

UTVÄRDERING AV GASTURBIN GTX100 I HELSINGBORG – ETAPP 1

©Svenskt Gastekniskt Center - Oktober 2001



Edt. Tord Torisson/Mohsen Assadi
Inst. för värme- och kraftteknik, LTH

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat och dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

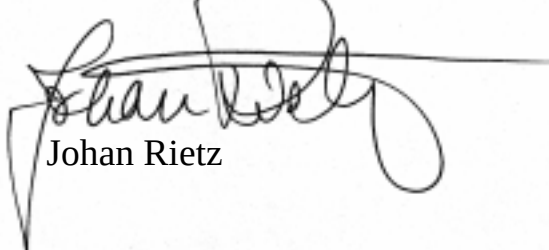
En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC's hemsida www.sgc.se.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

ALSTOM Power Sweden AB
GasTurbinkraft i Helsingborg HB
Statens Energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Johan Rietz

SAMMANFATTNING

Föreliggande rapport är en delrapport inom uppföljningsprojektet GTX100 i Helsingborg. Rapporten sammanställer resultat från installation och drifttagning av ALSTOM POWERs gasturbin i 50 MW klassen (GTX100), i Västhamnsverket i Helsingborg. Gasturbinen och dess avgaspanna har integrerats i den befintliga fastbränsleeldade kraftverksanläggningen och systemlösningen är unik.

Projektet avser att följa upp den moderna hybridanläggningen och kartlägga eventuella problem i samband med driften. Eftersom projektet löper i 3 år, kommer också effekten av långtidsdegradering att kunna studeras. Anläggningen är väl instrumenterad och insamlade mätdata används i samband med utveckling och validering av nya och befintliga analys- och diagnostikverktyg.

Institutionen för Värme- och Kraftteknik vid Lunds Tekniska Högskola deltar också i projektet som avser att:

- utveckla verktyg för övervakning och diagnostik baserad på Artificiella Neurala Nätverk (ANN). Verktöget skall också användas för kartläggning av långtidsdegradering.
- validera ett befintligt verktyg för beräkning av gasturbinkylningens inverkan på anläggningsprestanda.
- genomföra litteraturstudie och sammanfatta publicerat material om kompressortvätt tillgängligt i öppen litteratur, samt bidra till kunskapsutveckling inom området m.h.a. experiment och CFD-beräkningar (Computational Fluid Dynamics).

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	I
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	II
1 INLEDNING.....	1
1.1 SYFTE	1
2 VÄSTHAMNSVERKET I HELSINGBORG.....	2
2.1 GTX100	2
2.2 DRAGNING AV NY HÖGTRYCKSLEDNING	3
3 STATUSRAPPORT PROTOTYPPROV HELSINGBORG.....	5
3.1 HISTORIK.....	5
3.2 PROVPROGRAM.....	6
3.2.1 Mätpunkter	6
3.2.2 Erfarenheter och tillkommande prov	6
4 CMS (CONDITION MONITORING SYSTEM).....	7
4.1 INLEDNING.....	7
4.2 CMS VERKTYGET	7
5 ANN FÖR GTX100	10
5.1 BAKGRUND.....	10
5.2 SYFTE	10
5.3 ARBETSGRUPP	10
5.4 PROJEKTBESKRIVNING OCH STATUS.....	11
5.4.1 Arbetsmetodik.....	11
5.4.2 State-of-the-art	11
5.4.3 Arbetets nyhetsvärde.....	11
6 VALIDERING AV MODELL FÖR BERÄKNING AV KYLDA GASTURBINER.....	12
6.1 BAKGRUND.....	12
6.2 KYLMODELL MATCHAD MOT DATA FÖR GTX100	12
6.3 PROJEKTSTATUS	12
7 KOMPRESSORTVÄTT.....	14
7.1 BAKGRUND.....	14
7.2 ARBETSMETODIK.....	16
7.3 STATUS	16
7.4 ARBETSGRUPP	16
8 REFERENSLISTA.....	17

1 INLEDNING

Gasturbintekniken utgör ett strategiskt nyckelområde inom modern kraftproduktion på det globala planet. Under senare år har andelen gasturbiner av nyinstallerad kraft ökat markant på bekostnad av traditionell ångkraftteknik. Drivkrafterna ligger främst i ökad verkningsgrad och lägre utsläpp, men också i lägre kostnader och kortare byggtider. En bidragande faktor är tillgängligheten på naturgas som nu är det vanligaste bränslet i stationära gasturbiner.

ALSTOM Power Sweden AB har byggt till Västhamnsverket i Helsingborg, som drivs av Öresundskraft Produktion AB, med en ny gasturbin GTX100 och en avgaspanna som generar ånga. Ångan leds till befintlig ångturbin som har uppgraderats och som dessutom förses med ånga från befintlig fastbränsleeldad panna. Det uppgraderade Västhamnsverket är alltså en hybrid mellan ett gaskombikraftverk och ett fastbränsleeldat kraftvärmeverk.

GTX100 är en nykonstruktion och innehåller därmed nya tekniska lösningar inom en rad områden. För att uppnå en hög elverkningsgrad och mycket låga utsläppsnivåer avseende kväveoxider och koloxid har ny teknik tagits i anspråk på ett flertal områden i maskinen. Den GTX100 som installerats i Helsingborg var den första i sitt slag i världen.

Med den nya tekniken följer också viktig kunskapsuppbyggnad i branschen, hos operatören/ägaren och hos huvud- och underleverantörer. Erfarenheterna är också värdefulla för den högklassiga forskning i gasturbinrelaterad energiteknik, som bedrivs vid landets högskolor.

