

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Το γεωθερμικό πεδίο της λεκάνης της Παννονίας

Χαρακτηριστικά, έρευνα, εφαρμογές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΟΥΜΟΥΛΕΤΣΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α.Π.Θ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παννονική λεκάνη περιλαμβάνει την περιοχή που εκτείνεται από το Βελιγράδι και τον ποταμό Σάβα στα νότια ως τα δυτικά Καρπάθια (Σλοβακία) στο Βορρά, και από τις Αυστριακές Άλπεις στα δυτικά ως τα Ανατολικά Καρπάθια και τις Τρανσυλβανικές Άλπεις (Ρουμανία), ανατολικά. Αποτελεί μία πεδινή ως λοφώδη περιοχή η οποία διαρρέεται από το Δούναβη και τους παραποτάμους του Τίσσα, Δράβα, Σάβα και αρκετούς μικρότερους.

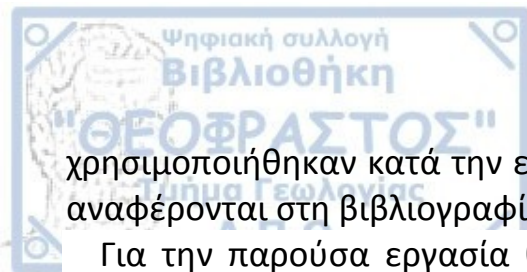
Πρόκειται για μια περιοχή πλούσια σε θερμά πεδία, ουσιαστικά ολόκληρη η λεκάνη αποτελεί ένα τεράστιο γεωθερμικό πεδίο, με πληθώρα θερμών πηγών και γεωτρήσεων που αξιοποιούνται σε πολλές και ποικίλες εφαρμογές.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τη γεωθερμικό καθεστώς ολόκληρης της περιοχής, ξεκινώντας από τη γεωλογική ιστορία της Παννονίας, τα χαρακτηριστικά και τα μεγέθη των γεωθερμικών πεδίων, για να φτάσουμε στη σημερινή εκμετάλλευσή τους, αλλά και στα μελλοντικά σχέδια αξιοποίησής τους. Η εργασία αυτή δεν ασχολείται με την αβαθή γεωθερμία, όχι γιατί δεν έχει ενδιαφέρον, αλλά γιατί γενικά είναι ανεξάρτητη από την ύπαρξη βαθύτερων γεωθερμικών ταμιευτήρων, αν και στην πράξη στην Παννονία επικρατούν πολύ ευνοϊκότερες συνθήκες από άλλες περιοχές π.χ. Σουηδία.

Ιδιαίτερη έκφραση θα δοθεί στην ανάπτυξη των γεωλογικών-γεωθερμικών στοιχείων και συνθηκών της περιοχής και στις υφιστάμενες εφαρμογές τους.

Η παρούσα εργασία στηρίχθηκε κυρίως στην ουγγρική βιβλιογραφία σε ουγγρική γλώσσα, για αυτό ενδεχομένως κάποιες ονομασίες κυρίως τοπικού ή γεωγραφικού χαρακτήρα επίσημα να μεταφράζονται ή να ερμηνεύονται διαφορετικά. Όπου όμως ήταν δυνατό έγιναν οι κατάλληλες διορθώσεις, ενώ δίνεται αυτούσια και η ουγγρική ονομασία κυρίως για αντικείμενα που αφορούν την ομώνυμη χώρα.

Ο κύριος σκοπός αυτού του συγγράμματος είναι η εκπόνηση διπλωματικής εργασίας, ευελπιστώ όμως τα στοιχεία που παρατίθενται να φανούν χρήσιμα και σε άλλους τομείς, το σύνολο των δεδομένων προέρχεται από πανεπιστημιακά συγγράμματα και εργασίες ή από ιστοσελίδες επίσημων κρατικών φορέων. Αποφεύχθηκε η άντληση πληροφοριών από ιδιωτικούς φορείς, κυρίως για την αποφυγή παρουσίασης παραποιημένων ή ψευδών στοιχείων που ενδεχομένως να εξυπηρετούν κάποια μεμονωμένα συμφέροντα. Αποφεύχθηκε επίσης η υποκειμενική μου εκτίμηση, και όπου αυτή υπάρχει δηλώνεται, βασιζόμενη κυρίως στην προσωπική μου εμπειρία καθώς διαμένω στην περιοχή μεγάλο διάστημα κάθε έτος. Επίσης οι πηγές απ' όπου αντλήθηκαν στοιχεία και οι ιστοσελίδες παρατίθενται στο τέλος της εργασίας. Εδώ να τονιστεί ότι σε ορισμένα συγγράμματα υπήρχε αναφορά σε έργα άλλων επιστημόνων όπως του διακεκριμένου καθηγητή κ. Haas, του κυρίου Karátson κ.α. τα οποία έργα όμως δεν

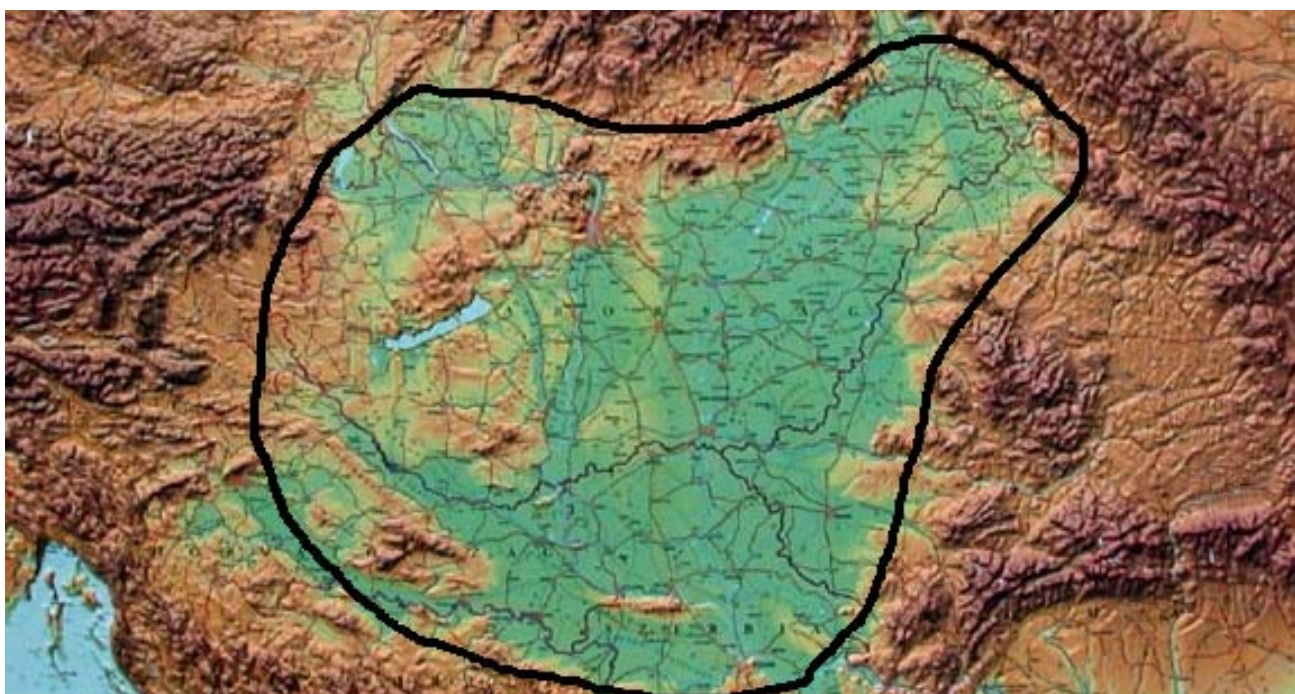


χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση του συγκεκριμένου έργου και για αυτό δεν αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Για την παρούσα εργασία θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τον κ. Attila Csanádi Λέκτορα του Πανεπιστημίου του Σέγκεντ της Ουγγαρίας, για το υλικό που μου έστειλε.

ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

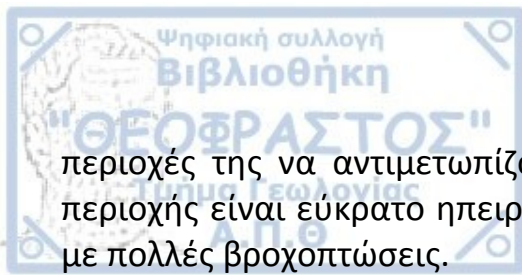
Η Παννονία πήρε το όνομά της από τους Ρωμαίους οι οποίοι τον 1^ο αιώνα μΧ κατέλαβαν την περιοχή της σημερινής Δ. Ουγγαρίας και Α. Αυστρίας και ίδρυσαν την επαρχία της Παννονίας (Pannonia provincia). Στο χάρτη της Ευρώπης η Παννονική λεκάνη καταλαμβάνει ακριβώς το κέντρο της. Τα όριά της δεν είναι απόλυτα, γιατί σε κάποια τμήματά της η μετάβαση από λεκάνη σε υψίπεδα είναι συνεχής, σε γενικές γραμμές όμως μπορεί να προσδιοριστεί από τα Δυτικά Καρπάθια της Σλοβακίας στα βόρεια, τα Ανατολικά Καρπάθια και τις Τρανσυλβανικές Άλπεις της Ρουμανίας στα ανατολικά, τον ποταμό Σάβα της Κροατίας-Σερβίας στα νότια και τα Σλοβενικά και Αυστριακά όρη στα δυτικά (σχ.1).



Σχ. 1 Χάρτης της ευρύτερης Παννονίας, όπου έχει μεγεθυνθεί η τρίτη διάσταση (ύψος). Με μαύρη έντονη γραμμή απεικονίζονται τα όρια της λεκάνης.

Η έκτασή της είναι περίπου 150.000 km² και περιλαμβάνει ολόκληρη την Ουγγαρία, τμήμα της Τρανσυλβανίας, το βόρειο τμήμα (Βοϊβοδίνα) της Σερβίας, καθώς και τμήματα της Κροατίας, Σλοβενίας, Αυστρίας και Σλοβακίας. Η περιοχή κατοικείται από περίπου 15.000.000 άτομα. Αποτελεί μία μεγάλη λεκάνη με χαμηλό υψόμετρο, το χαμηλότερο σημείο της οποίας στην έξοδο του Δούναβη ΝΑ είναι στα 70 μ και τα υψηλότερα στην περιφέρεια της έχουν υψόμετρο 700 m. Εσωτερικά δεν υπάρχουν όρη, παρά μόνο κάποια χαμηλά εξάρματα του εδάφους, ύψους έως 1000m.

Η περιοχή διαρρέεται από ένα δίκτυο μεγάλων ποταμών με αυξημένες παροχές και δέχεται πολλές βροχοπτώσεις, με αποτέλεσμα κάθε χρόνο οι χαμηλότερες



περιοχές της να αντιμετωπίζουν έντονα προβλήματα πλημμυρών. Το κλίμα της περιοχής είναι εύκρατο ηπειρωτικό με βαρείς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια και με πολλές βροχοπτώσεις.

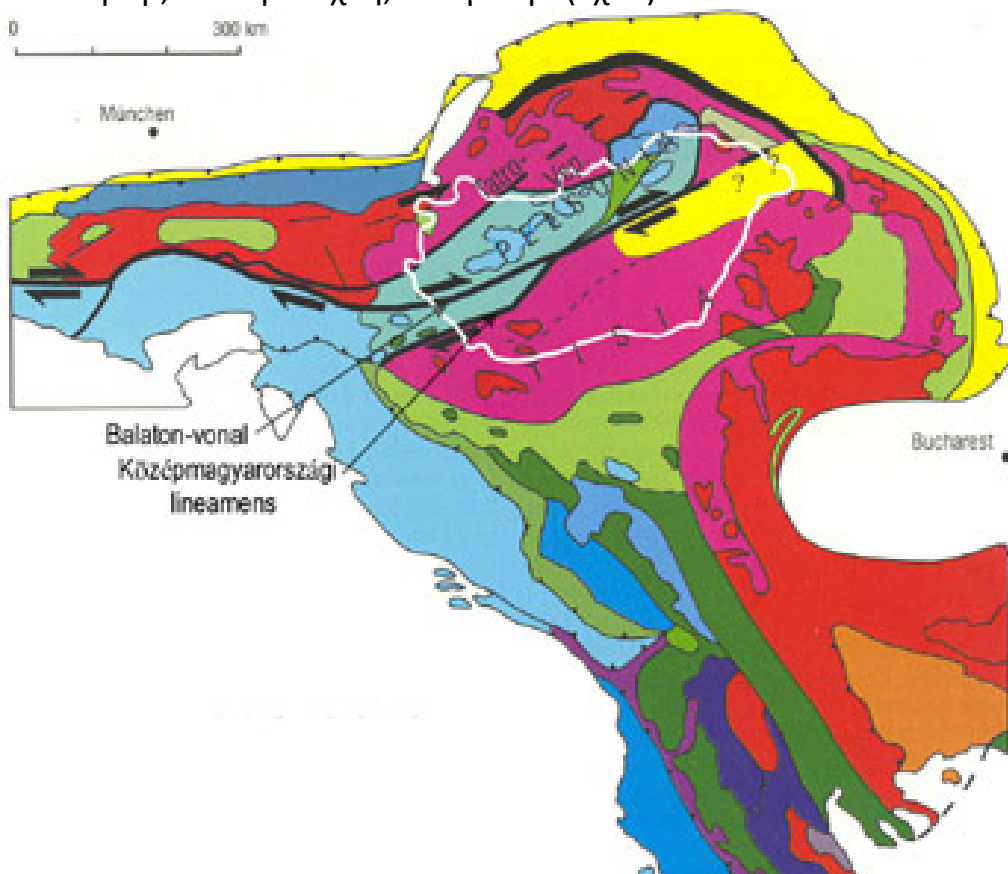
Τα κράτη της περιοχής μέχρι το 1990 ανήκαν στο λεγόμενο «ανατολικό μπλοκ», δηλαδή στη σφαίρα επιρροής της Σοβιετικής Ένωσης, (διοικούταν από κομμουνιστικό καθεστώς με ανύπαρκτη ως πολύ περιορισμένη ιδιωτική πρωτοβουλία). Τα αποτελέσματα είναι ακόμη ορατά στην καθημερινή ζωή των κατοίκων αυτών των χωρών, και κατ' επέκταση σε όσον αφορά στην αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, όπως αναλύεται στη συνέχεια της εργασίας.

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Τα ανώτερα τμήματα της Παννονικής λεκάνης καλύπτονται ως επί το πλείστον από ιζηματογενή και ηφαιστειογενή πετρώματα και μόνο σε λίγες περιπτώσεις αποκαλύπτεται σε περιορισμένη έκταση το κρυσταλλικό υπόβαθρο. Η Παννονική λεκάνη αποτελούσε τμήμα του πυθμένα της Τηθύος, που εξαφανίσθηκε μετά τη σύγκρουση της Γκοτβάνας με τη Λαυρασία κατά την Αλπική ορογένεση.

Οι πληροφορίες για την πετρολογία στο βάθος της λεκάνης προέρχονται κυρίως από γεωφυσικές έρευνες και από βαθιές γεωτρήσεις.

Η Παννονία αποτελείται από 2 μεγάλες ενότητες (μικροπλάκες), που αποτελούνται από αρκετές μικρότερες ζώνες και διαχωρίζονται από μία σχεδόν ευθεία γραμμή ΝΔ-ΒΑ διευθύνσεως, η οποία διέρχεται από τις πόλεις Ζάγκρεμπ, Καποσβάρ, Σιατορούιχερ, Ουνγκιάρ. (Σχ. 2)



Σχ. 2 Το όριο των ζωνών ΑΛΚΑΠΑ-ΤΙΣΣΙΑ

Η βορειοδυτική ενότητα ονομάζεται ΑΛΚΑΠΑ, από τα αρχικά των λέξεων Άλπεις-Καρπάθια-Παννονία, ενώ η νοτιοανατολική ονομάζεται Τισία-Δακική από τον ποταμό Τίσα και την αρχαία ονομασία της Ρουμανίας Δακία.

Η μικροπλάκα ΑΛΚΑΠΑ παρουσιάζει συγγένεια με την Αδριατική και τη Δειναρική ζώνη, η δε Τισσία-Δακική με την Ευρασιατική πλάκα. Οι δύο μικροπλάκες στο παρελθόν απείχαν μεταξύ τους πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα,

όμως οι τεκτονικές διεργασίες που έλαβαν χώρα στο παρελθόν τις οδήγησαν στη σημερινή τους θέση. Αυτή η μετακίνηση πιστοποιήθηκε με τη βοήθεια του παλαιομαγνητισμού.

Η γεωλογική εξέλιξη της Παννονίας μπορεί να διαιρεθεί σε 4 περιόδους:

1. Προ-Αλπική περίοδος (πριν το Α. Πέρμιο)
2. Πρώιμη Αλπική (Κ. Τριαδικό- Μ. Κρητιδικό). Το άνοιγμα της Τηθύος είχε ως αποτέλεσμα τον κατακερματισμό των προϋπαρχόντων σχηματισμών.
3. Όψιμη Αλπική περίοδος (Α. Κρητιδικό-Κ. Μειόκαινο) Τα κλείσιμο της Τηθύος προκάλεσε έντονη συμπίεση, εφιππεύσεις και επωθήσεις. Σύγκρουση ΑΛΚΑΠΑ με Τισσία.
4. Βύθιση της Παννονικής λεκάνης (Α. Μειόκαινο-Πλειστόκαινο). Η λεκάνη λόγω εφελκυσμού βυθίζεται με γρήγορους ρυθμούς.

Τα γεωθερμικά πεδία της Παννονίας δημιουργήθηκαν στην 4^η περίοδο, για το λόγο αυτό η περιγραφή των 3 πρώτων περιόδων γίνεται εν συντομία και ακολουθεί εκτενέστερη αναφορά στην τελευταία και στους παράγοντες που συντέλεσαν στη δημιουργία ευνοϊκών γεωθερμικών συνθηκών.

ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟΣ ΑΙΩΝΑΣ

Το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης αποτελείται από παλαιοζωικούς και μεσοζωικούς σχηματισμούς, οι οποίοι επικαλύπτουν ο ένας τον άλλο με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Η προέλευση των παλαιοζωικών σχηματισμών τοποθετείται σε μικρότερα πλάτη, ενδεχομένως και στον Ισημερινό. Κατά την Αλπική ορογένεση, οι σχηματισμοί αυτοί επωθήθηκαν ο ένας πάνω στον άλλο και υπέστησαν έντονη τεκτονική παραμόρφωση.

Το αρχαιότερο πέτρωμα που συναντάται σήμερα στην επιφάνεια είναι Ορδοβισίου ηλικίας. Οι παλαιότεροι σχηματισμοί που βρέθηκαν είναι λίγοι και εντοπίστηκαν μόνο με βαθιές γεωτρήσεις. Παλαιοζωικοί και μεσοζωικοί σχηματισμοί συναντώνται στο όρος Μπουκκ στη ΒΑ Ουγγαρία και στην περιοχή Χαργκίτα της Τρανσυλβανίας (Ρουμανία), αλλά το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από καινοζωικά και κυρίως νεογενή μεγάλου πάχους ιζήματα.

Στηριζόμενοι σε πετρογραφικά, τεκτονικά, παλαιοντολογικά και παλαιομαγνητικά κριτήρια διακρίθηκαν οι επόμενες ζώνες:

1. **Αυστροαλπική ζώνη.** Αποτελείται από τις εξής υποζώνες:
 - Μεταμορφίτες του Σιόπρον και Φερτοράκοσι. Γνεύσιοι και μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι παλαιοζωικής ηλικίας.
 - Μεταμορφίτες του Ράμπαμεντ. Φυλλίτες, δολομίτες και αργιλλικοί σχιστόλιθοι χαμηλής κυρίως μεταμόρφωσης, του παλαιοζωικού.
 - Ενότητα Πενίνιος. Χαλαζιακοί σχιστόλιθοι και ανθρακικά πετρώματα του Μεσοζωικού.

2. **Ζώνη Πελοπόνιος.** Αποτελείται από τις ακόλουθες υποζώνες:

- Υπερδουνάβεια λοφώδης ενότητα. Χαλαζιτικοί φυλλίτες, αργιλλικοί σχιστόλιθοι, ασβεστόλιθοι, παλαιοζωικής-μεσοζωικής ηλικίας.
- Υποζώνη Σάβα. Εντοπίστηκε μόνο με γεωτρήσεις. Αποτελείται από σκοτεινόχρωμους αργίλους, πηλούς και ψαμμίτες του Παλαιοζωικού-Μεσοζωικού.
- Υποζώνη Μπουκκ. Αποτελείται από ελαφρώς μεταμορφωμένους ψαμμίτες του Ορδοβισίου-Σιλλουρίου, και αργιλλικούς σχιστολίθους Δεβόνιου-Λιθανθρακοφόρου, μαζί με φυλλίτες, ασβεστόλιθους, και μάρμαρα. Σε κάποια σημεία συναντώνται και βασικοί ηφαιστείτες
- Υποζώνη Άγγτελεκ-Ρουνταμπάνια με ανυδρίτες του Παλαιοζωικού, και ασβεστόλιθους, μάργες, αργίλους και σχιστολίθους του Τριαδικού.

