

6-3-20

ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

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

1. ΓΕΝΙΚΑ

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. Ο ψυκτικός κύκλος, στον οποίο βασίζεται η λειτουργία μιας ψυκτικής εγκατάστασης, περιλαμβάνει εναλλαγές θερμικού φορτίου από και προς το ψυκτικό ρευστό (π.χ. αμμωνία). Στο 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, στη πράξη όμως είναι περίπλοκη και χρειάζεται προσεκτική ανάλυση, ώστε να υπάρχει πραγματικό όφελος. Η αξιολόγηση πρέπει να σταθμίσει τους εξής παράγοντες:

- ❖ 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 όφελος που προκύπτει από την ανάκτηση, σε όρους μείωσης του λειτουργικού κόστους
- ❖ Το κόστος της αρχικής επένδυσης για την εγκατάσταση του συστήματος ανάκτησης.
- ❖ Η καταλληλότητα της θερμοκρασίας της πηγής ανάκτησης, σε σχέση με την απαιτούμενη θερμοκρασία της προοριζόμενης χρήσης.

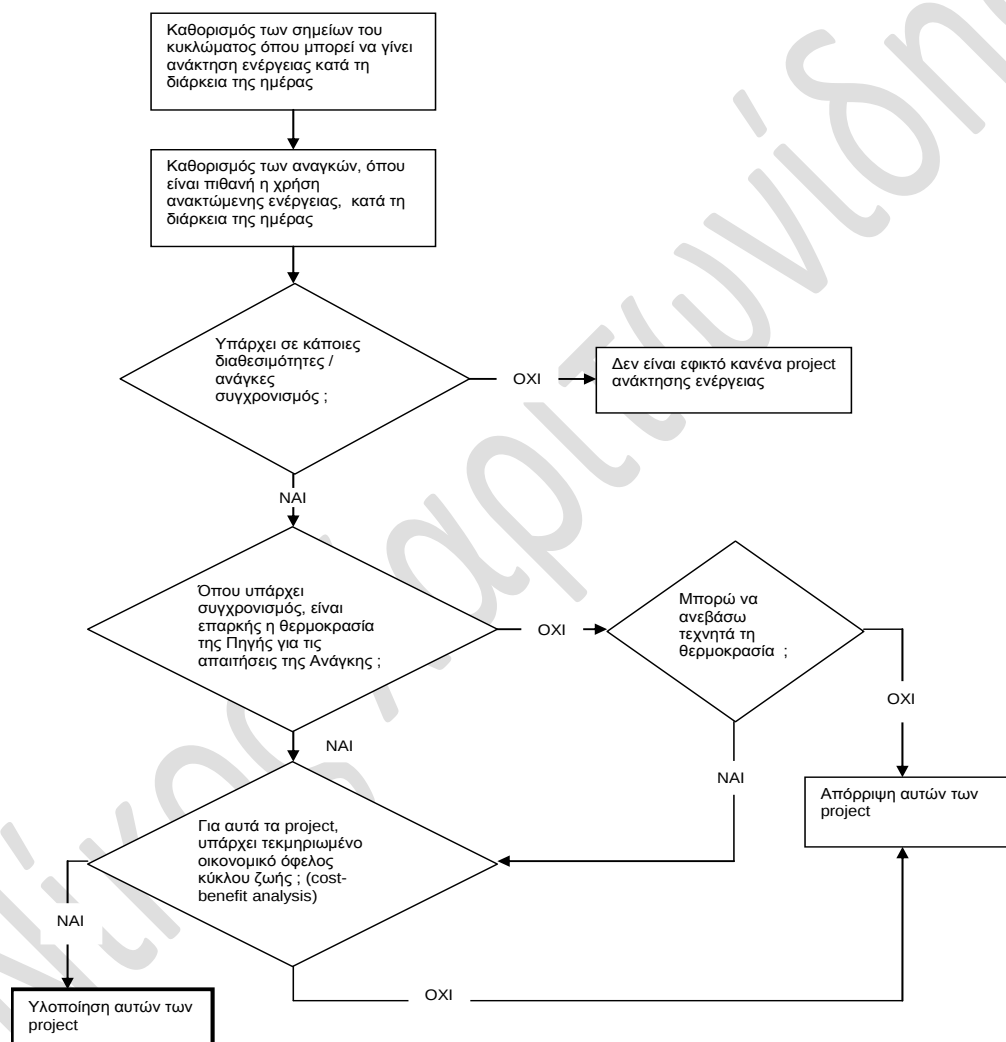
2. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

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 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.

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.

3. 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 υπέρθερμου 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 μπορεί να 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, (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 (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 (γύρω στους 100° C στην αμμωνία). Η αισθητή όμως θερμότητα ψύξης του ατμού αυτού είναι μικρή σε σχέση με τη θερμότητα συμπύκνωσης για δεδομένη παροχή. Σύμφωνα με [1], για αμμωνία η θερμότητα που αποδίδεται κατά την αφαίρεση της υπερθέρμανσης είναι μόλις το 10-15% της συνολικής θερμότητας απόρριψης από την έξοδο του συμπιεστή μέχρι την έξοδο του συμπυκνωτή.

