

Energibesparelser ved modelbaseret regulering

Modelbaseret regulering giver bl.a. mulighed for at styre komplekse systemer energioptimalt. En væsentlig sidegevinst ved modellering er, at man får et godt værktøj til at identificere u hensigtsmæssige design i forhold til aktuelle proceskrav. Modelbaseret regulering er bl.a. undersøgt i industrielle kølesystemer og har afsløret markante besparelspotentialer

Af Jens Bjerremad Mikkelsen, Weel & Sandvig

Det står højt på den politiske dagsorden at reducere brugen af fossile brændsler. Målet er at reducere nettoudledningen af drivhusgas i form af CO₂ til atmosfæren og gøre energiforsyningen mindre afhængig af import af fossile brændsler.

En sådan omlægning kræver under alle omstændigheder betydelige investeringer. Omfanget af de krævede investeringer afhænger dog i høj grad af, hvilke teknologiske muligheder der kommer i spil og sættes på.

Stort potentiale i industrien

Energibesparelser i industrien er formodentligt det område, der har det mest lovende potentiale, når man vægter omfang og samfundsøkonomi. Det kan måske virke overraskende i betragtning af, at området har været i fokus i mange år. Forklaringen må være, at incitamenterne ikke er store nok for industrien og/eller for dem, der har ansvar for at finde besparelserne – for teknologierne, der rummer mulighederne, er tilgængelige.

Brændsler og elforsyning til procesformål er pålagt en lav afgift sammenlignet med andre områder i samfundet og vurderes at være en af årsagerne til det manglende incitament.

Dertil kommer at virksomheder typisk forlanger en tilbagebetalingstid på under 3 år for investeringer, som ikke anses for essentielle i deres fremtidige kerneområde. Det er langt under de tilbagebetalingstider (hvor afgifter jo typisk ovenikøbet medregnes i besparelser), som det øvrige samfund arbejder med i relation til energibesparelser og reduktioner i udledning af drivhusgas.

Potentialet for energibesparelse i industrien er efter vores opfattelse kun i beskedent omfang knyttet til videreudvikling af grundkomponenter, som eksempelvis pumper og blæsere, der må anses for at være tæt på det praktisk opnåelige.

Derimod kan der være et potentiale i bedre vedligeholdelse og service, mens det altdominerende potentiale, ifølge vores erfaringer og vurderinger, skal findes i:

- Systemoptimering.
- Behovsstyring.
- Driftoptimering og reguleringsstrategier.
- Fleksibilitet i anlæg og driftsplanlægning.
- Standardiserede modulbaserede løsninger for billigere implementering og senere opgradering.

Hvornår er modelbaseret beregning relevant?

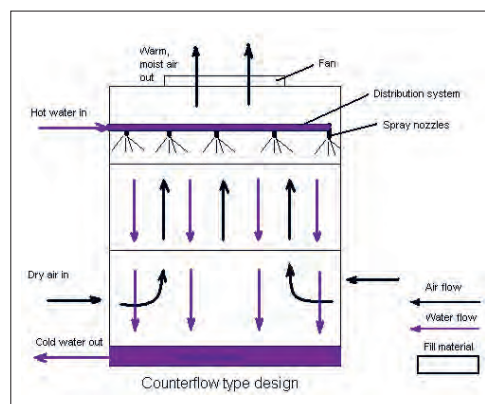
Modelbaseret beregning (simulering) og regulering af processer er især relevant for de første tre punkter.

Simuleringer af processer og drift på procesudstyr har en række væsentlige fordele frem for praktiske forsøg:

