaserade kylsystem är framförallt att utveckla mindre kylmaskiner för att matcha det låga och varierande komfortkylbehovet i nybyggda kontor, samt att öka erfarenheterna kring optimering och styrning av sådana system. Antalet byggnader som har soleldriven kyla är desto fler. Något förenklat kan sägas att byggnader som har installationer av både solceller och en eldriven kylanläggning har soldriven kyla.

Illustrerande beräkningar med förutsättningar som antas vara representativa för nybyggda kontorshus visar att en soleldriven kyllösning är att föredra framför en solvärmedriven kyllösning ur energieffektivitetssynpunkt. Beräkningar för ett referenskontor visar att dess takyta är tillräcklig för en solkylanläggning som ska kunna möta komfortkylbehovet, oavsett om denna anläggning är baserad på solel eller solvärme. Dessutom ges ett överskott av el och värme för dessa lösningar under perioder med hög solinstrålning men lågt eller obefintligt behov av komfortkyla.

Resultaten bygger på enkla räkneexempel, vilka bör förfinas vid dimensionering av verkliga solkylanläggningar. Det är exempelvis möjligt att installera en ännu större ackumulatortank för att ytterligare reducera kyleffektbehovet samt att installera en separat kompressionskylmaskin för att möta topparna i kyleffektbehovet. Illustrationerna visar dessutom en isolerad bild för kylproduktion, medan en

solenergianläggning kan användas till fler användningsområden i byggnaden, alternativt till att exportera överskottsenergi och värme till elnät och närliggande fjärrvärmenät, vilket bör tas hänsyn till i en mer utförlig utredning.

Förstudien visar även att lastprofilen för komfortkyla i nybyggda kontorshus kan skilja sig kraftigt gentemot den lastprofil som används vid standardiserad presentation av prestanda av kylmaskiner i Europa (enligt Eurovent). Detta ställer krav på större ackumulatörer för att undvika upprepade start och stopp av kylmaskinen, men det möjliggör även en högre säsongsprestanda i och med att prestandan i dellast är högre än i fullast för varvtals/stegvis-styrda kompressionskylmaskiner. Eftersom prestandan är så beroende av olika driftfall är detta en parameter som bör ägnas extra uppmärksamhet vid en fortsatt utredning. Även solfångarnas prestanda varierar kraftigt med olika driftfall och temperaturförutsättningar.

För att ge en korrekt bild av energiprestandan behövs detaljerade simuleringar av kylbehov och kylproduktion med hänsyn till solinstrålning, temperaturförhållanden och dellastprestanda på timbasis, vilket vore ett intressant ämne för framtida studier. Optimering och styrning är även viktigt ur ett kostnadsperspektiv för både värmebaserade kylsystem, där möjligheten till export av värme är begränsad, och elbaserade kylsystem, eftersom priset på såld el oftast är betydligt lägre än för köpt el.

För att ta reda på det mest kostnadseffektiva systemet för svenska förutsättningar behövs en utredning av livscykelkostnader. En studie av Kovacs och Wahlgren (2012) har visat att små ändringar i solcells- och solfångarmodulers verkningsgrad och kostnad samt antaganden om energiprisökning har stor inverkan på det ekonomiska resultatet för en solenergianläggning. Dessa parametrar bör därför ägnas extra uppmärksamhet i en framtida livscykelkostnadsanalys för soldriven kyla. Solfångare är fortfarande billigare än solceller men samtidigt är absorptionskylmaskiner generellt sett dyrare än kompressionskylmaskiner.

I en Fjärrsyn-rapport om solenergidriven kyla från 2009 visade en livscykelkostnads kalkyl på bäst ekonomiska förutsättningar för solcellsdrivna kompressionskylmaskiner (Kovacs m.fl., 2009). De ekonomiska förutsättningarna för solkylanläggningar i Sverige ser helt annorlunda ut idag, exempelvis har solcellspriset mer än halverats sedan dess och investeringsstödet har minskat. Nyligen införde EU-kommissionen, på inrådan av EU:s handelskommissionär, så kallade skyddstullar på kinesiska solpaneler. Detta har uppskattats öka de totala kostnaderna för att installera solpaneler i Sverige och övriga EU-länder med 25-30 % (Hatt, 2013). För tillfället pågår dessutom utredningar kring eventuell nettodebitering samt alternativ till detta.

En intressant frågeställning vid en fortsatt utredning vore vad som krävs i form av energipriser, styrmedel, bortröjande av hinder för en ökad integration av solenergi i framtidens byggnader. Därtill vore det spännande att undersöka om komfortkylapplikationen, genom möjligheten till ett högt utnyttjande av den

egenproducerade solenergin, skulle kunna bidra till en bättre ekonomi vid installation av solenergianläggningar.

