

Medelstora kompakta kombi-kraftverk för kraftvärmekoppling

Dagens kombikraftverk når verkningsgrader mellan 50 och 58 % och med kraftvärmekoppling blir bränsleutnyttjandegraden nästan 90 %. Dessutom utmärks anläggningarna av låga investeringskostnader och korta byggtider. Dessa utmärkta egenskaper gör medelstora kombikraftverk till ett mycket intressant alternativ för decentral kraft- och värmeförsörjning. Hjärtat i sådana anläggningar är gasturbinaggregatet GT10, ett lätt och robust industriellt gasturbinaggregat med en effekt på 25 MW, en modell som under senare år har nått en marknadsledande position i det medelhöga effektområdet.

Sedan ABB 1956 byggde världens första kombikraftverk har utvecklingen präglats av en tendens mot allt större gasturbiner, som tillåter allt högre förbränningstemperaturer och därmed högre verkningsgrad. Under årens lopp har kombikraftverk nått verkningsgrader mellan 50 och 58 %, och 60 % ligger redan inom räckhåll.

Men även med en verkningsgrad på 58 % måste konstateras att 42 % av den termiska energin går till kråkorna. Förlustenergin försvinner i form av avloppsångans värme. Om avloppsången däremot används för att generera processånga till industrianläggningar eller för att värma vatten till fjärrvärmenät, går det att nå en bränsleutnyttjandegrad på cirka 90 %. Ett exempel på en sådan tillämpning är det kraftverk som ABB har byggt i Ängelholm, ett kombikraftverk med kraftvärmekoppling och anslutning till det lokala fjärrvärmenätet som uppvisar en bränsleutnyttjandegrad på 87 %. Vid ren kraftgenerering får denna medelstora anlägg-

ning en elektrisk nettoverkningsgrad på 50 % **1**.

Medan ett kombikraftverk med kraftvärmekoppling utnyttjar bränslets energi klart bättre än en anläggning avsedd för ren elkraftgenerering, är skillnaden i verkningsgrad mellan ett stort kombikraftverk och ett medelstort förhållandevis liten. Eftersom energi i form av värme inte kan transporteras över längre avstånd, är det mycket mer ekonomiskt att bygga flera små kombikraftverk med kraftvärmekoppling i närheten av värmeförbrukarna i stället för en stor central anläggning som huvudsakligen skulle användas för elkraftgenerering **2** [1].

Detta var en viktig aspekt vid anpassning av en teknik som de flesta tidigare ansåg mest lämpad för stora gas- och

ångturbiner. Under de senaste 10 åren har användningen av medelstora kombikraftverk med gasturbiner i effektområdet mellan 20 och 50 MW ökat kraftigt.

Decentral kraftgenerering

Kraftvärmekopplingen är dock inte det enda skälet för den ökande användningen av relativt små kombikraftverk. En avgörande roll spelar även dagens tendens mot avreglering av energimarknaden, en liberalisering som ger helt nya möjligheter för privat och decentral elkraftproduktion.

Avregleringen tillåter stora industriella elförbrukare att bygga kombikraftverk med kraftvärmekoppling – eller avsedda för ren kraftgenerering – och därmed spara in betydande kostnader. För industrigrenar med stort värmebehov, som pappersindustrin, den petrokemiska industrin och den kemiska industrin, är egna kraftvärmeverk ett fördelaktigt alternativ. Även i fall där värmebehovet är större än elkraftbehovet är det lämpligt att välja en lösning med relativt stor kapacitet för elkraftgenerering, eftersom inkomsterna från överskottsenergin kan förkorta återbetalningstiden betydligt.

ABB har byggt kraftvärmeverk för oljeraffinaderier över hela världen. I kraftverket som tillhör ett raffinaderi i grekiska Korint utnyttjas exempelvis avgaserna för att generera processånga och elektrisk energi. Överskottet av elektrisk energi matas ut på det allmänna nätet **3**.

Dagens avreglerade energimarknad har medfört en djupgående strukturomvandling inom energiindustrin. Företag som tidigare endast distribuerade energi, bland andra kommunala energibolag, har i ökande utsträckning övergått till att själva generera sin elektriska energi i relativt små anläggningar.

