

Sammanfattning av Slutrapport

Utvärdering av kyl- och värmesystem i livsmedelsbutiker genom fältmätning och modellering

Samer Sawalha, Mazyar Karampour

samer.sawalha@energy.kth.se

mazyar.karampour@energy.kth.se

Sammanfattning

Detta projekt undersöker utmaningar och möjligheter att använda CO₂ som köldmedium i livsmedelsbutiker. Fokus ligger på CO₂ transkritiska system som är den bästa tillgängliga tekniken för kylsystemet i livsmedelsbutiker. Med hjälp av datamodeller och fältmätningar har prestanda av CO₂ systemet studerats för att hitta den mest energieffektiva lösningen som levererar både kyl-och värmebehov i livsmedelsbutiker. I forskningsprojektet har olika systemlösningar som finns på marknaden med CO₂ som köldmedium undersökts där förslag på systemändringar och optimering presenteras.

Summary

This project investigates the potentials, challenges and opportunities of using CO₂ as refrigerant in the supermarket refrigeration and heat recovery systems. The focus is on CO₂ trans-critical booster system, as the emerging state-of-the-art system in supermarket refrigeration field. The CO₂ booster system performance is studied using computer modeling and field measurement analysis to find the most energy efficient ways for providing simultaneous cooling and heating demands in supermarkets. Through this research work, the solutions available on the market are investigated, suggestions on system modifications and optimization are made, and new system solutions are suggested.

Inledning

Livsmedelsbutiker är energiintensiva byggnader som använder 3-4% av den totala årliga elanvändningen i industriländerna där kylsystemet använder 35-50% av den totala elektriciteten (Sjöberg, 1997)(Reinholdt and Madsen, 2010)(Orphelin and Marchio, 1997)(Tassou et al., 2011)(Arias, 2005). Kylsystemet i livsmedelsbutikerna har stor inverkan på växthuseffekten genom användning av köldmedier med hög GWP. Livsmedelsbutiker i Europa använder 30% av HFC köldmedier (SKM Enviros, 2012) med en årligläckage på 3-22% (IPCC/TEAP, 2005).

På grund av den negativa inverkan livsmedelsbutiker har på miljö kommer de att vara bland de sektorer som påverkas mest av den nya F-gas förordningen. Den nya förordningen kommer att förbjuda användningen av köldmedier med GWP högre än 150 för centraliserade system som är större än 40 kW från år 2022 (The European Parliament, 2014).

Bland de naturliga köldmedierna är CO₂ det köldmedium som har mest acceptans i livsmedelsbutiker på grund av dess goda säkerhetsegenskaper. Det state of the art för kylsystemet i livsmedelsbutiker är CO₂ booster transkritiskt.

Systemet som använder ett miljövänligt köldmedium anses vara en av de bästa och populäraste teknikerna för svenska livsmedelsbutiker.

Det transkritiska boostersystemet har rapporterats kunna täcka hela kyl- och värmebehovet hos en genomsnittlig livsmedelsbutik. Integrationen av kyla och värme i detta system leder till mindre årlig energianvändningen i jämförelse med en konventionell R404A kylsystem med separat värmepump för värmebehovet (Sawalha, 2013). CO₂-systemet kan styras för att passa både kyl- och värmebehoven med högsta möjliga effektivitet.

Huvudresultat

1 – Den potentiella värmeåtervinningen i livsmedelsbutiker - modellering och fältmätningar: En kontrollstrategi föreslås för att få optimal värmeåtervinning från CO₂ transkritiska systemet. Från den föreslagna kontrollstrategin, är den extra energianvändningen i CO₂-kylsystemet som krävs för att återvinna en specifik värmemängd lägre än energin från en konventionell värmepump. Detta är fallet för nästan alla utomhustemperaturer under en hel säsong. CO₂ transkritisk levererar både kyla och värme och har lägre årlig energianvändning än ett konventionellt system med R404A och en separat bergvärmepump.

Under projektet har fältmätningar i två livsmedelsbutiker som ligger i Hovås (sydväst) och Piteå (norr) genomförts. Resultaten visar att kontrollstrategin i båda livsmedelsbutiker kan justeras för att matcha kontrollstrategi med högsta effektivitet. I en annan modellering studie har visat att CO₂ transkritiska system kan täcka hela kyl- och värmebehov med hög COP och SPF.

2 - En alternativ metod för aktuell COP och kyleffekt beräkning/visualisering: en alternativ metod har utvecklats för beräkning av COP och kyleffekt för ett kylsystem. Metoden bygger på enkla algebraiska ekvationer som inte kräver mätningar av massflöde eller entalpiberäkningar. Resultaten visar god noggrannhet med skillnad på 5 till 10% i jämförelse med konventionella metoder.

3 - Instrumentering, mät-och utvärderings riktlinjer: Riktlinjer för hur man instrumenterar, mäter, utvärderar och jämför kylsystem i livsmedelsbutiker har utvecklats

4 - CO₂ och R404 system utvärderingar och jämförelser:

Tidigare KTH forskningsresultat inom Effsys+ programmet har granskats och sammanfattats. Som ett exempel, har energiprestanda från åtta livsmedelsbutiker

(fem CO₂ transkritiska och tre R404/R410) jämförts. Det har visat att även om de äldre CO₂-system har lägre COP än referenssystemen, modernare CO₂-system visar ha högre eller åtminstone samma energiprestanda än konventionella HFC-system. Forskningsresultat inom område har sammanställts och skickat som ett paper till en internationell tidskrift.

