

Modern ångturbin- teknik ökar verkningsgraden

Framsteg inom materialtekniken, snabb utveckling av beräkningsprogram och skovelprofilformer samt nya tillverkningsmetoder har under senare år medfört en kontinuerlig ökning av ångturbinernas verkningsgrad. ABBs ångkraftverk uppnår i dag verkningsgrader på över 45%. ABB tillverkar ångturbiner för effekter upp till 1000 MW, med färsångdata på 250 till 300 bar och 580 °C i kombination med en mellanöverhettningstemperatur på 600 °C. ABBs turbiner kan utan problem anpassas till de enskilda kundernas behov. Beprövade konstruktionsmetoder har behållits, ett förhållande som garanterar hög tillförlitlighet och tillgänglighet.

Verkningsgraden hos ett ångkraftverk kan ökas genom att ändra parametrarna för färs- och mellanöverhettarången samt övergång till effektivare geometrier hos turbinskovlarna.

För att kunna öka ångans tryck och temperatur är det nödvändigt att välja mera motståndskraftiga material för komponenter som direkt utsätts för ången, varvid tidigare optimerade konstruktionsprinciper kan behållas. I samarbete mellan olika tillverkare har nya stålsorter tagits fram som uppvisar avsevärt förbättrade krypegenskaper vid temperaturer upp till 600°C och som därför lämpar sig utmärkt för dessa hårt belastade komponenter.

Samtidigt har verkningsgraden kunnat ökas på avgörande sätt genom att optimera skovlarnas profil och geometri. I sammanhanget har en metod valts som går ut på teoretisk optimering genom numerisk analys av strömningsdynamiska lösningar, i kombination med experiment på modeller i full skala.

Konstruktiva egenskaper för ABBs ångturbiner

Avancerade konstruktionsprinciper och vissa konstruktionsmässiga förändringar

gör ABBs ångturbiner väl lämpade för drift vid krävande ångtillstånd.

Ånginloppet är utfört som en spiral i samtliga delturbiner. Detta ger upphov till en strömningsbild med låga förluster i inströmningspartiet och en optimal massflödesfördelning till första stegets radial-axiala beskovling. Inströmningspartiet kan hållas kort, vilket bidrar till att minska aggregatets totala längd. Samtidigt minskar värmepåverkningarna inom inströmningspartiet.

Genom *utförandet med dubbelskal* kan tryck- och temperaturfallet fördelas över två turbinhus, där det yttre har optimal väggjocklek och flänskonstruktion. Båda husen är utförda som enkla cylindrar.

Det axiellt delade innerhuset i högtrycksturbinen (HD) hålls samman med hjälp av krympringar. Denna typ av förband gör det möjligt att välja ett rota-

tionssymmetriskt innerhus, vars inströmningsplan är axiellt fixerat i höjd med ytterhusets delningsplan.

Turbinrotorn har endast en lagring mellan varje delturbin och mellan den sista lågtrycksturbinen och generatoren. Det låga antalet lager minskar aggregatets totala längd och innebär entydigt definierade kritiska varvtal och lagerbelastningar.

Turbinrotorn är tillverkad av smidda och sammansvetsade delar, en tillverkningsmetod som utnyttjats i mer än 60 år. I dag finns över 4000 turbiner av denna axeltyp i drift. Fördelen ligger i att turbinen kan tillverkas av relativt små smidesdelar som är enkla att tillverka och kontrollera. Värmebelastningen blir låg och spänningarna blir jämt fördelade. I drift medför detta en hög termisk flexibilitet under turbinens start- och avstängningsförlopp samt vid laständringar.

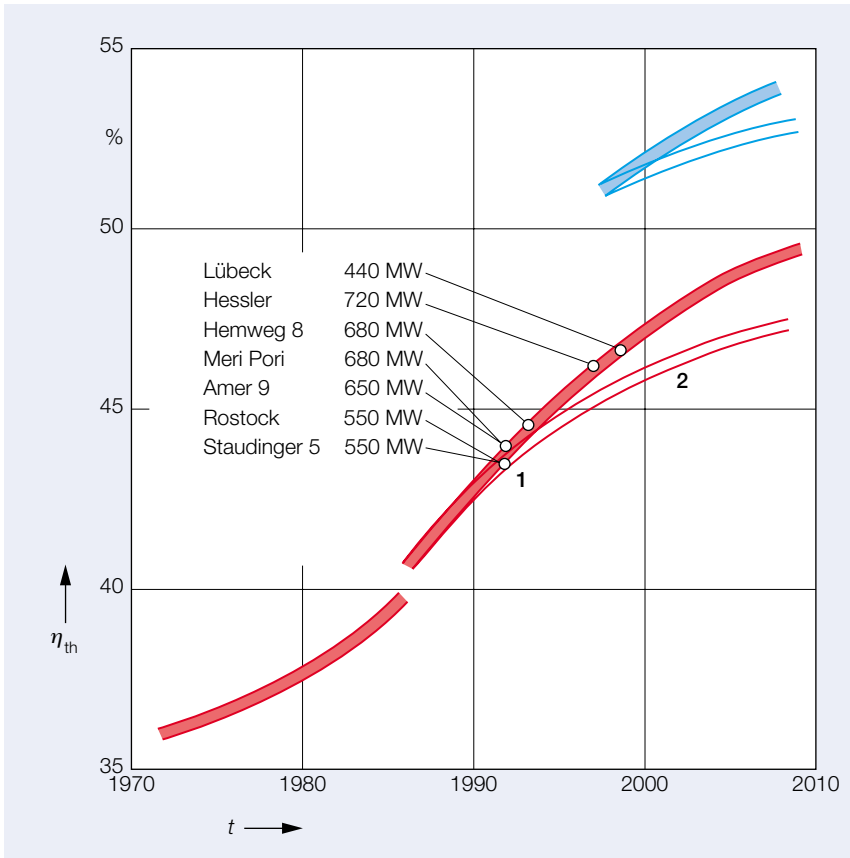
Varje *löpskov*, liksom varje *ledskovel* i hög- och mellantrycksturbinerna, är tillverkade i ett stycke, dvs skovelfot och skoveltak är frästa ur samma stycke. Resultatet är en mycket robust konstruktion som lämpar sig väl för tvåskiftsdrift, som utmärks av hög tillförlitlighet och som det går enkelt och snabbt att montera i och ur. Skovlarna vrids till en viss förspänning i samband med monteringen, så att vibrationerna under drift minimeras.

Möjligheter till ökad verkningsgrad

Verkningsgraden kan ökas med ca 0,5% per 10°C ökning av färsång- och mellanöverhettartemperaturen, respektive med 0,2% per 10 bar ökning av ångtrycket. Andra åtgärder, som tex användning av högpstandaskovlar, tillåter ytterligare ökning av verkningsgraden.

I visar vilken ökning av verkningsgraden som uppnåtts i några moderna koldade europeiska kraftverk under senare år. Verkningsgraden har i genomsnitt ökat med imponerande 0,5% per år [1, 2].

