



Γεωθερμία

Ενότητα 4: Γεωθερμική ενέργεια ψηλής ενθαλπίας

Καθηγητής Κωνσταντίνος Λ. Κατσιφαράκης
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Γεωθερμική ενέργεια ψηλής ενθαλπίας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Γεωθερμική ενέργεια ψηλής ενθαλπίας

Η γεωθερμική ενέργεια ψηλής ενθαλπίας, που παρέχεται από τα αντίστοιχα πεδία, χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκμετάλλευση άρχισε από γεωθερμικά πεδία που παράγουν ξηρό ατμό. Η πρώτη μονάδα λειτούργησε στο Larderello το 1913 και είχε ισχύ 250 KW. Σήμερα η εκμετάλλευση έχει επεκταθεί και σε πεδία, τα οποία παράγουν θερμό νερό, ενώ η συνολική εγκαταστημένη ισχύς έχει σχεδόν φθάσει τα 8000 MW.

Στην Ελλάδα υπάρχουν γεωθερμικά πεδία ψηλής ενθαλπίας, που συνδέονται με το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου. Πιο γνωστό είναι το πεδίο της Μήλου, όπου έγινε προσπάθεια για κατασκευή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς όμως να ολοκληρωθεί. Εξ ίσου αξιόλογο είναι και το γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου.



Η παραγωγή των γεωθερμικών ρευστών (1/5)

Η παραγωγή γεωθερμικού ρευστού είναι παρόμοια με την παραγωγή πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Βασικό παραγωγικό σύστημα είναι μια γεώτρηση, που φθάνει μέχρι τον γεωθερμικό υδροφορέα και αποτελεί έναν σταθερό αγωγό για την διακίνηση του γεωθερμικού ρευστού μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.

Η γεώτρηση συμπληρώνεται με κατάλληλο εξοπλισμό για τον έλεγχο και την μεταφορά του ρευστού μέχρι τον τόπο χρησιμοποίησής του.



Η παραγωγή των γεωθερμικών ρευστών (2/5)

Η αξιοποίηση κάθε γεωθερμικού πεδίου προϋποθέτει κατάλληλο σχεδιασμό, ώστε η απόδοσή του να είναι ικανοποιητική. Πρώτα πρέπει να βρεθεί η δυναμικότητα του πεδίου, με ερευνητικές γεωτρήσεις στις κατάλληλες θέσεις. Με βάση το στοιχείο αυτό καθορίζεται η μέγιστη ισχύς της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή ο μέγιστος αριθμός των μονάδων μεγάλης ισχύος που μπορεί να τροφοδοτήσει το πεδίο. Ακολουθεί ο υπολογισμός του αριθμού των γεωτρήσεων, που χρειάζονται για την τροφοδοσία κάθε μονάδας. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η διάταξη των γεωτρήσεων, ώστε η λειτουργία της κάθε μιας να επηρεάζει λίγο την απόδοση των υπολοίπων. Ακόμη, επειδή η παροχή των γεωτρήσεων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, πρέπει να προβλέπεται χώρος για την κατασκευή νέων γεωτρήσεων. Η έκταση του χώρου αυτού είναι συνάρτηση και του προβλεπόμενου οικονομοτεχνικού χρόνου ζωής των μονάδων παραγωγής ενέργειας.



Η παραγωγή των γεωθερμικών ρευστών (3/5)

Βασικά στοιχεία για την οικονομική απόδοση ενός γεωθερμικού πεδίου είναι το βάθος και η διάμετρος των γεωτρήσεων. Το κόστος κατασκευής αυξάνει γρήγορα με το βάθος. Γι' αυτό υπάρχει ένα οικονομικό όριο βάθους, πέρα από το οποίο το πεδίο δεν είναι εκμεταλλεύσιμο (αν και η κατασκευή της γεώτρησης μπορεί να είναι τεχνικά εφικτή). Σε εκμεταλλεύσιμα πεδία, το εγκιβωτισμένο μήκος της γεώτρησης καθορίζεται από το πάχος του καλύμματος του γεωθερμικού υδροφορέα. Εκείνο που μπορεί να μεταβληθεί είναι το μήκος τροφοδοσίας, δηλαδή το μήκος της γεώτρησης μέσα στον υδροφορέα, από το οποίο εξαρτάται η παροχή του γεωθερμικού ρευστού.

Η παροχή εξαρτάται και από τη διάμετρο της γεώτρησης. Αύξηση της διαμέτρου συνεπάγεται αύξηση της παροχής αλλά και του κόστους. Επιδιώκεται ο καθορισμός του κατάλληλου συνδυασμού βάθους-διαμέτρου της γεώτρησης, ώστε να παρέχεται η επιθυμητή παροχή με το μικρότερο κόστος. Στα συστήματα όπου κυριαρχεί η υγρή φάση, παίζει ρόλο και η κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας, που γενικά αυξάνεται με το βάθος. Μεγαλύτερη θερμοκρασία συνεπάγεται μείωση της απαιτούμενης παροχής.



Η παραγωγή των γεωθερμικών ρευστών (4/5)

Αλλά το κόστος αυξάνεται αν, λόγω τυχόν αυξημένης διαβρωτικότητας του θερμότερου νερού, απαιτούνται ακριβότερες σωληνώσεις. Άρα κάθε περίπτωση πρέπει να μελετάται με προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες.