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι θερμοκρασίες της σημαντικότερων πηγών ανάκτησης σε ένα διβάθμιο σύστημα αμμωνίας [1].

ΠΗΓΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΗΓΗΣ
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης παλινδρομικού συμπιεστή χαμηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	80-90 ⁰ C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης κοχλιωτού συμπιεστή χαμηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	50-60 ⁰ C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης παλινδρομικού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	95-115 ⁰ C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης κοχλιωτού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από το υπέρθερμο αέριο (αισθητή)	65-75 ⁰ C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης παλινδρομικού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από τη συμπύκνωση (λανθάνουσα)	16-38 ⁰ C
Ψυκτικό ρευστό κατάθλιψης κοχλιωτού συμπιεστή ψηλής βαθμίδας – ανάκτηση από τη συμπύκνωση (λανθάνουσα)	16-38 ⁰ C

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

4. ΑΝΑΓΚΕΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΤΩΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι χρήσεις, για τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανακτώμενη θερμική ενέργεια, είναι οι εξής:

- ❖ Υποδαπέδια θέρμανση για προστασία έναντι ανύψωσης των δαπέδων θαλάμων βαθιάς κατάψυξης, που «ακουμπούν» στο έδαφος. Επειδή ο πάγος διαστέλλεται, αν παγώσει το νερό του εδάφους κάτω από ένα θάλαμο βαθιάς κατάψυξης μπορεί να «ανυψώσει» το δάπεδο. Για τούτο, η θερμοκρασία της περιοχής κάτω από το δάπεδο πρέπει να διατηρείται άνω του μηδενός. Μια από τις χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες, είναι η υποδαπέδια θέρμανση με κύκλωμα θερμής γλυκόλης, που θερμαίνεται από ανακτώμενη ενέργεια. Οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι σχετικά χαμηλές (της τάξης των 6 w/m²) και μάλιστα σε θερμοκρασιακό επίπεδο που εύκολα επιτυγχάνεται (πίνακας 2).
- ❖ Θέρμανση νερού για αποψύξεις. Σε κάποια συστήματα, η απόψυξη των «παγωμένων» στοιχείων γίνεται με νερό που θερμαίνεται από μια εξωτερική πηγή. Η πηγή αυτή μπορεί να είναι ανακτώμενη ενέργεια.
- ❖ Θέρμανση χώρων το χειμώνα. Οι χώροι αυτοί μπορεί να είναι γραφεία, χώροι φόρτωσης / αποθήκευσης ξηρού φορτίου και βοηθητικοί χώροι (π.χ. συσκευαστήρια).
- ❖ Στοιχεία αναθέρμανσης αέρα για διαδικασία αφύγρανσης (αφυγραντής). Όταν είναι επιθυμητή χαμηλή σχετική υγρασία (40-65%) και δεν μπορεί να επιτευχθεί με την υπάρχουσα ψυκτική εγκατάσταση, τότε πρέπει να γίνει αναθέρμανση του αέρα. Η πηγή της ενέργειας αναθέρμανσης μπορεί να είναι ανακτώμενη θερμότητα. Με τη μέθοδο αυτή για

παράδειγμα μπορεί να ξηραίνεται αέρας θερμοκρασίας 2⁰ C από σχετική υγρασία 85% σε 60%.

- ❖ Θέρμανση νερού για πλήση χώρων ή για κατεργασίες. Η θέρμανση αυτή μπορεί να είναι αυτοτελής ή να είναι προθέρμανση νερού που τροφοδοτεί αντλία θερμότητας ή σύστημα λέβητα με πρόσθετη πηγή θέρμανσης (π.χ. αέριο). Η εφαρμογές αυτές είναι ιδανικές για ψυκτικές εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν εργαστήρια κρεάτων και γαλακτοκομικών.

Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι βασικές χρήσεις ανακτώμενης ενέργειας [1] και οι σχετικές θερμοκρασίες πηγής / χρήσης και ενδιάμεσου φορέα.

ΧΡΗΣΗ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΗΣΗΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΤΗ ΠΗΓΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ
Υποδαπέδια θέρμανση δαπέδων καταψύξεων (>0 ⁰ C)	5-10 ⁰ C (γλυκόλη)	10-15 ⁰ C
Νερό που χρησιμοποιείται για απόψυξη	18-22 ⁰ C	23-28 ⁰ C
Θέρμανση χώρων ξηρού φορτίου	18 ⁰ C (αέρας χώρου) / 27-33 ⁰ C (γλυκόλη)	32-38 ⁰ C
Θέρμανση γραφείων	22-24 ⁰ C (αέρας χώρου) / 33-38 ⁰ C (γλυκόλη)	38-43 ⁰ C
Αναθέρμανση αέρα ψυκτικού θαλάμου για αφύγρανση	32-38 ⁰ C (γλυκόλη)	37-43 ⁰ C
Θέρμανση (ή προθέρμανση) νερού για κατεργασίες	40-45 ⁰ C (νερό χρήσης)	45-50 ⁰ C

Πίνακας 2: Πιθανές χρήσεις ανάκτησης θερμότητας σε ψυκτική εγκατάσταση.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Wilbert F. Stoecker "Industrial Refrigeration Handbook", McGraw Hill, 1998.