3. **Ζώνη Τατρο-Βέποριος (Καρπάθιος).** Περιλαμβάνει τις εξής υποζώνες:

- Υποζώνη Βέποριος με παλαιοζωικούς κρυσταλλικούς σχηματισμούς, κυρίως γνεύσιους, και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους
- Υποζώνη Ζεμπλένιος με παλαιοζωικά και μεσοζωικά πετρώματα, κυρίως γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους, και σε ορισμένα σημεία κυρίως στη νότιο Σλοβακία παρουσία λεπτών στρωμάτων ανθρακίτων ή και γραφιτών σε ελαφρά μεταμορφωμένους ψαμμίτες .

4. **Τισσία πλάκα.** Περιλαμβάνει τις ζώνες **Σλαβονία-Δράβα, Κουνσιάγκι,** και **Μπέκεσι** με παλαιοζωικούς σχηματισμούς ως επί το πλείστον γνεύσιους αμφιβολίτες, σερπεντινίτες και σχιστόλιθους, αλλά και εμφανίσεις γρανιτών και μειγματιτών, και τις ζώνες **Μέτσεκι, Βιλλάνι-Μπιχάρι,** και **Μπέκες-Κοντράι** με μεσοζωικά πετρώματα με γνεύσιους, αμφιβολίτες και πολλούς γρανίτες και ρυόλιθους.

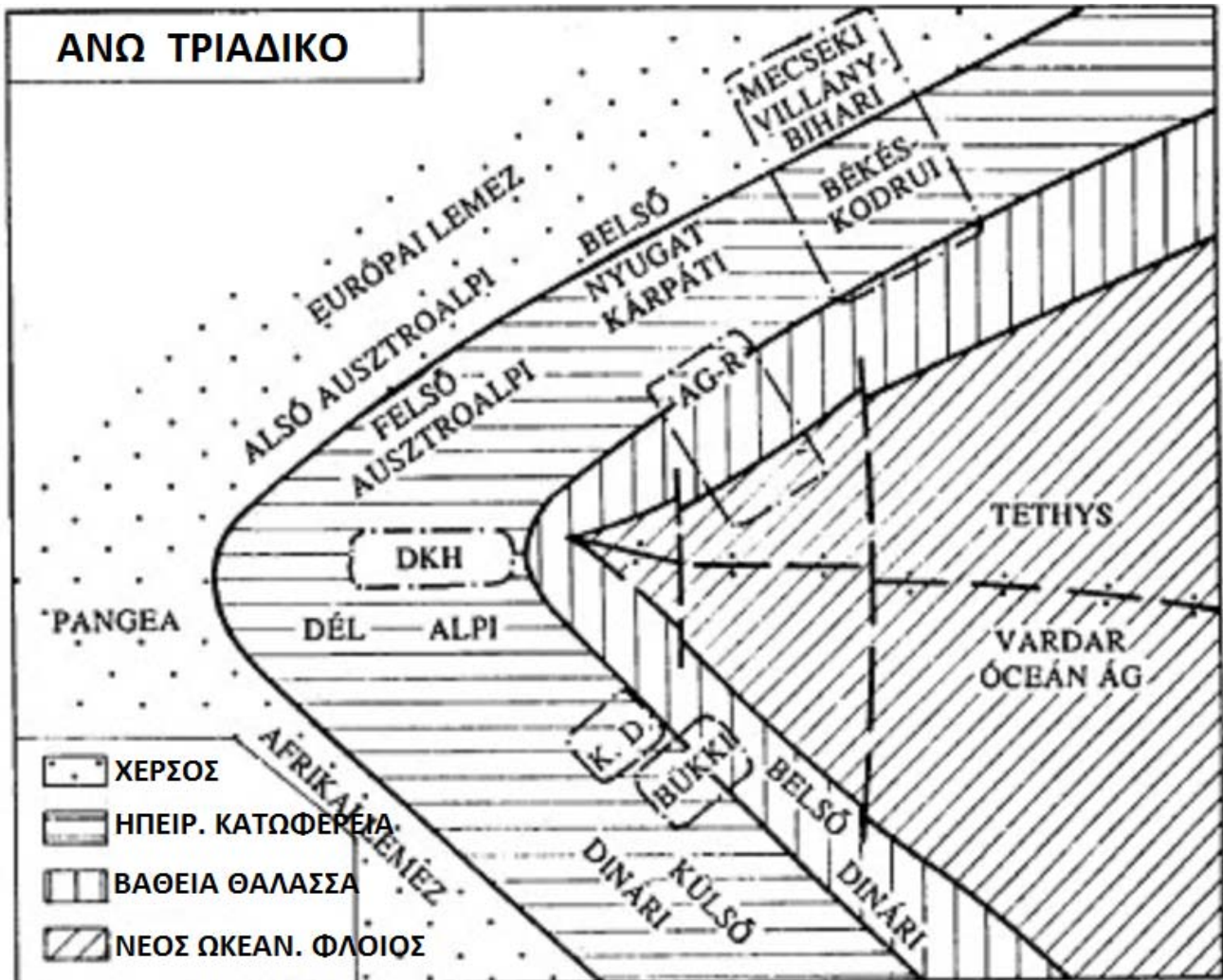
ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΣ ΑΙΩΝΑΣ

Η περίοδος του Μεσοζωικού στην Παννονία χαρακτηρίζεται από τη διάνοιξη και το κλείσιμο της Τηθύος. Η Τηθύς αποτελούταν από περισσότερες μικρές θάλασσες που άνοιγαν και έκλειναν, με κυριότερες αρχικά τη Βαρδάρειο θάλασσα και αργότερα την Πενίνειο θάλασσα (σχ. 3-4).

Η διάνοιξη της Βαρδαρείου θάλασσας άρχισε στο τέλος του Περμίου και διήρκεσε ως το Ιουρασικό, οπότε άρχισε το κλείσιμό της με ταυτόχρονη διάνοιξη της Πενινίου θαλάσσης. Την ίδια περίοδο η Τισιοδακική μικροπλάκα αποχωρίστηκε από την Ευρωπαϊκή πλάκα και κινήθηκε νότια μεταξύ των δύο θαλασσών. Λόγω της σύγκλισης των πλακών Αφρικής και Ευρασίας στο Α. Κρητιδικό άρχισε η διαδικασία κλεισίματος της Πενινείου θάλασσας, η οποία ολοκληρώθηκε στο Άνω Κρητιδικό. Ως αποτέλεσμα, ο πυθμένας της Τηθύος

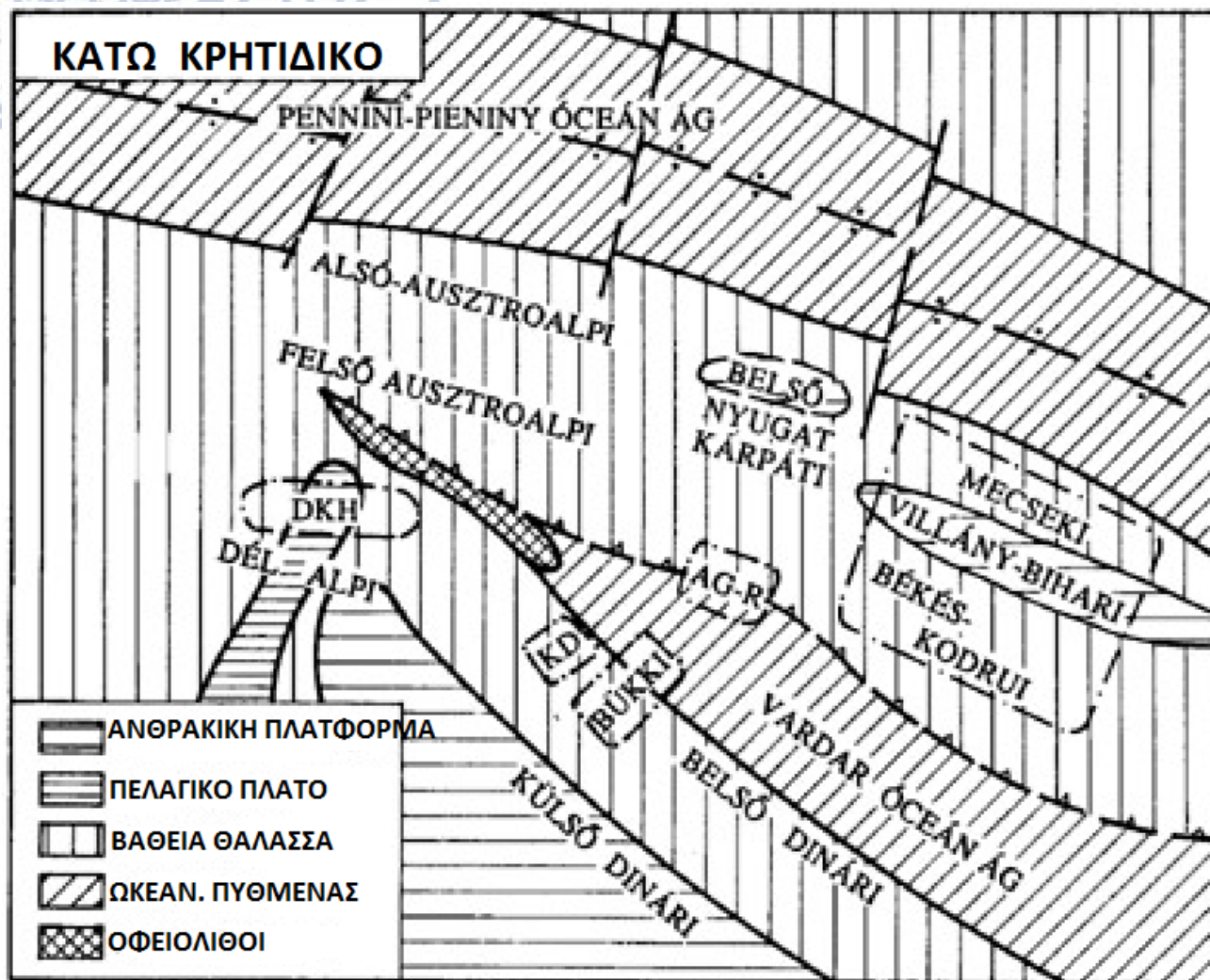
ανυψώθηκε, τα πετρώματα του επωθήθηκαν το ένα πάνω στο άλλο και υπέστησαν μεταμόρφωση.

Στο Τριαδικό οι ζώνες της Παννονίας εκτείνονταν στα περιθώρια της Βαρδαρείου θάλασσας. Η μικροπλάκα ΑΛΚΑΠΑ βρισκόταν στο δυτικό άκρο της Τηθύος στην Αφρικανική πλάκα, ενώ η Τισσιοδακική στο βορειοδυτικό περιθώριο της Τηθύος στην Ευρωπαϊκή πλάκα.



Σχ. 3 Η Παννονική λεκάνη κατά το Α. Τριαδικό (Haas 1996)

Μετά την ολοκλήρωση του κλεισίματος της Πενινείας θαλάσσης και την ανύψωση των Αλπικών και Δειναρικών οροσειρών άρχισε η διάνοιξη της Παρατηθύος στο όριο Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου. Την ίδια περίοδο οι ενότητες που απαρτίζουν την ΑΛΚΑΠΑ ενώθηκαν και έκτοτε η μικροπλάκα κινείται ως ενιαίο τέμαχος. Η ΑΛΚΑΠΑ και η Τισσία-Δακική μικροπλάκες άρχισαν να κινούνται προς τα ΒΑ στο τέλος του Ολιγοκαίνου. Στο Α. Μειόκαινο αφίχθηκαν στη σημερινή τους θέση όπου από τη συνένωσή τους σχηματίστηκε το Παννονικό υπόβαθρο του Παλαιοζωικού-Μεσοζωικού. Το υπόβαθρο αυτό εμφανίζεται επιφανειακά σε λίγες μόνο ορεινές θέσεις, λόγω της κάλυψής του από νεώτερα ιζήματα.



Σχ.4 Η Παννονία κατά το Α. Κρητιδικό (Haas 1996)

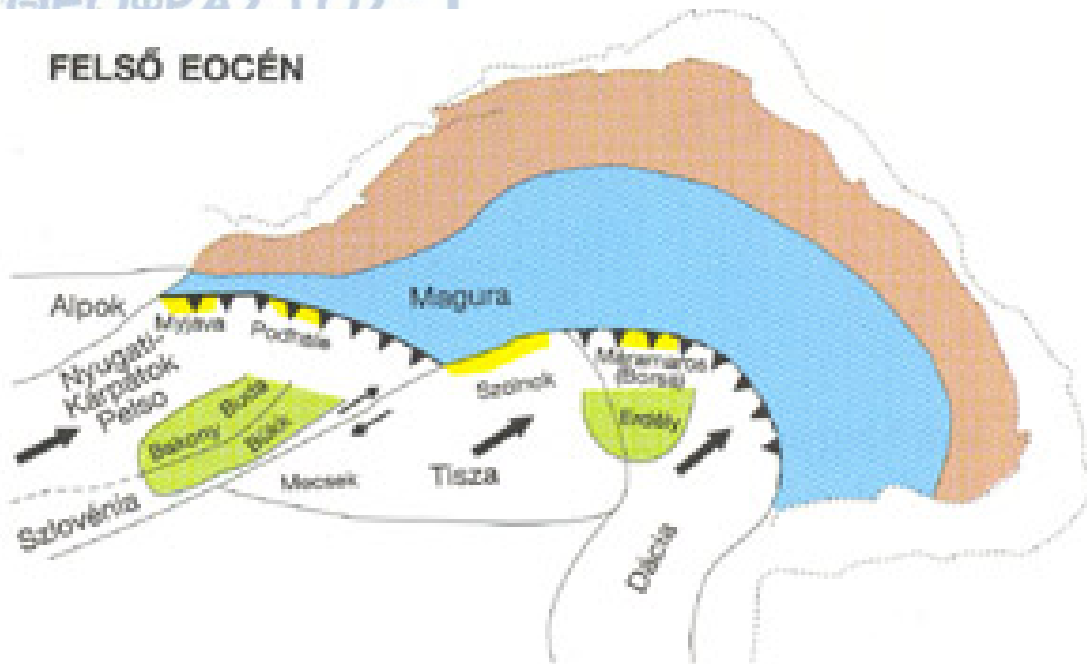
ΚΑΙΝΟΖΩΙΚΟΣ ΑΙΩΝΑΣ

Στο τέλος του Κρητιδικού το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης της Παννονίας έγινε χέρσος. Στα ΒΑ εξακολουθούσε να λειτουργεί η Τηθύς, ενώ η περιθωριακή θάλασσα ονομάστηκε από τους τοπικούς γεωλόγους θάλασσα Μαγκούρα (Σχ. 5).

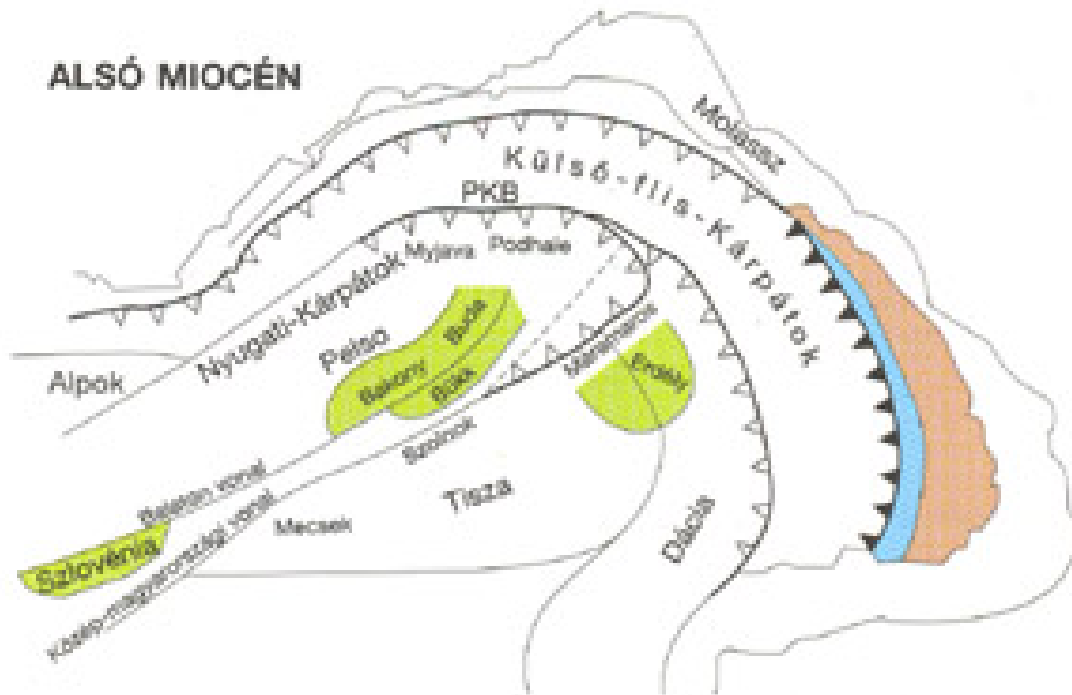
Οι μικροπλάκες ΑΛΚΑΠΑ και Τισσία-Δακική πλησίασαν η μία την άλλη και άρχισαν να επωθούνται πάνω στον πυθμένα της Μαγκούρα. Αιτία της κίνησης ήταν η γενικότερη συμπίεση λόγω της Αλπικής ορογένεσης. Η κίνηση και η περιστροφή των πλακών οδήγησε στο σχηματισμό των πτυχωμένων ιζηματογενών καλυμμάτων των εξωτερικών Καρπαθίων.

Αυτή η κινητικότητα διήρκεσε ως το Κ. Μειόκαινο, οπότε οι πλάκες ενώθηκαν με την Ευρωπαϊκή πλάκα, με πρώτη την ΑΛΚΑΠΑ λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας κίνησής της. Κατά διαστήματα, μεγάλα τμήματα των πλακών κατακλύζονταν από θάλασσα. Στο τέλος του Μειοκαίνου ολόκληρη η περιοχή υπέστη τεκτονική ανύψωση.

FELSŐ EOCÉN



ALSÓ MIOCÉN

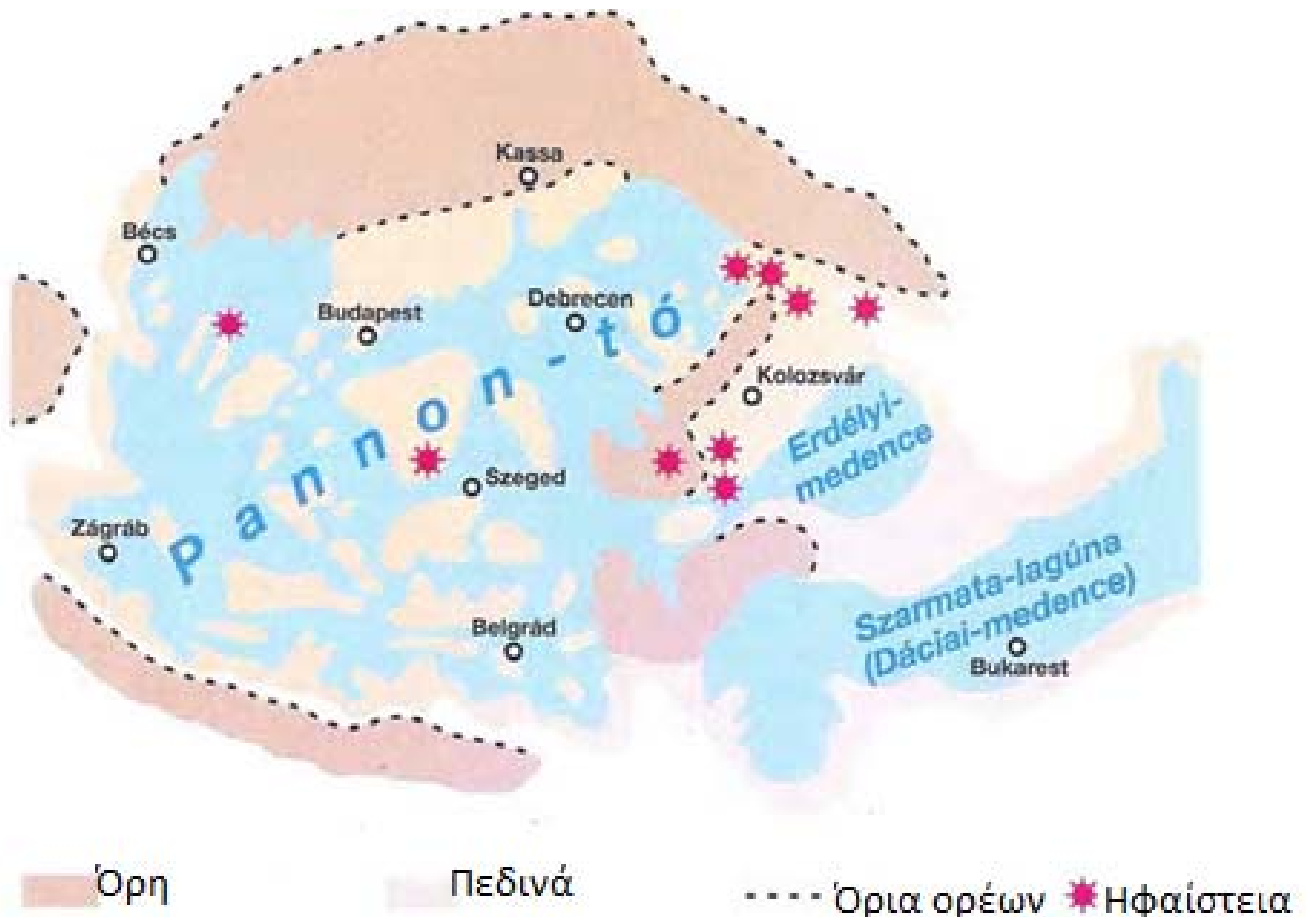


Σχ. 5 Η Παννονική λεκάνη κατά το Α. Ηώκαινο και το Κ. Μειόκαινο. Διακρίνονται οι επωθήσεις των μικροπλακών πάνω στον πυθμένα της Μαγκούρα. (Nagyvárosi in Karatson 2002)

Από το Μ. Μειόκαινο στην Παννονία επικράτησαν εφελκυστικές τάσεις που προκάλεσαν ταχεία βύθιση της λεκάνης. Η περιοχή μετατράπηκε σε περιθωριακή θάλασσα, το πάχος του φλοιού μειώθηκε ιδιαίτερα (μέσο πάχος 25km), σχηματίστηκαν πολυάριθμα κανονικά ρήγματα και εκδηλώθηκε έντονη ηφαιστειότητα νησιωτικού τύπου.