Dr. Brendon Scarlin
ABB Kraftwerke AG



Ökning av verkningsgraden i koleldade ångkraftverk med högtemperatur-ångprocess, med avseende på kolets undre värmevärde 1

η_{th} Termisk verkningsgrad, inklusive anläggningarna för avsvavling och kväveoxidfrånskiljning

Röd Högtemperaturångprocess

Blå Kombianläggning med naturgaseldad gasturbin och högtemperatur-ångprocess

- 1 Ny anläggningsgeneration som börjat driftsättas under senare tid, med följande ångdata: 250 bar/540 °C, med mellanöverhettning till 560 °C
- 2 Material som utnyttjas i högtemperaturångprocessen: stål 10 TS, gjutstål 10 T
Ångdata: 270 bar/580 °C, med mellanöverhettning till 600 °C

2 visar värmeschema och värmebalans för ett koleldat kraftverk med högtemperaturångturbin och en nettoverkningsgrad för hela anläggningen på 46%.

Matarvattnet förvärms i 9 steg till en sluttemperatur på 300 °C och utnyttjar därvid optimalt de möjligheter som erbjuds av den överkritiska ångprocessen. Detta uppnås genom en avtappningspunkt i högtrycksbeskovlingen, en princip som redan utnyttjats med framgång i ett flertal anläggningar med 8 förvärmsteg.

Möjligheterna att höja ångparametrarna har i första hand skapats genom att nyutvecklade material valts för de kom-

ponenter som direkt utsätts för färsk- och mellanöverhettarånga. Turbin- och pannkonstruktionerna är däremot oförändrade.

Utveckling av material

för högt

belastade turbindelar

För att kunna öka effektiviteten ytterligare i ångkraftanläggningar var det nödvändigt att ta fram ferritiska smides- och gjutstål med högre kryphållfasthet, avsedda för turbinernas huvudkomponenter.

Bland de komponenter som främst

påverkas av höjda ångparametrar kan nämnas:

- Smidda hög- och mellantryckrotorer
- Gjutna ventil- och turbinhus
- Färskångledningar

De nya ferritiska stålen ska alltså erbjuda minst lika goda bearbetningsegenskaper som konventionella stål (tex för gjutning, smidning, bockning och svetsning), och samtidigt ha bättre mekaniska egenskaper, tex samma kryphållfasthet vid 600 °C som ett konventionellt stål vid 565 °C.

Även om tillståndet i korngrensarna i kryphållfasta stål är väl kända kan de verkliga materialegenskaperna endast fastställas genom långtidsprov. Den svåra uppgiften för materialingenjörerna bestod följaktligen i att ta fram nya ferritiska stål med hög kryphållfasthet för kritiska komponenter, vilka skulle garantera säker drift med ånga av högre temperatur och tryck än i konventionella anläggningar. Utvecklingsarbetet har genomförts inom ramen för ett materialutvecklingsprogram som involverat flera turbintillverkare, smidesverkstäder, gjuterier, kraftbolag och forskningsinstitut [3–5].

Efter granskning av de på marknaden förekommande stålsorterna med en kromhalt mellan 9 och 12 %, såväl sådana som används inom modern europeisk stålindustri som sådana som är under utveckling inom ramen för andra forskningsprojekt, valdes ett antal legeringar ut som lovande nya material. Provmätlor gjordes av de valda stålsorterna, varefter provkropparna utsattes för olika värmebehandlingsprogram i syfte att optimera deras egenskaper.

De legeringar som gav bäst resultat i denna fas av utvecklingsarbetet valdes för tillverkning av fullskaliga komponenter, i syfte att samla erfarenhet från komponenttillverkning. Hittills har inom utvecklingsprogrammet tre smidda rotor- och ett ventilhus tillverkats. Dessa har utsatts för omfattande förstörande provning, dels för att fastställa om det förekommer segringar och förändringar av

egenskaperna inuti delarna och i korngränserna, dels för att utvärdera långtidsegenskaperna. I det senare fallet är belastningsprov med varaktighet upp till 100 000 timmar av största betydelse, eftersom det är enda sättet att undvika den inneboende osäkerheten vid extrapolering av resultaten från korttidsprovning. Detta är av särskilt stor vikt vid komplext legerade stål.

Målet för forskningsprogrammet var att utveckla stål för gjutna och smidda

komponenter, med följande egenskaper:

- Kryphållfasthet uppgående till 100 000 timmar vid 100 MPa och 600°C
- Genomhårdning av smidda komponenter med diameter 1,2 m och gjutna komponenter med väggjockleken 500 mm
- God gjut- och svetsbarhet

3 visar kryphållfastheten för förbättrade smidesstål med 10% krom, i jämförelse med den för konventionella stål med 12% krom, enligt SEW 555 (tysk interna-

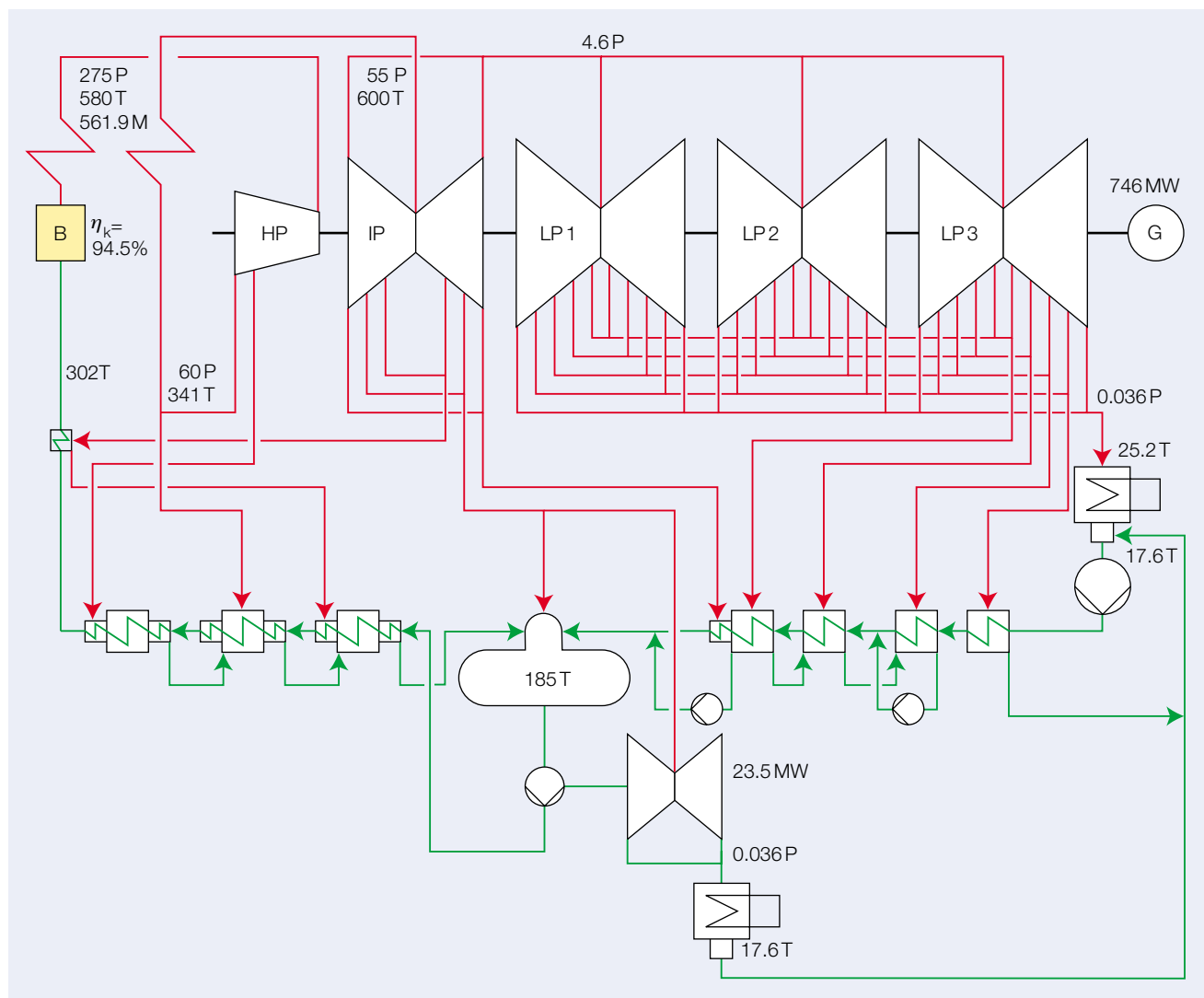
tionell norm). I dag föreliggande resultat från långtidstest med temperaturer mellan 550 och 650°C, med varaktighet upp till över 60 000 timmar, visar på en betydande förbättring av kryphållfastheten vid kombinationen med 600°C och försökstiden 100 000 timmar. Det är dessa med wolfram och molybden legerade stål som ABB i dag utnyttjar för alla sina överkritiska ångturbiner.

