



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Vätgasteknologi för tunga transporter

Tomas Grönstedt

Professor, Turbomaskiner, Mekanik och maritima vetenskaper



Tomas Grönstedt



Carlos Xisto



Isak Jonsson

Behövs vätgas?

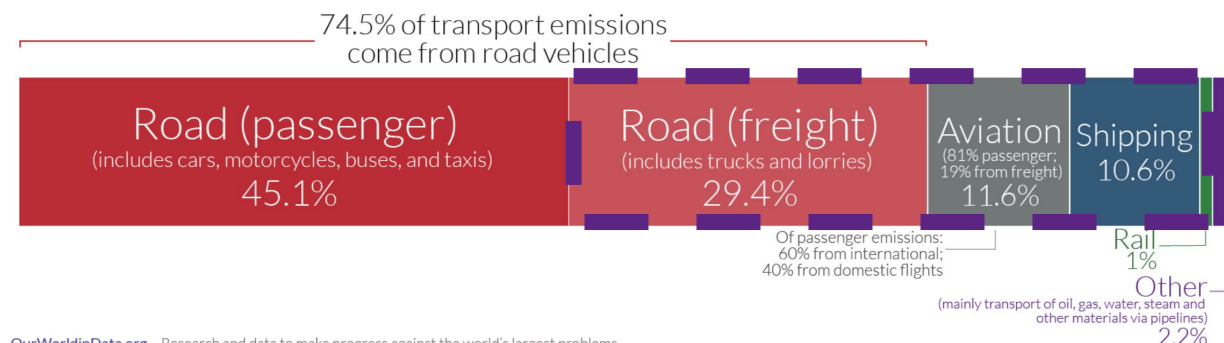
Transporter står för ungefär 8 gigaton CO₂-utsläpp globalt

- Tyngre transporter står för drygt 4 gigaton (10% av totalt) och kan ställas om till vätgasdrift

Vätgas har också unika fördelar som gör den till en naturlig del i den framtida energimixen, exempel

- Minska belastning på biologisk mångfald
- Elektrobränslen – troligen bättre att lagra CO₂

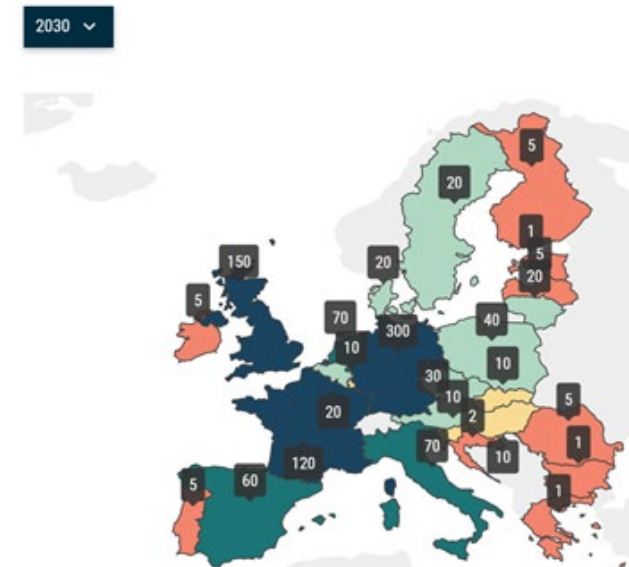
Transport accounts for 24% of CO₂ emissions from energy.



- För att implementera "EU Green Deal", EUs vätgasstrategi:
 - 6 GW grön vätgas till 2024, 30 GW till 2030
- Vad ska Sverige göra?
- Satsa på svenska komparativa fördelar!
 - Transportindustri och ståltillverkning
 - Exportera för globalt maximal klimatnytta och konkurrenskraft



Hydrogen refuelling stations (HRS) in the EU27 + UK



STRATEGI FÖR FOSSILFRI KONKURRENSKRAFT - VÄTGAS

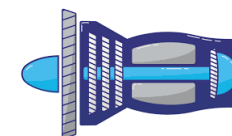
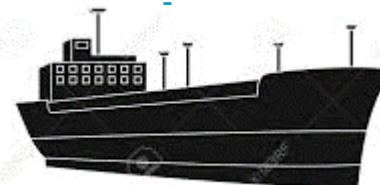
8. Sveriges komparativa fördelar och utmaningar

I tabell 3 presenteras en så kallad SWOT-analys för fossilfri vätgasteknik och nya vätgas-värdekedjor utifrån generella egenskaper och för Sverige i synnerhet. Detta med syfte att belysa Sveriges komparativa fördelar i jämförelse med övriga Europa när det gäller industrier och produkter kopplat till fossilfri vätgasteknik men också utmaningar och potentiella hot. Huvuddragen av SWOT-analysen med utvalda exempel sammanfattas också nedan.

omställningen av industri och transportsektor samt utveckling av nya exportvaror och kunskap. Förutom de värdekedjor och produkter som nämnts ovan har Sverige stora möjligheter att utveckla sin exportindustri med produkter som vätgasdrivna industriella turbiner (Siemens Energy), tunga fordon (Volvo Truck) och flygmotorer (GKN). Även om det inte finns någon inhemsk tillverkning av kompletta elektrolysörer så finns här goda möjligheter att utveckla nya byggstenar i svensk