Η λέπτυνση του φλοιού κάτω από τη λεκάνη σε συνδυασμό με την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι τα κύρια αίτια δημιουργίας του γεωθερμικού πεδίου που καλύπτει ολόκληρη την περιοχή.

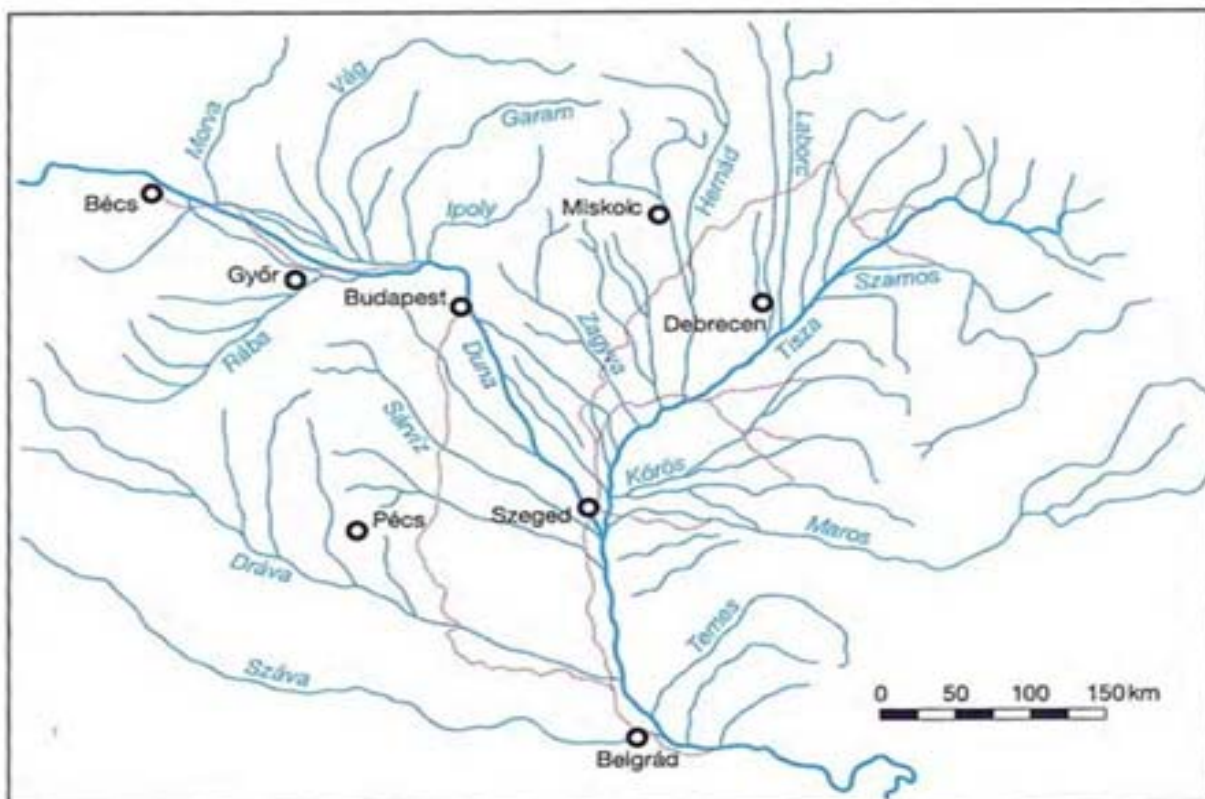
Λόγω της βύθισης της η λεκάνη καλύφθηκε από θάλασσα (Παρατηθύς), αλλά οι δίοδοι επικοινωνίας σταδιακά έκλεισαν ως το τέλος του Μειοκαίνου, με αποτέλεσμα την μετατροπή της λεκάνης σε λίμνη γλυκού νερού (Σχ. 6).



Σχ. 6 Η Παννονική λίμνη στο Κ. πλειόκαινο (Karátson 2002)

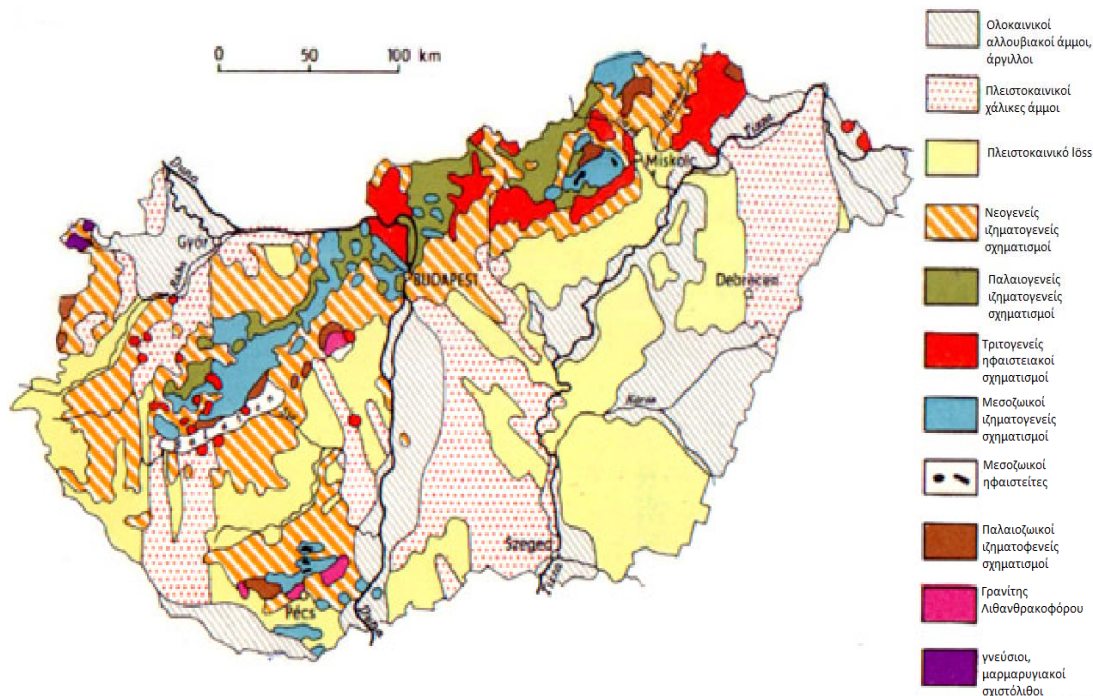
Η λίμνη με την πάροδο του χρόνου πληρώθηκε με ιζήματα, προς το τέλος του Πλειοκαίνου μετατράπηκε σε έλος και τελικά εξαφανίστηκε.

Στο Πλειστόκαινο η περιοχή υπέστη μερική ανύψωση και το υδρογραφικό δίκτυο πήρε τη σημερινή του μορφή (σχ. 7). Κατά τις παγετώδεις περιόδους του Πλειστοκαίνου η λεκάνη καλύφθηκε από πάγο όπως μαρτυρά πλήθος παγετωδών αποθέσεων.



Σχ. 7 Το υδρογραφικό δίκτυο της Παννονίας κατά το Τεταρτογενές. (Η λεπτή γραμμή απεικονίζει το σημερινό δίκτυο).

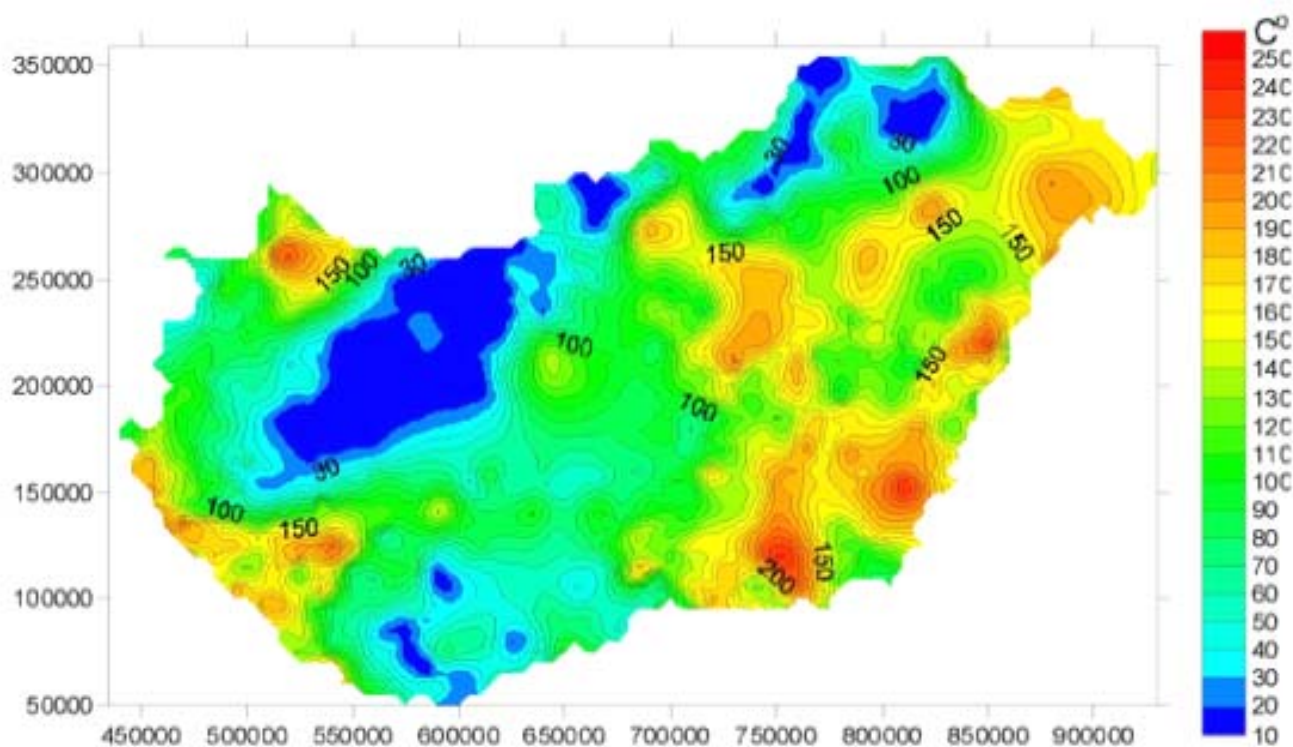
Στο σχήμα 8 φαίνεται ο γεωλογικός χάρτης της Ουγγαρίας σήμερα.



Σχ. 8 Γεωλογικός χάρτης της Ουγγαρίας (Γεωλογικό Ινστιτούτο Ουγγαρίας MAFI 1985)

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΠΑΝΝΟΝΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

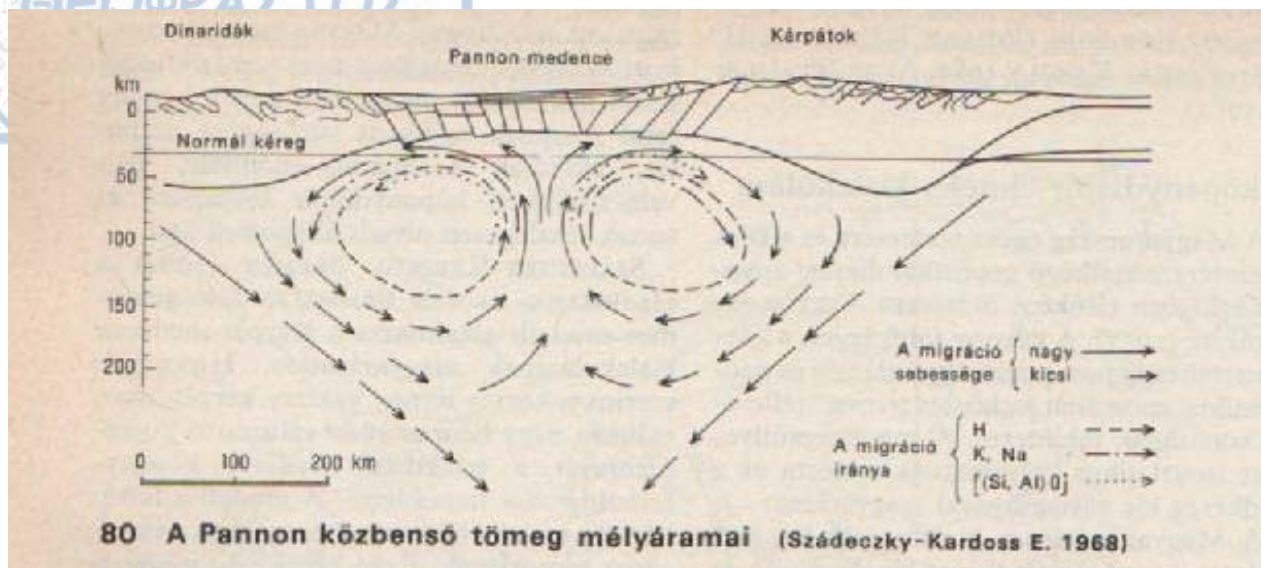
Όπως προαναφέρθηκε, στο Μ. Μειόκαινο επικράτησαν στη Παννονία ισχυρές εφελκυστικές τάσεις που προκάλεσαν τη δημιουργία πολλών κανονικών ρηγμάτων και σημαντική βύθιση της λεκάνης, με ταυτόχρονη λέπτυνση του φλοιού. Η μέση βύθιση της επιφάνειας λεκάνης ήταν 800 m. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα όρη περιφερειακά ανυψώθηκαν κατά περίπου 300 m, έδωσε μία σχετική βύθιση περίπου 1100 m. Κατά τη διάρκεια της βύθισης έλαβε χώρα εκτενής απόθεση ιζημάτων που συχνά το πάχος τους φθάνει τα 5000 m. Το μεγάλο πάχος των ιζημάτων υποδηλώνει έντονη συνεχή βύθιση του πυθμένα της περιοχής. Στο σχήμα 9 φαίνεται η θερμοκρασία στην κορυφή των προνεογενών σχηματισμών στην Ουγγαρία που σήμερα καλύπτονται από μεγάλου πάχους ιζήματα.



Σχ. 9 Η θερμοκρασία στην κορυφή των προνεογενών σχηματισμών στην Ουγγαρία

Τα αίτια του εφελκυσμού που οδήγησε στην καταβύθιση της λεκάνης εντοπίζονται στα βαθειά θερμά ανοδικά ρεύματα μέσα στο μανδύα κάτω από το χώρο της Παννονικής.

Στο σχήμα 10 φαίνεται ακριβώς αυτή η δράση των ρευμάτων και πώς αυτά επηρέασαν τον τεκτονισμό της περιοχής. Το μήκος των βελών υποδηλώνει την ταχύτητα των ρευμάτων, ενώ το είδος της γραμμής τις κινήσεις των κυριότερων στοιχείων.



Σχ. 10 Διάγραμμα όπου παριστάνεται η κίνηση των θερμών ρευμάτων στο χώρο της Παννονίας

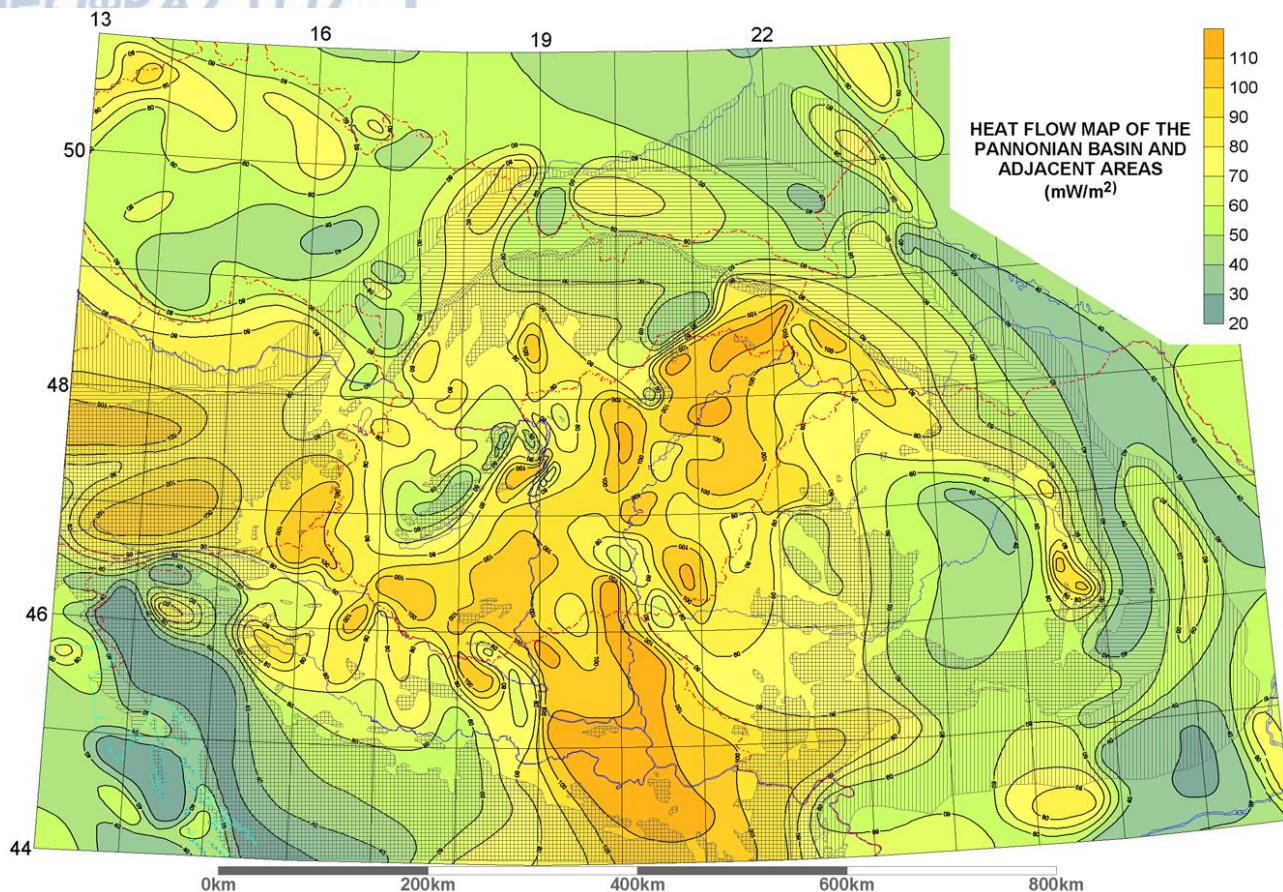
Τα ανοδικά ρεύματα του μανδύα ήταν και ο κύριος λόγος της ηφαιστειότητας στην περιοχή την ίδια περίοδο, η οποία έδωσε μεγάλες ποσότητες ηφαιστιτών ανδεσιτικής ως ρυολιτικής σύστασης.

