

Forbedring af industrielle processers energieffektivitet

Et dansk forskningsprojekt, THERMCYC, arbejder på at udvikle løsninger, som kan gøre udnyttelsen af overskudsvarme til el- og varmeproduktion økonomisk og teknisk mulig og dermed øge industriens bæredygtighed.

Af Stefano Cignitti¹, Jerome Frutiger¹, Benjamin Zühlsdorf², Fabian Bühler², Jesper G. Andreasen², Fridolin Müller³, Fredrik Haglind², Brian Elmegaard², Jens Abildskov¹, Gürkan Sin¹ og John M. Woodley¹

¹ DTU Kemiteknik

² DTU Mekanik

³ Viegand Maagøe A/S

Den kemiske industri er den sektor, der producerer mest overskudsvarme i Danmark. Det skriver en ny rapport udarbejdet af DTU i samarbejde med Viegand Maagøe A/S. Størstedelen af overskudsvarmen afgives ved lave temperaturer, som gør udnyttelse uøkonomisk med dagens teknologi.

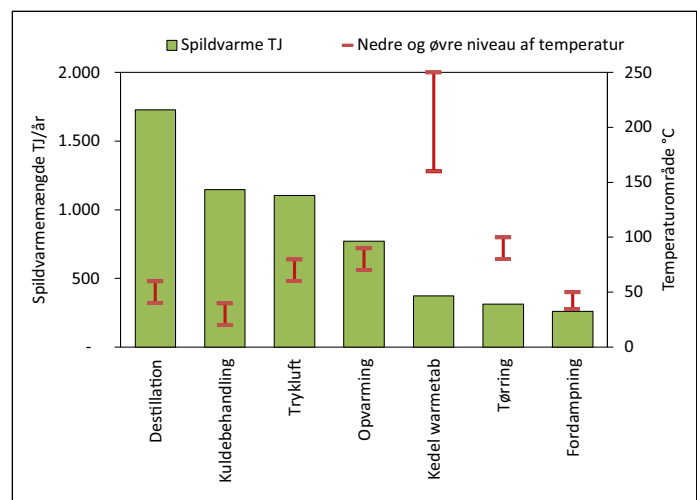
I det danske forskningsprojekt, THERMCYC, er der fokus på optimering af varmepumper og varmekraftmaskiner til produktion af henholdsvis varme og el med spildvarme som kilde. Der arbejdes detaljeret med optimering af kredsprocesser, komponenter, design af nye arbejdsmedier og blandinger af arbejdsmedier.

Overskudsvarme fra kemiske processer

Rapporten fra Viegand Maagøe A/S og DTU skønner, at varmepumper og varmekraftmaskiner potentielt kan udnytte op til 212 millioner GJ overskudsvarme årligt i Danmark. Derudover findes yderligere varme fra naturlige kilder. 22,5 millioner GJ stammer fra fremstillingsindustrien, heraf 27% fra kemisk industri. Overskudsvarmen fra den kemiske industri svarer til 13% af dennes totale energiforbrug. 91% af overskudsvarmen stammer fra processer, som udleder lavtemperaturvarmekilder under 100°C, herunder fordampning, tørring, destillation og køling. Kemisk industri omfatter her såvel olieraffinering som produktion af kemikalier, plastik, glas og cement. Ud over dette, er betydelige mængder overskudsvarme tilgængelig i andre industrielle sektorer som fødevarer-, drikkevarer-, træ- og papirsektorer, samt i andre ikke-industrielle sektorer som transport-, forsynings- og bygningssektoren.

Udfordringer

Der er stort potentiale i at anvende den store mængde overskudsvarme fra kemiske processer. Det kan resultere i betydelige forbedringer af industriens bæredygtighed. Overskudsvarmen kan blive anvendt til generering af opvarmning, kølelydelse