Energiåtgång

Möjligt tillämpningsområde för vätgas



Installerad energitätet

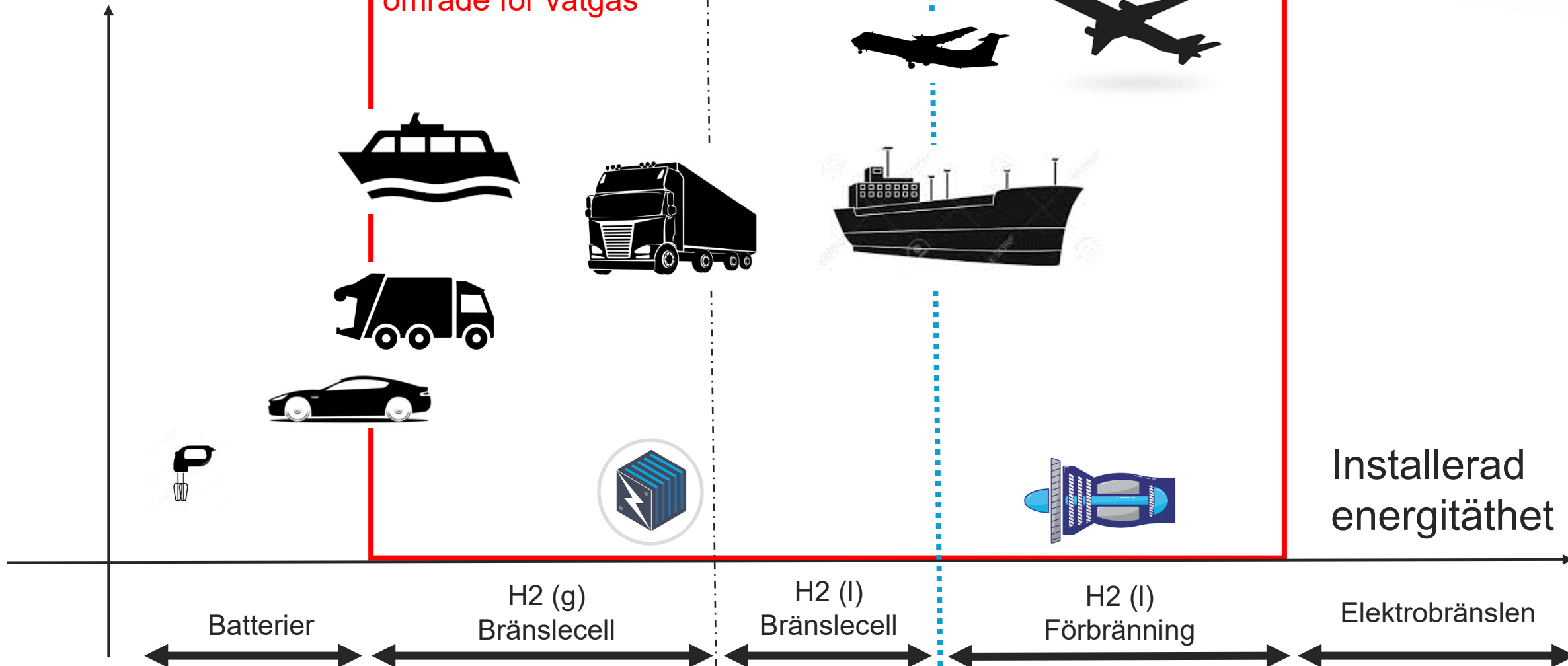
Batterier

H2 (g)
Bränslecell

H2 (l)
Bränslecell

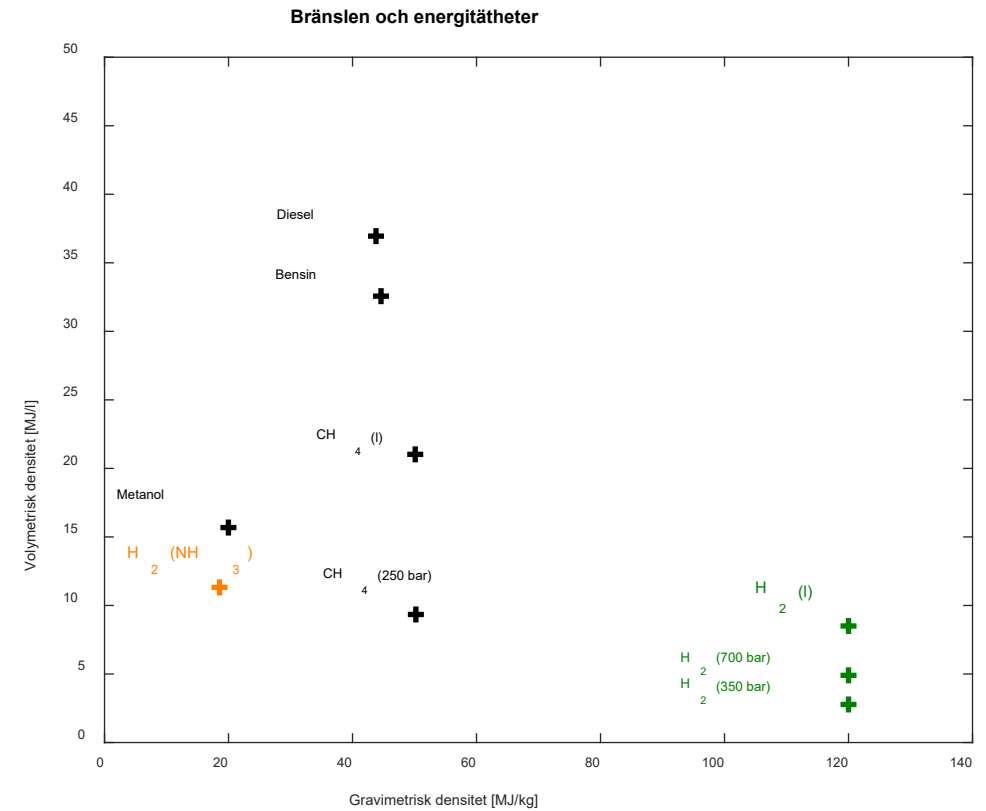
H2 (l)
Förbränning

Elektrobränslen



Vätgas – egenskaper I

