

CO2 Systems for Energy Conservation in Commercial Refrigeration



Εισηγητής: Δαλαβούρας Δημήτριος

ΓΕΝΙΚΗ ΨΥΚΤΙΚΗ ΑΤΕΚΕ
www.general-refrigeration.gr

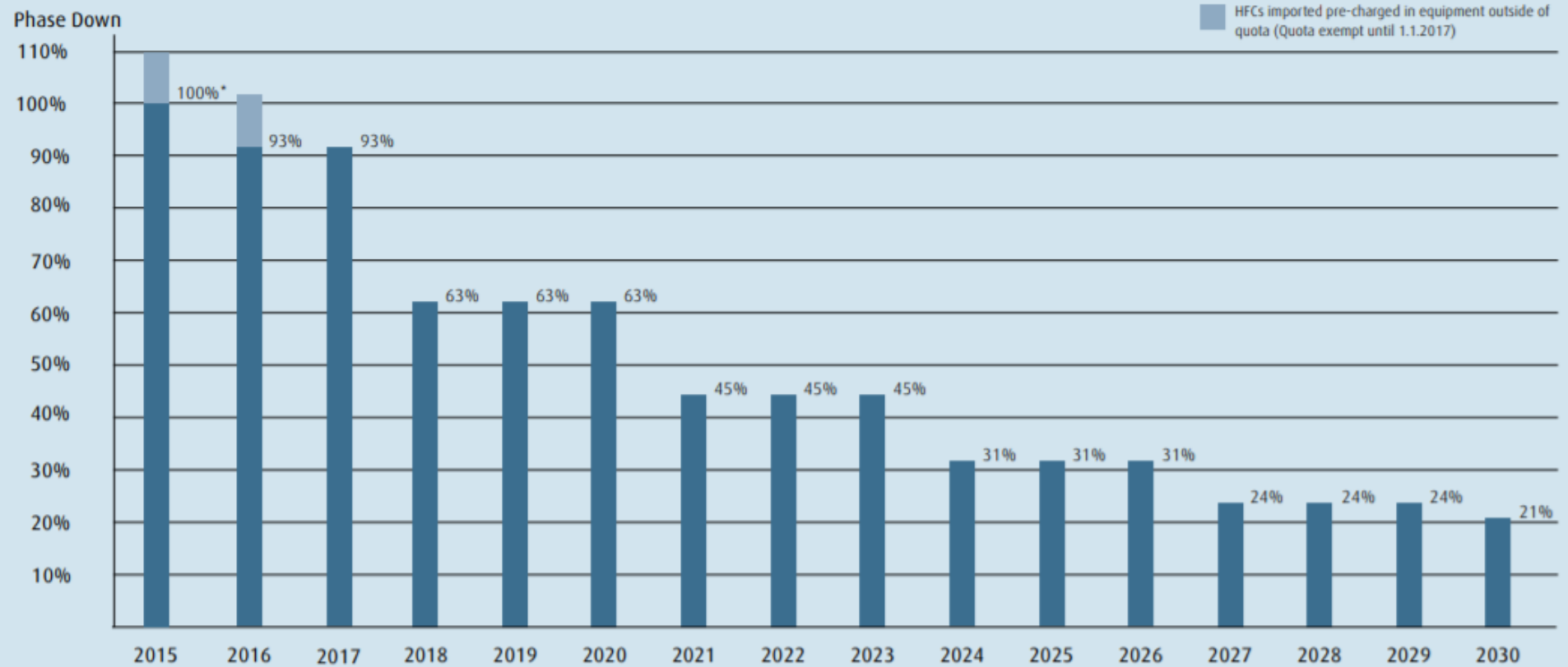
Κανονισμός F-gas

Ο ευρωπαϊκός κανονισμός F-gas έχει ως στόχο περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σε αυτά περιλαμβάνονται και τα HFC ψυκτικά ρευστά. Για να το πετύχει αυτό ακολουθεί δύο διαδρομές:

- ▶ Περιορισμός της συνολικής ποσότητας HFC που μπορούν να πωληθούν στην ΕΕ
- ▶ Καλύτερη πρόληψη διαρροών από τον εξοπλισμό που περιέχει f-gases, μέσω υποχρεωτικής ανάκτησης των ψυκτικών ρευστών και με την εκπαίδευση και πιστοποίηση του προσωπικού που διαχειρίζεται αυτά τα αέρια.

Κανονισμός F-gas

Diagram 1: HFC phase down schedule (CO₂e basis, in %)



* 100% = Average of 2009–2012

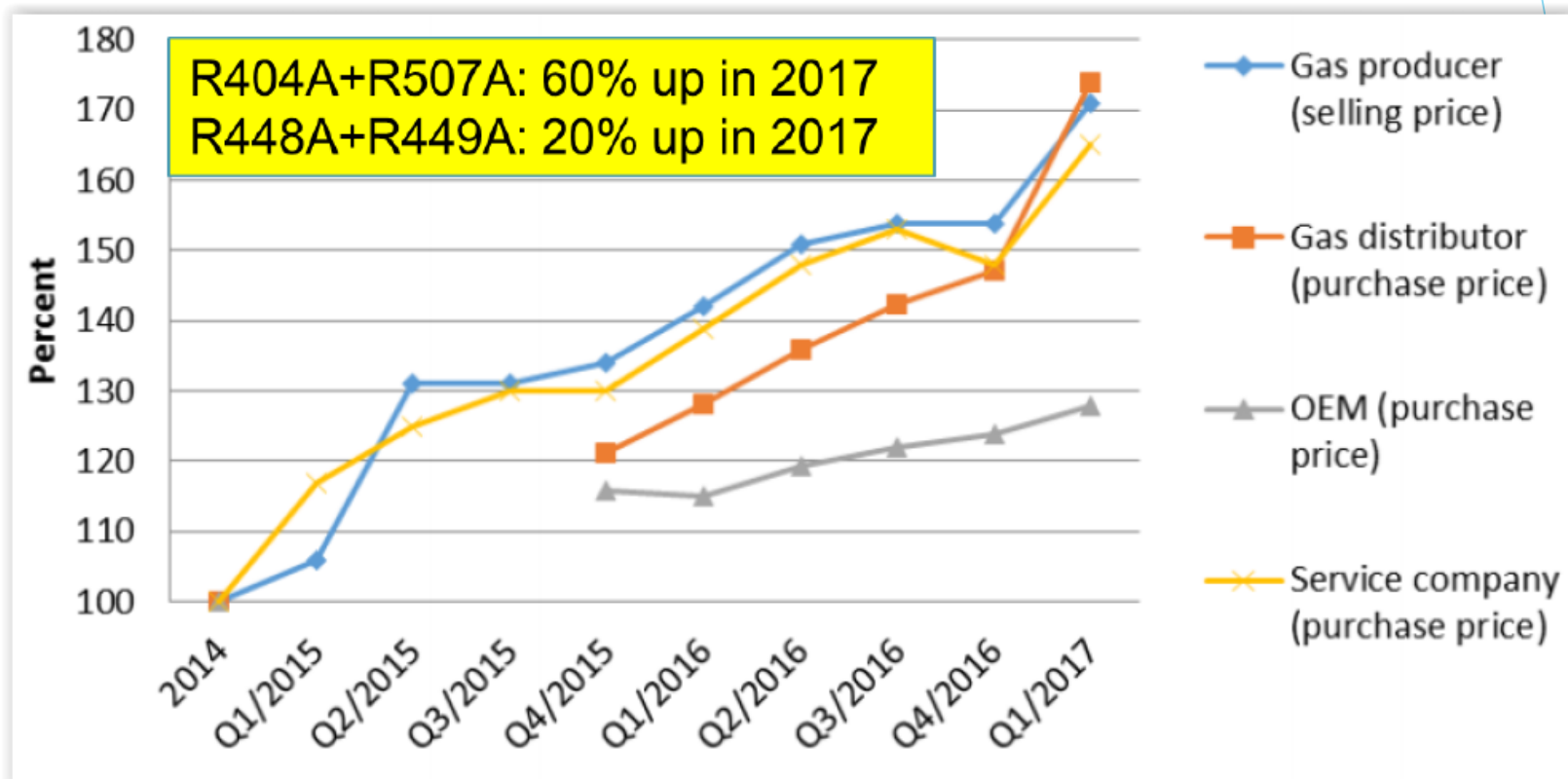
Κανονισμός F-gas

System charge	Leak test frequency No fixed leak detection	Leak test frequency With fixed leak detection
5* to < 50 tonnes CO ₂ equiv. e.g. 1.27 to < 12.7 kg R404A e.g. 2.37 to < 23.7 kg R407A e.g. 3.49 to < 34.9 kg R134a	Once per year (every 12 months)	Once every two years (every 24 months)
50 to < 500 tonnes CO ₂ equiv. e.g. 12.7 to < 127 kg R404A e.g. 23.7 to < 237 kg R407A e.g. 34.9 to < 349 kg R134a	Twice per year (every 6 months)	Once per year (every 12 months)
> 500 tonnes CO ₂ equiv. Fixed leak detection must be fitted e.g. > 127 kg R404A e.g. > 237 kg R407A e.g. > 349 kg R134a	Not applicable	Twice per year (every 6 months)

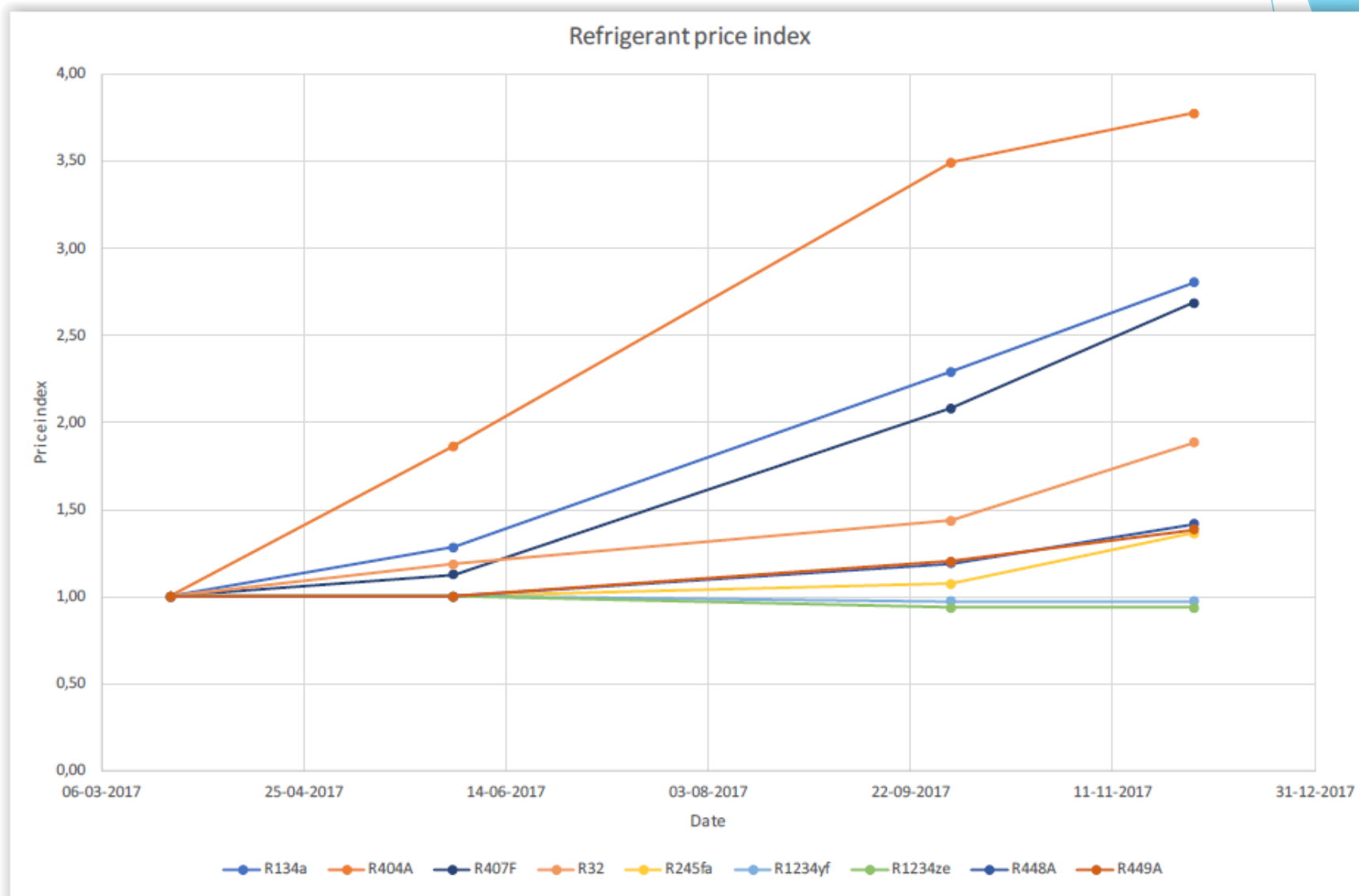
Κανονισμός F-gas

Ban effective from 1st Jan...	Application	Ban effective for refrigerants with a GWP greater than...
2015	Domestic fridges, freezers	150
2020	Commercial fridges, freezers	2500
2022	Commercial fridges, freezers	150
2020	Most stationary HFC equipment	2500
2022	Central plant greater than 40 kW cooling capacity Except as the high stage of a cascade	150 1500
2020	Moveable room air conditioning	150
2025	Single split air conditioning with less than 3kg charge	750