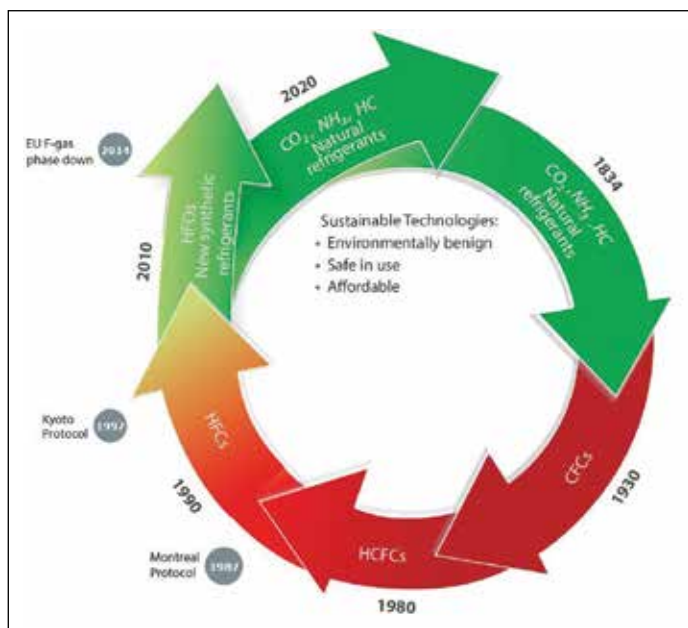


Figur 1. Oversigt over overskudsvarme fra den kemiske industri.

eller el via termodynamiske kredsprocesser. Med nuværende teknologier er anvendelse af lavtemperaturoverskudsvarme dog ikke økonomisk favorabelt. Dette kan opnås ved udvikling af nye kredsprocesser og kølemidler.

Egenskaberne for det arbejdsmedie, som anvendes i processen, har væsentlig indflydelse på hvor meget af potentialet, som kan udnyttes. Blandinger af kølemidler kan øge effektiviteten af en kredsproces betydeligt. Det skyldes, at der i modsætning til rene kølemidler opstår en glidende temperaturændring i mediet under fordampning/kondensering. Denne ændring muliggør en mere fordelagtig temperaturvariation i fordamperen. Derudover kan udvikling af nye molekyler gøre det muligt at overholde lovgivningsmæssige restriktioner for brug af miljøskadelige medier. Disse restriktioner kommer bl.a. fra Montreal Protokollen og F-gas-lovgivningen fra EU, som regulerer brugen af fluider, der bidrager til global opvarmning og ødelæggelse af ozonlaget. Der arbejdes hermed frem mod at anvende naturlige arbejdsmedier frem for syntetiske kølemidler. Det giver dog nogle udfordringer i forhold til håndtering af brændbarhed og giftighed.

Fremtidens kølemidler kan bl.a. være alken- eller æterbaserede fluorholdige syntetiske stoffer, samt siloxaner, som kan overkomme både de miljømæssige og sikkerhedsmæssige problemer.



Figur 2. Udfasning af kølemedler gennem tiden. Brugt med tilladelse fra Danfoss.

Muligheder undersøgt i THERMCYC

I projektet undersøger vi nye metoder, hvormed man effektivt og billigt kan designe og optimere nye kølemedler og kredspocesser. Computerbaserede metoder kan gøre det muligt at designe nye innovative arbejdsmedier og kredspocesser, der både respekterer miljøkrav og gør det teknisk og økonomisk muligt at anvende overskudsvarme effektivt. Endvidere kan der udføres detaljeret komponentdesign af pumper, kompressorer, turbiner, varmevekslere osv.

I THERMCYC forskes der i at opbygge disse metoder, og der udføres detaljerede designs og løsninger for flere industrielle cases.

De interessante kredspocesser er varmepumper til at løfte temperaturniveauet for overskudsvarmen, og varmekraftmaskiner til generering af el ud fra den. Overskudsvarme ved temperaturer under 100°C vil typisk blive anvendt direkte eller i varmepumper som forbruger el. I varmekraftmaskiner, som f.eks. Organic Rankine Cycle, anvendes højere temperaturer end omkring 75°C for at omsætte deres potentiale til el. Udviklingen peger mod, at de interessante temperaturniveauer for varmepumper og kraftmaskiner nærmer sig hinanden og overlapper. Figur 3 illustrerer hhv. en varmepumpe og en varmekraftmaskine til udnyttelse af overskudsvarme.

Info om forskningsprojektet THERMCYC

THERMCYC er et stort forskningsprojekt i samarbejde mellem danske og internationale forskningsinstitutter og virksomheder finansieret af Innovationsfonden.

