

SJÄLVREGLERANDE AKTIVA KYLBAFFLAR



Jan-Olof Dalenbäck

2020-04-30

FÖRORD

Projektet har initierats av Jonas Gräslund, Skanska CDN, så först ett stort tack till Jonas för hjälp med finansiering via SBUF och ovärderligt stöd under hela projektet.

Projektet har genomförts av Peter Filipsson som industridoktorand på avdelningen för installationsteknik på Chalmers. Stort tack till Peter för ett väl genomfört arbete som lett till en välförtjänt doktorsexamen. Tack till CIT Energy Management AB, och dess medarbetare, som lånat ut Peter. Tack också till alla kollegor på vår avdelning, speciellt universitetslektor Anders Trüschel som handlett Peter, och Håkan Larsson som fixat i labbet.

Till sist ett tack till SBUF som finansierat projektet och dess forskningsutskott som tillstyrkte projektets genomförande.

Göteborg 2020-04-30

Jan-Olof Dalenbäck

Professor, projektledare, handledare och examinator
Avd. för installationsteknik, Chalmers

SAMMANFATTNING

Komfortkylsystem kan dimensioneras för att arbeta med betydligt högre köldbärartemperatur än vad som är praxis idag. Detta gör att kylmaskiner kan ersättas med frikyla och tack vare en självreglerande effekt minskar dessutom behovet av styrutrustning. De största fördelarna är lägre elanvändning och mer robusta system med färre rörliga delar. Aktiva kylbafflar är en teknik som möjliggör detta.

Målet med det här projektet är att undersöka självreglerande aktiva kylbaffelsystem för att förbättra dimensionering och drift. Erfarenheter tyder på att befintliga modeller inte fullt ut tar hänsyn till alla viktiga egenskaper hos självreglerande kylbafflar.

Projektet har omfattat mätningar i ett försöksrum, modellering i ett byggsimuleringsverktyg och analys av driftdata från en riktig byggnad. Syftet med mätningarna var att utveckla en kylbaffelmodell och att validera en modell av ett rum med en kylbaffel. Syftet med simuleringarna var att se hur mycket lägre effektbehov som krävs i ett självreglerande system samt att undersöka olika strategier att styra köldbärartemperaturen. Syftet med att analysera driftdata var att fastställa prestandan i ett verkligt system med avseende på energibehov och inomhusklimat.

Resultaten visar att högre köldbärartemperatur innebär högre induktionskvot, vilket är till kyleffektens fördel. Att kylbaffeln inducerar rumsluft påverkar dessutom värmebalansen i rummet på ett sätt som sänker effektbehovet. Självregleringen innebär dessutom att byggnaden kyls proaktivt innan det maximala kylbehovet föreligger, vilket sänker effektbehovet ytterligare. Att höja köldbärartemperaturen under höst, vinter och vår är ett effektivt sätt att undvika att överkylning, utan att tumma på den termiska komforten. Analysen av driftdata visar att självreglerande aktiva kylbafflar kan ge ett utmärkt termiskt klimat, helt utan att använda kylmaskiner.

INNEHÅLL

BAKGRUND.....	4
SYFTE	6
METODIK.....	7
RESULTAT	8
SLUTSATSER.....	10
REFERENSER	11

BAKGRUND

SBUF-projekt

Denna rapport avser den andra delen av ett doktorandprojekt om självverkande kylbafflar som tidigare beviljats och avrapporterats vid årsskiftet 2016/17. Resultaten från den första delen redovisades i en slutrapport (ID: 12813), i två vetenskapliga artiklar och i en populärvetenskaplig artikel i Energi & Miljö (Filipsson och Gräslund, 2017a).

Bild 1 visar en aktiv kylbaffel monterad i ett undertak. Den kyllda rumsluften kommer ut i slitsarna på sidorna och följer taket tills den faller ner mot golvet.



Bild 1 Kylbaffel monterad i undertak.

Denna andra delen (ID: 13426) bygger vidare på det arbete som genomfördes under den första delen. Resultaten redovisas i denna slutrapport, en populärvetenskaplig artikel i Energi & Miljö (Filipsson och Gräslund, 2017b) och i en doktorsavhandling (Filipsson, 2020) baserad på sex vetenskapliga artiklar, varav två publicerades under den första delen av projektet och fyra har publicerats under den andra delen av projektet.

Båda projekten har genomförts inom ramen för Jonas Gräslunds verksamhet som adjungerad professor hos avdelningen för installationsteknik på Chalmers tekniska högskola.

Självreglerande kylbafflar

Båda SBUF-ansökningarna innehåller begreppet ”självverkande kylbafflar”. Under arbetets gång har detta begrepp övergått till ”självreglerande kylbafflar” vilket är en bättre beskrivning av det som studerats inom projektet.