- Extremt hög energitäthet per kg
- Låg energitäthet per volym

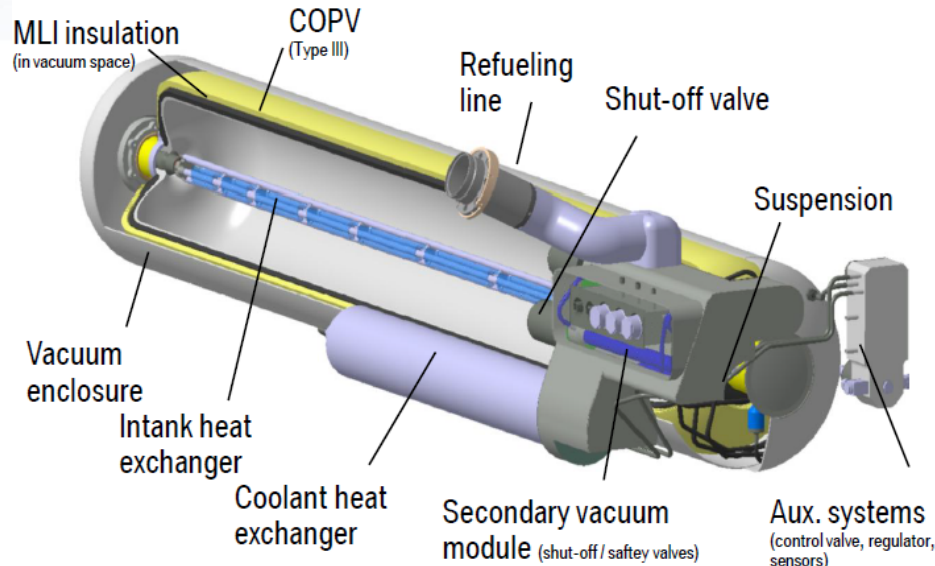


Installerade energitåtheter

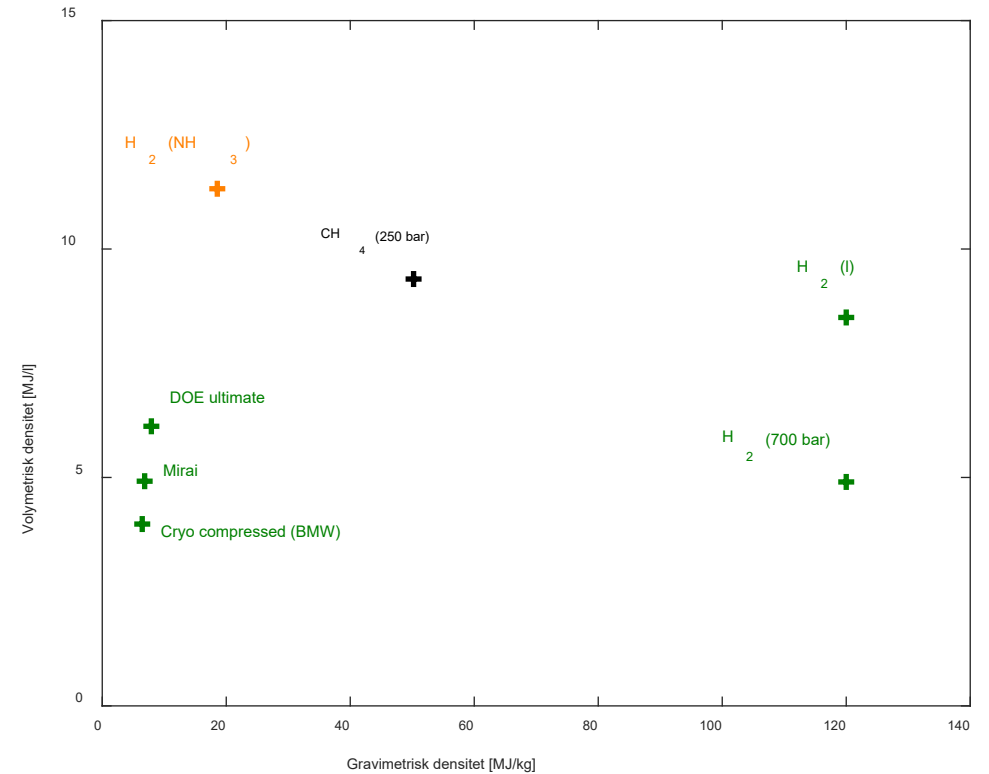
- Gasformigt komprimerat



- Kryo-komprimerat



Bränslen och energitåtheter



