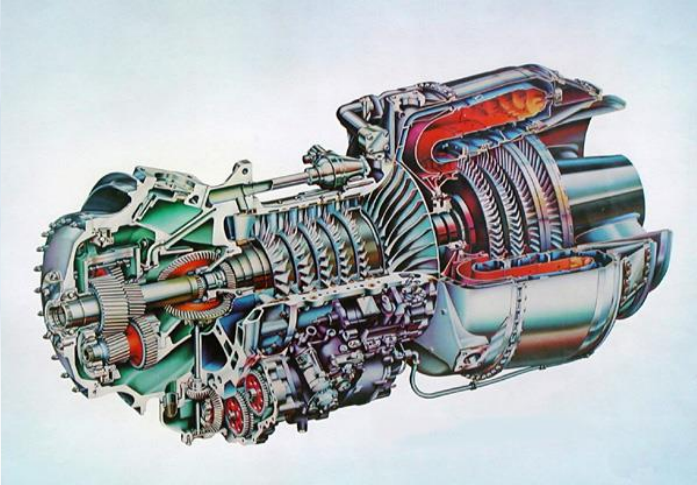
Feasibility Study for a Turboshaft Engine Application In a Solar Hybrid Gas Turbine System

IAI, BEDEK AVIATION GROUP,

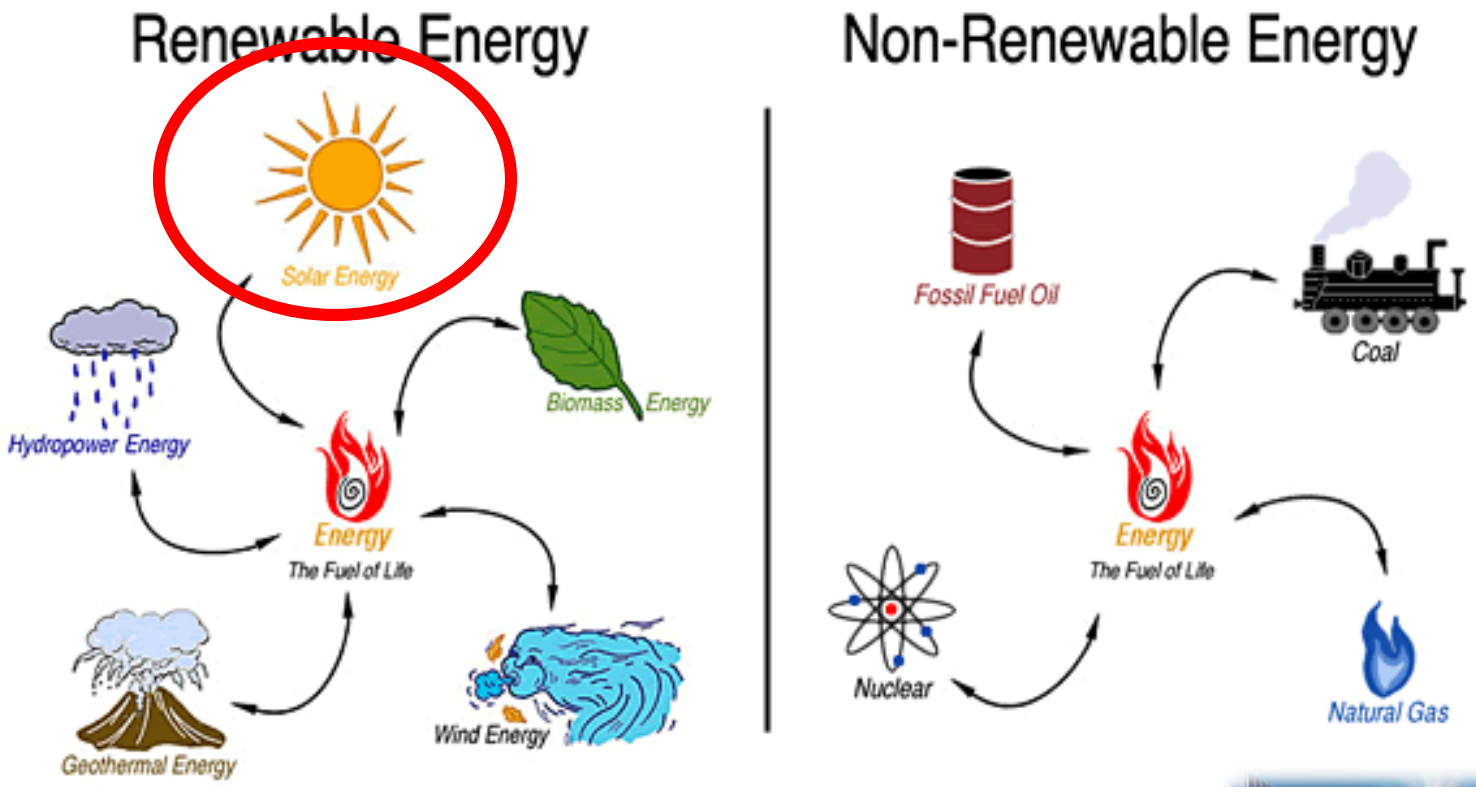
ENIGNES DIVISION, NEW PRODUCTS DEVELOPMENT



מפעל מנועים

לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

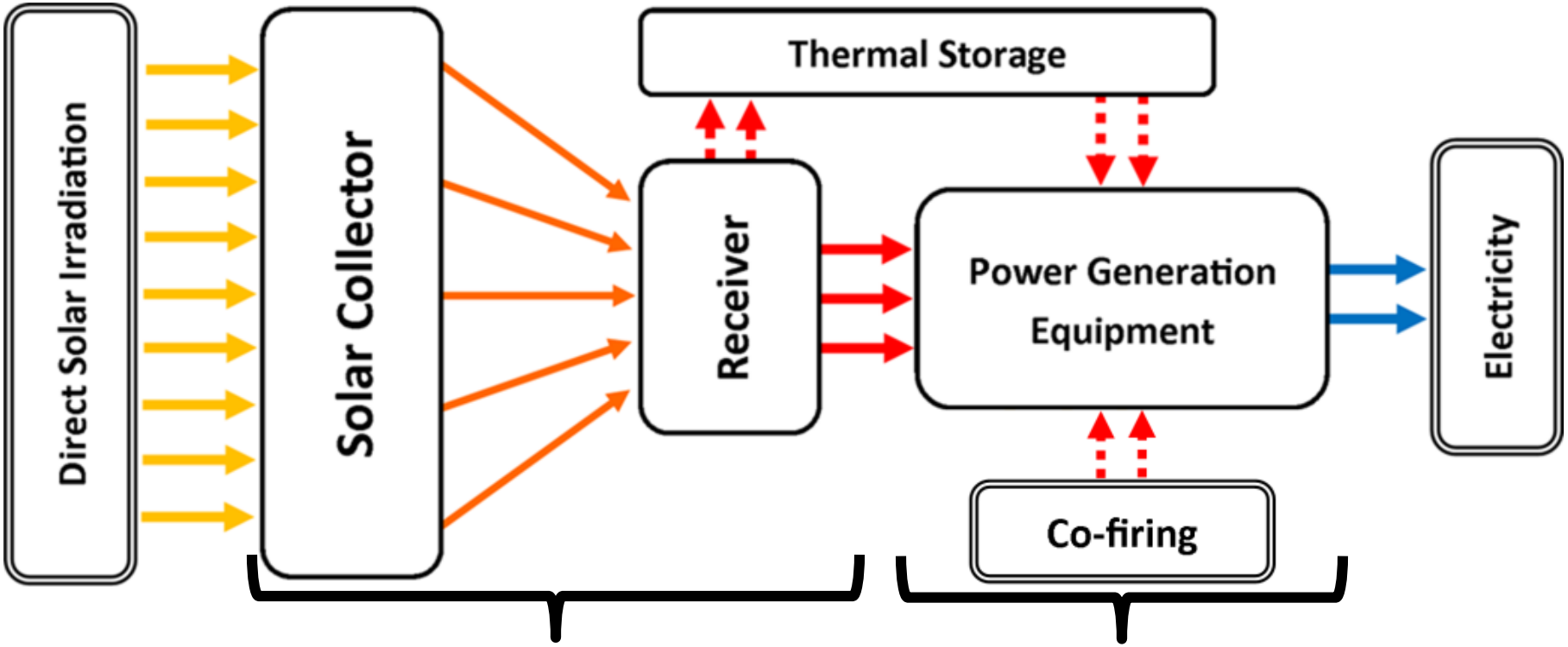
Solar Energy As A Renewable Energy Resources



- **<u>Solar power:</u>**
  - The most abundant natural resource
  - It is not depleting

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Solar Thermal Power Plant – How It Works?

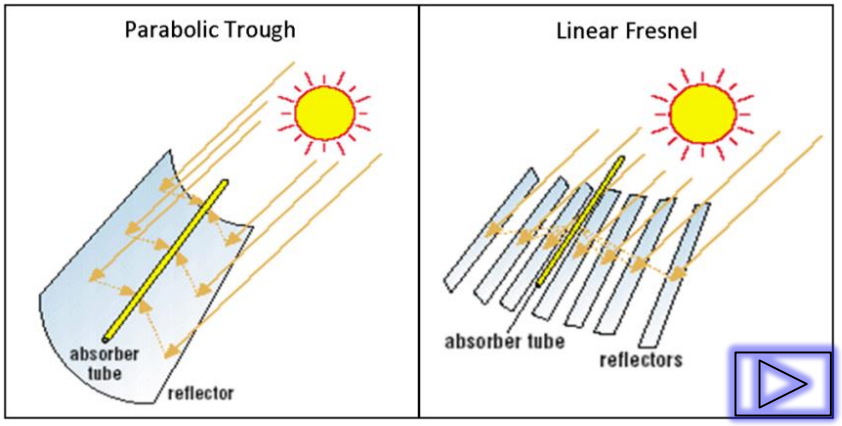


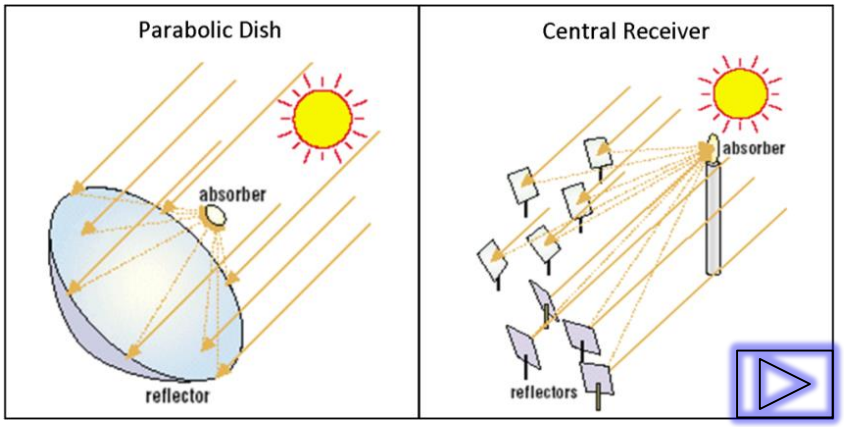
- Parabolic Trough
- Linear Frensel
- Parabolic Dish
- Central Receiver

- Rankine Cycle
- Striling Cycle
- Brayton Cycle

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Concentrated Solar Power (CSP) – Technologies





Concentrator Technology	Focus Type	Typical Concentration Ratio	Typical Plant Size
Linear Fresnel	Linear	60	10 – 150 MW_e
Parabolic Trough	Linear	80	50 – 250 MW_e
Central Receiver	Point	1000	20 – 150 MW_e
Parabolic Dish	Point	1300	5 – 25 kW_e

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Solar Thermal Power Generation Equipment Design

Power Cycle	Working Fluid	Temperature Range	Cycle Conversion Efficiency
~850 Rankine	Organic Fluid	< 250°C	10 – 20 %
	Water / Steam	250 – 600°C	25 – 40 %
Stirling	Helium	600 – 850°C	30 – 40 %
Brayton	Air	> 850°C	30 – 40 % (SC)
			45 – 60 % (CC)

