

**Προηγμένες Τεχνολογίες  
Εξοικονόμησης Ενέργειας  
και  
Μείωσης Απωλειών  
Σε Συστήματα Μεταβλητής  
Ροής Ψυκτικού Μέσου**



**LG**

Life's Good



# Εισαγωγή

Λόγω των κλιματικών αλλαγών , η εξοικονόμηση ενέργειας είναι πλέον ένα απο τα βασικά ζητούμενα σε οποιαδήποτε κτιριακή κατασκευή , η αποδοτικότητα των συστημάτων HVAC παίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή διαχείριση όλων των κτιρίων. Σαν συνέπεια αυτών , η ζήτηση για συστήματα μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου ( VRF – Variable Refrigerant Flow ) έχει αυξηθεί σημαντικά καθώς επιτρέπει τον τοπικό έλεγχο κάθε κλιματιζόμενου χώρου και την ανεξάρτητη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

## Συστήματα VRF

Χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αναγκών HVAC στο **50 %** περίπου των κτιρίων στην ΝΑ Ασία με εμβαδό έως  $6.500 \text{ m}^2$  & στο **30 %** των κτιρίων με εμβαδό πάνω από  $6.500 \text{ m}^2$ .



# Εισαγωγή

Το βασικό χαρακτηριστικό που καθιστά την εγκατάσταση ενός συστήματος μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου ελκυστική όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι η «ελαστική» συμπεριφορά του όταν μεταβάλλεται το απαιτούμενο φορτίο.

Σε αντίθεση με την πλειοψηφία των υπολοίπων συστημάτων κεντρικού κλιματισμού, ο συντελεστής απόδοσης των συστημάτων αυξάνεται όσο μειώνεται η ζήτηση του απαιτούμενου φορτίου, με συνέπεια να το καθιστά ιδανικό για χώρους όπου το απαιτούμενο φορτίο δεν είναι συνεχώς το ίδιο αλλά μεταβάλλεται συνεχώς ( π.χ. Γραφεία / Ξενοδοχεία / Νοσοκομεία κτλ. )



# Εισαγωγή

Η βασική τεχνολογία στηρίζεται στον εξοπλισμό των εξωτερικών μονάδων του συστήματος με συμπιεστές Inverter οι οποίοι μεταβάλλουν τις στροφές τους ανάλογα με τη ζήτηση, ενώ οι εσωτερικές μονάδες διαθέτουν ηλεκτρονικές εκτονωτικές βαλβίδες για την τροφοδοσία του εναλλάκτη θερμότητας με την ανάλογη ποσότητα ψυκτικού μέσου.

Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία αυτών των συστημάτων δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στην εξοικονόμηση ενέργειας όχι μόνο με την ενσωμάτωση ιδιαίτερα αποδοτικών συμπιεστών και υποσυστημάτων, αλλά και στην εξάλειψη των απωλειών ενέργειας. Οι απώλειες ενέργειας μπορούν να μειωθούν σημαντικά αυξάνοντας τον συντελεστή απόδοσης και παρέχοντας οικονομικότερη και αξιόπιστη λειτουργία.



# Εισαγωγή

Θα αναλύσουμε λοιπόν 2 τομείς όπου και παρουσιάζονται σημαντικές απώλειες και θα παρουσιάσουμε τις νέες τεχνολογίες που μειώνουν τις αντίστοιχες απώλειες.

## **ΤΟΜΕΑΣ 1 – ΛΙΠΑΝΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ**

## **ΤΟΜΕΑΣ 2 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΩΣ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ( ΨΥΞΗ ή ΘΕΡΜΑΝΣΗ )**



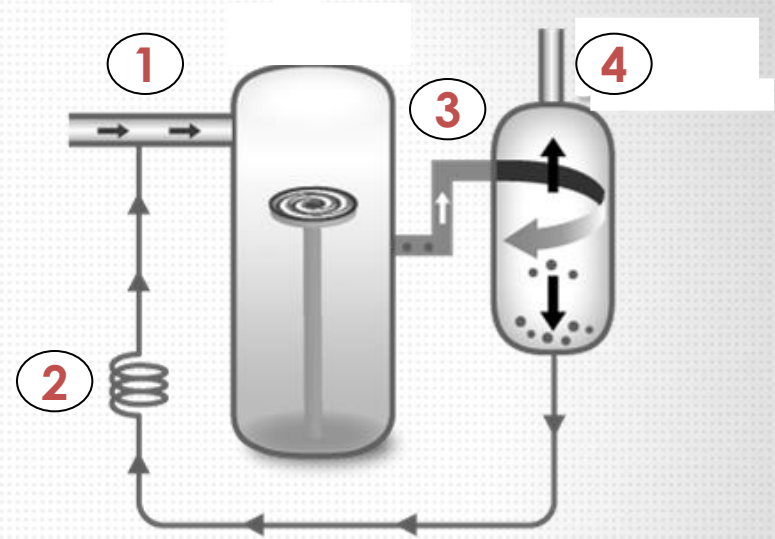
## Λίπανση Συμπιεστή – Τρόπος επιστροφής λαδιού

Στα εκτεταμένα δίκτυα σωληνώσεων των συστημάτων μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου κυκλοφορούν αναμεμιγμένα το ψυκτικό μέσο και το λάδι που είναι απαραίτητο για την ψύξη και την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας των συμπιεστών. Καθίσταται λοιπόν απαραίτητη η εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας λαδιού για την προστασία και την εύρυθμη λειτουργία των συστημάτων.

Στην συνέχεια θα εξετάσουμε 2 διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες έχουν σαν σκοπό να εξασφαλίσουν μόν τις απαραίτητες ποσότητες λαδιού πλην όμως με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι απώλειες να μειώνονται όσο το δυνατόν περισσότερο.