Παρόμοιο πρόβλημα βελτιστοποίησης τίθεται και στην επιλογή της διαμέτρου των επιφανειακών σωληνώσεων μεταφοράς του γεωθερμικού ρευστού. Αύξηση της διαμέτρου οδηγεί σε αύξηση της παροχής ή μείωση των απωλειών υδραυλικού φορτίου μεταξύ της κεφαλής της γεώτρησης και της εισόδου του ατμοστροβίλου. Παράλληλα όμως επιφέρει αύξηση του κόστους, αλλά και των θερμικών απωλειών, γιατί αυξάνεται η εξωτερική επιφάνεια των σωληνώσεων (αν και η επιφάνεια αυτή είναι μονωμένη).



Η παραγωγή των γεωθερμικών ρευστών (5/5)

Το σύστημα παραγωγής του γεωθερμικού ρευστού περιλαμβάνει και διάφορα συστήματα ελέγχου και προστασίας, όπως συσκευές μέτρησης της παροχής και της πίεσης του γεωθερμικού ρευστού, βαλβίδες και δίσκους προστασίας του δικτύου μεταφοράς από υπερπιέσεις και παγίδες των στερεών υλικών που συμπαρασύρονται από το γεωθερμικό ρευστό.

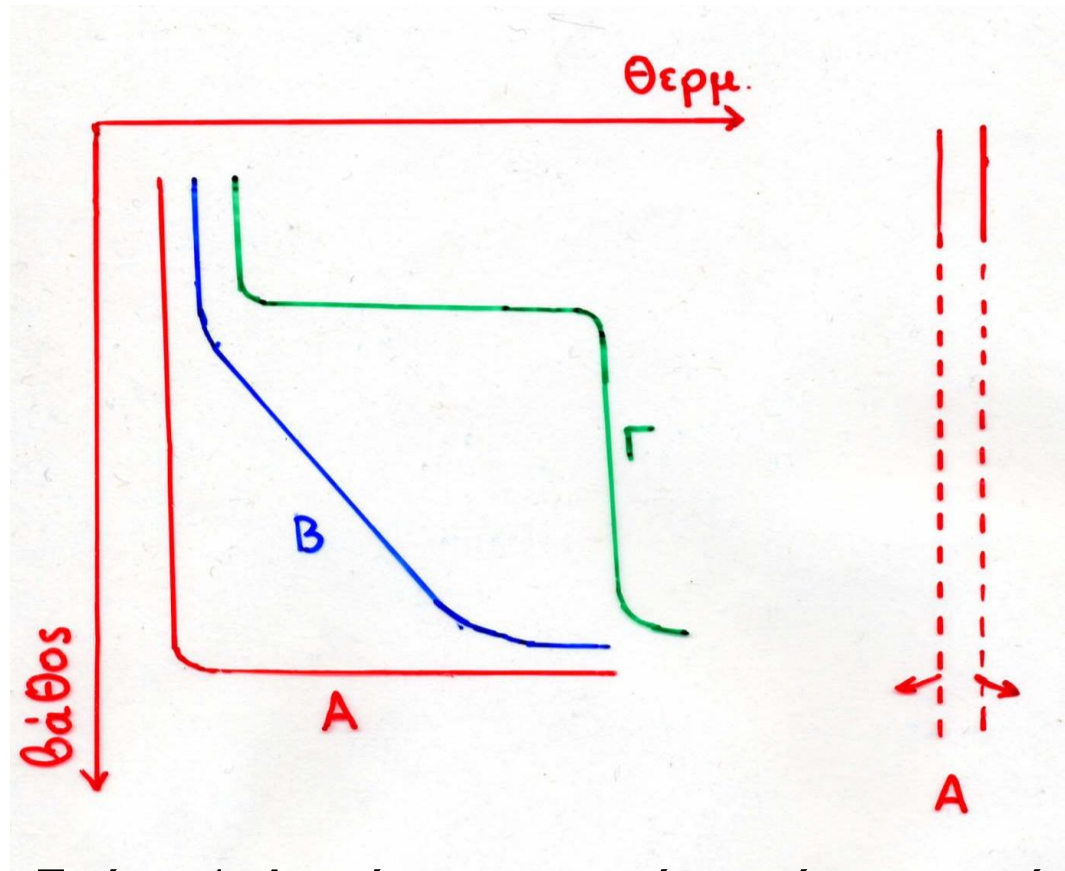


Δοκιμές διοχέτευσης νερού κατά την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων (1/5)

Η ολοκλήρωση της διάνοιξης μιας γεώτρησης ακολουθείται από ορισμένες δοκιμές, όπως η δοκιμή απώλειας νερού, που αποσκοπεί στον προσδιορισμό των θέσεων τροφοδοσίας της γεώτρησης από τα θερμά υδροφόρα στρώματα. Γίνεται με διοχέτευση κρύου νερού στη γεώτρηση και παράλληλη μέτρηση της θερμοκρασίας σε διάφορα βάθη. Το κρύο νερό θερμαίνεται σιγά-σιγά, λόγω θερμικής αγωγής από τα πετρώματα που διαπερνά η γεώτρηση. Θέσεις όμως απότομης αύξησης της θερμοκρασίας (ή επιτάχυνσης του ρυθμού αύξησής της) υποδηλώνουν επικοινωνία με γεωθερμικούς υδροφορείς.