Det kommunala energibolaget *Tekniska verken i Linköping AB* har nyligen kompletterat det avfallseldade värmeverket i Gärstad med kraftvärmekoppling **4**. Eftersom anläggningen byggdes på tidigt

Bo Svensson
ABB Stal AB



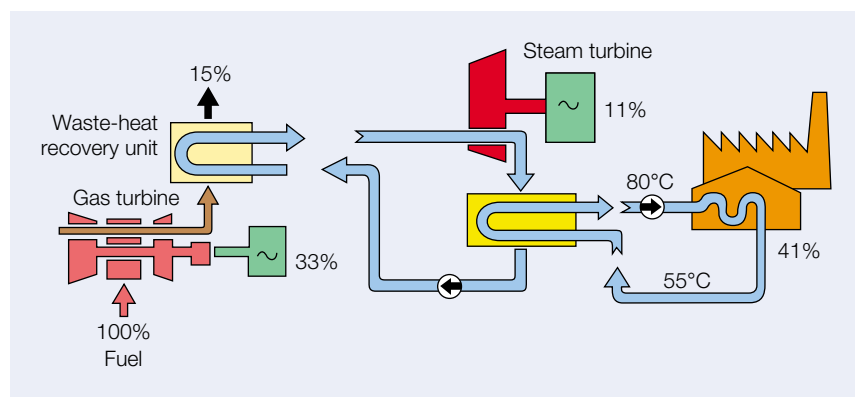
Kombikraftverk av typ GT10 i Ängelholm

80-tal, fanns det ingen motivation för *Tekniska verken* att generera egen elkraft, och bolaget avstod därför från att installera en ångturbin. Efter installation av en gas- och en ångturbin ökade anläggningens termiska effekt från 73 till 83 MW och dessutom ställdes 49 MW elektrisk effekt till förfogande. På grund av dagens höga elkraftpris i Sverige återbetalar sig ombyggnaden snabbt.

Även stora kraftverk har utvecklat nya strategier för att förbli konkurrenskraftiga under de nya marknadsvillkoren. Några kraftbolag har utvecklats till totalleverantörer inom energiområdet. Som exempel kan nämnas det nederländska kraftbolaget *PNEM* som nyligen har låtit ABB bygga tre kombikraftverk med kraftvärmekoppling **5** som inom ramen för långfristiga avtal skall mata processvärme till Heineken-bryggeriet i Hertogenbosch, en Philip Morris-fabrik i Bergen-op-Zoom och en konstgödningsfabrik i Helmond.

1996 levererade ABB två kombikraftverk med kraftvärmekoppling till *Gas-Edon Emmen*, ett samarbetsprojekt mellan de båda nederländska företagen *Gasunie* och *Edon*. Kraftverken har uppförts i anslutning till företagets befintliga anläggningar i Erica och Klazienaveen. Värmen från kraftverken köps av intilliggande växthusanläggningar. För att få ekonomi i

Principen för kombikraftverk med kraftvärmekoppling



driften av ett sådant kraftverk har det avgörande betydelse att det finns storkunder för värme eller processånga i anläggningens omedelbara närhet.

Ytterligare en viktig aspekt är det ökande intresset för decentral energiförsörjning, framför allt på den avreglerade energimarknaden i USA. Huvudtanken är att avstå från dyra investeringar i energitransmission och att minska överföringsförlusterna. Till och med utan kraftvärmekoppling erbjuder medelstora kombikraftverk betydande fördelar för kraftbolagen. Byggnadskostnaderna är relativt låga och kraftverken kan drivas mycket flexibelt. De kan eldas med olika bränslen och de karakteriseras av korta driftsättningstider.

Tendensen mot decentral kraftgenerering med kraftvärmekoppling har lett till ökande efterfrågan på medelstora kombikraftverk. Det är sannolikt att vidareutvecklingen av tekniken och marknaden kommer att ge upphov till nya tillämpningar, tex på öar och stora oljeplattformar liksom på kryssningsfartyg och snabba fraktfartyg med elektriska drivmaskiner.