REFERENSLISTA

Bernardo, Ricardo, 2013, forskare vid Energi och Byggnads Design, Lunds tekniska högskola. Personlig kontakt.

Blom, Magnus, 2013. Simuleringar vätskekylare. AQS-PRODUKTER AB.

Blomqvist, Christer, arkitekt vid WSP. Personlig kontakt.

Boverket, 2011. Bedömning av behovet av att förändra byggregler för att främja användandet av förnybara energikällor i bebyggelsen, Rapport 2011:34

Boverket, 2012. Boverkets byggregler, BBR19 2012

Byggvärden 2010-03-15

ClimateWell, 2013. Ett företag som erbjuder lösningar för solkyla, se <http://www.climatewell.com/index.html#/applications/solar-cooling> (2013-06-20).

Danfoss VZH compressor 2012. Danfoss produktbroschyr: Advanced efficiency, precise cooling, Design an HVAC system like no other. Sept 2012.

Energimyndigheten, 2006. Kunskapsläget inom småskalig kraftvärmeproduktion och eloberoende värmesystem – Insatser för ökad försörjningstrygghet. Energimyndigheten, ER:2006:29.

Energimyndigheten, 2012. UP-rapport Bränslebaserade energisystem – Underlag från Utvecklingsplattformen Bränsle till Energimyndighetens strategiarbete FOKUS. Energimyndigheten, ER 2012:09.

Energimyndigheten, 2013 a. Compower http://www.energimyndigheten.se/sv/foretag/Affarsutveckling_och_kommersialisering/Vill-du-gora-en-bra-investering/ComPower/

Energimyndigheten, 2013 b. Utlysning ERA-NET-Bioenergy. Tillgänglig från: <http://www.energimyndigheten.se/sv/Press/Nyheter/Utlysning-ERA-NET-Bioenergy--smaskalig-varme--ocheller-elproduktion-med-fasta-biobranslen/> (2013-05-28).

Energi och Miljö, 2013. Nettodebitering stärker elkunderna. Artikel i tidskriften Energi och Miljö, EM 2/2013.

Europaparlamentets och rådets direktiv, 2010. Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda (omarbetning).

Europaparlamentets och rådets direktiv, 2009. Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/125/EG av den 21 oktober 2009 om upprättande av en ram för att fastställa krav på ekodesign för energirelaterade produkter.

- Flodberg, Kajsa, 2012. Very Low Energy Office Buildings in Sweden - Simulations with low internal heat gains. Kajsa Flodberg, Licentiate thesis Report No EBD-T-12/14, Lund University.
- Hatt, Anna-Karin, 2013. Strafftull på solpaneler riskerar skada klimat- och energimålen. Tillgänglig från: <http://annakarinhatt.se/blogg/straffull-pa-solpaneler-riskerar-skada-klimat-och-energimalen/> (2013-05-28).
- Hellman, Eva, 2013. Specialist kyla, Bengt Dahlgren AB, Personlig kontakt.
- IEA SHC, 2011. Solar cooling position paper (task 38).
- IEA SHC, 2012. Technology roadmap, Solar Heating and Cooling.
- Johansson, Tony, 2013. Specialist styrsystem, Carrier AB, personlig kontakt.
- Kjellström, Björn, 2012. Kostnad för el från småskalig kraftvärme. Värmeforsk-rapport A08-846, Stockholm.
- Kovacs, Peter och Wahlgren, Peter, 2012. Solenergipotential i Västra Götalandsregionens fastigheter. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP), Borås.
- Kovacs, Peter. m.fl., 2009. Konkurrenskraftig soldriven kyla. Fjärrsyn-rapport 2009:20.
- Löveryd, Per, 2013. Driftchef/VVS-ingenjör, Akademiska hus, personlig kontakt.
- Munters, 2012. Munters Desicool.
<http://www.munters.se/upload/Related%20product%20files/Broschyr%20DesiCool.pdf> (2013-05-31)
- Saheb, Y. m. fl., 2006. Effect of the Certification on Chillers Energy Efficiency. Paper presented at IEECB, April 2006, Frankfurt, Germany
- Sandell, Tyko, 2013. Carrier AB, personlig kontakt.
- SERC, 2009. Thermophotovoltaic-cogeneration-Thermophotovoltaics. Centrum för solenergiforskning, Dalarna högskola. Tillgänglig från: <http://www.du.se/en/About-Dalarna-University/Organisation/Schools/School-of-Technology-and-Business-Studies/Forskning/Solar-Energy-Research-Center/Projects/Completed-projects/TPV--Thermophotovoltaic-cogeneration-Thermophotovoltaics/#> (2013-06-02).
- SOLAIR project, 2009. <http://www.solair-project.eu> (2013-05-31)
- SOLID, 2013. SOLID Solarinstallation+design – ett företag som erbjuder helhetslösningar för solkyla, se <http://www.solid.at/index.php?lang=en> (2013-06-20)
- SVEBY, 2010. Brukarindata för energiberäkningar i kontor (www.sveby.org/).
- Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2012. FEBY 12 Lokaler.