Under den första etappen av föreliggande projekt har samarbete på en mycket bred front inletts mellan Lunds Tekniska Högskola (LTH) och ALSTOM och ett antal delprojekt har inletts:

1. Expertsystem för uppföljning av GTX100 och kombikraftverket i Helsingborg.
2. Optimering av kompressortvätt
3. Skovelkylning

1.1 SYFTE

Huvudmålsättningen med utvärderingen/analysen av gasturbinprototypen GTX100 är att under en drifttid på totalt tre år identifiera signifikanta egenskaper hos maskinen som verifierar konstruktionsdata, degenerering och drifttegenskaper samt föreslå åtgärder till förbättringar. Inom ramen för utvärderingen behandlas även erfarenheterna från framdragningen av naturgasledning (32 bar) genom bebyggelse till kraftvärmeverket.

2 VÄSTHAMNSVERKET I HELSINGBORG

Västhamsverket i Helsingborg är ett ångkraftverk, uppfört 1982, för el- och värmeproduktion med en fastbränslepanna för kol, träpellets och olja samt en ångturbin med värmeavtappning. Verket hade före tillbyggnaden en kapacitet av 64 MW_e och 132 MW_v, vilket gav ett alfavärde på 0,48. Vidare finns här en eldriven värmepump med 29 MW värmeeffekt och en hetvattenackumulator med en kapacitet på 1500 MWh. Tillbyggnad av en gasturbinanläggning med avgaspanna ökar kraftvärmeverkets kapacitet för el- och värmeproduktion. Ångan från avgaspannan leds till befintlig, uppgraderad turbin, som dessutom förses med ånga från befintlig fastbränslepanna. Totaleffekten blir 126,7 MW_e och 186 MW_v. Systemlösningen är unik. Alfavärdet har höjts till 0,68, vilket innebär en väsentlig effektivisering och ett bättre utnyttjande av fjärrvärmenätet för elproduktion.

Utöver Västhamsverket försörjs fjärrvärmenätet i Helsingborg av spillvärme från en kemisk industri (Kemira), som i genomsnitt levererar 27-30 MW_v, samt från hetvattencentralen "Israel", som har en kapacitet på nästan 400 MW_v. Pannorna här kan huvudsakligen eldas med olja, men naturgas kan användas i två pannor på totalt 60 MW_v.

På Filborna avfalls- och återvinningsanläggning har Öresundskraft Produktion idag 2 deponigasmotorer på totalt 1,2 MW_e och 1,6 MW_v samt en hetvattenpanna på 4 MW_v. Anläggningen skall utökas med en kombicykel för biogasdrift som kommer att ge ytterligare 800 kW_e och 1,5 MW_v. Dessutom skall en fristående hetvattenpanna på 5 MW_v uppföras. Kombicykeln kommer att vara en av de mest avancerade anläggningarna i sitt slag, både vad gäller hur man utnyttjar metangas och kombicykelteknologi i den här skalan och skall invigas i april 2002.

2.1 GTX100

Maskinen är utlagd för 43 MW_e och en termisk verkningsgrad på 37 %. Gasturbinen har även mycket låga emissionsnivåer (<15 ppm NO_x på gasbränsle). Maskinen är enaxlig och driver generatoren med den "kalla" sidan (vilket innebär att man t.ex. kan ha en effektiv lång konisk diffusor efter turbinen, se figur 1).



Figur 1: Gasturbinen GTX100.

Kompressorn består av 15 steg och tryckförhållandet är 20, med ett flöde på 122 kg/s. I brännkammaren tillförs en bränsleeffekt på ca 120 MW och temperaturen efter brännkammaren är ca 1200 °C. Gasen expanderar sedan genom turbinens 3 steg där man erhåller ca 100 MW turbinarbete (motsvarar ett arbete på ca 550 hk per roterande skovel). Eftersom maskinen är optimerad för kombicycle är avgastemperaturen relativt hög. Då inga idag kända belastade skovelmateriel tål mer än ca 950 °C, är turbinens 2 första steg kylda.

2.2 DRAGNING AV NY HÖGTRYCKSLEDNING [1]

Högsta tryck i det svenska naturgassystemet är 80 bar (normalt drifttryck är ca 60 bar) och det förekommer enbart i stamledningen och grenledningarna d.v.s. de ledningar som förbinder stamledningen med M/R-stationerna. I M/R-stationerna reduceras trycket ner till 16, 10 eller 4 bar. Det lägre trycket är det vanligaste i distributionsledningar och ledningsdimensionen varierar mellan 32 och 225 mm. För större gasturbiner som placeras inom bebyggelse, som är fallet i Helsingborg, krävs att en ny högtrycksledning dras fram till gasturbinen. Ledningen i Helsingborg är unik i sitt slag i Sverige beträffande komplexitet i ledningsdragning i förhållande till bebyggelse och till gällande föreskrifter.

SGC rapport A28 sammanfattar erfarenheterna från projektering och byggande av en 30-barsledning i Helsingborg. Ledningen drogs fram genom delvis relativt tätbebyggt område. Detta åskådliggör att det är möjligt att dra fram naturgasledningar till förbrukare som kräver dessa tryck även vid ganska svåra förhållanden.

Det är möjligt för SÄI (Sprängämnesinspektionen) att godkänna gasledningar med tryck upp till 40 bar i tätort under vissa omständigheter. Arbetet bör genomföras i nära samarbete med myndigheten. Ventilplaceringen gjordes även i samarbete med Räddningstjänsten. Kostnadsökningen för tryckhöjning från 16 till 30 bar blev rimlig. Detta var även förutsättning för att gasturbinen vid Västhamnverket skulle kunna byggas.