# Τεχνολογία – Συμβατικός τρόπος επιστροφής λαδιού

Ο συμβατικός τρόπος είναι ο ακόλουθος :  
ο ελαιοδιαχωριστής διαχωρίζει το λάδι από το ψυκτικό μέσο ( που βρίσκεται υπό υψηλή πίεση ) και μέσω ενός τριχοειδούς σωλήνα το επιστρέφει στον σωλήνα αναρρόφησης του συμπιεστή , χρησιμοποιώντας την διαφορά πίεσης μεταξύ της πλευράς αναρρόφησης και της πλευράς κατάθλιψης



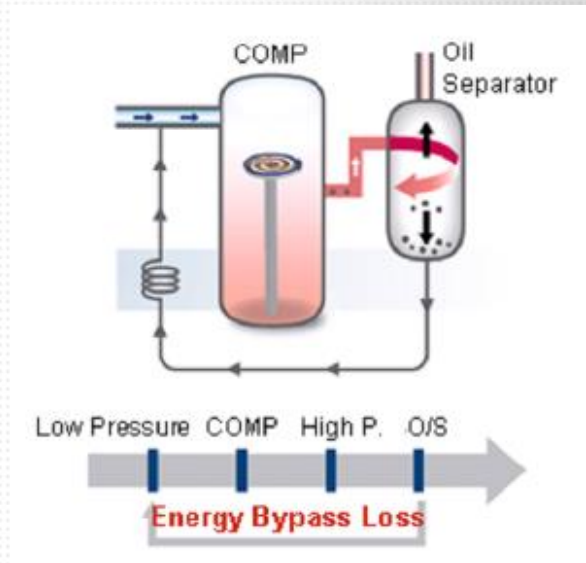
- 1 Πλευρά χαμηλής πίεσης - αναρρόφηση
- 2 Τριχοειδής σωλήνας ( Capillary tube )
- 3 Πλευρά υψηλής πίεσης - κατάθλιψη
- 4 Ελαιοδιαχωριστής

# Συμβατικός τρόπος επιστροφής λαδιού

Το υψηλής πίεσης ψυκτικό μέσο που επιστρέφει ( μέσω τριχοειδούς ) στην αναρρόφηση του συμπιεστή μπορεί να προκαλέσει πτώση του συντελεστή απόδοσης ( EER ).

Το μείγμα λαδιού/συμπιεσμένου ψυκτικού μέσου επιστρέφει σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας μιάς και ο σχεδιασμός του συστήματος είναι τέτοιος ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί τόσο κατά την έναρξη λειτουργίας όσο και κατά την λειτουργία σε υψηλές ταχύτητες.

Αντίστοιχα η επιστροφή στην αναρρόφηση χαμηλής πίεσης προκαλεί πτώση απόδοσης. Ειδικότερα , όσο μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή τόσο μεγαλώνει η πτώση της απόδοσης ( απώλεια ενέργειας )





## Συμβατικός τρόπος επιστροφής λαδιού

Για την σταθερή λειτουργία της επιστροφής του λαδιού σε όλο το εύρος λειτουργίας του συστήματος , ο σχεδιασμός τόσο του ελαιοδιαχωριστή όσο και της τριχοειδούς σωλήνας βασίζονται στην λειτουργία του συστήματος με την μεγαλύτερη δυνατή ζήτηση από τις εσωτερικές μονάδες ( Πλήρες φορτίο ).

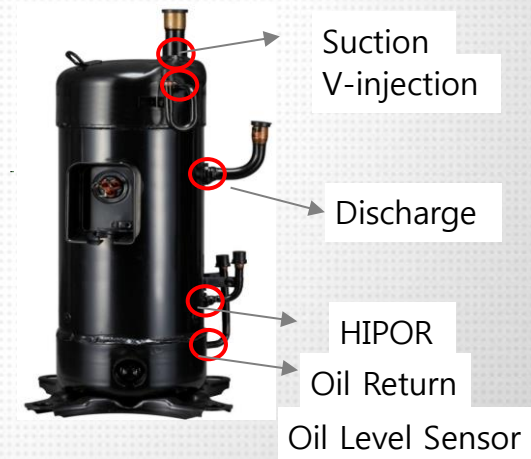
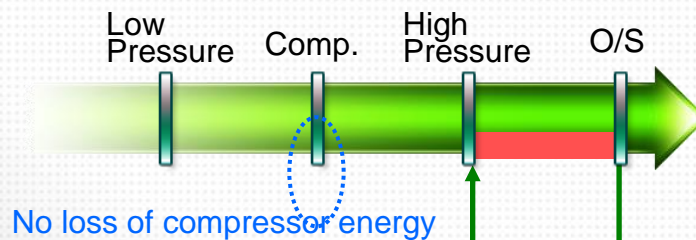
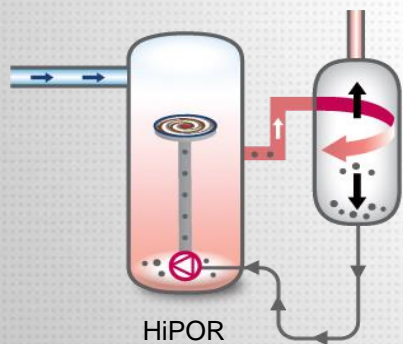
Κατά συνέπεια όταν η μονάδα λειτουργεί σε μερικά φορτία υπάρχουν απώλειες ενέργειας καθώς η μονάδα εξαναγκάζεται να επιστρέψει ήδη συμπιεσμένο μίγμα ψυκτικού μέσου/λαδιού στην πλευρά χαμηλής πίεσης ( αναρρόφηση ).

