

Forskningsprogram		Projekt EU-projekt Polysmart P22374-1 <input type="checkbox"/> Pågående <input checked="" type="checkbox"/> Avslutat	
Total kostnad 389 140 kr	Tidplan, förväntade delrapporter 2006-06-12 - 2010-06-11 (EU projektets tidsplan)		
Universitet/Högskola/Företag Högskolan Dalarna		Avdelning/Institution Centrum för solenergiforskning SERC	
Adress 79188 Falun			
Fullständigt namn och E-post till forskningsledare/kontaktperson Chris Bales, cba@du.se			
Slutrapport, namn och förlag Slutrapporterna är tillgängliga på projektets hemsida www.polysmart.org			

Sammanfattning

Uppnådda huvudresultat

Följande är huvudresultaten från hela EU projektet med 33 deltagande organisationer. Nedanför följer resultat för de två organisationerna som energimyndigheten medfinansierat i detta projekt:

- Utveckling, installation, mätning och analys av 11 demonstrationsprojekt med småskaliga system för trigenerering. Av dessa hade tre system centraliserad kraftvärme med lokal värmedriven kyla medan resten hade småskaliga kraftvärmeaggregat.
- Genomförande av tre industriworkshops, därav en i Stockholm.
- Framtagning av guidelines för design och installation av småskaliga trigenereringssystem.
- Framtagning av en universitetskurs om småskalig trigenerering med tillhörande OH material som kan laddas ned från hemsidan.
- Analys av potentiella marknader och identifiering av de mest intressanta ur kommersiell synvinkel.
- Förbättring av de småskaliga värmedrivna kylmaskiner som produceras av deltagande organisationer.
- Framtagning av ett enkelt excelbaserat verktyg som kan uppskatta primärenergibesparing och som kan användas för enkla förstudier. Det lämpar sig också till universitetsstudier i ämnet.
- Utveckling av detaljerade simuleringsmodeller för fem av system, inkl. det svenska demonstrationssystemet, som sedan använts för att ta fram förbättrade drift- och reglerstrategier.
- Utveckling av ett värmeväxlare paket för uttag av värme vid högre temperaturer från en av marknadens vanligaste småskaliga dieselgeneratorer.
- Framtagning av en detaljerad litteraturundersökning av området med bibliografi.

Följande sammanfattar erfarenheterna inom projektet:

- Besparing av primärenergi är väldigt beroende av ett fåtal faktorer där primärenergi faktor för generering av el till nätet är avgörande. I projektet använde man termen "non-renewable primary energy" där förnybara källor som bioenergi och även sopförbränning har väldigt låga värden. Om man använder den europeiska mixen för elproduktion ger enbart

kraftvärme nästan alltid besparing av primär energi. Det samma gäller system där man använder förnybar energi eller sopförbränning. För system med trigenerering som använder fossila bränslen måste man ha både hög andel elproduktion från kraftvärmeaggregatet och relativt hög COP för den värmedrivna kylmaskinen om man ska få en besparing av primärenergi.

- Systemen är komplexa och man har lärt sig mycket inom projektet. Dock har man inte kommit så långt som standard systempaket.
- Elförbrukning är oftast högre än förväntat och i verklighet högre än specificerat.
- Värmesänkan i systemet är en nyckelkomponent som är kritiskt för bra systemprestanda. Mer FoU krävs för att få fram komponenter som lämpar sig väl till sådana system (och som skulle också gynna andra system).
- Mätning av systemet med tillhörande analys har behövts för att förbättra systemprestanda, vilket är kopplat till att system är komplexa och att det inte fanns en grundläggande kompetens i början av projektet hos alla partners.
- Lovande nischmarknader har identifierats men de kräver förmodligen paketlösningar som inte finns på marknaden än.
- Man ska enbart täcka baslasten med trigenereringssystem.
- Koppling med fjärrvärme kan fungera bra men leverantören måste acceptera relativt höga returtemperaturer.

Dessa resultat redovisas framförallt i slutrapporterna för de olika arbetsblock i projektet (work packages). Många av rapporterna, med högre detaljgrad, har dock begränsad spridning och är inte tillgänglig till allmänheten. En lista av de offentliga och tillgängliga rapporterna ges i slutet av denna rapport.