Som korrosionsskydd valdes polyetencoating typ standard med gul polyeten (t=2 mm). Erfarenheter från detta och andra projekt visar att man skall undvika skyddsrör av stål vid vägkorsningar och dylikt. Kontroll av det katodiska skyddet på produktledningen kan försvåras eller omöjliggöras om det läggs i elektriskt ledande skyddsrör. Samtidigt finns en uppenbar risk för en försämring av det katodiska skyddet. Bästa skyddet mot grävsador har man i asfaltytor.

Det är förnuftigt att bygga ledningen redan från början för alla tänkbara framtida användningsområden och ledningen skall tryckprovas för detta tryck. Driftsättning av ledningen görs däremot efter dagens behov av leveranstryck. Transport och utläggning av rör genomfördes i egen regi av Öresundskraft. Detta sparade i detta fall både tid och pengar.

Man bör använda servitut i första hand. Detta kan sedan omvandlas till ledningsrätt. En viktig egenskap hos ledningsrätt är att den ligger fast, oberoende av eventuella förändringar i fastighetsindelning. Det betyder att ledningsrättsinnehavaren inte behöver slösa tid på att bevaka om något händer med fastighetsindelningen. Det är lämpligt att överlämna det slutliga återställandet till markägaren. Denne genomför de åtgärder han bedömer nödvändiga med plöjning och harvning. Det är också viktigt att beakta framtida dräneringar.

3 STATUSRAPPORT PROTOTYPPROV HELSINGBORG

3.1 HISTORIK

Under sommaren 1999 levererades gasturbinen från Finspång för uppställning på Västhamnsverket i Helsingborg. Roterande provning av maskinen startade v 36 1999. Maskinen har en omfattande instrumentering, ca 1500 mätpunkter för utvärdering av konstruktionen. På plats i Helsingborg har ett antal personer från Finspång arbetat med utvärdering av mätningarna samtidigt som en omfattande utvärdering har utförts i Finspång. Under den inledande fasen upptäcktes problem med telemetriutrustningen på turbinrotorn, vilket ledde till förseningar och v 46 1999 nåddes fullast för första gången. Telemetriutrustning används för att kunna mäta på roterande delar (som t ex strukturella påkänningar, temperaturer, osv).

Prototypprovet avslöjade inga allvarliga problem med maskinen, utöver de man kan förvänta sig med en maskin av denna komplexitetsgrad, utan begränsades till mindre justeringar av t ex sekundärluftssystemet. Vissa akustiska fenomen i brännkammaren identifierades och arbete pågår för att lösa dessa.

Under juni månad 2000 fortsatte provningen med inriktning på brännare, brännkammaren och instabilitetsgränser för förbränningen. Ett "500-timmarsprov" genomfördes under senare del av sommaren för att visa maskinens egenskaper och tillförlitlighet. Sommarens (2000) provperiod avslutades med ett prov på flytande bränsle. Maskinen togs därefter till Finspång för installation av den i Finspång instrumenterade turbinrotorn med modifierad och utprovad telemetriutrustning. Prov med olika uppkopplingar för temperaturmätning på turbinens roterande delar genomfördes under senhösten. Dessutom genomfördes balansprov upp till fullast i syfte att kvalificera maskinen enligt API 616 (Amerikansk petroleum standard inom gasturbinbranschen).

Kompletterande prov genomfördes under januari till 15/6 2001 med fokus på brännare och flytande bränsle. Dessa syftade till att nå lägsta möjliga emissioner.

Kombianläggningen, baserad på GTX100, planeras att tas i drift september 2001 och anläggningen beräknas övertas för kommersiell drift i december 2001.

3.2 PROVPROGRAM

För att utvärdera konstruktionen gjordes omfattande prov och dessa kan sammanfattas som:

1. Prov av startsystem och acceleration till driftvarvtal.
2. Drifttagning av generatorsystem utan last.
3. Lastprov upp till full last.
4. Övervarvsprov.
5. Prestanda- och förbränningsprov.
6. Transientprov.
7. Driftsprov.

3.2.1 Mätpunkter

Denna lista kan göras mycket lång; totalt sett är maskinen bestyckad med ca 1500 mätpunkter, inom följande områden:

1. Strukturmätningar (t ex trådtöjningsgivare, trycktransientgivare för "flutter" och akustiska fenomen i brännkammaren, vibrationsmätning).
2. Prestanda och aerodynamik (t ex toppspelsmätning, tryck, temperatur, flöde och strömningsvinklar).
3. Förbränning (t ex flamtemperaturmätning).
4. Emissioner (NO_x, CO, CO₂, O₂, UHC, osv.).
5. Driftinstrument och "händelsehantering".
6. Ljudnivåer.
7. Hjälpsystemens funktion (t ex smörjolja, bränsle, osv.).
8. Kylsystemens funktion.

3.2.2 Erfarenheter och tillkommande prov

Som slutsats kan man säga att GTX100 är en mycket bra maskin som ger den prestanda som den är designad för. Vissa problem har upptäckts, men dessa ligger helt inom ramen för vad som kan anses som acceptabelt för en så avancerad maskin. Med "avancerad maskin" menas att alla tillgängliga teknikdiscipliner är inblandade till sin spets.

Uppföljningsprojektet kommer att följa maskinen i kombidrift under ytterligare minst 1,5 år, för att utvärdera maskinen i det längre perspektivet. Föreliggande rapport utgör en delrapport från hela uppföljningsprojektet.

