

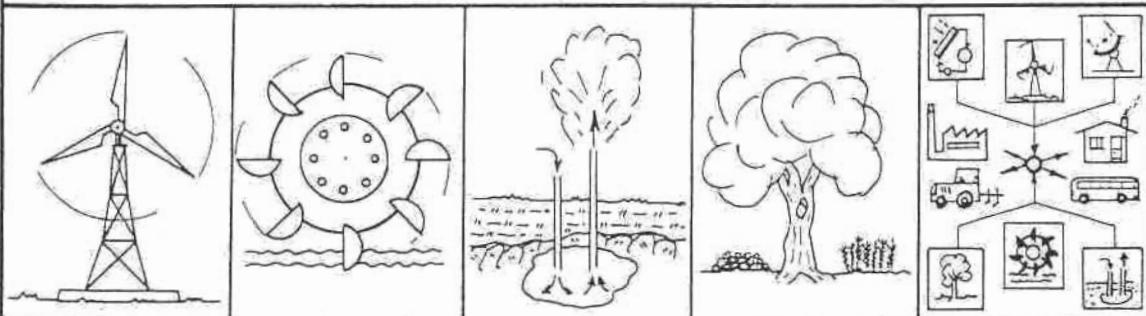
C1

ΠΡΩΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ

ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τόμος Β

ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ,
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΒΙΟΜΑΖΑ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΗΛΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 20-22 ΟΚΤ. 1982

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ -
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Α.Ι. Κασάμπελας, Α.Α. Μουζά και Σ.Β. Παράς
 'Εσγαστήριο Τεχνολογίας Χημικῶν Έγκαταστάσεων
 Τυρία Χημικῶν Μηχανικῶν
 Πολυτεχνική Σχολή
 'Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη

Διαπιστώνεται ότι τό πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό της Μήλου θά πρέπει νά αξιοποιηθεί κυρίως για παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας σέ συνδυασμό μέ δόλες "μή-ήλεκτρικές" χρήσεις. Τοες γενικές διαδικασίες μέ κύριο στόχο τήν παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας έχετάζονται προκαταρκτικά. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι άπ' τήν πρώτη διαδικασία ή περίπτωση διπλής έκτόνωσης τού γεωθερμικού ρευστού ύπερέχει τών δόλων παρόμοιων περιπτώσεων χωρίς διαδικασία ή περίπτωση προβλημάτων κυρίως διάβρωσης και άποδέσεων. Η δεύτερη διαδικασία, πού βασίζεται σέ κύριο Rankine, ένω παρουσιάζει δρισμένα τεχνικά πλεονεκτήματα δέν άποδίδει περισσότερη ένέργεια άπ' τήν προηγούμενη. Καί οί δύο διαδικασίες άπαιτούν μεγάλες ποσότητες άφαλατωμένου νερού που είναι άμφιβολο άν θά καλύπτονται άπ' τόν συμπυκνούμενο άτμο. Η τρίτη διαδικασία συνδυάζει παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας μέ διαχωρισμό δλάτων και σύγχρονη παραγωγή άφαλατωμένου νερού. Μιά τέτοια έγκατασταση μέ κατάληη δυναμικότητα θά μπορεί νά καλύπτει και τίς άναγκες τού γησιού σέ άφαλατωμένο νερό. Μιά λεπτομερής τεχνοοικονομική υελέτη και σύγκριση τών παραπάνω έπικρατέστερων διαδικασιών θά είναι χρήσιμη έκτός τών δόλων και γιά τήν έπιλογή "μή-ήλεκτρικών" έφαρμαγών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τρεις γεωτοήσεις που περιτώθηκαν πρόσφατα στη Μήλο επιβεβαίωσαν την υπαρξη άνθρουπικής ένέργειας. Στήν κεφαλή της γεώτοπης τά γεωθερμικά ρευστά έχουν σχετικά ύψη λή πίεση (δυν τών 10 ata) και θερμοκρασία (δυν τών 195°C). Τά ρευστά αύτά είναι μεγαλύτερα και νερού, με παροχές άτμου 40-75 tons/hr και νερού 15-50 tons/hr, άναλογα με τη γεώτοπη. Τό ποσοστό τών διαβρωτικών και λατηπάν άρειων, δπως H₂S και CO₂, φαίνεται δτι είναι μικρό (1-2%), άλλα τά ύγρα περιέχουν διαλεκτικό ένα σχετικά μεγάλης ποσοστό άλατων (60.000-140.000 ppm). Τά παραπάνω δεδομένα άνακοινώθηκαν πρόσφατα από τους Cataldi et al (14), άλλα θεωρούνται από τη ΔΕΗ ως προκαταρκτικά (Μαργαριτίδης, 17).

Οι κύριες κατευθύνσεις που διαγράφονται για την έκμετάλλευση της γεωθερμικής της Μήλου μπορεύν νά διαιρεθούν στις έξις κατηγορίες:

α) Παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας, που ένδιαφέρει φυσικά τη ΔΕΗ

β) "Μή-ήλεκτρικές" χρήσεις, δπως

- Θερμοκήπια, ζήμιατροφεία
- Παραγωγή άσφαλτωμένου νερού
- Παραγωγή άλατων από θαλασσινό νερό

- "Αυτεση άξιοποίηση τών γεωθερμικών ρευστών από κατάλληλες βιομηχανικές διαδικασίες, π.χ. γιά Εήρανση, έξατμιση

γ) Συνδυασμός τών παραπάνω δύο γενικών κατηγοριών.

Για την άξιολόγηση τών παραπάνω έφαρμογών πρέπει νά χρησιμοποιηθούν έκτός απ' τούς καθαρά οίκονομικο-τεχνικούς περιορισμούς και τά άκρων θερμούς βασικά κριτήρια:

- ή αποφυγή δημιουργίας προβλημάτων στο περιβάλλον και
- ή θετική συμβολή τών γεωθερμικών έφαρμογών στήν κοινωνική και οίκονομική άνάπτυξη της Μήλου.

Για έκμετάλλευση σέ μεγάλη κλίμακα, ή πρώτη κατηγορία φαίνεται νά είναι από οίκονομική μποψη ή άσφαλέστερη λύση, παρά τό δτι υπάρχουν δρκετά τεχνικά προβλήματα, μερικά απ' τά δποτα θά συζητηθούν παρακάτω. Γενικό χαρακτηριστικό της δεύτερης κατηγορίας είναι τό δτι περιλαμβάνει χρήσεις που θά προέλθουν κυρίως από έπιτυχεις έπενδυτικές πρωτοβουλίες και κατά δεύτερο λόγο από άναγκες της οίκονομιας του νησιού.

Παράλληλα είναι φανερό δτι ή άπορρόφηση του συνόλου της γεωθερμικής ένέργειας από τέτοιες χρήσεις δέν είναι έπιθυμη άλλα ίσως και δυνατή, ήν λάβει κανείς όπ' δψιν του τή χαμηλή στάθμη βιομηχανικής άνάπτυξης του νησιού. 'Επομένως ή τρίτη κατηγορία χρήσεων, που περιλαμβάνει κυρίως παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας μαζί με άλλες έφαρμογές προβάλλει σάν ή πιθανώτερη γενική στρατηγική γιά την άξιοποίηση τών γεωθερμικών ρευστών της Μήλου.

Θεωρώντας σάν κύριο στόχο την παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας έχουμε στρέψει την προσοχή μας και μελετάμε τίς άκρων θερμούς έναλλαττικές διαδικασίες άξιοποίησης τών γεωθερμικών ρευστών της Μήλου.

Διαδικασία I: Παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας με πολυθαλάσσιους άτμιστρούς. Ο άτμος προέρχεται από μία ή περισσότερες έκτονώσεις και διαχωρίσμος του γεωθερμικού ρευστού.

Διαδικασία II: Παραγωγή ήλεκτρισμού με χρήση βιοθήτικος ρευστού σε γερμοδύναμικό κύκλο Rankine ή άλλοις διαδικασίενο "Suaσικό κύκλο" (boilercycle).

Διαδικασία III: Παραγωγή ήλεκτρικής ένέργειας με παράλληλο

διεργασίες και παραγωγή αλάτων πού περιέχονται στά γεωθερμικά ορυκτά.