Αυτή όμως η απώλεια ενέργειας ακυρώνει μερικώς ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου που είναι η αυξημένη αποδοτικότητά τους όταν λειτουργούν σε συνθήκες μερικού φορτίου.

# Μηχανισμός επιστροφής λαδιού υπό υψηλή πίεση (HiPOR)

Με τον μηχανισμό επιστροφής λαδιού υπό υψηλή πίεση, το λάδι το οποίο διαχωρίζεται από το ψυκτικό στον ελαιοδιαχωριστή δεν επιστρέφει στην πλευρά της αναρρόφησης του συμπιεστή (πλευρά χαμηλής πίεσης). Αντιθέτως, μέσω κατάλληλης διάταξης τροφοδοτεί απ'ευθείας την βάση του.

Με τον τρόπο αυτό οποιαδήποτε ενέργεια «πληρώσαμε» προκειμένου να συμπιέσουμε αυτή την ποσότητα λαδιού δεν πάει χαμένη στο σύνολο της αλλά ανακτάται σε μεγάλο βαθμό, αυξάνοντας την απόδοση του συμπιεστή.

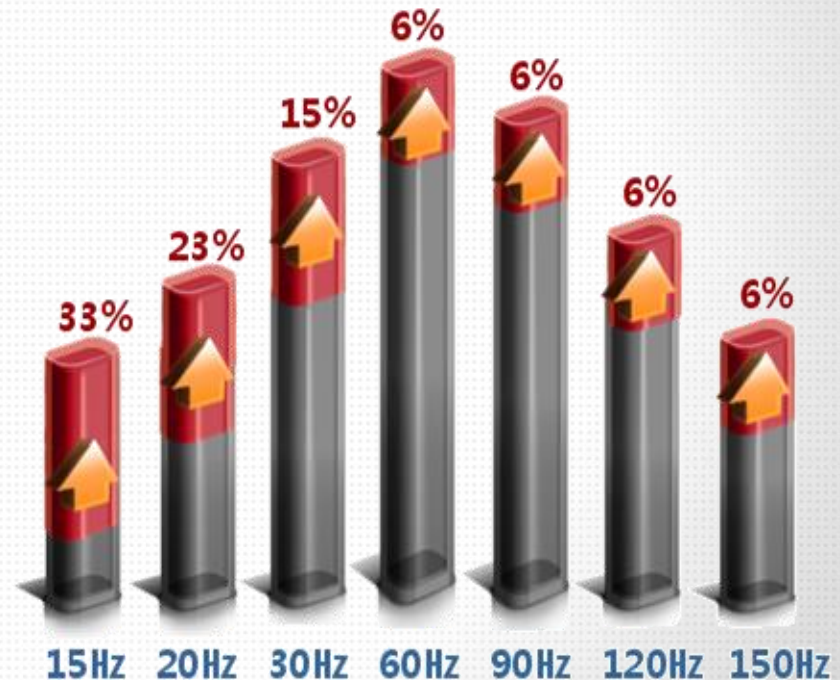


# Μηχανισμός επιστροφής υπό υψηλή πίεση (HiPOR)

Στα διπλανό σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα στην απόδοση του συμπιεστή σε σύστημα Hi-POR σε σύγκριση με την απόδοση των συμβατικών συμπιεστών

Παρατηρούμε ότι η εξοικονόμηση είναι μεγαλύτερη στα μερικά φορτία ( τα οποία αποτελούν την συχνότερη συνθήκη λειτουργίας )

## Απόδοση συμπιεστή



# Μηχανισμός επιστροφής υπό υψηλή πίεση (HiPOR)

Τρόπος υπολογισμού ESEER

Απαιτούμενο φορτίο [%]	Θερμοκρασία Αέρα [°C]	Βαρύτητα
100	35	0.03
75	30	0.33
50	25	0.41
25	20	0.23

Για να υπολογίσουμε λοιπόν το ESEER πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης ( EER ) σε κάθε συνθήκη με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας και κατόπιν αθροίζουμε .

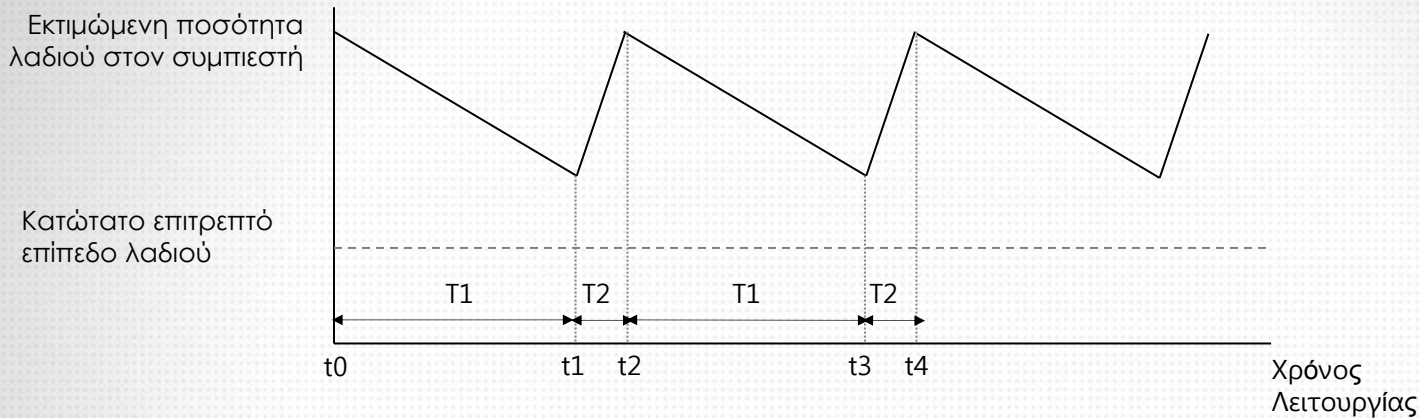
Απο τον παραπάνω τύπο είναι προφανές ότι οι μεγαλύτεροι συντελεστές βαρύτητας εφαρμόζονται στα μερικά φορτία , εκεί ακριβώς όπου το Hi-POR επιτυγχάνει και τα καλύτερα αποτελέσματα.