Κανονισμός F-gas



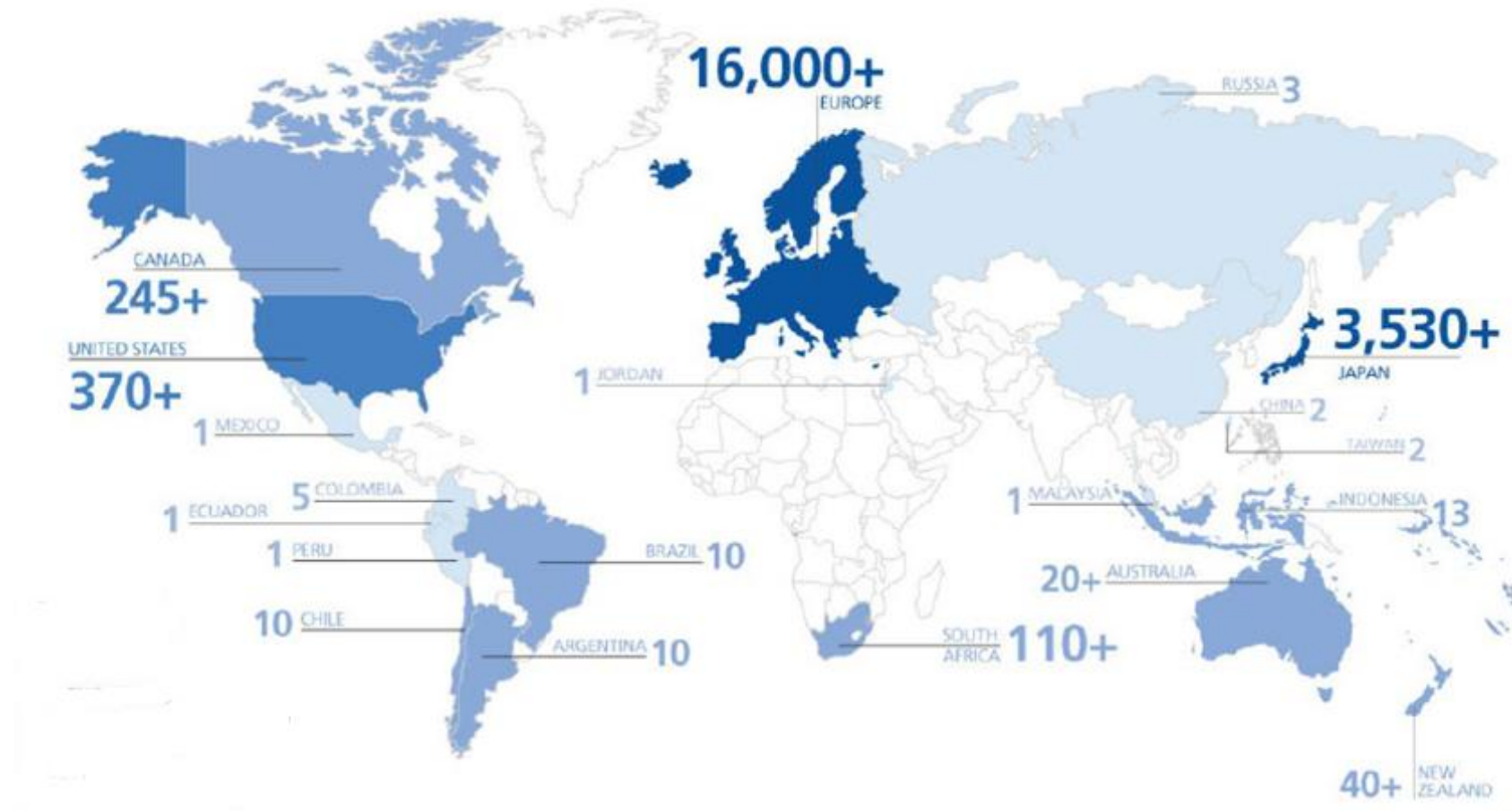
Κανονισμός F-gas



Διάδοση των συστημάτων CO₂

CO₂ transcritical stores in the world

October 2018



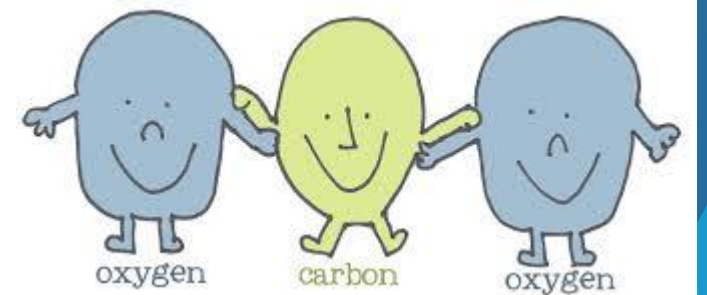
Ιδιότητες CO2

ODP=0

GWP=1

Μη εύφλεκτο

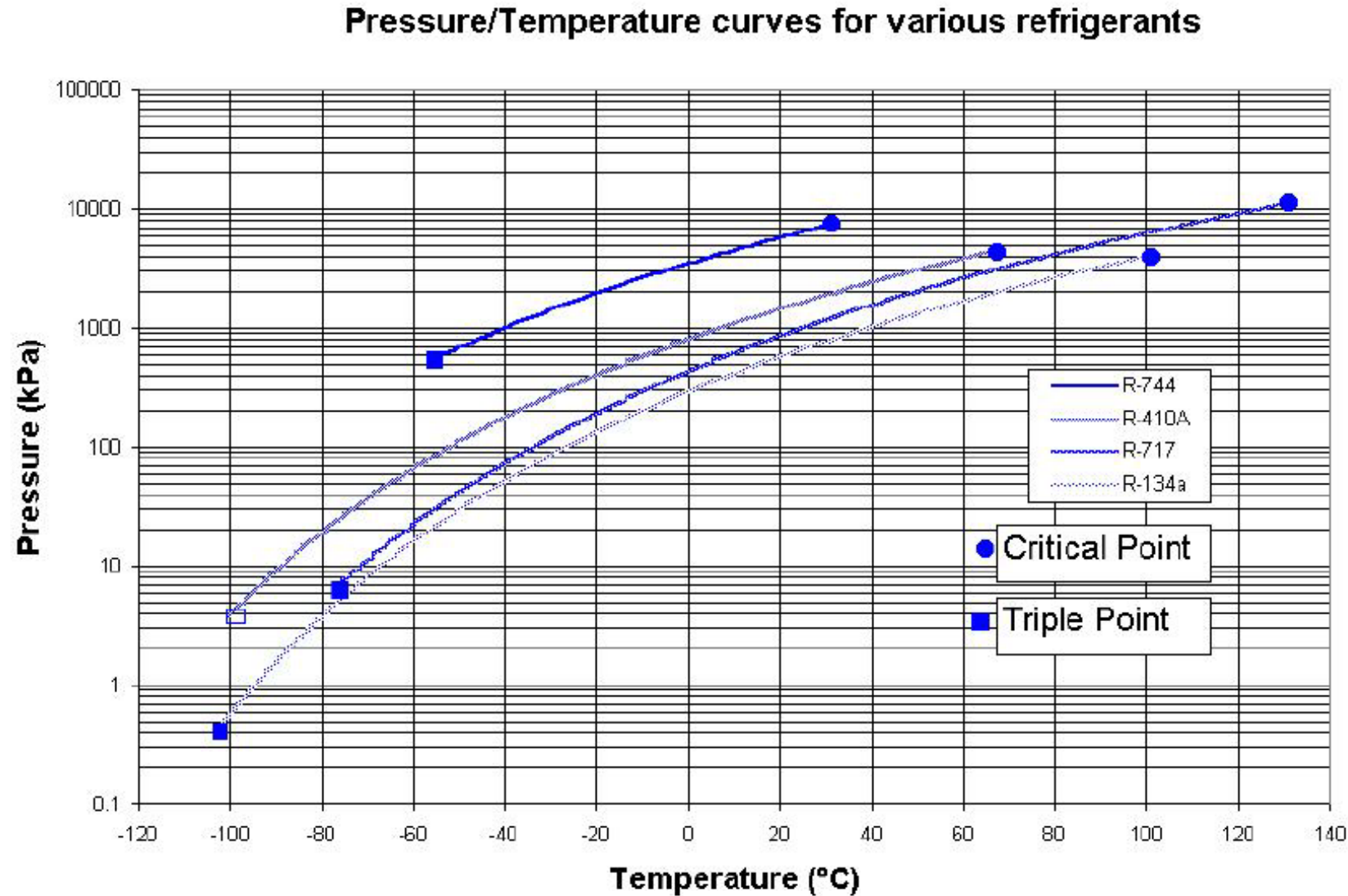
Μη τοξικό



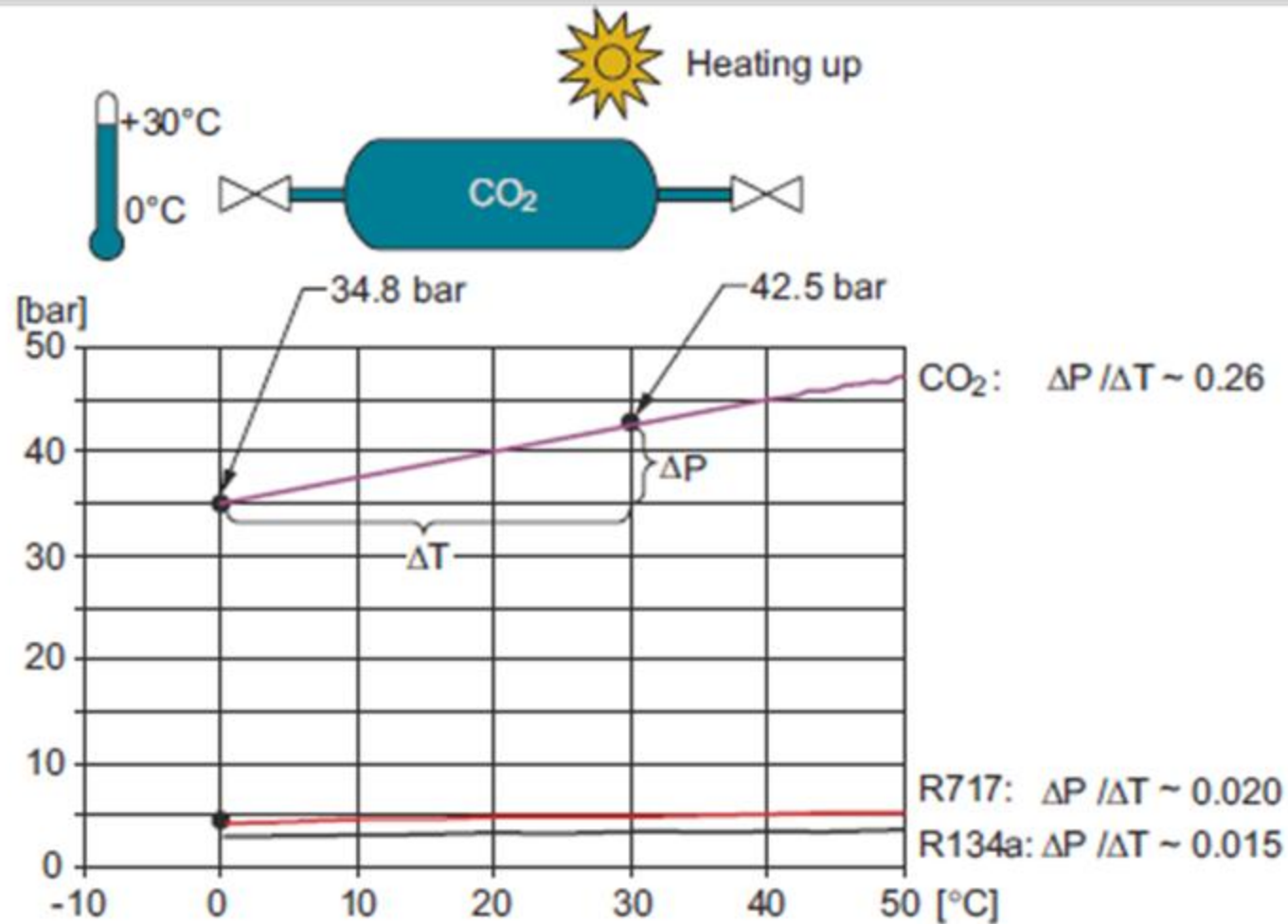
Ιδιότητες CO2

Refrigerant		HFC	HFC	HFC	HFC	HCFC	HFO
	R744	R404A	R134a	R407A	R407F	R22	R1234yf
Temperature at atmospheric pressure	-78.5°C (Temp. of the dry ice)	-46°C (Saturation temp.)	-26°C (Saturation temp.)	-41°C (Mid point saturation temp.)	-43°C (Mid point saturation temp.)	-41°C Saturation (temp.)	-30°C Saturation (temp.)
Critical temperature	31°C	72°C	101°C	82°C	83°C	96°C	95°C
Critical pressure	73.8 bar g	35.7 bar g	41.7 bar g	45.2 bar g	47.5 bar g	49.8 bar g	33.8 bar g
Triple-point pressure	5.2 bar	0.03 bar	0.005 bar	0.013 bar	TBC	< 0.005 bar	tbc
Pressure at a saturated temperature of 20°C	57.2 bar g	10.9 bar g	5.7 bar g	10.2 bar g	10.6 bar g	9.1 bar g	5.9 bar g
Global warming potential	1	3922	1430	1990	1824	1700	4