I den första fasen av utvecklingsprogrammet för gjutna komponenter har två

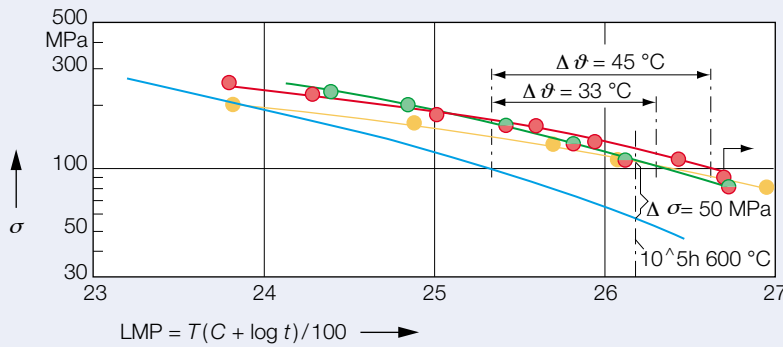
Värmschema och värmebalans för ett koleldat kraftverk med högtemperatur-ångturbin

2

Bränsle	Stenkol med undre värmevärde 29 300 kJ/kg	B	Panna	P	Tryck i bar
Totaleffekt, netto	712 MW	HP	Högtrycksturbin	T	Temperatur i °C
Termisk verkningsgrad, netto η_{th}	46,0%	IP	Mellentrycksturbin	M	Massflöde i kg/s
		LP	Lågtrycksturbin	η_k	Pannverkningsgrad
		G	Generator		



St	C	Cr	Mo	W	V	Nb	N	B	Rp. 0.2 RT
X 21 Cr Mo V 121	0.23	12	1.0	—	0.30	—	—	—	min. 600 MPa
X 12 Cr Mo V Nb N 101	0.12	10	1.5	—	0.20	0.06	0.05	—	~ 600 MPa
X 12 Cr Mo W V Nb N1011	0.12	10	1.0	1.0	0.20	0.06	0.05	—	~ 700 MPa
X 18 Cr Mo V Nb B 91	0.18	9.3	1.5	—	0.27	0.06	—	0.01	~ 650 MPa



Kryphållfasthet för förbättrade smidesstål med 10% krom, i jämförelse med konventionellt smidesstål med 12% CrMoV

St	Stål	T	Temperatur i °C
Rp 0,2 RT	0,2% B sträckgräns vid rumstemperatur	C	Konstant
σ	Krypbrottgräns	t	Tid i timmar
LMP	Larson-Miller-parameter	Δθ	Temperaturskillnad

3

varianter undersökts, var och en med 1% molybden och den ena dessutom med 1% wolfram. Bäst kryphållfasthet uppvisade stålet med 1% wolfram. Den längsta provtiden hittills är 50 000 timmar. Utgående från i dag föreliggande resultat kan en kryphållfasthet på 100 000 timmar påräknas vid ca 100 MPa och 600 °C.

ABB har internt normerat dessa stål-sorter och föreskriver dem för överkritiska ångturbiner. I de turbiner som beställs i dag är såväl ventilhusen som innerhusen till hög- och mellantrycksturbinerna tillverkade av den nya legeringen.

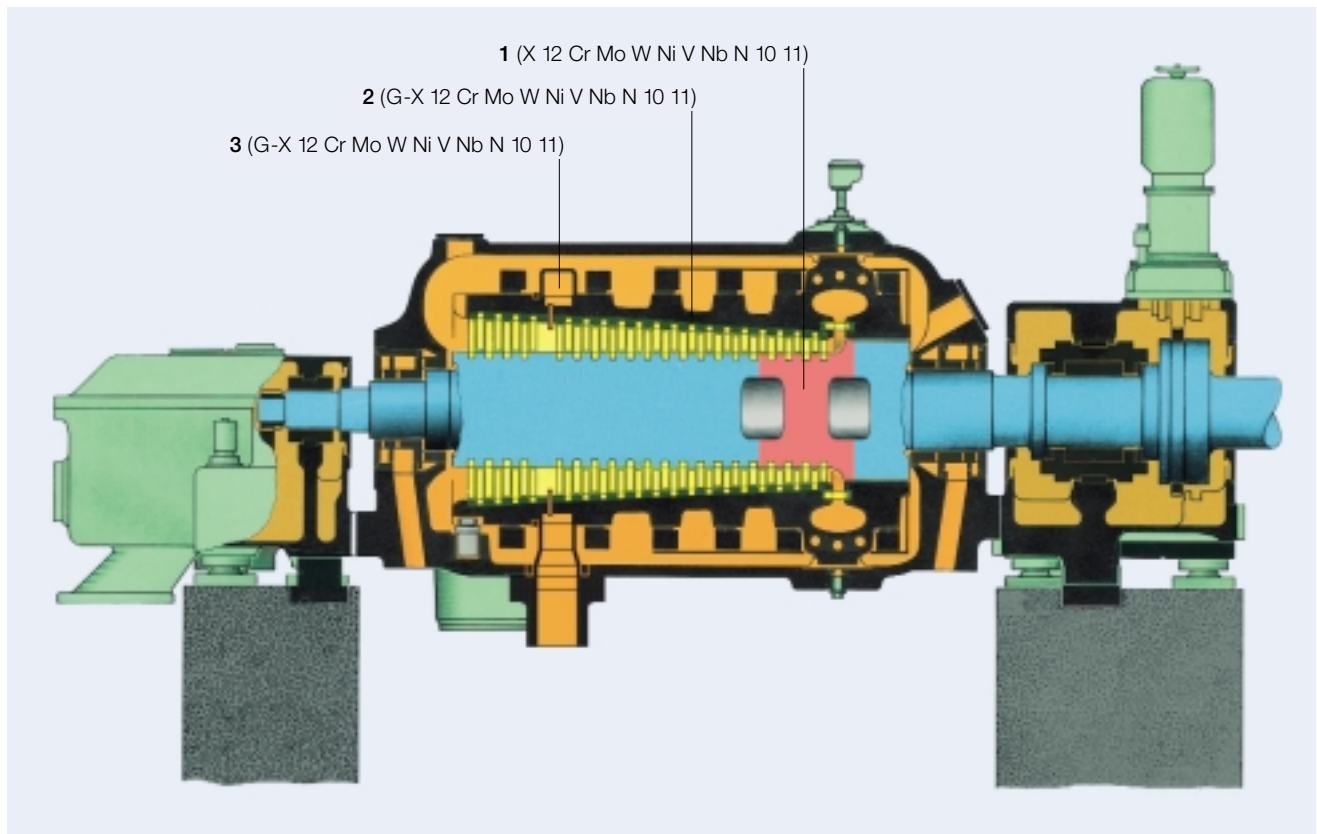
Det nya stål T91/P91 (x10 CrMoV Nb 91) som föreskrivs för rör och ledningar har utvecklats vid Oak Ridge National Laboratory i USA. Det utnyttjas som standard i USA (ASME Code). Långtidsförsök har genomförts i syfte att fastställa stålets krypegenskaper. Inom ramen för olika europeiska testprogram har försökstider