För Högskolan Dalarna och KTH, som medfinansierades av energimyndigheten, var huvudresultaten följande:

- Vård (KTH) för stormöte i juni 2008 i Stockholm med tillhörande industriworkshop (närmare 50 deltagare).
- En stor del av arbetet har gjorts i demonstrationsprojekten:
 - o Design, installation och intrimning av demonstrationsanläggning och mätsystem därtill i Stadshuset, Borlänge. Officiell idrifttagning 25 juni 2009.
 - o Analys av mätdata och åtgärdsplan för förbättrad styrning och inkoppling. Resultaten visar på icke optimal funktion med låga medel COP värden speciellt för elektrisk COP. Detta beror dels på randvillkoren vid drift samt brister i ClimateWells maskin – en produktion prototyp som var halvkommersiell.
 - o Stöd i design av demonstrationssystem med ClimateWell maskin i Madrid, Spanien som installerades och satts i drift hösten 2009.
 - o Simuleringsmodeller av båda demonstrationssystem och detaljerad studie för det svenska systemet.
 - o Analys och förbättringsförslag till demonstrationssystem i Milano, Italien.
- Utkast till två tidsskriftsartiklar som handlar om demonstrationssystemet i Sverige.
- Utveckling och validering av simuleringsmodell för ClimateWell 10 värmedriven kylmaskin för den 4:e och 5:e generationer av teknologin som skiljer sig avsevärt från tidigare modeller och från varandra. En 4:e generations maskin installerades i demonstrationssystemet i Sverige medan generation 5 installerades i Spanien. Modellen används nu i ClimateWells intern designverktyg för projektering av system för solkyla såväl som för trigenerering.
- Deltagande i 10 projektmöten
- Samling av information för ”state-of-the-art” för WP1.
- Avsnittet om “chemical heat pumps” och bidrag till avsnitt “connection to district heat” i en av huvudrapporterna: D4.4 – ”lessons learnt and advice for the design of micro trigeneration plants”.
- Bidrag till div. andra slutrapporter.

Tolkning av dessa i förhållande till forskningens syfte/mål

Som helhet har projektet uppnått det flesta av de uppsatta målen. Man har kunnat visa att småskaliga trigeneringssystem fungerar i praktiken och man har identifierat guidelines för både design och drift för att få bra prestanda. Dock fungerade inte alla system lika bra som förväntat och ett flertal var installerade mycket sent vilket ledde till kortare perioder med mätdata. Studier har visat var den bästa potentialen finns för tekniken. För svensk del har man lyckats designa, installera, och mäta ett system kopplat till fjärrvärme. Därutöver har man kunnat ta fram en simuleringsmodell för såväl huvudkomponenten, ClimateWells värmedriven kylprocess, som för hela systemet samt tagit fram information om hur man kan förbättra systemet. Man har även spridit resultat genom att ordna en industri workshop i Stockholm. Slutligen har man lärt sig mycket om tekniken och fått ett utökat kontaktnät.

Projektpresentation

Problemställning

Elektricitet genereras till stor del i Europa med kraftverk där systemverkningsgraden är under 50% därför att restvärmen från processen inte tas om hand. Småskalig kraftvärme ses som en möjlighet att kunna nyttja restvärmen från elgenerering utan att behöva bygga nya fjärrvärmenät. Eftersom byggnadsbeståndet i många av EU's länder har ett betydande kylbehov under sommaren är det intressant att utnyttja restvärmen för att producera kyla med en värmedriven kylprocess. På så sätt kan man skapa ett system som levererar elektricitet, värme och kyla utefter behovet. Kommersiella produkter eller avancerade prototyper fanns i början av projektet för alla delar av systemet men systemstyrning och optimering hade inte studerats i stor omfattning.

Två typer av system för småskalig trigenerering definierades för projektet:

- System med ett småskaligt kraftvärme aggregat kopplat till en småskalig värmedriven kylmaskin.
- System med ett centraliserat kraftvärmeverk kopplat till lokala, småskaliga värmedrivna kylmaskiner genom ett fjärrvärmenät. Intresset i projektet skulle ligga i de lokala småskaliga enheterna.