## Λίπανση Συμπιεστή – Ανάκτηση λαδιού

Ομως η επιστροφή λαδιού απο τον ελαιοδιαχωριστή δεν είναι η μόνη λειτουργία των συστημάτων μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου προκειμένου να εξασφαλίσουν την επαρκή λίπανση των συμπιεστών. Ολα τα συστήματα «αναγκάζονται» να εκτελέσουν την λειτουργία ανάκτησης λαδιού , όπου και η παροχή Ψύξης / Θέρμανσης στον χώρο σταματά και το σύστημα ανοίγει όλες τις εκτονωτικές βαλβίδες πλήρως προκειμένου να περάσει ολο το ψυκτικό μέσο ( και το λάδι που περιέχεται σε αυτό ) απο την εξωτερική μονάδα για να ανακτηθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα λαδιού.

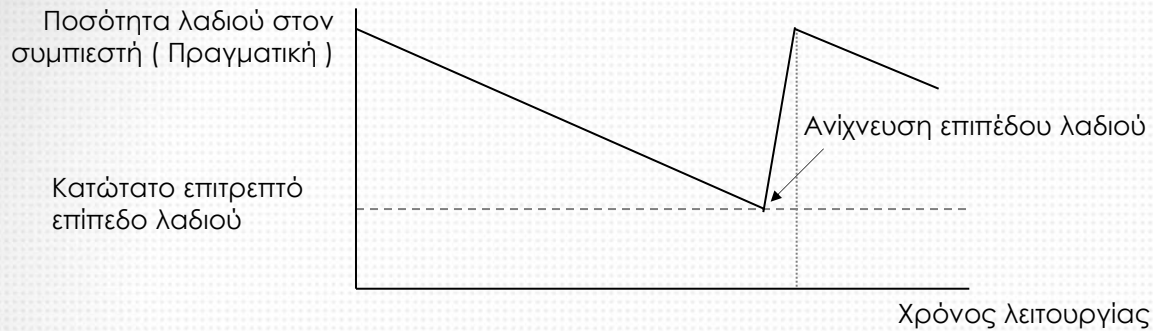
Ειναι προφανές ότι όσο πιο συχνή και μεγαλύτερη σε διάρκεια είναι αυτή η διαδικασία τόσο μεγαλώνουν οι απώλειες ενέργειας , μιας και η κατανάλωση δεν έχει αντίκρουσμα σε απόδοση ψύξης ή θέρμανσης όσο διαρκεί η ανάκτηση λαδιού.

# Ανάκτηση λαδιού – Συμβατικός τρόπος



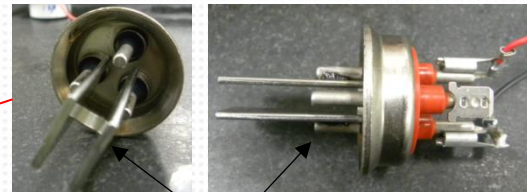
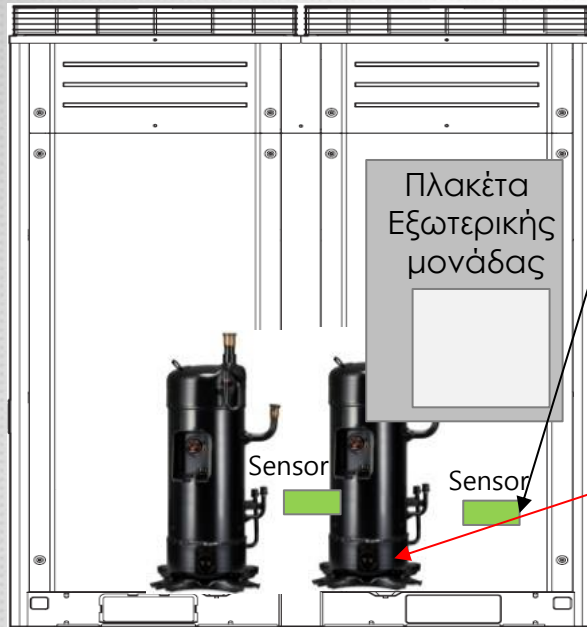
Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ο συμβατικός τρόπος ενεργοποίησης της λειτουργίας ανάκτησης λαδιού, όπου  $T_1$  είναι χρόνος λειτουργίας ( σε θέρμανση ή ψύξη ) ενώ  $T_2$  είναι χρόνος λειτουργίας ανάκτησης λαδιού. Παρατηρούμε ότι και οι 2 χρόνοι είναι σταθεροί και η αλληλουχία τους είναι συγκεκριμένη ανεξάρτητα από το εάν χρειάζεται λάδι η όχι ο συμπιεστής ( Το σύστημα είναι υποχρεωμένο να λειτουργήσει με μεγάλο περιθώριο ασφαλείας για να αποφευχθεί τυχόν αστοχία ).