4 CMS (CONDITION MONITORING SYSTEM)

4.1 INLEDNING

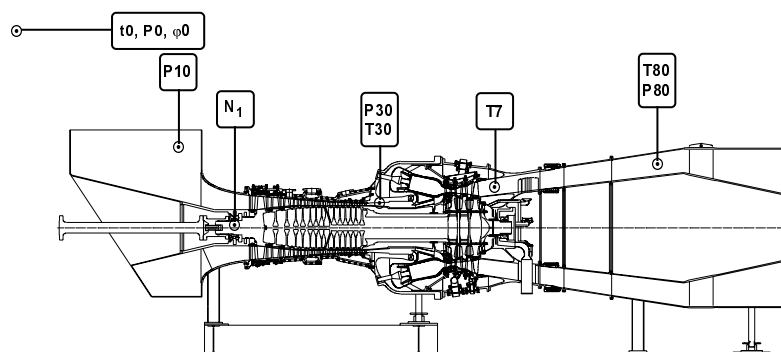
Inom ramen för uppföljningsprojektet för GTX100 i Helsingborg, har ett system för hantering och utvärdering av driftparametrar utvecklats. Detta "CMS" system (Condition Monitoring System) är baserat på t ex traditionella värme-/massbalanser, och är anpassat för GTX100.

4.2 CMS VERKTYGET

I projektet ingår att utvärdera ett antal komponenter (t ex kompressorförsmutsning och avisning), och CMS kommer att användas som ett universalverktyg för detta. I denna framställning kommer fokus att ligga på CMS för prestandarelaterade frågor.

CMS är egentligen en kombination av ett antal program med en databas som grund, och i princip lagras alla driftparametrar. Innan en parameter kan användas som indata till beräkningsprogrammen måste denna filtreras med en algoritm så att t ex brus dämpas.

Gasturbinen är utrustad med driftinstrument i sådan omfattning att man kan utvärdera alla huvudsakliga komponenter med enbart dessa. Figur 2 visar de viktigaste driftinstrumenten för prestandaövervakning.



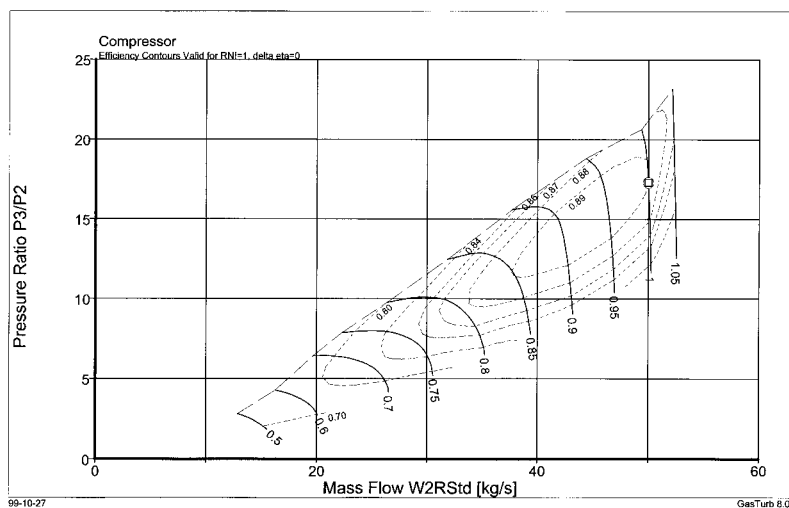
Figur 2: Gasturbinen GTX100 med de viktigaste driftinstrumenten markerade.

Beräkningsdelen i CMS består av två program: GTHEATBAL och GTPERFORM, som har utvecklats av ALSTOM i Finspång. Det första av dessa (GTHEATBAL) är ett utvärderingsprogram som är baserat på traditionella mass- och värmebalansmetoder. Styrkan med detta program är att det är uppbyggt på både traditionella metoder och karakteristik som beskriver GTX100. Som exempel kan nämnas, att för att kunna beräkna verkningsgraden för turbindelen, behöver man veta vilket tillstånd man har in respektive ut ur turbinen. Detta innebär att man behöver dels beräkna tryckfallet i brännkammaren och även tryckfallet i avloppsdiffusorn.

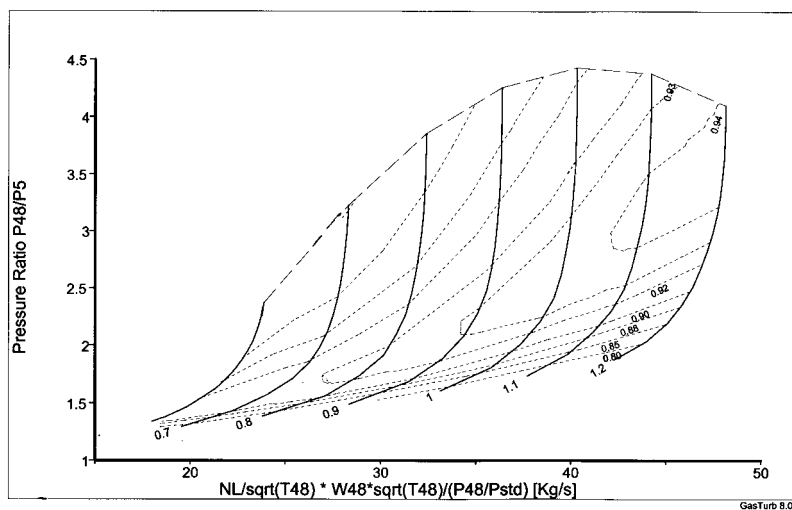
För att beräkna den senare måste man beräkna hastighetstrianglarna för det sista turbinsteget. För att kunna utföra denna beräkning, behöver man känna både geometrin för den sista rotorn samt förlustunderlaget för avloppsdiffusorn och denna information är inte tillgänglig utanför ALSTOM. Det bör också nämnas att i princip all beräkning är iterativ, och måste utföras med dator.