Nye innovative termodynamiske kredspocesser (varmepumper og varmekraftmaskiner) udvikles med henblik på udnyttelse af overskudsvarme i Danmark. Målet er at spare 15% energi i dansk industri og hermed reducere CO_2 -udledninger med 8,8 mio. ton årligt.

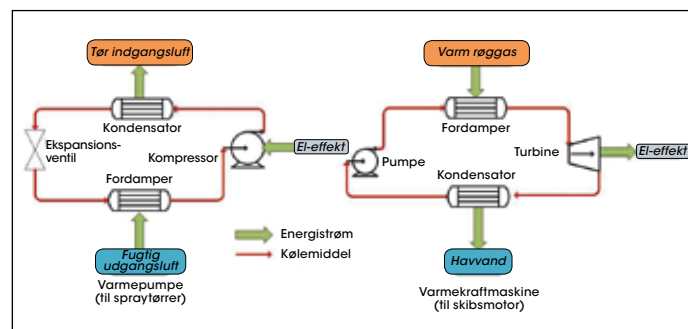
Projektets partnere er DTU Mekanik & DTU Kemiteknik på Danmarks Tekniske Universitet, Aalborg Universitet, Teknologisk Institut, Viegand Maagøe, AP Møller Mærsk, Danfoss, Arla, Alfa Laval, Technische Universität München, Delft University of Technology og MAN Diesel & Turbo.

I et større casestudie gennemført i THERMCYC, i samarbejde med MAN Diesel & Turbo og Mærsk, blev et kølemedelkoncept designet til en skibsmotor til anvendelse af overskudsvarme fra 240°C udstødningsgas. Her kan en varmekraftmaskine udvinde 1,1 MW el, som kan anvendes ombord til generel el-forsyning, kølecontainere og fremdrift af skibet. Ved fuld implementering af denne varmekraftmaskine på større skibe i Danmark, som har minimum 10 MW i fremdrivningseffekt, kan der genereres op til 2.000 GWh el om året.

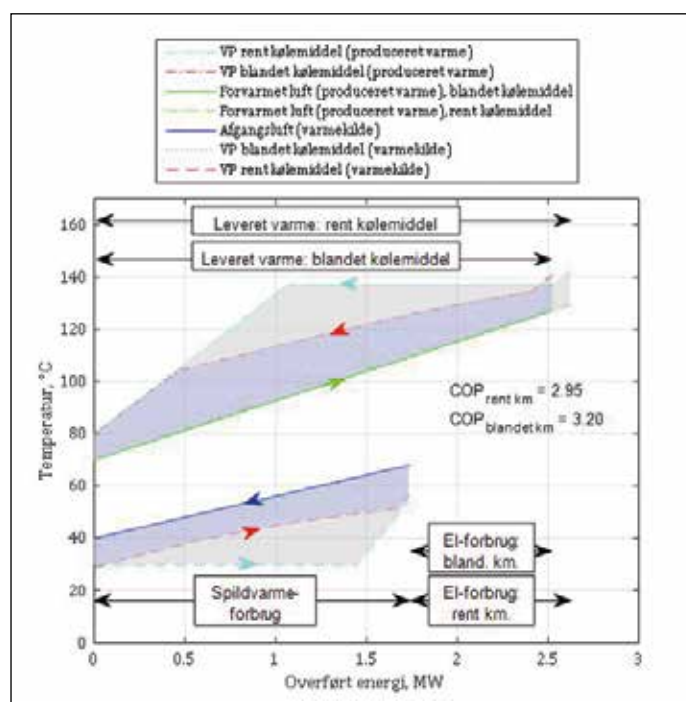
Overskudsvarme fra mælkepulverproduktion

Et større igangværende projekt i THERMCYC omhandler anvendelse af overskudsvarme fra et spraytørringsanlæg. Projektet tager udgangspunkt i Arla Foods Arinco i Videbæk, som er en af de største mælke- og mælkepulverproduktionsfabrikker i Europa.

I anlægget bliver mælkekoncentrat, efter adskillige forbehandlingstrin, tørret i et spraytørringsanlæg til mælkepulver. Spraytørreren anvender 210°C varm luft til at fordampe væsken i mælkekoncentratet, hvorefter mælkepulver samt fugtig luft ved omkring 70°C forlader enheden. Den indkommende luft til spraytørrerapparatet bliver opvarmet til 210°C med damp, som genereres i en naturgaskedel.