Δοκιμές διοχέτευσης νερού κατά την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων (2/5)

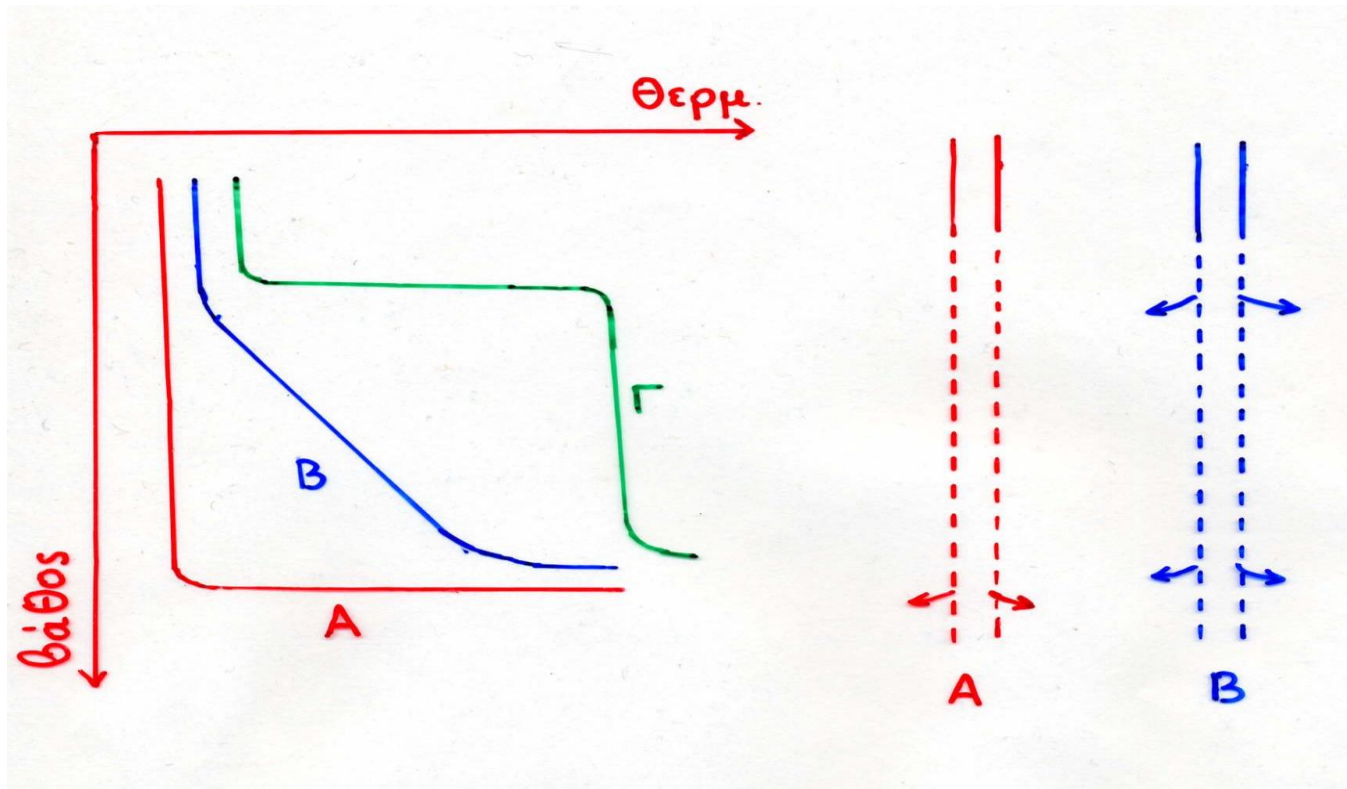


Σχήμα 1: Διοχέτευση νερού σε νέες γεωτρήσεις.

Αρχική Πηγή: *Geothermal Reservoir Engineering* Malcolm A. Grant, Ian G. Donaldson, Paul F. Bixley, Academic Press, New York 1982, σελ.84.



Δοκιμές διοχέτευσης νερού κατά την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων (3/5)