I GTHEATBAL beräknas aerotermodynamiska parametrar för alla snitten och övriga storheter (t ex verkningsgrader, vidheter etc). Om man önskar utföra en djupare analys kan man använda utdata från detta program som indata i t ex ett radialbalansprogram.

GTPERFORM är ALSTOM Power's (Finspång) program för gasturbinberäkning och en specialversion har utvecklats för denna applikation. Programmet bygger på diverse komponentkaraktistik som t ex: kompressor- och turbinkaraktistik. I detta program beräknas förväntad prestanda för gasturbinen och även för dess komponenter.



Figur 3: Kompressorkarakteristik.



Figur 4: Turbinkarakteristik.

Utdata från GTHEATBAL användes som indata för beräkning av förväntade parametrar i GTPERFORM. I GTPERFORM beräknas prestanda för två olika fall:

- Ny maskin
- Maskin med åldrade komponenter

Dessa två fall ger information om hur mycket maskinen/komponenterna har åldrats respektive en spegling av de beräknade parametrarna i GTHEATBAL.

I CMS beräknas även produktionskostnaden samt eventuell ökning denna, av t ex: kompressorförsmutsning.

5 ANN FÖR GTX100

5.1 BAKGRUND

Dagens avreglerade elmarknad ställer högre krav på tillgänglighet, samtidigt som komponenterna i moderna kraftverksanläggningar belastas allt hårdare för att nå högre verkningsgrad. För att klara av dessa krav, behövs tillförlitliga övervaknings- och diagnostiseringssystem där processernas tillstånd samt nödvändiga åtgärder för upprätthållande av den höga verkningsgraden kan styras m.h.a. mätdata. De vanligaste övervakningssystemen idag baseras på värme- och massbalansprogram med fysikaliska modeller av komponenterna. Tillverkningspecifika data används för ökad noggrannhet i beräkningar som i sin tur kan leda till en säkrare diagnos.

En annan viktig aspekt är anläggningarnas prestandadegradering. Efter en tids drift försämras anläggningsprestandan på grund av slitage, försmutsning samt termiska och mekaniska belastningar. Vad som behövs är ett intelligent system som kan anpassas till de nya förhållandena för kontinuerlig övervakning och diagnostisering. Artificiella Neurala Nätverk (ANN) har visat sig vara ett värdefullt verktyg för denna applikation.

Uppmärksamheten kring ANN och dess möjligheter att utgöra grunden i ett expertsystem ökar kontinuerligt. Därför erbjuder SGC/ALSTOM/GTK projektet en unik möjlighet för LTH att validera ANN verktyget mot en verklig anläggning som GTX100 i Helsingborg. Den här erfarenheten skulle sprida nytt ljus över området, vad det gäller ANN verktygets möjligheter och begränsningar.

5.2 SYFTE

Det övergripande syftet är att utveckla och anpassa ett ANN-verktyg till kombianläggningen i Helsingborg. Genom jämförelse med mer konventionella övervakningsverktyg, t.ex. Condition Monitoring System (CMS), kan ANN verktyget valideras och dess eventuella begränsningar belysas. Målet är att utveckla ett verktyg för kraftverkstillämpningar, som resulterar i effektivare, enklare och billigare övervakning och underhåll, samt en säkrare drift.

5.3 ARBETSGRUPP

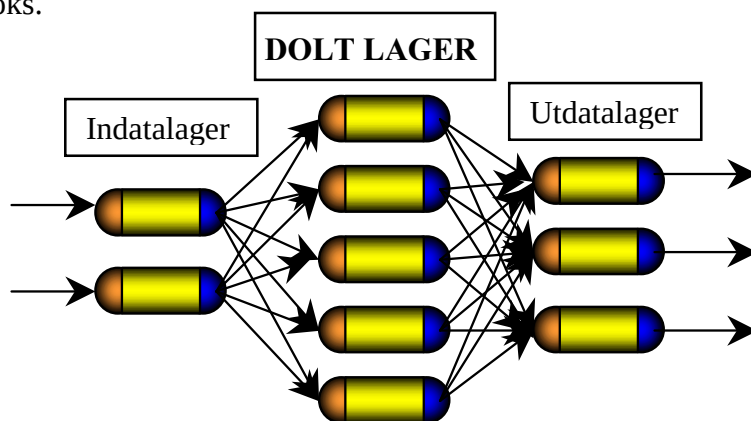
Arbetsgruppen från LTH består av Jaime Arriagada (doktorand), Pernilla Olausson (doktorand) och Mohsen Assadi (handledare).

5.4 PROJEKTBESKRIVNING OCH STATUS

5.4.1 Arbetsmetodik

Arbetsmetodiken fram till dagens datum har varit att kombinera teoretiska studier, utveckling av egna ANN-modeller och användning av kommersiella ANN-program. Projektets inledning bestod av en omfattande litteraturstudie inom området, vilken har lett till en bred och djup förståelse för den matematiska bakgrunden [2]. Detta är en process som kommer att pågå under hela projektet. Det fortsatta arbetet kommer att inriktas på optimering av de redan utvecklade modellerna, utvärdering av kommersiella program samt tillämpning på verkliga kraftverkskomponenter.