Gasturbinen GT10

Alla de ovan nämnda kombikraftverken med kraftvärmekoppling är uppbyggda kring gasturbiner av typ GT10, den maskin som på senare år har blivit mark-



nadsledande i det medelhöga effektområdet. GT10 är ett lätt och robust industrigasturbinaggregat med effekten 25 MW och elverkningsgraden 34 %. Verkningsgraden i kombidrift ligger strax över 50 %. Gasturbinen utnyttjar det av ABB utvecklade Dry low-NO_x-brännarsystemet, som garanterar maximalt 25 V ppm NO_x vid 15% O₂-halt och låga utsläpp av CO och oförbrända kolväten.

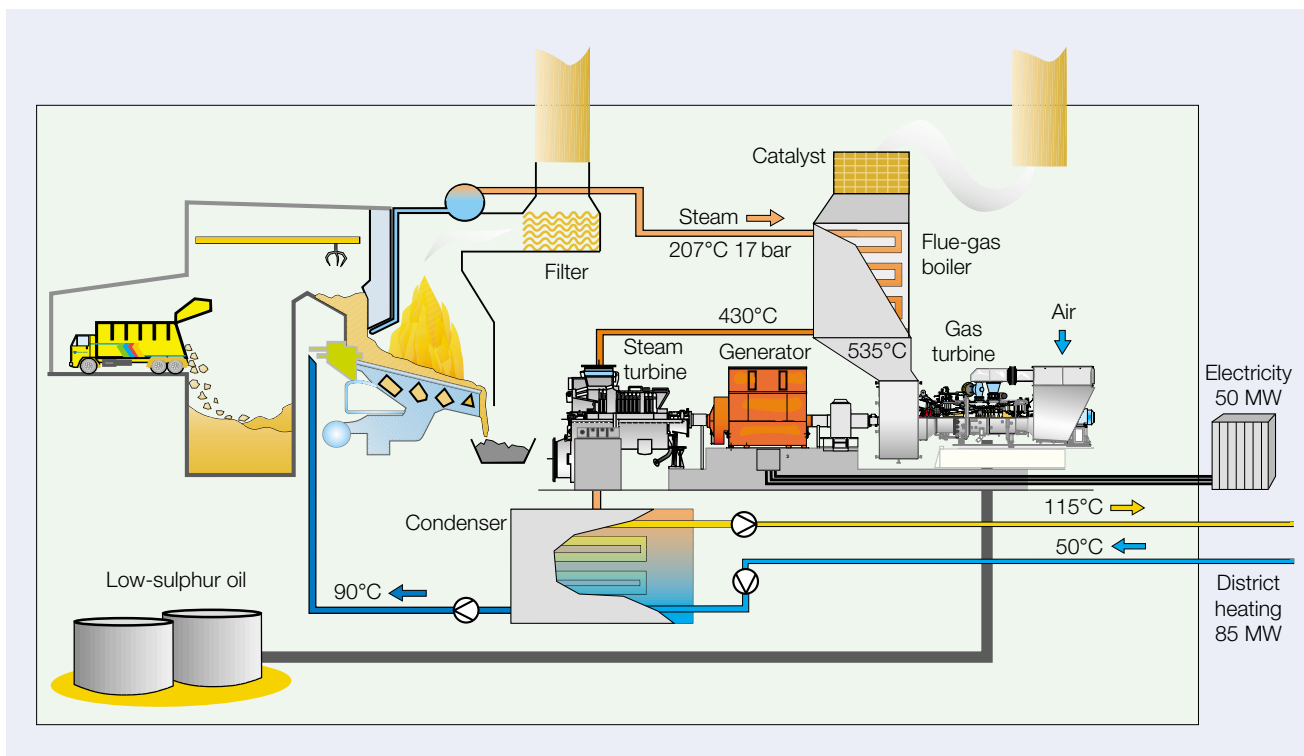
Tack vare sitt robusta utförande lämpar sig GT10 för kontinuerlig drift under lång tid. De långa revisionsintervallen och maskinens modulära uppbyggnad, som gör det enkelt att underhålla den lokalt, ger turbinen hög tillgänglighet. Som exempel kan nämnas att hela brännkammaren kan ersättas som en modul, vilket innebär att den vikt som måste lyftas i samband med underhållsarbeten minskar **6**.