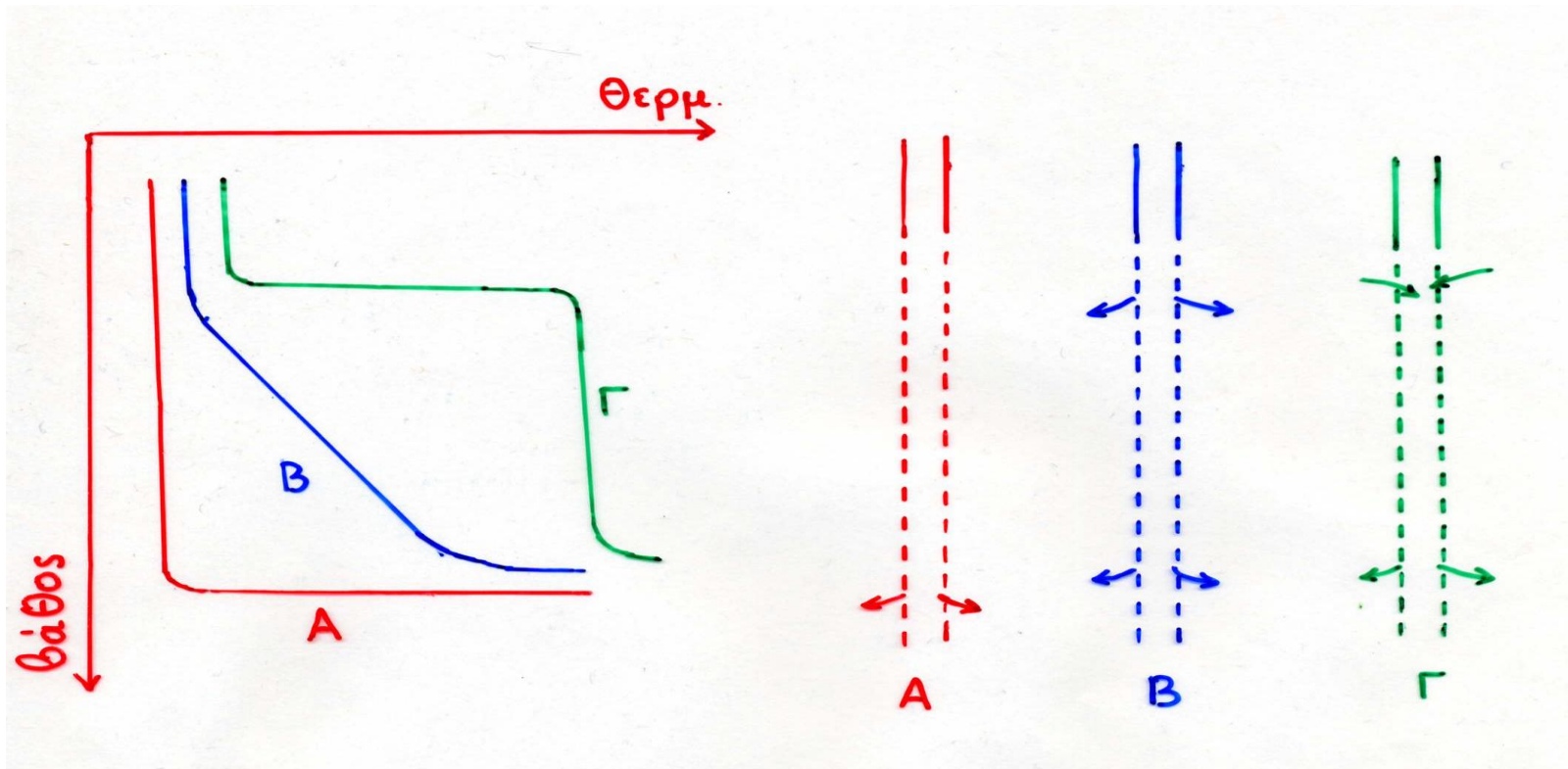


Σχήμα 2: Διοχέτευση νερού σε νέες γεωτρήσεις

Αρχική Πηγή: Geothermal Reservoir Engineering Malcolm A. Grant, Ian G. Donaldson, Paul F. Bixley, Academic Press, New York 1982



Δοκιμές διοχέτευσης νερού κατά την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων (4/5)



Σχήμα 3: Διοχέτευση νερού σε νέες γεωτρήσεις

Αρχική Πηγή: Geothermal Reservoir Engineering Malcolm A. Grant, Ian G. Donaldson, Paul F. Bixley, Academic Press, New York 1982



Δοκιμές διοχέτευσης νερού κατά την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων (5/5)

Έναρξη παροχής

1. Συμπίεση με αέρα
 - 1.1 Αυτοσυμπίεση
2. Ανύψωση με αέρα
3. Διοχέτευση θερμού ρευστού
4. Διοχέτευση αζώτου
5. Χρήση αντλίας
6. Ανακατασκευή της γεώτρησης



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (1/12)

Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται πάντα στην περιοχή του γεωθερμικού πεδίου, γιατί οι θερμικές απώλειες κατά τη μεταφορά του γεωθερμικού ρευστού είναι μεγάλες. Η εγκατεστημένη ισχύς τους κυμαίνεται από λίγες δεκάδες Watt, μέχρι αρκετές δεκάδες MW.

Στα μεγάλα γεωθερμικά πεδία υπάρχουν πολλές μονάδες, που τροφοδοτούνται από πολλές γεωτρήσεις η κάθε μια. Από τεχνική άποψη οι μονάδες αυτές βασίζονται στην τεχνολογία των κλασικών θερμοηλεκτρικών σταθμών. Έχουν όμως ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά για την αντιμετώπιση ειδικών προβλημάτων, όπως:

- (α) η χρονική μεταβολή της παροχής και της πίεσης του ατμού,
- (β) η παρουσία μη συμπυκνώσιμων αερίων,
- (γ) η χημική και μηχανική διάβρωση και οι αποθέσεις στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (2/12)

Η παραγωγική διαδικασία είναι πιο απλή, αν το γεωθερμικό πεδίο παράγει ξηρό ατμό. Ο ατμός αυτός, αφού απαλλαγεί από τα στερεά υλικά που συμπαρασύρει, διοχετεύεται στον αμοστρόβιλο, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Η απόδοση του αμοστρόβιλου εξαρτάται από την πίεση εισόδου και εξόδου του ατμού. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται συμπυκνωτικοί αμοστρόβιλοι (condensing turbines), που λειτουργούν με πίεση εξόδου πολύ μικρότερη από την αμοσφαιρική.

Έτσι ο ατμός αποδίδει μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που περιέχει.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (3/12)

Για την πίεση εισόδου P_{in} υπάρχει μια βέλτιστη τιμή, που εξαρτάται από την στατική πίεση P_s του γεωθερμικού υδροφορέα. Η P_s πρέπει να είναι μεγαλύτερη και από την P_{in} αλλά και από την πίεση P_f στις κεφαλές των γεωτρήσεων (δηλαδή στο πάνω μέρος τους). Την P_f μπορούμε να τη ρυθμίσουμε. Μείωση της P_{in} επιτρέπει μείωση και της P_f , άρα συνεπάγεται αύξηση της παροχής του ατμού από τα πηγάδια.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (4/12)

Η παροχή αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$Q_v = C(P_s^2 - P_f^2)^n$$