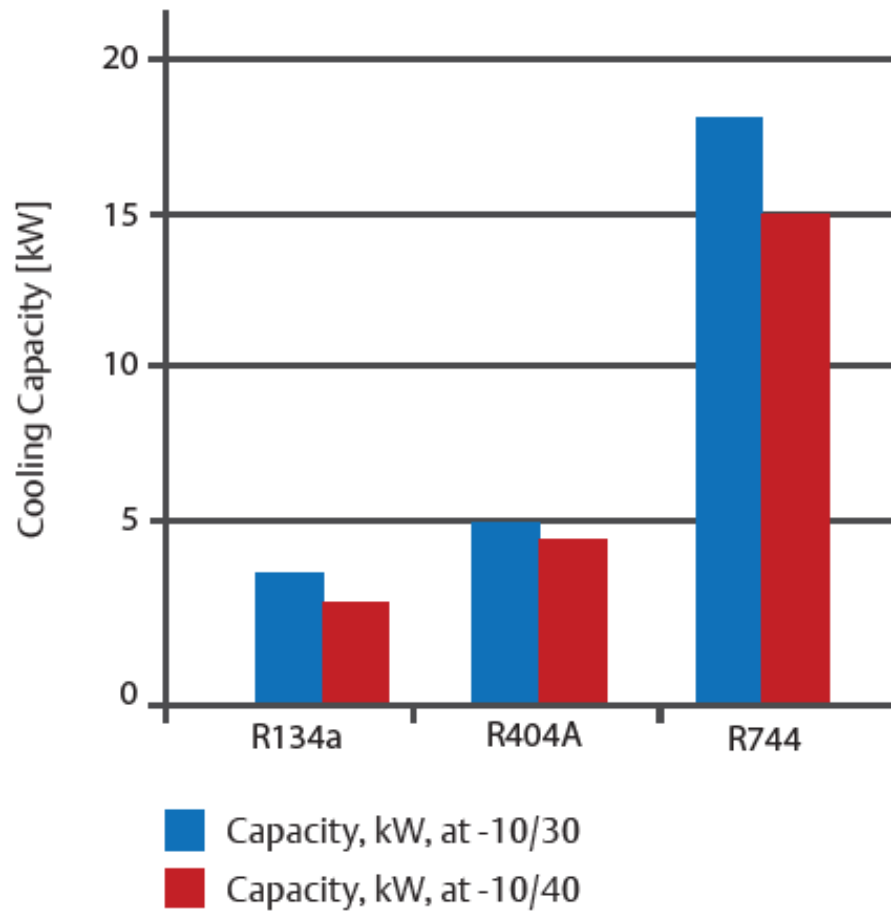
Ιδιότητες CO₂



Ιδιότητες CO₂



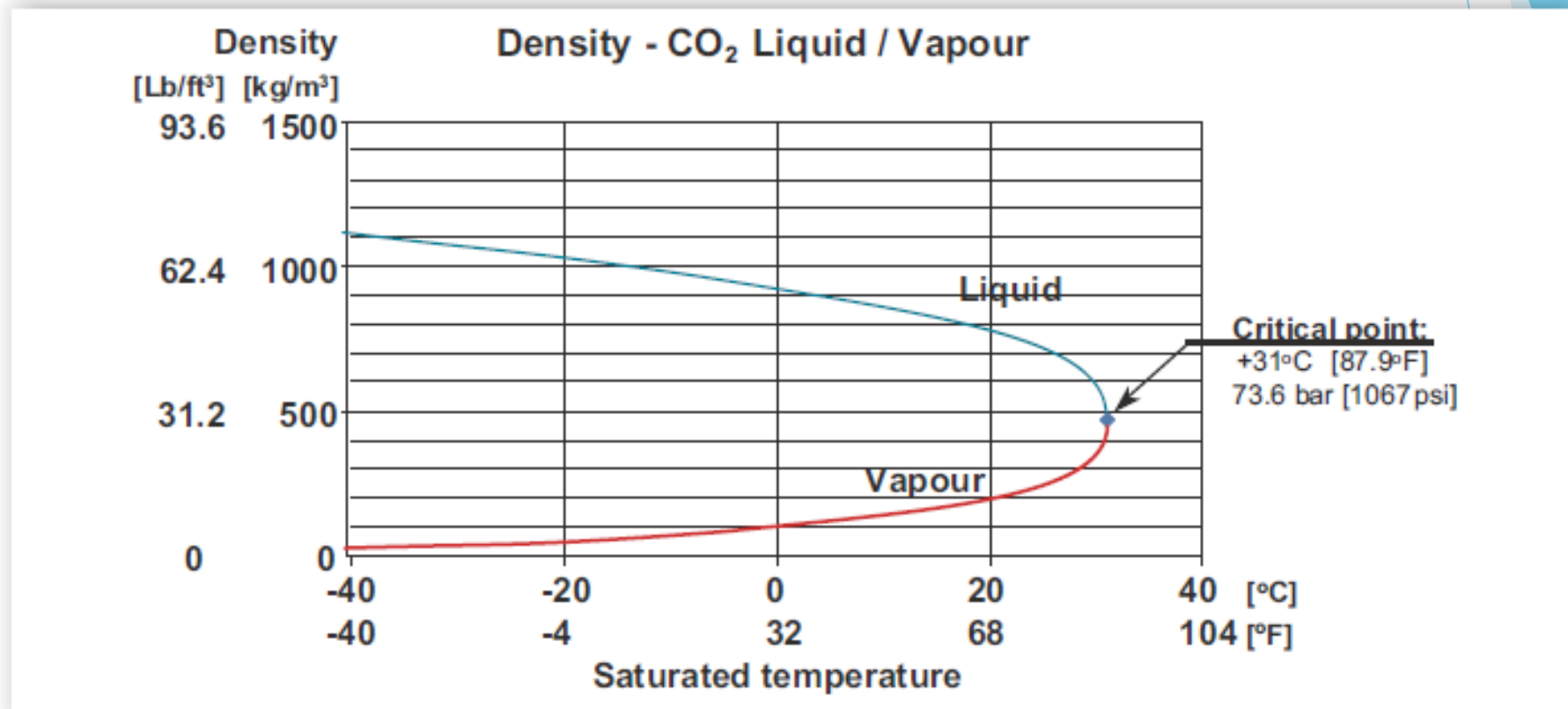
Ιδιότητες CO2



Ιδιότητες CO2

	R404A	R744
Suction line diameter	 28 mm	 12 mm
Liquid line diameter	 8mm	 6mm

Ιδιότητες CO₂

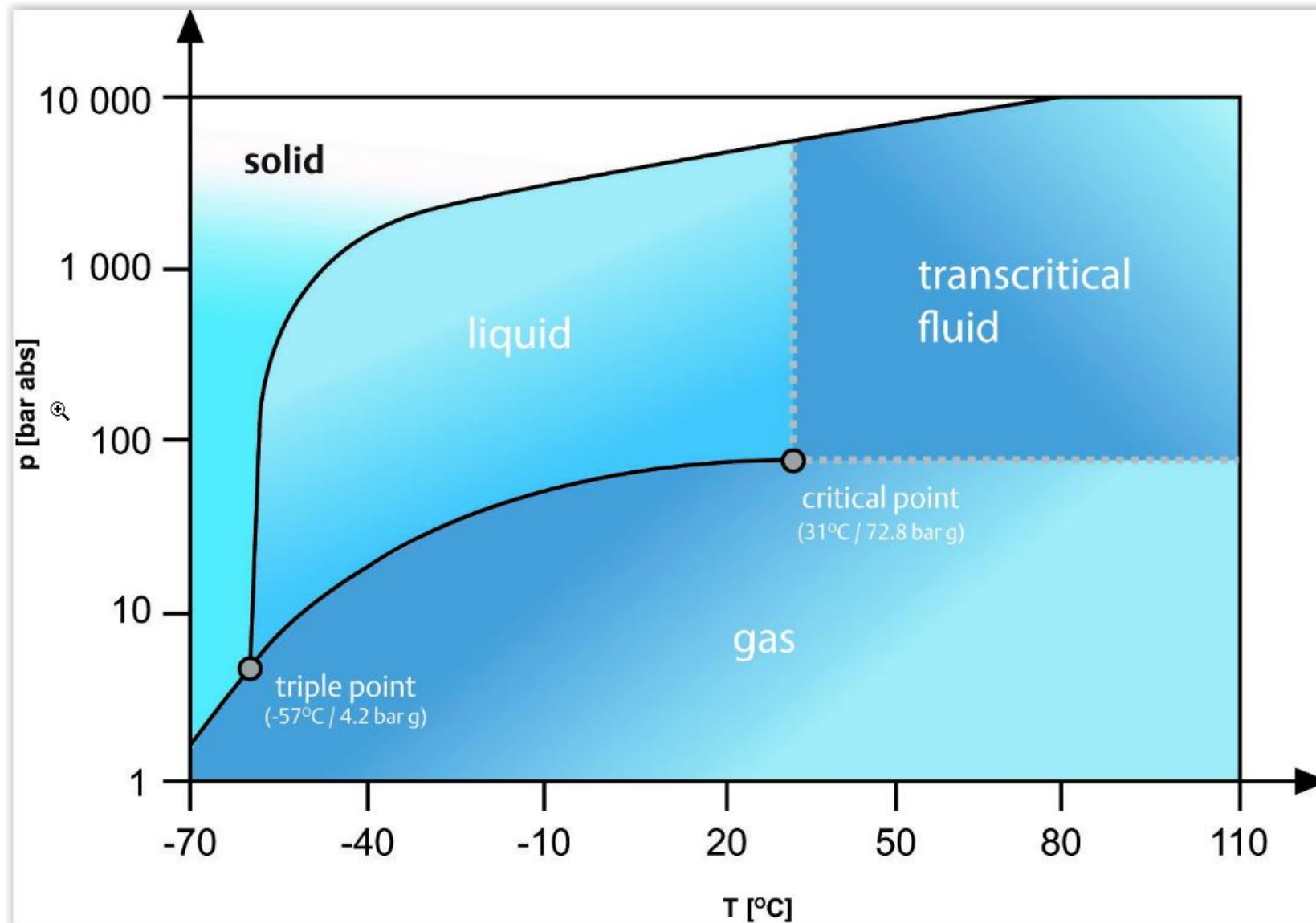


Ιδιότητες CO₂

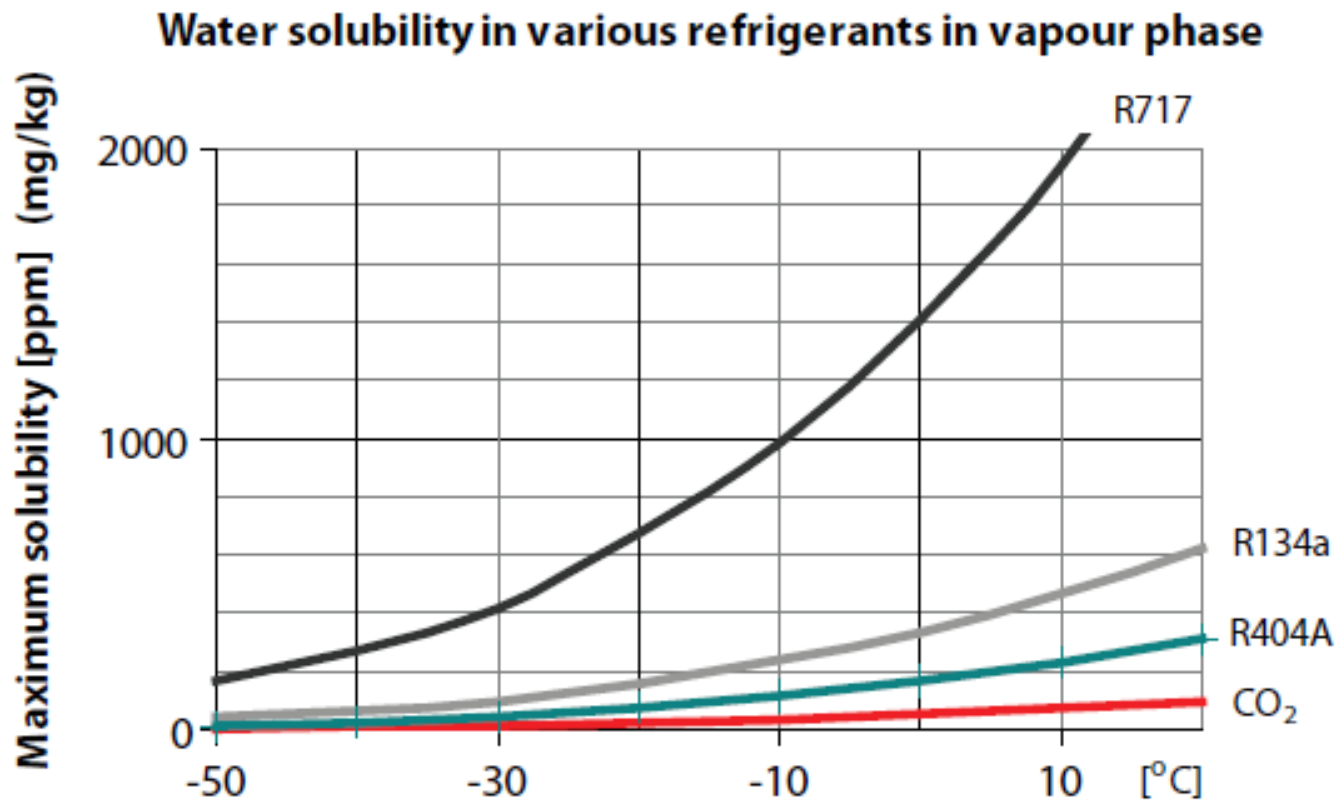
- ▶ Το CO₂ σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι επικίνδυνο.

100.000 ppm	• Λιποθυμία και θάνατος
30.000 ppm	• Δυσκολία αναπνοής, ζαλάδα
20.000ppm	• Κανένα πρόβλημα για μικρό χρονικό διάστημα
5.000 ppm	• Το σύνηθες άνω όριο συναγερμού
370 ppm	• Η κανονική συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα

Ιδιότητες CO₂

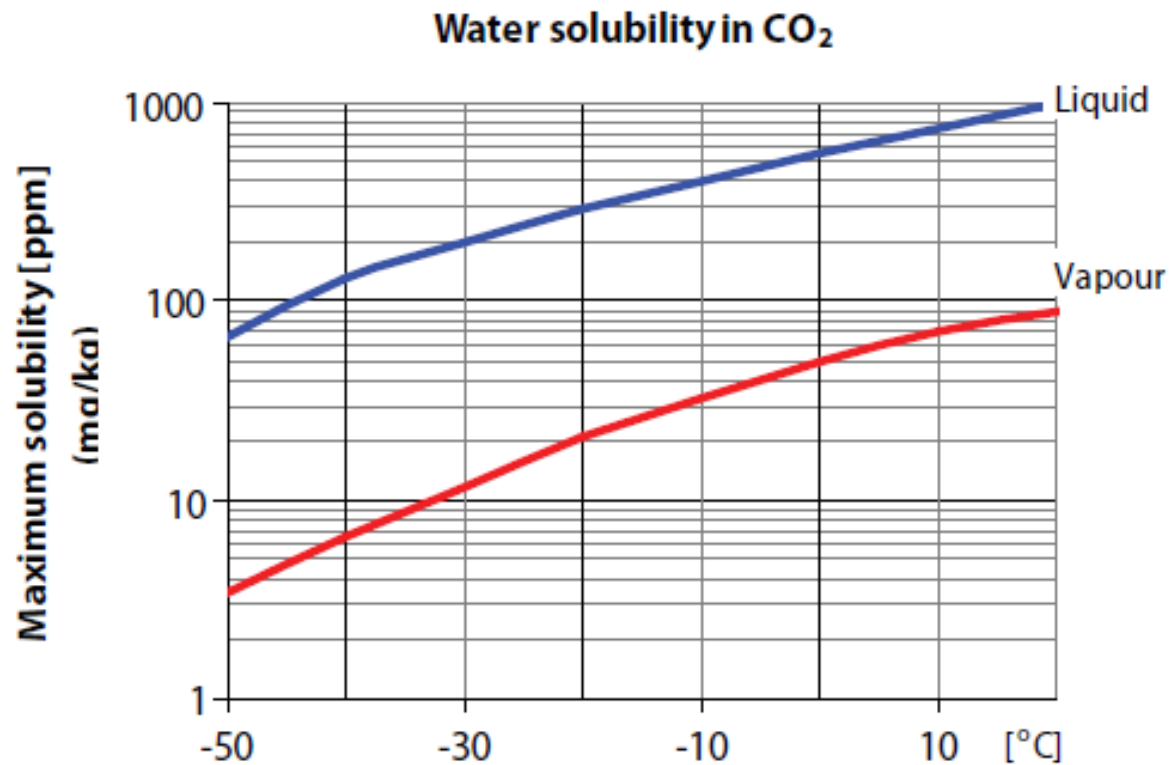


Ιδιότητες CO₂



- Το ανεκτό όριο υγρασίας σε ένα σύστημα CO₂ είναι αρκετά χαμηλότερο από τα άλλα ψυκτικά ρευστά.

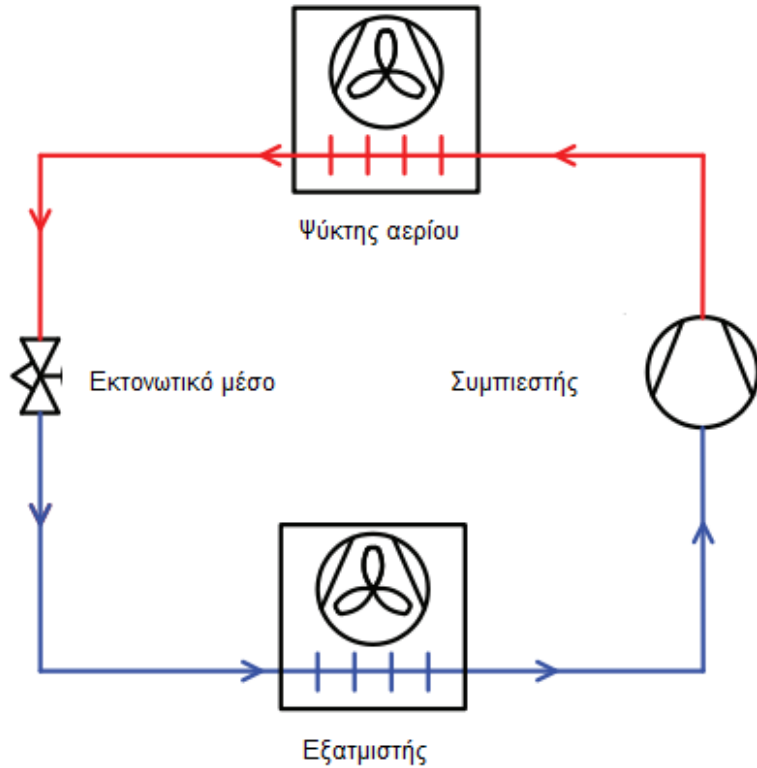
Ιδιότητες CO₂



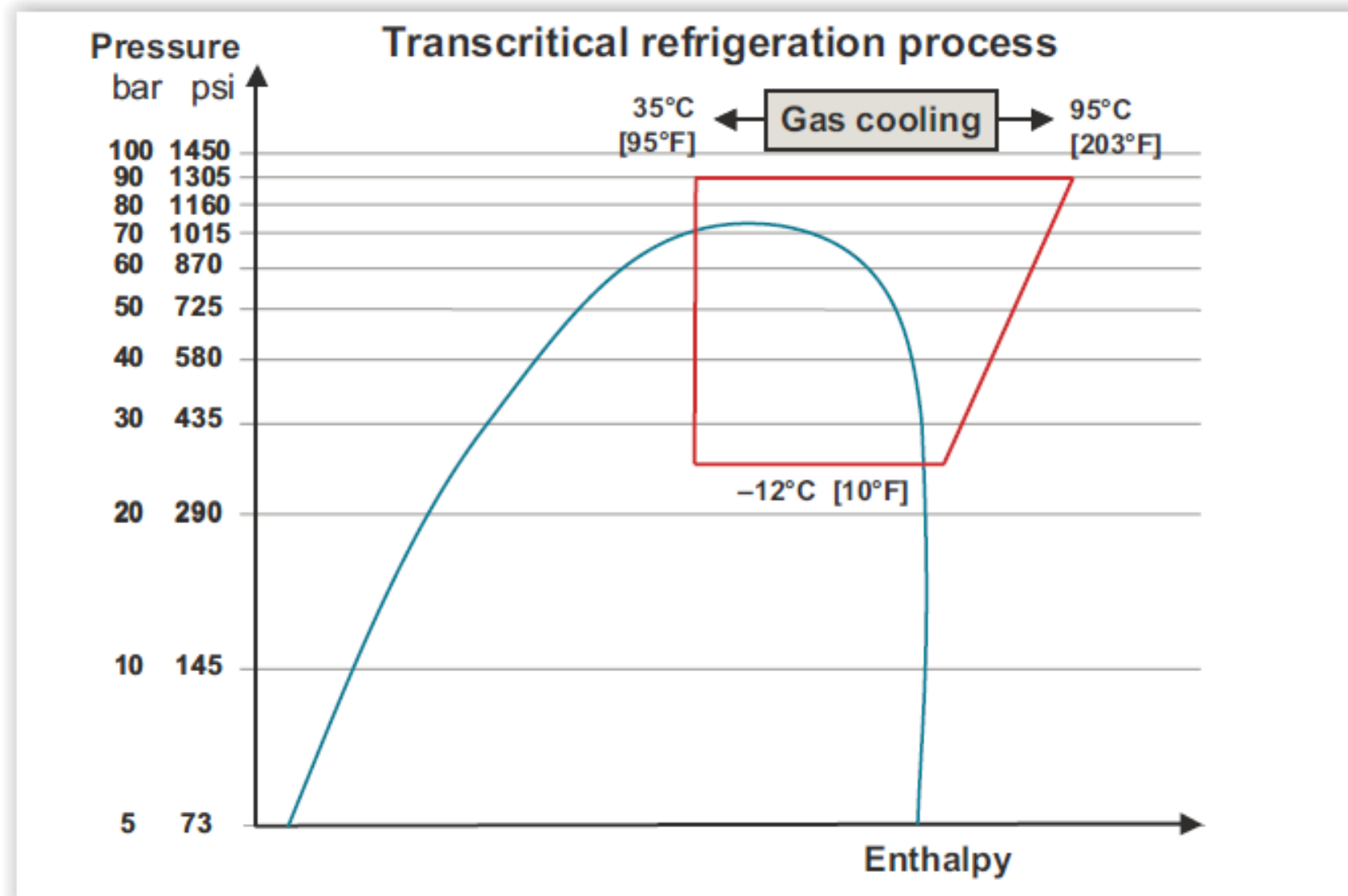
- Στην υγρά φάση η διαλυτότητα είναι πολύ μεγαλύτερη από την αέρια φάση
- Όταν η συγκέντρωση είναι χαμηλότερη από αυτά τα όρια δεν έχει καμία επίπτωση στο κύκλωμα
- Όταν η συγκέντρωση ξεπερνάει αυτά τα όρια, δημιουργούνται σταγονίδια νερού.
- Προκαλούνται παγοφραγμοί

Συστήματα transcritical

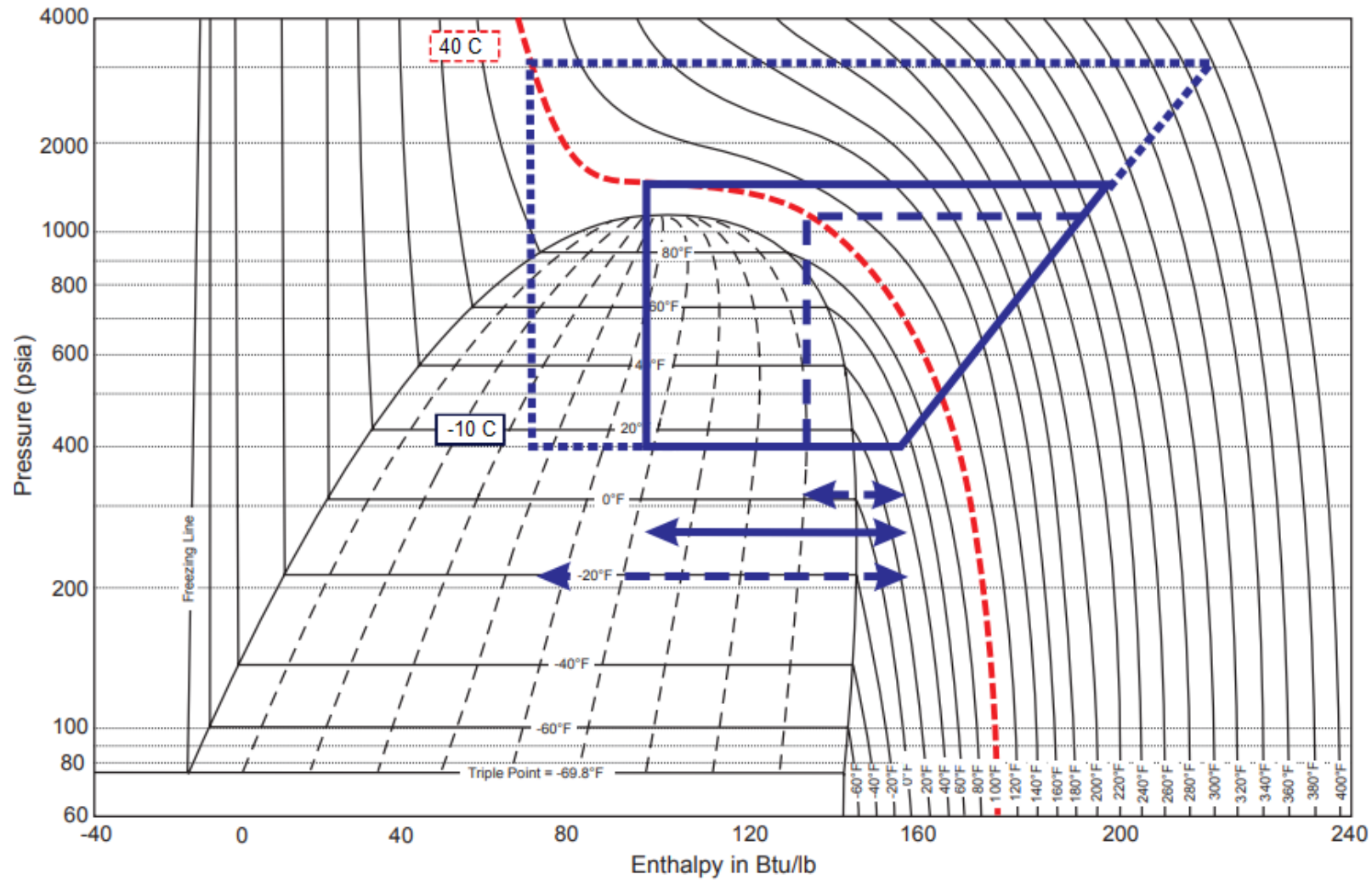
Transcritical ονομάζονται τα συστήματα στα οποία η απόρριψη θερμότητας πραγματοποιείται πάνω από το κρίσιμο σημείο του ρευστού (θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 με 25°C)