Central Receiver Systems can reach >850°c

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Brayton Cycle Based Solar Thermal Power Plant

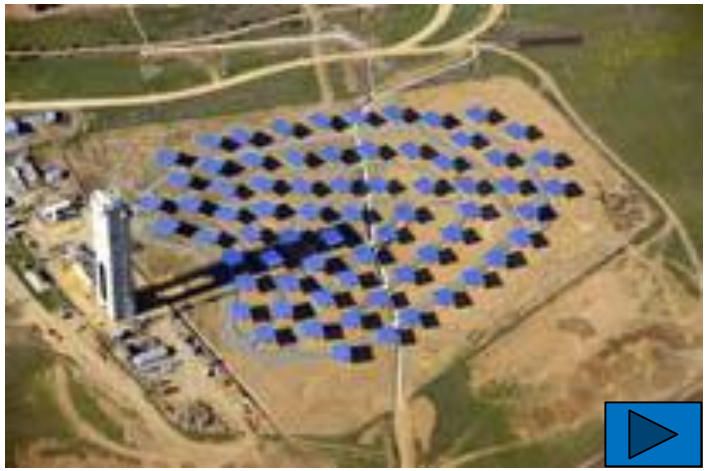
- The use of gas-turbines instead of steam-turbines in solar thermal power plants offers a way to address some of the most important issues:
  - Increasing efficiency
  - Reducing water consumption
  - Maximizing the flexibility and dispatchability of the power plant

Power Plant Type	Steam Parameters		Typical Size	Storage Size
	Temperature [°C]	Pressure [bar]	[MW_e]	[hrs]
Parabolic Trough	377	100	50 – 250	6 – 8
Molten-Salt Tower	542	105	20 - 120	3 – 15
Direct-Steam Tower	550	165	20 - 150	-
Linear Fresnel	270	55	1 – 30	-

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Previous Projects Of Gas Turbine Based Solar Thermal Power Plants

SOLUGAS	
Year	1998-2002
Location	Seville (Spain), Daggett (USA)
Fuel	Natural Gas
Gas Turbine	Helicopter engine
Power	250KW
Receiver Temp	800°c



SOLGATE	
Year	2012-2013
Fuel	Natural Gas
Location	Seville, Spain
Gas Turbine	Mercury TM 50
Power	1MW
Receiver Temp	800°c

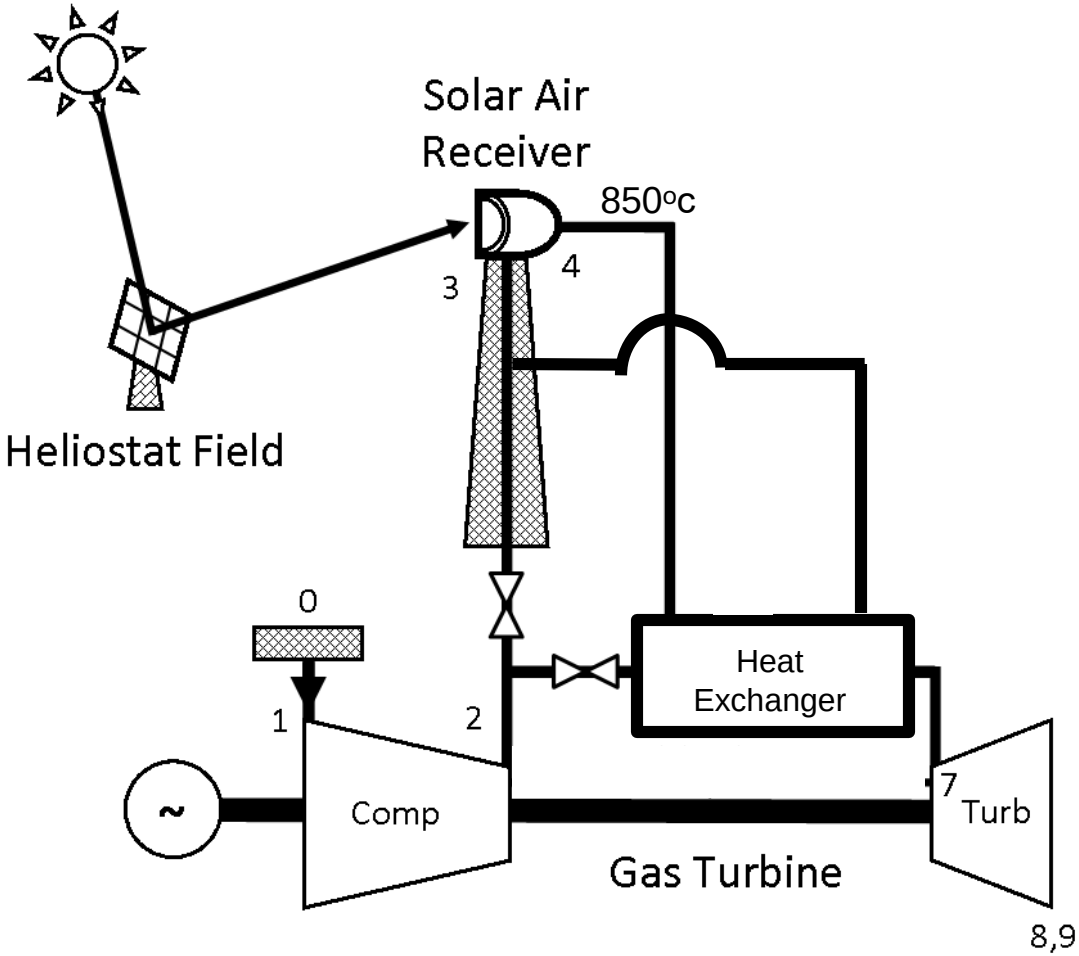
M.Queroa, R.Korzynietzb, M.Ebertc, AA.Jiméneza, A.del Ríoa, JA. Briosoa, 2013, **SOLGATE solar hybrid gas turbine electric power system**, Final Publishable Report