όπου Q_v η παροχή του ατμού (σε kg/s), P_s η στατική πίεση του υδροφορέα και C , n σταθερές. Η τιμή της σταθεράς n κυμαίνεται από 0.5 ως 1, ενώ της C εξαρτάται από τις ιδιότητες του υδροφορέα και του ρευστού, καθώς και από την κατάσταση της γεώτρησης. Παράλληλα όμως, η μείωση της πίεσης εισόδου επιφέρει μείωση της διαθέσιμης ενέργειας ανά μονάδα μάζας του ατμού. Στον υπολογισμό της ζητούμενης βέλτιστης τιμής υπεισέρχεται και το κόστος του ατμοστροβίλου, που αυξάνεται πολύ για μικρές πιέσεις εισόδου.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (5/12)

Μετά τον ατμοστρόβιλο ο ατμός περνά στον συμπυκνωτή, όπου αναμιγνύεται με κρύο νερό και συμπυκνώνεται. Ο συμπυκνωμένος ατμός και το νερό ψύξεως διοχετεύονται κατόπιν στον πύργο ψύξεως. Εκεί, το μεγαλύτερο ποσοστό του ατμού που συμπυκνώθηκε, εξατμίζεται πάλι και φεύγει στην ατμόσφαιρα. Το υπόλοιπο, που περιέχει όλα σχεδόν τα υδροδιαλυτά συστατικά του ατμού, δεν πρέπει να απορρίπτεται στο επιφανειακό δίκτυο απορροής.

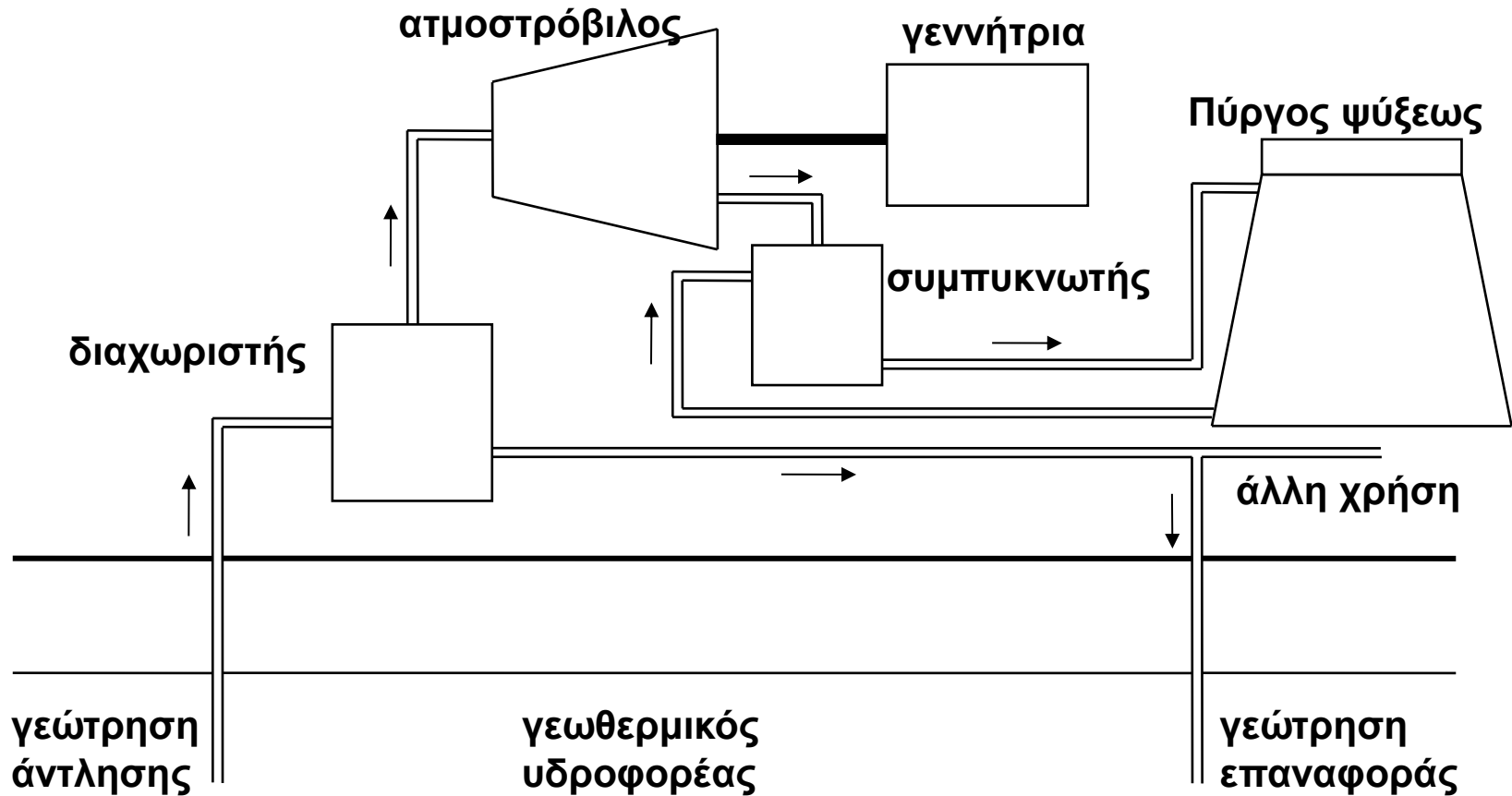
Γι' αυτό διοχετεύεται πάλι στον γεωθερμικό υδροφορέα με κατάλληλες γεωτρήσεις. Η φόρτιση του υδροφορέα δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη, γιατί η πίεση του ατμού που υπάρχει σε αυτόν είναι σχετικά μικρή.