Funktionen hos den typ av aktiv kylbaffel som studerats i projektet är sådan att den luft som tillförs kylbaffeln drar med sig rumsluft som stiger upp genom, och kyls i, ett kylbatteri, för att sedan lämna kylbaffeln vid taket, se Bild 2.

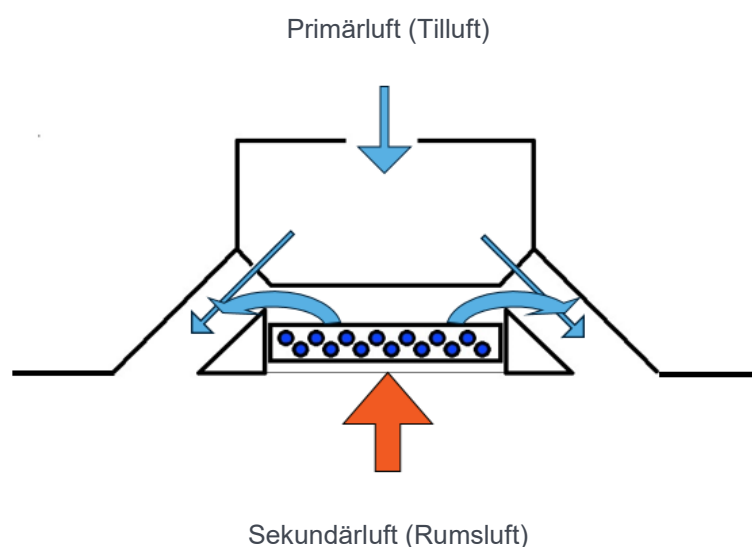


Bild 2 Principbild aktiv kylbaffel

Traditionella aktiva kylbafflar har en köldbärartemperatur kring 14-16 °C och flödet styrs av en rumsternostat och ventiler i kölbärarkretsen. Självreglerande aktiva kylbafflar skiljer sig från traditionella aktiva kylbafflar genom att de förses med ett konstant köldbärarflöde med högre temperatur (nära rumstemperatur).

SYFTE

Syftet är att öka kunskapen om möjligheter och begränsningar med självreglerande kylbafflar. Doktorsarbetet syftar dels till att beskriva funktionen hos system med självreglerande kylbafflar med kontinuerligt flöde av köldbärare vid rumstemperatur, såväl med avseende på dess kapacitet att kyla i typiska kontorsrum (energi/effekt) som med avseende på termisk komfort i kontorsrummen, samt till att jämföra funktionen hos självreglerande kylbafflar med motsvarande funktion hos traditionell teknik med intermittert styrt flöde av köldbärare med lägre temperatur.

I denna andra del skulle den utvecklade modellen implementeras i simuleringsprogrammet IDA ICE och dess funktion verifieras med labb- och fältmätningar. Därefter skulle olika typiska tillämpningar simuleras, analyseras och jämföras med traditionellt styrda kylbafflar med avseende på energieffektivitet, kyleffekt och inneklimat. Projektets andra del förväntades ha ett mycket stort värde, dels vid dimensionering av självreglerande kylbaffelsystem och dels för att optimera styrningen av framledningstemperaturen. Den andra delen skulle också leda till en doktorsexamen.

METODIK

Projektet baseras på litteraturstudier, mätningar i labb, beräkningar med egenutvecklade och kommersiella modeller (IDA ICE) och fältmätningar i en större kontorsbyggnad.

Litteraturstudier är en självklar del av alla forskningsprojekt och det finns en omfattande lista på referenser i den publicerade doktorsavhandlingen (Filipsson, 2020).

Labbmätningarna har genomförts i Installationstekniks försökshall och omfattat detaljerade mätningar på en aktiv kylbaffel i en väldefinierad rumsmodul som sedan använts för validering och utveckling av olika modeller. Bild 3 visar en elvärmd cylinder som simulerar en personlast i rumsmodulen. Locket på toppen används för att förändra värmeavgivning (konvektiv resp. strålning).

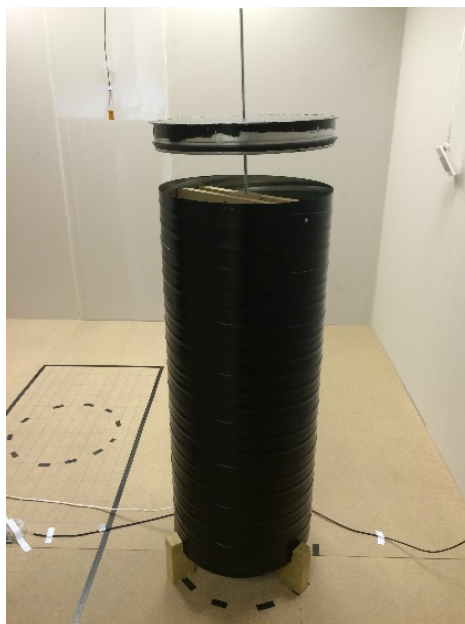


Bild 3 Uppvärmad cylinder som simulerar en personlast.

