

## Höghastighetsturbiner för småskalig kraftvärme



Utvalda resultat från projekt P22444-1  
**Biobränslen för småskalig kraftproduktion**  
 inom STEMs ramprogram "Bränslekraft"

**Miroslav Petrov**

KTH – Skolan för Industriell Teknik & Management  
 Institutionen för Energiteknik  
 Avdelningen för Kraft & Värme



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

1

## Idéer och mål



- En liten ångturbin med hög hastighet, direkt kopplad till
- En höghastighetsgenerator i storleken 2 – 3 MW el.

*Detta ska förhoppningsvis resultera i:*

- Ett kompakt lättvikt kraftpaket som kan användas för ombyggnation av värmepannor till kraftvärme.
- Hastighetsreglering vid dellast med hög verkningsgrad!

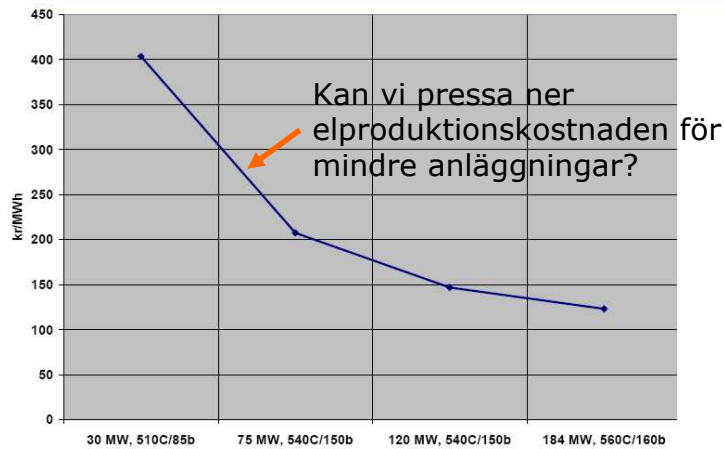


KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

2

## Ånganläggningens ekonomi

Elproduktionskostnad, Värmekreditering 300 kr/MWhv



© 2006, Carl Bro AB - sida 14 - 19 sep -06

Carl Bro  
Intelligent Solutions

3

## Att hitta/göra och utvärdera:



- Höghastighetsgeneratorer i MW-storlek på marknaden?
- Hur liten får en realistisk ångturbin bli?
- Lägre ångdata för en enkel och billig anläggning, eller
- Högre ångdata för avancerade lösningar?
- Beräkningar av ångturbinens flöde och geometri...



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

4

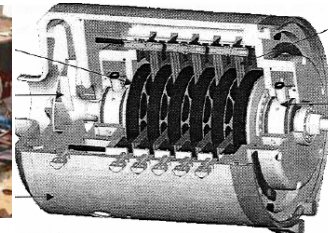
## Höghastighetsgeneratorer i MW-storlek



Direct Drive Systems,  
Kalifornien, USA



ALPS-projektet från  
AlliedSignal &  
Texas Universitet,  
Texas, USA



Turbo Power Systems  
(Turbo GenSet),  
Storbritannien



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

5

## Höghastighetsgeneratorer i MW-storlek



	<b>Direct Drive Systems</b>	<b>ALPS</b>	<b>TurboPower Systems</b>
Power rating	2.4 MW	2.5 MW	1.2 MW
Pole pairs	2	8	2
Speed range	22500 rpm	15000 rpm	23000 rpm
Frequency	750 Hz	1027 Hz	750 Hz
Weight	748 kg	1100 kg	450 kg
Efficiency	98 %	98 %	98 % 96% @ ¼ load
Cooling	Air + water	Air + oil	Air + water
Excitation type	Permanent magnets	Induction	Permanent magnets
Cost	?	?	£ 100'000 (prototype)

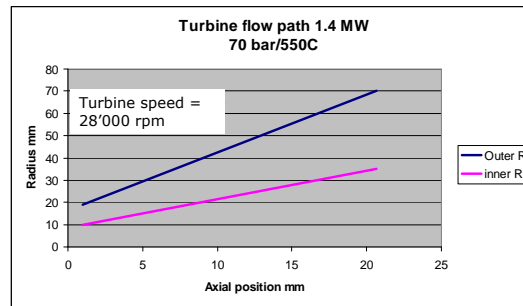


KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

6

## Småskaliga ångturbiner

Axiala turbiner ger högre verkningsgrad än radiala, men mindre storlek medför korta blad och höga randförluster!



