

12c. Kraftvarme

Ved kraftvarme forstås en kombineret produktion af el og varme. I forhold til to adskilte produktioner vil det næsten altid være en miljø- og energimæssig fordel. Såfremt de rette betingelser er til stede, kan det være en økonomisk gunstig disposition.

I Danmark har der i mange år været installeret industriel kraftvarme på visse større industrielle procesanlæg, fx papirfabrikker og sukkerfabrikker. Der har været tale om industrier, der som regel har haft et stort el- og dampbehov. Anlæggene er typisk baseret på et kedel/damp turbineanlæg og har en samlet installeret effekt på 100 MW_e.

I 1986 blev der i Folketinget indgået en aftale om decentral kraftvarme, og aftalen blev senere fulgt op af forskellige støtteordninger til etablering og drift. Dette gav startskuddet til en udbygning med decentral, lokal-, mini- og industriel kraftvarme. Til dato er der etableret omkring 1.200 MW_e decentral kraftvarme og omkring 500 MW_e industriel kraftvarme. Størstedelen af denne udbygning baserer sig på gasmotorer og -turbiner. Dog er der nu også betydelig kraftvarmeproduktion baseret på affald (kedel/damp turbine).

Gartnerisektoren er den erhvervssektor, der er mest udbygget med kraftvarme, år 2000 omkring 125 MW_e. Det vurderes, at restpotentialet i industrien er omkring 1.300 MW_e, og for ejendomsopvarmning til bolig og øvrigt erhverv er potentialet opgjort til 2600 MW_e ifølge undersøgelse af Dansk Gasteknisk Center.

Baggrunden for at man fra samfundsside fx støtter udbygning med industriel kraftvarme er, at det for samfundet er en af de billigste (indenlandske) metoder til reduktion af CO₂-emissionen.

Kraftvarme-definitioner

Mange betegnelser anvendes. Her angives hvad betegnelserne normalt omfatter i Danmark:

Central kraftvarme: Store centrale anlæg til varmeforsyning af større byer og elforsyning til det offentlige net. Typisk anlægsstørrelse 200-500 MW_e.

Decentral kraftvarme: Mellemstore enheder til forsyning af mindre og mellemstore byer med varmesamt elforsyning til det offentlige net. Typisk anlægsstørrelse 1-100 MW_e.

Lokal kraftvarme: Mindre kraftvarmeanlæg til varmeforsyning af større boligblokke eller kontorhuse og elforsyning til det offentlige net. Typisk anlægsstørrelse 0,15 MW_e-1 MW_e.

Minikraftvarme: Mindre kraftvarmeanlæg til varmeforsyning og elforsyning af typisk institutioner og skoler mv. Over-/underskudsproduktion af el udveksles med det offentlige net

Mikrokraftvarme: Små kraftvarmeanheder til dækning af en husstands varme- og elbehov. Over-/underskudsproduktion af el udveksles med det offentlige net. Anlægsstørrelse 0,5-5 kW_e svarende til 0,0005-0,005 MW_e.

Industriel kraftvarme: Kraftvarmeanlæg til dækning af en industrivirksomheds behov for varme og el. Over-/underskudsproduktion af el udveksles med det offentlige net. Anlægsstørrelser omfatter området fra cirka 0,03 MW_e og opefter. I Danmark er typiske anlægsstørrelser 5-30 MW_e.

Varmeydelsen ligger normalt fra 100 til 200% af elydelsen, afhængig af teknologi og størrelse, se i det følgende.

Typer/teknologier og anvendelser

Følgende typer af kraftvarmeanlæg er installeret i Danmark:

- Motoranlæg
- Gasturbineanlæg
- Dampurbineanlæg
- Combined Cycle anlæg
- Brændselscelleanlæg (især forsøgsanlæg)

Figur 1 viser en oversigt over typer og anlægsstørrelser.

Valg af anlægstype

Valget afhænger af en række faktorer:

- Varmebehovets type (vand, damp), størrelse og variation
- Temperaturniveau for varmebehov
- Økonomiske forudsætninger.