Kryotank



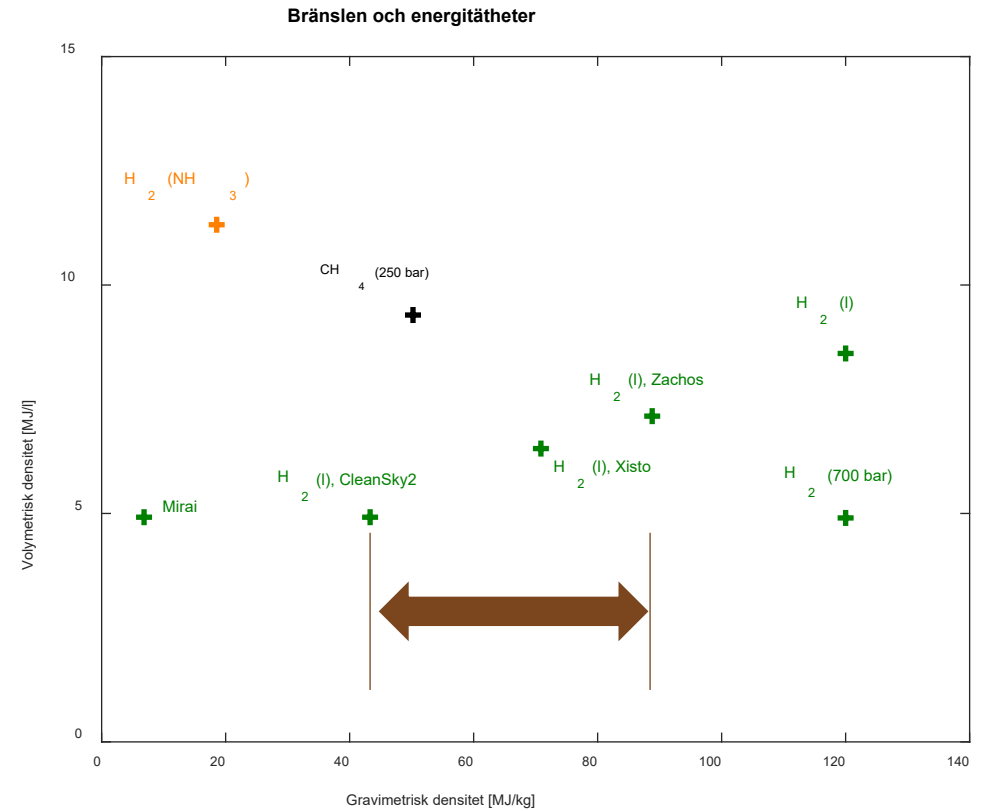
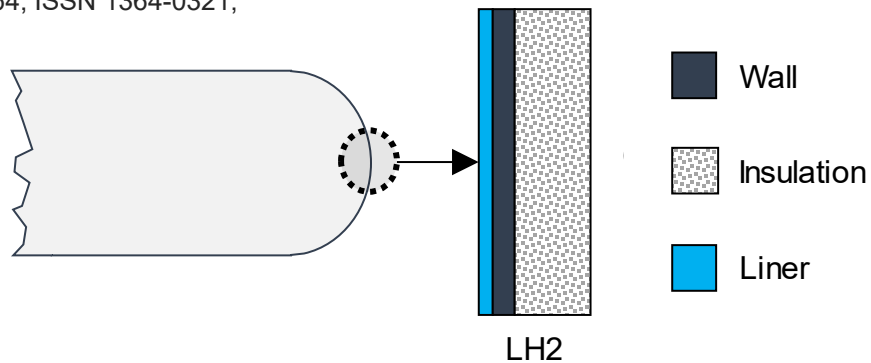
Kryo



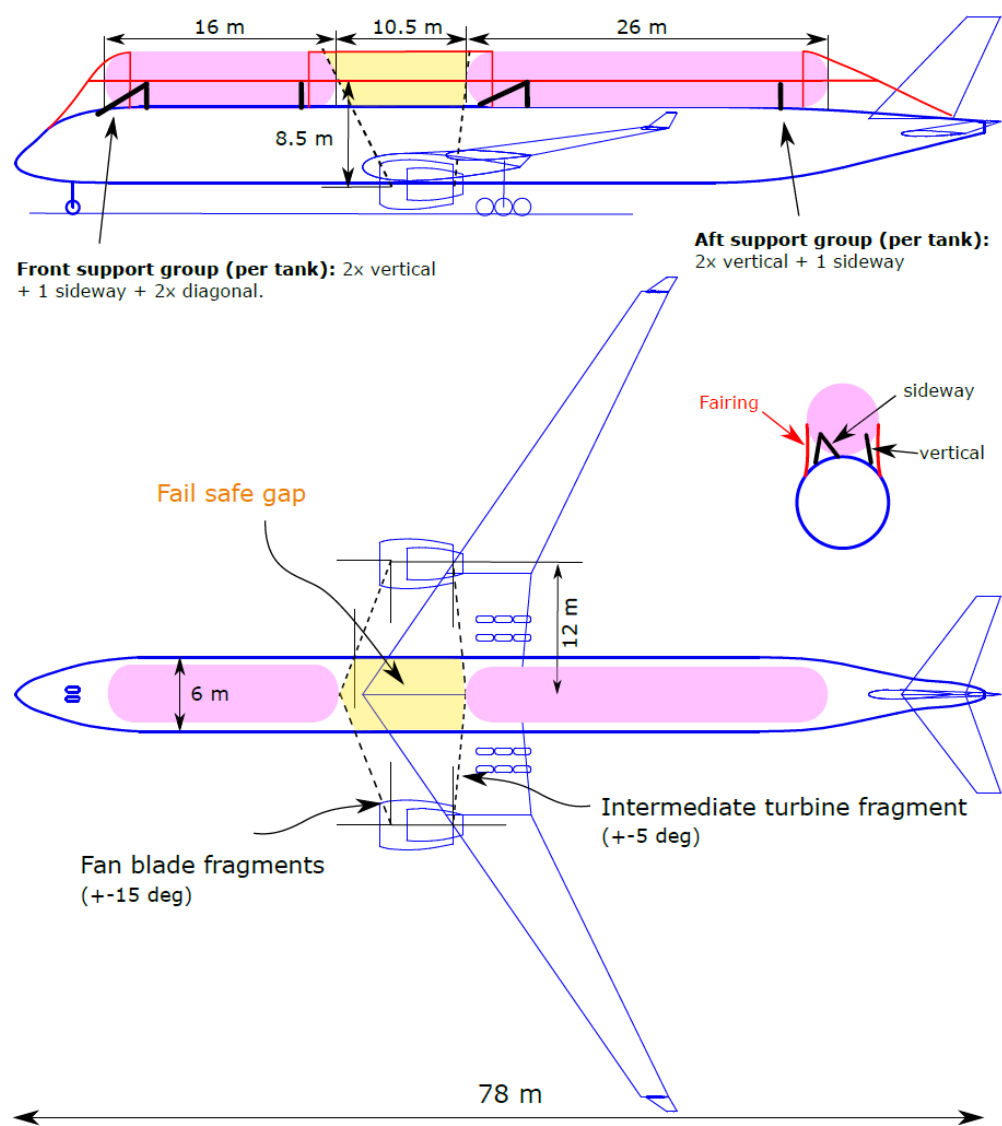
- Clean Sky 2 uppskattning
 - Nära gravimetrisk densitet för Jet A
 - Vakuumtank, dubbelvägg
- Enkelvägg, extern isolering