Το πάχος του φλοιού στην Παννονία υπολογίζεται σε περίπου 25-30 km. Ως αποτέλεσμα του μικρού αυτού πάχους η μέση θερμοβαθμίδα στην περιοχή είναι $50\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}$ βάθους, τιμή κατά 60 %, μεγαλύτερη της μέσης γήινης θερμοβαθμίδας ($30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Αν ληφθεί υπόψη ότι η μέση θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή είναι $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, σε μία γεώτρηση βάθους 1000 m αναμένονται ρευστά περίπου $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Πράγματι οι περισσότερες παραγωγικές γεωτρήσεις στην περιοχή έχουν βάθη που κυμαίνονται από 700-1200m και θερμοκρασίες από $50\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Αυτό βέβαια δεν αποκλείει διαφοροποιήσεις από αυτή τη σχέση θερμοκρασίας-βάθους όπως στην περιοχή Χέβιζ (Hévíz) ή Χαρκάνυ (Hárkány), ($62\text{ }^{\circ}\text{C}$ από βάθη 500-700m).

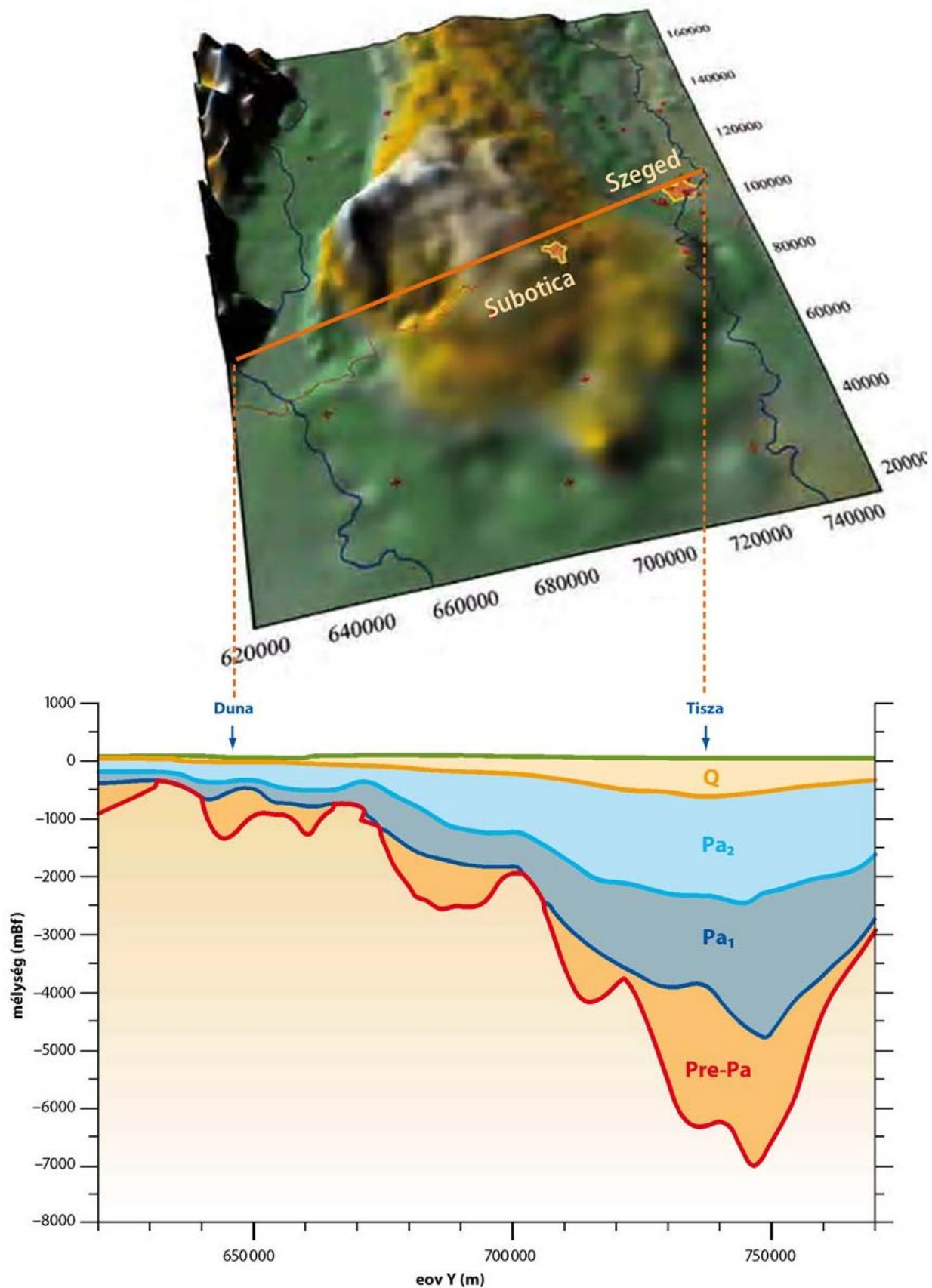
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι συνθήκες δημιουργίας του γεωθερμικού πεδίου της Παννονικής λεκάνης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές και οφείλονται στο μικρό πάχος του φλοιού κάτω από τη λεκάνη οπότε μεγάλες ποσότητες υπέρθερμου μάγματος βρέθηκαν πολύ κοντά στην επιφάνειά της. Αυτό αυξάνει τη ροή θερμότητας με αποτέλεσμα σε ολόκληρη τη λεκάνη να μετρούνται θετικές θερμικές ανωμαλίες. Η μέση θερμική ροή είναι $90\text{ mW}/\text{m}^2$ με μέγιστες τιμές τα $100\text{--}110\text{ mW}/\text{m}^2$ στην κεντροανατολική Ουγγαρία και ελάχιστη $70\text{--}90\text{ mW}/\text{m}^2$ στην ευρύτερη περιοχή των συνόρων Ουγγαρίας-Κροατίας και στις λοφώδεις περιοχές της Τρανσυλβανίας (σχήμα 11).



Σχ. 11 Θερμική ροή στην ευρύτερη Παννονία σε mW/m^2 . Οι θέσεις των διαφόρων περιοχών φαίνονται με προσεχτική παρατήρηση του υδρογραφικού δικτύου.

Οι μεγαλύτερες θερμικές ανωμαλίες στην νοτιοανατολική Ουγγαρία προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας κατά $1^\circ C$ ανά 16-18m. Στο σχήμα 12 παρατίθεται μία τρισδιάστατη εικόνα και η σχετική τομή Α-Δ μεταξύ των ποταμών Δούναβη και Τίσα στα σύνορα Σερβίας-Ουγγαρίας, όπου φαίνεται και η αύξηση του πάχους των ιζημάτων που αποτελούν και τους ταμιευτήρες των γεωθερμικών ρευστών. Η κατακόρυφος διάσταση έχει επιμηκυνθεί για καλύτερη απεικόνιση.



Σχ. 12 Τομή της Παννονίας από Α-Δ μεταξύ των ποταμών Τίσα και Δούναβη.
Pre-Pa ~ Προ του Α. Μειόκαινου ιζήματα. Pa₁ ~ Α. Μειοκαινικά ιζήματα.
Pa₂ ~ Κ. Πλειοκαινικά ιζήματα. Q ~ Τεταρτογενή ιζήματα

Για να υπολογίσουμε τη γεωθερμική ενέργεια που είναι συσσωρευμένη στο υπέδαφος μίας περιοχής όταν γνωρίζουμε τη θερμική ροή χρησιμοποιούμε το νόμο Fourier για τη μετάδοση της θερμότητας με αγωγή, που περιγράφεται από τη σχέση:

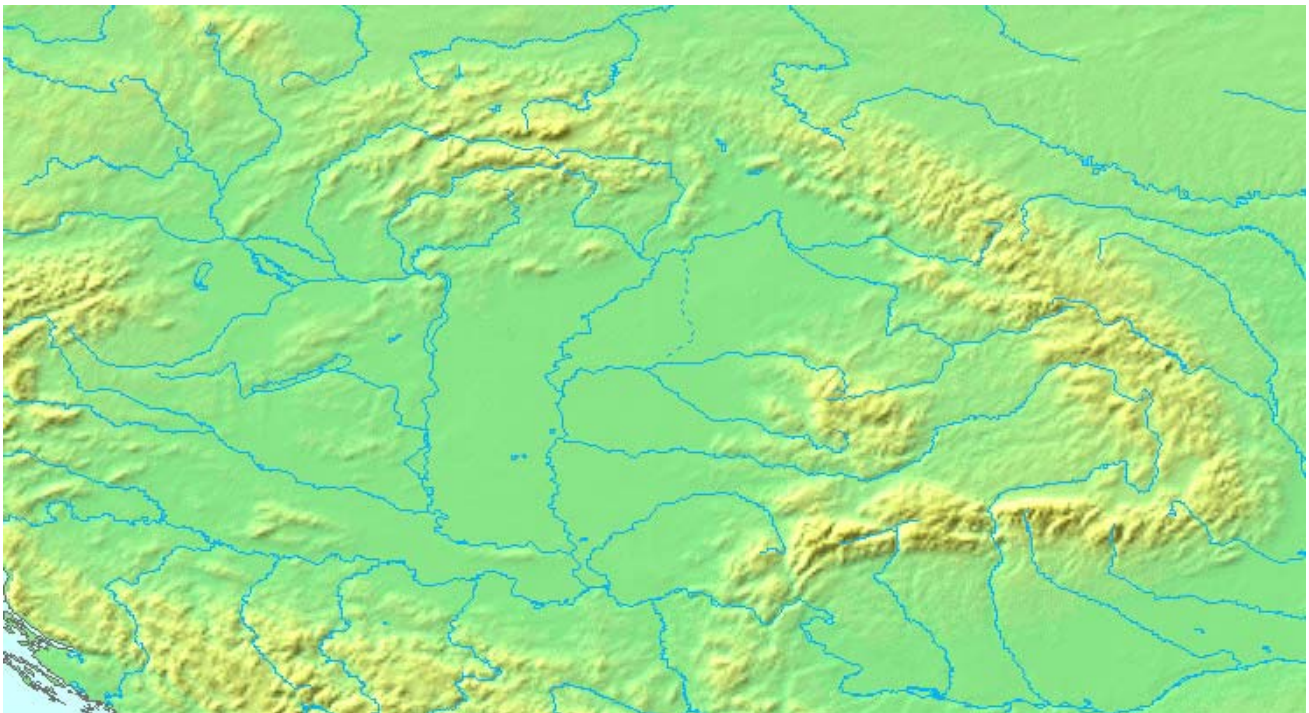
$$Q=P*t*A$$

όπου Q =το Συνολικό ποσό ενέργειας που παράγεται στο χρονικό διάστημα t που μας ενδιαφέρει, και P η μέση θερμική ροή. A είναι το εμβαδόν της περιοχής.

Πολλαπλασιάζοντας τη μέση θερμική ροή $\sim 90 \text{ mW/m}^2$ επί την έκταση της Παννονίας ($\sim 150.000 \text{ Km}^2$) προκύπτει ότι η συνολική ισχύς του πεδίου είναι $\sim 13,5 \text{ GW}$. Βέβαια με τη σημερινή τεχνολογία μόνο ένα μικρό τμήμα αυτής της ενέργειας μπορεί να αξιοποιηθεί.

Έρευνα του πανεπιστημίου της Ντέμπρετσεν (Debrecen) υπολόγισε ότι η μέγιστη ποσότητα του θερμού νερού το οποίο κατά τη χρήση του ψύχεται κατά 40°C , και επανεισάγεται χωρίς να έχουμε πτώση της θερμοκρασίας των ταμιευτήρων για ολόκληρο το Ουγγρικό υπέδαφος, είναι 380 εκατ. m^3 ετησίως, που μεταφράζονται σε ενέργεια $63,5 \text{ PJ}$.

Η αξιοποίηση ενός γεωθερμικού πεδίου προϋποθέτει και την ύπαρξη ρευστών (νερού). Πράγματι η Παννονία είναι από τις πλουσιότερες σε νερό περιοχές παγκοσμίως. Διαρρέεται από τον μεγαλύτερο σε παροχή υδάτων ποταμό της Ευρώπης τον Δούναβη, και πολλούς παραποτάμους του με μέγεθος πολύ μεγαλύτερο του μεγαλύτερου ποταμού της Ελλάδας (Σχήματα 7 και 13). Αυτή η αφθονία υδάτων εξασφαλίζει τη συνεχή τροφοδοσία του υπεδάφους σε ρευστά.



Σχ. 13 Το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής της Παννονίας (τονισμένο)

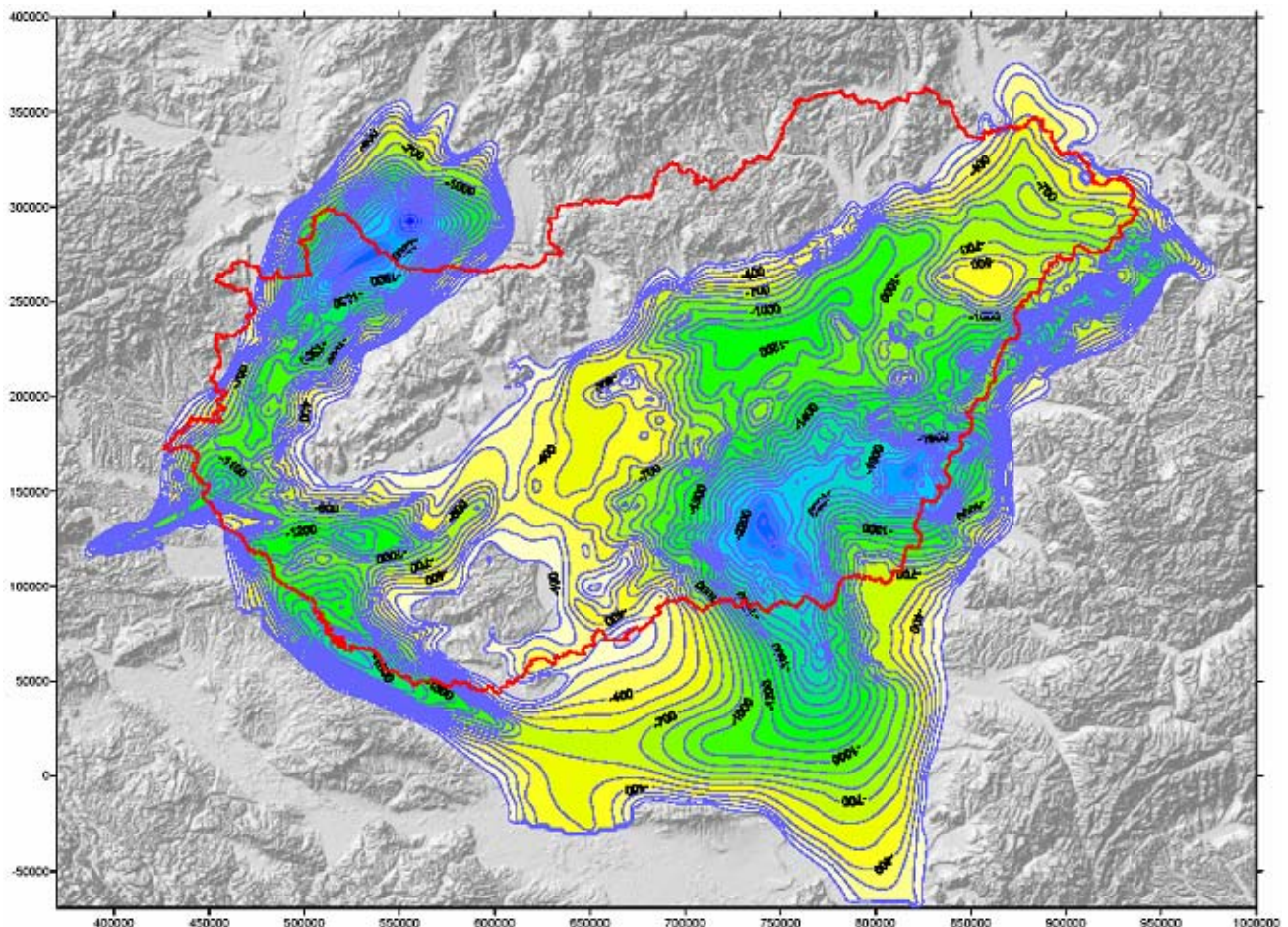
Τα μεγάλου πάχους και μεγάλου πορώδους ιζηματογενή πετρώματα, επιτρέπουν την αποθήκευση τεραστίων ποσοτήτων νερού στην Παννονική λεκάνη. Τα πετρώματα αυτά σχηματίστηκαν κατά τη βύθιση της λεκάνης στο Α. Μειόκαινο-Πλειόκαινο, εποχή που οι τοπικοί γεωλόγοι ονομάζουν Παννόνιο, και αποτελούνται από εναλλαγές ασβεστόλιθων, άμμων και αργίλλων, αλλά και στο Πλειστόκαινο με πλήθος χερσαίων ιζημάτων, κυρίως εναλλαγές άμμων με κροκαλοπαγή. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος και το πορώδες του ταμιευτήρα τόσο είναι μεγαλύτερη και η απόδοση των γεωτρήσεων εκμετάλλευσής του.

Στο σχήμα 14 φαίνονται τα μέσα βάθη από την επιφάνεια του εδάφους, των πυθμένων των σημαντικότερων υδροφόρων στρωμάτων στην Παννονία.

Τα πετρώματα που φιλοξενούν τα θερμά νερά στην Παννονία διακρίνονται σε δύο μεγάλες διακριτές ενότητες που επικάθονται του παλαιοζωικού κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου:

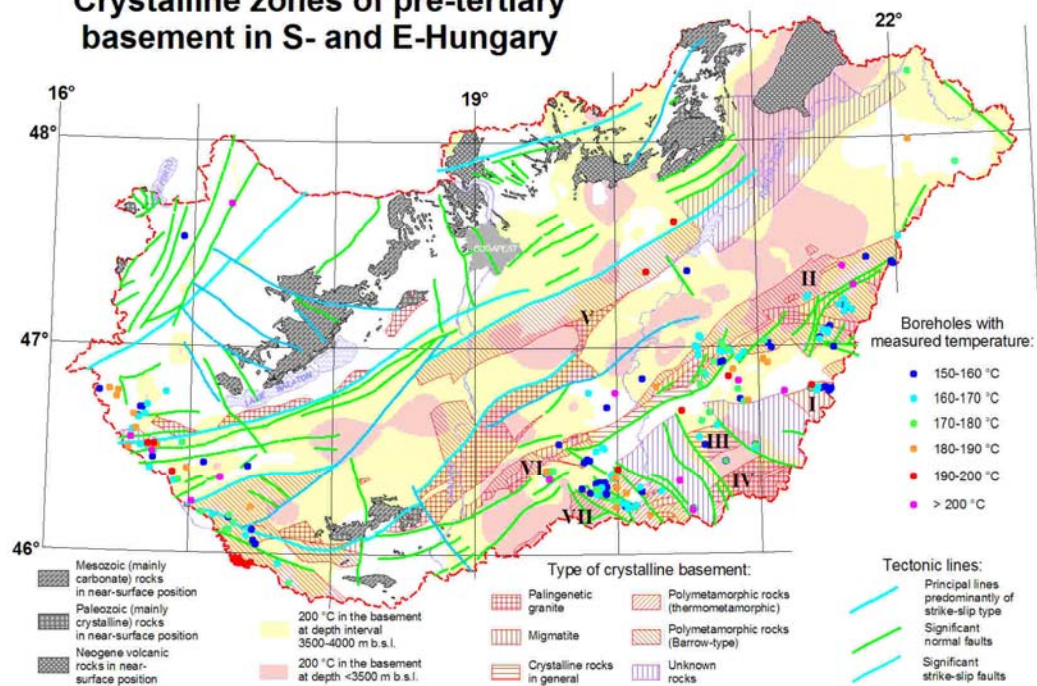
- Τα προνεογενή τεκτονισμένα καρστικά πετρώματα
- Τα νεογενή πορώδη ιζήματα.