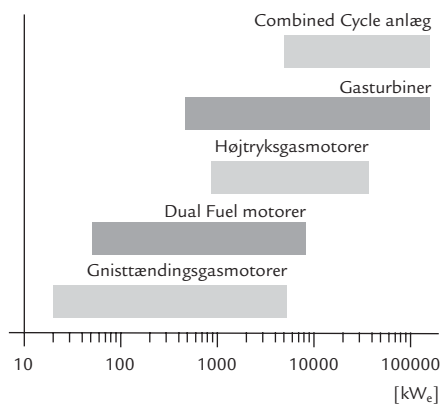
Normalt forsynes kraftvarmeanlæg med en varmeakkumulator for at muliggøre koncentration af elproduktion på de tidspunkter af døgnet, hvor elprisen er højest. En typisk størrelse indeholder omkring 8 timers fuldlastvarmeproduktion.

I det følgende beskrives de forskellige anlægstyper med særlig vægt på effektivitet. Af pladmæssige årsager udelades dampurbineanlæg og combined cycle anlæg. Oplysninger om disse anlægstyper kan fx findes i „Kraftvarmeproduktion i industrien” dk-TEKNIK, september 1988.

Motoranlæg

Motoranlæg er langt den mest udbredte anlægstype til decentral, mini- og mikrokraftvarme. Motoranlæg findes i anlægsstørrelser fra 2 kW_e til ca. 50 MW_e. De er især egnede til vandbaseret varmeproduktion med temperaturer op til 100°C. Elvirkningsgraden ligger på omkring 20-40%.

Figur 1



Figuren indikerer, hvilket størrelsesområde et udvalg af de forskellige kraftvarmeteknologier normalt dækker.

Jo større anlæg, desto højere virkningsgrader opnås. Totalvirkningsgraden ligger typisk på 80-90%. Anlægsprisen går fra omkring 20.000 kr./kW_e for de mindste anlæg og ned til 6-7000 kr./kW_e for større anlæg. Brændslet er som oftest naturgas, men olie, LPG og biogas kan også anvendes.

Figur 2 viser en principskitse af et motorbaseret industrielt kraftvarmeverk.

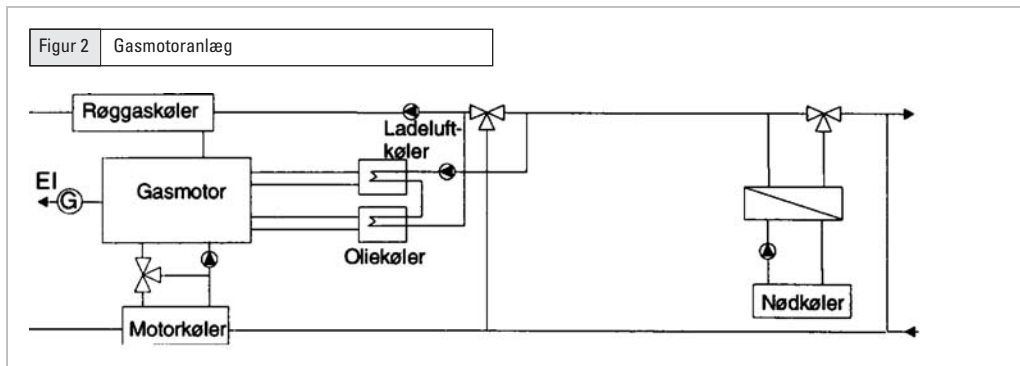
Kendskab til de forskellige tab er et godt grundlag for effektiviseringsbestrebelsler. Typiske tab og typiske størrelser for et større gasfyret motoranlæg er vist i tabel 1.