K. Dahal, S. Brynolf, C. Xisto, J. Hansson, M. Grahn, T. Grönstedt, M. Lehtveer,

Techno-economic review of alternative fuels and propulsion systems for the aviation sector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 151, 2021, 111564, ISSN 1364-0321,



- Stor osäkerhet i gravimetrisk energitäthet



K. Dahal, S. Brynolf, C. Xisto, J. Hansson, M. Grahn, T. Grönstedt, M. Lehtveer,

Techno-economic review of alternative fuels and propulsion systems for the aviation sector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 151, 2021, 111564, ISSN 1364-0321,

	Jet-A (2020)	Jet-A (2050)	LH2 (2050)	LH2 versus Jet-A (rel.)
MTOW (kg)	338,500	294,500	284,800	0.97
OEW (kg)	167,700	152,300	194,300	1.28
L/D	19.1	20.6	17.9	0.87
Wetted area fuselage (m ²)	1300	1300	1970	1.52
LH ₂ tank volume (m ³)	-	-	714	-
LH ₂ tank weight (kg) + structures and Fairing	-	-	26,500	-
Cruise TSFC (mg/N/s)	14.1	12.5	4.5	0.36
Engine thrust SLS (lbf)	104,000	92,260	107,00	1.15
T/W	0.279	0.285	0.34	1.19
Mission Fuel (kg)	113,586	85,284	38,200	0.45
Energy use MJ/PAX/km	0.85	0.64	0.80	1.25
Energy use (rel. to 2020)	Datum	-28%	-11%	-



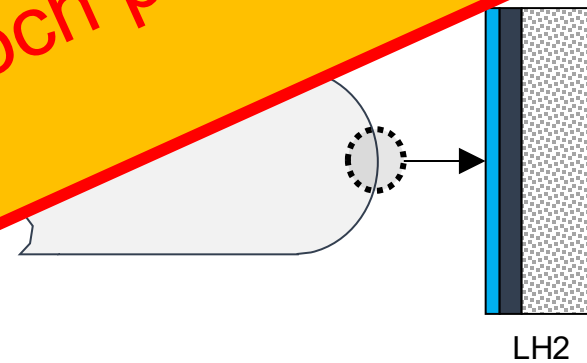
Volant (area of advance – Transport)

- Komposittank utan liner (Leif Asp)
- Möjligt att nå extremt lätta konstruktioner
- Förhoppning att utveckla linerless tank