Συστήματα transcritical

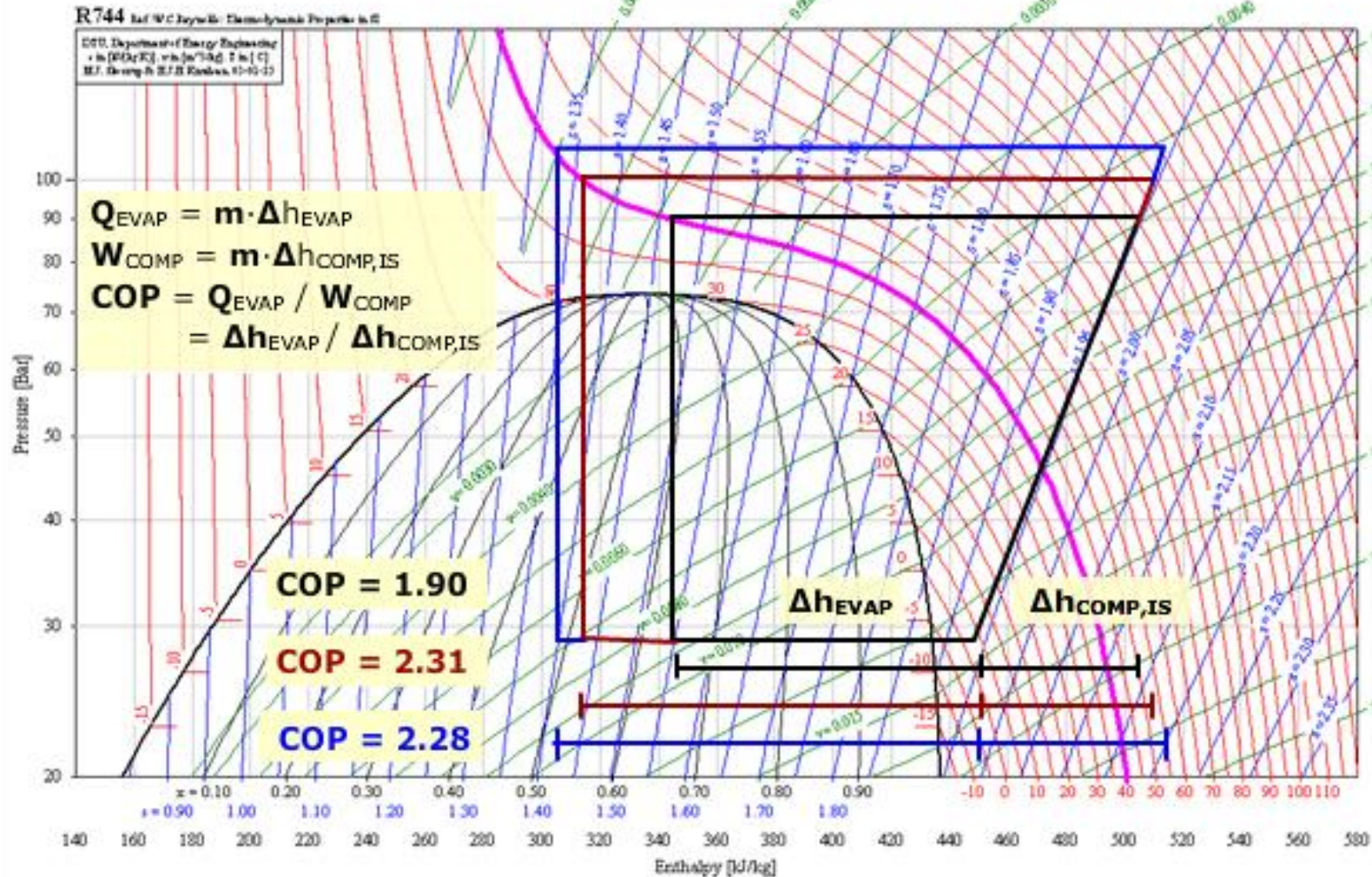


Συστήματα transcritical

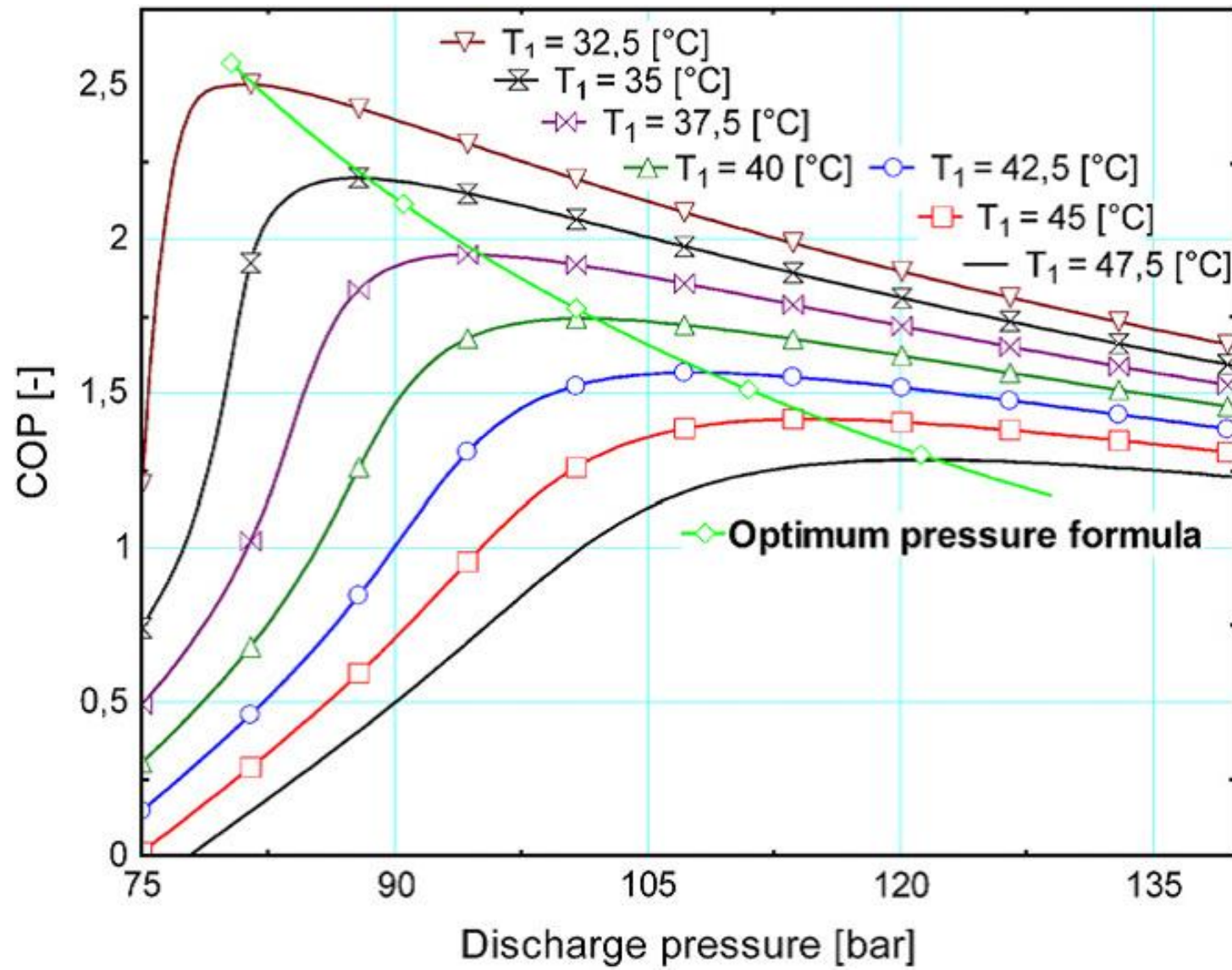


Συστήματα transcritical

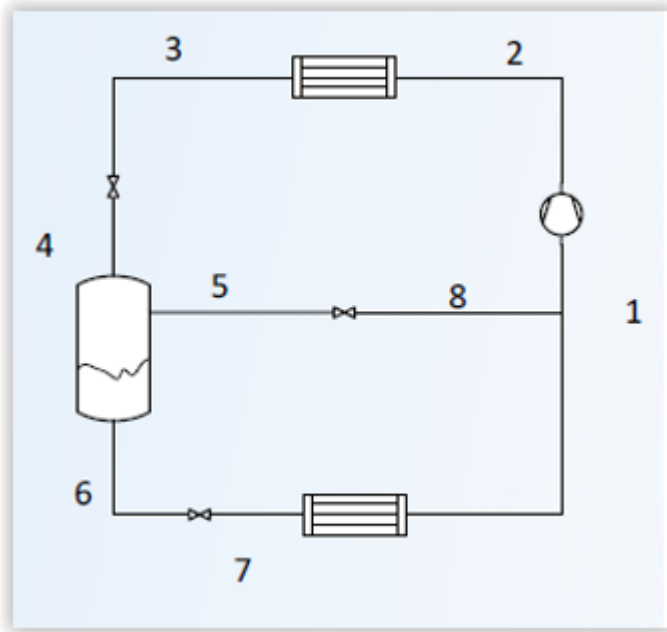
Επιρροή της πίεσης εξόδου του συμπιεστή στο COP



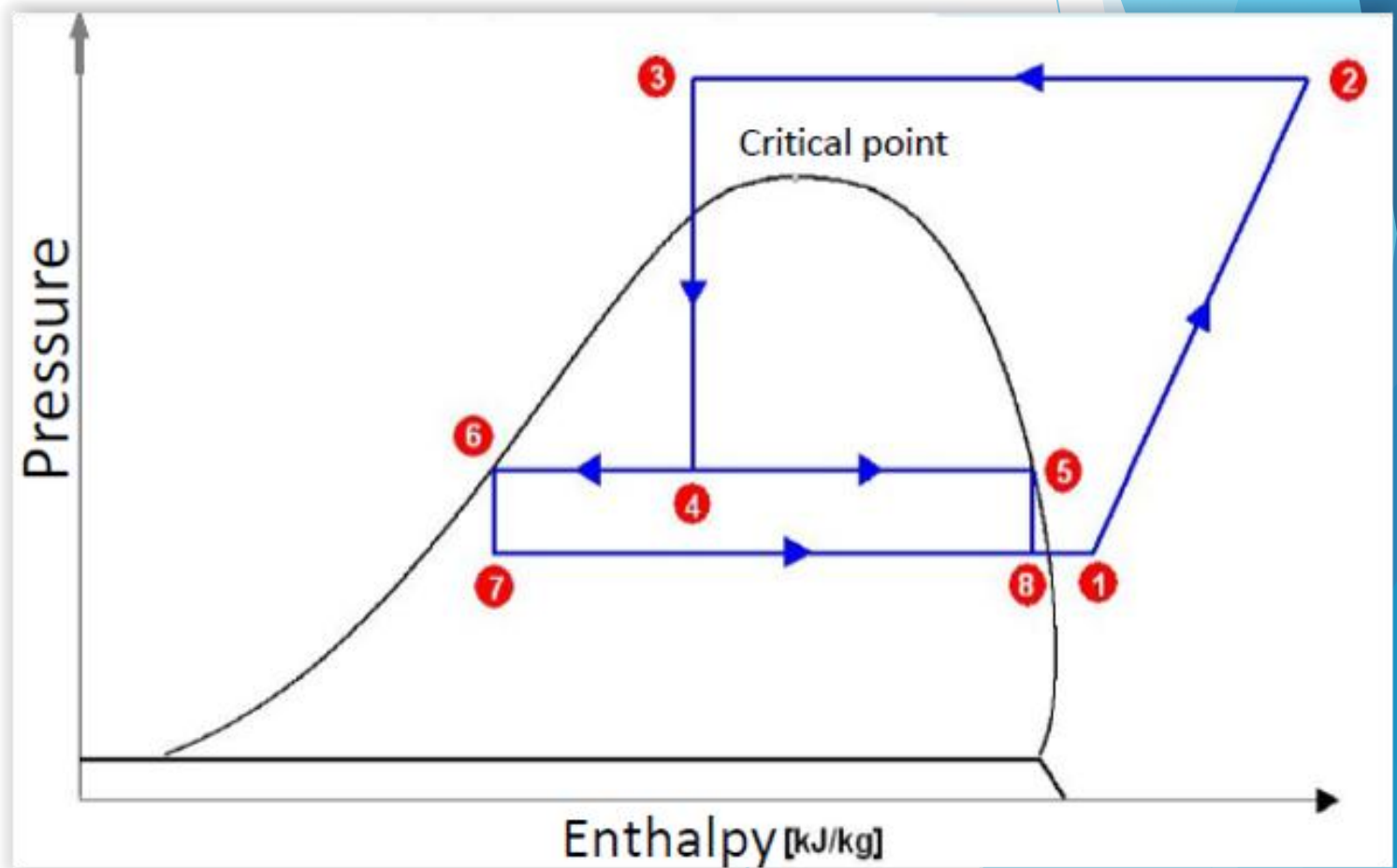
Συστήματα transcritical



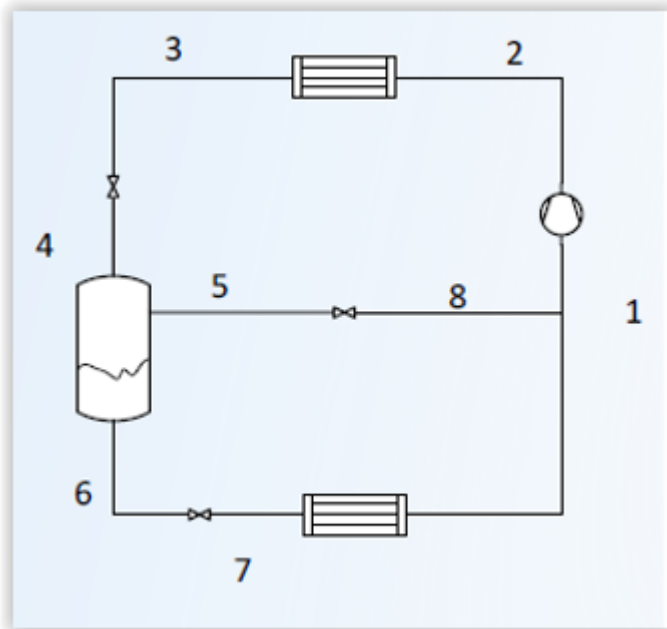
Σύστημα transcritical με GBV



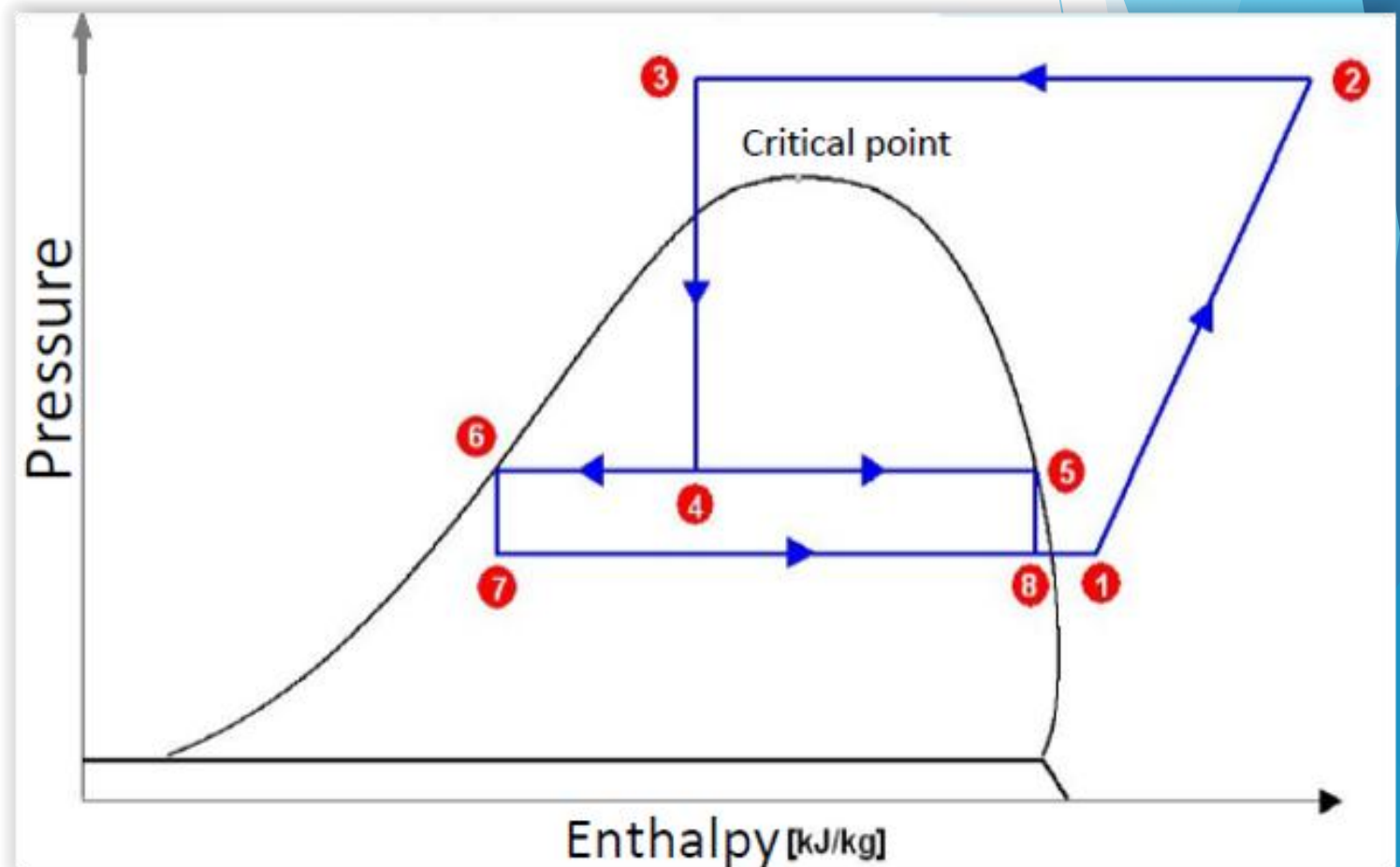
1-2 Συμπύεση (28-100 Bar)
2-3 Ψύξη αερίου (περίπου 3 K πάνω
από την θερμοκρασία περιβάλλοντος)