Η επιλογή όμως των θέσεων φόρτισης πρέπει να γίνεται με προσοχή, για να μην επηρεάζονται θερμικά τα πηγάδια άντλησης.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, φθάνει το 15% της θερμότητας, που είναι θεωρητικά διαθέσιμη στην κεφαλή των γεωτρήσεων.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (6/12)



Σχήμα 4: Σκαρίφημα γεωθερμικής εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (7/12)



Εικόνα 1: Πύργοι Ψύξης Μονάδας Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Didcot_power_station_cooling_tower_zootalures.jpg

Ημ/νία τελ επίσκεψης 2-9-2014



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (8/12)

Αν, όπως συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις, το γεωθερμικό πεδίο παρέχει μίγμα θερμού νερού και ατμού υπό πίεση, το γεωθερμικό ρευστό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας στον ατμοστρόβιλο. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι η διοχέτευση του γεωθερμικού ρευστού σε διαχωριστή (separator), όπου ο ατμός διαχωρίζεται και στη συνέχεια διοχετεύεται στον ατμοστρόβιλο, τον συμπυκνωτή και τον πύργο ψύξεως. Το νερό που απομένει μετά τον διαχωρισμό, πρέπει να διοχετευθεί πάλι στον γεωθερμικό υδροφορέα, γιατί είναι πολύ επιβαρυνμένο με άλατα και άλλα επιβλαβή συστατικά. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος αυτού είναι σχετικά χαμηλή, γιατί δεν γίνεται εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας του γεωθερμικού ρευστού, που βρίσκεται σε υγρή κατάσταση. Ένα ποσοστό της ενέργειας αυτής γίνεται εκμεταλλεύσιμο, αν αντίστοιχο ποσοστό του υγρού νερού μετατραπεί σε ατμό με μείωση της πίεσης.

Η χρήση του ατμού αυτού γίνεται με ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης εισόδου, που έχει μεγάλο κόστος. Για τον λόγο αυτό η αύξηση της οικονομικής απόδοσης δεν είναι εξασφαλισμένη.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (9/12)

Μια εναλλακτική λύση είναι η χρήση βοηθητικού πτητικού ρευστού. Το γεωθερμικό νερό μετά την άντλησή του διοχετεύεται σε εναλλάκτη θερμότητας, όπου αποδίδει θερμότητα σε βοηθητικό ρευστό και στη συνέχεια επαναφέρεται στον γεωθερμικό υδροφορέα, με το σύνολο σχεδόν των διαλυμένων αερίων και στερεών συστατικών που περιέχει.

Σε όλη αυτή τη διαδικασία, το γεωθερμικό ρευστό παραμένει σε υγρή κατάσταση, γιατί η πίεση είναι παντού μεγαλύτερη από την πίεση κορεσμού. Με τον τρόπο αυτό το νερό φθάνει στην επιφάνεια με την μεγαλύτερη δυνατή θερμοκρασία, ενώ παράλληλα αποφεύγονται διαρροές αερίων στην ατμόσφαιρα.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (10/12)

Το βοηθητικό ρευστό (π.χ. ισοβουτάνιο) πρέπει να έχει σχετικά χαμηλό σημείο βρασμού, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και να είναι σταθερό στις θερμοκρασίες και πιέσεις που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, δεν πρέπει να είναι τοξικό, εύφλεκτο ή διαβρωτικό, ούτε να επιβαρύνει την ατμόσφαιρα, αν τυχόν διαρρεύσει.

Στον εναλλάκτη θερμότητας το βοηθητικό ρευστό φθάνει σε υγρή κατάσταση και θερμοκρασία μικρότερη από αυτήν του γεωθερμικού νερού. Εκεί βράζει, υπερθερμαίνεται και στη συνέχεια διοχετεύεται στον στρόβιλο και τον συμπυκνωτή, απ' όπου επιστρέφει στον εναλλάκτη.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (11/12)

Μονάδες με βοηθητικό ρευστό χρησιμοποιούνται κυρίως όταν η θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού δεν είναι πολύ ψηλή, δηλαδή σε γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας. Πάντως η θερμοκρασία του στην είσοδο του εναλλάκτη δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ για οικονομικούς λόγους, αν και έχει κατασκευασθεί εργοστάσιο στην Αλάσκα, που χρησιμοποιεί γεωθερμικό νερό 74°C . Άνω όριο, για λόγους σταθερότητας του βοηθητικού ρευστού είναι οι $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ περίπου.



Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (12/12)

Ανεξάρτητα από τις επί μέρους επιλογές η αρχική επένδυση στους γεωθερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συγκριτικά μεγάλη, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης συγκριτικά μικρό.

Γι' αυτό οι γεωθερμικοί σταθμοί προορίζονται κατά κανόνα για την παροχή φορτίου βάσης, έτσι ώστε να παράγουν τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα ενέργειας ετησίως και να περιορισθεί το κόστος απόσβεσης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Άλλωστε η εκκίνηση ενός γεωθερμικού σταθμού είναι αρκετά πολύπλοκη και χρονοβόρα, άρα δεν ενδείκνυται η χρήση του για κάλυψη φορτίων αιχμής.



Δείκτες απόδοσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (1/3)

Για την αξιολόγηση τους χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι δείκτες:

α. Συντελεστής φορτίου (load factor)

Είναι ο λόγος της συνολικώς παραχθείσας ενέργειας E κατά την εξεταζόμενη περίοδο προς το γινόμενο της μέγιστης ισχύος I που αναπτύχθηκε επί τη διάρκεια της περιόδου T .

$$\Sigma_{\phi} = \frac{E}{I \cdot T}$$

Συνήθως η ενέργεια εκφράζεται σε MWh, η μέγιστη ισχύς σε MW και η διάρκεια της περιόδου σε ώρες. Ως μέγιστη ισχύς θεωρείται η μέση μέγιστη ισχύς κατά τη διάρκεια μιας ώρας.