# Εξυπνη Ανάκτηση λαδιού



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το πλεονέκτημα της λειτουργίας έξυπνης ανάκτησης λαδιού. Ο χρόνος «καθαρής» λειτουργίας που μεσολαβεί ανάμεσα στις ενεργοποιήσεις της ανάκτησης λαδιού είναι σημαντικά μεγαλύτερος ( $T1' \gg T1$ ) καθώς η ανάκτηση ενεργοποιείται μόνο κατόπιν της ανίχνευσης σε πραγματικό χρόνο χαμηλής στάθμης λαδιού μέσα στον συμπιεστή. Επιπλέον αυξάνεται κατά πολύ η αξιοπιστία των συμπιεστών καθώς ανιχνεύεται το πραγματικό επίπεδο λαδιού και συνεπώς η ανάκτηση ενεργοποιείται εάν παραστεί ανάγκη και όχι βάση προκαθορισμένων ωρών λειτουργίας.

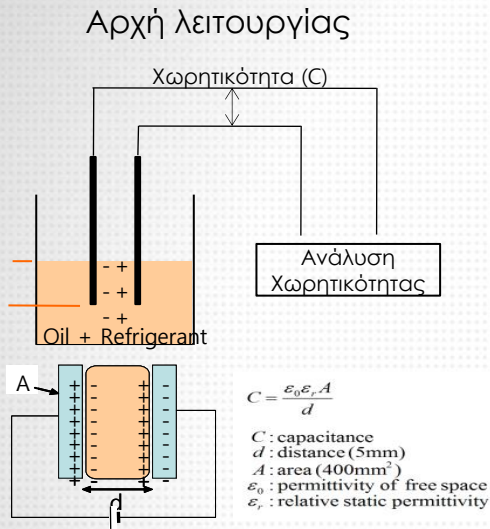
# Εξυπνη Ανάκτηση λαδιού – Αισθητήρας Λαδιού



Για την έξυπνη ανάκτηση λαδιού , η κεντρική πλακέτα του συστήματος λαμβάνει την απόφαση βασισμένη στις πληροφορίες που παρέχουν οι αισθητήρες λαδιού που προσαρμόζονται στο κάτω τμήμα των συμπιεστών ( το κυρίως σώμα του αισθητήρα που περιλαμβάνει και τα ηλεκτρόδια είναι σταθερά προσαρμοσμένο στο συμπιεστή και δεν αντικαθίσταται ).



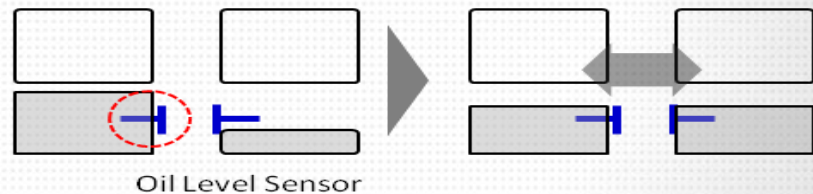
# Εξυπνη Ανάκτηση λαδιού – Αισθητήρας / Αρχή Λειτουργίας



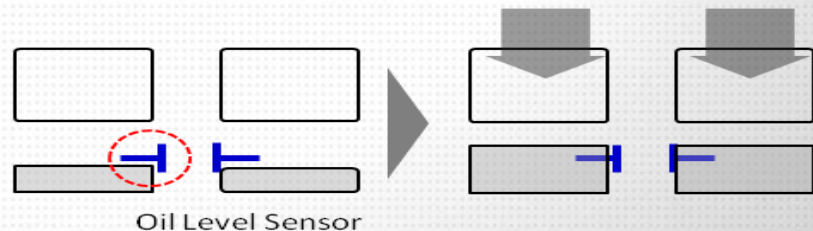
Στο διπλανό σχήμα φαίνεται πως ενεργοποιείται τόσο η ανάκτηση λαδιού όσο και η εξισορρόπηση επιπέδου λαδιού μέσα στους συμπιεστές, ανάλογα με τις πληροφορίες από τους αισθητήρες.

Το φυσικό μέγεθος που μετράται από τον αισθητήρα λαδιού είναι η χωρητικότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με το επίπεδο λαδιού.

## • Auto Oil balancing



## • Active Oil return Method



# Εισαγωγή – Σχεδιασμός για λειτουργία Αντλίας Θερμότητας ( Ψύξη ή Θέρμανση )

Η πλειοψηφία των μονάδων που διατίθενται στην Ελληνική Αγορά είναι σχεδιασμένες για να λειτουργούν ως αντλίες θερμότητας ( Ψύξη ή Θέρμανση ). Αυτό επηρεάζει τον σχεδιασμό όλων των υποσυστημάτων καθώς αναγκαστικά γίνονται κάποιοι συμβιβασμοί.

Στην συνέχεια θα δούμε πως 2 νέες τεχνολογίες / σχεδιαστικές υλοποιήσεις επιτρέπουν στα συστήματα να έχουν την βέλτιστη δυνατή απόδοση ανεξάρτητα απο το εάν λειτουργούν σε Ψύξη ή σε Θέρμανση.

# Εισαγωγή – Διαδρομή Ψυκτικού Μέσου

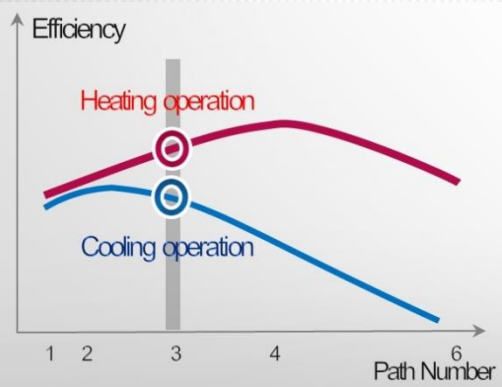
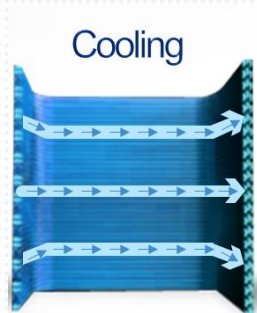
Η διαδρομή που ακολουθεί το ψυκτικό μέσο καθώς διατρέχει τον εναλλάκτη θερμότητας της εξωτερικής μονάδας έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση της μονάδας.