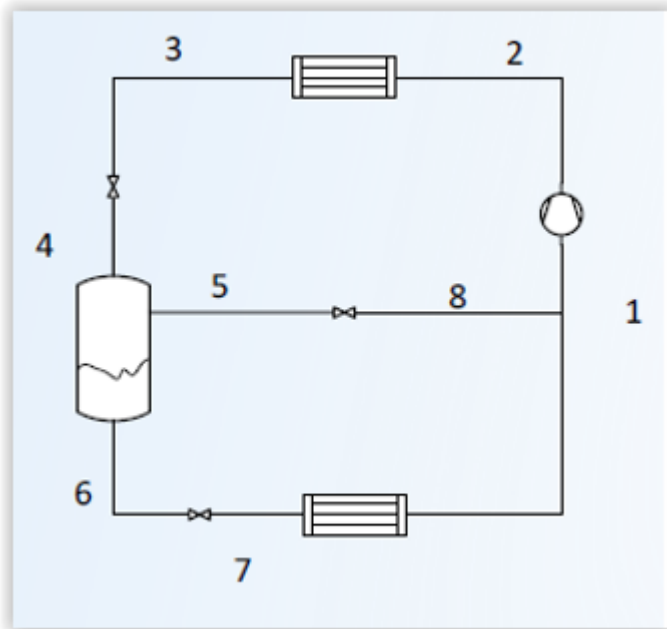
Σύστημα transcritical με GBV



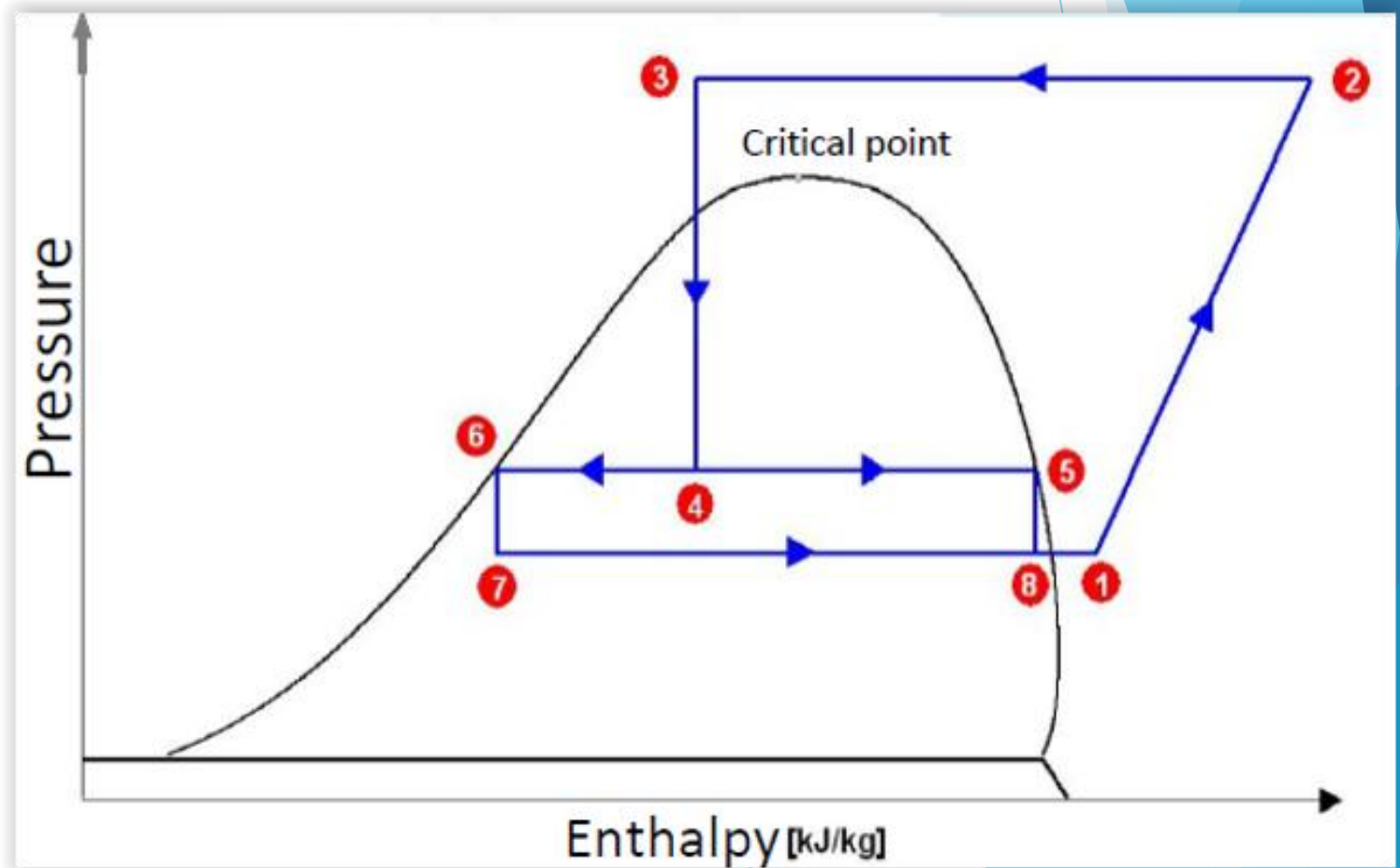
3-4 Εκτόνωση σε πίεση subcritical (35 bar)
4-5-6 Διαχωρισμός φάσεων στο receiver.



Σύστημα transcritical με GBV

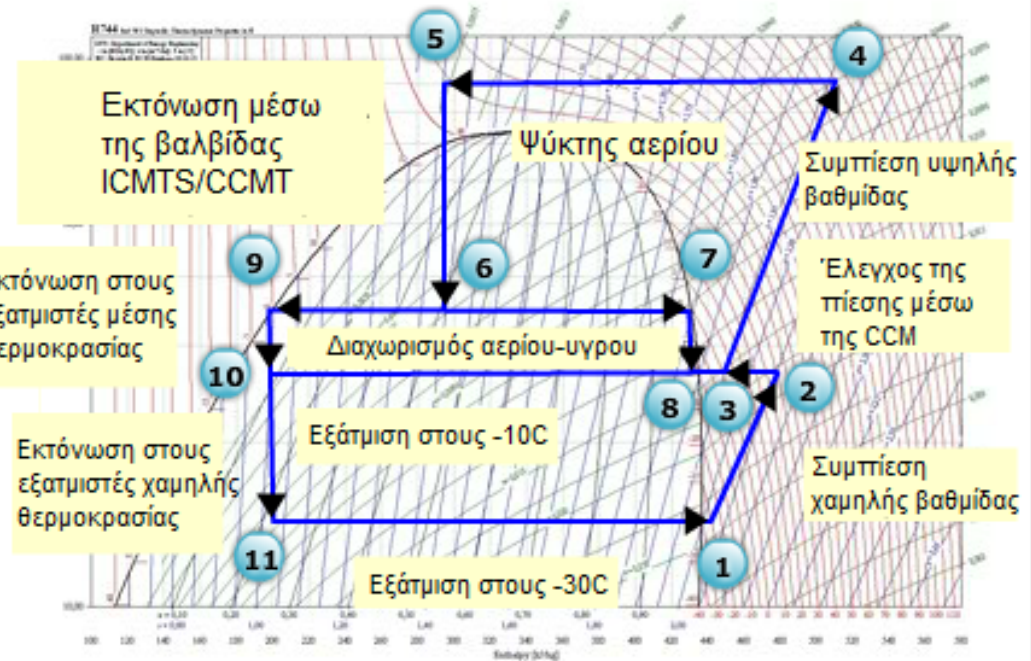
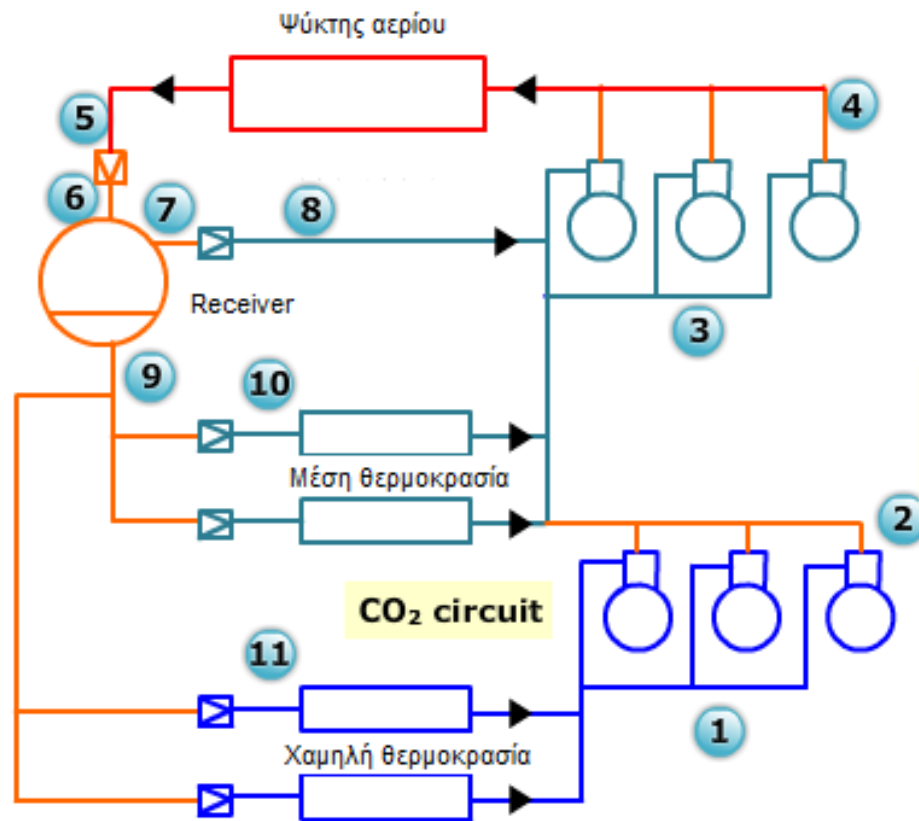


