

ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας συναντά ορισμένα τεχνικά προβλήματα, Τα προβλήματα αυτά είναι:

(α) ο **σχηματισμός επικαθίσεων** (ή **καθαινώσεις** ή **αποθέσεις**) σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό,

(β) η **διάβρωση** των μεταλλικών επιφανειών,

(γ) η **διάθεση των ρευστών** μετά τη χρήση τους και

δ) οι **εκπομπές ορισμένων τοξικών αερίων**, ιδίως του υδροθείου.

Όλα αυτά τα προβλήματα σχετίζονται άμεσα με την **ιδιάζουσα σε ορισμένες περιπτώσεις χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών.**

Σχηματισμός επικαθίσεων



❖ Ως σχηματισμός **επικαθίσεων** ορίζεται

η συσσώρευση ανεπιθύμητων υλικών στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με κάποιο ρευστό.

❑ Παραδείγματα επικαθίσεων αποτελούν ο γνωστός μας λεβητόλιθος (πουρί) στους θερμοσίφωνες και τις καφετιέρες,

- ❖ Ο ρυθμός σχηματισμού των επικαθίσεων εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, όπως
 - η χημική σύσταση του νερού,
 - οι θερμοδυναμικές αλλαγές από τη μεταβολή της πίεσης και τη διεργασία εναλλαγής θερμότητας,
 - οι συνθήκες ροής και τα συνεργητικά φαινόμενα της διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών.

Φυσικές επικαθήσεις εξαιτίας γεωθερμικών συνθηκών





Κατηγορίες επικαθίσεων

• *Επικαθίσεις λόγω κρυστάλλωσης ή στην επιφάνεια των αγωγών ή των εξοπλισμών λόγω διαλυμένων αλάτων.*



αλάτων επάνω
λυτότητας των

• *Σωματιδιακές επικαθίσεις σωματιδίων που βγαίνουν από τον αγωγό.*

• *Επικαθίσεις λόγω αντίδρασης, που λυσιμετασχηματίζονται στο υλικό της επιφάνειας.*





Κατηγορίες επικαθίσεων

• **Επικαθίσεις**

• **Βιολογικές**
μακροοργανισμοί

Τις περισσότερες φορές
γιατί για τη



αι από προϊόντα διάβρωσης,

σεις και η ανάπτυξη μικρό- ή
ό.

το είδος των επικαθίσεων,
να μηχανισμοί.

Στάδια σχηματισμού επικαθίσεων

(α) Έναρξη



(β) Μεταφορά. Συνδέεται με τη διάχυση ιόντων, μορίων, σωματιδίων κτλ. στην επιφάνεια, πάνω στην οποία δημιουργούνται οι επικαθίσεις.

(γ) Προσκόλληση. Είναι το στάδιο κατά το οποίο τα ιόντα, μόρια, σωματίδια κτλ. έρχονται σε επαφή και προσκολλώνται στην επιφάνεια ή στις ήδη σχηματισμένες επικαθίσεις.

(δ) Απομάκρυνση . Η απομάκρυνση των επικαθίσεων μπορεί να αρχίσει από τη στιγμή που έχει εναποτεθεί κάποια μάζα στα τοιχώματα. Η απομάκρυνση οφείλεται στις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στα τοιχώματα ενός αγωγού από τη ροή του ρευστού.

(ε) Ωρίμανση . Και το στάδιο αυτό μπορεί να αρχίσει αμέσως μετά την αρχική δημιουργία επικαθίσεων. Η ωρίμανση περιλαμβάνει διάφορες διεργασίες, όπως ανακρυστάλλωση, χημική διάσπαση κ.ά

Κόστος από το σχηματισμό των επικαθίσεων

- ✓ *Επιπλέον πάγιο κόστος.*
- ✓ *Κόστος συστημάτων για τον έλεγχο των επικαθίσεων.*
- ✓ *Κόστος από τις ενεργειακές απώλειες.*
- ✓ *Απώλειες λόγω επικαθίσεων.*
- ✓ *Κόστος συντήρησης και καθαρισμού.*
- ✓ *Κόστος παραγωγής που χάνεται.*

Επικαθίσεις σε γεωθερμικές μονάδες

- Σχεδόν σε όλες τις γεωθερμικές εφαρμογές αντιστοιχούν μία ή περισσότερες γεωτρήσεις και συσκευές στην επιφάνεια της γης για την απόληψη της θερμότητας.
- Σε κάθε προαναφερθέν στάδιο, τα γεωθερμικά ρευστά εκτίθενται σε σημαντικές αλλαγές της θερμοκρασίας και της πίεσης, οι οποίες επηρεάζουν τη διαλυτότητα των διαλυμένων αλάτων.
- Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα είδη των επικαθίσεων που απαντώνται σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις μπορεί να χαρακτηρισθούν ανάλογα με τη σύστασή τους.
- Οι ανθρακικές επικαθίσεις είναι το συνηθέστερο συστατικό σε μονάδες χαμηλής ενθαλπίας, ενώ οι πυριτικές και οι θειούχες σχηματίζονται από ρευστά υψηλής ενθαλπίας
- Ειδικότερα, ρευστά υψηλής ενθαλπίας με χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα σχηματίζουν πυριτικές επικαθίσεις, ενώ ρευστά με υψηλή περιεκτικότητα σχηματίζουν επικαθίσεις με πολύπλοκη χημική σύσταση.
- Πυριτικά, μεταλλοπυριτικά, οξείδια του σιδήρου και θειούχες ενώσεις είναι τα κυριότερα συστατικά των τελευταίων επικαθίσεων.