Längssnitt genom en högtrycksturbin, med angivelse av utnyttjade material. Turbinen saknar påläggssvetsning av axeltapparna och arbetar utan kylånga.

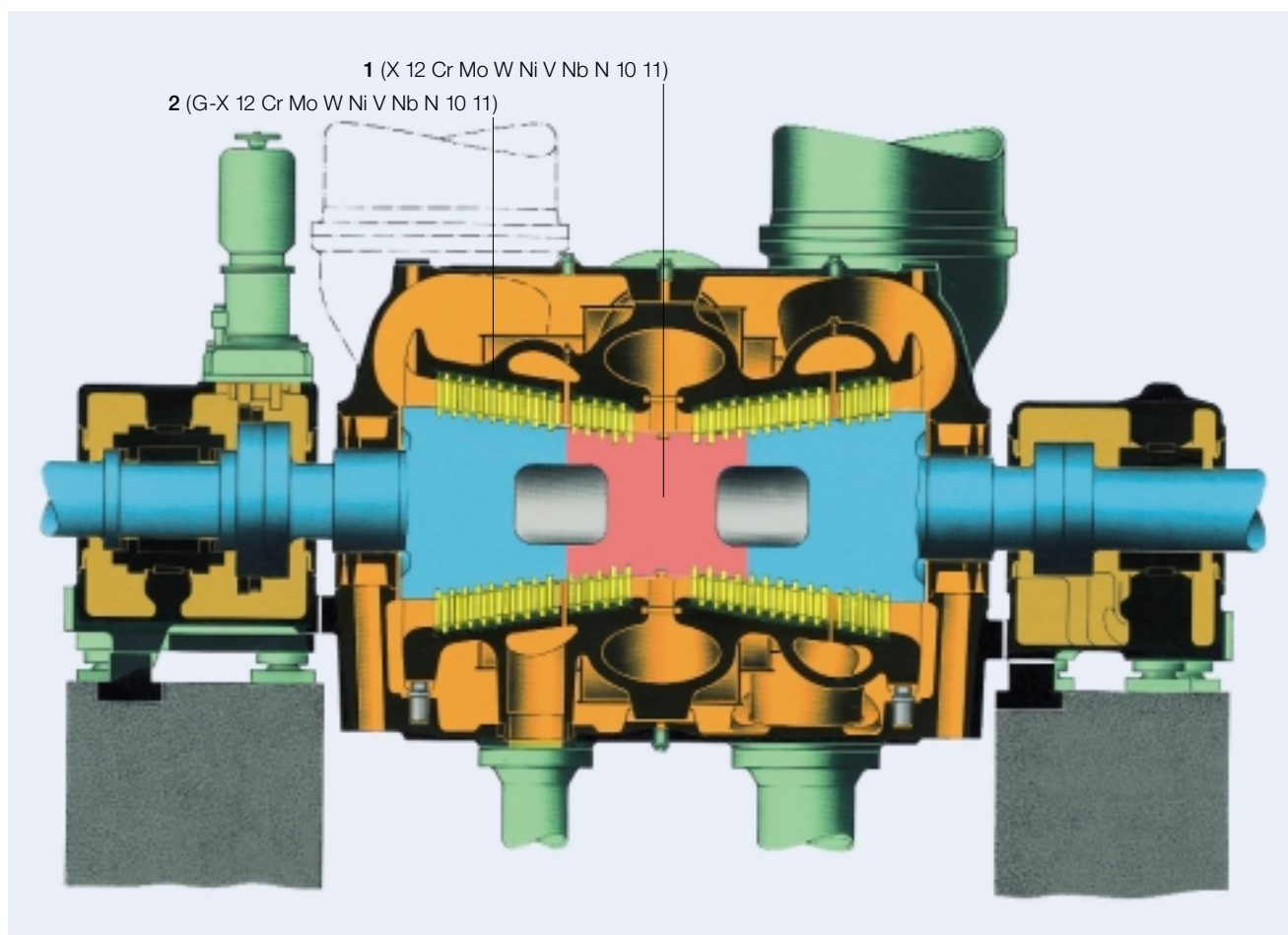
1 Inlopp till högtrycksturbin

2 Innerhus i högtrycksturbin

3 Avtappning från högtrycksturbin



4



Längssnitt genom en mellantrycksturbin, med angivelse av utnyttjade material. Turbinen arbetar utan kylånga.

5

1 Inlopp till mellantrycksturbin

2 Innerhus i mellantrycksturbin

över 70 000 timmar uppnått. Utgående från dessa resultat har en kryphållfasthet vid 100 000 timmar definierats som ligger klart över den för x20 CrMoV 12 1. Jämfört med den sistnämnda stålsorten tillåts en nästan 30 °C högre temperatur. Omfattande försök har visat att rör tillverkade av T91/T92 utan problem kan såväl kall- och varmbockas som svetsas.