Beräkningar från Torsten Strand,  
Siemens Industrial Turbomachinery,  
Finspång



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

7

## Jämförelse av ång- & turbindata



Turbine Parameters	Units	2 MW	2 MW	2 MW
Steam Pressure	[bar]	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Steam Temperature	[C]	<b>600</b>	<b>450</b>	<b>320</b>
Specific volume	[m <sup>3</sup> /kg]	0.200	0.164	0.131
Enthalpy	[kJ/kg]	3690	3331	3070
Steam mass flow	[kg/s]	<b>1.97</b>	<b>2.93</b>	<b>4.45</b>
Turbine stage loading coefficient	[-]	1.85	1.85	1.85
Rotational speed	[rpm]	22500	22500	22500
Mean radius for first stage	[m]	0.112	0.112	0.112
Radius at hub	[m]	0.109	0.109	0.108
Radius at tip	[m]	0.115	0.115	0.116
Blade height	[m]	<b>0.005</b>	<b>0.006</b>	<b>0.008</b>
Blade tangential velocity	[m/s]	264	264	264
Steam axial velocity at exit	[m/s]	106	106	106
Degree of reaction	[-]	0.08	0.08	0.08



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

8

## Föreslagen ångturbin



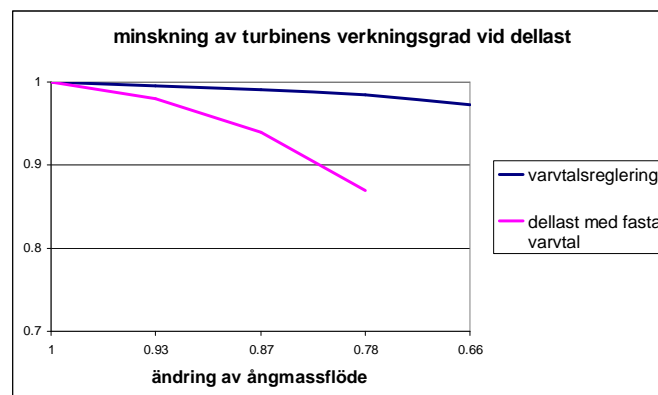
- Enkel lösning med 320°C/20bar ånga
- 4 axiala steg
- expansionen slutar vid 1 bar (till värmekondensator)
- 80% isentropisk verkningsgrad
- 22500 varv per minut, varvtalsreglering vid dellast
- 2.4 MW vid 5.4 kg/s ångflöde
- Elektrisk verkningsgrad för hela anläggningen ~16%
- Passar bra för konvertering av mindre värmepannor till kraftvärme!



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

9

## Vinst med varvtalsreglering



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

10

## Högre ångdata?

- Om högre elverkningsgrad (högre ångdata) är målet då måste den axiala turbinen vara betydligt större.



2.4 MWeI → 320C/20bar  
 5 MWeI → 450C/60bar  
 10 MWeI → 600C/120bar

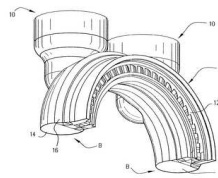
- Större anläggningar med en större ångturbin som driver flera höghastighetsgeneratorer är möjliga!



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

11

## Andra turbinalternativ



- Radial ångturbin, radial första steg.  
*Passar bra för expansion av gaser eller ORC-ånga, men inte direkt för vattenånga. (Japanerna lär ha testat små radiala ångturbiner ner till 100 kW med 84% isentropisk verkningsgrad vid 7.5 bar/ 215 C).*
- Partial pådrag (reglersteg).  
*Det är oklart hur partial pådrag går ihop med varvtalsreglering.*



KTH - ITM, Department of Energy Technology, Stockholm

12