Bemærk, at der i modsætning til kedeldrift kan være et ikke ubetydeligt tab i form af uforbrændt gas, hvilket er både miljømæssigt og økonomisk uheldigt. Da der i dag findes motorer på markedet, der kun udsender omkring 1% uforbrændt, er det et vigtigt punkt at stille krav til ved nyanlæg eller motorudskiftning. Miljølovgivningen kræver i øvrigt, at nye

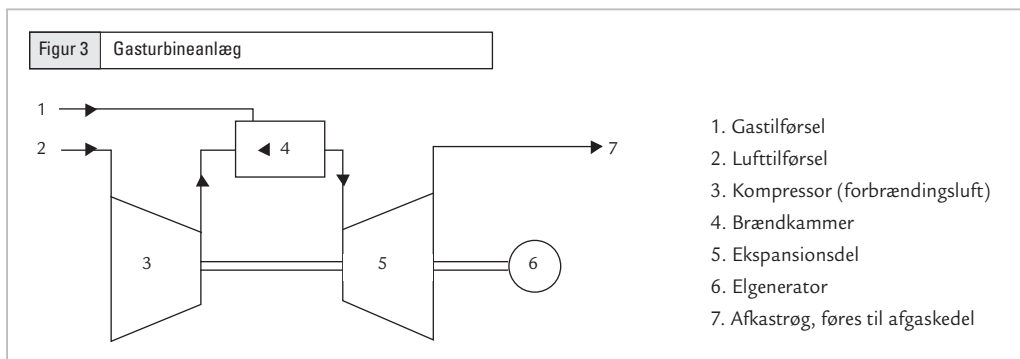
Tabel 1

Overfladetab	3%
Tab fra rør i central	0.1%
Tab fra varmeakkumulatortank	0.5%
Røggastab (varmeindhold)	3 - 8%
Tab via uforbrændt	1 - 6%

Typiske tab for et større gasfyret motoranlæg



Principskitse af det første gasmotoranlæg på gartneriet Varpelev Tomater A/S. Anlægget er herudover forsynet med en varmeakkumulator til driftsoptimering.



Principskitse af simpel gasturbine.

gasfyrede motorer over 120 kW indfyret effekt ikke udsender over cirka 4% uforbrændt gas.

Et fortsat effektivt anlæg sikres ved:

- Løbende driftsoptimering
- Effektivt vedligehold, herunder rensning af varmevekslere. Servicekontrakt anbefales
- Optimal røggasudnyttelse ved design
- Optimal isolering af hele anlægget.

Gasturbineanlæg

Gasturbineanlæg anvendes primært i industrien til dækning af damp- og elbehov. Der udbydes anlægsstørrelser fra ca. 30 kW og opefter. De mindste størrelser på omkring 30-150 kW_e kaldes mikrogasturbineanlæg. Anlægspris omkring 5-15.000 kr./kW_e.

Elvirkningsgraden er typisk lavere end for motoranlæg af samme størrelse og ligger på 25-40%. Totalvirkningsgraden er fra 75% til 90%. Mikrogasturbineanlæg er ofte udstyret med rekuperator (varmeveksler, der udnytter en del af energien i røgaftast til forvarmning af forbrændingsluften) for at øge elvirkningsgraden fra omkring 20% til 25-30%. Det medfører ofte, at totalvirkningsgraden bliver omkring 75%.

Figur 3 viser en principskitse af en simpel gasturbine.

For at opnå en høj årsmiddelvirkningsgrad kræves stabile driftsbetingelser i langt højere grad end for motoranlæg. Elvirkningsgraden falder normalt ved delast, og et gasturbineanlæg „ældes” materialemæssigt 5-10 timer for hver start/stop.

Til forskel fra gasmotorer vil gasturbineanlæg normalt kræve et gastryk på omkring 5-30 bar afhængigt af valgt anlægskoncept og ønsket elvirkningsgrad. Dette betyder, at anlægget skal ud-

styres med en gaskompressor, såfremt anlægget ikke placeres i nærheden af transmissionsnettet.

For ikke termisk at overbelaste de ukølede centrale dele i gasturbinen arbejdes normalt med stort luftoverskud for at holde forbrændingstemperaturen passende „lav“ (900-1100°C). Dette betyder, at der kan være 10-15% ilt tilbage i røggasen fra turbinen. Såfremt behovet for en større varmeydelse er til stede, kan der derfor ofte med fordel installeres en efterbrænder.