Beprövade konstruktionsprinciper

4 visar alla viktiga konstruktiva egenskaper för högtemperaturprocessens *högtrycksturbin*. Konstruktionsprinciperna för denna turbin typ är väl beprövade och tillämpas utan några som helst modifiering-

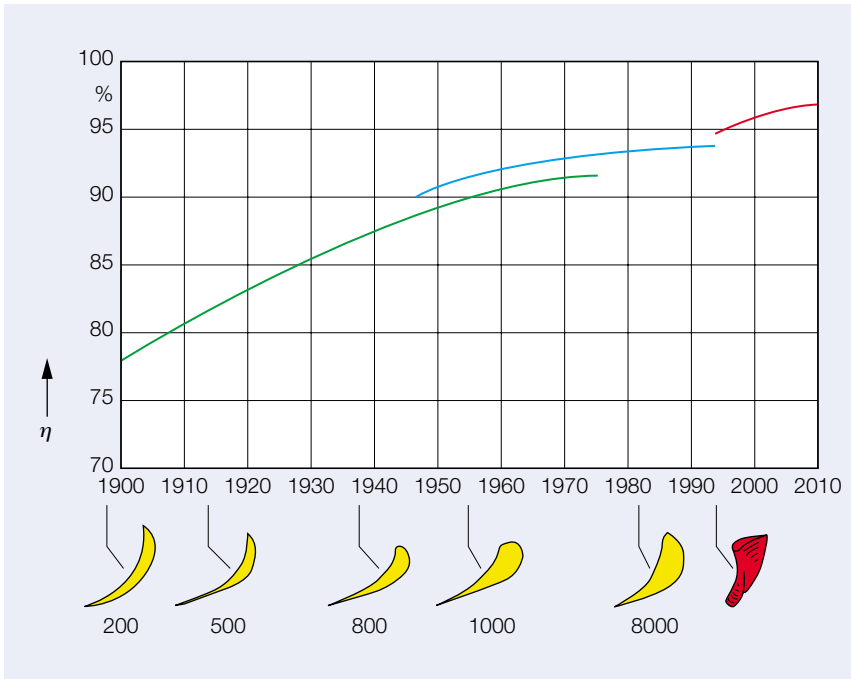
ar. Materialet i innerhus, ventilhus och mittdelen av rotorn består av de nya stålen med 10% krom.

Eftersom ångan expanderar och kyls av närmare rotorns ändar används där en låglegerad stålsort med 1% CrMoV. Eftersom det stålet uppvisar goda lagerytenskaper behövs ingen påläggssvetsning på de böj- och torsionsbelastade axeltapparna. De av hög- och låglegerat stål tillverkade komponenterna svetsas samman med konventionella svetsmetoder och tillsatsämnen. Drifttemperaturerna och belastningen på svetsfogarna under drift överskrider inte de i dag vanliga värdena.

Bland ytterligare fördelar med svetsade rotor kan nämnas:

- Möjlighet till enkel och noggrann icke förstörande provning
- Brett urval av leverantörer för smidda komponenter
- Likformiga mekaniska egenskaper och hög seghet

En fördel vid drift med dellast är det rotationssymmetriska innerhuset med krympningsförband. Eftersom väggjockleken är likformig uppstår inga otillåtna termiska belastningar med vidhängande plastisk deformation. Eftersom krympningarna är placerade vid utloppet från högtrycksdelen utsätts de för lägre temperaturer än innerhuset i övrigt, varför erforderligt sammanpressningstryck bibehålls under alla driftförhållanden. Därför skiljer sig inte temperaturdifferenserna i denna tur-

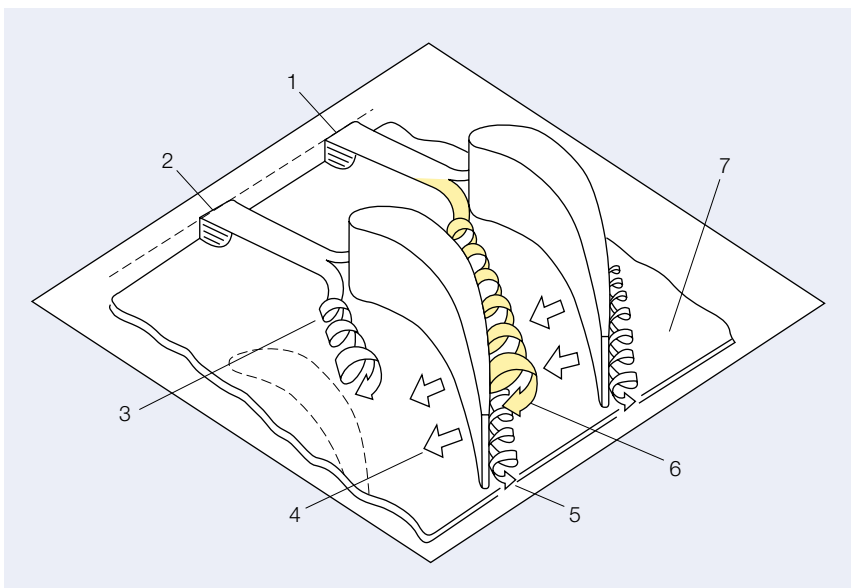


Utveckling av skovelverkningsgrad η

- Grön Utan täckband
- Blå Med täckband
- Röd Högprestandaskovlar

Schematisk modell av det sekundära ångflödet nära ändväggen av en turbinskoovelrad

- 1 Strömningsyta
- 2 Inloppsgränsskikt
- 3 Hästskovirvel på trycksidan (blir till kanalvirvel)
- 4 Sekundärflöde vid ändvägg
- 5 Hästskovirvel på sugsidan
- 6 Kanalvirvel
- 7 Ändvägg



bintyp vid start och lastförändringar från den som förekommer i turbiner med lägre drifttemperaturer.

Diffusorerna, som leder ångan från inloppsventilerna till högtrycksturbinen, är monterade med kolringstätningar i innerhuset så att värmeexpansion tillåts. De kyls av utloppsångan från högtrycksturbinerna, varför inga delar av ytterhuset utsätts för färskångtemperatur och den för processen erforderliga avtappningen från högtrycksturbinen kan åstadkommas på ett enkelt sätt. Denna avtappningsprincip tillämpas redan i många anläggningar.

Mellantrycksturbinen arbetar med en inloppstemperatur på 600 °C. Trots den höga mellanöverhettartemperaturen kan den tidigare konstruktionsprincipen tillämpas oförändrad.

6

Materialbytet illustreras av 5. Bara innerhuset, ventillhuset och rotorns mellan-del tillverkas av det nya stålet med 10 % krom. Skruvarna som håller samman mellantryckshusets båda halvorna blir inte varmare än utloppsångan från mellantrycksturbinen. Eftersom den temperaturen inte överskrider 500 °C kan skruvarna tillverkas av konventionellt stål.

7

Lågtrycksturbinen arbetar med oförändrade ångdata.

Högprestandaskovlar – konstruktionsprincip och målsättning

Led- och löpskovlarna är stadda i kontinuerlig utveckling i syfte att öka turbinernas verkningsgrad. Bland viktigare randvillkor för utvecklingsarbetet kan nämnas att geometrin för skovelfot och skoveltak ska vara oförändrad gentemot dagens 8000-serie, liksom att det axiella avståndet mellan skovelstegen ska bibehållas. Detta gör det enklare att i ett senare skede byta till högprestandaskovlar i en ABB-turbin, om kunden skulle välja den vägen att öka turbinens verkningsgrad.