Χαρακτηρισμός επικαθίσεων - Επικαθίσεις σε γεωθερμικές μονάδες



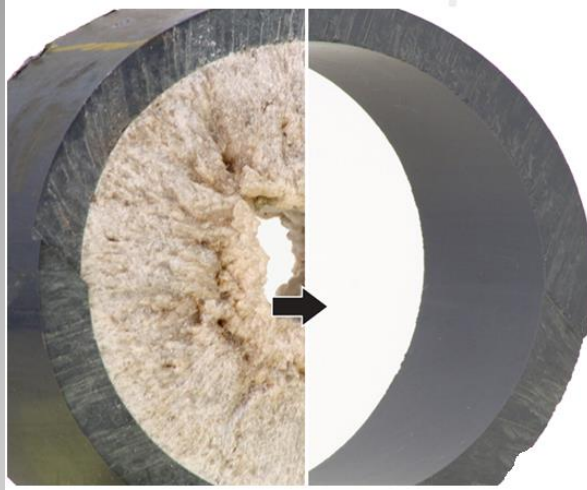
Χαρακτηρισμός επικαθίσεων - Επικαθίσεις σε γεωθερμικές μονάδες

• Οι θειούχες σχηματίζονται από ρευστά υψηλής ενθαλπίας,

• Η δημιουργία επικαθίσεων θειούχων ενώσεων βαρέων μετάλλων σε μονάδες υψηλής ενθαλπίας οφείλεται συνήθως στη μείωση της διαλυτότητάς τους μετά την εκτόνωση, λόγω αύξησης του pH, μείωσης της θερμοκρασίας και αύξησης της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο ρευστό, σχηματίζουν σκληρές και συνεκτικές επικαθίσεις σκούρου χρώματος με τη μορφή στιβάδων,

▪ Πυριτικές ενώσεις. Διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) ή μεταλλοπυριτικές ενώσεις σχηματίζονται σχεδόν από όλα τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας και σε αρκετές περιπτώσεις από ρευστά ενδιάμεσης ενθαλπίας





Πρόληψη και έλεγχος επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες

Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μία πληθώρα τεχνικών και μεθόδων. Μερικές από τις πιο κοινές πρακτικές είναι

- ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας
- η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της,
- η ρύθμιση του pH του ρευστού,
- η προσθήκη χημικών ουσιών
- η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα, στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.
- Χρησιμοποίηση αγωγών μεγάλης διαμέτρου σε σημεία που αναμένεται σημαντική δημιουργία επικαθίσεων.

Διάβρωση σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις

Αρκετές από τις διαλυμένες ουσίες στα γεωθερμικά ρευστά προκαλούν έντονα προβλήματα **διάβρωσης** σε μεταλλικές επιφάνειες και έχουν αρνητική επίδραση σε σχεδόν όλα τα μη μεταλλικά υλικά και αποτελούν σημαντικό εμπόδιο στην αξιοποίηση της γεωθερμίας.

❖ Η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών οδηγεί σε

➤ μείωση του πάχους και της αντοχής των σωληνώσεων



επιφανειών
αδων απ



Διάβρωση σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις

❖ Είναι αξιοσημείωτο ότι τα προβλήματα της διάβρωσης πρέπει να αντιμετωπιστούν με ικανοποιητικό τρόπο για να υπάρξει σωστή λειτουργία της γεωθερμικής μονάδας.

❖ Τα κυριότερα συστατικά στα γεωθερμικά ρευστά που προκαλούν προβλήματα διάβρωσης είναι :

- Το οξυγόνο (O_2)
- Τα ιόντα υδρογόνου, H^+ (ή pH)
- Τα χλωριόντα (Cl^-) και τα φθοριόντα (F^-)
- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τα ανθρακικά ιόντα
- Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-})
- Το υδρόθειο (H_2S) ή τα θειούχα ιόντα (S^{2-} , HS^-)
- Η αμμωνία (NH_3) ή τα ιόντα αμμωνίου
- Τα ιόντα βαρέων μετάλλων.