Figur 3. Varmepumpe (venstre) og varmekraftmaskine (højre) til udnyttelse af overskudsvarme.



Figur 4. Enthalpi-Temperaturdiagram for rent og blandet kølemedel i varmepumpe for udnyttelse af overskudsvarme i mælkepulverproduktion (VP: varmepumpe).

Projektet sigter mod at genanvende overskudsvarmen fra udgangsluften til forvarmning af indgangsluft ved et højere temperaturniveau gennem en varmepumpe. Dette kan resultere i en reduktion af naturgasforbruget på 39%. Som alternativ kan overskudsvarmen bruges i det lokale fjernvarmenet som primært forsyner private boliger. Dog foretrækkes en intern løsning, da efterspørgslen på varme her er uafhængig af årstiderne og giver en bedre udnyttelse økonomisk og energimæssigt.

En mulig varmepumpeløsning kan udnytte overskudsvarmen ved at nedkøle udgangsluften til 40°C og opvarme spraytørringsanlæggets indgangsluft til 128°C. Brugen af en binær kølemiddelblanding bestående af 35% propan og 65% pentan er fordelagtig, da temperaturprofilen under fordampningen og kondenseringen passer godt. Dette formindsker tabene, sammenlignet med anvendelse af et rent kølemiddel, som illustreret i figur 4, side 11. De markerede områder mellem varmeafgiver og varmeoptager repræsenterer potentialet for bedre udnyttelse grundet temperaturforskel i varmeoverførslen mellem kølemidlet og luften. Det kan ses, at området er mindre for kølemiddelblanding sammenlignet med det rene stof. Det resulterer i en øget effektivitet og dermed stigning af virkningsgraden (COP).

Varmepumpen kan potentielt anvende 1,73 MW overskudsvarme fra udgangsluften og 790 kW elektrisk energi til at levere

2,52 MW brugbar termisk energi, hvilket svarer til en COP på 3,2. Varmepumpen vil i drift have et kompressionsforhold på 7,5 ved et fordampningstryk på 3,16 bar og en kompressorafgangstemperatur på 140°C, hvilket ligger inden for de nuværende, teknisk mulige driftsbetingelser. Den økonomiske optimering af løsningen samt detaljeret teknisk design er stadig under udarbejdelse i det igangværende projekt.

Casestudierne viser et potentiale i at anvende overskudsvarmen gennem termodynamiske kredsprocesser, hvilket inspirerer til videre studier af andre industrielle processer.

E-mail:
Stefano Cignitti: steci@kt.dtu.dk

Kilder

F. Bühler, F.M. Holm, B. Huang, J.G. Andreasen, B. Elmegaard, 2015, Mapping of low temperature heat sources in Denmark. In Proceedings of ECOS 2015: 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. Viegand Maagøe A/S, Industrial Energy Mapping THERMCYC. 2015.
Danfoss, 2014, Refrigerant options now and in the future, DKRCC.PB.000. B1.22.
J.G. Andreasen, U. Larsen, T. Knudsen, L. Pierobon, F. Haglind, 2014, Selection and optimization of pure and mixed working fluids for low grade heat utilization using organic Rankine cycles, Energy, 73, 204-213



Nyt om ...

... Naturlige fødevarerfarver

Syntetiske farvestoffer som f.eks. azofarvestoffer har tidligere været og bliver stadig anvendt som farvestoffer i fødevarer. Man er imidlertid blevet opmærksom på problemer med disse, nogle er ligefrem cancerogene, andre er blevet mistænkt for at kunne gøre børn hyperaktive. Man har derfor ønsket at bruge naturlige farvestoffer i stedet for. Dette er imidlertid ikke så simpelt, da de naturlige farvestoffer ofte ikke er så stabile som de syntetiske, hverken termisk eller oxidativt. Nogle har også det problem, at deres farve er pH-afhængig. Ved små modifikationer er det dog lykkedes at frembringe anvendelige "naturlige" farvestoffer – her er vist nogle naturlige og modificerede.

Carl Th.

The natural food dye revolution, *Chemistry World* February 2016, side 50.