Beräkningarna har främst skett i IDA ICE för att studera värmeöverföring mellan kylbafflarna och rummet, självreglerande kylbafflars kapacitet att minska erforderlig kyleffekt i rum och lämplig framledningstemperatur för självreglerande kylbaffelsystem.

Fältmätningarna har omfattat en detaljerad utvärdering av den termiska komforten i Entré Lindhagen, Skanska huvudkontor i Stockholm (se bild på rapportens framsida), där det finns självreglerande kylbafflar.

RESULTAT

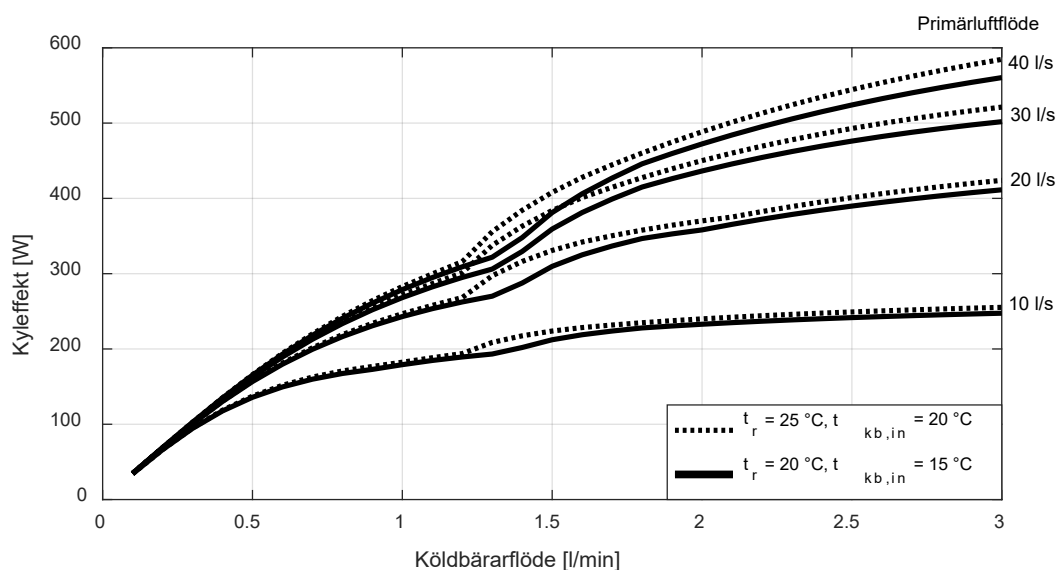
Induktionskvot

En hög induktionskvot (eng. induction ratio = förhållandet mellan rumsluften upp genom, och tilluften till, kylbaffeln) är viktigt för att erhålla en hög kyleffekt. Vidare krävs det kunskap om hur induktionskvoten påverkas av olika parametrar för att kunna bestämma temperatur och flöde hos luften som lämnar kylbaffeln.

Induktionskvoten har bestämts med tre olika mätmetoder. Till skillnad från tidigare publicerade teorier visade sig induktionskvoten påverkas mindre av rumstemperaturen än temperaturen på köldbäraren då densamma är högre än i traditionella kylbafflar.

Kylbaffelmodell

Det finns många som utvecklade modeller för aktiva kylbafflar. Det som är unikt med den modell som utvecklats inom projektet är dels att den tar hänsyn till induktionskvot, dels att den fungerar i ett brett område (vid olika temperaturer och flöden), inklusive laminärt flöde i köldbäraren, se Figur 1.



Figur 1 Kylbaffels beräknade kyleffekt som funktion av köldbärarflöde och tilluftsflöde.