Ο κυριότερος όγκος των θερμών ρευστών εγκλείεται στα νεογενή ιζήματα όπως φαίνεται και στα σχήματα 16 και 17:

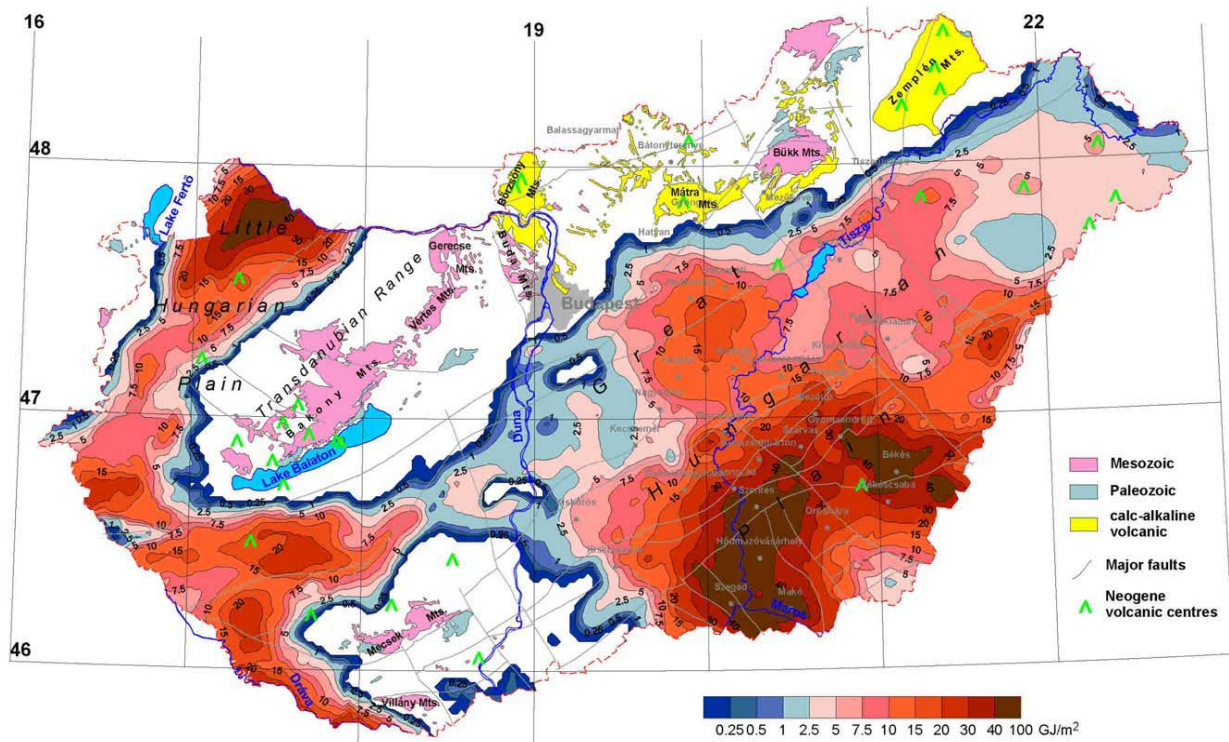


Σχ. 14 Τα μέσα βάθη των πυθμένων των υδροφόρων στρωμάτων της Παννονίας.

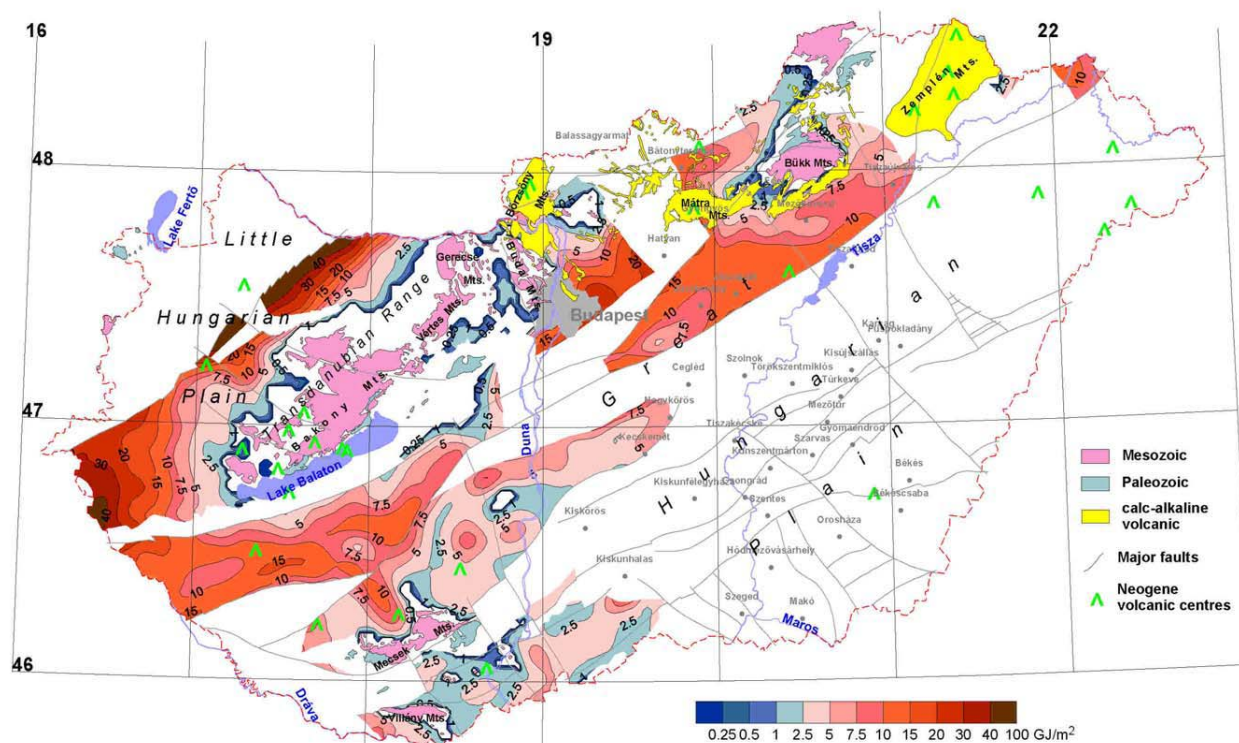
Crystalline zones of pre-tertiary basement in S- and E-Hungary



Σχ. 15 Τα προ-Τριαδικά κρυσταλλικά πετρώματα του Ουγγρικού υποβάθρου



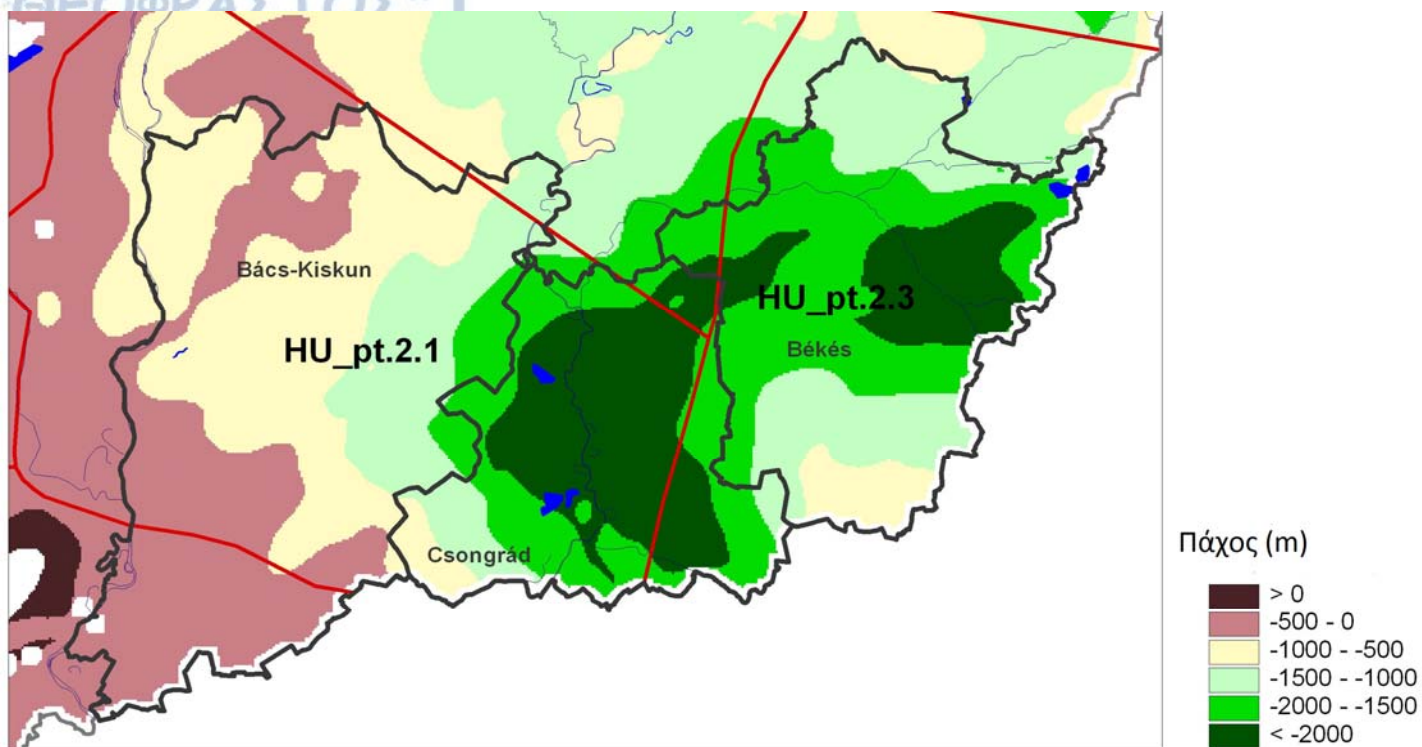
Σχ. 16 Ενέργεια των τεταρτογενών ταμιευτήρων



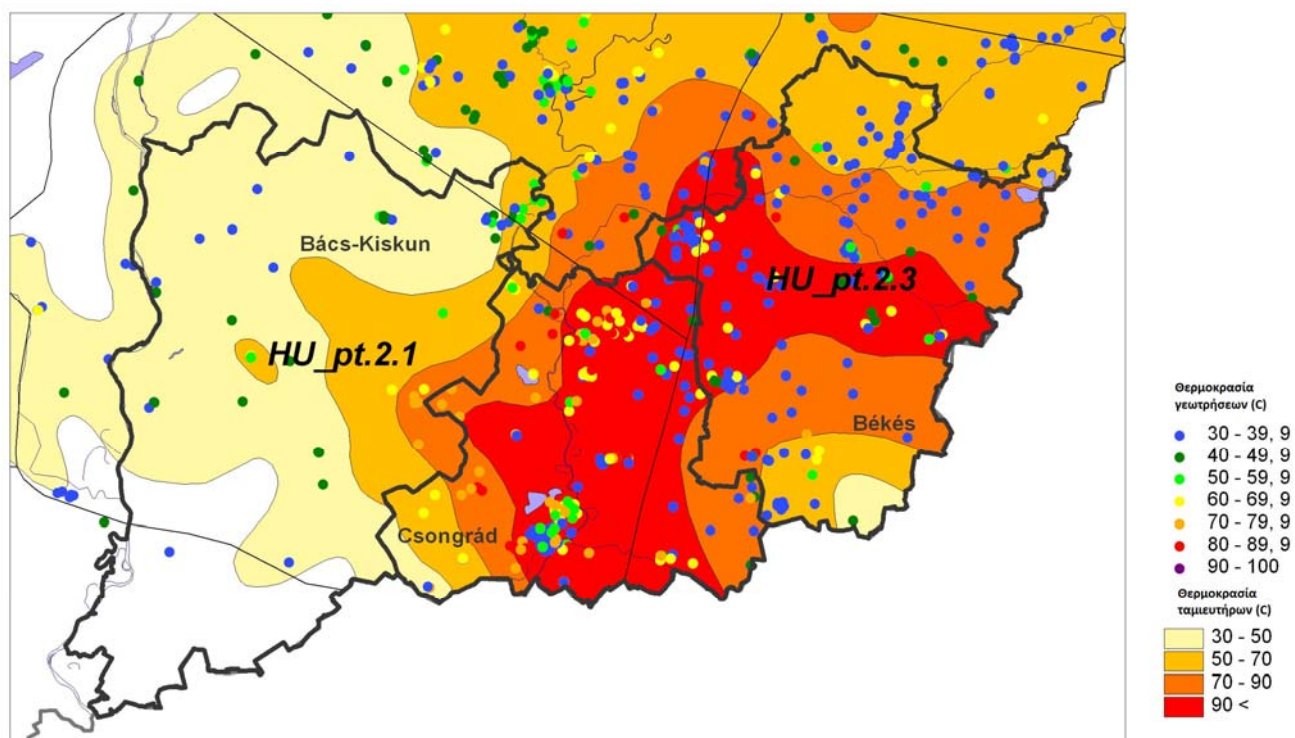
Σχ. 17 Ενέργεια των μεσοζωικών ταμιευτήρων

Στα σχήματα 18 και 19 απεικονίζονται τα πάχη και οι θερμοκρασίες των υδροφόρων στρωμάτων ενός τμήματος της ΝΑ Ουγγαρίας καθώς και οι θερμοκρασίες των γεωτρήσεων και των ταμιευτήρων της περιοχής.

Από τους χάρτες αυτούς φαίνεται πως υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ βάθους-θερμοκρασίας. Το πάχος των υδροφόρων στρωμάτων κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 0-2000m, από αυτά το 30-50% είναι άμμοι και ψαμμίτες και η αποθηκευτική τους ικανότητα (δηλ. η συνολική ποσότητα νερού) ισοδυναμεί με 0-100 m στήλης ύδατος.

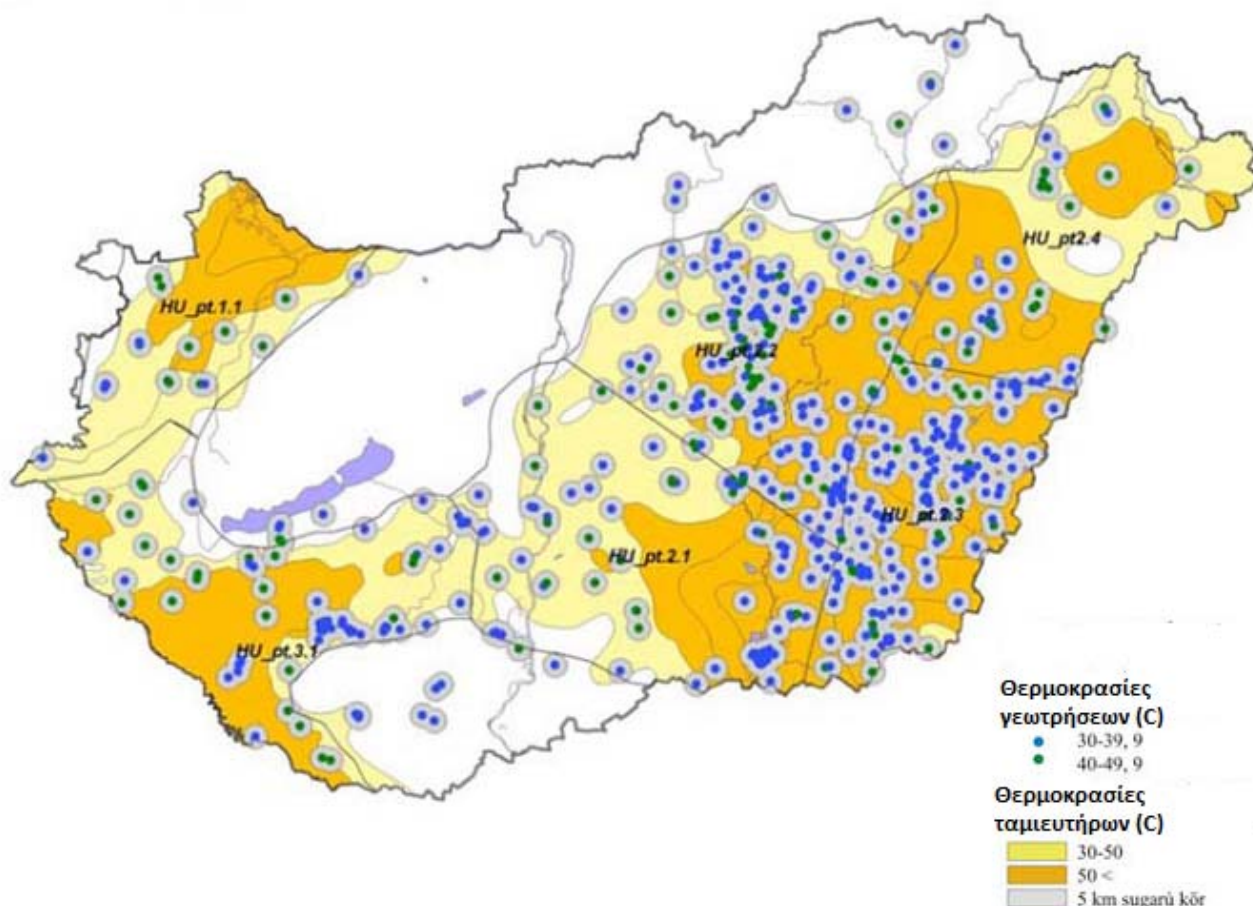


Σχ. 18 Συνολικό Πάχος των υδροφόρων στρωμάτων



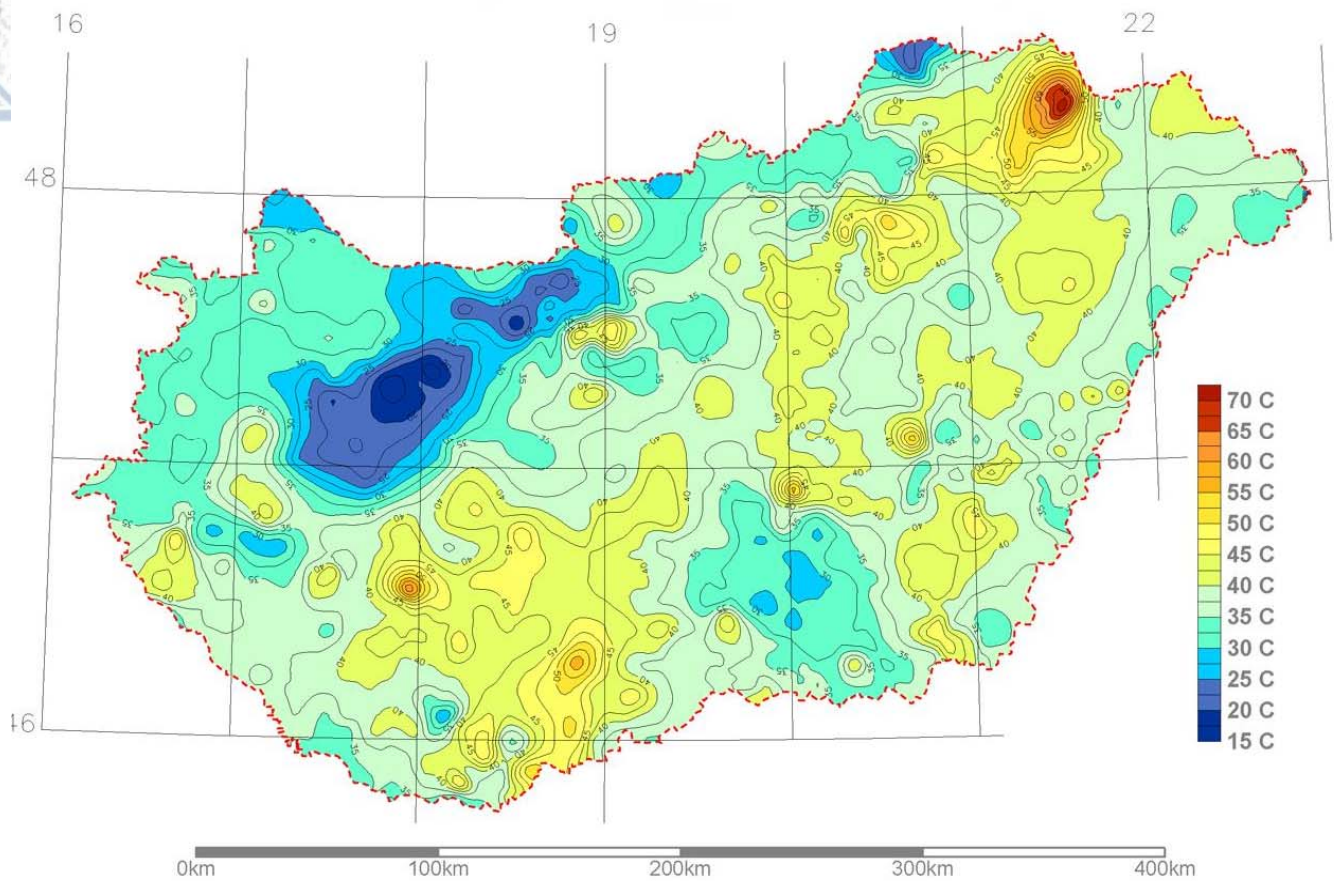
Σχ. 19 Απεικόνιση της θερμοκρασίας των θερμών γεωτρήσεων και της μέγιστης θερμοκρασίας του ταμιευτήρα

Στη συνέχεια παρατίθεται ένας χάρτης με τις πιο παραγωγικές γεωτρήσεις στην Ουγγαρία, όπου φαίνονται και οι μέγιστες θερμοκρασίες των ταμιευτήρων από όπου προέρχονται τα νερά των γεωτρήσεων.