Fokus för projektet var design och styrning av kompletta system. Åtta aktörer med värmedrivna kylmaskiner, från prototyp till kommersiell produkt, deltog i projektet. Det svenska företaget ClimateWell var ett av dessa åtta.

Syfte och mål

Projektet var ett stort EU projekt med hela 33 deltagande organisationer. Följande redovisar syftet och målet för hela projektet. Syftet med projektet var: ” to demonstrate the cost-effectiveness and the reliability of small-scale combined heat, cooling and power (CHCP) units for air-conditioning and industrial applications.” Konkreta mål var att utveckla, installera, mäta och analysera elva kompletta småskaliga system för trigenerering. Dessutom skulle man utveckla simuleringsverktyg för sådana system på såväl planeringsnivå som för utveckling av system.

Det fanns två organisationer inom projektet som medfinansierades av energimyndigheten, Högskolan Dalarna och KTH. Målet med deras insatser var att leda ett av demonstrationsprojekten, genomföra mätningar för det samt utveckla modeller på såväl komponent som systemnivå för system med ClimateWell ABs kylmaskiner.

Förväntad nytta med forskningen i relation till Energimyndighetens uppdrag att ställa om energisystemet.

Forskningen har lett till en fördjupad kunskap i användning av småskalig värmedriven kyla i fjärrvärmenät. Dels har man installerat och analyserat ett svenskt system i Borlänge och dels har man tagit del av erfarenheterna från två andra anläggningarna inom projekt, båda i Tyskland. Följande avsnitt sammanfattar resultaten för system med en kyleffekt upp till 10 kW:

Det är svårt att uppnå höga värden för elverkningsgrad för hela systemet, $COP_{el,sys}$. Det bästa systemet uppnådde ett värde som var mindre än två gånger värdet för en eldriven kylsystem med kompressor kylare. Orsakerna till den dåliga prestandan är flera. Värmedriven kyla som drivs med relativt låga temperaturer har en termisk verkningsgrad för en hel kyla-säsong mellan 0.4 och 0.6. Det innebär att man måste kyla bort ungefär dubbelt så mycket restvärme till omgivningen jämfört med en kompressorkylare, med högre elanvändning för fläktar som följd. I ett system där man använt ett borrhål som värmesänka kunde man sänka elanvändning radikalt för värmesänkan jämfört med både våt och torrt kyltorn. Dock fanns en begränsning i den termiska kapaciteten vid fullast. Pumparna tar mycket elenergi, även om man använder de effektivaste pumparna. Användning av eleffektiva pumpar är nödvändig för att uppnå en rimlig system verkningsgrad. Extra värmeväxlare leder till sämre elverkningsgrad eftersom man behöver flera kretsar och därmed flera pumpar.

Man bör sträva efter att minimera antal värmeväxlare i externa kretsar. Dessa värmeväxlare leder till temperaturfall som i sin tur leder till försämrade termiska prestanda för den värmedrivna kylmaskinen. Dessutom leder det till ett större antal pumpar vilket resulterar i försämrade elverkningsgrad. Det är att föredra att koppla fjärrvärme direkt till kylmaskinen såsom man gjort i ett system i Berlin. Godkännande från fjärrvärmeleverantören krävs. De två andra kylmaskiner som demonstrerades kopplade till fjärrvärme krävde en värmeväxlare mellan kylmaskinen och fjärrvärme eftersom de båda har en batchprocess som gör att vätskorna i de tre anslutande kretsarna kan blandas. Därför är det enbart absorptionskylmaskiner med LiBr/vatten eller vatten/ammoniak som skulle kunna kopplas direkt till fjärrvärme.

Kylmaskinerna är pålitliga men man kan enbart få högt termiskt COP för hela säsongen om man har bra förutsättningar för kylmaskinen. Alla värmedrivna kylmaskiner presterar sämre om man driver dem vid ogynnsamma temperaturer. Dessutom presterar absorptionskylmaskiner sämre vid delast. Hög distributionstemperatur för kyla, konstant (hög) last är viktiga faktorer för småsystem som de är för stora system. System som levererar baslasten är att föredra. System som arbetar vid delast under längre perioder har sämre termisk COP. Dessutom är elektrisk COP också sämre pga långa driftstider för pumpar m.m. jämfört med leverat kyla.