Στήν εισήγηση αυτή γίνεται προκαταρκτική αξιολόγηση των παραπάνω έναλλακτικών περιπτώσεων, με την προοπτική τα συγκεράσματα νά φανερών χρήσιμα τόσο για λεπτομερέστερες μελέτες των πωστεινούμενων διαστικασιών δύο και για μελέτη μάλλων (πιθανός πασάλληλων) "μή ήλεκτρικῶν" έφαρμογῶν.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ I

Τό κύριο πρόβλημα πού δύπτεται στην περίπτωση αυτή είναι ο αριθμός των έκτονώσεων του γεωθερμικού ρευστού πού μεγιστοποιείται την παραγόμενη ένέργεια, καθώς και οι συνθήκες λειτουργίας τόσο των διαχωριστών δύο και τού ατμοστροβίλου, για δεδουλεύες συνδήκες του ρευστού στήν κεφαλή της γεώτρησης. Γιατί νά προσδιορισθούν οι παραπάνω συνθήκες έγιναν ύπολογισμοί της θεωρητικά μέγιστης απολαμβανόμενης ένέργειας. Σάν βάση των ύπολογισμών χρησιμοποιήθηκαν 100 ton/ hr γεωθερμικού ρευστού θερμοκρασίας 196°C σε διφασική κατάσταση (σοροποίησης, με ποιότητα 50%. Η πίεση πού άντιστοιχεί στίς συνθήκες αυτές είναι ~14 ata.

Υπολογισμοί έγιναν για τίς περιπτώσεις μιας, δύο και τριών διαδοχικών έκτονώσεων σε διάφορες πιέσεις από 13.3 ata μέχρι 1 ata, θεωρώντας διαβατική έκτονωση/διαχωρισμό των ρευστών και ίσεντροπική λειτουργία του ατμοστροβίλου. Στό Σχήμα 1 απεικονίζεται άπλοποιημένα η διαδικασία αυτή για τήν περίπτωση δύο έκτονώσεων. Η άλμη (ρεύμα 5) μπορεί νά υποβληθεί σε πρόσθετες έκτονώσεις ή νά αξιοποιηθεί για "μή-ήλεκτρικές" έφαρμογές.

Οι ύπολογισμοί έδειχναν ότι φ' δλες τίς περιπτώσεις ή πώπτη έκτονωση συμφέρει νά γίνεται σε πίεση παραπλήσια της πίεσης στήν δύοια διατίθεται τό γεωθερμικό ρευστό. Δηλαδή ή ένεργειακή άποδοση του συστήματος τείνει πρός ένα μέγιστο όταν ή πρώτη έκτονωση είναι ούσιαστηκά ένας διαχωρισμός του διφασικού γεωθερμικού ρευστού.

Για τήν τελευταία έκτονωση του ύγρου οι ύπολογισμοί δείχνουν ότι συμφέρει νά γίνεται σε πίεση περίπου ατμοσφαιρική. Στό Σχήμα 2 πρόγραμμα φαίνεται ότι για τήν περίπτωση δύο συνολικά έκτονώσεων -ό μέγιστο της θεωρητικής (σχύλος παρουσιάζεται για πίεση δεύτερης έκτονωσης κοντά στή 1 ata.

Για τήν περίπτωση συνολικά τριών έκτονώσεων, ή μέν τελευταίς θά πρέπει νά γίνει, δημος άναψερθηκε παραπάνω, σε πίεση περίπου 1 ata, ένω ή πίεση της δεύτερης έκτονωσης, για τήν δύοια μεγιστοποιείται η απολαμβανόμενη ένέργεια, έξαρταται απ' τήν πίεση του ρευστού στήν κεφαλή της γεώτρησης. Τό Σχήμα 3 δείχνει ότι για πίεση τροφοδοσίας $P_1 = 13.3$ ata ή θεωρητικά μέγιστη συνολική (σχύλος προσκύπτει για πίεση δεύτερης έκτονωσης $P_2 = 3.9$ ata. Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει τή πετασιόλη της βέλτιστης πίεσης P_2 για οιάσθες τιμές τής πίεσης P_1 από 3.9 μέχρι 13.1 ata.

Οι παραπάνω ύπολογισμοί έγιναν για πίεση έξι δύο του ατμοστροβίλου 1 ata και 0.08 ata (2.5 in Hg). Για τήν πρώτη περίπτωση ή έγκατάσταση είναι άπλούστερη σε σχέση με τη δεύτερη, που δύπτεται βαρομετρικό συμπυκνωτή και άσκετά μεγάλη ποσότητα νέρου μήπερ. Έν τούτοις ή παραγόμενη ένέργεια στή δεύτερη περίπτωση είναι κατά ~75% μεγαλύτερη σε σχέση με τήν πρώτη.

Στόν Πίνακα 2 συνοψίζονται οι βέλτιστες συνθήκες για

της τοεῖς ύπερειπτώσεις της διαδικασίας I. Μέ δάση τό περιφέρεινο τοῦ Ιζήνακα 2 μπορούν νά έξαχθούν τά έξτις χρήσιμα συνπεράσματα:

- α) Η έκτόνωση τοῦ γεωθερμικοῦ ρευστοῦ σέ δύο καὶ τοῖα στάδια πλεονεκτεῖ ὡς πρός τό ποσόν της ἀπολαμβανόμενης ἐνέργειας ἔναντι της έκτόνωσης σ' ένα στάδιο κατά 9% καὶ 11% ἀντιστοίχως. Εἶναι ἐνότιαφέρον σχετικά διτοι οἱ Aikawa καὶ Soda (5) ἀναφέρουν αὐξηση της ἀπολαμβανόμενης ἐνέργειας κατά 15-20% ἢ μάτι μιᾶς γίνουν δύο έκτονώσεις τοῦ γεωθερμικοῦ ρευστοῦ.
- β) Η διαδικασία μέ τοεῖς έκτονώσεις ύπερείχει (ώς πρός τὴν ἀπολαμβανόμενην ἐνέργειαν) της διαδικασίας μέ δύο έκτονώσεις μόνο κατά 2.1%. Δηλαδή γιά 100 τον/hrs γεωθερμικοῦ ρευστοῦ ή αὔξηση αὐτή ἀντιστοιχεῖ σέ λιχύ περίπου 240 KW.
- γ) Η ποσότητα ἀφαλατωμένου νεροῦ πού προέρχεται ἀπό συμπύκνωση τοῦ ἀτμοῦ εἶναι ούσιαστικά ή ίδια γιά τίς περιπτώσεις δύο ή τριῶν έκτονώσεων.

Γενικά φαίνεται διτοι δέν ύπάρχει σημαντική διαφορά, ὡς πρός τὴν παραγόμενη ἐνέργεια καὶ τό ἀφαλατωμένο νερό, μεταξύ τῶν διαδικασιῶν μέ δύο ή τρία στάδια ἔκτόνωσης. Ἀπό ἄποψη δικαὶως ὅφους ἐπένδυσης καὶ κόστους λειτουργίας ή διαδικασία μέ τοῖα στάδια ἔκτόνωσης ἀναμένεται νά εἶναι διπανηρότερη (Aikawa-Soda, 5). "Ἐπόμενως ή περίπτωση τῶν δύο σταδίων ἔκτονώσης προβάλλεται κατ' ἀρχήν ὡς ή ἐπικρατέστερη μέσα στά πλαστια τῆς διαδικασίας I. Στό σύμπερασμα αὐτό φαίνεται νά καταλήγουν καὶ ἄλλοι ἔρευνητές, ὅπως οἱ James (1,2) καὶ Grossin καὶ Pempie (15).

Η περίπτωση τῶν δύο σταδίων ἔκτονώσης φαίνεται διτοι έξασφαλίζει καὶ ἄλλα πλεονεκτήματα ἐνῷ πασάλληλα συνεπάγεται καὶ ὠρισμένα προβλήματα πού συνοψίζονται παρακάτω. Η ἄλητη (ρεύμα 5, Σχήμα 1) βρίσκεται σέ ἑπαρκῶς ὑψηλή θερμοκρασία (~115°C), καὶ θά μπορούσε νά ἀξιοποιηθεῖ γιά "μή ληλεκτρικές" ἔφαρμογές. Η τελική δικαίωση διάθεσή της εἶναι προβληματική λόγω τῆς ὑψηλῆς περιεκτικότητας σέ ἄλατα (TDS > 10% κ.β.) καὶ τοῦ σχετικά μεγάλου δύκευ της. Πρέπει ἐπίσης νά ἀντιμετωπίσθων προβλήματα διάθρωσης καὶ ἀπόθεσης ἀλάτων σέ δοχεῖα καὶ σωληνώσεις τῶν ἔγκαταστάσεων.