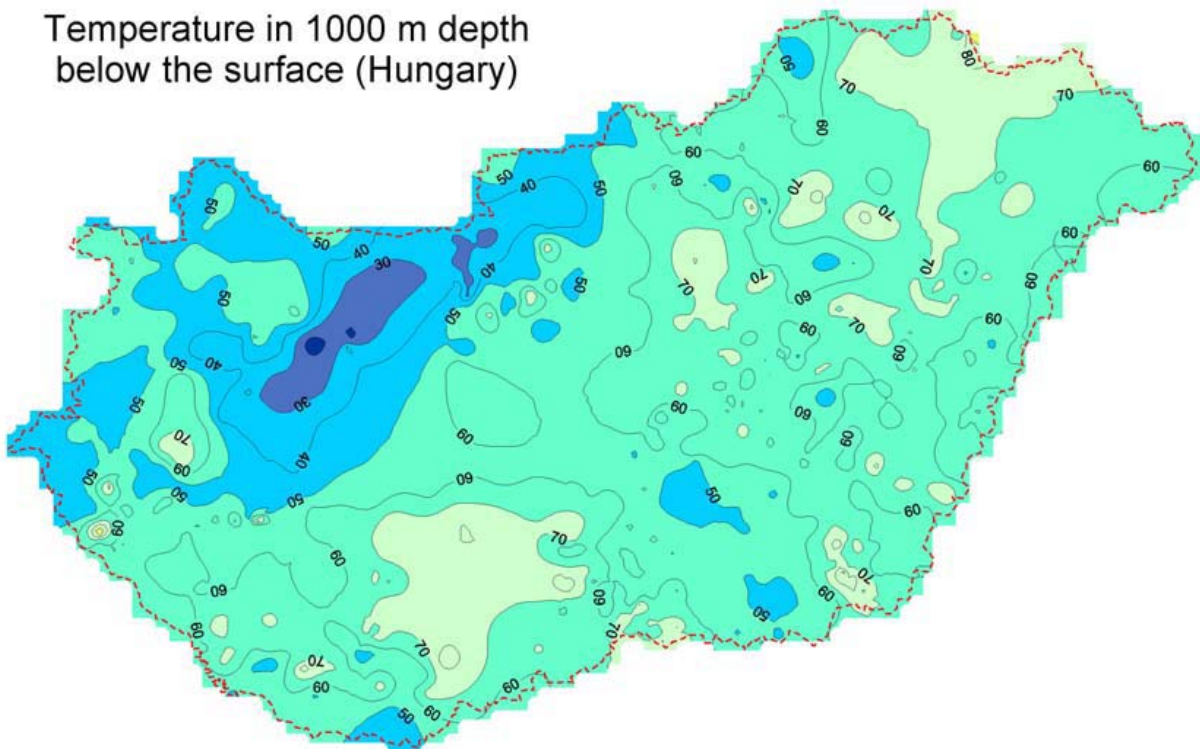
Σχ.20 Χάρτης με τις θερμοκρασίες του νερού των γεωτρήσεων και του ταμιευτήρα από όπου αντλείται το νερό στην Ουγγαρία, οι τελείες απεικονίζουν γεωτρήσεις, τα χρώματα τις μέγιστες θερμοκρασίες ταμιευτήρα. Οι γκρι κύκλοι απεικονίζουν ακτίνα 5 Km γύρω από γεώτρηση (Kobor Balázs 2008).

Παρακάτω δίνονται ορισμένοι χάρτες με τις θερμοκρασίες σε διάφορα βάθη στο ουγγρικό υπέδαφος (Szalma Raul 2010, Πανεπιστήμιο Ντέμπρετσεν).



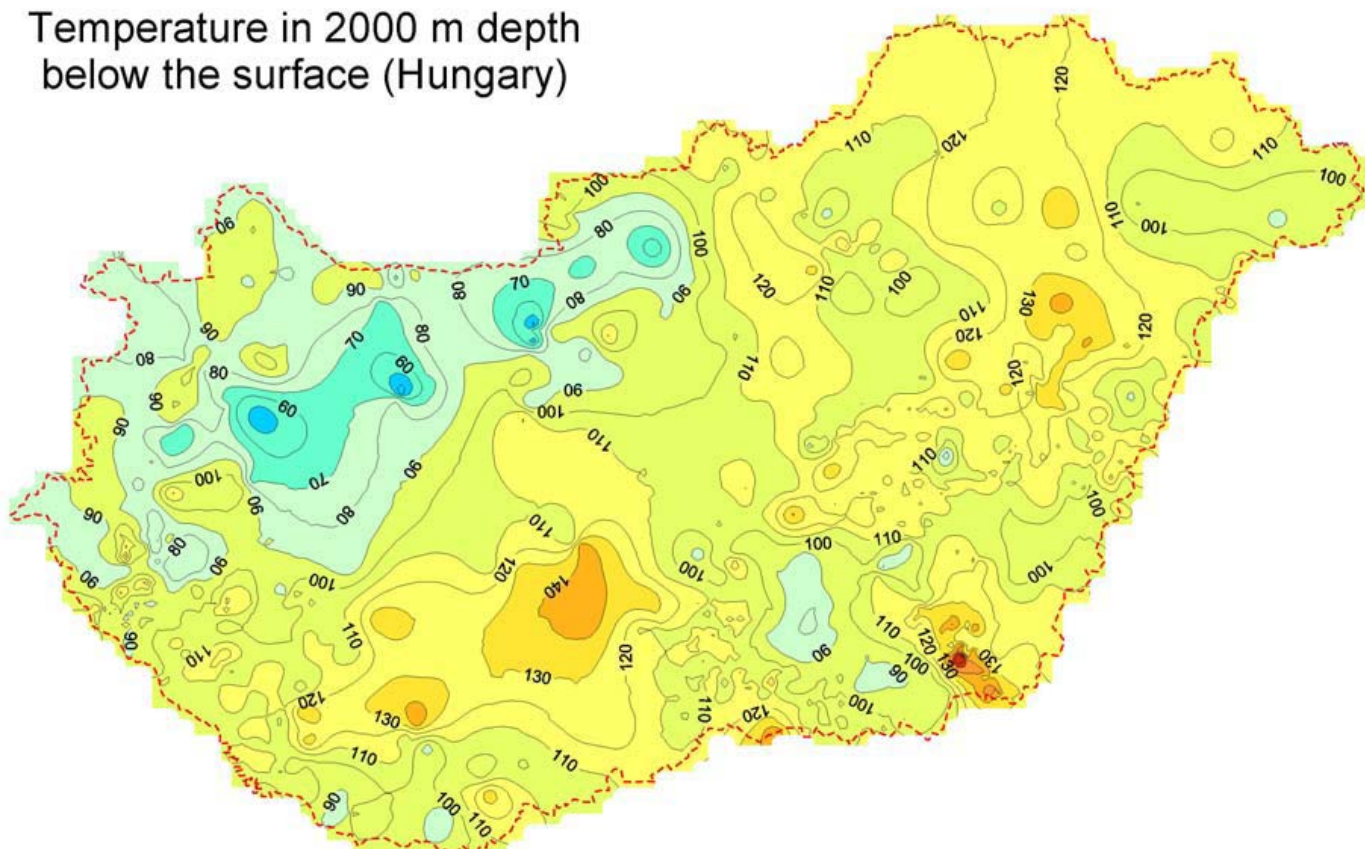
Σχ. 21 Θερμοκρασία σε βάθος 500 m από την επιφάνεια του εδάφους

Temperature in 1000 m depth
below the surface (Hungary)

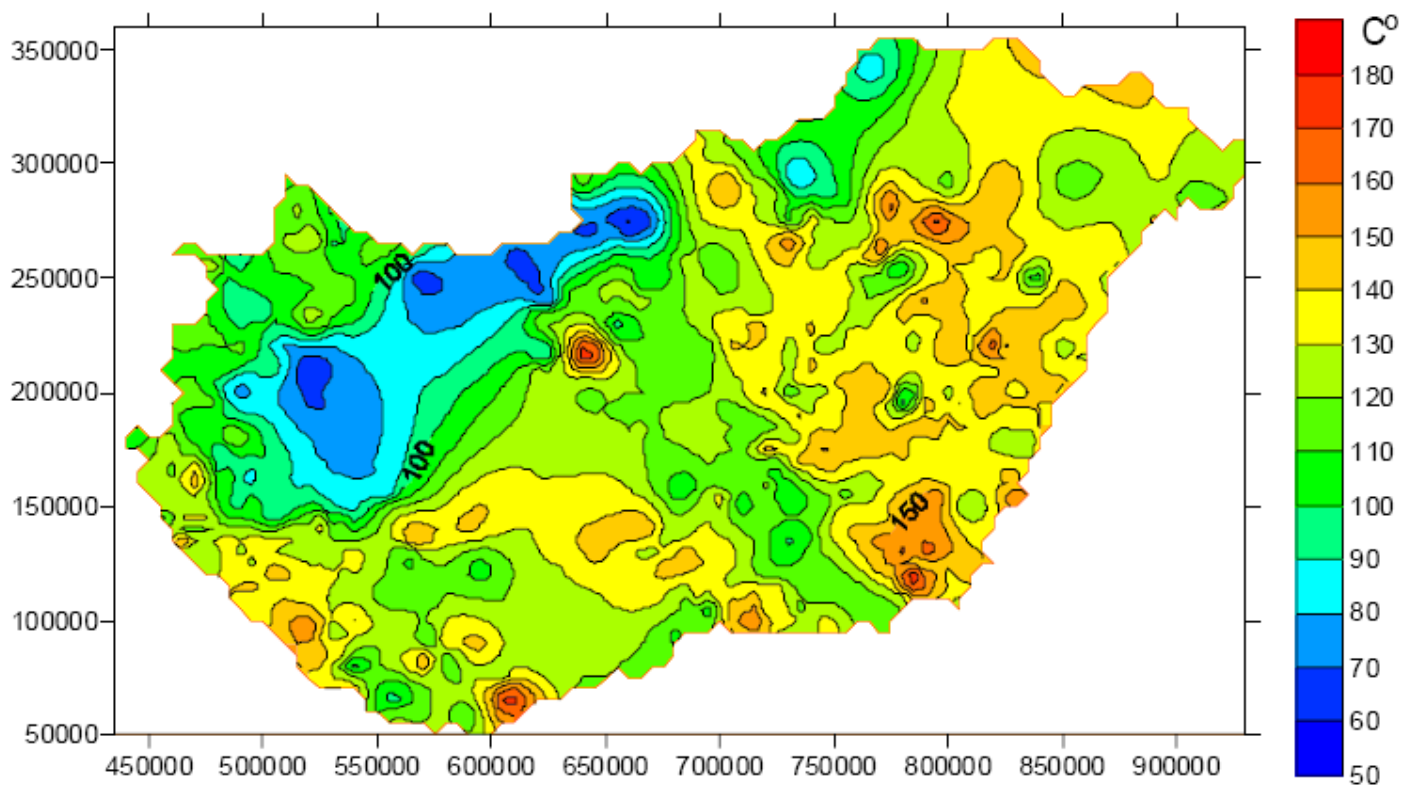


Σχ. 22 Θερμοκρασία σε βάθος 1000 m από την επιφάνεια του εδάφους

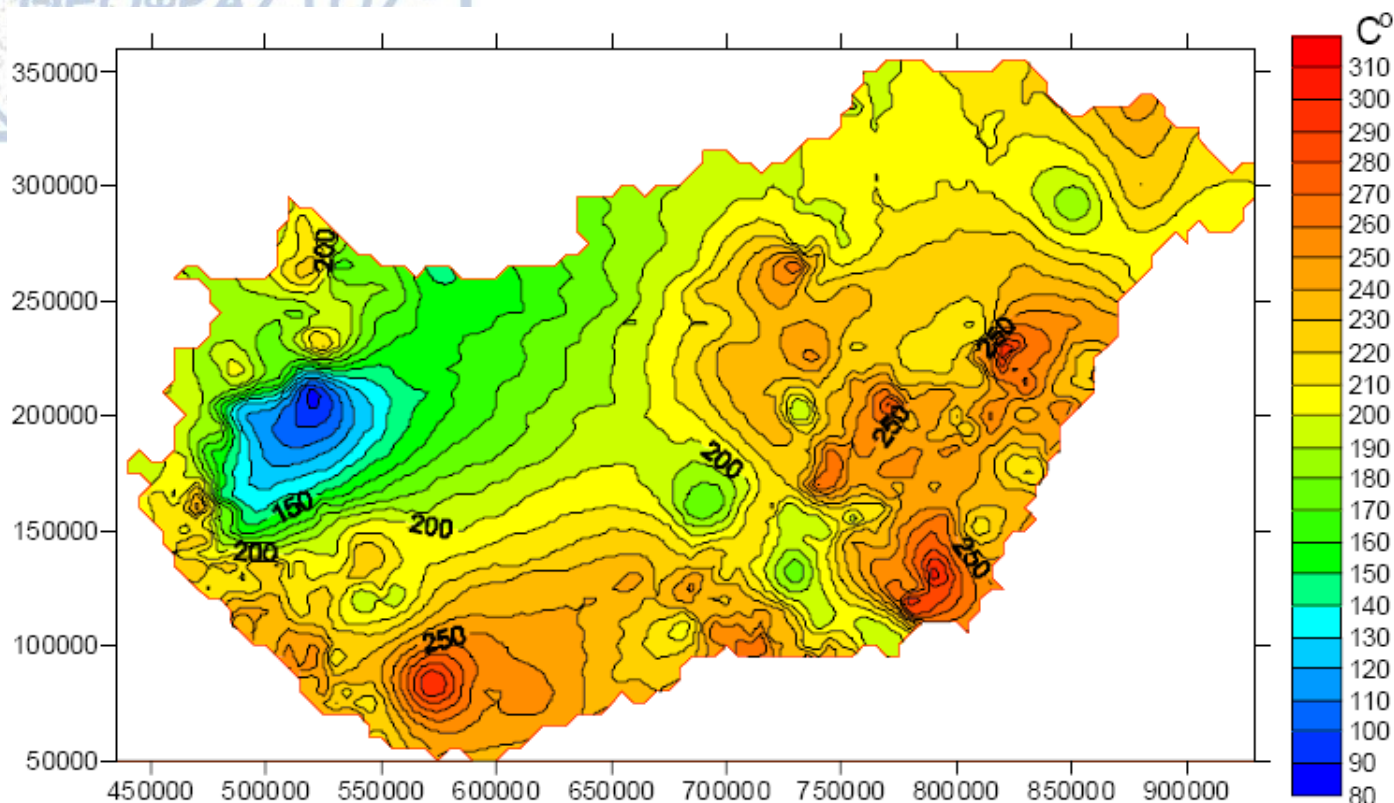
Temperature in 2000 m depth
below the surface (Hungary)



Σχ. 23 Θερμοκρασία σε βάθος 2000 m από την επιφάνεια του εδάφους



Σχ. 24 Κατανομή της θερμοκρασίας σε βάθος 2500 m από την επιφάνεια του εδάφους



Σχ. 25 Κατανομή της θερμοκρασίας σε βάθος 5000 m

Βέβαια όταν γίνεται σε μία περιοχή μία υδρογεωλογική-γεωθερμική μελέτη θα πρέπει να λαμβάνεται όχι μόνο μία στιγμιαία απεικόνιση της κατάστασης στην περιοχή, αλλά μία δυναμική περιγραφή των δυνάμεων και των κινήσεων των υδάτων υπέργεια και υπογείως, κυρίως λόγω γεωμορφολογίας. Είναι δυνατόν περιοχές με μελέτη της στιγμιαίας κατάστασής τους να παρουσιάζουν στοιχεία που ανταποκρίνονται στις συνθήκες μίας άλλης περιοχής από όπου προέρχονται τα ύδατα. Έτσι οι περιοχές που βρίσκονται χαμηλότερα παρουσιάζουν ροή ύδατος προς αυτές από άλλες που βρίσκονται υψηλότερα, κυρίως στα επιφανειακά στρώματα. Στην Παννονία η ταχύτητα ροής των υπόγειων ρευστών είναι πολύ μικρή και για το λόγο αυτό το γεωθερμικό πεδίο της περιοχής ταξινομείται στα λεγόμενα **στατικά συστήματα**, ή **συστήματα αγωγής**, που σημαίνει ότι η μετάδοση της θερμότητας δεν γίνεται λόγω της κίνησης των ρευστών (συναγωγή) αλλά σχεδόν αποκλειστικά με αγωγή.

Στην Παννονία δεν παρατηρούνται πολύ μεγάλες θερμικές ανωμαλίες. Υπάρχει όμως μία αυξημένη θερμική ροή σε όλο το εύρος της λεκάνης κάτι που αποτελεί ένα σοβαρό πλεονέκτημά της σε συνδυασμό με το μεγάλο της μέγεθος. Από χημικής άποψης τα ρευστά της περιοχής ανήκουν στην κατηγορία των αλκαλικών έως όξινων ανθρακικών διαλυμάτων. Λόγω όμως της μεγάλης έκτασης του πεδίου και της ανόμοιας πετρολογικής σύστασης παρουσιάζονται σημαντικές μεταβολές στο είδος και τις συγκεντρώσεις των διαφόρων διαλυμένων αλάτων. Οι κυριότερες διαλυμένες ουσίες και οι συγκεντρώσεις τους στη ΝΑ Ουγγαρία,

ενδεικτικές ως ένα βαθμό για τη γεωχημεία των ρευστών ολόκληρης της περιοχής, δίνονται παρακάτω:

- Η μέση περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα κυμαίνεται από 1-3g/l , αλλά σε κάποιες περιπτώσεις φτάνει και τα 5g/l, κυρίως κοντά στη νοητή γραμμή που χωρίζει τη νότια από την κεντρική Ουγγαρία.
- Από τα κατιόντα, η συγκέντρωση του νατρίου στα ανώτερα τμήματα κυρίως των βορείων περιοχών κυμαίνεται από 4-500 mg/l, ενώ στους κατώτερους ορίζοντες 500-2000 mg/l. Στα πολύ νότια τμήματα οι συγκεντρώσεις μειώνονται.
- Η μέση περιεκτικότητα σε ασβέστιο είναι από 5-15 mg/l με τις χαμηλότερες τιμές στα νότια κυρίως τμήματα.
- Το κυριότερο ανιόν είναι το HCO_3 , με συγκεντρώσεις που στα ανώτερα στρώματα ανέρχονται σε 500-1500 mg/l, στις κατώτερες ζώνες 1000-2000 mg/l αλλά στα νοτιότερα τμήματα υπερβαίνουν τα 2000 mg/l.
- Η συγκέντρωση του χλωρίου στα νεώτερα ιζήματα κυμαίνεται από 10-200mg/l ενώ στα παλαιότερα από 20-500 mg/l.
- Τα περισσότερα θερμά νερά περιέχουν και διαλυμένα αέρια, κυρίως μεθάνιο.

Με βάση την οδηγία 28/2004 της ΕΕ πρέπει να αναλύονται τα θερμά νερά και να εξετάζεται η ποιότητά τους. Έτσι τέθηκαν όρια στις συγκεντρώσεις των διαλυμένων στοιχείων:

- Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων στα θερμά λουτρά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2000 mg/l, στις ενεργειακές χρήσεις τα 3000 mg/l στα ιαματικά νερά τα 5000 mg/l. Αυτά τα όρια σε λίγες μόνο περιοχές υπερβαίνονται.
- Η μέγιστη περιεκτικότητα του Na είναι 45% επί των κατιόντων, και μόνο για ιαματική χρήση μπορεί να φτάσει το 95%. Με ειδικές άδειες αυτό το ποσοστό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ενεργειακή χρήση. Στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής το Na υπερβαίνει το 45% σε πολλές και το 95%.
- Για την περιεκτικότητα σε αμμωνία και νιτρικά μόνο στην ιαματική χρήση υπάρχει όριο τα 10mg/l. Σε πολλές περιοχές και αυτό το όριο υπερβαίνεται.
- Τα θειώδη μόνο σε ιαματικές χρήσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 2 mg/l τιμή που σπάνια υπερβαίνεται σε μικρά όμως ποσοστά.
- Το όριο για το Ba στις ιαματικές χρήσεις είναι 0,5mg/l. Μόνο σε νερά υψηλών θερμοκρασιών αναλύθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις.

Οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων στοιχείων που θεωρούνται τοξικά ή επικίνδυνα (As, Cd, Hg,) είναι σε σχετικά χαμηλά όρια.