Kraftverk med kraftvärmekoppling i ett raffinaderi i grekiska Korint, utrustat med 2 gasturbinaggregat av typ GT35

3

Schematisk beskrivning av kraftvärmeverket Gärsdå i Linköping. Här visas integrationen mellan en GT10-baserad kombianläggning och en avfallsförbränningsanläggning.

4



God ekonomi

Ett typiskt problem i mindre anläggningar är den förhållandevis höga effektkostnaden. För att göra medelstora kombikraftverk så ekonomiska som möjligt för användaren har ABB Stal utvecklat en serie intressanta tekniska lösningar.

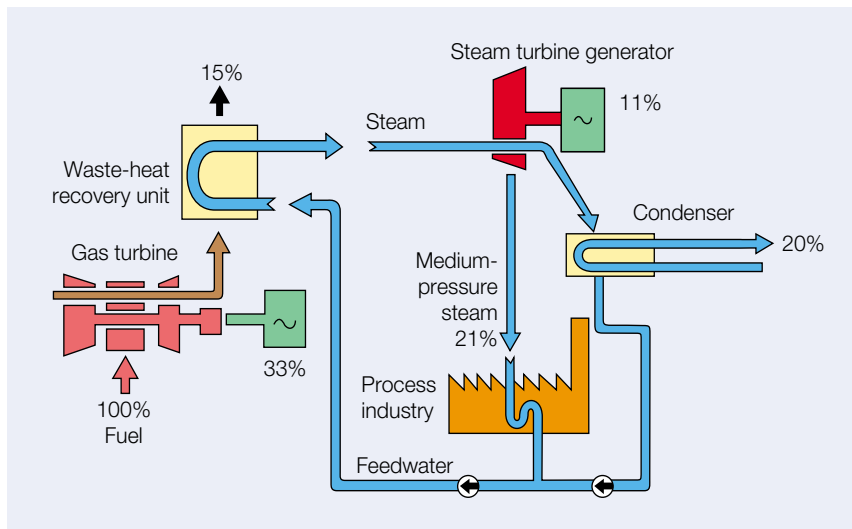
Tillverknings- och monteringsmetoderna har rationaliserats för att minimera leveranstiderna och igångkörningskostnaderna. Det tidigare nämnda kraftvärmeverket i Ängelholm stod klart för kommersiell drift redan 15 månader efter att ordern hade lagts. Många av komponenterna som ABB använder i sina kombikraftverk är standardiserade eller modulärt konstruerade så att tillgängligheten blir hög och kostnaderna låga. Självfallet är varje kunds behov, varje installationsplats och varje tillämpning olik varje annan, varför anläggningarna alltid måste anpassas till de speciella villkor som råder. Allmänt kan sägas att det är enklare att skräddarsy ett litet kraftverk för en given tillämpning än ett stort.

Vid planering av kombikraftverk måste man ta hänsyn till att det ofta står begränsat utrymme till förfogande. I vissa fall måste kraftverket byggas in i en befintlig byggnad för att hålla byggnadskostnaderna så låga som möjligt. Strävan att hålla den erforderliga golvytan så liten som möjligt har fört till olika lösningar, tex till enaxelkonceptet **7**.

En- och fleraxelkoncept

Vid optimeringen av GT10-kombikraftverket kunde ABB Stal lita sig mot sina erfarenheter från VAX-ångturbinaffregat (axiella turbiner med växel) av enaxeltyp. Här driver högtrycksturbinen och lågtrycksturbinen samma generator från var sitt håll. Eftersom högtrycksturbinen vanligtvis arbetar vid högre varvtal än lågtrycksturbinen, sitter det en reduktionsväxel mellan högtrycksturbinen och generatoren.

I en enaxlig kombianläggning delar en



Principen för ett GT10-kombikraftverk med kraftvärmekoppling som används av PNEM i Nederländerna

5

gas- och en ångturbin på en generator som drivs från båda ändar **8**. Denna lösning är långt ifrån ovanlig men har hittills sällan förekommit i mindre anläggningar **9**.