xeon, Borås

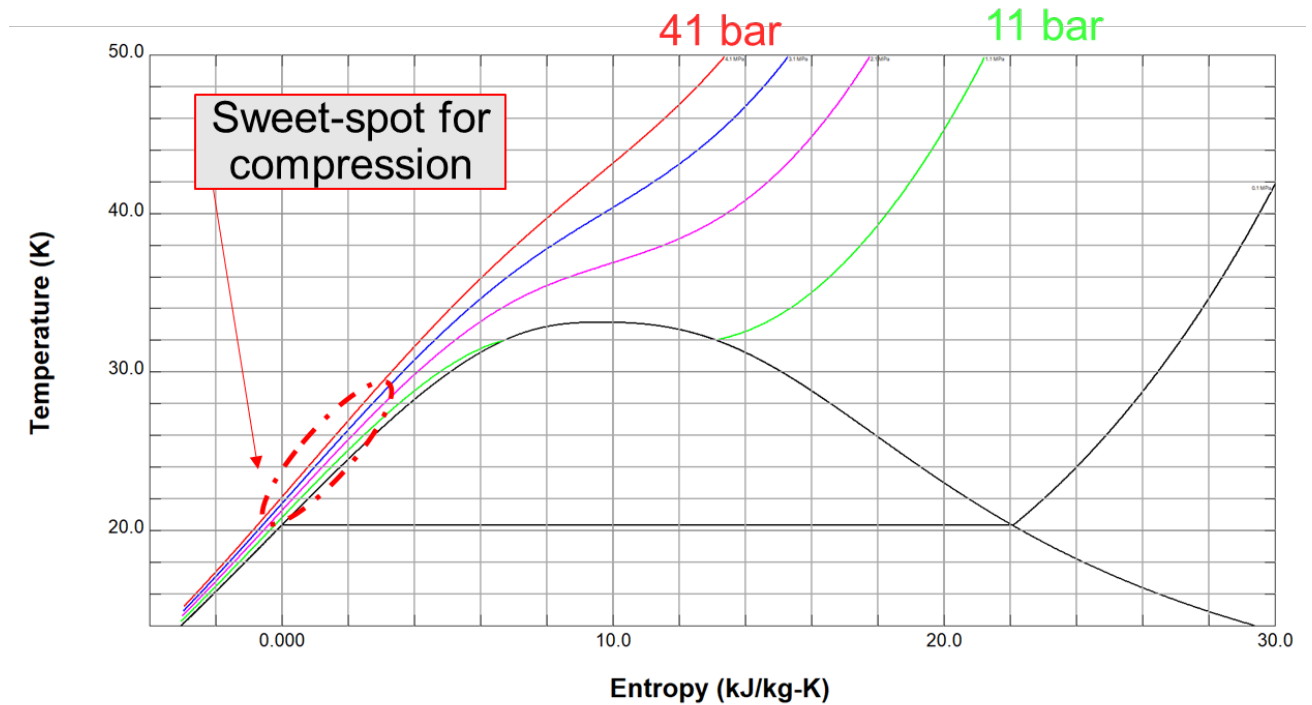
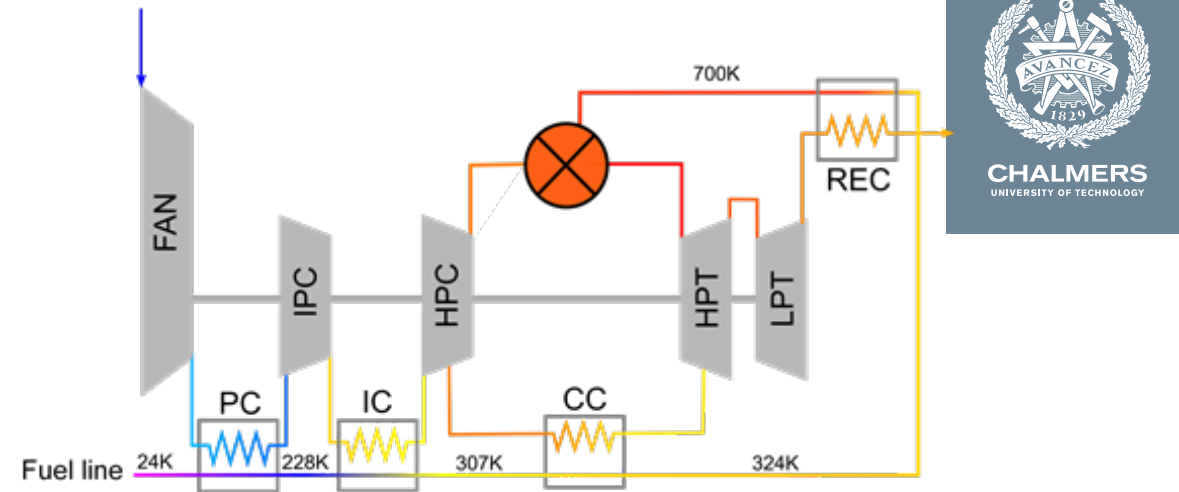
Det finns enormt mycket innovation att plocka hem i:
• material- och produktionsområdet
• sensorer



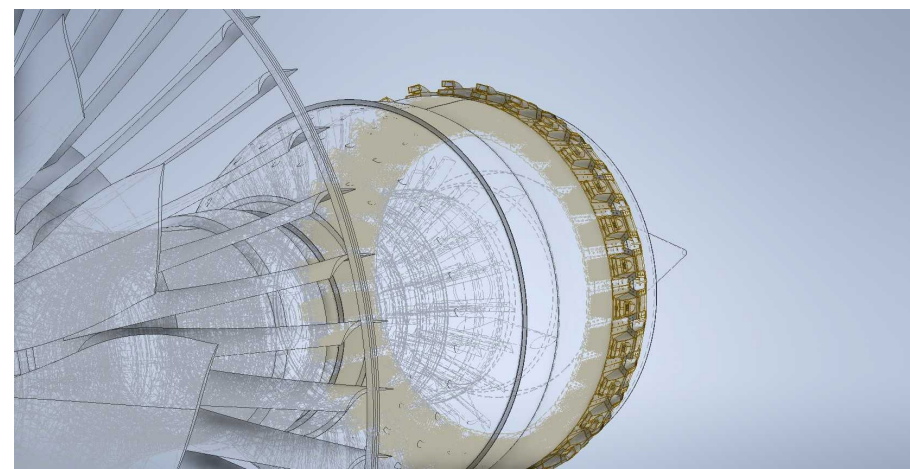
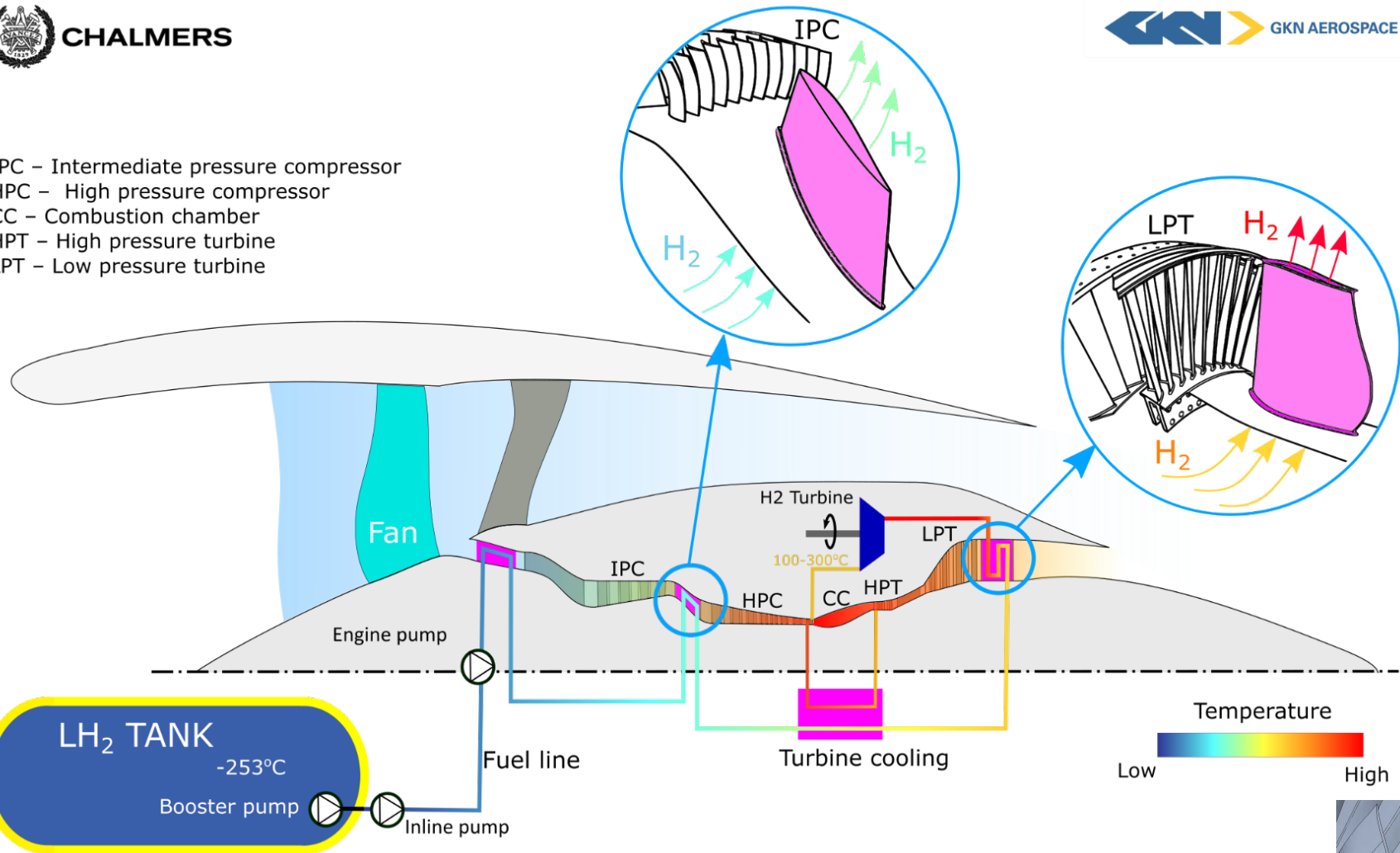
Vätgas egenskaper II