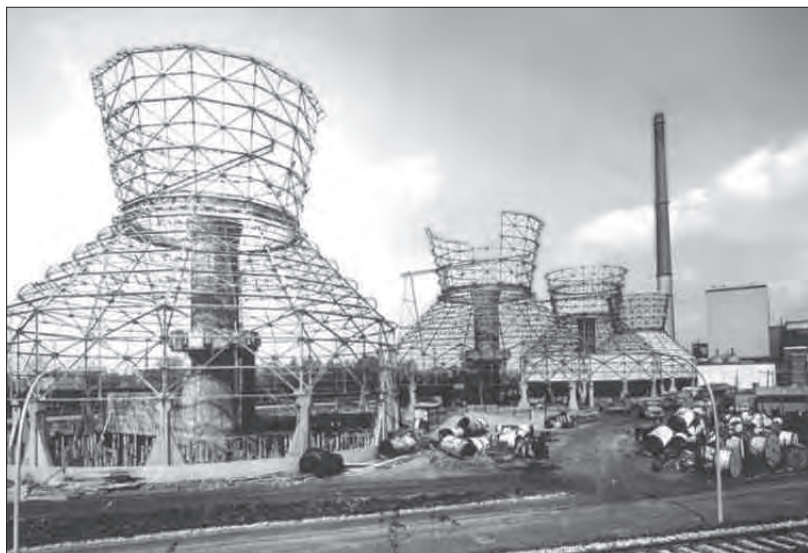
- Når en beregningsmodel er udviklet af en fysisk proces, er det normalt langt hurtigere at undersøge forskellige driftsscenarioer og evt. transiente forløb.
- Alle relevante resultater kan præsenteres umiddelbart, hvilket giver hurtigt overblik og hjælper med til forståelse af komplekse sammenhænge.
- Der er ikke risiko for at beskadige procesudstyr eller produkt. Endvidere eliminerer man driftstab i modsætning til alternativet, at skulle foretage forsøgsdrift.
- Det er enkelt at kontrollere eller ændre randbetingelser eller andre begrænsninger, som i praksis kan være vanskelige og meget tidskrævende at håndtere i en forsøgsdrift.
- Det er let at undersøge betydningen af isolerede veldefinerede hændelser og forstyrrelser, som i praksis kan være næsten umulige at kontrollere i et testforsøg.
- Optimeringsrutiner kan kobles direkte til simulatoren.

Energibesparelser via automatiske procedurer og standardmoduler

I et højtudviklet land som Danmark er materialer og energipriser i erhvervslivet ofte lave i sammenligning med lønomkostninger. Det betyder, at det lønmæssigt er forholdsvis dyrt at identificere energibesparelser og at sikre at energibesparelser til stadighed finder sted, hvis det løbende kræver opmærksomhed, forståelse og analyse fra personel eller rådgivere.



Figur 1. Principskitse af køletår.
Kilde: <http://www.bionwater.com.au/>



Køletårne.

Derfor er det afgørende, at energibesparelspotentialer kan implementeres som automatiske procedurer, der kræver mindst mulig opmærksomhed fra personale. I modsat fald er der stor risiko for, at systemet bliver "slået fra" igen med henvisning til, "at man ikke har ressourcer til at holde øje med det". Det er derfor vigtigt at tænke selvoptimering og behovsstyring ind i nye proces- og energisystemer.

Standardiserede modulbaserede systemer kan fremstilles og implementeres langt billigere end udstyr, som kræver særskilt

engineering. Engineering, opstilling og indkøring af nyt udstyr kan sagtens være den største post i forbindelse med udskiftning til nyt effektivt udstyr.

Projektet

For et års tid siden afsluttede Weel & Sandvig projektet "Energieffektivisering gennem model-baseret regulering og onlineoptimering", der var delvist finansieret af PSO-midler. Der blev bl.a. udviklet værktøjer og modeller til driftsoptimering af køleanlæg og køletårne. For at sikre troværdige resultater fra modeller er det nødvendigt, at modellerne kalibreres til de faktiske forhold.

Det kan kræve en del arbejde at afdække de faktiske forhold. Udviklingen synes dog at gå i retning af bedre dokumentation på produktionsprocessers operation i form af registrering af detaljerede tidsserier.

Desværre er det i mange tilfælde stadig ønskværdigt, at langt flere parametre måles og logges, før man kan foretage egentlige tjek på performance.

Især på hjælpesystemer (utility) kunne man ønske bedre instrumentering. Sagen er, at tilstande i utility-systemer ofte også bidrager med relevant information om tilstande i den egentlige proces og kan ofte bruges som ekstra kontrol. Det er langt lettere at få øje på målefejl i overbestemte systemer.