Οι δύο διαχωρισμοὶ πού συνοδεύουν τίς έκτονώσεις ἐπιτρέπουν μείωση καὶ ἔλεγχο τῆς ύγρασίας τοῦ ἀτμοῦ ή ὅποια συνήθως συμβάλλει στή μπχανική φθορά (erosion) τῶν κινουμένων περιῶν τοῦ στροβίλου. Παράλληλα ή μειωμένη πλεον τῆς δεύτερης ἔκτονώσης συνεπάγεται αὔξηση τῆς περιεκτικότητας τοῦ ἀτμοῦ σέ δραμή καὶ διαθρωτικά ἀέρια μέ προσωνεῖς δυσμενεῖς συνέπειες.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ II

Ὅπως ποσανασέρθηκε, η έκτόνωση τῶν γεωθερμικῶν ύγρῶν σέ χαυηλή πλεον τείνει νά ἐμπλουτίζει τὸν ἀτμό σέ διαβοτεκάλέα δέρια τά δύοτα στή συνέχεια ποσοστάλλουν τὸν στοβίλο. Για τὴν ἀντιμετώπιση κυρίως αύτοῦ τοῦ προβλήματος ποσείνεται η χρήση βοηθητικοῦ ρευστοῦ σέ κύκλο Rankine (Σχήμα 4). Μετά ἀπό διεκχωρισμό σέ ύψηλή πλεον, δ. μέν απόστις ἀξιοποιεῖται σέ στοβίλο γιά παραγωγή ἔργου, τό δέ ύγρος δόηγεται σέ ἐναλλάκτη όπου προσφέρεται θερμότητα γιά έξατιση τοῦ βοηθητικοῦ ρευστοῦ. Στή συνέχεια τό βοηθητικό ρευστό παράγει ἔργο, συμπυκνώνεται καὶ διακινήνεται.

Τό βοηθητικό ρευστό πρέπει νά έχει λοισμένες λιξιέτητες

(Kihara καὶ Fukunaga, 9) δύως

- θερμότητα έξατμισπς μειούτερη έκείνης του νερού

- σχετικό λεγόμενο μεσολαβός βάρος (>50)

- σταθερότητα στη θέσμανση

- νά μήν έχει διατίθεται κάτητα κ.ά.

Τις ίδιες τητες αύτές συγκεντρώνουν άρκετοι ύδρογονάνθρακες και άλογονωμένα παράγωγά τους. Γενικά δύως ύπαρχει προτίμηση για τό ισοβούταντο (James-3, Anderson-4, Sherwood-11) ήν και παρόστιετη έρευνητική δουλειά κρειάζεται στόν τομέα αύτού.

Τό κύριο στοιχείο του κύκλου Rankine είναι ή συσκευή έναλλαγής θερμότητας μεταξύ άλμης και δημητικού ρευστού. Η άλμη δύως περιέχει σημαντική ποσότητα διαλελυμένων άλατων, τά δύοτα δημιουργούσην σοβαρά προβλήματα διάβρωσης και έναποθέσεων (scaling) σέ συμβατικούς έναλλάκτες (Sherwood, 11). Για νά άντιμετωπισθεί τό πρόβλημα αύτού έχουν προταθεῖ νέοι τύποι έναλλακτῶν δύως

- πολλαπλῶν βαθμίδων μέ έκτονώσεις του ρευστού (multi-stage multi-flash exchanger) πού προτάθηκε απ' τόν Sherwood (11)

- "άμεσου έπαφής" τών δύο ρευστῶν (Boehm et al-7, Hornburg-12, Parkinson-13)

- τύπου ρευστοστερεδώς κλίνης (Grossin-Pempie, 15)

'Απ' αύτούς δέ έναλλάκτης άμεσου έπαφής, πού είναι σχετικά διπλός στήν κατασκευή και λειτουργία φαίνεται δτι είναι δέ έπικρατέστερος. Έν τούτοις δέν έχει δοκιμασθεί άρκετά και δέν ύπαρχει άκδημη δειπολιστη σχεδίαστική μέθοδος.

Οι προκαταρκτικοί υπολογισμοί μας πού συμφωνούν και μέ βιβλιογραφικά δεδουλένα (π.χ. Austin, 6) δείχνουν δτι μέ ισοβούταντο σέ κύκλο Rankine και γιά συνθήκες γεωθερμικού ρευστού δύως στήν προηγούμενη διαδικασία I, ή άπολαμβανόμενη ένέργεια είναι περίπου ίση μέ έκείνη πού προκύπτει από διαδικασία διπλής έκτόνωσης. Έν τούτοις ή διαδικασία μέ κύκλο Rankine έχει ώριμένα πλεονεκτήματα πού συνοψίζονται παρακάτω

a) Τό ισοβούταντο πασαμένει επρό κατά τή διάρκεια τής έκτόνωσης στό στρόβιλο κι έτσι άποφεύγονται προβλήματα μηχανικής φθορᾶς (erosion) τών πτερυγίων του στρόβιλου.

b) Δέν άπαιτεται χρησιμοποίηση δαπανηρῶν και άνθεκτικῶν στή διάθρωση ύλικων γιατί τό ισοβούταντο είναι άδρανές.

γ) Επειδή ή πυκνότητα τών άτμων του ισοβούταντο είναι μεγαλύτερη έκείνης του νερού, τό μέγεθος του στρόβιλου (γιά τήν ίδια σχύ) είναι μικρότερο, γεγονός πού συντείνει στή μείωση του κόστους τής έγκατάστασης.

Ένα γενικώτερο πλεονέκτημα του κύκλου Rankine είναι δέ έπιπτεται τήν δειπολοποίηση γεωθερμικῶν ρευστῶν χαμηλής θερμοκρασίας.

Τά κύρια μειονεκτήματα του δυαδίκου κύκλου είναι τά άκδημουδα:

- σχετικά μεγάλος δύκος ύγρων άποβλητῶν είς βάρος τής ποσότητας του άνωλατωμένου νερού

- οι προτεινόμενες συσκευές έναλλαγής θερμότητος βρίσκονται άκδημη στό στάδιο άνάπτυξης

- γιά τή διακίνηση του βοηθητικού δευτού άπαιτεται μεγαλύτερη κατανάλωση ένέργειας δέ στέ σιαδικασίες μέ ίσορατο, σύμφωνα μέ τούς υπολογισμούς τών Hizans et al (16).

Η έρευνητική μας δραστηριότητα στή σημαντική αύτη περιοχή συνεωζύεται ως έξις:

- μελέτη τών βέλτιστων συνθηκῶν λειτουργίας ένδεκα κύκλου μέ

- Ισοβούτανιο
- άναπτυξη μεθόδου για τό σχεδιασμό έναλλακτου "άμέσου έπαφης"
 - ποδοπάθεια νά βρεθετ κατάλληλο μήγα μέγρων μέ βελτιωμένες έξιστητες για νά χρησιμοποιηθει σάν βοηθητικό μέγρο.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ III

Στίς προηγούμενες διαδικασίες ύπαρχειν σοβαρό πρόβλημα σιάδεσης τής άλμης, πού έχει σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σέ άλατα θρακικών διαδικασίας 3. Γιαυτό έχεταί ή περιπτώση απόληψης άλατων για τό έμπόριο πού ίσως ταυτόχρονα προσφέρεται σάν λύση καλ για τό πρόβλημα σιάδεσης τής άλμης. "Ηδη στήν Ισλανδία ίδιατερα (Lindal 3,10,18) άλλα καλ στήν ΗΠΑ (Hornburg,12) έχει μελετηθει καλ δοκιμάζεται σέ ήμιτ-βιο-μπχανική άλμηα κατάλληλη άλατων.