- Mycket hög värmekapacitet och stort temperaturområde skapar synergier

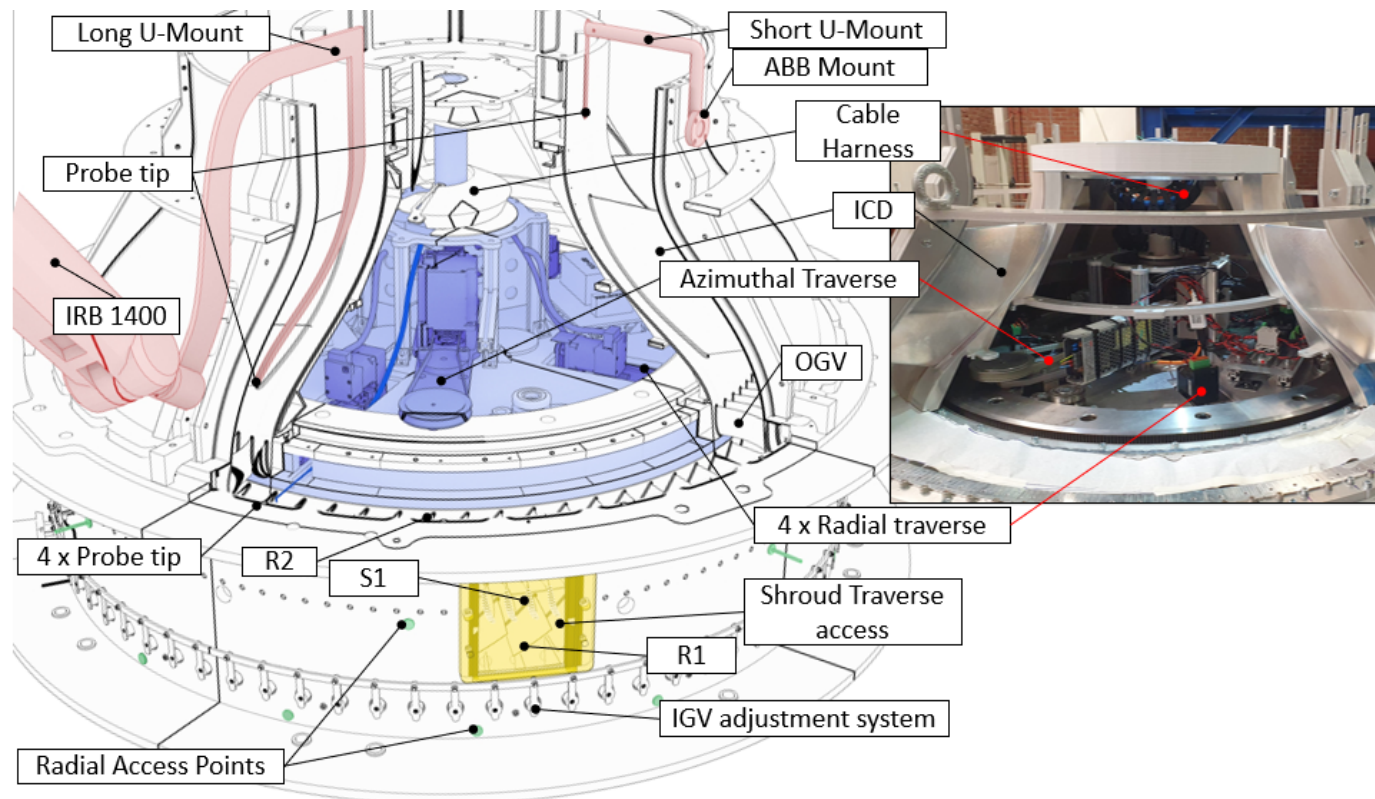
Temperature	Pressure	Enthalpy
22 K	2.3 bar	17.84 kJ/kg
700 K	40 bar	9793.5 kJ/kg
1000 K	40 bar	14229 kJ/kg



