

10-9-24

ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ – 1

Νίκος Χαριτωνίδης, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Master of Engineering Univ. of Sheffield, Γενικός Διευθυντής ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ ΑΕΒΤΕ & CRYOLOGIC ΕΕ.

Η δεδομένη λογική της απόρριψης θερμότητας προς το περιβάλλον που διακρίνει κάθε ψυκτική εγκατάσταση βάζει αμέσως την ιδέα της ανάκτησης αυτής της θερμότητας. Κάτι τέτοιο αυτόματα ανεβάζει τον συνολικό COP της εγκατάστασης. Ενώ η ιδέα ακούγεται απλή, στην πραγματικότητα το σχετικό έργο είναι σύνθετο και απαιτεί την ικανοποίηση πολλών προϋποθέσεων για να είναι βιώσιμο. Σ' αυτό το άρθρο και επόμενα θα εξετάσουμε τα σημεία του κυκλώματος που μπορεί να γίνει η ανάκτηση και τις προϋποθέσεις βιωσιμότητας και θα προετοιμαστούμε για τις μεθόδους πρωτογενούς παραγωγής θέρμανσης με αντλίες θερμότητας, όπου η αμμωνία έχει σημαντικό ρόλο που θα εξετάζουμε μετά.

ΓΕΝΙΚΑ

Ο ψυκτικός κύκλος, στον οποίο βασίζεται η λειτουργία μιας ψυκτικής εγκατάστασης περιλαμβάνει ανταλλαγές θερμικού φορτίου, από και προς το ψυκτικό ρευστό (π.χ. αμμωνία). Στον συμβατικό κύκλο και στη φάση της συμπύκνωσης (και της ενδιάμεσης ψύξης σε διβάθμια συστήματα), υπάρχει απόδοση θερμότητας από το ψυκτικό ρευστό προς το περιβάλλον¹. Οι ποσότητες της ενέργειας είναι σημαντικές και προκύπτει λογικά η ευκαιρία, να ανακτηθεί η ενέργεια αυτή για ωφέλιμους σκοπούς στην επιχείρηση. Η ιδέα φαίνεται καταρχήν απλή, στην πράξη όμως είναι περίπλοκη και χρειάζεται προσεκτική ανάλυση, ώστε να υπάρχει πραγματικό όφελος. Η αξιολόγηση πρέπει να σταθμίσει τους εξής παράγοντες, που εν πολλοίς πρέπει να συντρέχουν:

- ❖ Η επάρκεια της θερμικής ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί, σχετικά με τη χρήση που προορίζεται.
- ❖ Ο συγχρονισμός της διαθεσιμότητας της ανακτούμενης ενέργειας, με την απαίτηση της χρήσης για την οποία προορίζεται (timing).
- ❖ Το κόστος της αρχικής επένδυσης, για την εγκατάσταση του συστήματος ανάκτησης (αποσβέσεις).

¹ Υπάρχει και ο κύκλος transcritical του διοξειδίου του άνθρακα, όπου δεν υπάρχει συμπύκνωση αλλά ψύξη του υπερκρίσιμου ρευστού. Η απόρριψη της θερμότητας γίνεται στον ψύκτη αερίου.