6-7 Εκτόνωση του CO₂ για τους
εξατμιστές
7-8 Εξάτμιση

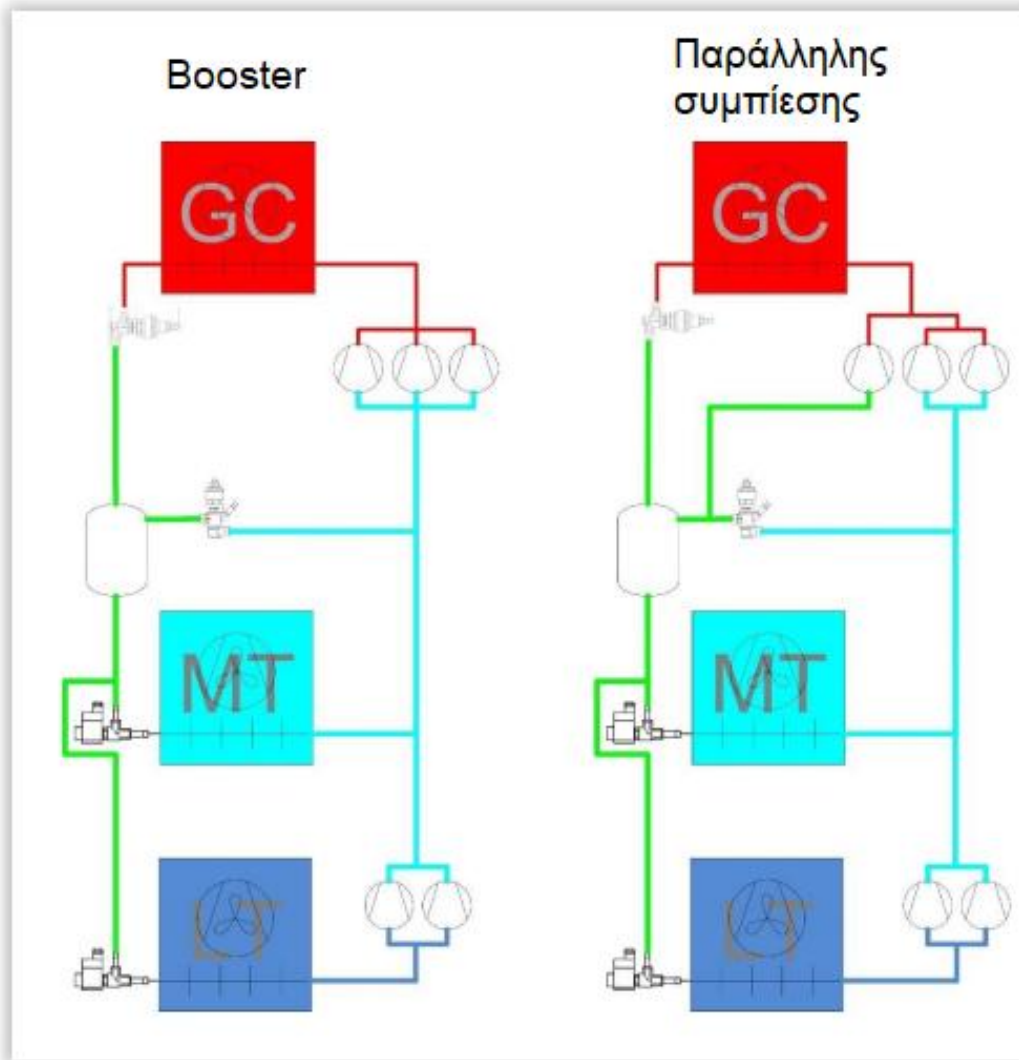


Σύστημα transcritical booster

Σύστημα Booster δύο σταδίων

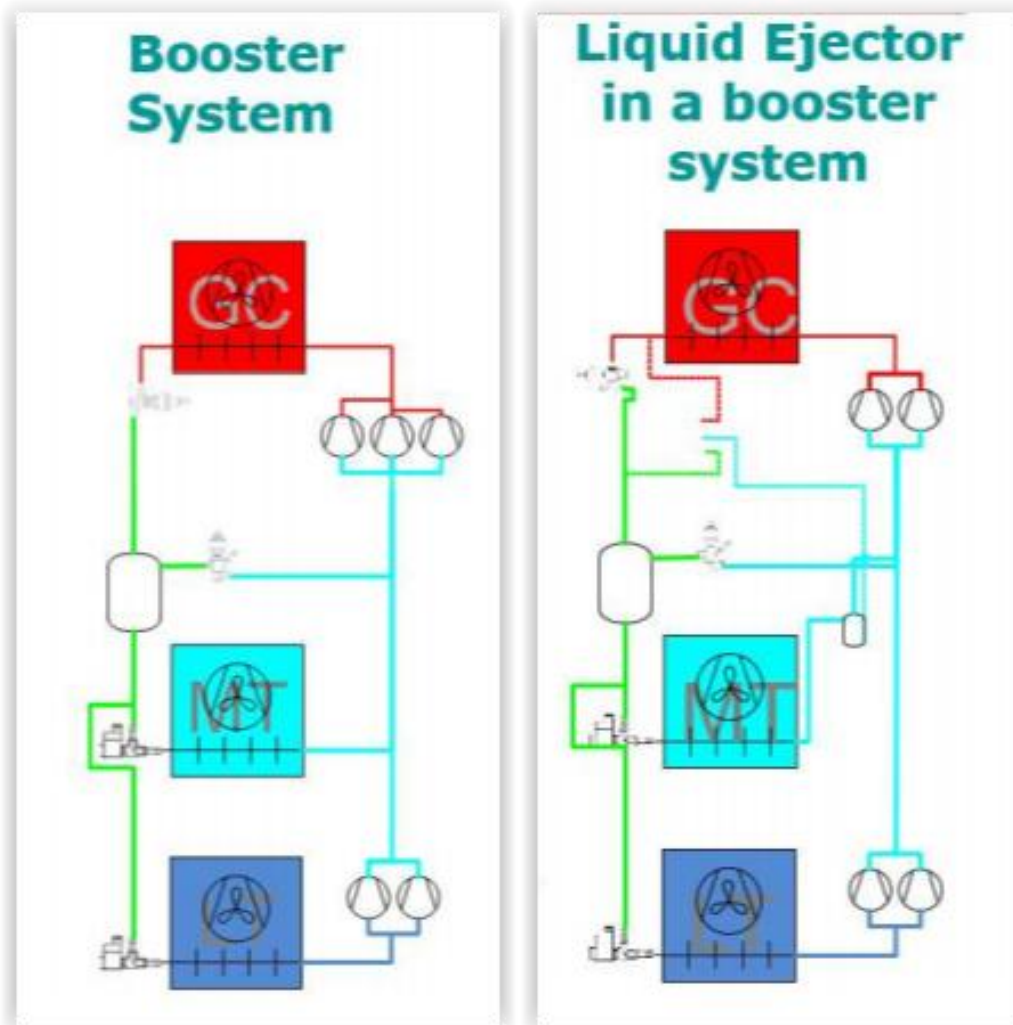


Συστήματα transcritical παράλληλης συμπίεσης



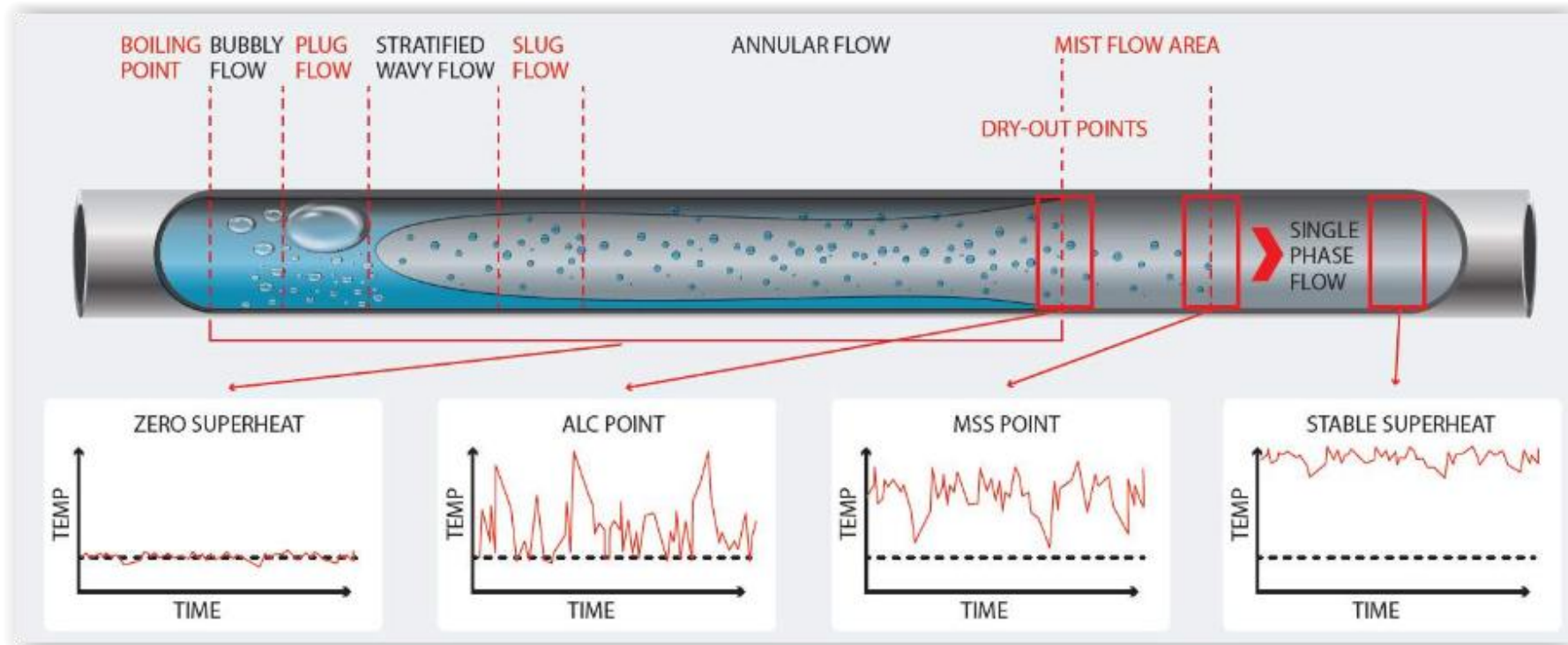
- Το υγρό CO₂ που συλλέγεται στο δοχείο χαμηλής πίεσης περνά στο δοχείο υψηλής πίεσης μέσω αντλίας
- Χάρη στην έλλειψη υπερθέρμανσης η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται στην θερμοκρασία εξάτμισης σε ολόκληρο τον εξατμιστή
- Με αυτό τον τρόπο η θερμοκρασία εξάτμισης μπορεί να αυξηθεί

Συστήματα transcritical liquid ejector

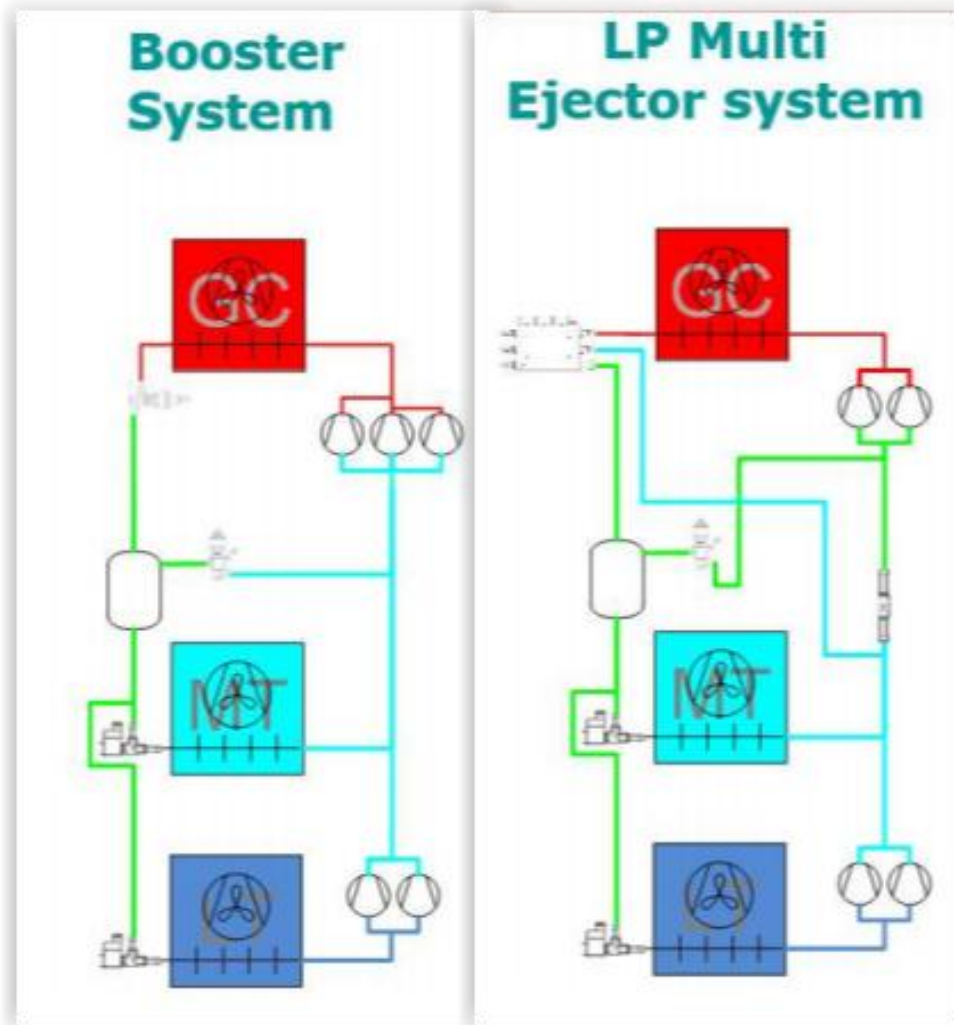


- Το liquid ejector έχει ίδια αρχή λειτουργίας με το gas ejector.
- Χρησιμοποιείται να στέλνει υγρό από το accumulator στο receiver.
- Δουλεύει χωρίς υπερθέρμανση επιτρέποντας στην έξοδο του εξατμιστή σταγονίδια που συλλέγονται στο accumulator
- Επιτρέπει αύξηση της πίεσης αναρρόφησης.

Συστήματα transcritical liquid ejector

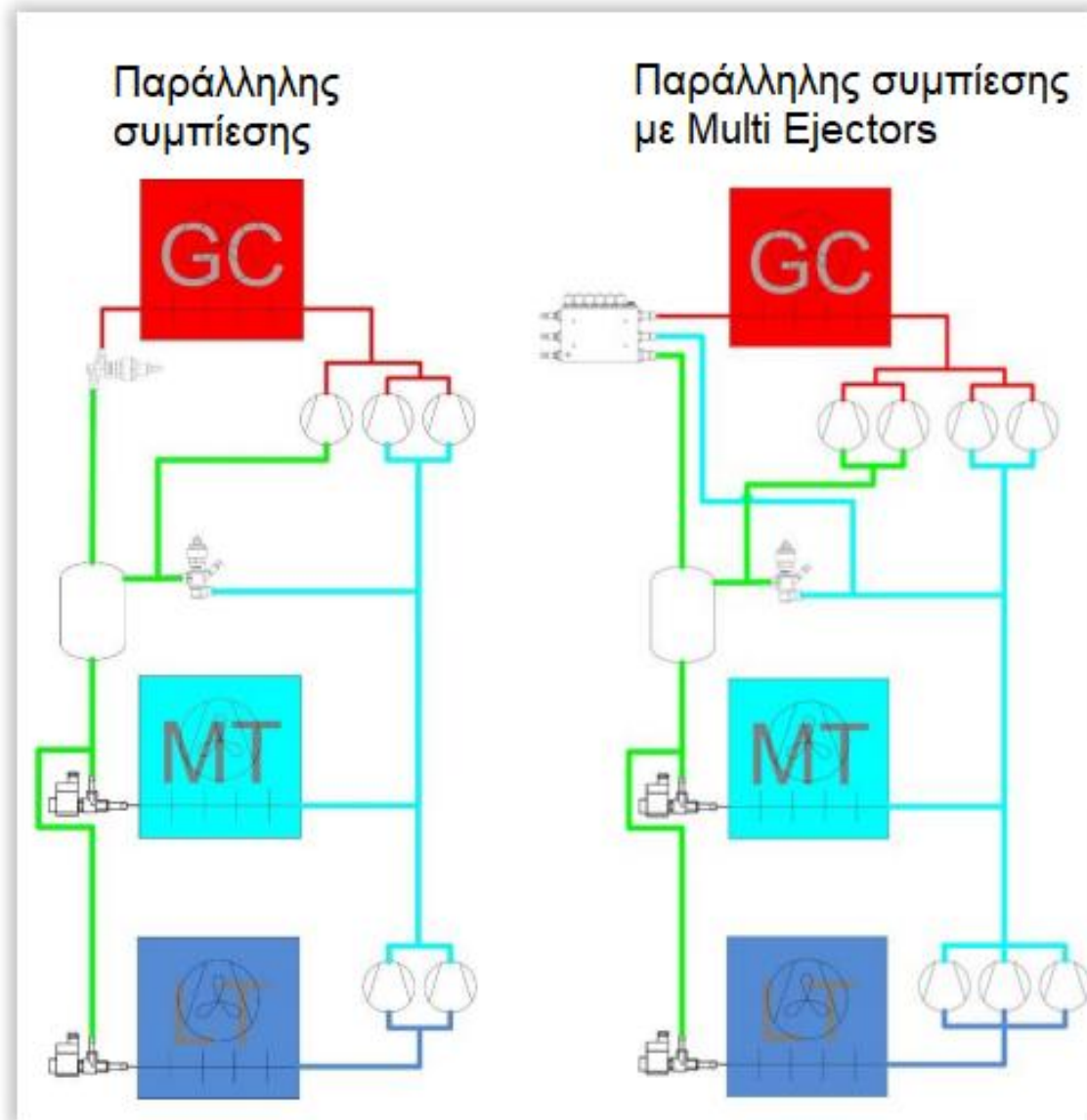


Συστήματα transcritical LP Multi ejectors



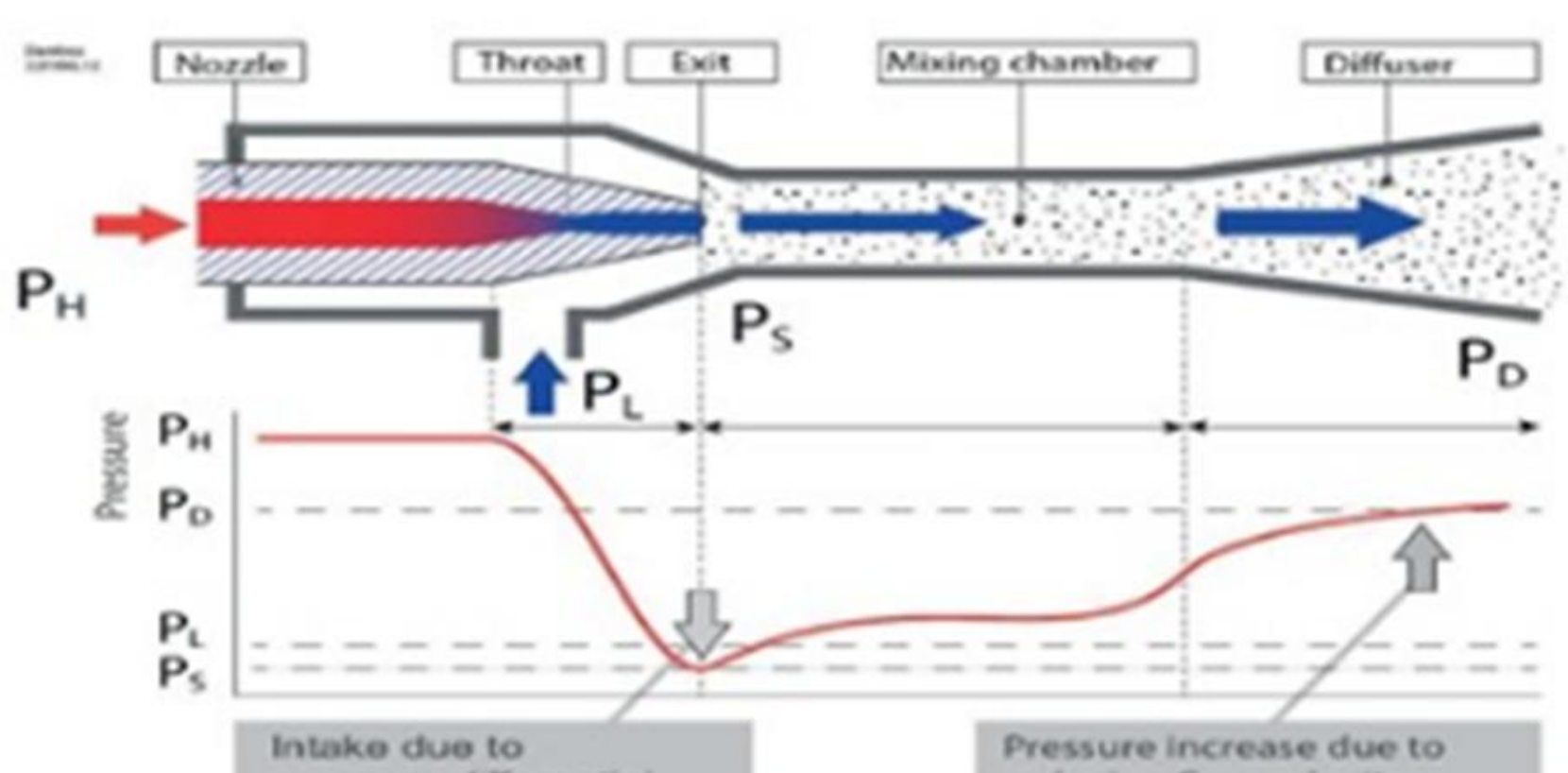
- Σε θερμά κλίματα παραλαμβάνει το αέριο από τους εξατμιστές και ανεβάζοντας την πίεση του το στέλνει στο receiver.
- Στους 23°C lift 3 bar
- Στους 36°C lift 7 bar
- Στο κλίμα της Αθήνας θα λειτουργεί το 71% του χρόνου.