På grund av områdets omfattning har arbetet på LTH begränsats till en viss typ av ANN, nämligen "feedforward neural networks", vilka anses vara lämpligast för kraftverksapplikationer. Olika algoritmer och inlärningsmetoder testas och de olika parametrarnas inverkan på konvergenstid och lösningens noggrannhet undersöks.



Figur 5: Exempel på dataflöde i ett "feedforward neural network", med 2 neuroner i indatalageret, 5 neuroner i det dolda lagret och 3 neuroner i utdatalageret.

5.4.2 State-of-the-art

Projektgruppen jobbar för närvarande med utveckling av egna ANN-koder i MATLAB för modellering av ALSTOMs GTX100, som ska jämföras med CMS-verktyg utvecklat av ALSTOM. Parallellt med detta pågår en utvärdering och kartläggning av kommersiella program. Användning av Matlab Neural Toolbox för utveckling av ANN-modell för ALSTOM gasturbiner har studerats i ett examensarbete [3]. I en förstudie har data genererade i ALSTOMs värmebalansprogram GT20 använts för utveckling av ANN-modell för GTX100 i Matlab Neural Toolbox [4].

5.4.3 Arbetets nyhetsvärde

Projektets nyhetsvärde ligger i integreringen av ANN-tekniken med energiapplikationer. ANN-tekniken har haft en stark utveckling de senaste 10 åren och nu börjar den uppnå ett mognadsstadium och bli allmänt accepterad. Den har dessutom tillämpats på många olika områden, dock inte i större utsträckning i energisammanhang. Några exempel på ANN-verktygets tillämpning i energisammanhang är presenterade i referenserna 7, 8 och 9.

6 VALIDERING AV MODELL FÖR BERÄKNING AV KYLDA GASTURBINER

6.1 BAKGRUND

Många termodynamiska studier görs ständigt runtom i världen för att beskriva och utvärdera olika gasturbinbaserade kraftverkskoncept. En stor del av dessa studerade cykler använder alternativa arbetsmedier (t.ex. fuktig luft eller koldioxid) och/eller alternativa kylmedier för skovelkylning (t.ex. ånga, fuktig luft eller koldioxid). Det är därför i detta sammanhang viktigt att kunna ta hänsyn till den inverkan som kylningen av gasturbinens skovlar har på processverkningsgraden, och i förlängningen, även på en tänkt anläggnings ekonomi och livslängd.

Vid institutionen för Värme- och Kraftteknik pågår sedan några år tillbaka arbete med att ta fram en enkel, hanterbar och tillförlitlig modell för termodynamiska beräkningar av kyllda gasturbiner. Modellen är validerad mot data tillgängliga i den öppna litteraturen, något som bara kan ge grova, men hittills med studerade data väl överensstämmande, resultat rörande modellens förmåga att beskriva expansionen i en kyld gasturbin.

6.2 KYLMODELL MATCHAD MOT DATA FÖR GTX100

Att validera modellen mot data från GTX100 i Helsingborg har inneburit en unik möjlighet att utvärdera modellens egenskaper och utöka kunskapen om ingående modellparametrar. Detta kommer i sin tur att leda till ökad tillförlitlighet i framtida studier av gasturbincykler, vilket torde vara en ovedersäglig fördel jämfört med de allra flesta andra akademiska studier av samma art, där brister i kunskaper rörande prestanda hos verkliga gasturbiner ofta förekommer.

6.3 PROJEKTSTATUS

Mätdata från ett fullastfall för GTX100 i Helsingborg har erhållits från ALSTOM 2000-12-07. Dels har temperaturmätningar från ett stort antal punkter på bl.a. skovlar och diskar i turbinen erhållits, dels har massflöden och temperaturer på kylflöden och varma gaser erhållits. Detta har inneburit att funktionen av kylmodellen har kunnat demonstreras, dvs. det var möjligt att demonstrera att syftet med en kylmodell är just att uppskatta kylmediets massflöde, medan expansionsmodellen uppskattar hur kylningen påverkar effektuttaget från turbinen.

Då fullständiga mass- och värmebalanser, samt ett stort antal yttemperaturer var tillgängliga för första ledskenan för GTX100, var det möjligt att utvärdera kylmodellens beteende mer i detalj.

Det är möjligt att uppfylla samma mass- och energibalans med olika kombinationer av indata i modellen, men tack vare kända data var det möjligt att fastställa vad som är lämpliga indata, något som också torde betyda säkrare användning av modellen i framtiden.