Τύποι Διάβρωσης σε γεωθερμικά συστήματα

Για τα γεωθερμικά συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας οι σημαντικότεροι τύποι διάβρωσης είναι:

❖ **Γενική διάβρωση** . Με τον όρο αυτόν εννοείται η γενική προσβολή της μεταλλικής επιφάνειας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σκουριάς. Ευνοείται από την παρουσία χλωριόντων, ιόντων αμμωνίου και υδρογόνου

❖ **Τμηματική διάβρωση**. Ο τύπος αυτός της διάβρωσης αποτελεί μορφή τοπικής προσβολής, με το σχηματισμό μικροσκοπικών οπών-εσοχών διαφόρου βάθους, μεγέθους ή σχήματος στη μεταλλική επιφάνεια. Τα χλωριόντα, είναι η κύρια αιτία για τον τύπο αυτό της διάβρωσης σε χάλυβες, ενώ για τα κράματα χαλκού πιστεύεται πως αιτία είναι η παρουσία ιόντων αμμωνίου.



Τύποι Διάβρωσης σε γεωθερμικά συστήματα

❖ **Διάβρωση με μορφή σχισμών.** Ο τύπος αυτός της διάβρωσης είναι παρόμοιος σε κάποιο βαθμό με τη τρηματική διάβρωση.

❖ **Εργοδιάβρωση.** Ονομάζεται η φθορά του μετάλλου από το συνδυασμό μηχανικής καταπόνησης ή παραμένουσας καταπόνησης και ενός περιβαλλοντικού παράγοντα,

❖ **Εργοδιάβρωση λόγω θειούχων ιόντων.** Είναι η καταστροφική φθορά ανθεκτικών χαλύβων όταν εκτίθενται σε περιβάλλον που περιέχει θειούχα ιόντα και βρίσκονται κάτω από μηχανική καταπόνηση.



Τύποι Διάβρωσης σε γεωθερμικά συστήματα

- ❖ **Γενική Περικρυσταλλική διάβρωση.** Πρόκειται για σοβαρή τοπική προσβολή κοντά ή γύρω από τους κρυσταλλικούς κόκκους, με μικρή ή καθόλου προσβολή των κόκκων
- ❖ **Γαλβανική διάβρωση.** Παρατηρείται όταν δύο ανόμοια μέταλλα που βρίσκονται σε επαφή συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους σε αγώγιμο διάλυμα, οπότε προσβάλλεται το λιγότερο ευγενές μέταλλο (άνοδος).
- ❖ **Αποκραματοποίηση.** Είναι η επιλεκτική διαλυτοποίηση ενός συστατικού σε ένα κράμα.
- ❖ **Μηχανική διάβρωση.** Δημιουργείται σημαντική απώλεια υλικού από την πρόσκρουση σταγονιδίων ή σωματιδίων, όταν το ρευστό ρέει με ταχύτητα μεγαλύτερη από κάποια κρίσιμη τιμή, χαρακτηριστική κάθε υλικού.





❖ Διαβρωτικά συστατικά σε γεωθερμικά ρευστά

- ❑ Τα κυριότερα διαβρωτικά συστατικά που απαντώνται σε γεωθερμικά ρευστά είναι
 - ✓ το οξυγόνο, υδρόθειο, διοξείδιο του άνθρακα, τα χλωριόντα, τα ιόντα υδρογόνου και τα θειικά ιόντα.
- ❑ Μερικά, ή και όλα τα παραπάνω συστατικά, περιέχονται κατά κανόνα σε κάθε γεωθερμικό νερό, ιδιαίτερα στα νερά υψηλής ενθαλπίας.

❖ Αντιμετώπιση της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες

Η πρόβλεψη και η αντιμετώπιση της διάβρωσης σε μία γεωθερμική μονάδα αποσκοπεί στο σχεδιάσμά και την κατασκευή αξιόπιστων μονάδων με το μικρότερο δυνατό κόστος λειτουργίας, συντήρησης και αντικατάστασης.

Οι διάφορες δυνατότητες ελέγχου της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες συνοψίζονται ως εξής:

- Επιλογή κατάλληλου υλικού κατασκευής
- *Επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών σε ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα*
- Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης Ως αναστολείς διάβρωσης χαρακτηρίζονται οι ουσίες, οι οποίες σε σχετικά μικρή περιεκτικότητα στο γεωθερμικό νερό, μειώνουν σε μεγάλο βαθμό τη διαβρωτική του δράση.
- Ορθός σχεδιασμός της μονάδας
- Μεταφορά της θερμότητας ενός διαβρωτικού γεωθερμικού νερού σε κάποιο μη- διαβρωτικό υγρό με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι μεταλλικές επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το γεωθερμικό υγρό
- Απομάκρυνση ή παρεμπόδιση εισόδου αέρα στη μονάδα
- Κατασκευή των διαφόρων τμημάτων της μονάδας, έτσι ώστε να αποσυναρμολογούνται εύκολα για γρήγορη συντήρηση ή αντικατάσταση των διαβρωμένων μερών,
- Προστασία των εξωτερικών επιφανειών της εγκατάστασης με προστατευτικές επικαλύψεις.