Συστήματα transcritical HP Multi ejectors



- Λειτουργεί με συστήματα παράλληλης συμπίεσης
- Μέρος του αερίου από τους εξατμιστές περνάει από το multi ejector ανεβάζοντας την πίεσή του.
- Ο συμπιεστής παράλληλης συμπίεσης δουλεύει με μικρότερο λόγο πιέσεων

Λειτουργία του ejector





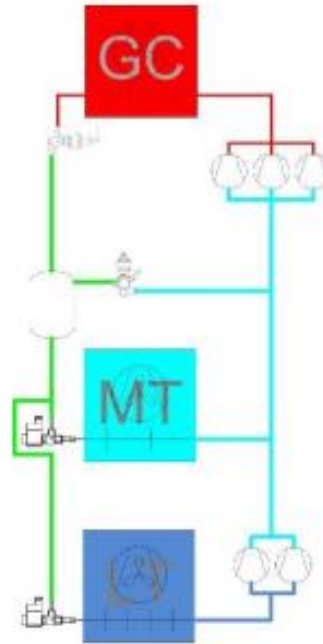
STORE 75 KW

- 5 compressors
- Multi Ejector HP 1875

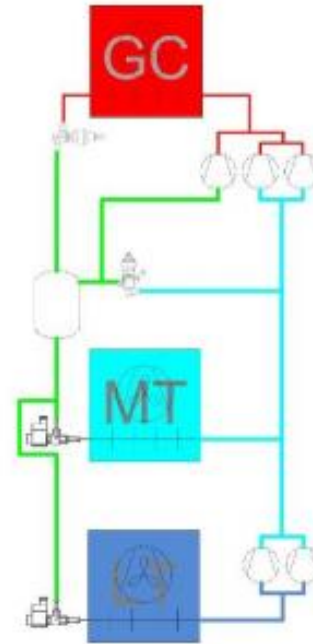
	Booster	Parallel	Ejector
IT comp	-	1	2
MT comp	3	2	1
LT comp	2	2	2
Multi Ejector Solution	-	-	Multi Ejector HP 1875
LT/MT ratio	15%	15%	15%

Average load 50%, Energy cost 0,1€

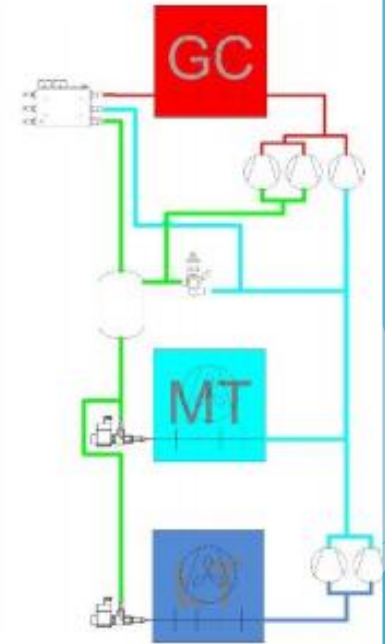
Booster



Parallel compression



Multi Ejector Solution™





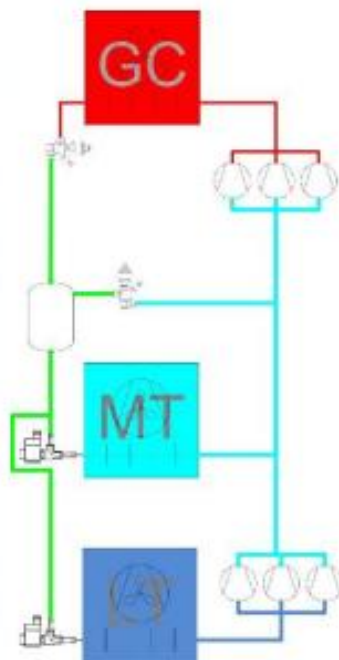
STORE 150 KW

- 7 compressors
- Multi Ejector HP 3875

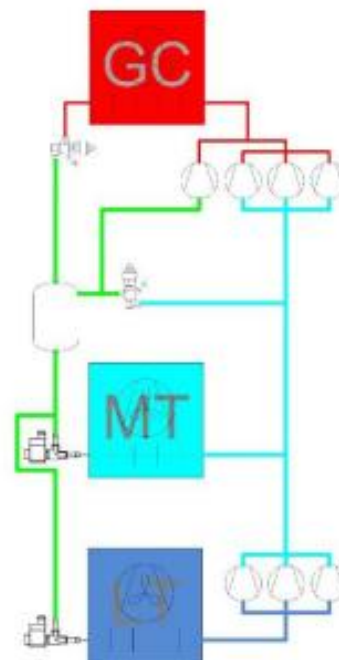
	Booster	Parallel	Ejector
IT comp	-	1	2
MT comp	3	3	2
LT comp	3	3	3
Multi Ejector Solution	-	-	Multi Ejector HP 3875
LT/MT ratio	15%	15%	15%

Average load 50%, Energy cost 0,1€

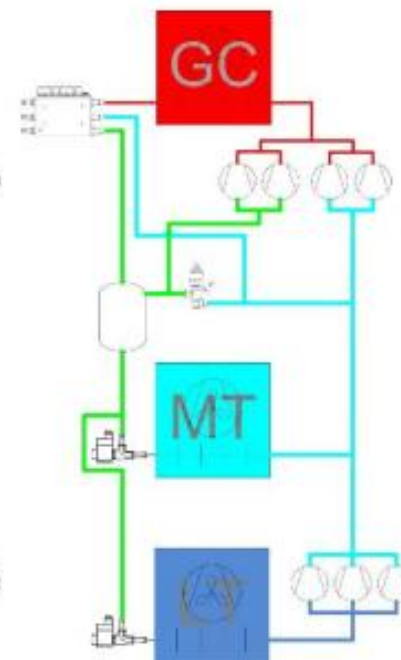
Booster



Parallel compression



Multi Ejector Solution™





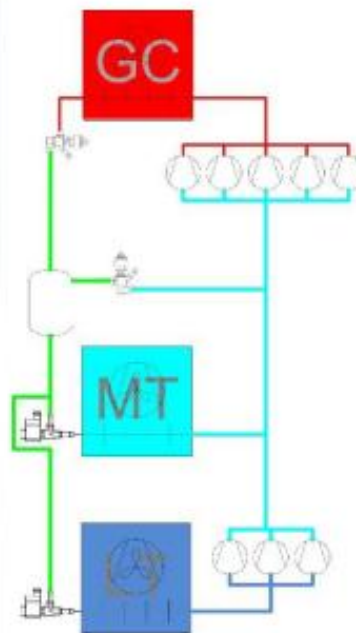
STORE 300 KW

- 7 compressors
- 2 X Multi Ejector HP 3875

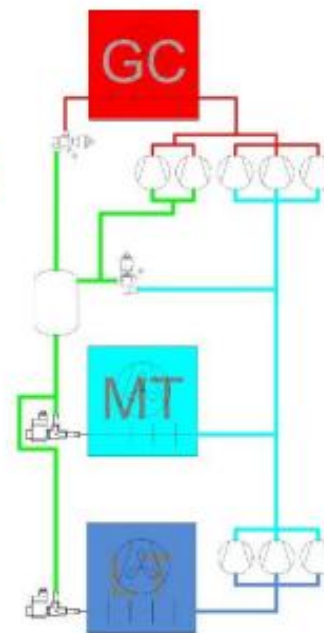
	Booster	Parallel	Ejector
IT comp	-	2	2
MT comp	5	3	2
LT comp	3	3	3
Multi Ejector Solution	-	-	Multi Ejector HP 3875 x2
LT/MT ratio	15%	15%	15%