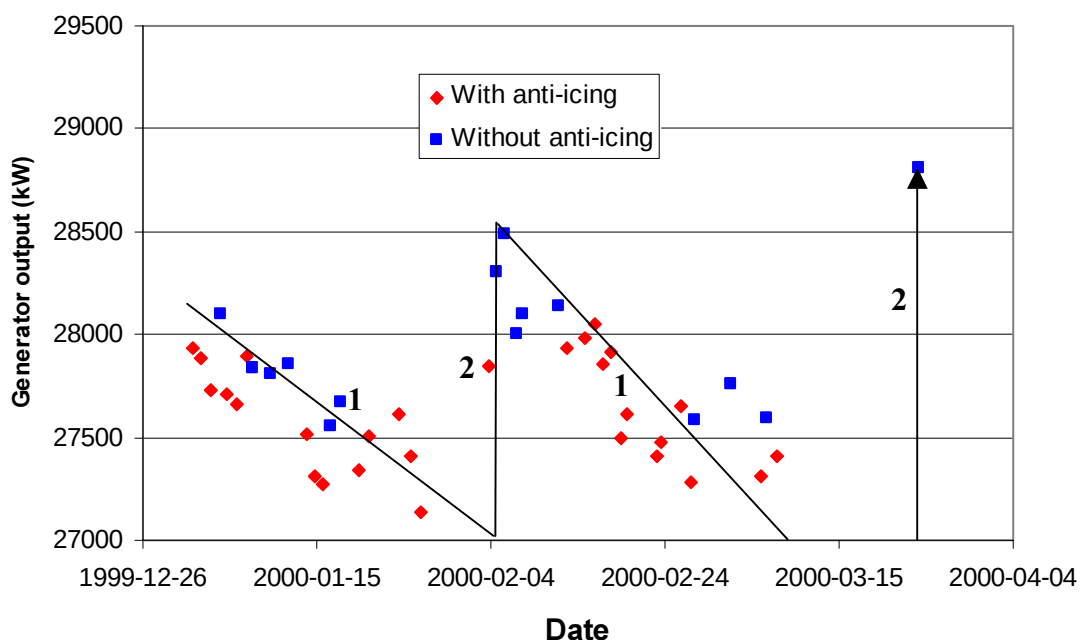
Även en fullständig modellering av GTX100 gjordes i värmebalansprogrammet IPSEpro. P.g.a. de stora mängderna indata var denna modellering mycket enkel att göra, och gav värdefulla kunskaper för den referensgasturbin (RefGT) som användes för de termodynamiska cykelstudierna i avhandlingen. Indata för RefGT är inte identiska med indata för modellen av GTX100, men inte desto mindre har erfarenheterna från modelleringen av GTX100 ökat tillförlitligheten på resultaten från de termodynamiska studierna.

Resultat från dessa studier presenteras i Jordals doktorsavhandling [5], där modellbeskrivning, validering och tillämpningar ingår.

7 KOMPRESSORTVÄTT

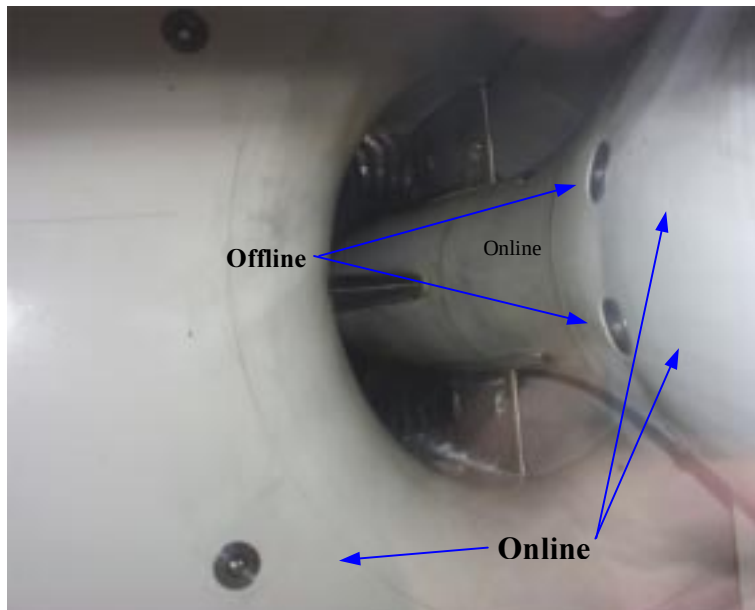
7.1 BAKGRUND

En gasturbin under drift utsätts för luftburna föroreningar, t.ex. salter, organiska föreningar och sot. Dessa avlagras på kompressorskovlarna och främst på de främre stegen. Detta orsakar en försämring av aerodynamiken i kompressorn, med försämrade prestanda och ökad risk för pumpning som följd. Försämrningen ökar även risken för skovelkorrosion och igensättning av gasturbiners avancerade kylsystem. Genom att regelbundet tvätta kompressorn kan gasturbinens prestanda nästan helt återställas, se figur 6.



Figur 6: Generatoreffekt för en gasturbin som funktion av tiden vid degradering (1) och tvättning (2).

En kompressortvätt brukar vanligtvis utföras med hjälp av spraymunstycken i kompressinloppet. Tvättningen sker antingen Online eller Offline. En gasturbin kan vara utrustad för båda procedurerna, se figur 7. En Onlinetvätt innebär att maskinen är i drift och att endast vatten används för att rengöra kompressorn. Kompressortvätt under pågående drift, d.v.s. on-line tvätt, ökar risken för transport av föroreningar längre in i maskinen där Kyllda komponenter som brännkammare och expandern finns. On-line tvätt kan därför leda till igensättning av känsliga kylkanaler med komponenthaverier som följd. En fördel med on-line tvätt är att maskinen inte behöver stoppas och därmed går inte dyrbar produktionstid förlorad.



Figur 7: Placering av tvättmunstycken på insidan av kompressorinloppet till ALSTOMs Power's GT 10.

En offlinetvätt innebär att maskinen inte är i drift och att rotern "baxas" runt vid låga varvtal med hjälp av startmotorn. I detta fall används både tvättmedel och vatten för att rengöra kompressorn, se figur 8. Dränaget från tvättningen avtappas på flera ställen runt maskinen för att undvika att täppa igen någon kylkanal. För att avgöra om kompressorn har blivit ren vid en Offlinetvätt mäter man konduktiviteten på dränaget och jämför detta med rent vatten samt en visuell kontroll av kompressorn genomförs med hjälp av ett Boroskop.



Figur 8: Offlinetvätt.

Den litteratur som behandlar kompressortvätt är till stor del baserad på kunskap och erfarenheter från praktiska försök. I takt med att datorernas prestanda har ökat dramatiskt under 1990-talet, har det blivit möjligt att med CFD (Computational Fluid Dynamics) studera 3-dimensionella strömningsfält i både en och två faser (t.ex. luft och vatten) i industriella tillämpningar.