Generellt gäller att gasturbinens varvtal måste konverteras till generatorns. En reduktionsväxel ger upphov till förluster på cirka 1%. Detta kompenseras dock mer än väl av de lägre förlusterna i tur-

Montage av en GT10-brännkammare

6





En gasturbin av typ GT10 lyfts in i en befintlig byggnad vid Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) i Boston, USA.

7

biner med mindre diameter, varför systemets totalverkningsgrad ökar.

Tillverkningen av växellådor för drivsystem i fartyg och maskiner, liksom i kraftverk, har lång tradition inom ABB Stal. I typiska kombikraftverk av enaxeltyp används relativt små och enkla växellådor av parallelltyp i stället för planetväxlar.

En viktig fördel med enaxelkonceptet är den kompakta konstruktionen. I genomsnitt kan 10% utrymme sparas. Detta inverkar positivt på totalkostnaderna, eftersom såväl fundament som byggnader kan göras mindre.

En enda stor generator är naturligtvis både effektivare och relativt sett billigare än två mindre generatorer. Dessutom blir kostnaderna för den elektriska hjälputrustningen lägre för en enda stor generator, trots att dess effekt är högre.

I anläggningar med en gas- och en ångturbin är enaxelprincipen oftast den mest ekonomiska. Vid användning av mer än en gasturbin blir situationen en

annan, eftersom besparingen blir större om en ångturbin väljs i stället för två.

I anläggningar med två gasturbiner ligger den kostnadseffektivaste lösningen i

att utrusta den ena av de båda gasturbinerna med en generator som även drivs med en ångturbin som matas från båda aggregaten, medan den andra gasturbinen förses med en egen generator **10**.

Givetvis finns det också undantag från denna regel. Som exempel kan nämnas att ABB i Tyskland har byggt flera anläggningar med två gasturbiner, där varje gasturbin har en ångturbin i ett enaxelsystem.

Om ett kraftverk skall utrustas med mer än två gasturbiner är enaxelkonceptet under inga omständigheter av intresse. Kombikraftverket KA10-3 i tyska Rostock består exempelvis av tre gasturbinaggregat GT10 med var sin avgaspanna och ett fristående ångturbinaggregat som matas med ånga från alla tre avgaspannorna.

Beräkning av rotordynamik

Enaxelsystemet kan leda till relativt långa axelsträngar. I GT10-kombianläggningarna som levererats till *GasEdon Emmen* driver gasturbinerna generatoren via en kuggväxel från den ena änden, medan en

Enaxlig kombianläggning med en gasturbin av typ GT10

8

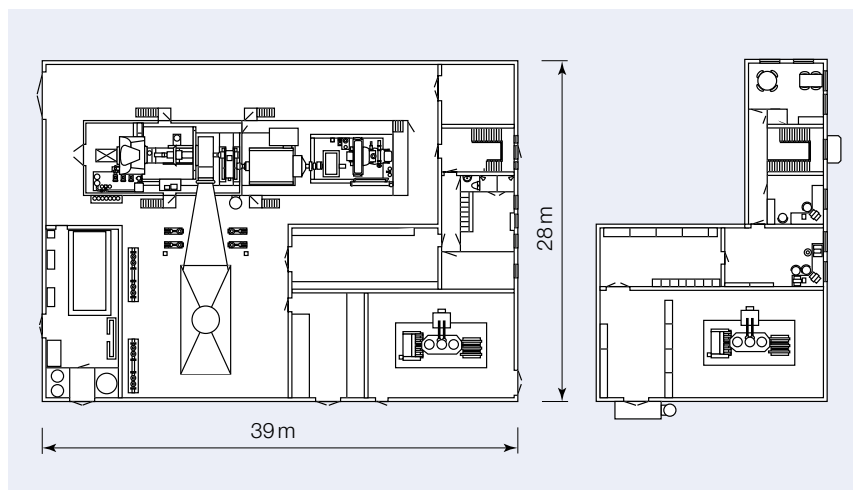


axelsträng som består av de två ångturbinerna driver generatoren från andra änden. Ångturbinerna är närmare bestämt en mellantrycksturbin MP10 och en lågtrycksturbin LP10. Sistnämnda turbin driver generatoren direkt, medan den högvarvigare mellantrycksturbinen driver lågtrycksturbinens andra ände via en växel. Den resulterande axelsträngen är cirka 30 m lång.