Har man ikke adgang til detaljerede driftsdata, er det i realiteten ikke muligt at fastslå om en proces kører optimalt. Et andet aspekt er, at "optimal drift" i et driftspersonales bevidsthed måske er ensbetydende med, at processen kører stabilt og ikke kræver deres indgriben. Det er imidlertid langt fra sikkert, ►

Stockholmsmässan

Bella Center
Copenhagen

THIS YEAR'S MOST IMPORTANT DATING SERVICE

BioTech Forum Copenhagen, September 28–30, 2010

READ MORE AND SIGN UP AT WWW.BIOTECHFORUM.ORG

Partnering Organizer
EBD GROUP

**BIOTECH
FORUM**
Biotech & Medtech Partnering

Official Media Partner
BiotechSweden

Organizers: Stockholm International Fairs and Bella Center | Visiting Address: Center Boulevard 5, DK-2300 København, Denmark | www.biotechforum.org

at et sådant kriterium sikrer en ressourceoptimal driftsform.

Driftoptimering af køleanlæg

I et køletårn afkøles vand ved direkte kontakt med en koldere luftstrøm. Køleeffekten kommer dels fra, at luften normalt opvarmes noget i køletårnet, dels fra at luften kan absorbere noget af vandet, som derved fordamper. Luftens evne til at indeholde vanddamp (fugt) er markant højere ved stigende temperatur.

I mindre køletårne trækkes luften normalt gennem tårnet med en ventilator og vandet fordeles ud på et fyldmateriale med stor overflade vha. et arrangement af dyser (f. gur 1).

Et kølesystem, som består af køletårne, kølekompressorer og nogle processer, der skal afkøles med kølevand ved varmeveksling, har et elforbrug svarende til summen af:

- el til at pumpe kølevandet rundt i systemet,
- el til at drive ventilatoren i køletårnet og evt.
- el til at drive kølekompressorer, hvis nedkøling af vandet i køletårne er utilstrækkelig.

Ved energioptimering er målet at minimere det samlede elforbrug i disse delprocesser. Der findes frem til et optimalt værdisæt af variable, som f.eks. antal køletårne drift, hastighed af blæsere, hastighed af pumpe og evt. også optimering af driftsparametre på kølekompressorer, hvis de er i drift.

De udviklede modeller af køletårne og kølekompressorer er afprøvet på et par industrielle køleanlæg.

Modellerne er justeret, så kapaciteterne svarer til designspecifikationer af de faktiske køletårne og evt. kølekompressorer i anlægget. Endvidere er kølebehovene i processen beskrevet med en model af varmeovergangsforholdene her.

Endelig er delmodellerne sat sammen i et regneark, så det samlede elforbrug (til ventilatorer i køletårne, kølevandspumper og evt. kølekompressorer) kan minimeres. Det sker ved at finde det optimale antal enheder af køletårne og kølekompressorer, der skal benyttes, og dernæst at optimere kølevandsflowet (pumpeeffekt) og temperaturen (blæsereffekt i køletårne).

Beregningerne kan forudsætte visse ændringer i reguleringen ved de enkelte processer, der skal køles, samt mindre anlægsændringer i form af f.eks. nye eller ændrede reguleringsventiler, frekvensregulering af pumper og blæsere i køletårne og evt. andre dyser.

Besparelser er baseret på simuleringer af scenarier, der svarer til de kølebehov og temperaturmæssige begrænsninger fra omgivelserne, der er registreret over en periode på anlæggene.

Undersøgelserne har indikeret store potentialer for elbesparelser (i det ene tilfælde er det teoretiske potentiale for elbesparelse på over 80%).

Modelbaseret regulering af køleanlæg

Når man med modellen af køletårne har bestemt næroptimale driftspunkter for et antal belastninger (vådtemperatur, kølebehov og andel af køleanlæg i drift), som repræsenterer hele belastningsområdet, kan man, alene på basis af vådtemperatur og kølebehov som input, fastlægge en egentlig reguleringsmodel,



Køletårne.

der er i stand til at forudsige de optimale driftspunkter (hastigheder) for pumper og blæsere i køletårne og hvilke enheder, der skal være i drift.

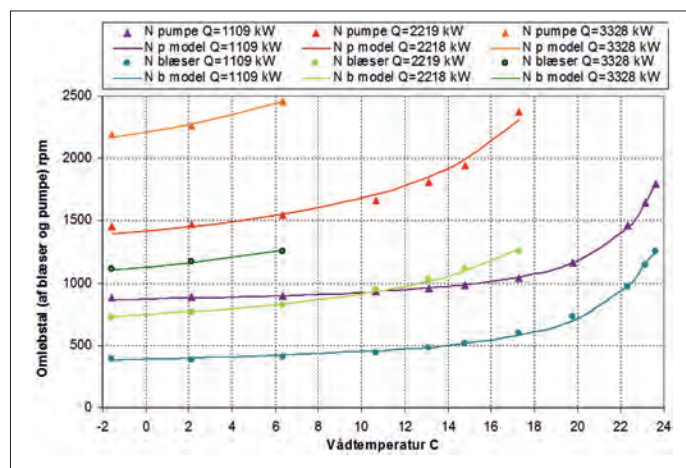
En sådan models evne til at forudsige de optimale hastigheder er vist i figur 2 ved tre kølebelastninger og ved forskellige vådtemperaturer. Den viste model er rigelig præcis til at fastholde en næroptimal drift i hele driftsområdet.