Detta görs lämpligast i kommersiella CFD-beräkningsprogram (t.ex. Star-Cd). Denna teknik har aldrig tidigare prövats i kompressortvättsammanhang.

7.2 ARBETSMETODIK

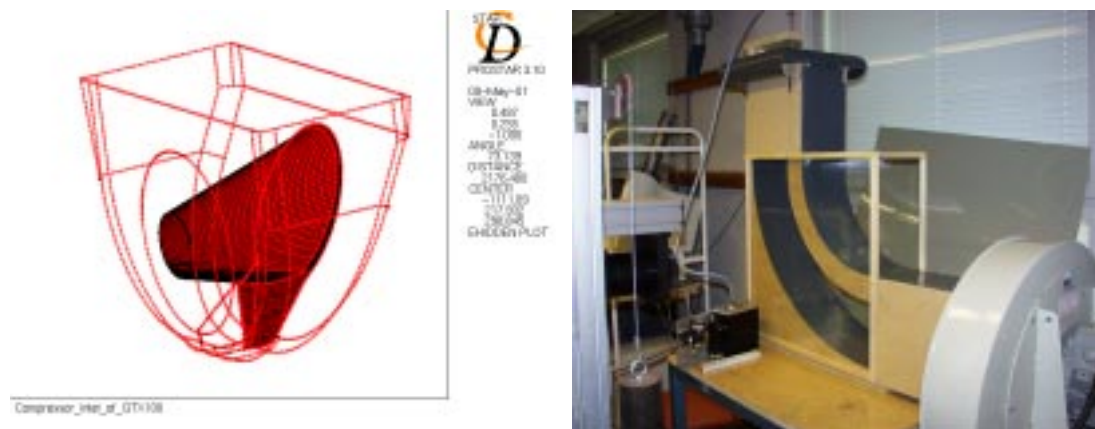
CFD-beräkningar kommer att utföras på kompressorinloppet till GTX100 under OFF-Line tvätt. Geometrin är tillhandahållen av ALSTOM Power. Beräkningarna syftar till att undersöka om tvättproceduren kan förbättras, genom att detaljstudera tvättmunstyckenas placering och funktion. En spin-off effekt är att undersöka om CFD är ett lämpligt verktyg att studera problem av den här typen.

Beräkningarna kommer att verifieras mot avancerade experiment (lasermätningstekniker av typen LDA och PDA) på en nedskalad plexiglasmodell från ALSTOM Power och i en generisk "spray-tunnel".

7.3 STATUS

En fältstudie i kompressortvätt har genomförts på en GT10 i Mariager, med en rapport som resultat [6]. Under 2000 har geometrin för kompressorinloppet implementerats i CFD-programmet Star-Cd, se vänstra delen av figur 9. Plexiglasmodellen är på plats på LTH och experimentuppställningen är under uppbyggnad.

Under 2001 ska omfattande beräkningar på kompressorinloppet genomföras samt dessa beräkningar ska valideras mot experiment med plexiglasmodellen. Ett examensarbete inom projektet pågår för närvarande. Detta arbete syftar till att generera experimentella data i den generiska riggen, för att validera Star-Cd's tvåfas-modeller. Experiment uppställning är visad i högra delen av figur 9.



Figur 9: Implementerad geometri i Star-Cd (Vänster) och experimentuppställning i pågående examensarbete (höger).

7.4 ARBETSGRUPP

Arbetsgruppen består av Ulf Engdär (doktorand), Fredrik Hermann (doktorand) och Jens Klingmann (handledare).

8 REFERENSLISTA

1. Lindeberg J., Rietz J.; Utbyggnad av 30 bars naturgasledning i Helsingborg 1996-1998. SGC Rapport A28, Malmö, mars 2001
2. Olausson P., Arriagada J.; "General Overview of the Artificial Neural Network Engineering for Energy System Applications", ISRN/LUTMDN/TMVK-3193-SE, Dept. of Heat and Power Engineering, Lund, 2000.
3. Cabrejas P.; "Artificial Neural Networks: A Novel Tool for Analyze and Control of Modern Energy Systems", ISRN/LUTMDN/TMVK—5345—SE, Lund, 2001.
4. Olausson P., Arriagada J.; "Case study for evaluation of an ANN-model generated in Matlab Neural Toolbox, applied to GTX100", Lund, 2001.
5. Jordal K., 2001, "Modeling and Performance of Gas Turbine Cycles with Various Means of Blade Cooling", Doctoral Thesis, Department of Heat and Power Engineering, Lund University, ISRN LUTMDN/TMVK—1027—SE.
6. Engdar U., Genrup M., Hermann F.; "Compressor Washing Off-Line", Dept. of Heat and Power Engineering, Lund, 2000.
7. Assadi M., Mesbahi E., Torisson T., Lindquist T., Arriagada J., Olausson P., "A Novel Correction Technique for Simple Gas Turbine Parameters", accepted at ASME TURBOEXPO 2001, New Orleans, USA.
8. Mesbahi E., Assadi M., Torisson T., Lindquist T., "A Unique Correction Technique for Evaporative Gas Turbine (EvGT) Parameters", accepted at ASME TURBOEXPO 2001, New Orleans, USA.
9. Mesbahi E., Assadi M., Torisson T.; "An online and Remote Sensor Validation and Condition Monitoring System for Power Plants ", accepted at CI-MAC 2001, Germany.



SE-205 09 MALMÖ • TEL 040-24 43 10 • FAX 040-24 43 14
Hemsida www.sgc.se • epost info@sgc.se