En lång axelsträng uppvisar i regel flera kritiska varvtal. Dessa måste fastläggas noggrant för att axelsträngens driftvarvtal inte skall hamna i närheten av något kritiskt varvtal. Det är därför nödvändigt att med största omsorg beräkna rotordynamiken. Vissa tillverkare hämtar den nödvändiga kunskapen externt, men ABB Stal sköter saken inom huset. Tillgången till företagsintern fackkunskap tillåter kunderna att när som helst få snabbt och målinriktat stöd.

Vid bygget av kärnkraftverken i Finland och Sverige på 70-talet kunde ABB Stal bygga upp en rik kunskapsbank med avseende på beräkning av axelsträngar med längd upp till 70 m. Lika viktiga är erfarenheterna som ABB Stal tidigare har vunnit från fartygsturbiner. I mer än 300 fartygsdrivsystem av typ AP används två ångturbiner, som via planetväxlar driver långa och relativt tunna axlar och som samtidigt är anslutna till propelleraxeln via en kraftigt dimensionerad parallellväxel. På senare tid har även erfarenheterna från de tidigare nämnda VAX-ångturbinaggregaten tillkommit.

På basis av dessa omfattande erfarenheter har ABB Stal utnämnts till "Center of Excellence" för beräkningar av rotordynamik inom ABB-koncernen. Företaget har tagit fram en speciell programvara för axelsträngberäkningar. Tack vare förmågan att inom en och samma programmodul kunna beräkna såväl torsions- som böjningsegenskaper och dessutom prediktera inverkan på rotorsystemet av två- och trefasiga kortslutningar i generatoren, utgör denna pro-



Anläggningsöversikt för en kombianläggning av enaxeltyp med gasturbin GT10 och en ångturbin

9

gramvara en spjutspetsprodukt på området.

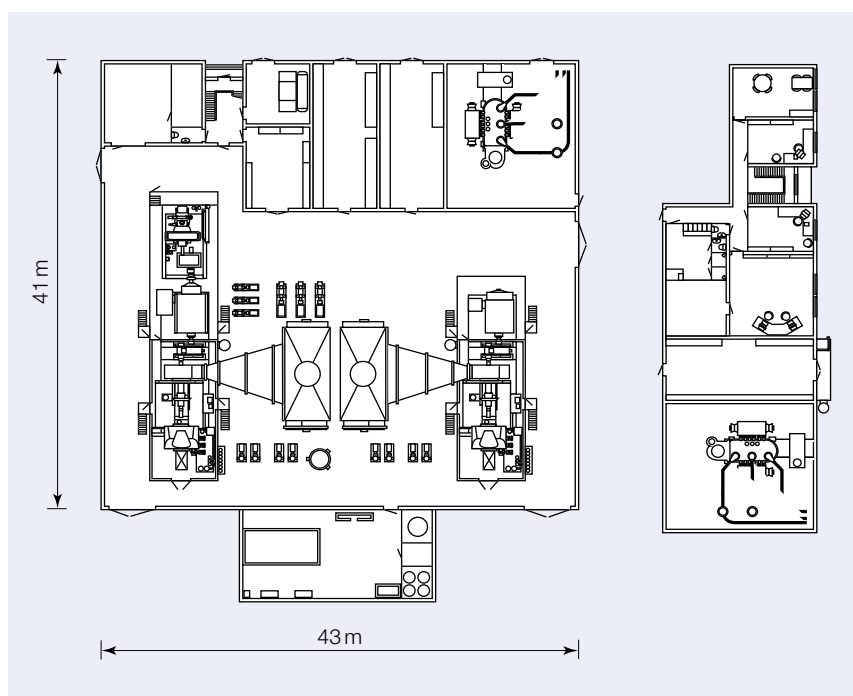
Det faktum att axelsträngen i en enaxlig kombianläggning består av flera separata komponenter förenklar visserligen beräkningarna i många avseenden, men den mekaniska upprikningen blir svårare. På några punkter, tex mellan

turbinrotorerna och kuggväxlarna, installeras därför flexibla kopplingar för att kompensera för eventuella uppriktningsfel. För att övervaka vibrationerna används enkla och driftsäkra accelerationsgivare.