Στό Σχήμα 5 περιλαμβάνεται ένα άπλοποιημένο διάγραμμα ροής τής προτεινόμενης διαδικασίας δην χρησιμοποιείται χαμηλής ποιότητας άτμου (1 ata) για τήν απόληψη τῶν άλατων. Για τούς ύπολογισμούς μας χρησιμοποιείται ή ίδια βάση τῶν 100 tons/hr ρευστού θερμοκρασίας 196°C (ρεύμα 1, Σχήμα 5). Ή ποιότητα τού μήγματος είναι $x = 0.50$ καλ ή περιεκτικότητα τού μέγρου σέ άλατα 120000 ppm. Μετά τό διαχωριστή φάσεων πού λειτουργει σέ 13.3 ata δ άτμους δηγείται σέ στροβίλο μέ πίεση έξιδου 1 ata. Ή παραγόμενη ήλεκτρική ένέργεια είναι περίπου 4 MW. Στήν έξιδο τού στροβίλου διατίθεται άτμος 42.7 tons/hr, 1 ata. 'Από τήν έκτόνωση τής άλμης σέ περίπου 1 ata παράγονται έπιπροσθέτως 8.7 tons/hr άτμος. 'Απ' τόν άτμο διάτο (συνολικά 51.4 tons/hr) μόνο 35 tons/hr χρησιμοποιούνται για τήν έξατμιση τής άλμης σέ έξατμιστήρα κενού (0.2 ata). 'Ακολουθει διαδοχικά κρυστάλλωση καλ διαχωρισμός πρώτα τού NaCl καλ μετά τού KCl.

Η δυναμικότητα τής παραπάνω τυπικής μονάδας είναι 10300 tons/yr NaCl καλ 860 tons/yr KCl. 'Επίσης ύπαρχουν διαθέσιμοι ~17 tons/hr άτμος 1 ata για άλλες χρήσεις. Ή μάζα τού ύπολειμματος μετά τήν κρυστάλλωση είναι μικρή (5.2 tons/hr) καλ ή θερμοκρασία του χαμηλή (40°C). Ή συγκέντρωση του διμως σέ άλατα είναι μεγάλη (33% κ.β.) καλ άπαιτει ειδική μεριμνα για τή διάθεση του. Η χρησιμοποίηση άνοικτων δεξαμενών έξατμισης καλ ή περιοδική απόρριψη του στή θάλασσα, μακριά άπ' τής άκτες ίσως είναι μία λύση. 'Επίσης χρειάζεται μελέτη ή περαιτέρω άξιοποίηση τῶν άλμολοίπων π.χ. για παραγγή Booleou.

Στήν προηγούμενη περίπτωση διν καλ τό ποσό τού διατίθεμενου άτμος 1 ata είναι άρκετό, ή ένθαλπία του είναι χαμηλή μέ αποτέλεσμα νά άπαιτειται μεγάλη έπιφάνεια έναλλαγής θερμότητας στούς έξατμιστήρες, πού συνεπάγεται ύψηλό κόστος έγκατάστασης. Μιά έναλλακτική λύση πού μελετάται καλ φαίνεται οίκονουσικήτερη είναι ή διάθεση άτμου σχετικά ύψηλής πίεσης, άπ' τόν πεδίτο διαχωριστή, για τήν έξατμιση καλ απόληψη άλατων. Η δυναμικότητα μιᾶς τέτοιας έγκατάστασης μπορει φυσικά νά καθορισθει μέ βάση τή μέγιστη διατίθεμη ποσότητα ύγρων άπό τής γεωτήσεις. Τό Σχήμα 6 οσέχνει τό διάγραμμα ροής τής παραπάνω έναλλακτικής λύσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

Τά τοία εξής τῶν διαδικασιῶν πού προτείνονται σ' αὐτή τὴν εἰσήγηση ἔχουν κάνει βασικό ἀντικείμενο τὴν παραγωγή ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας. Τό κύριο συμπέρασμα για τὴν Διαδικασία I είναι δτι, μέ τοιτήριο τὴν ἑκατόλλευση τοῦ θεωρητικά μέγιστου ποσοῦ τῆς διατίθεμενης ἐνέργειας, δέν δικαιολογοῦνται περισσότερες ἀπό δύο ἔκτονώσεις τοῦ γεωθερμικοῦ ρευστοῦ τῆς Μήλου. Η θεωρητικά μέγιστη ἡλεκτρική ἴσχυς πού ἀντιστοιχεῖ σ' αὐτές τὶς συνθήκες, για πίεση ἔξδου τοῦ στρόβιλου 2.5 in Hg καὶ 100 tons/ft² οευστό θερμοκρασίας 196°C καὶ ποιότητας $x = 0.50$ (ένδαλπλα 434 Kcal/Kg) είναι περίπου 11.5 MW. Στὴν ποσαγωγατικότητα, δὲν ληφθοῦν υπὸψη καὶ σὲ συνήθεις βαθμοῖ ἀπόδοσης τοῦ συστήματος, ή ἡλεκτρική ἴσχυς ἔκτιμαται δτι δέν μπορεῖ νά ύπερβει τά 7 MW.

Στὴν Διαδικασία I πρέπει νά ἀντιμετωπισθοῦν τὰ γνωστά προβλήματα ἀπόθεσης (κυρίως πυριτικῶν ἐνώσεων) καὶ διάβρωσης πού δψειλεται κυρίως σὲ διαλευμένα ἀέρια συστατικά τοῦ γεωθερμικοῦ ρευστοῦ. Στό ἐργαστήριο μας ἔχει ἀρχίσει ηδη μια προσπάθεια για κατανόηση κι ἔξεύρεση λύσεων αὐτῶν τῶν προβλημάτων. Η διάθεση τῆς ἄλμης μετά τὶς ἔκτονώσεις δημιουργεῖ ἐπίσης προβλήματα. Η ἐπανάθλιψη (reinjection) στὸν ταμιευτήρα καὶ ἡ ἀπόρριψη στὴ θάλασσα διαγράφονται κατ' ἀρχήν σάν λύσεις μέ συνακόλουθα προφανῆ προβλήματα καὶ οἱ δύο. Η ἀξιοποίηση τῆς ύπολειπόμενης διαδέσιμης ἐνέργειας τῆς ἄλμης γιά μή-ἡλεκτρικές χρήσεις, πρίν ἀπ' τὴν τελική διάθεσή της, πρέπει νά ἀποτελέσει ἀντικείμενο ξεχωριστῆς μελέτης.

Στὴν Διαδικασία II, μέ τὴ χρησιμοποίηση θοηθητικοῦ ρευστοῦ σὲ θερμοδυναμικό κύκλο Rankine γιά τὴν παραγωγή ἐργου, ἀποφεύγονται τὰ προβλήματα διάβρωσης τοῦ στρόβιλου. Επίσης μειώνεται κάπως ἡ σημασία τοῦ προβλήματος τῆς ἀπόθεσης, ἐπειδὴ ἡ ἄλμη ρέει σ' ἔνα περιωρισμένο κύκλωμα ἢ κοινωνία τῆς συνολικῆς διαδικασίας. Τό πρόβλημα δύμα τῆς τελικῆς διάθεσης τῆς ἄλμης παραμένει δπως στὴν προηγούμενη περίπτωση. "Άλλα βασικά τεχνικά προβλήματα τῆς διαδικασίας αὐτῆς, δπως ἡ ἐπιλογή τοῦ θοηθητικοῦ ρευστοῦ καὶ δ σχεδιασμός τοῦ ἐναλλάκτη θερμότητας συζητήθηκαν προηγουμένως, ἀποτελοῦν δέ διεθνῶς ἀντικείμενο ἔρευνητικῶν προσπαθειῶν.

Η συνολικά ἀπολαμβανόμενη ἐνέργεια μέ τὴ Διαδικασία II ύπολογίζεται δτι είναι περίπου 100 μέ ἑκατόν πού προκύπτει ἀπ' τὴ Διαδικασία I μέ διπλή ἔκτόνωση. "Ανεξάρτητα ἀπ' τὰ πλεονεκτήματα πού φαίνεται νά ἔχει, ἡ Διαδικασία II δέν ᔹχει δοκιμασθεῖ ἀρκετά καὶ διατίθεται σὲ μεγάλη κλίμακα. Επὶ πλέον είναι πολύ πιθανόν νά ταιριάζει καλλίτερα γιά τὴν ἀξιοποίηση ρευστῶν χαμηλώτερης ἐνθαπλίας ἀπό ἑκείνες τοῦ πεδίου τῆς Μήλου.