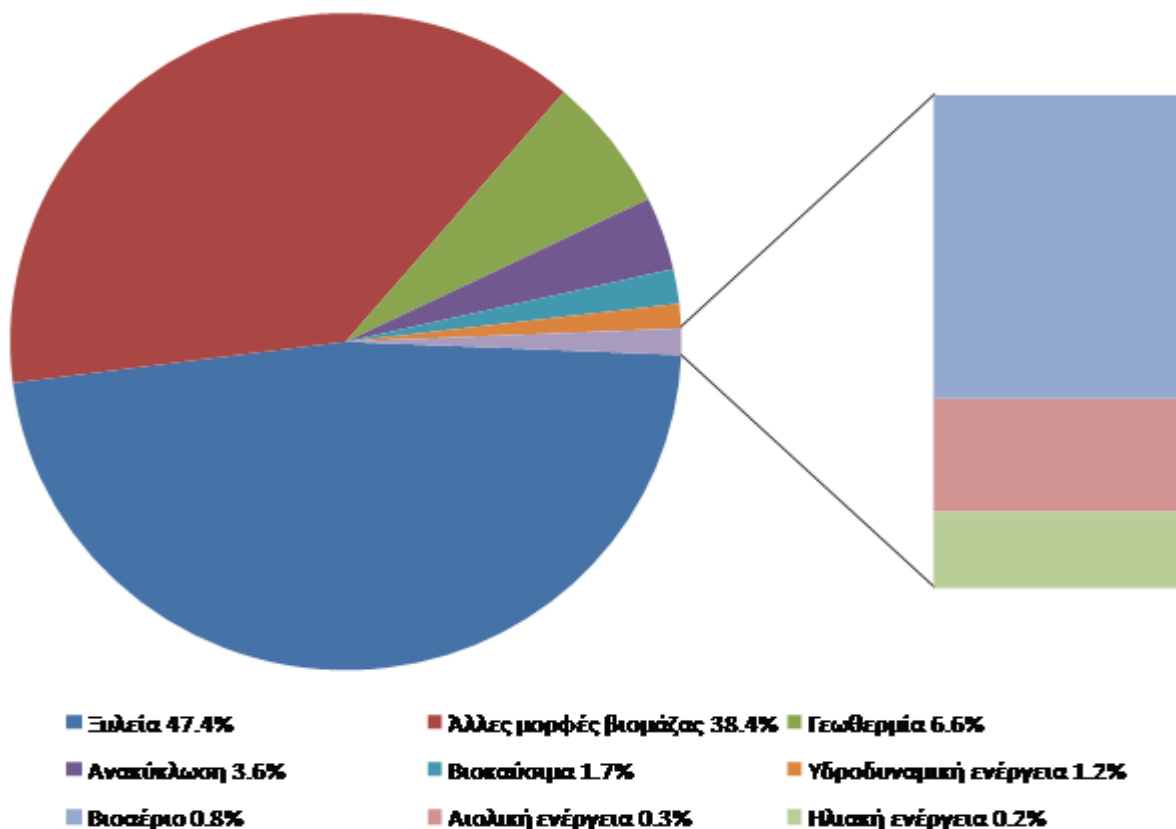
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΝΝΟΝΙΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Σε σχέση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπερέχει πάρα πολύ στα αποθέματα, σε σχέση με τη βιομάζα είναι φθηνότερη και δεν απαιτεί χρήση εδάφους, κοστίζει το μισό από την ηλιακή ενέργεια και είναι πολύ σταθερότερη από την αιολική ενέργεια. Αν συγκρίνουμε και τις συνεχώς αυξανόμενες τιμές των ορυκτών καυσίμων, διαπιστώνουμε ότι είναι η πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας σήμερα για την περιοχή της Παννονίας.

Η γεωθερμία έχει το πλεονέκτημα ότι παράγεται επιτόπου, είναι ανεξάρτητη της διεθνούς αγοράς και των ενεργειακών κρίσεων και είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον ιδιαίτερα με τη νέα ευρωπαϊκή νομοθεσία που επιβάλλει και την επανεισαγωγή των χρησιμοποιημένων θερμών ρευστών. Το κυριότερο όφελός της όμως σχετίζεται με την χαμηλότερη τιμή της σε σχέση με όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (2-3 ευρώ ανά GJ) καθώς και με τις συμβατικές πηγές.

Παρόλα όμως τα πλεονεκτήματά της, εξακολουθεί να έχει μικρό μερίδιο στο σύνολο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που αξιοποιούνται στην Ουγγαρία, όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα (σχ. 26):



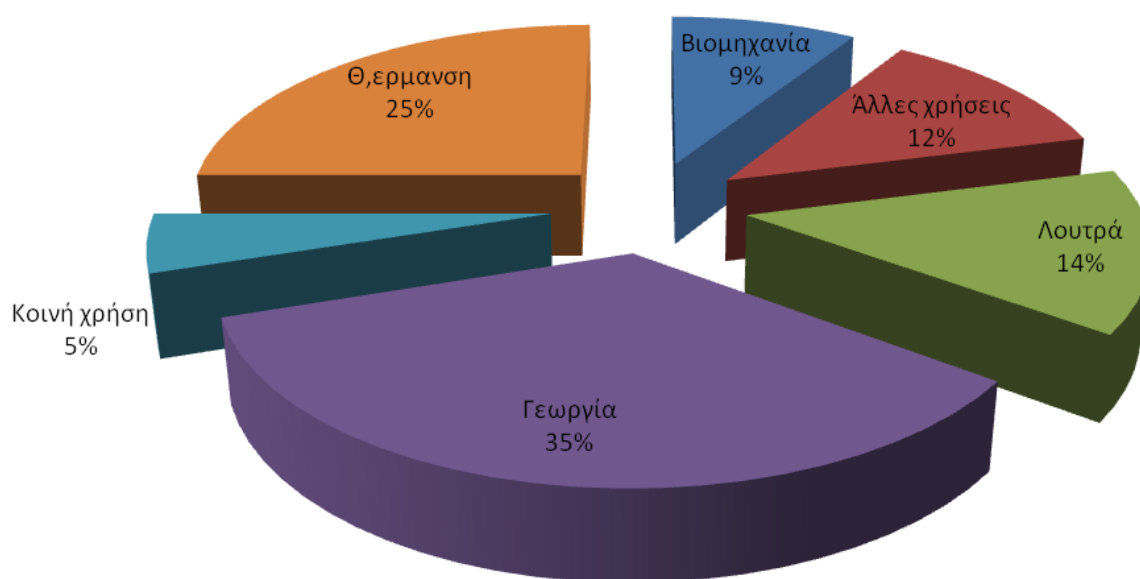
Σχ. 26 Η κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ουγγαρία

Για να μπορεί να υπάρξει σωστή και βιώσιμη αξιοποίηση της γεωθερμίας σε μία περιοχή πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Ικανοποιητική θερμοβαθμίδα
- Ύπαρξη κατάλληλων ταμιευτήρων
- Κατάλληλες πιέσεις στο βάθος

Επίσης απαιτείται η εφαρμογή προηγμένης τεχνολογίας και ύπαρξη τεχνογνωσίας για τη διάνοξη βαθιών γεωθερμικών γεωτρήσεων.

Στο σχήμα 27 απεικονίζεται η ποσοστιαία κατανομή της χρήσης της γεωθερμίας στην Ουγγαρία



Σχ. 27 Η κατανομή των χρήσεων της γεωθερμίας στην Ουγγαρία

Η συνολική παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας στην Ουγγαρία υπολογίζεται σε 1540 MW (Liebe 1998).

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι διάφορες μορφές εκμετάλλευσης της γεωθερμίας στην περιοχή και περιγράφονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά και οι ιδιαιτερότητές τους.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Ο μέσος όρος κατανάλωσης ενέργειας ανά οικία στην ευρύτερη Παννονία είναι περίπου 70 GJ ετησίως, και εξ αυτού το 70% καταναλώνεται για θέρμανση των οικιών και 11% για θέρμανση νερού (Komlós Ferenc). Η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει τις θερμαντικές ανάγκες σχεδόν του συνόλου του πληθυσμού, αντ' αυτού όμως μόνο ένα μικρό τμήμα των οικιών θερμαίνεται με γεωθερμία και αυτό επειδή τη δεκαετία του '50 το Κομμουνιστικό-Σοβιετικό σύστημα που επικρατούσε τότε, εκπόνησε και υλοποίησε ένα μεγάλο πλάνο

οικιστικό σχέδιο κατασκευής δημοσίων πολυκατοικιών που δινόταν ή ενοικιάζονταν στους πολίτες του εκάστοτε κράτους έναντι μίας πολύ χαμηλής αμοιβής. Τα κτήρια αυτά θερμαίνονται με ένα σύστημα κεντρικής θέρμανσης με νερό θερμών γεωτρήσεων. Το συστήματα αυτά, πρωτοποριακά για την εποχή, διατηρούνται σχεδόν αυτούσια μέχρι σήμερα, αν και πλέον είναι απαρχαιωμένα και όχι τόσο αποδοτικά όσο θα έπρεπε. Επειδή η θέρμανση αυτού του τύπου είναι ιδιόμορφη και ανεπτυγμένη σε κρατικό επίπεδο, θα αναπτυχθεί ξεχωριστά από τις υπόλοιπες θερμαντικές χρήσεις τις γεωθερμίας. Αναλυτικότερα:

Από το 1946 σε όλα τα κράτη που αποτελούσαν τότε την Παννονία (Ρουμανία, Ουγγαρία, Τσεχοσλοβακία, Σοβ. Ένωση, Γιουγκοσλαβία,) άρχισαν να κατασκευάζονται κρατικά κτήρια εξολοκλήρου από μπετόν, κατά τα πρότυπα της Σοβ. Ένωσης, πανομοιότυπα μεταξύ τους, για την κάλυψη των στεγαστικών αναγκών του πληθυσμού μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο, αλλά και μετά από την κρατικοποίηση της ιδιωτικής περιουσίας. Για τα κτήρια αυτά κατασκευάστηκε ένα δίκτυο κεντρικής θέρμανσης, όπου το νερό δε θερμαίνεται στην οικοδομή, αλλά σε κεντρικές μονάδες και από εκεί διανέμεται με σωληνώσεις στα κτήρια, περίπου όπως γίνεται η διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος ή του φυσικού αερίου. Στα διαμερίσματα είναι εγκατεστημένα δύο ανεξάρτητα ρολόγια, θερμού και κρύου νερού, και υπάρχει ένα πάγιο θέρμανσης ανεξάρτητα αν γίνεται χρήση ή όχι, χωρίς θερμοστάτη. Αρκετά νωρίς ανακάλυψαν τη γεωθερμική ενέργεια, έτσι ώστε σήμερα πολλά από τα κτήρια αυτού του τύπου εξακολουθούν να θερμαίνονται με γεωθερμικό νερό αν και πέρασαν 20 χρόνια από την ιδιωτικοποίηση όλων αυτών των κατοικιών. Την εικοσαετία όμως 1970-90 κυρίως λόγω της φθηνής σοβιετικής ενέργειας παραμελήθηκε η γεωθερμία και κατασκευάστηκαν τεράστιοι κεντρικοί λέβητες φυσικού αερίου (τάξης MW) ,που χρησιμοποιήθηκαν για τον ίδιο σκοπό, την θέρμανση πολλών οικιών. Επειδή η θέρμανση σήμερα γίνεται με γεωθερμικό νερό σε μεγάλο τμήμα των χωρών του πρώην ανατολικού μπλοκ δε θα πρέπει να θεωρήσουμε ότι η θέρμανση οφείλεται αποκλειστικά στο γεωθερμικό πεδίο της Παννονίας, απλά η ύπαρξη του γεωθερμικού πεδίου επιτρέπει τη διάνοιξη γεωτρήσεων σε μικρότερο βάθος. Στη συνέχεια αναλύονται τα χαρακτηριστικά και ο τρόπος εκμετάλλευσης των θερμών νερών, καθώς και τα προβλήματα που δημιούργησε και εξακολουθεί να δημιουργεί η χρήση τους. Στο χώρο της Παννονίας κατασκευάστηκε ένα δίκτυο γεωτρήσεων βάθους περίπου 700-1200 m μέχρι να συναντηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία (περίπου 55-60 °C). Η διάμετρος των γεωτρήσεων ποικίλει ανάλογα με την ζητούμενη παροχή, αλλά η συνήθης είναι η 12''. (Φωτ. 1)



Φωτ. 1 Διάνοιξη θερμής γεώτρησης στην πόλη Kistelek

Ο σταθμός διανομής συνήθως είναι στην κορυφή της γεώτρησης, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου το θερμό νερό μεταφέρεται σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων ως το κέντρο διανομής (σχ. 28).



Σχ. 18 Δίκτυα μεταφοράς θερμού ύδατος στο Σέγκεντ (δορ. φωτο) και στο Μοραχαλομ (χάρτης)

Τα κτήρια που θερμαίνονται με αυτό το σύστημα στεγάζουν περίπου το 20% του συνολικού πληθυσμού της περιοχής, δηλ. περίπου 3.000.000 άτομα. Η ετήσια άντληση θερμού ύδατος ανέρχεται σε 200.000.000 m³.

Η θέρμανση των κτηρίων με γεωθερμία γίνεται με δύο τρόπους:

- Με απευθείας μεταφορά του θερμού νερού στα κτήρια που θερμαίνονται.
- Με χρήση δυαδικού κύκλου όπου το θερμό νερό των γεωτρήσεων θερμαίνει καθαρό νερό και αυτό μεταφέρεται στις οικίες.

Ο πρώτος τρόπος είναι φθηνότερος και έχει καλύτερη απόδοση, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί όταν η περιεκτικότητα του γεωθερμικού νερού σε άλατα είναι μικρή, γιατί αλλιώς προκαλούνται βλάβες στο δίκτυο και αποφράξεις των θερμαντικών

σωμάτων. Επιπλέον μπορεί να έχει υγειονομικές επιπτώσεις καθώς μεταφέρεται και στα λουτρά των οικιών. Σε κάθε περίπτωση όμως επιβάλλεται αφαίρεση των περιεχομένων στα γεωθερμικά ρευστά αερίων και παρακράτηση του σιδήρου που περιέχεται διαλυμένος.

Ο δεύτερος τρόπος χρησιμοποιείται όταν τα θερμά νερά περιέχουν μεγάλες ποσότητες διαλυμένων αλάτων. Έχει μικρότερη απόδοση, αλλά εξασφαλίζει ομαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Η χρήση της γεωθερμίας για τη θέρμανση, ακόμη και με τον όχι ιδανικό αυτό τρόπο, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- Δεν υπάρχει επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από την καύση υδρογονανθράκων, κυρίως φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται εκτενώς για τη θέρμανση. Η απελευθέρωση CO₂ από θέρμανση με γεωθερμία είναι 0.0-0.3 g/TJ. Την ίδια στιγμή η καύση φυσικού αερίου παράγει 1 g ανά 40 KJ.

- Απεξάρτηση των ενδιαφερόμενων χωρών από την εισαγωγή ενεργειακών πρώτων υλών με πολλαπλά οικονομικά και πολιτικά οφέλη για τις ίδιες. Η Ουγγαρία εξοικονομεί ετησίως 500.000.000 m³ φυσικού αερίου, (η τιμή διάθεσής του στο δίκτυο είναι περίπου 50 λεπτά/m³) από τη θέρμανση αυτών των κτηρίων. Παρόμοια είναι η κατάσταση στις γειτονικές χώρες αλλά δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία για το τμήμα τους που ανήκει στην Παννονία. Συνήθως παρατίθενται αριθμοί για το σύνολο της χώρας ή τα στοιχεία των διαφόρων βάσεων διαφέρουν. Συσχετίζοντας τα παραπάνω με την έκταση και τον πληθυσμό όλης της περιοχής υπολογίζεται ότι συνολικά εξοικονομούνται 800.000.000 m³ φυσικού αερίου.

- Η ενέργεια που παραδίδεται στους πολίτες είναι φθηνότερη από τη θέρμανση με φυσικό αέριο.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΕΣ

Όπως προαναφέρθηκε, οι εγκαταστάσεις και ολόκληρο το δίκτυο τηλεθέρμανσης είναι πεπαλαιωμένο. Οι τελευταίες γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν το 1988. Σε κάποιες από αυτές έγιναν έργα συντήρησης, (Σέγκεντ, Κίστελεκ κ.α) αλλά η λειτουργία τους μέχρι σήμερα οφείλεται μάλλον στη σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα των ρευστών σε άλατα, παρά σε σωστή συντήρηση. Εν τούτοις, υπήρξαν και υπάρχουν κάποια προβλήματα σχετικά με την λειτουργία τους, και κυρίως σχετικά με την απόδοση και το κόστος τους.

Αρχικά, θα πρέπει να τονιστεί πως πρόκειται για δημόσια έργα, που κατασκευάστηκαν και λειτουργούσαν σε ένα σύστημα απόλυτης κρατικοποίησης, στο οποίο το ενδιαφέρον για αποδοτικότητα και κερδοφορία ήταν ανύπαρκτο.

Έτσι, παρά το γεγονός ότι είχαν γίνει μελέτες και έρευνες για το όλο πρόγραμμα τηλεθέρμανσης, δε δόθηκε η απαραίτητη προσοχή κατά την υλοποίησή του, και για αυτό το λόγο υπήρξαν σφάλματα που αναφέρονται στη συνέχεια.

1. Το υλικό των σωληνώσεων που επιλέχθηκε ήταν ο γαλβανισμένος σίδηρος. Όπως είναι γνωστό, η επιμετάλλωση είναι ευαίσθητη στις υψηλές θερμοκρασίες, ειδικά αν έχει κενές επιφάνειες και για αυτό απαιτείται ειδική επιμετάλλωση, κάτι που δεν είχε πραγματοποιηθεί.
2. Η μεταφορά του ζεστού νερού σε μεγάλες αποστάσεις έχει απώλειες. Σε αυτά τα δίκτυα υπάρχει μεταφορά, (πολλές φορές άσκοπη) μέχρι και >5 km. Σε συνδυασμό με την ατελή μόνωση οι απώλειες φτάνουν μέχρι 10 °C .
3. Το κυριότερο όμως σφάλμα είναι ότι δε γίνεται επανεισαγωγή του θερμού νερού, με πολλά αρνητικά αποτελέσματα όπως:

- Χάνεται πολύτιμη θερμική ενέργεια

- Επηρεάζονται τα οικοσυστήματα όπου αποβάλλονται τα θερμά νερά.

- Δεν έχει γίνει, με λίγες εξαιρέσεις, πρόβλεψη για περαιτέρω χρήση των θερμών νερών μετά την αξιοποίησή τους για τη θέρμανση κατοικιών. Το νερό που χρησιμοποιείται για θέρμανση έχει θερμοκρασία συνήθως 55-60 °C και αποβάλλεται με θερμοκρασία περίπου 10-15 °C μικρότερη. Το χειμώνα γίνεται χρήση μέρους αυτού του νερού ως ζεστό νερό χρήσης, ενώ το καλοκαίρι περιορίζονται οι παροχές ώστε να ικανοποιεί μόνο αυτές τις ανάγκες. Βέβαια το νερό που καταναλώνεται για οικιακή χρήση καταλήγει στους υπονόμους και δεν μπορεί να γίνει περαιτέρω εκμετάλλευση της θερμικής του ενέργειας, τουλάχιστον για τους τομείς που εδώ ασχολούμαστε. Ακόμη όμως και η πλειονότητα των θερμών υδάτων που χρησιμοποιείται για θέρμανση απορρίπτεται και αυτή σε υπονόμους. (Το χειμώνα είναι συχνή εικόνα να αχνίζουν καπάκια υπονόμων).