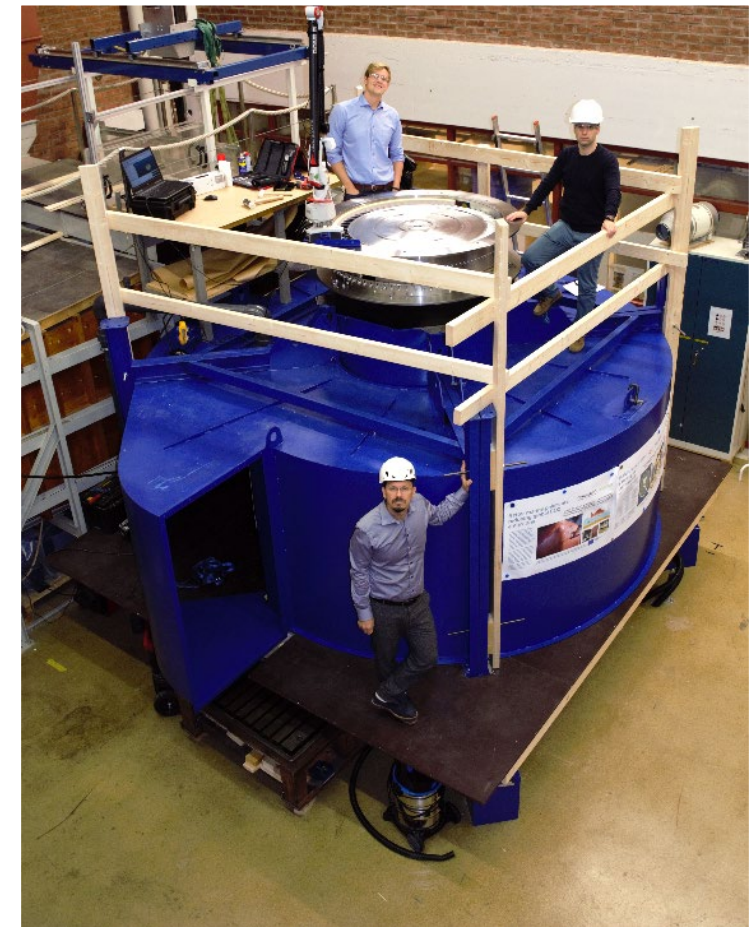
IPC – Intermediate pressure compressor
 HPC – High pressure compressor
 CC – Combustion chamber
 HPT – High pressure turbine
 LPT – Low pressure turbine



Rigg för att mäta värmeöverföring i turbomaskin



















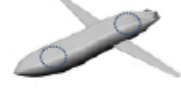

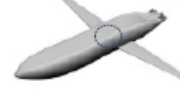
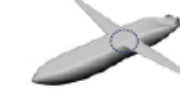










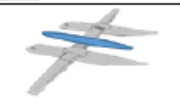
2.5-steps kompressor





CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Flygplans-konfiguration

 Baseline – low wings, tanks above fuselage	 1 – high wings, tanks above fuselage	 2 – low wings, external tanks below wings	 3 – high wings, external tanks below wings
 4 – low wings, external tanks above wings	 5 – external tanks joining box wings	 6 – conformal tanks either side of fuselage and below low wings	 7 – conformal tanks either side of fuselage and well below high wings
 8 – low wings, tank inside aft fuselage	 9 – high wings, tank inside aft fuselage	 10 – low wings, tanks in forward and aft fuselage	 11 – high wings, tanks in forward and aft fuselage
 12 – low wings, tank in centre of fuselage	 13 – high wings, tank in centre of fuselage	 14 – low wings, tank aft of double-bubble fuselage	 15 – high wings, tank aft of double-bubble fuselage
 16 – low wings, tanks at forward and aft ends of double-bubble fuselage	 17 – high wings, tanks at forward and aft ends of double-bubble fuselage	 18 – low wings, tank(s) in centre of double-bubble fuselage	 19 – high wings, tank(s) in centre of double-bubble fuselage
 20 – low wings, tanks aft and above double-deck fuselage	 21 – mid-height wings, tanks aft and above double-deck fuselage	 22 – low wings, tank(s) in centre of double-deck fuselage	 23 – mid-height wings, tank(s) in centre of double-deck fuselage
 24 – low wings, tanks at bottom of double-deck fuselage	 25 – mid-height wings, tanks at bottom of double-bubble fuselage	 26 – BWB with mid-height wings, internal under-floor tanks	 27 – BWB with mid-height wings, int. under-floor and external under-wing tanks
 28 – low wings, double fuselages, tanks inside aft fuselages	 29 – high wings, double fuselages, tanks inside aft fuselages	 30 – high wings, double fuselages, external tank on centreline	

Rompokos, P, Rolt A, Nalianda D, Isekveren A T, Senné C, Grönstedt T., Hamidreza A., Synergistic technology combinations for future commercial aircraft using liquid hydrogen”, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Volume143, Issue, 7, 2021