5 - Kontrollstrategier i livsmedelsbutiker: I detta forskningsprojekt har olika kontrollstrategier för livsmedelsbutikerna undersökts genom litteraturstudier och fältmätninganalys.

6 – Förbättring av systemprestanda och systemlösningar genom modellering: Årlig energiprestanda på kyl- värmeåtervinningssystem med CO₂ har modellerats och de viktigaste faktorerna på systemprestanda har identifierats.

7 - Kännetecken för ett state-of-the-art system och fallstudier: de senaste förbättringarna inom systemdesign och fallstudier från några energieffektiva livsmedelsbutiker har diskuterats och det state-of-the-art system som kan installeras i Sverige har föreslagits.

Måluppfyllelse

Följande har vi gjort:

- Analyserat resultat för moderna kylsystem som täcker både värme och kylbehovet i livsmedelsbutiker och definierat ett miljövänligt kylsystem för livsmedelsbutiker.
- Bevisat de stora fördelarna med CO₂-kylsystem med värmeåtervinning i livsmedelsbutiker
- Fältmätning av utvalda svenska livsmedelsbutiker. För närvarande har KTH-forskare tillgång till data från kylsystemet i 15 livsmedelsbutiker
- Utvecklat riktlinjer för instrumentering och mätningar. Det är mycket enklare och billigare att beräkna det aktuella kylbehovet och effektivitet.
- Studerade kontrollstrategier för både kyl- och värmeåtervinningssystem. Kontrollstrategier främst för värmeåtervinning har föreslagits och testats på fältet.
- Uppgradering av befintliga simuleringsmodeller i projektet för att möjliggöra jämförelser av modernare livsmedelsbutikernas energisystem.
- Följt den internationella utvecklingen på livsmedelsbutikernas kylsystem och åiterrapporterat till den svenska marknaden
- Etablerat nationella och internationella kontakter inom livsmedelsbutikerna genom att delta i internationella projekt som Annex 44, som handlar om energinyckeltal för energieffektiva livsmedelsbutiker. Även en ansöka till ett nytt internationellt projekt med fokus på energieffektivisering i livsmedelsbutiker har skickat till Horisont 2020.
- Resultat har publicerats både lokalt och internationellt i form av akademiska examensrapporter, workshop presentationer, konferenser och tidskriftsartiklar

Effekter i samhället

Forskningsprojektet bidrar till en hållbar utveckling av samhället på olika sätt (I) projektet stöder användning av CO₂ som är ett naturligt köldmedium istället för köldmedier med höga GWP. Detta kommer att minska livsmedelsbutikernas negativa effekter på miljön avsevärt och det kommer att inspirera och påverka kylbranschen att se över valet av köldmedium. De nya systemen är också relativt effektiva som inte bidrar till högre indirekta CO₂-utsläpp jämfört med konventionella system (II) projektet stöder tillämpningen av en integrerad kyl och värmeåtervinnings lösningar, som täcker hela eller en stor del av värmebehovet, med mindre primärenergianvändning, mindre miljöpåverkan och eventuellt mer ekonomiska fördelar. (III) Spridning av forskningsresultat från dessa miljövänliga lösningar kommer att öka allmänhetens medvetenhet om klimatförändringarnas utmaningar och lösningar.

Genomförande

En litteraturunderstudie har genomförts som sammanfattar den senaste utvecklingen inom området kylsystem i livsmedelsbutiker.

Fallstudier för datormodellering har identifierats och installationer med liknande lösningar har föreslagits av de industriella partners.

Modellering och fältmätningar är de två viktigaste metoder som används för att utvärdera olika kylsystem i livsmedelsbutikerna. CO₂ transkritiska systemet modelleras genom att definiera randvillkor, kyl-och värmebehovet och kontrollstrategier.

Simuleringsprogrammet CyberMart som utvecklades på institutionen för energiteknik har använts för att generera profiler av värme och kylbehov för de utvalda fallstudierna.

Fältmätningar har genomförts där datainsamling från övervakningssystem har analyserats för att hitta olika nyckeltal som tar hänsyn till kyl-och värmekapacitet och COP för kyla och värme. För att jämföra systemprestanda har en normaliseringsmetod tillämpas.

Referenser

- Arias, J., 2005. Energy usage in supermarkets-modelling and field measurements (Doctoral Thesis). KTH.
- IPCC/TEAP, 2005. Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Orphelin, M., Marchio, D., 1997. Computer-aided energy use estimation in supermarkets, in: Proc. Building Simulation Conference. Pargue, Czech.
- Reinholdt, L., Madsen, C., 2010. Heat recovery on CO₂ systems in supermarkets, in: 9th IIR Gustav Lorentzen Conference. Sydney, Australia.
- Sawalha, S., 2013. Investigation of heat recovery in CO₂ trans-critical solution for supermarket refrigeration. Int. J. Refrig. 36, 145–156.

- Sjöberg, A., 1997. Covering of a cabinet in supermarkets (Master Thesis). Royal institute of technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- SKM Enviros, 2012. Phase down of HFC consumption in the EU-Assessment of implications for the RAC sector.
- Tassou, S.A., Ge, Y., Hadawey, A., Marriott, D., 2011. Energy consumption and conservation in food retailing. *Appl. Therm. Eng.* 31, 147–156.
doi:10.1016/j.applthermaleng.2010.08.023
- The European Parliament, 2014. Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006 Text with EEA relevance.