Στη **λειτουργία ψύξης** ιδανικά θέλουμε λιγότερες διαδρομές. Σε αυτή την περίπτωση, ο εναλλάκτης λειτουργεί ως συμπυκνωτής που διατρέχεται από αέριο ψυκτικό που αλλάζει φάση και γίνεται υγρό. Η ροή εντός του συμπυκνωτή είναι χαμηλή και κατά συνέπεια σε χαμηλό επίπεδο είναι και η απώλεια πίεσης. Η βασική παράμετρος που ενδιαφέρει είναι το ποσοστό μεταφοράς θερμότητας του υγρού ψυκτικού (σε αντίθεση με την απώλεια πίεσης που δεν επηρεάζουν την απόδοση σημαντικά). Αυτό επιτυγχάνεται με το να μεγαλώνουν οι διαδρομές σε μήκος παρά να έχουμε περισσότερες διαδρομές.

Στην **λειτουργία θέρμανσης**, ο εναλλάκτης θερμότητας λειτουργεί ως εξατμιστής. Σε αυτή την περίπτωση αυξημένη απώλεια πίεσης συνεπάγεται και αυξημένα μεταφορά θερμότητας. Αυτό το επιτυγχάνουμε με το να μικρύνουμε σε μήκος τις διαδρομές αλλά να αυξήσουμε τον αριθμό τους.

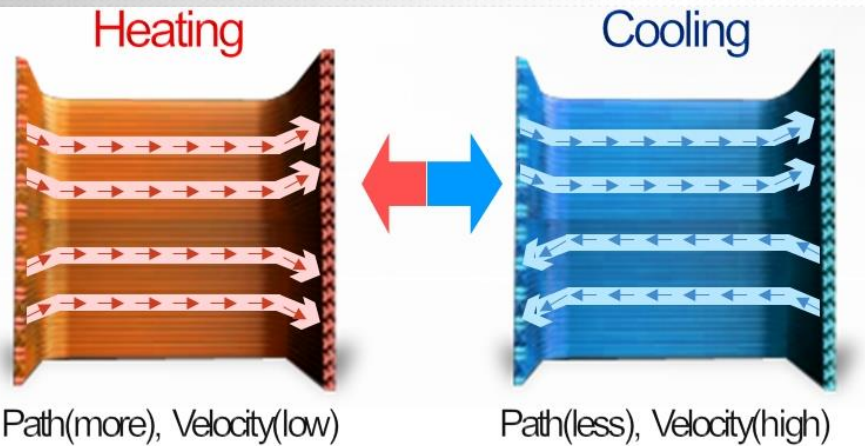
# Διαδρομή Ψυκτικού Μέσου – Συμβατικός Τρόπος

Παρόλο λοιπόν που τα ιδανικά μήκη & ο ιδανικός αριθμός των διαδρομών που ακολουθεί το ψυκτικό μέσο αλλάζουν ανάλογα τον τρόπο λειτουργίας, μέχρι πρότινος οι μονάδες κατασκευάζονταν έτσι ώστε το ψυκτικό μέσο να διατρέχει τον εναλλάκτη με το ίδιο τρόπο είτε το σύστημα λειτουργεί σε ψύξη είτε σε θέρμανση.

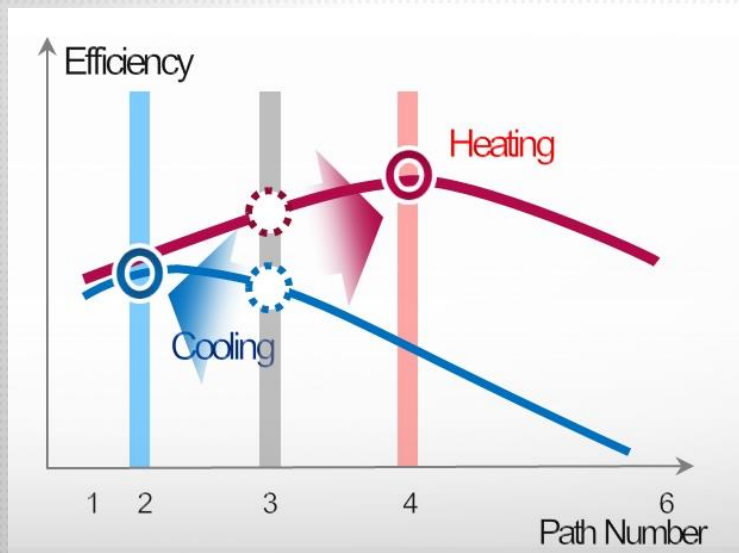


Στο διπλανό σχήμα φαίνεται ότι ο αριθμός των διαδρομών στις συμβατικά σχεδιασμένες μονάδες είναι μία ενδιάμεση λύση και δεν αποδίδει το μέγιστο ούτε στη ψύξη ούτε στη θέρμανση.