Det går att höja verkningsgraden för en turbin genom att använda skovlar med optimerad profil, vilka minskar värmeförbrukningen genom att minimera strömningsförlusterna. Nya bearbetnings- och tillverkningsmetoder för skovlarna bidrar till att undvika kostnadsökningar, samtidigt som metoden att fräsa skovlarna ur stångmaterial, med integrerad fot och tak, garanterar hög kvalitet. Tillverkningsmetoden är baserad på strömningsdynamiska beräkningar, systematiska experiment i en försöksturbin med avseende på värmeförbrukning, liksom fullskaliga försök i ett kraftverk.

Den tidigare skovelformen (serie 8000) är resultatet av många års utvecklingsarbete **6**. Sedan seklets början har nya skovelprofiler regelbundet utvecklats och införts [6]. När serie 8000 infördes 1980 uppvisade skovelprofilen egenskaper som hade till gemensamt syfte att förenkla konstruktionen, göra tillverkningen billigare, öka den mekaniska styvheten och ge hög verkningsgrad i varje turbinstege. Dessa egenskaper är närmare bestämt:

- Okänslighet mot förändringar i anströmningsvinkeln
- Optimerad hastighetsfördelning
- Tunna avloppskanter

Utveckling av tredimensionella skovelprofiler

Utvecklingsarbetet mot ett generellt beskovlingskoncept har understötts av följande viktiga faktorer:

- Nya och kraftfulla beräkningsprogram för numerisk analys av viskös och kompressibel tredimensionell strömning
- Den därtill parallella utvecklingen av CIM-teknik (Computer Integrated Manufacturing)

Genom att använda moderna beräkningsprogram blev det möjligt att bättre förstå de fysikaliska förloppen och påskynda den experimentbaserade utvecklingsprocessen. Dessutom vidareutveck-



Högprestandaskovel med vridningar och böjningar, vilka gör det möjligt att beakta den olikformiga fördelningen av strömmar och tryck längs skoveln **8**

lades de strömningsdynamiska beräkningarna [7, 8] för att bättre kunna förutsäga ångans strömningsegenskaper såväl i kanalmitt som längs väggarna. Den klassiska sekundärströmningsmodellen [9] illustreras av **7**. Inverkan av virvlar medför betydande reduktion av mängden kinetisk energi och är därmed till särskilt stor skada.

Verkningsgradförluster kan approximativt hänföras till sekundärströmning längs ändväggar, profilform och spaltström. Medan de profilbetingade förlusterna är lika stora i hög-, mellan- och lågtrycksturbinerna, så är förlusterna längs ändväggarna och över spalter störst i anslutning till de kortaste skovlarna i högtrycksturbinen. Medan de tidigare skovlarna var cylindriskt utförda (med raka, parallella

sidor), visade de strömningsdynamiska beräkningarna att ytterligare förbättringar skulle kunna uppnås genom att öka antalet frihetsgrader i skovelformerna. Varierande skovelprofiler med vridna och böjda skovlar **8** gör det nämligen möjligt att ta hänsyn till den olikformiga fördelningen av strömmar och tryck längs skoveln. **9** visar ett typiskt exempel. Därför har följande strategi fastställts:

Ledskovlar:

- Varierande skovelprofil utefter skovelns längd
- Vridna och böjda skovlar

Löpskovlar:

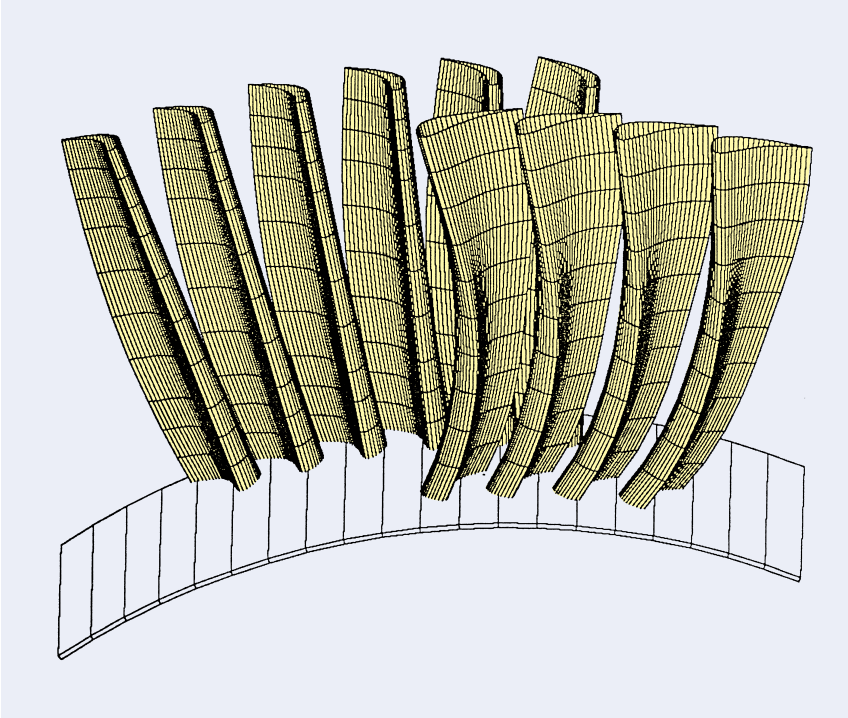
- Varierande skovelprofil utefter skovelns längd
- Vridna skovlar, ingen böjning

Minskade spaltförluster

För reaktionskovlar uppgår reaktionsgraden (det relativa tryckfallet över en löpskovlrad) i genomsnitt till 50%. Den varierar emellertid mellan ca 40% vid nav och 60% vid skoveltopparna. Av denna fördelning framgår att 60% av tryckfallet över steget uppstår vid taktätningarna på de prismatiska (cylindriska) led- och löpskovlarna och att det är därför som spaltförlusterna blir stora. En gynnsammare fördelning av reaktionsgraden (dvs 60% vid nav och 40% vid skoveltopparna) nås genom att öka respektive minska vridningen av led- och löpskovlar. Samtidigt skulle spaltförlusterna minska.

Minskning av ändväggförluster

De friktionsförluster som uppstår längs sidoväggarna i kanalerna genom en ångturbin förstärks ytterligare genom sekundärströmning [10]. Detta medför i sin tur en koncentration av strömningsförlusterna i ändväggsområdet. Återinträdande spaltströmmar har samtidigt avgörande inverkan på de förluster som uppstår. Sekundärströmmar är en oundviklig följd av ångströmmens omlänkning genom sko-