Enbart ett fåtal av företagen som utvecklar kylmaskiner kan lyckas kommersiellt. Två av de fem företagen i projektet som hade försäljning av småskaliga värmedrivna kylmaskiner gick i konkurs under projektets gång. Tre andra kylmaskiner har vidare utvecklats under projektet men har inte kommit ut på marknaden än. Det är en tuff marknad och utvecklingskostnaderna är stora. Det svenska företaget ClimateWell har lyckats väldigt bra i förhållande till de andra konkurrenterna. Sortech (adsorption) och Pink (absorption med ammoniak) är de två andra som har utvecklats mycket under projektets gång.

Projektet har lett till fördjupade kunskaper i ämnet hos de deltagande organisationerna. Högskolan Dalarna, KTH och ClimateWell har haft möjlighet till att ta del av den omfattande material och kunskap som har tagits fram i projektet. Mycket av detaljerna är inte offentliga och är publicerade i

rapporter med spridning begränsad till deltagarna i projektet samt EU kommissionen. Fredrik Setterwall, som också deltog i projektet, avled precis vid slutet av projektet.

Huvudslutsatserna för användning av småskalig värmedriven kylmaskiner i fjärrvärmenät är följande:

- Elsnåla pumpar och fläktar är ett måste för att kunna uppnå rimligt elektriskt COP. De bästa på marknaden är att föredra.
- Lämplig styrning av fläktar i kyltorn och kylmedelskylare behövs för att minska elanvändning.
- Användning som baslast, dvs högt antal fullasttimmar, är nödvändig för att få höga värden för elektriskt såväl som termiskt COP.
- System med kyllaster under 10kW är svårt att kunna räkna hem både ekonomiskt och energimässigt pga skalnackdelar.
- System där det finns ett förhållandevis hög varmvattenlast eller där man har ett kylbehov även under uppvärmningssäsongen kan man använda restvärmen från kylmaskinen vilket höjer systemeffektiviteten avsevärt. Detta visades av demonstrationssystemet i Berlin.
- Direktkoppling till fjärrvärmenätet är att föredra men fordrar hög tryckklassning av maskinen samt att det inte finns möjlighet till blandning med andra kretsar, såsom man oftast har i maskiner som har en batch process.
- Returtemperatur till fjärrvärmenätet var relativt hög i alla demonstrationsanläggningar. Det finns typer av absorptionsmaskiner där man kan åstadkomma lägre returtemperaturer men de är inte tillämpade i småskaliga maskiner pga kostnaden.

Lista av rapporter tillgängliga till allmänheten

Följande är en lista med kort beskrivning för alla rapporter som är tillgängliga till allmänheten alla kommer att vara tillgängliga från projektets hemsida, www.polysmart.org. Nedan finns en lista över rapporter som är tillgängliga till deltagare i EUs ramprogram.

D1-7 Final Report of WP1 Technology and Literature Review

Detta är ett omfattande dokument (139 sidor) med beskrivning av alla de vanliga teknologierna för både värmedriven kyla och småskalig kraftvärme och kombinationen därav. Den har en lång källförteckning och kan användas dels som referensinformation men även som undervisningsmaterial.

D2-5 WP2 final report - the market potential of micro-CHCP

Rapporten är baserad på en omfattande studie med beräkningar med ett enklare verktyg för småskalig trigenerering samt analyser av de olika ekonomiska faktorerna i olika länder liksom tillgänglighet och kostnad för utrustning. Den inleds med en bra sammanfattning på åtta sidor. Rapporten bygger på generella studier för hela Europa för olika kategorier av kunder (laster) och system och ett antal fallstudier där intressanta kombinationer av kundgrupper och länder analyserades i mer detalj. Resultaten visar att de mest lämpliga potentiella marknaderna kommer förmodligen att vara för medelstora hotell (< 200 rum), små sjukhus (< 200 sängar), kontor (< 4000 m²) och små industrier och livsmedelsbutiker. För att vara lönsamt bör man dimensionera så att man täcker mer baslasten än hela lasten vilket innebär att man behöver även pannor och eldrivna kylmaskiner för topplasten. Återbetalningstiden är som vanligt beroende på bidrag, regler för småskalig inmatning till elnätet och energipriser. Återbetalningstider under 10 år kan uppnås i gynnsamma fall utan stora subventioner medan större subventioner krävs för lönsamhet i mindre gynnsamma fall.