Average load 50%, Energy cost 0,1€

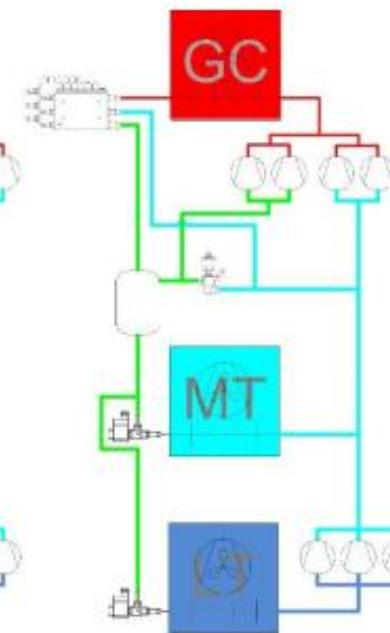
Booster



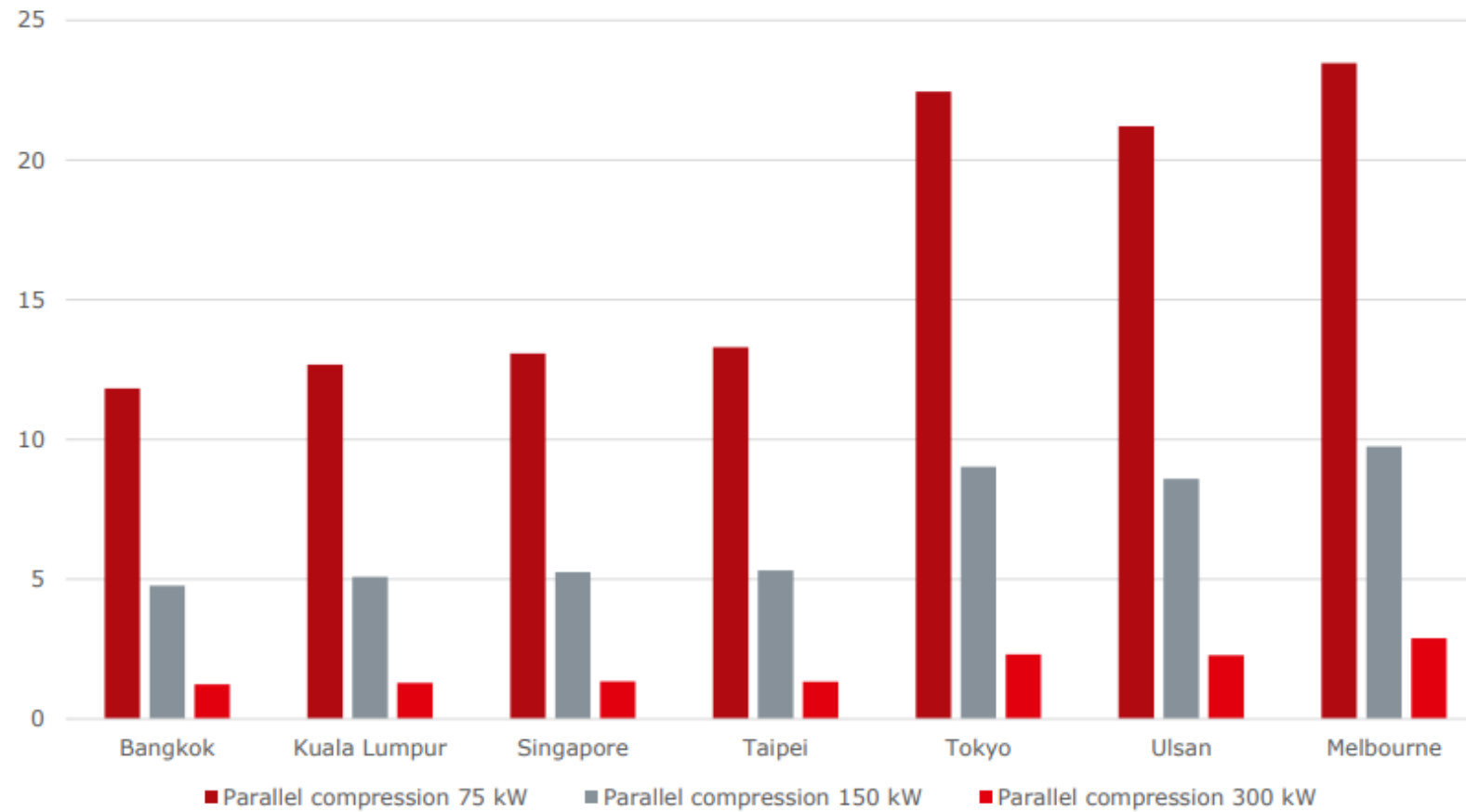
Parallel compression



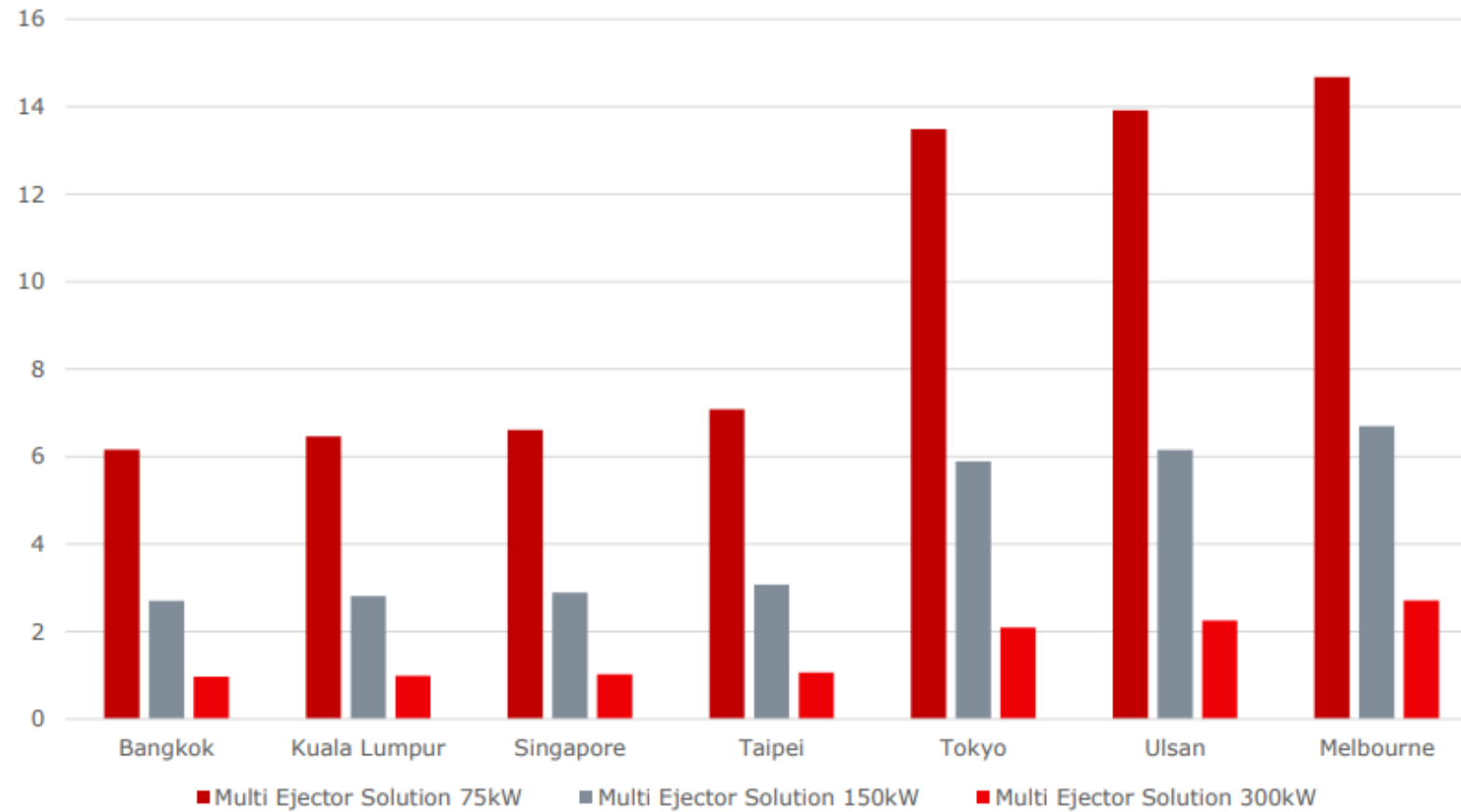
Multi Ejector Solution™



Pay back time in years Parallel compressors VS Standard Booster

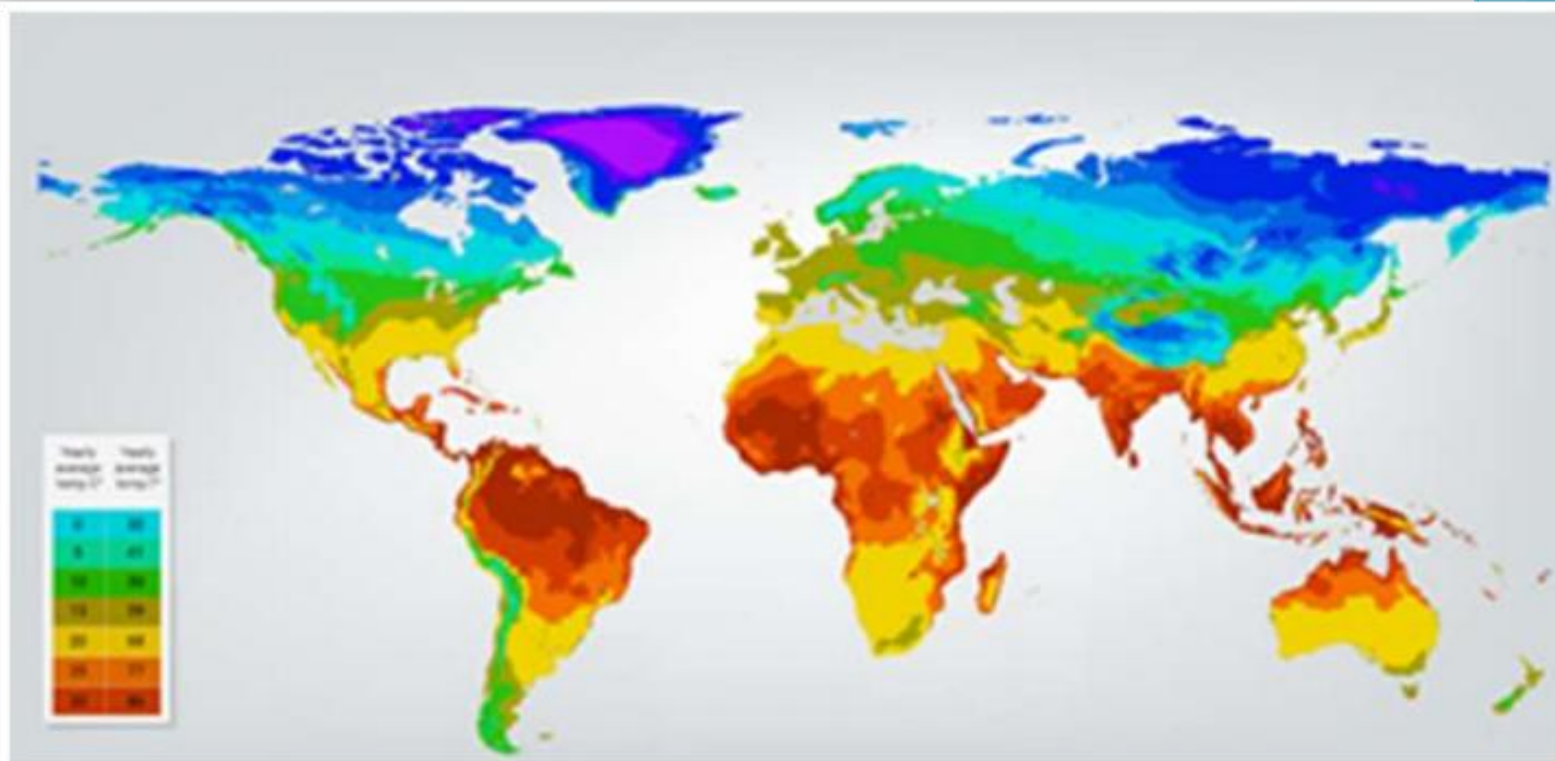


Pay back time in years HP Multi Ejector VS Standard Booster



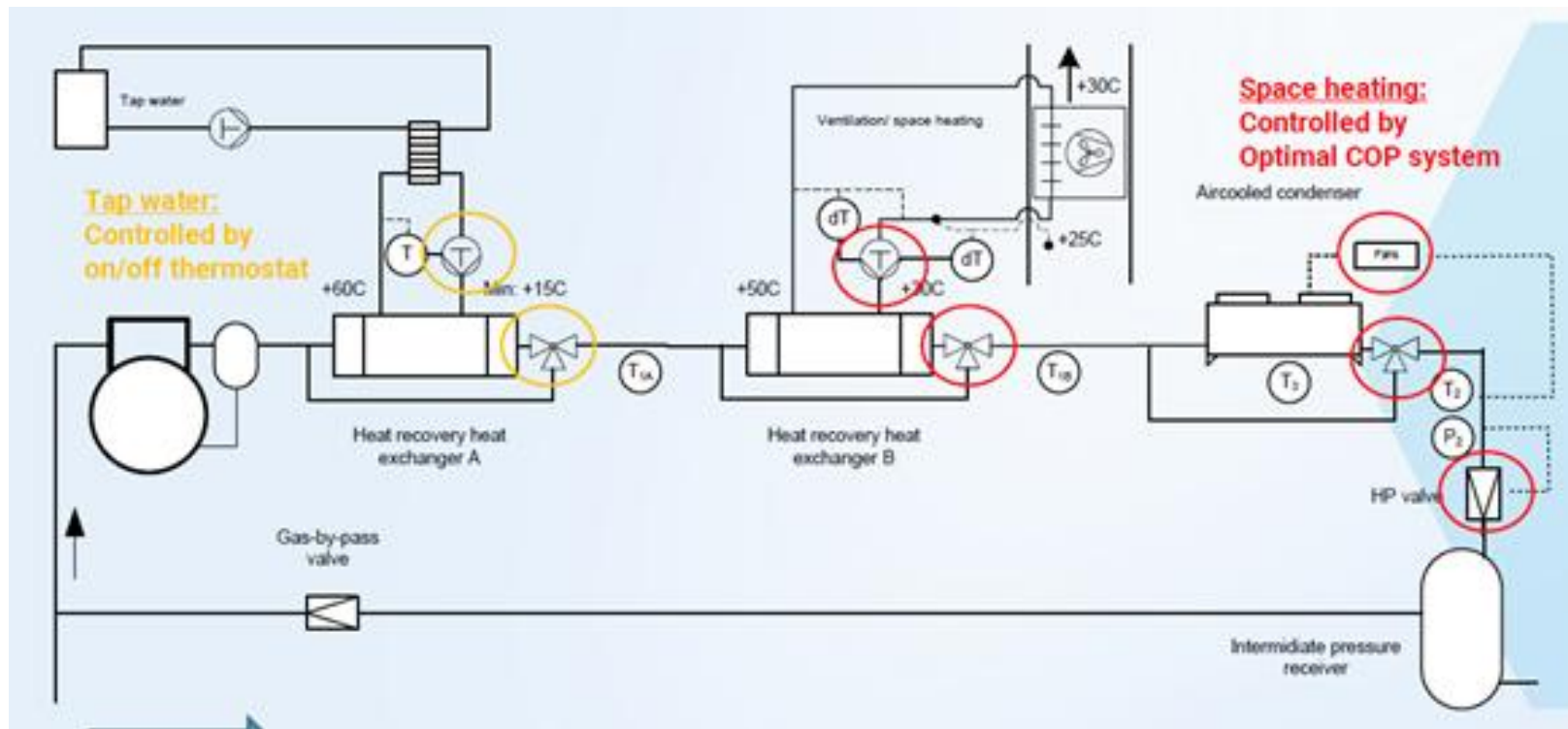
75 kW	Η λύση Multi ejector HP δεν είναι ενδεδειγμένη. Οι λύσεις LP multi ejector και liquid ejector είναι περισσότερο συμφέρουσες
150 kW	Η λύση HP multi ejector είναι η προτεινόμενη. Στα θερμότερα κλίματα ο χρόνος απόσβεσης είναι μικρότερος από 4 έτη
300 kW	Η λύση HP multi ejector είναι η ενδεδειγμένη για όλα τα κλίματα

	Pay Back Liquid ejector [years]				Pay Back HP ejector solution [years]			Pay Back LP ejector solution [years]		
Average annual temperature [°C]	Booster + Liq VS Booster 40 kW	Booster + Liq VS Booster 75 kW	Booster + Liq VS Booster 150 kW	Booster + Liq VS Booster 300 kW	HP Ejector VS parallel 75 kW	HP Ejector VS parallel 150 kW	HP ejector VS parallel 300 kW	LP ejector VS Booster 40 kW	LP ejector VS Booster 75 kW	LP ejector VS Booster 150 kW
0	3.70	1.97	1.58	0.89	14.96	13.37	12.51	21.53	17.74	18.74
5	3.50	1.87	1.49	0.84	9.50	8.50	7.96	13.59	11.20	11.83
10	3.17	1.69	1.35	0.76	5.70	5.08	4.75	8.37	6.89	7.28
15	2.61	1.39	1.11	0.63	2.63	2.32	2.16	4.15	3.42	3.61
20	2.13	1.14	0.91	0.51	1.35	1.18	1.09	2.34	1.93	2.04
25	1.79	0.96	0.76	0.43	0.87	0.75	0.69	1.69	1.39	1.47
30	1.81	0.97	0.77	0.43	0.85	0.73	0.66	1.69	1.39	1.47

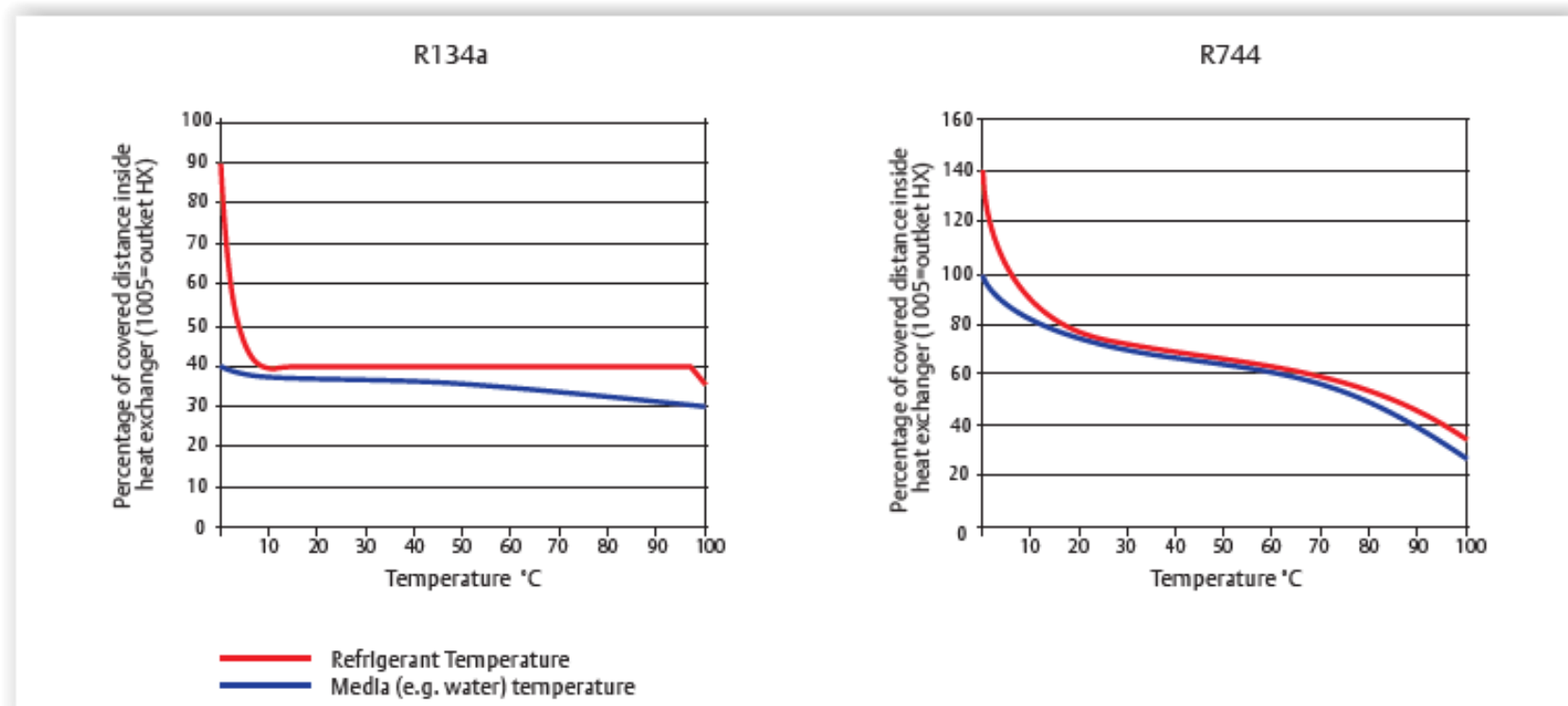


Average Annual temp [C]	Energy saving compared to Booster CO2 system						
	HP ejectors		LP ejectors		Flooded Operation		
	Parallel compression	Parallel comp. + HP ejectors	Booster sys + LP Ejector	Booster sys. with Liquid ejector	Parallel comp. sys. with liquid ejector	LP Ejector system with Liquid ejectors	HP ejector system with Liquid ejectors
0	5%	6%	2%	10%	15%	13%	17%
5	5%	7%	3%	10%	16%	14%	18%
10	6%	9%	5%	10%	16%	16%	20%
15	7%	12%	9%	10%	17%	19%	23%
20	7%	15%	13%	10%	18%	24%	27%
25	8%	17%	15%	10%	18%	26%	29%
30	6%	16%	15%	10%	17%	27%	27%

Εξοικονόμηση ενέργειας σε transcritical CO₂ συστήματα



Εξοικονόμηση ενέργειας σε transcritical CO2 συστήματα



- Η θερμοκρασία κατάθλιψης των συστημάτων CO2 είναι υψηλότερη από τα άλλα ψυκτικά ρευστά.
- Υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας.
- Η αποβολή θερμότητας γίνεται σε μεταβλητή θερμοκρασία.

Εξοικονόμηση ενέργειας σε transcritical CO₂ συστήματα

- ▶ Αδιαβατικό gas cooler
- ▶ Μηχανικό subcooling μετά το gas cooler

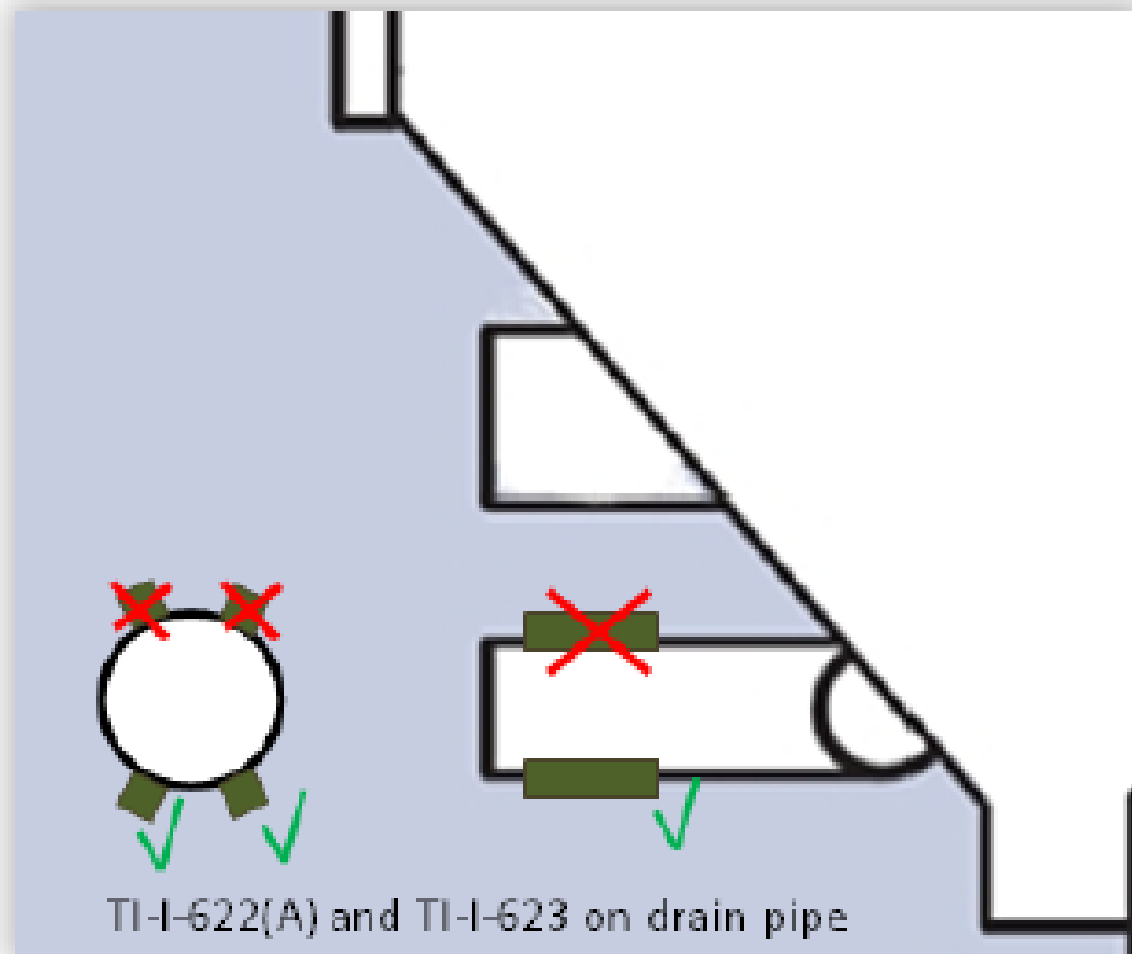
Standstill

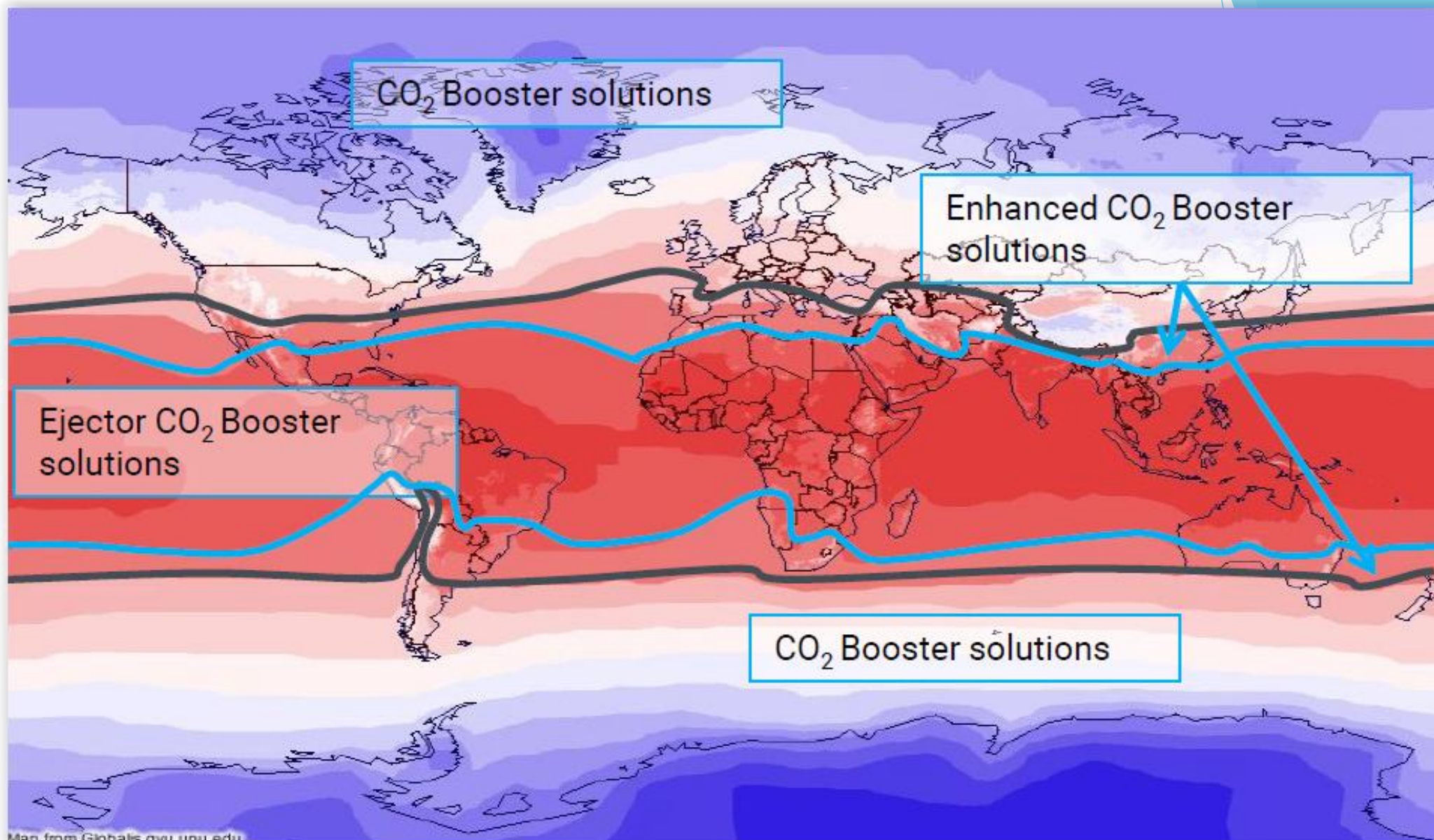
ΠΡΟΣΟΧΗ: Για κάθε 1°C που ανεβαίνει η θερμοκρασία σε τμήμα με εγκλωβισμένο CO₂ η πίεση ανεβαίνει κατά 10 bar

Σωληνώσεις

Standard Wire Gauge	22	20	18	16	14	12	10
Thickness, mm	0.711	0.914	1.219	1.626	2.032	2.642	3.251
OD, in	Maximum pressure in bar (relative)						
1/4	131	174					
3/8		129	179				
1/2		81	111	153			
5/8		59	87	119	162		
3/4		49	71	98	124	166	
7/8		41	56	82	105	140	
1 1/8			43	58	80	106	133
1 3/8				47	60	85	107
1 5/8					50	71	89

Τοποθέτηση αισθητηρίων





Ευχαριστώ πολύ!

Δαλαβούρας
Δημήτριος
dimitris@grsa.gr

Ερωτήσεις?