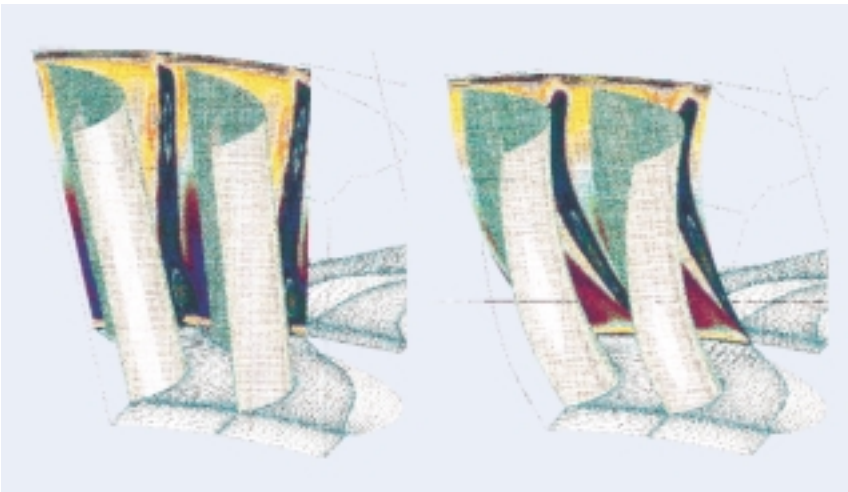


Datorframställd bild av ett högprestandaskovelsteg

velkanalen. Inverkan av ändväggförluster-
na kan emellertid mildras genom lämpligt
val av lokal skovelprofil och skovelform. En
väl känd möjlighet består i att luta skovel-
n i periferriktningen [11]. Överfört till nav och
topp ger ändringen upphov till en krökt
skovelform. För att garantera tillräcklig

mekanisk hållfasthet har denna strategi ti-
digare endast utnyttjats för ledskovlar. Ef-
tersom skovelvridningen även påverkar
skovlarnas lutning, består optimeringen av
en tredimensionell skovelprofil i ändväggs-
området i att stämma av lutning, vridning
och skovelform till varandra på rätt sätt.

Inverkan av avloppsvinkelfördelningen och skovellutningen på kanalvirveln (teoretisk beräkning)



Tidigare lyckosamma försök med be-
skovling av en enstegsturbin med "radial-
balansstyrning" (Vortex Control) [12] ut-
gick från principen att avlasta skovelän-
darna, så att det specifika stegarbetet
minskar genom en ändamålsenlig kom-
bination av minskad skovelkrökning och
skovellutning. De villkor som gäller i fler-
stegsturbiner medför emellertid med
nödvändighet en radiellt likformig fördel-
ning av stegarbetet, oberoende av "radi-
albalansstyrningen".

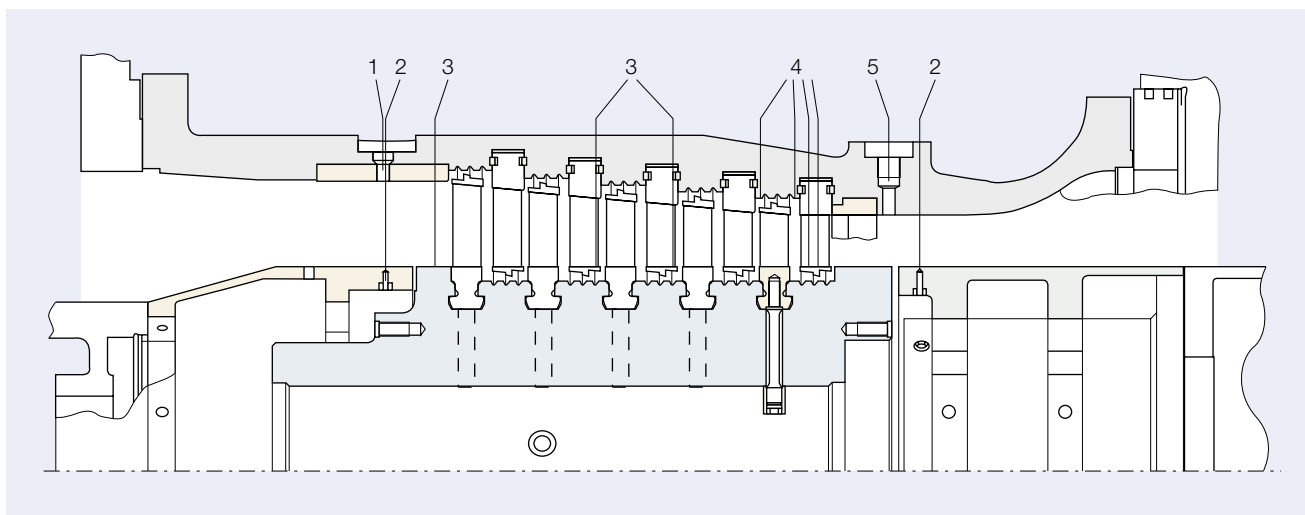
Såsom framgår av **10** sträcker sig den
till sekundärströmmen hörande kanalvir-
veln radiellt bakåt från skovelraden. Detta
medför minskad energiförlust och den
välkända över- respektive undervridning-
en av ångströmmen som direkt orsakas
av kanalvirveln.

9

Modellturbiner som stöd för utvecklingsprocessen

Modellturbiner för verklighetsnära försök
spelar en viktig roll i utvecklingsproces-
sen. De tjänar till att validera beräknings-
programmen och att kvantifiera driftegen-
skaperna för skoveluppsättningen. Prov-
uppställningen måste tillåta mätning av
ett skovelstegs egenskaper under de
randvillkor som råder vid drift, dvs vid
den naturliga strömning som uppstår i en
flerstegsturbin. Dessa randvillkor realise-
ras bäst i en flerstegsturbin för testända-
mål, med konstruktionsmässigt likformiga
steg **11**. De resultat som uppnås i den
luftdrivna provuppställningen tillämpas
sedan vid användning i verkliga kraftverk,
där informationen kan kompletteras med
data från mätningar i fält.

10



Snitt genom modellturbinen för teständamål

11

- 1 Fasta sonder
2 Statiskt tryck

- 3 Sond
4 Stegtryck, samtliga steg

- 5 Endoskop

För validering av datorprogrammen fordras vidare en detaljerad mätning av strömningsfältet. Detta görs med hjälp av aerodynamiska sonder som monteras på olika platser, samt en stor mängd mätpunkter för statiskt tryck längs strömningens kanals gränser.

För numerisk optimering och experimentell utvärdering av strömningsbetingelserna i ändväggarnas närhet är det av yttersta vikt att ha representativa strömningens villkor. Den numeriska avbildningen sker med hjälp av tredimensionella Navier-Stokes-ekvationer. Dessa tar hänsyn till störningar på grund av spaltström, liksom ackumulerande inverkan av flera konstruktionsmässigt likformiga steg.

Moderna tillverkningsmetoder – en viktig förutsättning

För att till fullo kunna utnyttja den högre prestanda som följer av tredimensionella skovelprofiler fordras moderna och ekonomiska tillverkningsmetoder som gör det möjligt att realisera samma formmässiga frihet i verkligheten som i konstruktionen. ABBs ångturbiner byggs utgående från varje enskild kunds önskemål och

har en individuellt optimerad strömningsgeometri. Därför kan en mängd varianter av led- och löpskovlarnas profiler förekomma inom samma tillämpningsram.

CIM-tekniken fordrar en komplett specifikation av skovelgeometrin, i form av kontinuerliga ytor med information om lokala lutningar och böjningar, liksom tilläggsinformation om måttoleranser och erforderlig ytjämnhet. Specifikationen framställs automatiskt med utgångspunkt från konstruktionsparametrarna för det optimerade skovelsteget.

Skovlarna tillverkas i helautomatiska och mycket noggranna tillverkningsceller. På detta sätt garanteras den höga kvalitetsstandard som dagens marknad kräver. Samtidigt framställs alla tillverkningsunderlag, som produktionsplaner och program för numeriskt styrda bearbetningsmaskiner.