# Τεχνολογία – Μεταβλητή Διαδρομή Ψυκτικού Μέσου

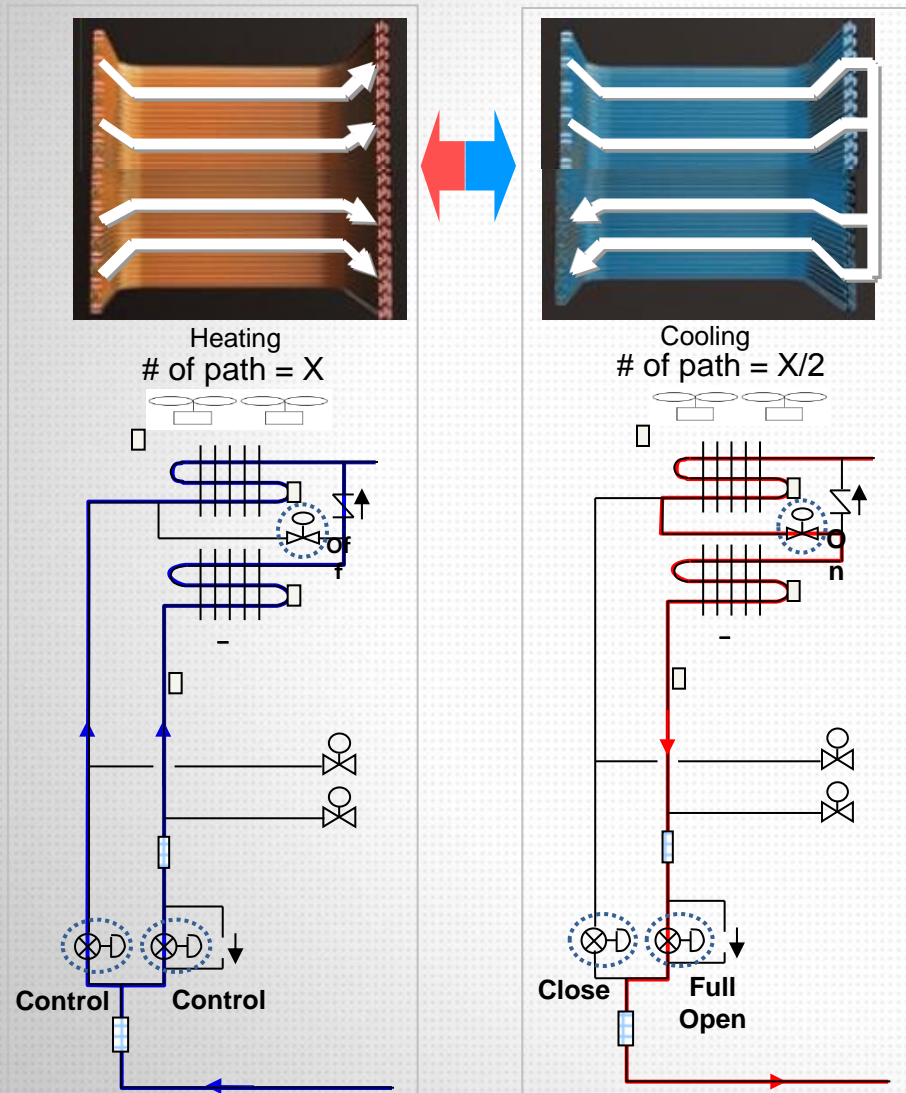


Η μεταβλητή διαδρομή του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τον διαφορετικό σχεδιασμό του εναλλάκτη θερμότητας της εξωτερικής μονάδας.



Στο διπλανό σχήμα φαίνεται πως ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας ( Ψύξη ή θέρμανση ) έχουμε την μέγιστη δυνατή απόδοση του συστήματος και την ελαχιστοποίηση των απωλειών.

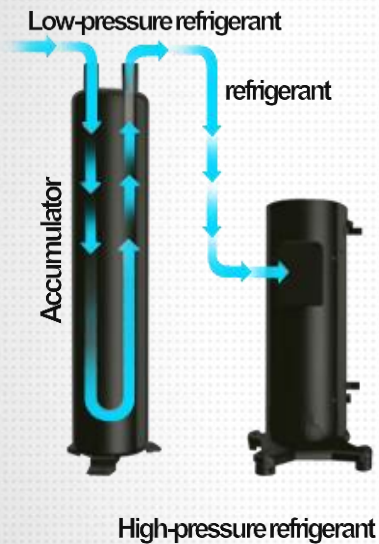
# Τεχνολογία – Μεταβλητή Διαδρομή Ψυκτικού Μέσου



Στο διπλανό σχήμα φαίνεται πως ακριβώς επιτυγχάνεται η μεταβλητή διαδρομή.

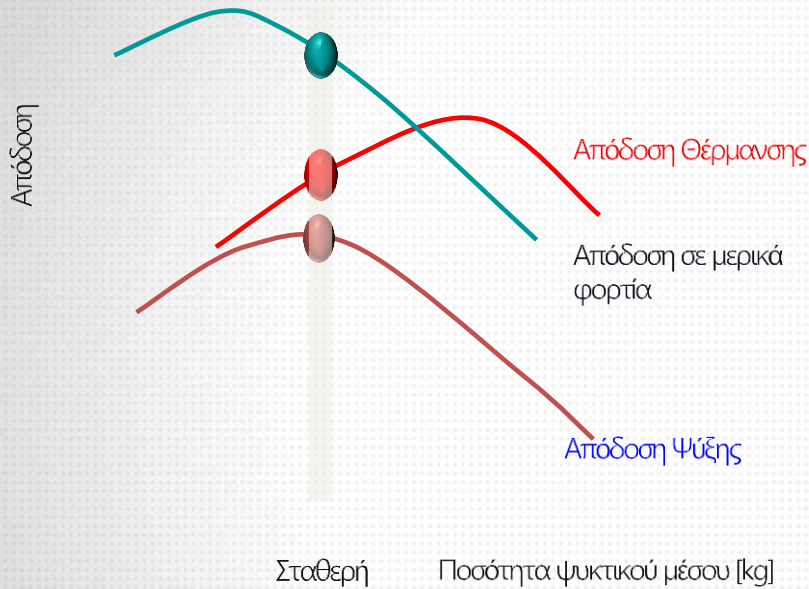
Η επιλογή γίνεται αυτόματα από την πλακέτα της εξωτερικής μονάδας.

