

KØLING

ENERGIEFFEKTIVE TEKNOLOGIER



MÅLINGER PÅ DEN NYE LUFTKØLEDE HYBRIDKØLER VISER,
AT DE BEREGNEDE LEVETIDSOMKOSTNINGER BLIVER 5 %
LAVERE END TØRKØLEREN OG MERE END 35 % LAVERE END
KØLETÅRNET

PROJEKT 345-029

Energibesparelser på industrielle køleanlæg ved brug af ny luftkølet hybridkøler, fase 2 -
Målinger på prototype.

MÅLSÆTNING:

Projektets formål har været at optimere designet af en hybridkøler og verificere beregninger fra udviklingsprojektet 344-019 gennem demonstration i fuld skala hos Danish

Crown i Ringsted. Hybridkøleren skal virke som tørkøler om vinteren og som køletårn om sommeren. Beregninger i projektet tyder på, at en sådan hybridkøler kan få et årsener-

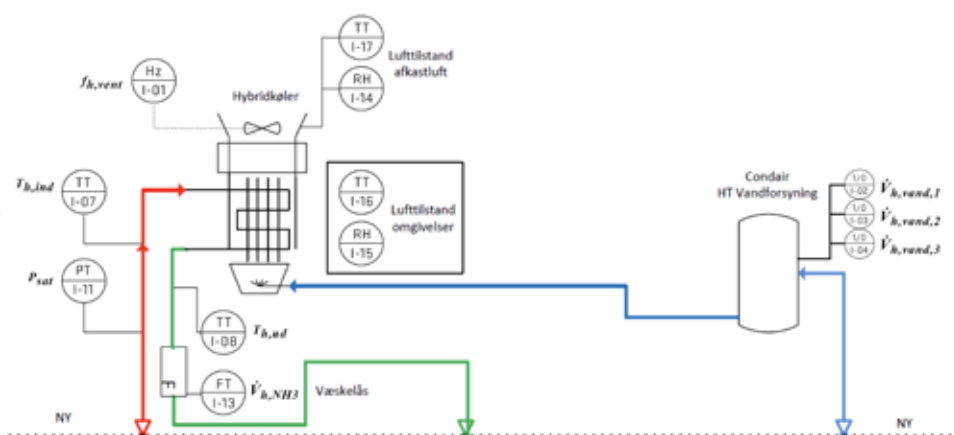
giforbrug, der er op til 10 % lavere end ved alene at anvende en tørkøler, og et vandforbrug, der er op til 50 % lavere end et køletårn.

MÅLGRUPPE:

Elforbruget til køling er opgjort til ca. 14 % af det samlede elforbrug i Danmark og industrien. Især fødevarerindustrien har et stort elforbrug til køling. Med hybridkølerens potentiale for el- og vandbesparelser skaber dette ressourceeffektive kølesystem en god mulig-

hed for industrien til at effektivisere sit el- og vandforbrug og dermed reducere sine driftsomkostninger. Det beregningsværktøj, der er udviklet i projektet, gør det overskueligt for industriens beslutningstagere at finde frem til den optimale kapacitet for en hybridkøler,

og betyder samtidig, at energiselskabernes energirådgivere og andre konsulenter har fået lettere ved at identificere elspareløsninger, der er rentable for slutbrugere i industrien.



Figur 1. PI-diagram med målepunkter.

**EN HYBRIDKØLER BRUGER
CA. 8,1 % MINDRE EL END
EN TØRKØLER OG CA. 35 %
MINDRE VAND END ET
KØLETÅRN.**

Kølesystemets pumpestation.

PROCESSEN:

Projektet er blevet ledet af Teknologisk Institut, der også har designet projektets prototype hybridkøler i samarbejde med Vestas aircoil A/S. TI har også gennemført målinger på prototypen hos svineslagteriet Danish Crown i Ringsted gennem et halvt år. Vestas aircoil har i designet af hybridkøleren gennemført CFD-beregninger for at optimere luftfordelingen over hybridkøleren, ligesom Vestas aircoil vil udnytte viden fra projektet i sin fortsatte produktudvikling og efterfølgende søge at kommercialisere den ressourceeffektive hybridkøler.