Solugas – Operation experience of the first solar hybrid gas turbine system at MW scale

מפעל מנועים IAI

לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

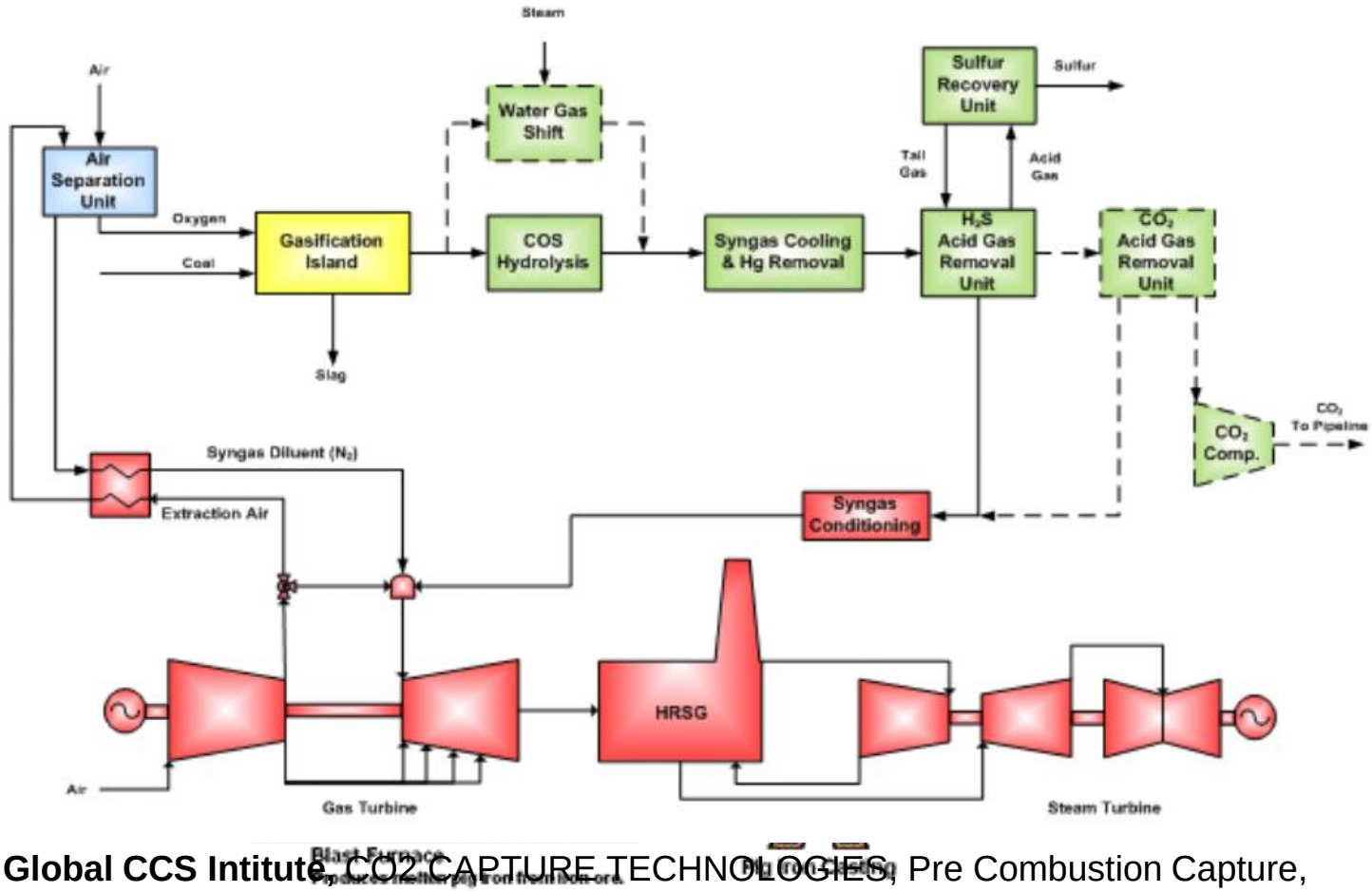
IAI Solar Aero Derivative Gas Turbine Without Combustor Power Plant Concept



מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Additional Applications for IAI Aero Derivative Gas Turbine Without Combustor Power Plant Concept

CO2 Capture Steel Making Industry



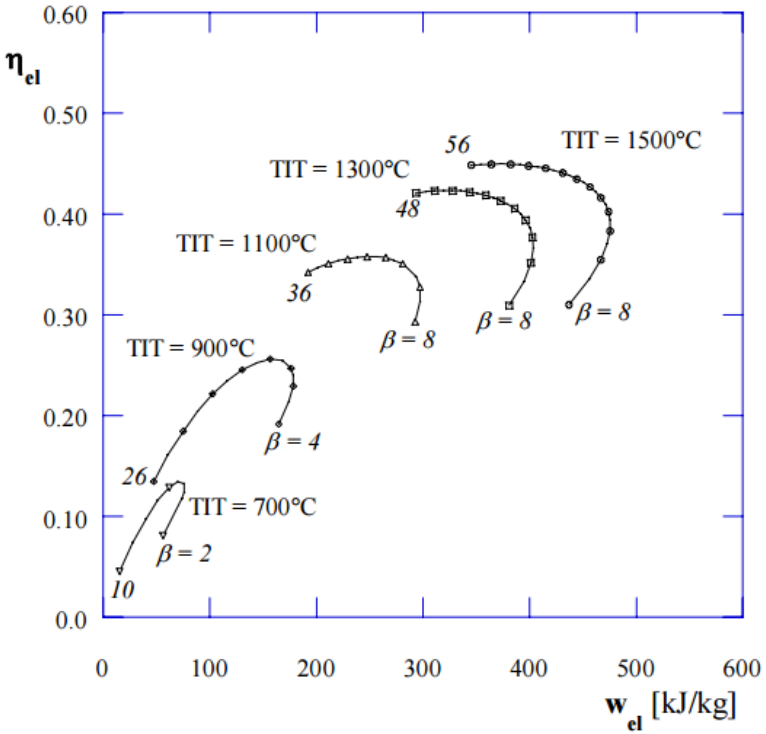
Global CCS Intitute, CO2 CAPTURE TECHNOLOGIES, Pre Combustion Capture, January 2012