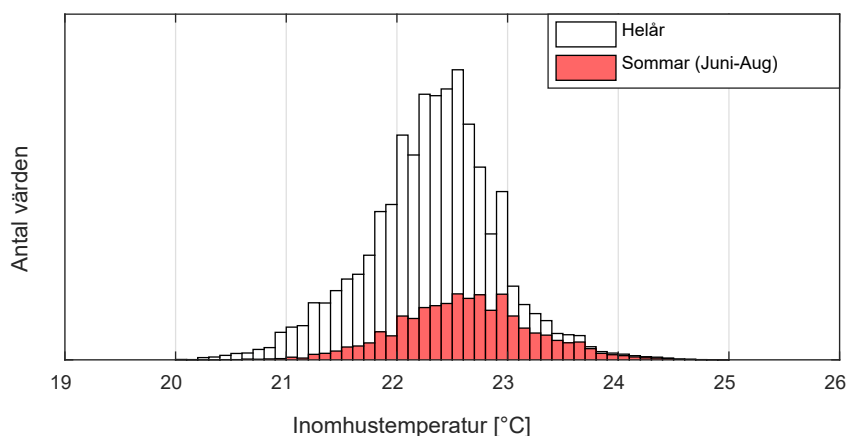
Rumsmodellering

En traditionell rumsmodell räknar med konvektionskoefficienter som funktion av tilluftstemperatur, och värmeöverföring som funktion av temperaturskillnaden mellan tak och rumstemperatur. En modifierad modell som stämmer bättre med mätningar räknar med lufttemperatur ut ur kylbaffeln resp. temperaturskillnaden mellan tak och lufttemperaturen ut ur kylbaffeln.

Självreglering

Med ett självreglerande system med låg tilloppstemperatur (20 °C) under sommarhalvåret erhålls en förkylning (pre-cooling) som leder till lägre kyleffektbehov än i ett traditionellt system med ett typiskt rumtemperaturbörvärde (23 °C).

Ett självreglerande system med låg tilloppstemperatur (20 °C) under vinterhalvåret kan leda till för låga rumtemperaturer. Därför bör tilloppstemperaturen ha en svag koppling till utetemperaturen med en högre tilloppstemperatur (22 °C) på vinterhalvåret.



Figur 2 Fördelning av rumstemperatur i Entre Lindhagen under hela 2018, resp. under perioden juni-augusti

Tillämpbara standarder och riktlinjer föreslår något högre rumtemperaturer än de som uppmättes i Entre Lindhagen, speciellt under sommarperioden, se Figur 2. Uppmätta temperaturer är dock i linje med vad flera VVS-konsulter anser är normalt i andra kontorsbyggnader och har inte lett till några klagomål. Och i det fall det funnits klagomål kunde tilloppstemperaturen ha höjts en aning.

SLUTSATSER

Projektet har varit upplagt på så sätt att det skulle ge svar på tre forskningsfrågor.

Är nuvarande modeller tillräckligt bra för att användas vid dimensionering av aktiva kylbafflar ? Med nuvarande modeller avses väl etablerade modeller som används av konsulter.

Nuvarande modeller för aktiva kylbafflar är tillräckligt bra för att simulera dess funktion förutsatt att de validerats nära det aktuella arbetsområdet (temperatur, flöde), det vill säga att interpolation över ett för stort arbetsområde undviks.

Då en modell av en aktiv kylbaffel implementeras i en rumsmo­dell behöver densamma ta hänsyn till induktionskvoten vid beräkning av rummets konvektiva värmeöverföring. Vidare bör temperaturen hos luften som lämnar kylbaffeln användas som referenstemperatur för att beräkna konvektion vid taket.

Kan självreglerande aktiva kylbafflar säkerställa erforderlig termisk komfort i svenska kontorsbyggnar ?

Självreglerande aktiva kylbafflar kan hålla ett stabilt och jämnt termiskt klimat i kontorslandskap och mötesrum. I ett öppet kontorslandskap underlättas det av den naturliga omblandningen av luft. I mötesrum underlättas det av en forcering av luftflödet av luftkvalitetsskäl när de används.

Vad får olika sätt att dimensionera och använda självreglerande aktiva kylbafflar för konsekvenser ?

Den högre köldbärartemperaturen säkerställer ett stabilt och jämnt termiskt klimat. Nackdelen är att det krävs en större värmeöverföringsarea (fler eller större kylbafflar).

En hög köldbärartemperatur möjliggör ett bättre utnyttjande av frikyla, ökad induktion av rumsluft (ökad kyleffekt), mindre risk för överkylning, mindre behov av dagpunktsreglering, mindre förluster i distributionssystem och eliminerar behovet av styrutrustning för varje kylbaffel.

För att inte riskera för låg rumstemperatur under höst, vinter och vår, bör köldbärartemperaturen var svagt utetemperaturkompenserad.

REFERENSER

Filipsson, P. och J. Gräslund (2017a) Självverkande kylbaffelsystem.
Energi & Miljö Nr 5 (Årgång 88) sid. 48-51.

Filipsson, P. och J. Gräslund (2017b) Termisk komfort med självverkande kylbafflar.
Energi & Miljö Nr 6-7 (Årgång 88) sid 40-42.

Filipsson, P. (2020) Self-regulating Active Chilled Beams.
Doktorsavhandling, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik, Chalmers tekniska högskola,
Göteborg. <https://research.chalmers.se/publication/516194>