Novenco A/S har leveret en aksial ZerAx AZN 1400/560 ventilator. Denne type ventilator gør det muligt at variere luftstrømningen betydeligt på prototypen. En akustisk diffusor sikrer et lavt støjniveau, og ventilatorens omdrejningstal styres med en frekvensomformer. Accoat A/S har coatet kølerens overflade med en smudsafvisende og korrosionsbeskyttende nanoteknologisk belægning ved hjælp af en overrislingsproces, der mindskede mængden af belægningsmateriale. Condair A/S har le-

veret højtryks spraysystemet HPRO til luftbefugtning, mens IPU har stået for modellering, simulering og programmering af hybridkøleren i beregningsværktøjet PackCalc og efterfølgende implementeret modellen i værktøjet. Danish Crowns svineslagteri i Ringsted har været vært for pilotanlægget.

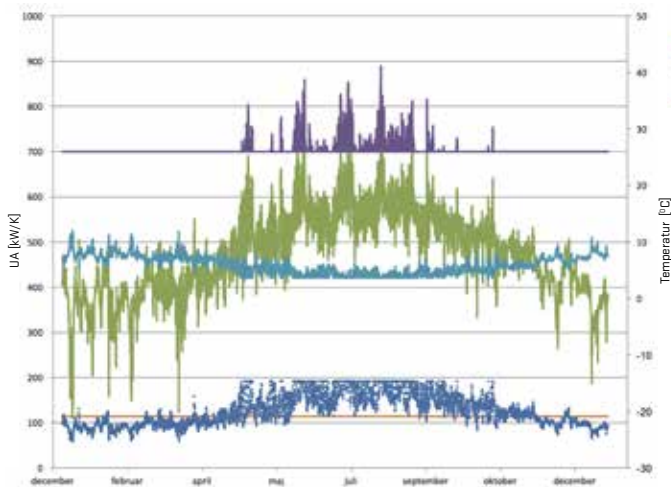
Prototypen blev dimensioneret for tør drift, dvs. som tørkøler, og den dimensionerende varmeydelse har været konstant på 700 kW. Lufttemperaturen ud af hybridkøleren har kunnet opvarmes til 1 K under kondenserings-temperaturen, som hos Danish Crown ikke måtte ligge under 26 °C. Rørene er rustfrie. Finner er udført i aluminium. Ved at coate dem har Vestas aircoil opnået et element, der ikke bliver korroderet af det aggressive RO vand fra højtryksdyserne (RO-Reverse osmosis, en vandbehandling for at fjerne kalk). De coatede aluminiumfinner er derfor lige så robuste over for korrosion som rustfri, men aluminium leder varmen bedre end rustfri og giver derfor en mere effektiv køleflade.



RESULTATER:

Prototypen blev dimensioneret til at opfylde en køleydelse på op til 400 kW. Den ønskede køleeffekt blev opnået ved at sprøjte vanddråber ind i indsugningsluften med et spraysystem, der består af et RO-(reverse osmosis) filter, en højtryks vandpumpe og en regulerbar ventilblok. Spraysystemet bidrager til at sænke lufttemperaturen med 2-4 °C. Hybridkøleren blev dimensioneret som tørkøler, og det nødvendige totale varmeovergangstal (UA-værdi) er beregnet på årsbasis. Se figur 2.

Figuren viser den tørre temperatur ($T_{\text{tør}}$), der er hentet fra DRY data for København, den beregnede logaritmiske middeltemperaturdifferens (LMTD), den beregnede kondenserings-temperatur (T_c) og den beregnede UA-værdi, der er nødvendig for at opfylde den ønskede køleydelse, når temperaturforskellen mellem kondenserings-temperatur og luft ud af køleren skal holdes på 1 K. Grafen for UA_design i figur 3 er UA-værdien for en køler, der er beregnet efter standard varmetransmissionsformler i et dimensionerende punkt, hvor udetemperaturen er 10 °C og kondenserings-temperaturen er 26 °C.



Figur 2 viser en beregning af den nødvendige UA-værdi på årsbasis. Plottet viser den tørre temperatur taget fra DRY data, den beregnede kondenserings-temperatur, LMTD og den beregnede (nødvendige) UA-værdi for at opfylde den ønskede ydelse samt holde temperaturforskellen mellem kondenserings-temperatur og luft ud af køleren på 1 K."