מפעל מנועים IAI

לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Bryton Cycle Gas Turbine Important Parameters

- Increased TIT (Turbine Inlet Temperature) improves the Brayton cycle efficiency
- A gas turbine with low value of β (cycle pressure ratio) provides higher specific work and optimum cycle efficiency for the combined cycle systems



R. **Bhargava**, M. **Bianchi**, A. **De Pascale** et al., 2007, *Gas Turbine Based Power Cycles - A State-of-the-Art Review*

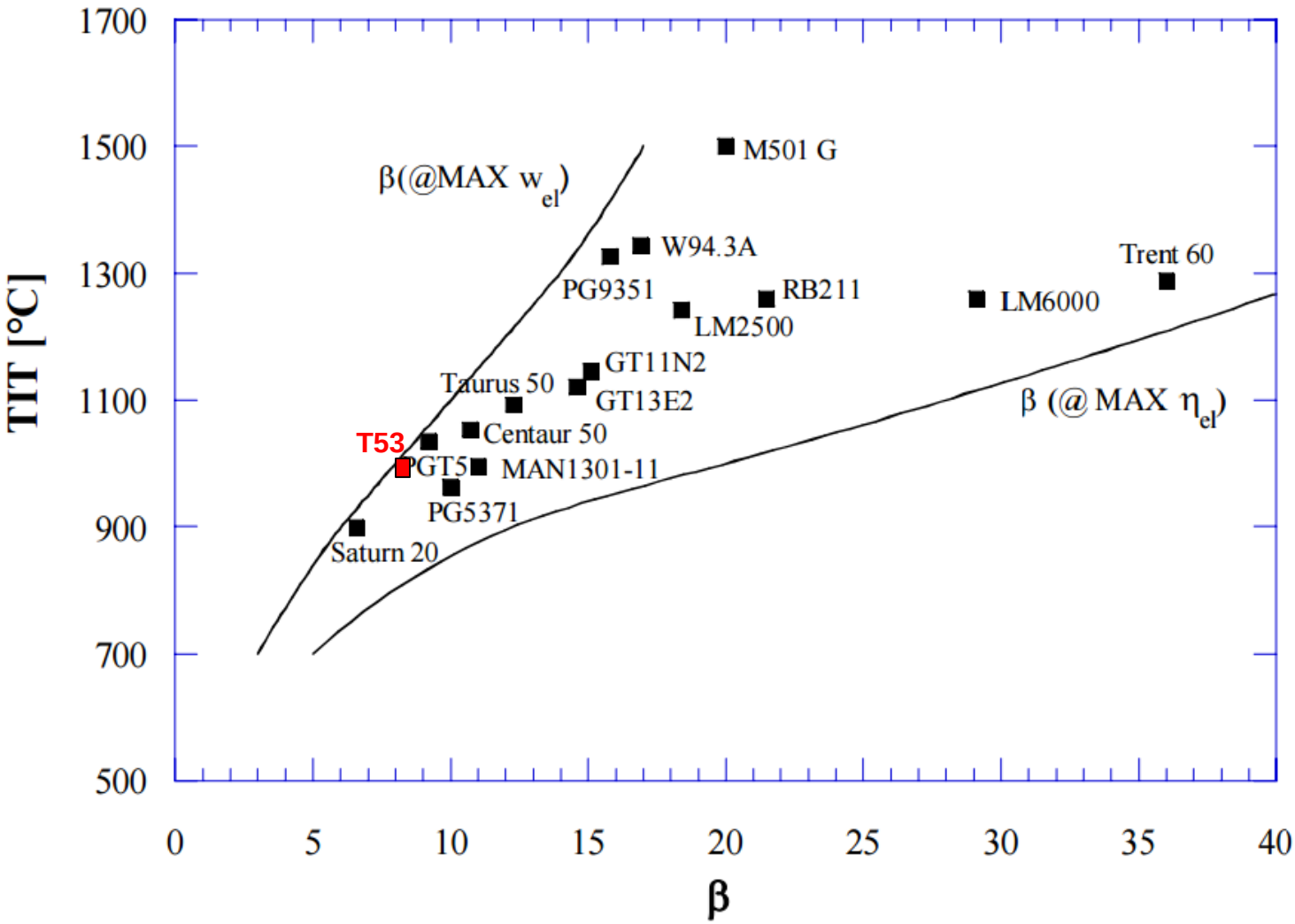
מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

T53 Aero Engine – General Characteristics

Manufacturer	• Lycoming Engines (Honeywell Aerospace) • Year: 1950s
Applications	• AH-1 Cobra (IAF “Zeffa”) • UH-1 Iroquois • Kaman K-Max
Dimensions	• Weight: 549lbs • Length: 47.60in • Diameter: 23.00in
Performance	• Output Power: 1400hp (~1MW) • Gas Producer Shaft: 25440 rpm • Output Shaft: 6334 rpm • SFC: 0.580 lb/shp/hr • **TIT: 1000.85^{o}c (1274 K)** • **PR: 7.418**