Η Διαδικασία III γιά σύγχρονη παραγωγή ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας καὶ ἀπόληψη ἀλάτων είναι ἀκόμη διεθνῶς στὸ στάδιο τῆς μελέτης καὶ ἀνάπτυξης (π.χ. Lindal, 18). Η διαδικασία αὐτὴ πρέπει νά μελετηθεῖ καὶ γιά τὴ Μήλο, ἐπειδὴ δπως ἐξηγεῖται παρακάτω φαίνεται δτι μπορεῖ νά συνδύασθε καλλίτερα ἀπ' τὶς διαδικασίες γιά τὴν σύγχρονη παραγωγή ἀφαλατωμένου νεροῦ πού χρειάζεται στὸ υγρό.

Γιά παραγωγή ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας σὲ μεγάλη κλίμακα ἀπό τὰ ρευστά τῆς Μήλου θεωρεῖται ἀποδαπτητος δ συμπυκνωτής στὴν έξοδο τοῦ στρόβιλου. Αύτό συνεπάγεται τὴν ἀνάγκη κατασκευῆς πύργου ψύξης πού θα ἔχει πρετερεται μέ ἀφαλατωμένο νερό καθοδισμένης θερμοκρασίας τούς συμπυκνωτές. Σύμφωνα μέ τὴν

ποδσφατη μελέτη τού Robertson (19), οι άνάγκες σέ νερό γιά τή συμπλήρωση τῶν άπωλειῶν στόν πύργο ψύξης (make-up water) είναι μεγάλες, δηλαδή $50-100 \text{ tons}/\text{yr}$ καὶ KW, ή $0.5-1.0 \times 10^6 \text{ tons}/\text{yr}$ γιά σταθμό 10 MW.

Γιά τήν τυπική μονάδα πού μελετάμε στήν εισήγηση αύτή, πραγματικής λισχύος περίου 7 MW, τό νερό πού προέρχεται από συμπύκνωση τού γεωθερμικού διαμορφώματος είναι περίου $0.5 \times 10^6 \text{ tons}/\text{yr}$. Επομένως τό συμπύκνωμα αύτό είναι άμφιβολό διν θά έπαρκες γιά τίς άνάγκες τού άτμολεκτρικού σταθμού στόν δημόσιο παράγεται. Συμπερασματικά καὶ σέ συνδυασμό μέ τίς άνάγκες τού νησιού θεωρεῖται άπαρατητηπή ή δημιουργία μονάδας παραγωγής άφαλάτωμένου νερού. Η διαδικασία III πού είκονιζεται στό Σχήμα 6 φαίνεται δτι έπιτρέπει τή συνδυασμένη άποληψη άλατων καὶ άφαλατωμένου νερού (συμπυκνώματος) από τά γεωθερμικά ρευστά. Τήν περίπτωση αύτή μελετάμε ήδη.

'Απ' τά παραπάνω στοιχεῖα διακρίνει κανεὶς εύκολα δτι δρισμένες τουλάχιστον "μή-ήλεκτρικές" χρήσεις μποροῦν νά συνδυασθοῦν κατάλληλα μέ τή διαδικασία παραγωγής ήλεκτρικής ένέργειας. Γιαυτό πιστεύουμε δτι γιά τή διαμόρφωση ένδις προγράμματος έπενδύσεων σέ "μή-ήλεκτρικές" έφασμογές καθοσιεστικό ρόλο θά παίξει τό πρόγραμμα άνάπτυξης μονάδων ήλεκτρικής λισχύος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έκφραζονται εύχαριστίες πρός τή ΔΙΕΘΝΗΝΟΣ 'Εναλλακτικῶν Μορφῶν 'Ενέργειας τῆς ΔΕΗ γιά τό ένδιαφέρον καὶ τήν προθυμία στήν παροχή δεδομένων καὶ άλλων χρήσιμων πληροφοριῶν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) James R., "The Economics of the Small Geothermal Power Station", Proc. U. N. Symp. on The Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa 1970, Vol. 2, part 2, pp. 1697-1704.
- 2) James R., "Power Station Strategy", Proc. U.N. Symp. on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa 1970, Vol. 2, Part 2, pp. 1676-1687.
- 3) Lindal B., "The Production of Chemicals from Brine and Seawater Using Geothermal Energy", Proc. of the U. N. Symp. on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa 1970, Vol. 2, Part 1, pp. 910-917.
- 4) Anderson J.H., "The Vapor-Turbine Cycle for Geothermal Power Generation" in Geothermal Energy, P. Kruger and C. Otte, ed, pp. 163-175, Stanford Univ. Press, Stanford, Calif. (1973).
- 5) Aikawa K. and Soda M., "Advanced Design in Hatchobaru Geothermal Power Station", Proc. 2nd U. N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, Calif. (1975), Vol. 3, pp. 1881-1888.
- 6) Austin A.L., "Prospects for Advances in Energy Conversion Technologies for Geothermal Energy Development", Proc. 2nd U. N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, Calif. (1975), Vol. 3, pp. 1925-1935.
- 7) Boehm R.K. et al, "Application of Direct Contact Heat Exchangers to Power Generation Systems Utilizing Geothermal Brines", Proc. Intersociety Energy Conversion Conference, pp. 1044-1050 (1975).
- 8) James R. "The Applicability of the Binary Cycle", Proc. 2nd U. N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, S. Francisco, Calif. (1975), Vol. 3, pp. 2007-2011.
- 9) Kihara D.H., P.S. Fucunaga, "Working Fluid Selection and Preliminary Heat Exchanger Design for a Rankine Cycle Geothermal Power Plant", Proc. of the 2nd U. N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, Calif. (1975), Vol. 3, pp. 2013-2020.
- 10) Lindal B., "Development of Industry Based on Geothermal Energy, Geothermal Brine, and Sea Water in the Reykjanes Peninsula, Iceland", Proc. of the 2nd U. N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, Calif. (1975), Vol. 3, pp. 2223-2228.
- 11) Sherwood T.K., "Process Design for Geothermal Power", Chem. Eng's Progress, July (1976), pp. 83-88.
- 12) Hornburg C.D., "Geothermal Development of the Salton Sea", Chem. Eng's Progress, July (1977), pp. 89-94.
- 13) Parkington G., "Heat Exchange: New Uses for Direct-contact units", Chem. Eng's, June 30, (1980).
- 14) Cataldi R. et al, "Milos Geothermal Project (Greece); Exploration, drilling and preliminary production data",

Proc. Intern. Conf. on Geothermal Energy, Paper B3,
Vol. 1, pp. 97-112, Organized by BHRA and ENEL, Florence,
Italy, (May 11-14, 1982).

- 15) Grossin R., P. Pempie, "Electricity Production Feasibility from High and Medium Enthalpy Geothermal Energy", Proc. International Conference on Geothermal Energy, Paper H9, pp. 295-298, Organized by BHRA and ENEL, Florence, Italy, (May 11-14, 1982).
- 16) Hirons B.W. et al, "The conceptual design of a 4MW Organic Fluid power plant for a geothermal resource", Proc. International Conference on Geothermal Energy, Paper H6, pp. 265-274, Organized by BHRA and ENEL, Florence, Italy, (May 11-14, 1982).
- 17) Μασγαριτίδης Π., Γ. Σπηλιώτης, Δ/νση 'Εναλλακτικῶν Μοδών 'Ενέργειας ΑΕΗ, 'Αλληλογραφία καὶ συζητήσεις μὲ A. Καράμπελα, Μάρτιος-'Ιούνιος 1982.
- 18) Lindal B. et al, "Pilot plant for extraction of Salt from geothermal brine at Reykjanes Iceland during 1979-1981", Proc. International Conference on Geothermal Energy, Paper G13, Vol. 2, pp. 165-172, Organized by BHRA and ENEL, Florence, Italy (May 11-14, 1982).
- 19) Robertson R.C. "Waste heat disposal from U. S. geothermal power plants - An update", Proc. Intern. Conference on Geothermal Energy, Paper F4, Vol. 1, pp. 429-440, Organized by BHRA and ENEL, Florence, Italy (May 11-14, 1982).
)

Πίνακας 1: Έπειδη της πίεσης τροχοδοσίας στη βέλτιστη πίεση P_2 , για τη διαδικασία I με το επίγειο συνολικά έκτονώσεις

Πίεση πρώτης έκτονωσής P_1 , atm	Πίεση δεύτερης έκτονωσής P_2 , atm
3.91	2.03
5.28	2.41
7.01	2.85
9.16	3.35
11.79	3.91
13.13	3.91