För att garantera lugn gång i axelsträngen krävs noggrann balansering av

Anläggningsplan för en kombianläggning med två gasturbiner och en ångturbin

10





VAX-ångturbinaggregat med högtrycksturbin och växel på den ena sidan av generatorm och lågtrycksturbinen med kondensator på den andra sidan

11

alla rotordelar. ABB Stal balanserar rotordelarna före leverans vid aktuellt driftvarvtal. Balanseringen genomförs i nästan absolut vakuum. Balanseringen vid driftvarvtal ger garanti för lugn gång.

Eftersom det är omöjligt att balansera hela axelsträngen i samband med tillverkning, måste det även finnas balanseringsmöjligheter på plats lokalt. GT10 är utrustad med fem lätt tillgängliga balanseringspunkter. Även ångturbinerna kan balanseras på installationsplatsen. Under de senaste två decennierna har ABB kontinuerligt förbättrat metoderna för balansering på plats, inte bara för turbiner utan även för elektriska maskiner.

I GT10-baserade kombianläggningar används uteslutande hydrodynamiska lager, i turbinerna tippsegmentlager och i kuggväxlar och generatorer glidlager. Dessa oljefilmager är självdämpande, en egenskap som sörjer för lugn gång och som gör lagren underhållsvänliga. Aggregat som bygger på flygturbiner (aeroderivat) är istället utrustade med rullningslager (kul- eller rullager) med olje-

smörjning. För dessa lager används ibland dämpande lagerelement för att få lugnare gång.

Drifterfarenheter

Erfarenheterna från enaxliga anläggningar är hittills uteslutande goda.

Drifterfarenheterna från ångturbinaggregat med långa axelsträngar, sådana som ABB Stal har byggt för kärnkraftverken i Finland och Sverige, är utmärkta. Hittills har inga rotorproblem uppträtt. Den höga tillförlitligheten har placerat anläggningarna på Nuclear Engineerings lista över världens driftsäkraste anläggningar, och just de finska installationerna ligger nästan högst i listan.

Även drifterfarenheterna med VAX-ångturbinaggregat med långa axelsträngar är goda, eftersom de problem som har uppträtt är av lindrig art. Som exempel kan nämnas att några av växellådorna behövde repareras. Den första anläggningen av denna typ sattes i drift 1984. Idag finns mer än 100 sådana anläggningar i drift över hela världen och de har

tillsammans noterat mer än 5 miljoner drifttimmar **[1]**.

Erfarenheterna med enaxliga kombianläggningar sträcker sig naturligtvis över en betydligt kortare tidsperiod. Idag finns det omkring 30 sådana anläggningar som har lagt en drifttid på totalt cirka 300 000 timmar bakom sig. De första anläggningarna – som den i Ängelholm – har kommit upp i mer än 25 000 drifttimmar. Den enaxliga konstruktionen för ABBs medelstora kombikraftverk har alltså bevisat sitt värde.

Utblick

Framgångsrika tekniska innovationer som enaxelkonceptet har bidragit till att förbättra lönsamhetsprofilen för medelstora kombikraftverk. Därför är det rimligt att räkna med ökande andel sådana anläggningar i den totalt installerade effekten i världen, förutsatt att den fortgående avregleringen av energimarknaden ger utrymme för detta.

Referens

[1] Svensson, B.: Dry low-NO_x-teknik för gasturbiner i kombi- och mottryckskraftverk. ABB Tidning 5/93, 11–16.

Författarens adress

Bo Svensson
ABB Stal AB
S-612 82 Finspång
Fax: +46 (0) 122 186 84
E-mail:
bo.svensson@sesta.mail.abb.com