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

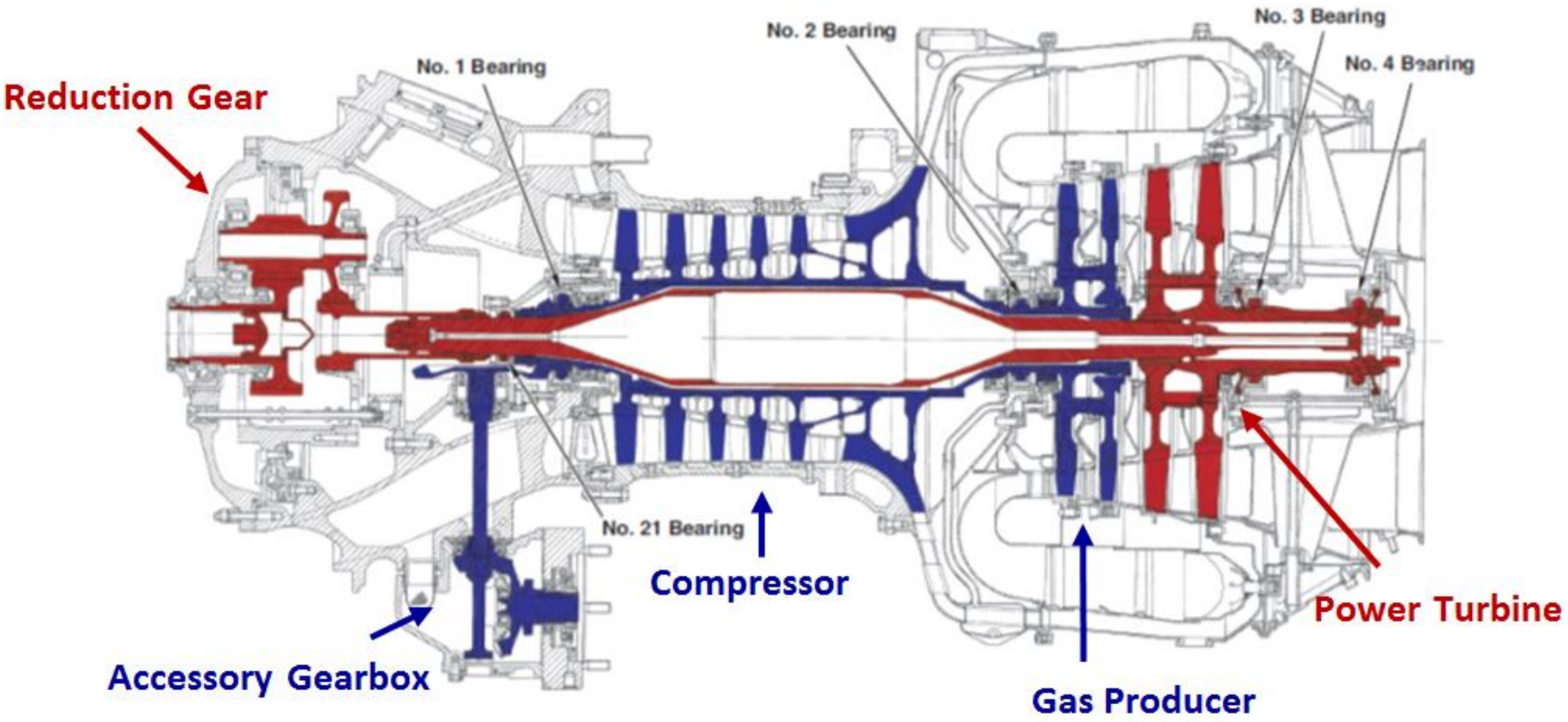
Brayton Cycle Based Gas Turbines – TIT Vs. β



מפעל מנועים IAI

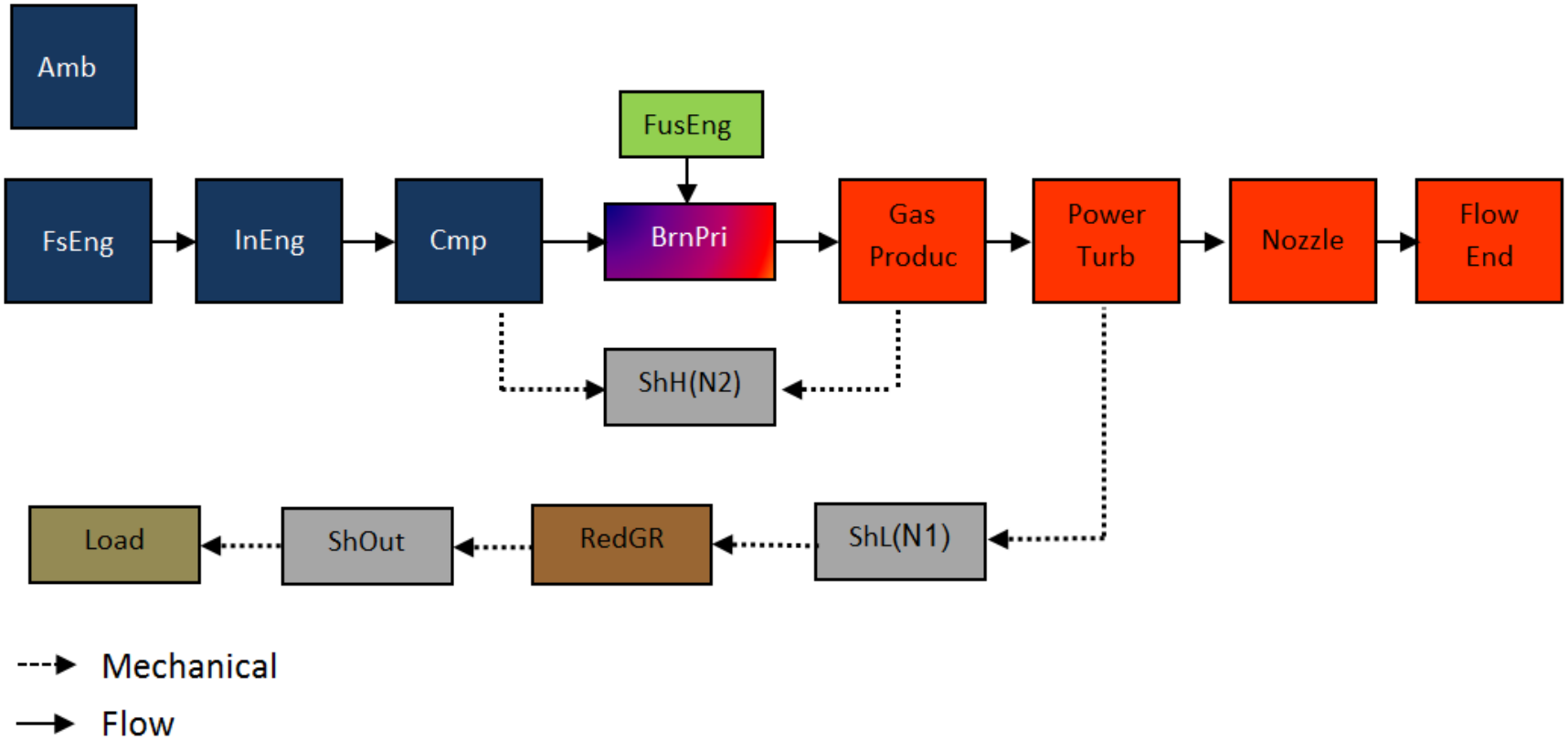
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