Πίνακας 2: Βέλτιστες συνθήκες για τη διαδικασία 1*

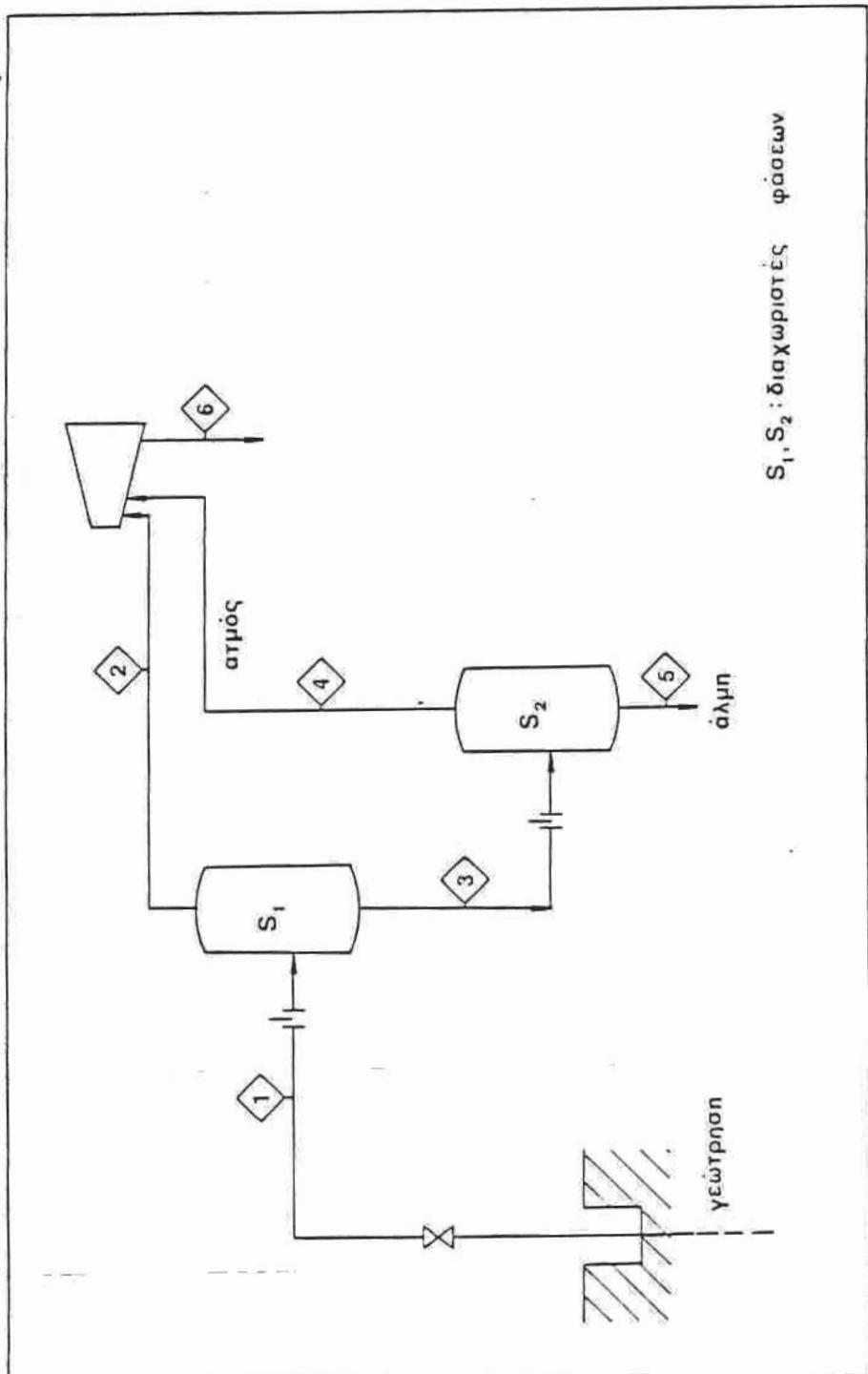
	Μέτρα έκτρωνωσης	Δύο εκτόνωσεις	Τρεις εκτόνωσεις	Τέσσερις εκτόνωσεις
	1η έκτρωνωση	2η έκτρωνωση	3η έκτρωνωση	4η έκτρωνωση
Πλευρά (ata)	13.3	13.3	1.7	-
Θερμοκρασία (°C)	193.3	193.3	115.5	-
Παραγόμενη ισχύς (MW)	10.5	10.5	0.9	11.4
Ηερό (tons/hr)	50.2	50.2	7.5	57.7
"Αλιμη (tons/hr)	49.8	-	-	42.3
				-
				-
				-

* Εάν η ύπολογη τιμή διαδικασίας 196°C πλέονται 14 ata

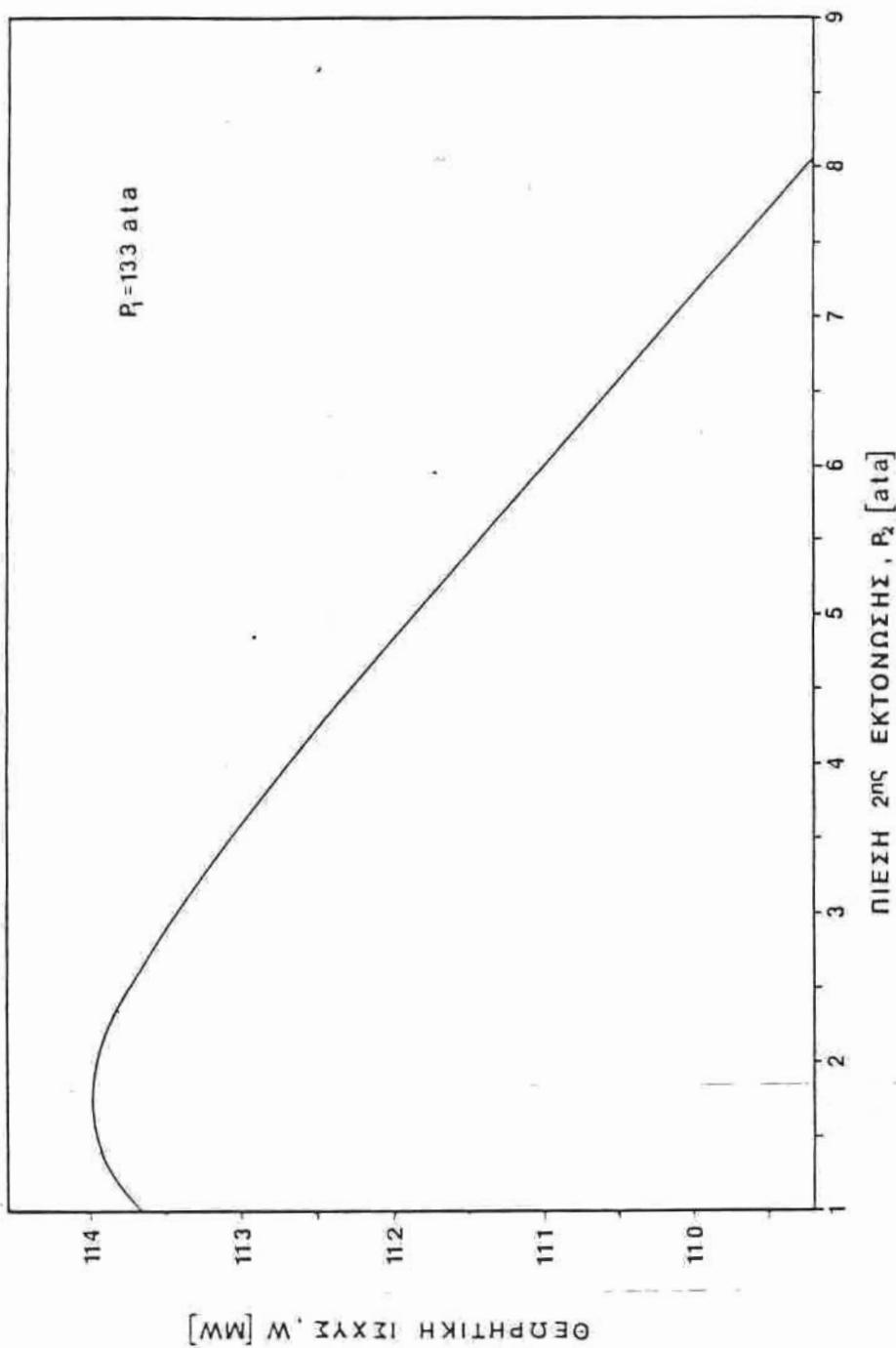
Πίνακας 3: Σύσταση του γεωθερμικού ρευστού της
Μήλου, συγκρινόμενη με τό θαλασσινό
νερό