Rapporten täcker inte system med centraliserad kraftvärme med kylare som drivs från fjärrvärme.

D3-20 – D3-32 Reports on installation of demonstration projects

Det finns en kort rapport för varje demonstrationssystem där vvs-schemat och information om systemet redovisas. Det finns ingen information om driften.

D3-4 WP3 final report – demonstration of micro-CHCP systems

Denna rapport sammanfattar erfarenheterna från de elva demonstrationssystem inom projektet. Det visar de olika inkopplingarna som användes samt data från driften. Det fanns stora skillnader i hur länge systemen vara i drift samt hur kommersiellt tillgängliga de ingående komponenterna är. De mest kommersiella kylmaskinerna visade bra tillgänglighet men varierande termiskt prestanda jämfört med nominella värden för verkningsgrad vilket berodde mest på ogynnsamma driftförhållanden. Tillverkarna till två av kylarna gick i konkurs under projektets gång. I det ena fallet hade kylaren driftsproblem som behövde åtgärdas av ett forskningsinstitut medan i det andra fallet fungerade maskinen utan problem. En underhållsperiod av ett år verkar de kommersiella kylarna klarar av. De kommersiella småskaliga kraftvärmeaggregat fungerade tillförlitliga i alla anläggningar men det är en mer mogen teknik än småskalig värmedriven kylare.

D4-4 Final WP4 report: "Lessons learned and advice for the design of micro-trigeneration plants"

Till skillnad från rapporten som handlar om erfarenheterna från demonstrationssystemen sammanställer detta dokument råd om vad man ska tänka på när man ska designa ett småskaligt trigenereringssystem. Det finns avsnitt om inkoppling, systemtänkande och underhållsbehov. Rapporten redogör också för erfarenheter från mätproceduren inom projektet som kan användas i liknande projekt i framtiden.

D5-5 Final WP5 report: Modelling and tools

Rapporten består av en sammanfattning av modeller (både system och komponenter) och verktyg samt resultaten från detaljsimuleringar från fyra fallstudier. Det finns omfattande rapporter för dessa fallstudier däribland en från Högskolan Dalarna och KTH om fjärrvärmedriven kyla med ClimateWells kylmaskin men de är inte tillgängliga för allmänheten utan enbart till deltagarna i projektet.

D5-5 Feasibility tool

Verktyget är ett enkelt excel beräkningsverktyg för att göra en snabb uppskattning av såväl energi som ekonomisk besparing med ett småskaligt trigenereringssystem jämfört med ett referenssystem. System med kraftvärme plus eldriven kyla räknas också och data för alla dessa system måste matas in i ett excelblad där en energi och ekonomisk balans redovisas i tabell form. I andra blad redovisas resultat som diagram. Den täcker inte system med centraliserad kraftvärme. En kort beskrivning av verktyget finns med.

D6-5 CHCP Position paper

Detta är en kort sammanfattning av det aktuella läget vad gäller teknik, prestanda och ekonomi samt potentialen för tekniken på sikt.

University Course

Material för en hel kurs om småskalig trigenerering har tagits fram under projektet och kan laddas ned. Det består av OH serier om systemkategorier, småskalig kraftvärme, småskalig värmedriven kyla, andra komponenter, systemteknik samt ekonomi. Det finns dock inga räkneuppgifter eller liknande.

Följande rapporter ska vara tillgängliga till deltagare i EUs ramprogram.

D1-6 Literature and patents search update

Detta är en kort rapport med information om litteratursökningen inom ämnet. Det finns excelblad med listor över litteraturen och patent som hittades och likaså data om värmedrivna kylmaskiner

och kraftvärme aggregat. Tyvärr är dessa excelbladen (databaser) enbart tillgängliga till deltagare i projektet. Dock har det väsentligaste sammanfattats i dokument D1-7 (se ovan) som är 139 sidor lång.

Load generator

Detta datorprogram kan ta fram timvärden för el, värme och kyla för en byggnad utifrån årliga värden och klimat data. Timvärden kan sedan användas som indata till simuleringsprogram.