Effektivisering

For gasturbineanlæg er der principielt de samme tabskilder som for motoranlæg. Der er dog to væsentlige forskelle: Da der anvendes relativt større forbrændingsluftmængder, fås større røggasmængder, og røggastabet kan derfor være stort, såfremt der ikke sikres en effektiv udnyttelse af røggassen. Derimod sikrer den kontinuerte forbrændingsproces, at tab af uforbrændt er nær 0, bortset fra tab ved udluftning i forbindelse med starter.

Et effektivt anlæg sikres ved:

- Løbende driftsoptimering
- Effektivt vedligehold, herunder rensning af varmevekslere
- Optimal røggasudnyttelse ved design
- Optimal isolering af hele anlægget.

På grund af de store luftmængder og anlæggets følsomhed for øget modstand i friskluftforsyning er det særligt vigtigt at renholde indsugningsfiltre.

For at minimere udetiden er det vigtigt at sikre sig hurtig leverance af vitale komponenter, som fx en rotor. Serviceaftaler indeholder normalt en sikring heraf.

Brændselscelleanlæg

Brændselsceller forventes at være en af fremtidens vigtigste teknologier til el- og varmeproduktion, da forureningsfri energiomsætning er mulig. Brændstoffet er oftest brint, og en eventuel forurening afhænger af, hvordan brint tilvejebringes. I dag sker det ved elektrolyse med anvendelse af el eller ved reformering af fx naturgas. Kun når brinten er produceret med vedvarende energi som vind eller biomasse, er der tale om omtrent forureningsfri drift.

Fra en brændselscelle udsendes kun vanddamp.

Der findes en række typer:

- Alkaliske brændstofceller (AFC).
Driftstemperatur 70-100°C
- Membranbrændstofcelle (PEM).
Driftstemperatur 50-100°C
- Fosforsyrebrændstofcelle (PAFC).
Driftstemperatur 160-210°C
- Smeltekarbonatbrændstofcelle (MCFC).
Driftstemperatur 650°C
- Faststofoxidbrændstofcelle (SOFC).
Driftstemperatur 700-1000°C

Til trods for flere årtiers intens udvikling findes kun én anlægstype kommercielt tilgængelig, nemlig den såkaldte PAFC-type. En enkelt udbyder har nu gennem mere end 10 år udbudt en enhedsstørrelse på 200 kW, der primært anvendes til el- og centralvarmeproduktion på isolerede steder eller som backup forsyning. Den specifikke pris er høj sammenlignet med traditionel kraftvarmeteknologi.

Den type, der i de seneste år primært er satset på at udvikle, er PEM-cellen, som især bilindustrien arbejder med.

Elvirkningsgraden afhænger af, hvilket brændsel der anvendes. Med brint opnås en virkningsgrad omkring 40%. Ved andre brændsler kræves reformering af brændslet, hvilket bringer det samlede systems virkningsgrad ned på ca. 35%.

I fremtiden forventes brændselscelleanlæg med en elvirkningsgrad op mod 60% og i kombination med turbinedrift over 70%. Supplerende litteratur om brændselsceller kan fx findes på www.hyweb.de.

Gode råd om kraftvarme

- Gennemgå og overvej listen over gode råd for kedelanlæg
- Ved nyanlæg bør foretages valg mellem flere forsyningsalternativer
- Gennemfør før nyanlæg en økonomisk følsomhedsanalyse for at afdække anlæggets økonomiske robusthed
- Fuld backup forsyning bør etableres
- Dimensionering bør foretages under hensyn til el- og varmebehov 5-10 år frem
- Vælg en anlægsleverandør med gode referencer for den relevante anvendelse.
- Få overblik over serviceomkostningerne før investeringsbeslutning. De er typisk af samme størrelse som kapitalomkostningerne. Indhent tilbud på en langsigtet servicekontrakt
- Optimal dimensionering, herunder også størrelse af varmeakkumuleringskøle, er grundlag for høj årsmiddelvirkningsgrad
- Minimer frem- og returløbstemperatur for at opnå god virkningsgrad
- Ved biomassebaseret kraftvarme (eller kedeldrift) skal brændslet være veldefineret (vandindhold, bindemidler), idet korrosions-, indfyrrings- eller lagerproblemer kan opstå.