EFFEKT:

Med en beregnet elbesparelse i forhold til en tørkøler på 8,1 % kan den ressourceeffektive hybridkøler bidrage til at opfylde det energipolitiske mål om at effektivisere industriens energiforbrug. Elforbruget til køling udgør 14 % af det samlede danske elforbrug, og det teoretiske besparelspotentiale ved at erstatte eksisterende tørkølere med hybridkølere kan på den baggrund opgøres til omkring 75 GWh/år.

Af figuren fremgår også, at når udetemperaturen kommer over 10 °C er hybridkølerens UA-værdi ikke længere høj nok i sig selv, og en forbedring af UA-værdien må skabes ved at aktivere spraysystemet, så den ønskede køleydelse kan sikres.

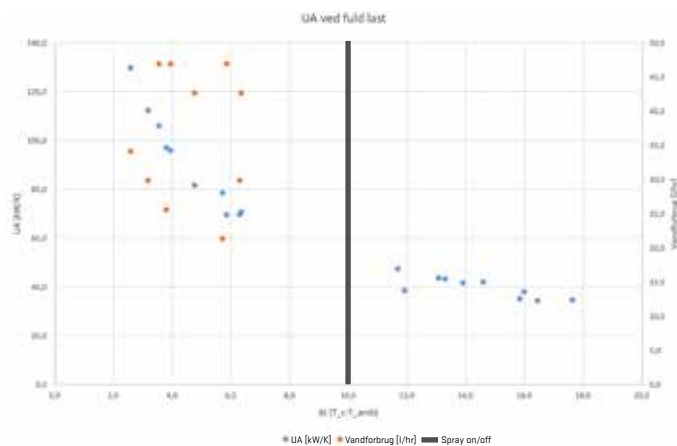
Systemets enkle styring indebærer, at der ved udetemperaturer på under 10 °C alene reguleres på ventilatorens blæserhastighed. Når udetemperaturen kommer op over 10 °C, og blæserhastigheden kommer op over 35 %, øges vandmængden i spraysystemet lineært med blæserhastigheden, indtil der er nået 90 % blæserkapacitet. Er dette ikke tilstrækkeligt til at opretholde den nødvendige UA-værdi, skrues ventilatoren op på 100 % blæserhastighed.

Hybridkølerens ydelse er beregnet på baggrund af målt flow, tryk og temperatur på kølemiddelsiden. Elforbruget kommer fra ventilatoren og pumpestationen, mens vandforbruget er beregnet ud fra spraysystemets aktuelle kapacitet. Hybridkølerens UA-værdi er beregnet ved forskellige udetemperaturer

og forskellen mellem udetemperatur og kondenserings-temperatur. UA-værdien stiger, når hybridkøleren opererer aktivt med spraysystemet. Når temperaturforskellen er lav, skal spraysystemet aktiveres, mens spraysystemet - og det deraf følgende vandforbrug - er inaktivt, når forskellen er høj, dvs. udetemperaturen er lav. Se figur 3.

Der er desuden foretaget årssimuleringer af et kølesystem med hybridkøler i PackCalc. Se belastningsprofil i figur 4. Dette kølesystem er et to-trins ammoniakanlæg med åben mellemkøler.

Data fra det halve års måleprogram er brugt til at sammenligne hybridkølerens drift med en tørkølers elforbrug og et køletårns vandforbrug. Disse beregninger viser, at hybridkøleren har opnået en elbesparelse på 8,1 % og en vandbesparelse på ca. 35 %.



Figur 3. Figuren viser kølesystemets ydelse/UA-værdi afhængig af forskellen mellem udetemperatur og kondenserings-temperatur. Vandforbruget stiger, når udetemperaturen nærmer sig kondenserings-temperaturen. Vandforbruget (orange prikker) og UA-værdien (blå prikker) refererer til hinanden ved samme Δt (X-værdi). Betragtes målingen ved $\Delta t = 6,3\text{K}$ ses det, at UA-værdien næsten er upåvirket af, om vandforbruget er 29 l/time eller 43 l/time, hvilket indikerer, at der er et optimum for vandtilførslen. Vandforbruget påvirkes naturligvis i en vis udstrækning af omgivelsesluftens vandindhold.