T53 Aero Engine – Cross Section



מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

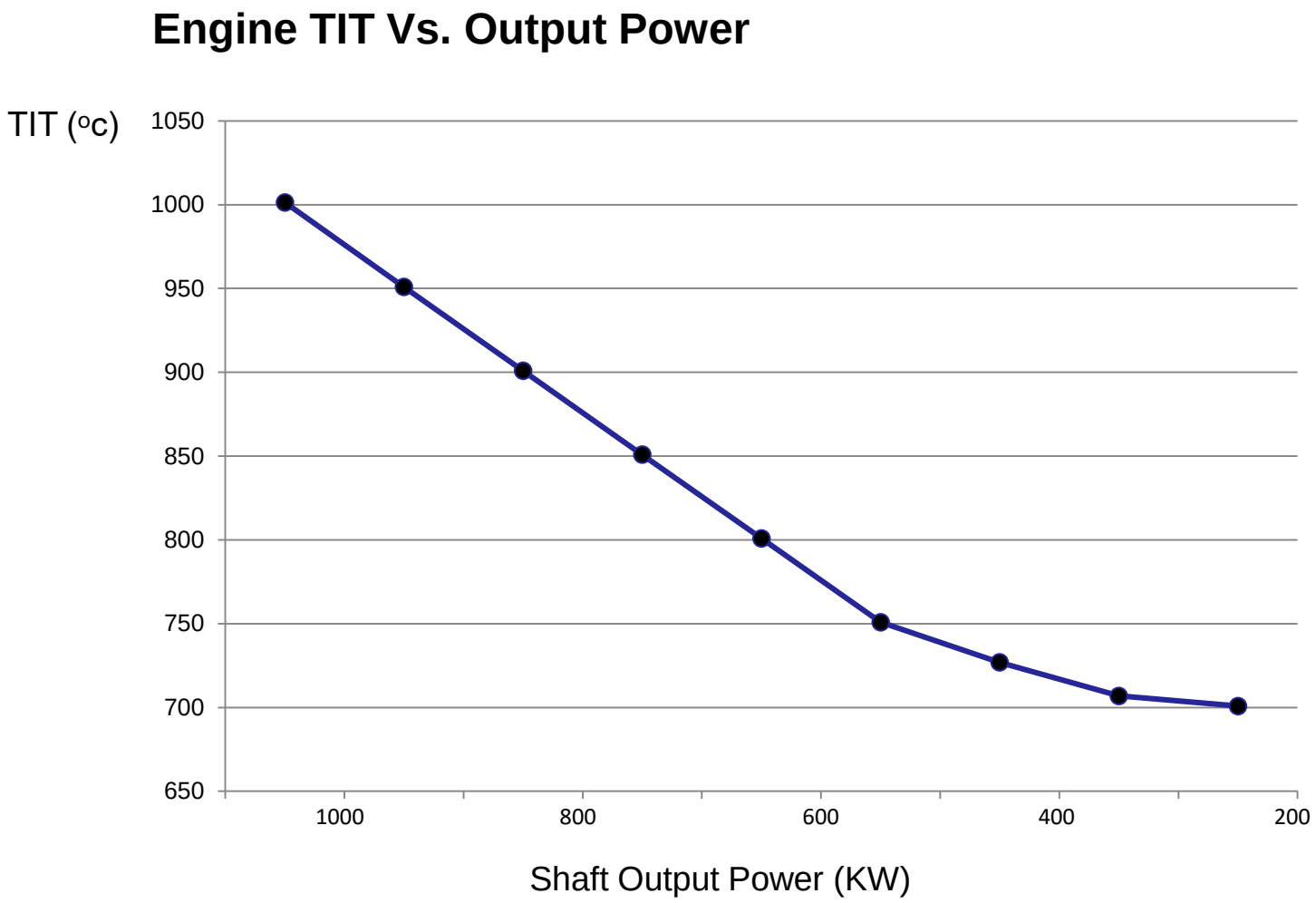
NPSS Model – T53 Engine Model



T53 Gas Turbine Engine NPSS Model

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

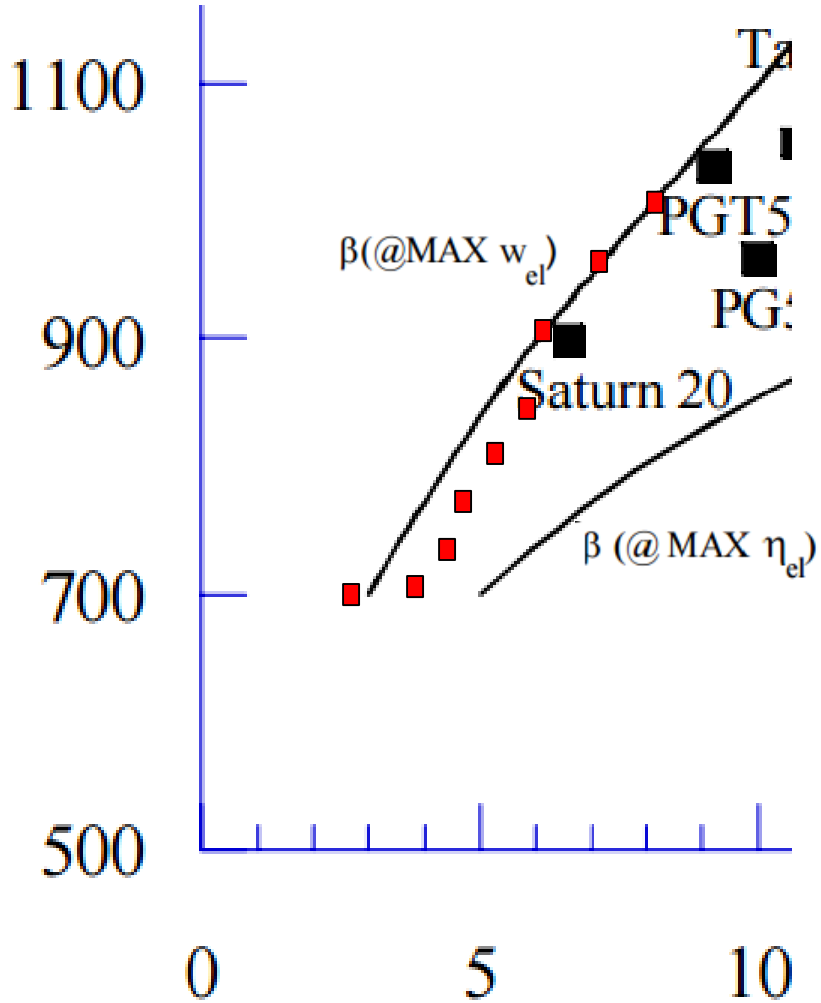
NPSS Simulation Results



מפעל מנועים IAI

לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

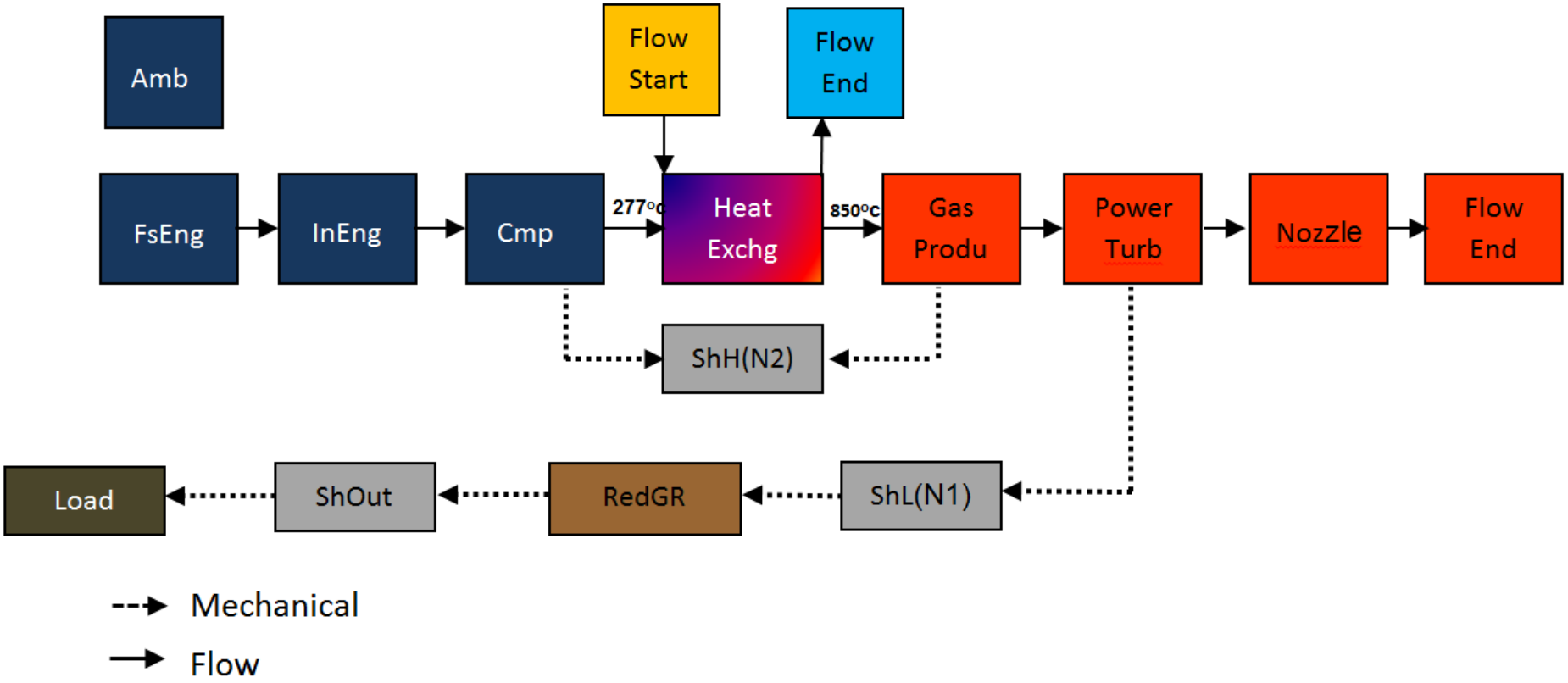
T53 Performance for Different Design Points – TIT Vs. β



TIT (°c)	Thermal Efficiency	Torque Delivered by Shaft (%)
1001	0.23244	100
950	0.22454	87.8
900	0.2134	75.2
850	0.19893	62.6
800	0.18021	50.3
750	0.15728	38.5
726	0.13986	31.7
706	0.10599	21.5
700	0.02039	3.2

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

NPSS Model – Heat Exchanger Model



מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.

Conclusions and Outlook

- At TIT of 850°c, the T3 engine delivers 62.6% of its maximum available torque (673KW)

- The minimum TIT for operating T53 engine is 979K (705.9^{o}c)

- Using the T53 aero engine as a gas turbine in hybrid solar thermal power plant is thermodynamically feasible

- <u>Future study:</u>
  - Thermodynamic cycle analysis of the engine with heat exchanger instead of a combustion chamber

  - Conceptual and preliminary design of heat exchanger and retrofitted combustion chamber

מפעל מנועים IAI
לתעשייה האווירית לישראל בע"מ זכויות קניין במידע שבמסמך זה. אין להעתיק לשכפל ולגלות תוכן מסמך זה כולו או חלקו, או לעשות בו שימוש כלשהו, אלא על פי הסכמה מראש ובכתב של התע"א.