Hög totalverkningsgrad

12 visar den verkningsgrad som kan uppnås i koleldade ångkraftverk. De verkningsgrader på 46,0 och 46,7 % som kan nås med enkel respektive dubbel mellanöverhettning innebär en betydande

ökning. Förbättringen kan återföras till flera faktorer:

- Ökad pannverkningsgrad
- Införande av högprestandaskovlar
- Minskade spaltförluster
- Ökad processverkningsgrad genom användning av en turbindriven matarvattenpump
- Ökat tryck i färsk- och mellanöverhettarången
- Kondensoroptimering och högre kondensortryck
- Högre temperatur i färsk- och mellanöverhettarången
- Högre sluttemperatur för matarvattnet
- Användning av 9 st matarvattenförvärmare

Slutsatser

Verkningsgraden i ångkraftverk har kunnat ökas betydligt under de senaste åren. I dag kan rörledningar, smideskomponenter och ståljutgods levereras, vars egenskaper är vida bättre än tidigare. Medan stålets bättre värmeållfasthet kan utnyttjas för att höja ångparametrarna, kan ABB-turbinernas beprövade mekaniska konstruktion behållas oförändrad.

Tack vare de förbättringar som uppnås med optimerade skovelprofiler och skovelformer kan ABB erbjuda ångturbiner som uppfyller de krav som dagens marknad ställer, tex:

- Effekter från 400 till 1000 MW
- Färskångdata 250-300 bar/580 °C
- Mellanöverhettning till 600 °C

Samtidigt minskar den relativa värmeförbrukningen med minst 7–8%.

Referenser

[1] Kjaer, S.; Henriksen, N.; Moelbak, T.: The Advanced Coal-Fired Power Station. Background, Status and Future. UNIPEDE Conference, 1–3 Sept. 1993, Hamburg.

[2] Kotschenreuther, H.; Häuser, U.; Weirich, P. H.: Future Economic Coal-Fired Electricity Generation 83 (1993), 2, p. 2.

[3] Berger, C.; Scarlin, R. B.; Mayer, K. H.; Thornton, D. V.; Beech, S. M.: Steam Turbine Materials: High Temperature For-

gings. COST501 Conference; Materials for Advanced Power Engineering 1994, 3–6 October 1994, Liège, Belgium.

[4] Scarlin, R. B.; Berger, C.; Mayer, K. H.; Thornton, D. V.; Beech, S. M.: Steam Turbine Materials: High Temperature Castings, COST501 Conference, as above.

[5] Franklin, C. J.; Henry, C.: Material Developments and Requirements for Advanced Boilers. COST501 Conference, as above.

[6] Teufelberg, A.: Auswahl eines optimalen Schaufelprofils für Dampfturbinenstufen. Brown Boveri Mitt. 63 (1976) 2, 123–128.

[7] Novak, O.; Schäfer, O.; Schönung, B.; Steiger, U.: Aerodynamic Analysis of Advanced Blading for Steam Turbines. EPRI, Jan. 1992, Orlando.

[8] Schäfer, O.; Frühauf, H. H.; Bauer, B.; Googolz, M.: Application of a Navier-Stokes Analysis to Flows through Plane Cascades. ASME Paper No. 85-GT-56, 1985.

[9] Langston, L. S. et al.: Three-Dimensional Flow within a Turbine Cascade Passage. ASME, J. Eng. for Power, Jan. 1977.

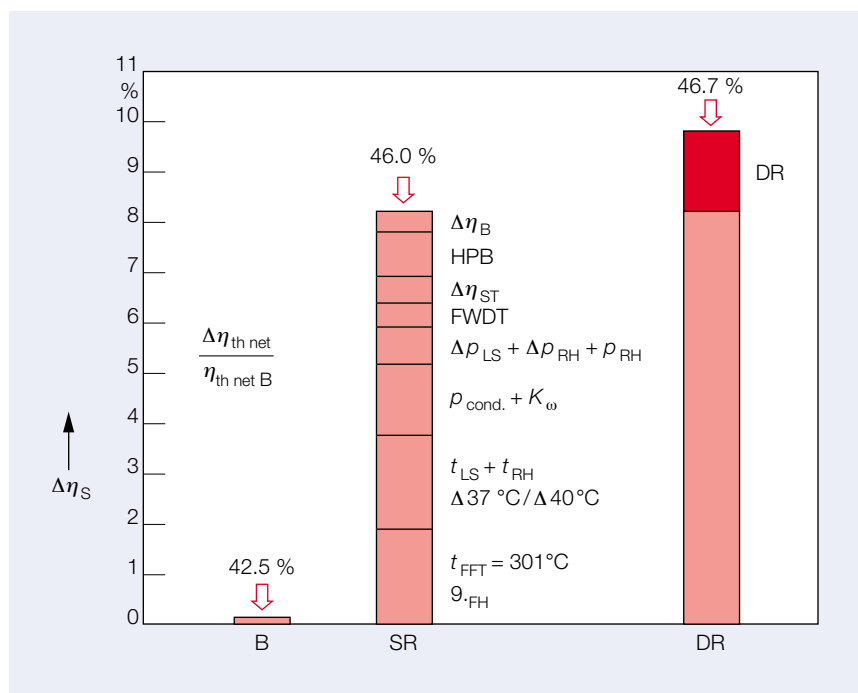
[10] Sieverding, C. H.: Recent Progress in the Understanding of Basic Aspects of Secondary Flow in Turbine Blade Passages. Trans. of ASME, April 1985.

[11] Morgan, S.: Secondary Flows and Endwall Boundary Layers in Axial Turbomachinery. VKI, LS, 1984–05.

[12] Dorman, E. E.; Welna, H.; Lindlauf, R. W.: The Application of Controlled Vortex Aerodynamics to Advanced Axial Flow Turbines. ASME Paper No. 68-GT-4, 1968.

Möjlighet till ökning av verkningsgraden i koleldade ångkraftverk

η_{th}	Termisk verkningsgrad
$\Delta\eta_S$	Verkningsgradsökning
B	Bas
SR	Enkel mellanöverhettning
DR	Dubbel mellanöverhettning
$\Delta\eta_B$	Ökning av pannverkningsgrad
HPB	Införande av högprestandaskovlar
$\Delta\eta_{ST}$	Minskning av spaltförluster
FWDT	Turbindriven matarvattenpump
$\Delta p_{LS} + \Delta p_{RH} + p_{RH}$	Ökat tryck hos färsk- och mellanöverhettarånga
$\rho_{cond.} + K_{\omega}$	Optimering av kondensator och förbättring av kondensortryck
$t_{LS} + t_{RH}$	Ökad temperatur hos färsk- och mellanöverhettarånga
t_{FFT}	Ökning av matarvattnets sluttemperatur till 301 °C
9_{FH}	Användning av 9 matarvattenförvärmare



Författarens adress

Dr. Brendon Scarlin
 ABB Kraftwerke AG
 CH-5401 Baden/Schweiz
 Fax: +41 (0) 56 205 56 05