Ο συντελεστής φορτίου εκφράζεται συχνά ως ποσοστό επί τοις εκατό.

$$\Sigma_{\phi} = \frac{E \cdot 100}{I \cdot T}$$



Δείκτες απόδοσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (2/3)

β. Συντελεστής αξιοποίησης (capacity factor)

Είναι ο λόγος της συνολικώς παραχθείσας ενέργειας E κατά την εξεταζόμενη περίοδο προς το γινόμενο της εγκατεστημένης ισχύος I_ε επί τη διάρκεια της περιόδου T . Είναι δηλαδή:

$$\Sigma_\alpha = \frac{E}{I_\varepsilon \cdot T} \quad \text{ή} \quad \Sigma_\alpha = \frac{E \cdot 100}{I_\varepsilon \cdot T}$$

Συνήθως η ενέργεια εκφράζεται σε MWh, η εγκατεστημένη ισχύς σε MW και η διάρκεια της περιόδου σε ώρες. Αν ο συντελεστής αξιοποίησης είναι αισθητά μικρότερος από τον συντελεστή φορτίου, τότε η εγκατεστημένη ισχύς είναι υπερβολικά μεγάλη, είτε σε σχέση με τη ζήτηση ενέργειας είτε σε σχέση με τις δυνατότητες του γεωθερμικού πεδίου.



Δείκτες απόδοσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (3/3)

γ. Συντελεστής διαθεσιμότητας (availability factor)

Είναι ο λόγος των ωρών λειτουργίας της μονάδας κατά την εξεταζόμενη περίοδο, προς τη διάρκεια T της περιόδου αυτής.

Η T εκφράζεται επίσης σε ώρες. Οι γεωθερμικές μονάδες έχουν κατά κανόνα συντελεστή διαθεσιμότητας μεγαλύτερο του 90%.

δ. Ειδική κατανάλωση γεωθερμικού ρευστού

Είναι η παροχή γεωθερμικού ρευστού που απαιτείται για παραγωγή με τη μέγιστη ισχύ.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (1/9)

Οι γεωθερμικές πηγές υψηλής ενθαλπίας ανήκουν στις καθαρές ενεργειακές πηγές. Αυτό σημαίνει ότι η εκμετάλλευσή τους δημιουργεί λιγότερα περιβαλλοντικά προβλήματα από όσα οι κλασικές ενεργειακές πηγές (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πυρηνική ενέργεια) και ότι τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται με ικανοποιητικό τρόπο.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των γεωθερμικών πηγών είναι ότι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον περιορίζονται στην περιοχή των παραγωγικών μονάδων. Το αντίθετο συμβαίνει με τον άνθρακα, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια, όπου υπάρχουν επιπτώσεις στους χώρους εξόρυξης, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας (διυλιστήρια, εργοστάσια εμπλουτισμού), στις περιοχές χρήσης και στους χώρους απόθεσης των καταλοίπων.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (2/9)

Η επίδραση στη χρήση γης και το τοπίο εξαρτάται από την έκταση του γεωθερμικού πεδίου. Σε όλη αυτή την έκταση είναι εγκατεσπαρμένες γεωτρήσεις, σωληνώσεις και παραγωγικές μονάδες. Επειδή όμως οι εγκαταστάσεις αυτές καταλαμβάνουν μικρό μέρος της συνολικής επιφάνειας, δεν εμποδίζουν άλλες χρήσεις της γης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η περιοχή του Larderello, όπου η πολύχρονη εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας συμβαδίζει με την γεωργική ανάπτυξη και η περιοχή Tauro της Νέας Ζηλανδίας, όπου η αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού δεν εμπόδισε τον τουρισμό. Επομένως οι δυσάρεστες επιπτώσεις στη χρήση γης και στο τοπίο δεν είναι τόσο σοβαρές.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (3/9)

Ένας κίνδυνος, που συνδέεται με την εκμετάλλευση πεδίων στα οποία κυριαρχεί η υγρή φάση, είναι οι εδαφικές καθιζήσεις. Αντιμετωπίζονται με επαναφορά μέρους του γεωθερμικού νερού στον υδροφόρα μετά την χρήση, με την οποία διατηρείται η πτώση στάθμης του πιεζομετρικού φορτίου σε ανεκτά επίπεδα.

Ο κίνδυνος αυτός δεν υφίσταται σε όσα πεδία κυριαρχεί η αέρια φάση. Στα πεδία αυτά η ευστάθεια των πετρωμάτων δεν εξαρτάται από την πίεση του ατμού, που είναι εξ αρχής πολύ μικρότερη από την υδροστατική και σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένη.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (4/9)

Ενοχλητικός είναι ο θόρυβος που οφείλεται στη διάνοιξη των γεωτρήσεων και στην διαφυγή ατμού κατά τη διάρκεια των δοκιμών και του καθαρισμού των γεωτρήσεων.