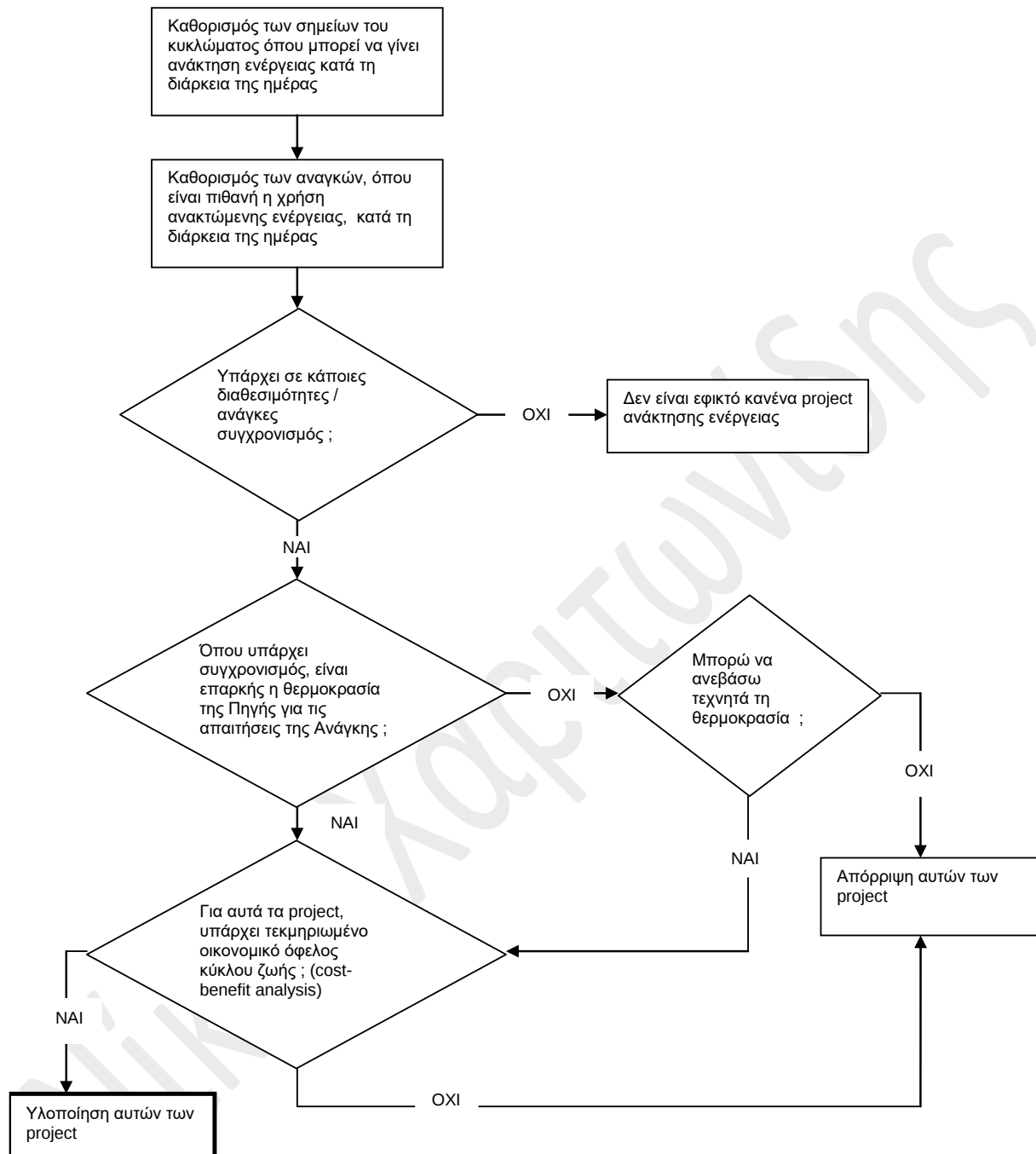
- ❖ Το όφελος που προκύπτει από την ανάκτηση, σε όρους μείωσης του λειτουργικού κόστους και των αποσβέσεων.
- ❖ Η καταλληλότητα της θερμοκρασίας της πηγής ανάκτησης, σε σχέση με την απαιτούμενη θερμοκρασία της προοριζόμενης χρήσης.

ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Εκ πρώτης όψης, φαίνεται ότι η βιωσιμότητα ανάκτησης ενέργειας από ένα ψυκτικό κύκλωμα είναι προφανής, λόγω της δεδομένης απόρριψης θερμότητας στο περιβάλλον. Εν τούτοις, υπάρχουν εμπόδια τα οποία μπορεί να ανατρέπουν αυτή τη λογική. Τα κύρια ερωτήματα είναι:

1. Αρκεί ο ποσότητα της θερμότητας για την επιθυμητή χρήση;
2. Υπάρχει συγχρονισμός διαθεσιμότητας – ανάγκης ;
3. Είναι επαρκής η θερμοκρασία στο σημείο ανάκτησης, ώστε να είναι εφικτή η μεταφορά της θερμότητας στην επιθυμητή θερμοκρασία χρήσης;

Δεν υπάρχουν τυποποιημένες απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα. Κάθε περίπτωση έχει τις ιδιαιτερότητές της και πρέπει να μελετηθεί ξεχωριστά. Η λογική της αξιολόγησης φαίνεται στο επόμενο λογικό διάγραμμα:



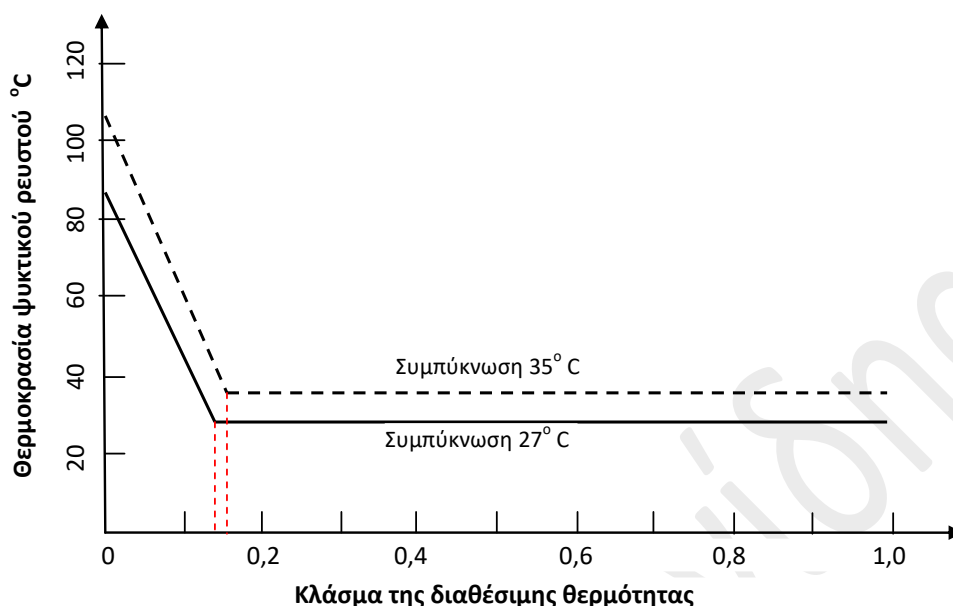
Σχήμα 1: Η λογική αποδοχής ή απόρριψης επένδυσης ανάκτησης ενέργειας.

ΠΗΓΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Σε ένα συγκρότημα Βιομηχανικής Ψύξης υπάρχουν πολλά σημεία, όπου «αποβάλλεται» θερμότητα από το σύστημα, η οποία θεωρητικά μπορεί να ανακτηθεί. Τέτοια σημεία είναι:

- ❖ Η γραμμή κατάθλιψης των συμπιεστών μέχρι τους συμπυκνωτές. Στην περιοχή αυτή είναι επιθυμητή η αφαίρεση θερμότητας από το (υπέρθερμο) αέριο (desuperheating). Η θερμότητα μπορεί να αφαιρεθεί είτε με «αισθητή» μέθοδο (πτώση της θερμοκρασίας του ψυκτικού ρευστού), είτε με «λανθάνουσα» μέθοδο (υγροποίηση του ψυκτικού ρευστού υπό σταθερή θερμοκρασία). Και στις δυο περιπτώσεις, αποβάλλεται θερμότητα από το ψυκτικό ρευστό και αποδίδεται σε ένα άλλο ρευστό (π.χ. νερό), το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για σκοπούς θέρμανσης ή άλλους.
- ❖ Η γραμμή κατάθλιψης της πρώτης βαθμίδας συμπίεσης σε διβάθμιο σύστημα. Είναι και εδώ επιθυμητή η ενδιάμεση ψύξη του ψυκτικού ρευστού, το οποίο προκύπτει υπέρθερμο από τη 1^η βαθμίδα. Η διαδικασία ανάκτησης βασίζεται στην «αισθητή» πτώση της θερμοκρασίας του ψυκτικού ρευστού (desuperheating). Το όφελος είναι τριπλό: (α) λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας του (αρχικά υπέρθερμου) ατμού της αναρρόφησης 2^{ης} βαθμίδας, αυξάνει η απόδοση της 2^{ης} βαθμίδας (αύξηση πυκνότητας ατμού αναρρόφησης), (β) προστατεύεται από υπερθέρμανση ο συμπιεστής 2^{ης} βαθμίδας (και τα λάδια του) και (γ) η ανακτημένη θερμότητα χρησιμοποιείται κάπου αλλού.
- ❖ Το νερό που ψύχει τις κεφαλές των παλινδρομικών συμπιεστών. Το νερό αυτό είναι «φορτισμένο» με θερμότητα από τα θερμά σημεία του συμπιεστή.
- ❖ Το λάδι που ψύχει τους κοχλιωτούς συμπιεστές (θερμό λάδι ως άνω).

Από τις παραπάνω πηγές ανάκτησης ενέργειας, η πιο «πλούσια» είναι η γραμμή κατάθλιψης της ψηλής βαθμίδας (γραμμή προς τους συμπυκνωτές) και είναι αυτή που χρησιμοποιείται συχνότερα στην πράξη. Η θερμοκρασία της γραμμής κατάθλιψης είναι ψηλή (συχνά γύρω στους 100° C στην αμμωνία). Η αισθητή όμως θερμότητα ψύξης του ατμού αυτού είναι μικρή σε σχέση με τη (λανθάνουσα) θερμότητα συμπύκνωσης για δεδομένη παροχή. Σύμφωνα με [2], η θερμότητα που αποδίδεται κατά την αφαίρεση της υπερθέρμανσης είναι μόλις το 10-15% της συνολικής προς απόρριψη θερμότητας από την έξοδο του συμπιεστή μέχρι την έξοδο του συμπυκνωτή (καθαρό υγρό), όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα για αμμωνία.



Σχήμα 2: Καταμερισμός απορριπτόμενης θερμότητας σε ψύξη υπέρθερμου ατμού και συμπύκνωση (αμμωνία) [2].

Στον επόμενο πίνακα, φαίνονται οι θερμοκρασίες της σημαντικότερων πηγών ανάκτησης [2].

ΠΗΓΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΗΓΗΣ
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης παλινδρομικού συμπιεστή χαμηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	80-90° C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης κοχλιωτού συμπιεστή χαμηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	50-60° C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης παλινδρομικού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	95-115° C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης κοχλιωτού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	65-75° C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης παλινδρομικού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από τη συμπύκνωση (λανθάνουσα)	16-38° C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης κοχλιωτού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από τη συμπύκνωση (λανθάνουσα)	16-38° C

Πίνακας 1: Πηγές ανάκτησης θερμότητας σε μια ψυκτική εγκατάσταση και οι θερμοκρασίες τους [2].

Οι θερμοκρασίες αυτές δίνουν κατεύθυνση για τη «θερμοκρασιακή ακαταλληλότητα» της πηγής, ανάλογα με τη προοριζόμενη χρήση. Χονδρικά, η θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί στην

προοριζόμενη χρήση είναι κατά 15 – 25° C χαμηλότερη από τη θερμοκρασία πηγής, ανάλογα με την επιφάνεια του εναλλάκτη και τις βαθμίδες εναλλαγής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Νίκος Χαριτωνίδης «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΨΥΞΗΣ – ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑ», 2020.
2. Wilbert F. Stoecker "Industrial Refrigeration Handbook", McGraw Hill, 1998.