Affaldsforbrændingsanlæg

Driften af affaldsforbrændingsanlæg er kompleks, især fordi affaldets beskaffenhed varierer og aldrig er veldefineret. Det giver en række problemstillinger mht. en effektiv drift og optimal udnyttelse af de kostbare anlæg.

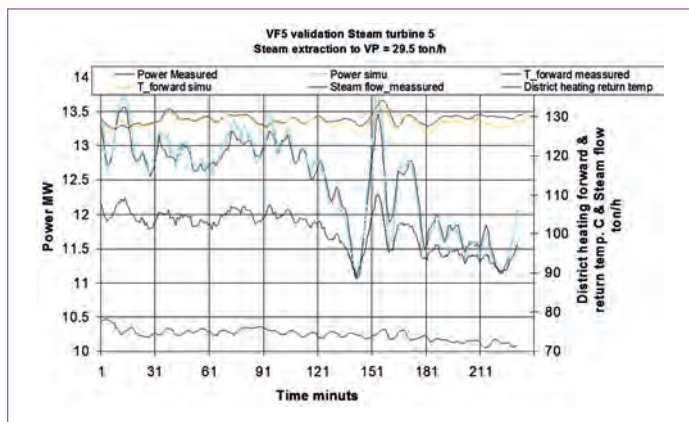
Det er baggrunden for, at Weel & Sandvig har investeret flere mandeår i at udvikle omfattende og avancerede simulatorer (WS.WTE-Simulator og WS.Turbine-Simulator) til sådanne systemer. Disse simulatorer har i en række situationer vist sig som

Fortsættes side 35 ►



Figur 2. Trekantede og runde markører viser optimale omløbstal af kølevandspumpe og køletårnsblæsere for minimalt samlet elforbrug ved tre lastpunkter som funktion af vådtemperatur. De optrukne kurver viser modellens forudsigelse af optimale omløbstal.

særdeles stærke analyseværktøjer til de komplekse sammenhænge, der optræder i systemerne. Med simulatorerne har vi anvist konkrete ændringer til afhjælpning af driftsproblemer eller til forbedring af driftsøkonomien. Ud over at være værdifulde analyseværktøjer fungerer simulatorerne også som effektive træningssimulatorer, der anvendes i kurser for driftspersonale.



Figur 3. Validering af turbine-simulator ved sammenligning af målte og beregnede værdier.

Eksempler på hvor simulatorer har vist deres nytteværdi:

- Driftoptimering i form af reduceret tilslagning af rist.
- Modelbaseret beregning af temperatur i en dynamisk efterforbrændingszone. Det giver et mere præcist og korrekt mål for efterforbrændingstemperaturen end ved en traditionel temperaturmåling. Derved kan anlægget køre tættere på de reelle krav og kan spare drift på hjælpebrændere. Det giver en billigere og mere effektiv drift.
- Øget udnyttelse af en integreret absorptionsvarmepumpe og øget elproduktion ved optimering af sætpunktet for fjernvarmeflow. Et potentiale på 1.5 MW ekstra elproduktion er identificeret, svarende til omkring 5000 MWh/år.
- Større affaldskapacitet ved identifikation af faskelhalse på oven.
- Analyser af virkningen og transiente forløb ved udskiftning af murværk med Inconel.
- Endelig undersøges muligheder for modelbaseret estimering af brændværdi af affald, med henblik på et bedre reguleringssystem. Se evt. flere eksempler på www.weel-sandvig.dk

Modelbaserede beregninger i andre sammenhænge

- Modelbaserede beregninger i forbindelse med Prædikative Emissions Monitorings Systemer (PEMS) både i form af "first principles" og som datadrevne (vha. neurale netværk). Weel & Sandvig har for nylig udviklet og installeret 24 PEMS (til gasturbiner og gasmotorer) på olieudvindingsfelter i Mellemøsten (OMAN) foruden flere PEMS til gasturbiner i De Forenede Arabiske Emirater. Systemerne kalibreres i forhold til måleserier og testes efterfølgende.
- Driftoptimering på en kraftcentral bestående af forskellige varme- og elproducerende enheder (Novo Nordisk).
- Modelbaseret optimering af turbokompressor (DONG Energy /Novo Nordisk).