Το πρόβλημα αυτό, είναι πολύ μικρότερο κατά το στάδιο της κανονικής λειτουργίας. Απαιτείται όμως η χρήση ειδικών σιγαστήρων, διότι το ηχητικό φάσμα περιέχει χαμηλές συχνότητες με μεγάλη ένταση.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (5/9)

Η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας, που είναι σχετικά μικρή, οφείλεται στην απελευθέρωση των μη συμπυκνούμενων αερίων, τα οποία περιέχονται στο γεωθερμικό ρευστό. Τέτοια βλαβερά αέρια είναι το υδρόθειο, το μεθάνιο, η αμμωνία και το CO₂. Στα γεωθερμικά εργοστάσια οι εκπομπές CO₂ κυμαίνονται από 4 ως 740 g/kWh, με μέση τιμή 122 g/kWh. Οι αντίστοιχες εκπομπές από εργοστάσια που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (με συντελεστή απόδοσης 35%), δίνονται στον πίνακα. Δεν επιβαρύνουν καθόλου την ατμόσφαιρα οι παραγωγικές μονάδες που χρησιμοποιούν βοηθητικό ρευστό.

Είδος καυσίμου	Εκπομπή (σε g/kWh)
Άνθρακας	915
Πετρέλαιο	760
Φυσικό αέριο	315

Πίνακας 1: Εκπομπές CO₂ από εργοστάσια που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (6/9)

Θερμική ρύπανση των επιφανειακών νερών συμβαίνει όταν απορρίπτεται σε αυτά η θερμότητα του γεωθερμικού ρευστού, που δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται από το νερό ψύξεως των θερμοηλεκτρικών σταθμών. Η ρύπανση μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση πύργων ψύξεως, που διοχετεύουν την θερμότητα απευθείας στην ατμόσφαιρα, με εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων νερού. Στους σταθμούς που χρησιμοποιούν γεωθερμική ενέργεια, το ποσό της αχρησιμοποίητης θερμότητας που δεν επιστρέφεται στον γεωθερμικό υδροφορέα με το γεωθερμικό νερό, διοχετεύεται σε πύργους ψύξεως. Έτσι αποφεύγεται η θερμική ρύπανση. Αξίζει να σημειωθεί ότι το νερό για τους πύργους ψύξεως προέρχεται από την συμπύκνωση του ατμού. Έτσι οι γεωθερμικές μονάδες δεν χρησιμοποιούν άλλους υδατικούς πόρους. Το σημαντικό αυτό πλεονέκτημα δεν το έχουν οι μονάδες που χρησιμοποιούν βοηθητικό ρευστό.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (7/9)

Η ρύπανση των επιφανειακών νερών από τα επιβλαβή συστατικά, που είναι διαλυμένα στο γεωθερμικό νερό, αποφεύγεται με την επαναφορά μέρους ή όλου του γεωθερμικού νερού στον υδροφορέα μετά την χρήση. Η πρακτική αυτή περιορίζει και τον κίνδυνο εξάντλησης του γεωθερμικού ρευστού. Στην Καλιφόρνια μάλιστα γίνεται συνδιοχέτευση αστικών λυμάτων, με πρόσθετο περιβαλλοντικό όφελος.

Βέβαια η επαναφορά του γεωθερμικού νερού στον υδροφορέα πρέπει να σχεδιάζεται πολύ προσεκτικά, ώστε να μην οδηγήσει σε μείωση της θερμοκρασίας του γεωθερμικού ρευστού στις παραγωγικές γεωτρήσεις του πεδίου. Ακόμη τεχνικό πρόβλημα μπορεί να δημιουργήσουν τα στερεά συστατικά, τα οποία περιέχονται στο γεωθερμικό νερό.

Επειδή η θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού μετά την ενεργειακή αξιοποίησή του είναι χαμηλότερη, τα συστατικά αυτά τείνουν να καθιζήσουν και να μειώσουν έτσι τοπικά τη διαπερατότητα του γεωθερμικού υδροφορέα.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (8/9)

Η ρύπανση των υπόγειων νερών των αβαθών υδροφορέων αποφεύγεται με την επιμελημένη κατασκευή των γεωθερμικών γεωτρήσεων, που δεν θα επιτρέψει τη διαρροή γεωθερμικών ρευστών στα υπερκείμενα υδροφόρα στρώματα.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (9/9)

Τέλος, αντιμετωπίσιμο είναι και το πρόβλημα των στερεών αποβλήτων. Στο στάδιο της κατασκευής αυτά παράγονται κατά τη διάνοιξη των γεωτρήσεων. Η ποσότητά τους είναι μικρή, αλλά επειδή μπορεί να έχουν ελαφρώς αυξημένη ραδιενέργεια, η ταφή τους πρέπει να γίνεται σε κατάλληλους χώρους.

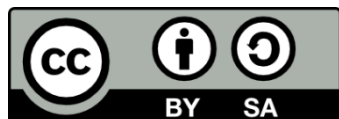
Κατά το στάδιο της λειτουργίας στερεά απόβλητα μπορεί να παράγονται από τις διατάξεις δέσμευσης υδροθείου, τις επικαθήσεις στις σωληνώσεις ή την καθίζηση αλάτων κατά τη συμπύκνωση ατμού. Οι ποσότητές τους δεν είναι μεγάλες, αλλά μπορεί να περιέχουν τοξικά στοιχεία. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν είναι δυνατή η απόληψη χρήσιμων παραπροϊόντων, καλύτερη λύση είναι η επί τόπου επεξεργασία. Σε άλλες είναι προτιμότερη η ταφή σε κατάλληλους χώρους. Για τα άλατα που προκύπτουν από τη συμπύκνωση ατμών, μπορεί να ενδείκνυται επαναδιάλυση και διοχέτευσή τους στον γεωθερμικό υδροφορέα.





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Ιωάννης Αυγολούπης
Θεσσαλονίκη, Εαρινό Εξάμηνο 2012-2013



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