Στοιχείο	1) Γεωθερμικό ρευστό (ppm)	2) Θαλασσινό νερό (ppm)	Λόγος άλμπε/θαλασσινό νερό για 1 δια συγκέντρωση χλωρίου
C1	72693	18980	1.0
Na	36166	10556	0.89
Mg	11	1272	0.002
Ca	4933	400	3.2
K	9091	380	6.0
B	175	4.6	9.9
Si	809	0.02-4.0	>52
F	4.95	1.3	0.99
Σύνολο	123882	31600	1.02

Πηγές: 1) Προκαταρκτικά δεδουλένα από τη ΔΕΗ (17)
2) Δεδουλένα απ' τόν Lindal (3)

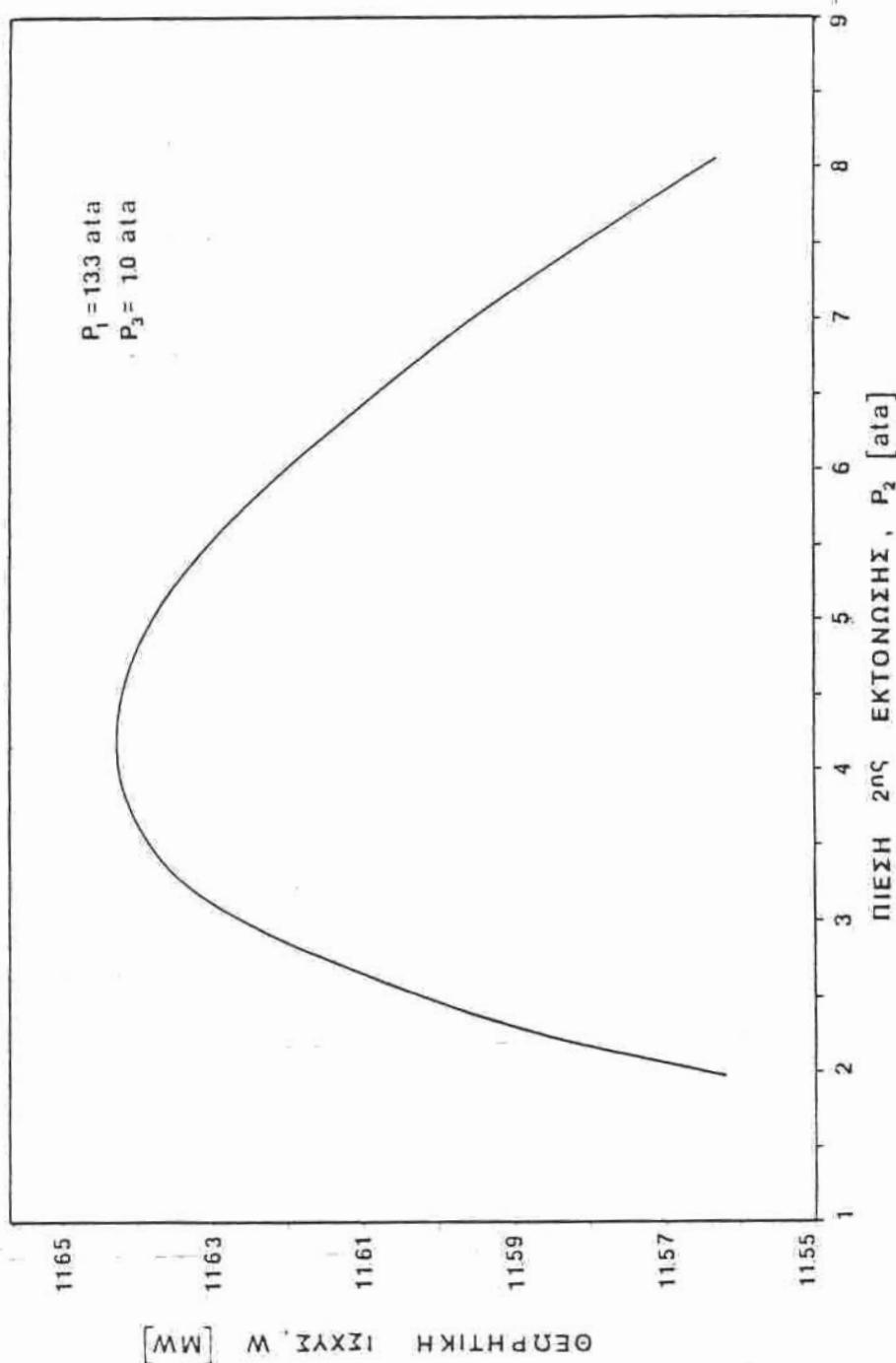


Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας I με σύν σύντονώσεις των δύο γεωθερμικών βεντούζων.

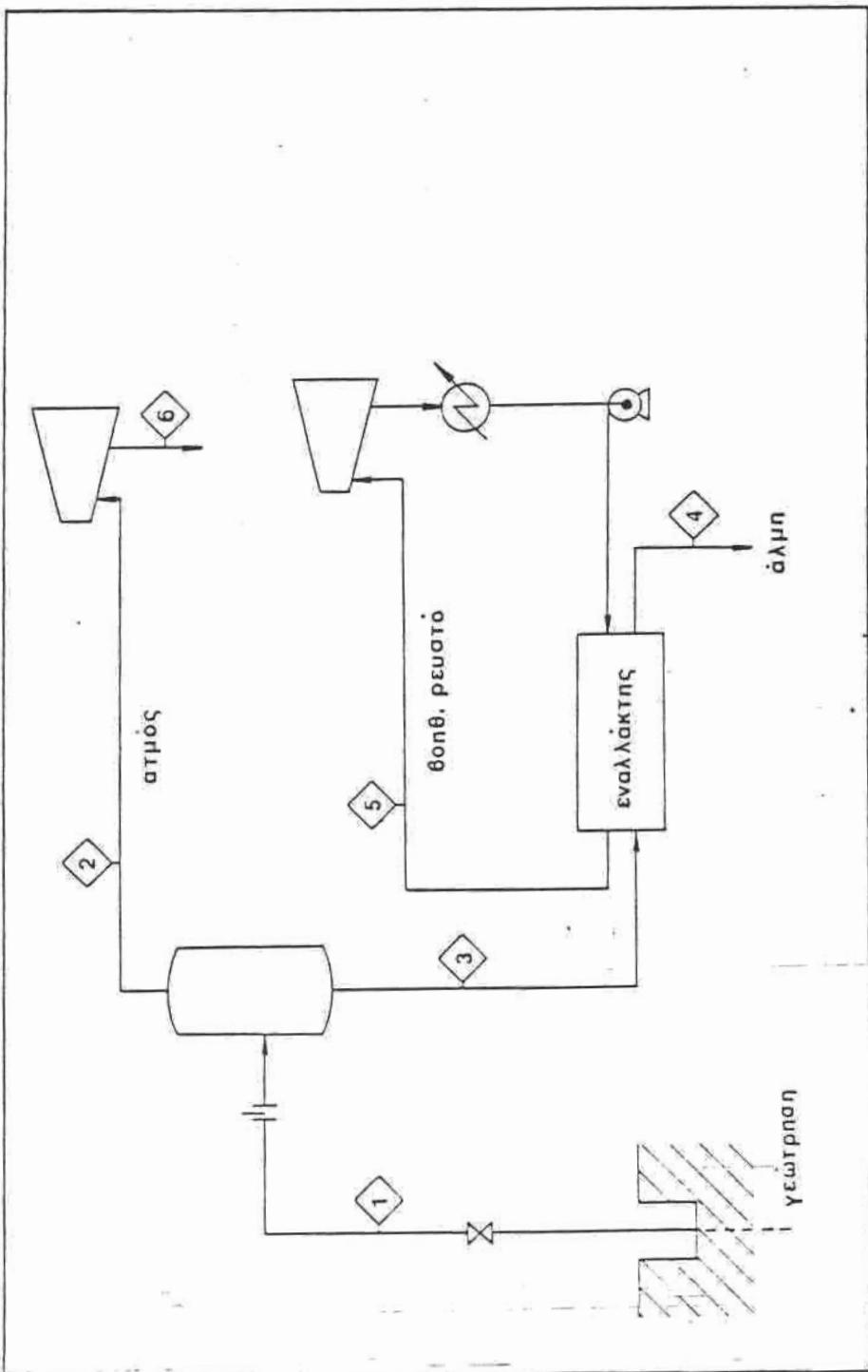


ΟΕΡΗΤΙΚΗ ΙΖΧΥΣ, W [ΜΩ]