YAZAKI, 2013. YAZAKI – ett företag som tillverkar absorptionskylmaskiner för solkyla, se <http://www.yazaki-airconditioning.com/en/airconditioning/history.html> (2013-06-20).

BILAGOR

Bilaga 1. Frågeformulär till fastighetsägare



Frågeformulär om kylösningar för kontorslokaler byggda eller renoverade 2007 eller senare

Tack för att du svarar på följande nio frågor. För nyligen renoverade byggnader avser formuläret uppgifter om byggnaden efter renoveringen. Är det någon fråga om byggnaden som du inte vet svaret på, så skriv "vet ej".

1. Avser svaren en nybyggd eller nyrenoverad byggnad, vem äger och förvaltar byggnaden, vilken storlek har den och var är den lokaliserad?

Nybyggnation/nyrenovering? _____
Fastighetsägare _____
Yta (m²) _____
Gatuadress _____
Län/stad _____

2. Vilken typ av kylösning har installerats i byggnaden?

Sätt kryss för JA
Luftburen kyla _____
Vattenburen kyla _____
En blandning av båda _____
Annat... _____

beskriv gärna vad... _____

3. Om ni har luftburen kyla, är luftflödet konstant (CAV) eller reglerbart och behovsstyrt (VAV)?

Sätt kryss för JA
CAV _____
VAV _____
En blandning av båda _____

4. Nyttjas frikyla i någon form i byggnaden?

Sätt kryss för JA (flera alternativ är möjliga)
via kyltorn _____
via kylmedelskylare _____
via frikylebatteri _____
direkt via ventilationen _____
direkt via öppningsbara fönster _____
från närliggande vattendrag _____
Annat... _____

beskriv gärna vad... _____

5. Vilken typ av aktiv kylösning har byggnaden?

Sätt kryss för JA (flera alternativ är möjliga)
Fjärrkyla _____
Eldrivna kylmaskiner _____
Värmedrivna kylmaskiner _____
(ex. absorptionskylmaskiner) _____



6. Om byggnaden har kylmaskiner, vilken typ av kylmaskiner är de, är de utrustade med frekvensstyrning, och vad är deras nominella prestanda i fullastdrift?

	<i>Typ av kylmaskin</i>	<i>Frekvensstyrning (JA/NEJ)</i>	<i>Prestanda (COP*)</i>
Eldrivena kylmaskiner	_____	_____	_____
Värmedrivena kylmaskiner	_____	_____	_____

*Producerad kyla från en enhet el eller värme

7. Finns det någon installation av förnybar energiteknik i anslutning till byggnaden?

Sätt kryss för JA (flera alternativ är möjliga)

solceller	_____
solfångare	_____
biobränslehetvattenpanna	_____
annat...	_____

beskriv gärna vad... _____

8. Om du svarat JA på föregående fråga, används en del av denna förnybara energi för att producera kyla till byggnaden?

	<i>Sätt kryss</i>	<i>Om ja, beskriv gärna hur</i>
JA	_____	_____
NEJ	_____	_____

9. Vilken grad av anonymitet önskar ni vid presentation av formulärsvaren för denna byggnad?

Det får framgå vilken byggnad svaren gäller	Sätt kryss för JA
Det får inte framgå vilken byggnad svaren gäller	_____