E-mail-adresse:

Jens Bjerremann Mikkelsen: jmi@weel-sandvig.dk

Garlic and Other Alliums

The Lore and the Science

Eric Block. RSC Publishing 2010, 474 sider, £29.95 (HB)
ISBN 978-0-85404-190-9

Løgslægtens medlemmer, almindelige løg, hvidløg, porrer, ramsløg og purløg for at nævne nogle af de mest kendte repræsentanter for slægten, har gennem tiderne placeret sig centralt både i medicinens og i gastronomiens historie. Disse medlemmer er i litteratur, kunst og praksis blevet priset for deres smag og foraget for deres lugt.

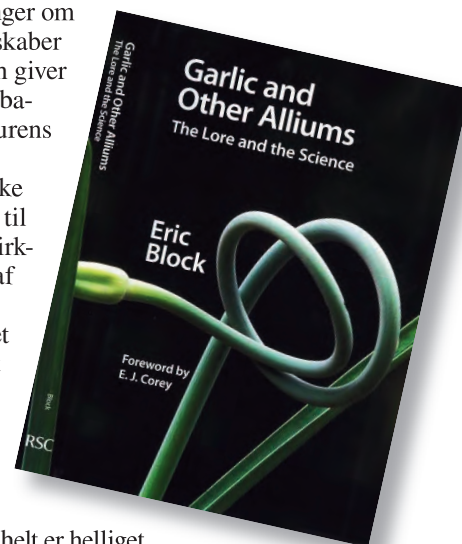
Løgslægten har stået fadder til mange af svovlkemiens vindinger gennem tiderne, og Eric Block har været en aktiv deltager i opklaringen af løgets og hvidløgets kemi i mere end 40 år. Det mærker man også i denne oversigt på hans brede kendskab til løgslægten, ikke blot dens kemi men også historien, botanikken og den medicinske betydning. Dette detaljerede kendskab til alle af slægtens aspekter afspejles i bogens opbygning.

1. Allium Botany and Cultivation, Ancient and Modern
2. Alliums in Literature, the Arts and Culture
3. Historical Highlights, Fascinating Facts and Unusual Uses for Alliums; Kitchen Chemistry
4. Chemistry in the Salad Bowl: Allium Chemistry and Biochemistry
5. Alliums in Folk and Complementary Medicine
6. Alliums in the Environment: Allelopathy and Allium-Derived Attractants, Herbicides Pesticides and repellents.

Specielt hvidløg har haft en central placering i folkemedicinen, og der findes talrige beretninger om dens mange fortrinlige egenskaber som lægemiddel. Eric Block giver i kapitel 5 en kritisk og velafbalanceret vurdering af litteraturens mange beretninger på dette område, lige fra den ægyptiske Papyrus Ebers fra 1550 f.Kr. til moderne beretninger om bivirkninger ved overdreven brug af hvidløg fra 2008.

Forfatterens profession taget i betragtning kunne man godt forvente, at bogen kun var for kemikere; men til trods for Eric Blocks livslange placering i svovlkemiens centrum er det kun et af bogens kapitler, kapitel 4, der helt er helliget kemien af indholdsstofferne, og det er blot 120 af bogens 430 sider. Man får i dette kapitel en grundig indføring i især hvidløgets allicens kemi, bl.a. i et afsnit med titlen "Allicin Wonderland". Bogen er således ikke blot en spændende bog for svovlkemikere og naturproduktkemikere; men også en guldgrube for alle der er interesseret i naturens under, og bogen kan læses med udbytte af alle med interesse for videnskab.

Bogen afsluttes med en serie meget smukke kolorerede stik af forskellige alliumarter gengivet fra *Flora Germanica* fra 1848. Endvidere er der en omfattende referenceliste på 61 sider.



Carl Th. Pedersen, Institut for fysik og kemi, SDU,
Odense, cthp@ifk.sdu.dk.