# Εισαγωγή – Ποσότητα Ψυκτικού Μέσου



Το ψυκτικό μέσο που αντλείται απο τους συμπιεστές είτε σε λειτουργία ψύξης είτε σε λειτουργία θέρμανσης αποθηκεύεται στον συσσωρευτή ( accumulator ).Εντός του συσσωρευτή το ψυκτικό υπάρχει και σε αέρια και σε υγρή φάση ( με την αναρρόφηση φυσικά να αφορά στην αέρια φάση ).Το μειονέκτημα αυτής της υλοποίησης έγκειται στο γεγονός ότι η ποσότητα που αντλείται ( και κατά συνέπεια αποτελεί την «ενεργή» ποσότητα ψυκτικού στο σύστημα ) είναι η ίδια ανεξάρτητα αν έχουμε λειτουργία ψύξης ή θέρμανσης.

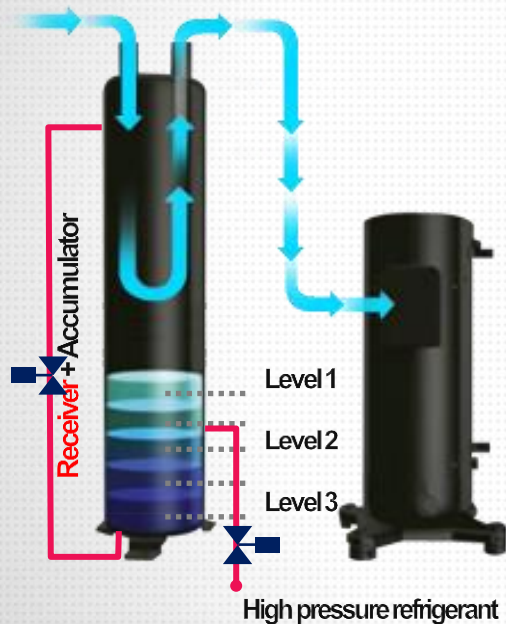
# Εισαγωγή – Ποσότητα Ψυκτικού Μέσου



Στο διπλανό σχήμα βλέπουμε ότι με σταθερή την ποσότητα του διαθέσιμου ψυκτικού, δεν επιτυγχάνουμε την βέλτιστη απόδοση σε καμία από τις 3 βασικές λειτουργίες της μονάδας ( Ψύξη / Θέρμανση / λειτουργία σε μερικά φορτία ).

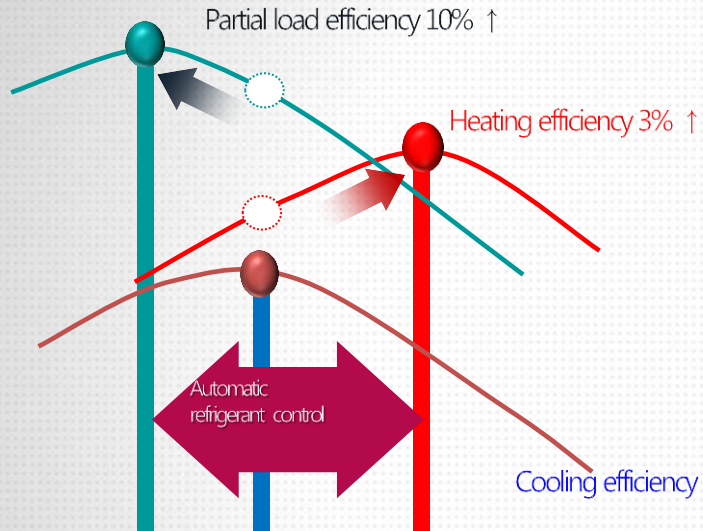


# Τεχνολογία – Έλεγχος ποσότητας Ψυκτικού Μέσου



Ο έλεγχος ποσότητας ψυκτικού μέσου είναι η τεχνολογία που επιτρέπει την μεταβολή της ενεργούς ποσότητας του ψυκτικού μέσου σε πραγματικό χρόνο. Ο συσσωρευτής είναι συνδεδεμένος με τον υποδοχέα. Στον υποδοχέα το ψυκτικό μέσο είναι σε υγρή μορφή, και ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και τις ανάγκες του συστήματος ορισμένη ποσότητα μπορεί να μετατραπεί σε αέρια ( και κατά συνέπεια να αλλάξει η διαθέσιμη ενεργής ποσότητα ).

# Τεχνολογία – Έλεγχος ποσότητας Ψυκτικού Μέσου



Τα αποτελέσματα του ελέγχου ποσότητας ψυκτικού μέσου φαίνονται στο παραπάνω σχήμα. Παρατηρούμε ότι η απόδοση στην θέρμανση αλλά και στα μερικά φορτία έχει βελτιωθεί σημαντικά αυξάνοντας τον συνολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.



# Επίλογος

Συνοψίζοντας , βλέπουμε πλέον ότι η εξοικονόμηση ενέργειας στα κεντρικά συστήματα δεν περιορίζεται πλέον μόνο στην υλοποίηση των αποδοτικότερων συμπιεστών και μόνο.

Τα ωφέλη που προκύπτουν απο την υιοθέτηση έξυπνων τεχνολογιών που προσαρμόζουν την λειτουργία ανάλογα με τó είδος και την ποσότητα της ζήτησης καθώς αποτελού σημαντικό όπλο για την βελτίωση της αποδοτικότητας.Επιπλέον οι ενσωματωμένες τεχνολογίες για την εξάλειψη των απωλειών επιτρέπουν την επιλογή συστημάτων με μεγαλύτερη «καθαρή» απόδοση για κάθε μονάδα καταναλισκώμενης ενέργειας.



Επίλογος

# Ερωτήσεις?

[christos.gekas@lge.com](mailto:christos.gekas@lge.com)