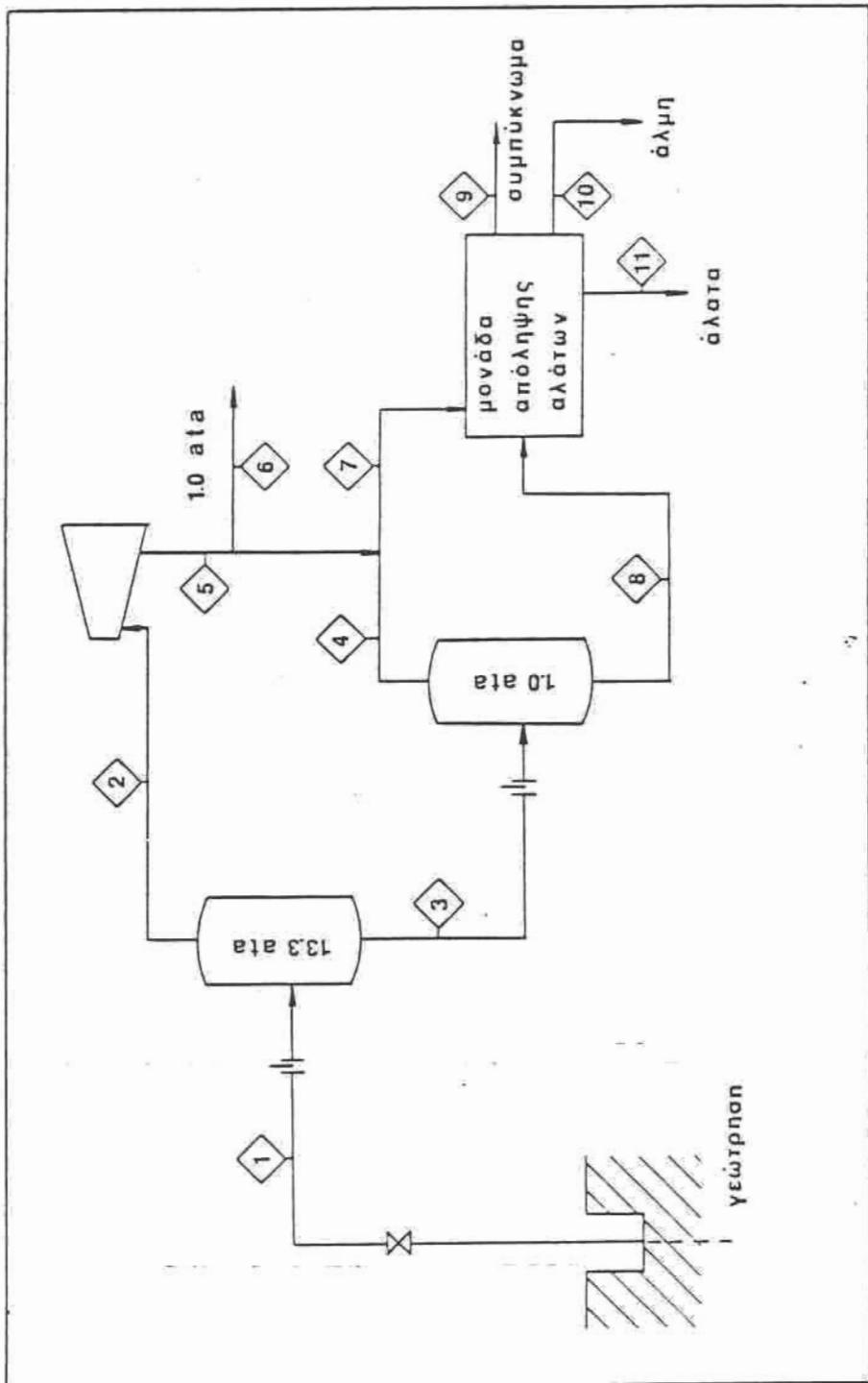
Εγκαί 2: Επίδραση της πλευράς της έκτονωσης στη φεμοτική λόχια τη διαδικασία I με αύση συνολική έκτονώσεις ποσούς.



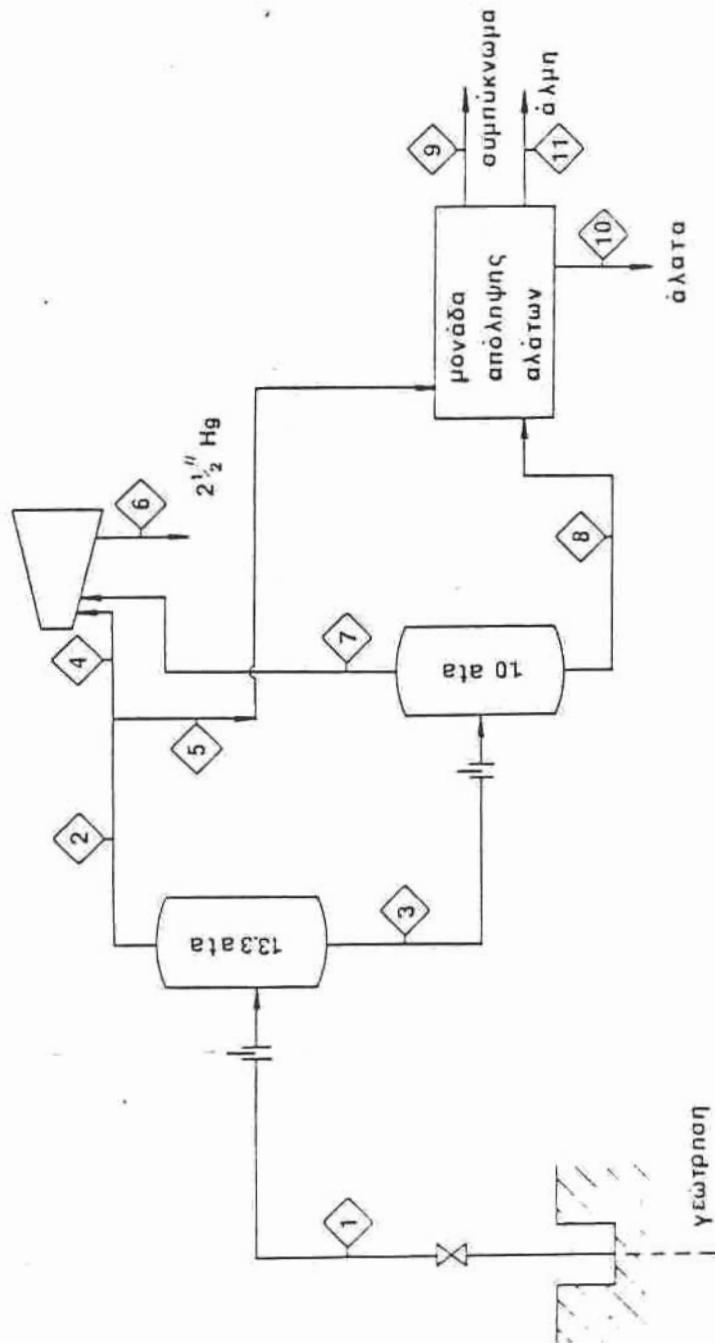
Εγκατάσταση πλεόναστης έκτοντωσης στη δεωρουτική ισχύ για τη διασύνδεση ή μέτρηση συνόλων παρατονώσεων.



Σχήμα 4: Αιρόγεστηνα σερίζ της Αιαστικούς II.



Σχήμα 5: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας III. Διαχωρισμός δλάτων με χαυκλήσις πίεσης δτνδ.



Exila é: Διάρροαια συνε της διατηκασίας ΙΙΙ. Διαχωριστές
διάτων ως συνήθες πλεονε &τις.