Det relativt største besparelspotentiale findes i fødevarerindustrien, men projektgruppen vurderer, at hybridkøleren også vil være attraktivt at anvende i termiske processer, hvor varmen skal afleveres med så lille temperaturforskel i forhold til udetemperaturen som muligt. Det gælder fx varmedrevne airconditionanlæg, hvor det globale potentiale er stort.

Hybridkøleren vil også få en positiv effekt ved at mindske kølemiddelfyldninger i køleanlæg med ammoniak og HFC som kølemidler, ligesom en lavere temperatur på CO₂-kølemiddel i hybridkøleren vil gøre transkritiske anlæg med CO₂ attraktive i et større geografisk område.

EN 2. GENERATIONS HYBRIDKØLER VIL HAVE LAVERE UDGIFTER TIL ANLÆG OG DRIFT I DETS LEVETID END BÅDE TØRKØLER OG KØLETÅRN.

Projektledelse

Claus H. Ipsen
Vestas aircoil A/S
Smed Hansens Vej 13
6940 Lem
E-mail: ci@vpindustries.eu
Telefon: 99 75 23 41
Web: www.vestas-aircoil.com

Lasse Søe

Teknologisk Institut, Køle- og
Varmepumpeteknik
Teknologiparken, Kongsvang Alle 29
8000 Aarhus C.
E-mail: las@teknologisk.dk
Telefon: 72 20 12 69
Web: www.teknologisk.dk

Projekt

Titel: Energibesparelser på industrielle
køleanlæg ved brug af ny luftkølet hybrid-
køler, fase 2 - Målinger på prototype
Nr. 345-029
PSO Program 2013
Budget i alt: 2.173.400 kr., hvoraf 1.165.200 kr.
i tilskud fra Dansk Energi
Tidsplan: 01.03.2013-30.06.2016

Programkoordinator

Jørn Borup Jensen
Dansk Energi
Vodroffsvej 59
1900 Frederiksberg C

Telefon: 2529 1934
E-mail: jbj@danskenergi.dk

Ved at overrisle køleelementet med belægningen i stedet for at sænke elementet i et kar med belægning blev der sparet store mængder belægning.

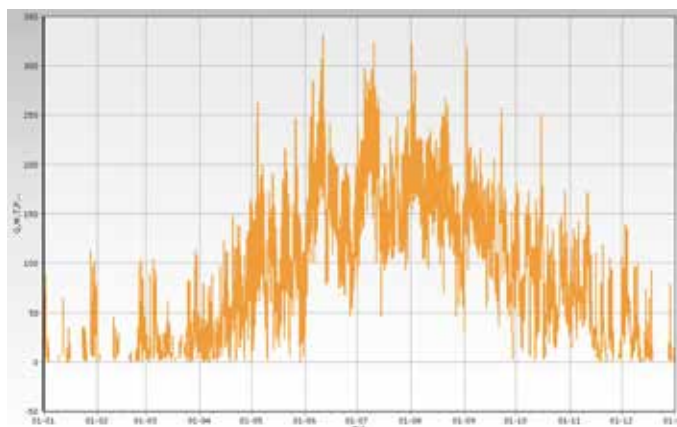


HVORDAN PROJEKTRESULTATERNE KAN BRUGES I PRAKSIS!

Det er Vestas aircoil, der skal videreudvikle hybridkøler-prototypen til et kommercielt konkurrencedygtigt produkt. Demonstrationsanlægget hos Danish Crown har vist, at hybridkøleren kan fungere stabilt ved de varierende parametre under praktisk drift i industrien, og at den anvendte metode til korrosionsbeskyttelse af varmevekslerarealet har været effektiv.

For at kunne vurdere, om hybridkøleren kan få et kommercielt potentiale, har Vestas aircoil

i PackCalc foretaget en analyse af levetidsomkostningerne for en 2. generations hybridkøler i sammenligning med en tørkøler og et køletårn. Disse beregninger viser, at hybridkøleren ganske vist kræver en investering, der er 25-40 % højere end hhv. tørkøler og køletårn. Til gengæld vil de løbende driftsudgifter være mindre pga. hybridkølerens lavere elforbrug end en tørkøler og lavere vandforbrug end et køletårn, så de beregnede levetidsomkostninger (LCC) bliver 5 % lavere end tørkøleren og mere end 35 % lavere end køletårnet.



Figur 4. Belastningsprofil anvendt i PackCalc.



TEKNOLOGISK
INSTITUT