Eventuella övriga kommentarer: _____

Tack för din medverkan!
Elsa Fahlén, NCC Teknik

Bilaga 2. Sammanställning av svar från fastighetsägarna

Kolumn1	Fastighet 1	Fastighet 2	Fastighet 3	Fastighet 4	Fastighet 5	Fastighet 6	Fastighet 7	Fastighet 8	Fastighet 9	Fastighet 10
Fastighetsägare	Akademiska hus	Akademiska hus	Akademiska hus	Akademiska hus	Akademiska hus	Diligentia	Midroc	Midroc	Swedavia	Vasakronan
Ort	Göteborg	Göteborg	Solna	Stockholm	Uppsala	Stockholm	Malmö	Malmö	Stockholm	Stockholm
Storlek (m ² golvyta)	4 500	3 000	1 829	6 300	100 000 (flera byggnader med samma nätkycentral)	36 000	15 000	7 000	300 000 (varav 5% kontor)	Generellt kontor
Nyproduktion/renovering	Nyproduktion	Renovering	Renovering	Nyproduktion	Nyproduktion	Renovering	Nyproduktion	Nyproduktion	Nyproduktion	Nyproduktion
Huvudsaklig verksamhet	Kontor	Kontor+ Undervisning	Kontor	Kontor	Kontor+ Undervisning/Lab	Kontor	Kontor	Kontor	Terminaler Arianda (5% kontor)	Kontor
Kylsystem	Luftburen	Luftburen+ vattenburen	Luftburen+ vattenburen	Luftburen+ vattenburen	Luftburen+ vattenburen	Luftburen+ vattenburen	Luftburen	Luftburen	Luftburen+ vattenburen	Luftburen
Luftbehandling	VAV	VAV	CAV	CAV+VAV	CAV+VAV	CAV	VAV	VAV	CAV+VAV	VAV
Frikyla	Marklager	Kyltorn	Nej	Marklager	Kyltorn	Frikylebatteri	Direkt via uteluften	Direkt via uteluften	Frikylebatteri+ akvifär	Olika, tex akvifär
Kylproduktion	Kylmaskin (el)	Abs.kylmaskin (värme)	Fjärrkyla	Kylmaskin (el)	Abs.kylmaskin (värme) + kylmaskin (el)	Fjärrkyla	Kylmaskin (el)	Fjärrkyla	Fjärrkyla+ kylmaskin (el)	Fjärrkyla
Prestanda	Frekvensstyrning EER 4	?	-	EER 4,89	El: Frekvensstyrning Värme: EER 0,75	-	Frekvensstyrning EER 4	-	Frekvensstyrning EER 4-5	-
Förnybar energi värme/el	Nej	Biobränsle- hetvattenpanna+ bioljeoljeångpanna	Solceller	Nej	Nej (planerar för solceller)	Nej	Nej	Nej	Akvifärlager	Nej
Förnybar energi för kylproduktion	Nej	Biobränsle+ spillvärme	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Akvifärlager	Har testat sorptiv kyla +solfångare men inte nöjda

Bilaga 3. Simuleringar av vätskekylare

Simuleringarna av vätskekylare med och utan stegvis styrning alternativt varvtalsstyrning är genomförda av Magnus Blom AQS (2013). Indata som används för dimensionering:

- Kyleffekt 210-250kW
- Köldbärartemperatur 14/18°C
- Dimensionerande utetemp max 27°C, min -20°C

Fall 1. Stegstyrd luftkyld vätskekylare med 35 % Ethylenglykol

- Modell: Clima Veneta NX LN-CA 0741T
- Maxeffekt: 233,7kW
- Beräknat ESEER: 4.61

COOLING PART LOAD					
% to Peak Load	[%]	100	75	50	25
Air Temp. °C	[°C]	35,0	30,0	25,0	20,0
Cooling capacity	[kW]	233,7	175,3	116,8	58,4
Total power input	[kW]	63,8	36,8	20,8	9,33
EER	-	3,66	4,77	5,62	6,26

Fall 2. Varvtalsstyrd luftkyld vätskekylare med 35% Ethylenglykol

- Ingen lämplig maskin hittades för en kyleffekt mellan 210-250kW.

Fall 3. Stegstyrd vätskekyld vätskekylare, vatten kalla sidan, EG 35 % varma sidan 36/42°C

- Modell: Clima Veneta NECS W 0704 (slidmatad skruvkompressor reglerbar 100-50% sedan on/off)
- Beräknat ESEER: 5.92

COOLING PART LOAD					
% to Peak Load	[%]	100	75	50	25
Ti Condenser	[°C]	36,0	26,0	22,0	18,0
Cooling capacity	[kW]	224,2	168,1	112,1	56,0
Total power input	[kW]	54,8	28,1	16,2	8,57
EER	-	4,09	5,98	6,93	6,54

Fall 4 Varvtalsstyrd vätskekyld vätskekylare, vatten kalla sidan, EG 35 % varma sidan 36/42°C

- Modell: Clima Veneta FOCS W B 0851
- Beräknat ESEER: 5.54

COOLING PART LOAD					
% to Peak Load	[%]	100	75	50	25
Ti Condenser	[°C]	36,0	26,0	22,0	18,0
Cooling capacity	[kW]	223,4	167,6	111,7	55,8
Total power input	[kW]	52,4	27,2	16,6	9,47
EER	-	4,26	6,15	6,71	5,89