4. Ένα ακόμη σφάλμα, αν και δεν αφορά άμεσα τη γεωθερμία, είναι η απαράδεκτη κατασκευή των οικοδομών (μόνο από μπετόν, με ελάχιστη μόνωση) που προκαλεί τεράστιες απώλειες θερμότητας, κάτι που κάνει τη γεωθερμία να φαίνεται ακριβή. Θετικό στοιχείο σε αυτόν τον τομέα αποτελούν τα προγράμματα ανακαίνισης αυτών των οικοδομών με τη συγχρηματοδότηση της Ε.Ε., όπου πέραν των αισθητικών παρεμβάσεων, γίνεται και ικανοποιητική μόνωση των κτηρίων.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ

Η αλλαγή του πολιτικού συστήματος πριν 20 χρόνια έφερε τέλος στην κατασκευή των πάνελ-κτηρίων. Η απελευθέρωση των αγορών και η είσοδος μεγάλων πολυεθνικών έδωσε στην γεωθερμία νέα δυναμική. Η πρώτη ανάγκη που έπρεπε να καλυφθεί σε αυτά τα νέα κτήρια, ήταν η θέρμανσή τους, δεδομένου ότι το χειμώνα η θερμοκρασία της περιοχής κυμαίνεται από +10 ως -25 °C. Άρχισαν λοιπόν να κατασκευάζονται σε δημόσιο και ιδιωτικό τομέα ολοένα και περισσότερες εγκαταστάσεις θέρμανσης κυρίως μεγάλων κτηρίων, όπως σχολείων, νοσοκομείων, σταδίων, εργοστασίων, πολυκαταστημάτων. Οι τελευταίες ενεργειακές κρίσεις και διαμάχες Ρωσίας-Ουκρανίας για τον αγωγό του φυσικού αερίου ανέδειξαν την αναγκαιότητα της χρήσης της γεωθερμίας. Υπολογίζεται ότι 10.000 κτήρια με συνολικό όγκο περίπου 70.000.000 m³ θερμαίνονται με γεωθερμία. Δεν συμπεριλαμβάνονται οι χρήσεις της αβαθούς γεωθερμίας γιατί είναι ανεξάρτητες του γεωθερμικού πεδίου της Παννονίας. Μολονότι η ΕΕ επιβάλλει την επανεισαγωγή του ύδατος που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή οποιαδήποτε άλλη χρήση, ελάχιστο ποσοστό επανεισάγεται ή επανεισάγεται σωστά. Η αυξημένη διαφθορά και πολλές φορές ο ελλιπής έλεγχος είναι οι κυριότεροι λόγοι που δε γίνεται αυτό. Εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις, το νερό απορρίπτεται σε ρέματα ή λίμνες, ή επανεισάγεται σε βάθος μερικών δεκάδων μέτρων και όχι στον ταμιευτήρα. Παράλληλα, οι μελέτες που γίνονται για το σχεδιασμό των γεωτρήσεων είναι ελλιπείς ή πρόχειρες, ενώ συνήθως αντλείται πολύ περισσότερο νερό από όσο μπορεί να αναπληρώσει ο ταμιευτήρας, και από όσο επισήμως δηλώνεται στις αρμόδιες υπηρεσίες. Στα δημόσια κτήρια η κατάσταση είναι χειρότερη. Στην προσπάθειά τους να εξοικονομήσουν χρήματα οι υπηρεσίες αυτών των κρατών κάνουν χειρότερα πράγματα από ότι οι ιδιώτες: Υπερβαίνουν τα όρια άντλησης, αποφεύγουν την επανεισαγωγή, ενώ κάνουν σπατάλες αδικαιολόγητες (πχ. θέρμανση σχολείων στους 28-30 °C, ώστε αναγκάζονται να ανοίγουν τα παράθυρα).

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με συμβατικές μεθόδους απαιτείται η παρουσία ατμού, η οποία προϋποθέτει υψηλές θερμοκρασίες ρευστών >150 °C . Στην Παννονία δεν υπάρχουν ταμιευτήρες ατμού ενώ οι υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης ταμιευτήρες ρευστών βρίσκονται σε μεγάλα βάθη, οπότε ο εντοπισμός και

η αξιοποίησή τους απαιτεί ιδιαίτερα ακριβές γεωτρήσεις. Επιπρόσθετα, τα γεωθερμικά ρευστά που θα φτάσουν στην επιφάνεια είναι πλούσια σε άλατα και CO₂. Ένα τέτοιας ποιότητας διάλυμα δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να απορριφθεί στο περιβάλλον και πρέπει να επιστραφεί στον ταμιευτήρα από όπου εξήχθη, κάτι που επιβαρύνει οικονομικά την εκμετάλλευση. Με την επανεισαγωγή όμως διατηρείται σχεδόν σταθερή η πίεση στον ταμιευτήρα, οπότε εξοικονομείται η ενέργεια που υπό διαφορετικές συνθήκες θα έπρεπε να καταναλωθεί για τη διατήρησή της.

Σήμερα η μέση απελευθέρωση CO₂ από παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμικό σταθμό είναι 120 g/kWh. (Bertani-Thain 2002). Ο στόχος είναι στο μέλλον αυτή η τιμή να γίνει 10 g CO₂/kWh (Fridleifsson et al 2008). Αυτό θα συμβάλλει στην μείωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Υπάρχουν 2 τύποι γεννητριών γεωθερμικής ενέργειας:

- Αυτές που αξιοποιούν τον ατμό απευθείας.
- Οι δυαδικού κύκλου όπου τα απαιτούνται θερμά ρευστά θερμοκρασίας 85-175 °C, τα οποία θερμαίνουν κατάλληλα οργανικά υγρά που με τη σειρά τους εξατμίζονται και κινούν τις τουρμπίνες.

Ο δυαδικός κύκλος χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει ατμός, ή το νερό περιέχει σε ποσότητες άλατα που μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στις εγκαταστάσεις.

Στην Ουγγαρία (από όπου αντλήθηκαν οι περισσότερες και πιο τεκμηριωμένες πληροφορίες για τη συγκεκριμένη εργασία) οι έρευνες και οι επενδύσεις προσανατολίζονται στην αξιοποίηση δύο τύπων ταμιευτήρων:

- Ταμιευτήρες βάθους 2500 m. Η μέση πίεση είναι ~300 bar και η θερμοκρασία ~140 °C. Η σχεδιαζόμενη άντληση νερού 3000 m³ ημερησίως.
- Ταμιευτήρες βάθους 4500m. Η πίεση είναι ~800 bar, η θερμοκρασία ~200C και η σχεδιαζόμενη άντληση 3000 ή 5000 m³ ημερησίως.

Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα και τα διαλυμένα άλατα των ρευστών, ώστε να γίνει η επιλογή των κατάλληλων υλικών των σωληνώσεων και να αποφευχθούν φθορές και διαβρώσεις για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, δεδομένου ότι πρόκειται για μεγάλους κόστους μακροχρόνιες επενδύσεις που η απόδοσή τους εξαρτάται από την καλή λειτουργία. Παλαιότερα, για να εμποδιστεί η δημιουργία επικαθήσεων στις γεωτρήσεις διανοίγονταν μεγάλης διαμέτρου γεωτρήσεις. (Fábiánszbestyén-4, είναι το όνομα ενός προγράμματος). Στις περιπτώσεις όμως που αποκλειόταν ο κίνδυνος επικαθήσεων διανοίγονται μικρότερης διαμέτρου γεωτρήσεις, με μικρότερο κόστος. Η μείωση του κόστους δίνει στην αξιοποίηση ταμιευτήρων βάθους 2500 m σοβαρό πλεονέκτημα, χωρίς αυτό να αποκλείει και την αξιοποίηση βαθύτερων. Εάν ο επιλεγμένος ταμιευτήρας μπορεί να είναι παραγωγικός για μεγάλο διάστημα (και αυτός είναι ο σκοπός), η επιλογή της κατάλληλης θέσης και

τύπου της γεώτρησης μπορεί να διασφαλίσει ότι δεν θα υπάρξει θερμική διαταραχή, δηλ. η γεώτρηση θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά για αρκετές δεκαετίες.

Παρακάτω δίνονται ορισμένα στοιχεία για αυτά τα σχέδια. (Πίνακας 1 Περιφερειακό ερευνητικό κέντρο περιφέρειας ΝΑ Ουγγαρίας 2008)

Πίν. 1 Περιγραφή των δύο κυρίων τύπων εκμετάλλευσης της γεωθερμίας για ηλεκτροπαραγωγή όπως σχεδιάζονται για την κυρίαρχη Ουγγρική εταιρία ενέργειας και καυσίμων MOL (MOL).

Παράμετροι	Γεωτρήσεις 2500 m	Γεωτρήσεις 4500 m
Βάθος	2500 m	4500 m
Πίεση	300 bar	800 bar
Θερμοκρασία ταμιευτήρα	140 C	200 C
Άντληση ύδατος	3000 m ³ /day	3000 ή 5000 m ³ /day
Πίεση κατά την έξοδο	75 bar	400 ή 390 bar
Θερμοκρασία τουρμπίνας	135 C	190 C
Ισχύς	440-950 kW	2MW 3,3MW
Απόσταση γεωτρήσεων	3000 m	3000 m
Πίεση επανεισαγωγής	93 bar	420 ή 430 bar
Ενέργεια για επανεισαγωγή.	100 kW	120 kW ή 370 kW
Κόστος κατασκευής	8 εκατομμύρια €	15 εκατομμύρια €
Κόστος επανεισαγωγής	80.000 €/έτος	100,000-300,000 €/έτος
Συντήρηση γεωτρήσεων	300.000 €/5 έτη	400,000 €/5 έτη
Συντήρηση επιφ. εξοπλισμού	120.000 €/έτος	180.000-230.000 €/έτος

Το αρχικό κεφάλαιο της εκάστοτε επένδυσης εξαρτάται από τις υπάρχουσες τιμές της αγοράς. Η περαιτέρω εκμετάλλευση των θερμών ρευστών μετά την ηλεκτροπαραγωγή σε διαδοχικές άμεσες χρήσεις επιταχύνει την απόσβεση και βελτιώνει την κερδοφορία. Γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται πρόβλεψη για ολοκληρωμένη διαχείριση της γεωθερμικής ενέργειας και συνδυασμό κατάλληλων εφαρμογών. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι για τα αποβαλλόμενα θερμά νερά είναι δύσκολο να βρεθεί φορέας εκμετάλλευσης (αγοραστής), και καθώς η γεωθερμική ενέργεια δεν μπορεί να μεταφερθεί μακριά, πρέπει να δοθεί προσοχή στην επιλογή της θέσης κατασκευής μίας τέτοιας μονάδας.

Ένας σταθμός ισχύος 1-3MW δεν μπορεί μόνος του να σηκώνει το βάρος της απασχόλησης μόνιμου προσωπικού για τη λειτουργία και τη συντήρησή του. Αντιθέτως η κατασκευή περισσότερων, πχ 5-10 σταθμών ιδιαίτερα αν βρίσκονται εντός ακτίνας 50 km, αναδεικνύει τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή ως μία εξαιρετικά επικερδή επένδυση, με ταυτόχρονη δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας.

Βέβαια πρόκειται για επενδύσεις με σχετικά μεγάλο ρίσκο γιατί μπορεί ο ταμιευτήρας να μην είναι επαρκής, η θερμοκρασία να είναι μικρότερη της αναμενόμενης ή το νερό να είναι επιβαρυνμένο σε επιβλαβή στοιχεία, οι γεωτρήσεις μεγάλου βάθους μπορεί να έχουν αστοχίες, ενώ προβλήματα μπορεί να υπάρχουν και στη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, στην αδειοδότηση, αισθητική υποβάθμιση κλπ. Για το λόγο αυτό, επιβάλλεται ο πολύ σωστός, επιστημονικά τεκμηριωμένος και ολοκληρωμένος αρχικός σχεδιασμός που θα οδηγήσει σε ορθολογική και βιώσιμη ανάπτυξη της γεωθερμίας.

Η παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ουγγαρία από ένα γεωθερμικά σταθμό επιδοτείται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2. Οι επιδοτήσεις γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ουγγαρία (1€~275 Ft). Η μέση τιμή για όλες τις ζώνες είναι 25,31 Ft=0.092 €

	Μέγιστο	Κανονικό	Ελάχιστο
Τιμή αγοράς (Ft)	29,56	26,46	10,80
Ζώνη ώρας εργάσιμη	06:30-22:30	22:30-02:00, 05:30-06:30	02:00-05:30
Ζώνη ώρας αργία	-	06:30-01:30	01:30-06:00
Σύνολο ωρών/έτος	2268	5397	1095
Ποσοστό ωρών	25,9%	61,6%	12,5%

ΓΕΩΡΓΙΑ

Όπως είδαμε και στο διάγραμμα του σχήματος 27 το μεγαλύτερο ποσοστό της γεωθερμίας χρησιμοποιείται στην αγροτική παραγωγή. Περίπου το 35% της συνολικής γεωθερμικής ενέργειας στην Ουγγαρία καταναλώνεται σε αγροτικές εργασίες, κυρίως για θέρμανση θερμοκηπίων και για θέρμανση στάβλων ή μονάδων εκτροφής ζώων.

Το έδαφος ανάμεσα στον ποταμό Τίσα και Δούναβη από το ύψος της κεντρικής Ουγγαρίας και ως τη συμβολή τους έξω από το Βελιγράδι, αποτελείται από λεπτόκοκκη άμμο, κατάλληλη κυρίως για παραγωγή κηπευτικών. Εδώ και αρκετές δεκαετίες υπάρχει ανάπτυξη των θερμοκηπίων, με μεγέθη από μερικές δεκάδες

m² για οικιακή χρήση μέχρι μονάδες πολλών στρεμμάτων πλήρως εξοπλισμένες. Η θέρμανση των θερμοκηπίων με τις κλασσικές μεθόδους (ξύλα ή φυσικό αέριο) είναι ιδιαίτερα δαπανηρή καθώς η ηλιοφάνεια είναι αρκετά περιορισμένη και οι θερμοκρασίες το χειμώνα είναι αρκετά χαμηλές (ως -25 °C). Η γεωθερμία έρχεται να δώσει μία φθηνή λύση στο πρόβλημα αφού το θερμό νερό είναι δωρεάν. Βέβαια πρέπει να συνυπολογιστεί το κόστος ανόρυξης των γεωτρήσεων, των οποίων το βάθος είναι 700-1200 m αλλά η απόσβεση σε ένα μεγάλο θερμοκήπιο γίνεται σχετικά σύντομα. Στην Ουγγαρία το 2007 πάνω από 200 θερμοκηπιακές μονάδες θερμαίνονταν με γεωθερμία. Η συνολική τους έκταση ανέρχονταν σε 170 εκτάρια (1 εκτάριο= 10.000m²) υάλινων θερμοκηπίων, και αρκετές εκατοντάδες εκτάρια απλών (νάιλον) θερμοκηπίων. Το νερό στην πλειονότητά του, αφού θερμάνει το χώρο χρησιμοποιείται για το πότισμα των φυτών ή απορρίπτεται σε γειτονικά ρέματα. Επανεισαγωγή δεν γίνεται, με τη δικαιολογία ότι το σύνολο του νερού είναι απαραίτητο για το πότισμα, κάτι που δεν είναι αληθές. Μόνο στην ΝΑ Ουγγαρία ετησίως χρησιμοποιούνται 8-10 εκατομμύρια m³ θερμού ύδατος (70-100 °C) για γεωργική χρήση, κατατάσσοντας την περιοχή σε μία από τις πρώτες θέσεις παγκοσμίως.

Εάν η θερμοκρασία των υδάτων είναι αρκετά χαμηλή (~40 °C), υπάρχει ο κίνδυνος σε περίοδο μεγάλων παγετών η θέρμανση που προσφέρεται να μην είναι αρκετή, για αυτό χρειάζεται προσοχή στη μελέτη ενός τέτοιου έργου.

Μία άλλη χρήση της γεωθερμίας στη γεωργία είναι για την ξήρανση δημητριακών σε ξηραντήρια. Η Παννονία έχει μεγάλη παραγωγή δημητριακών (σιτάρι, αραβόσιτο, σίκαλη κ.α.), τα οποία, ως γνωστόν για να διατηρηθούν σε μεγάλο διάστημα πρέπει αποβάλουν την υγρασία τους. Αυτό γίνεται σε ειδικά ξηραντήρια, τα γνωστά σιλό, και η όλη διαδικασία επιταχύνεται πολύ με την εισαγωγή θερμού αέρα. Ο αέρας θερμαίνεται με διάφορες μεθόδους, συνήθως με φυσικό αέριο όμως το μεγάλο κόστος αναγκάζει τους παραγωγούς να αποφεύγουν τη θέρμανση και να ξηραίνουν με ψυχρό αέρα, όσο οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν. Η γεωθερμία μειώνει το κόστος θέρμανσης του αέρα καθώς οι εγκαταστάσεις είναι σχετικά φθηνές (πλην της γεώτρησης). Συνήθως τα ξηραντήρια συνοδεύονται και από άλλες χρήσεις γεωθερμίας (θέρμανση θερμοκηπίων, αποθηκών, κτηρίων στάβλων κλπ). Αν και η χρήση της γεωθερμίας σε ξηραντήρια είναι ακόμη περιορισμένη παρατηρείται ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον. Με τα νέα προγράμματα επιδοτήσεων από την ΕΕ, (η Ουγγαρία και η Σλοβακία εντάχθηκαν στην ΕΕ το 2004 και η Ρουμανία το 2007, ενώ και η Σερβία και η Κροατία θα ενταχθούν σύντομα) πιστεύεται ότι όλα τα μεγάλα ξηραντήρια ως το 2015 θα έχουν γεωθερμικές εγκαταστάσεις.

Από τις αρχές του 20ού αιώνα άρχισε η χρήση της γεωθερμίας με σχετικά ρηχές γεωτρήσεις ή με αρτεσιανά νερά θερμοκρασίας περίπου 25-30 °C, για θέρμανση στάβλων. Σήμερα όλες οι μονάδες εκτροφής ζώων με δυναμικότητα άνω των 500

ζώων πιστεύεται (Kobor Balázs 2008, ο συγγραφέας διατηρεί την επιφύλαξη για ελάχιστες εξαιρέσεις) ότι κάνουν χρήση της γεωθερμίας για θέρμανση, ενώ και μικρότερες χρησιμοποιούν θερμά νερά χαμηλής ενθαλπίας $\sim 30^{\circ}\text{C}$ για τη θέρμανση των ζώων. Αν και η παραγωγική απόδοση των περισσότερων ζώων δεν επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία, οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις. Οι περισσότεροι στάβλοι θερμαίνονται σε θερμοκρασίες $5-10^{\circ}\text{C}$ και σπάνια σε υψηλότερες.

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ-BΙΟΤΕΧΝΙΑ

Σχεδόν σε όλες τις βιομηχανικές χρήσεις είναι απαραίτητη η κατανάλωση θερμότητας. Είναι γνωστό ότι μία αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C επιταχύνει την ταχύτητα των περισσότερων αντιδράσεων κατά 2 με 3 φορές (χημεία Β' Λυκείου ΟΑΕΔ 1991). Σε ορισμένους τομείς της βιομηχανίας (πχ. στη μεταλλουργία) απαιτούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες που δεν μπορούν να αντληθούν μόνο από τη γεωθερμία. Στις περισσότερες όμως βιομηχανικές εφαρμογές, (υφαντουργία, πλαστικά, χρωματουργία, χημικά κλπ) είναι αρκετοί $150-200^{\circ}\text{C}$, δηλ θερμοκρασίες που υπάρχουν στου γεωθερμικούς ταμειυτήρες βάθους άνω των 3500 m. Ακόμη κι αν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών δεν είναι αρκετή, είναι ευκολότερη η επίτευξη αύξησης της θερμοκρασίας από τους 150 στους 300°C , παρά από τους 20°C που είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα στους 300°C . Εν τούτοις, η χρήση της γεωθερμίας στη βιομηχανία είναι μάλλον περιορισμένη. Κύρια αιτία είναι η συρρίκνωση της βιομηχανίας τις τελευταίες δύο δεκαετίες και η έλλειψη κεφαλαίων και αναπτυξιακών σχεδίων. Εξαίρεση αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα των ξένων εταιριών που λόγω των χαμηλών ημερομισθίων επένδυσαν αρκετά κεφάλαια στην περιοχή και σχεδόν όλες θερμαίνουν τις εγκαταστάσεις τους και υποβοηθούν την παραγωγή τους με θερμό νερό γεωτρήσεων. Οι κύριοι βιομηχανικοί τομείς που κάνουν χρήση της γεωθερμίας είναι:

Βιομηχανία πλαστικών, χρωμάτων, λιπασμάτων, παραγωγής-επεξεργασίας τροφίμων, εντομοκτόνων, μονωτικών, χάρτου, χημικών, ελαστικών, νηματοποιία.

Το θερμό νερό δε χρησιμοποιείται μόνο για τη θερμότητά του. Είναι το κύριο διαλυτικό μέσο πολλών ουσιών ή χρησιμοποιείται για το ξέπλυμα και καθάρισμα δοχείων, μηχανημάτων κλπ. Κατά συνέπεια δε μπορεί αυτούσιο να επανεισυχθεί ή να απορριφθεί χωρίς κατάλληλη επεξεργασία για την απομάκρυνση των αλάτων και των επικίνδυνων ουσιών. Δυστυχώς πολλές φορές η επανεισαγωγή είναι φθηνότερη του καθαρισμού, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση ταμειυτήρων με επιβλαβή ως επικίνδυνα υλικά.

Τα λουτρά της Παννονίας είναι φημισμένα σε όλη την Ευρώπη, και αποτελούν σημαντικό πόλο έλξης τουριστών και μεγάλη πηγή εσόδων για τις χώρες τις περιοχής. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

-**Ιαματικά λουτρά** όπου το νερό έχει (ή διακηρύσσεται πως έχει) θεραπευτικές ιδιότητες.

-**Λουτρά αναψυχής** όπου το νερό χρησιμοποιείται για αναψυχή χωρίς ιδιαίτερους θεραπευτικούς σκοπούς.

Συνήθως γίνεται συνδυασμός των δύο, αν και για τις ιαματικές ιδιότητες διατυπώνονται σε πολλές περιπτώσεις αμφιβολίες για την αποτελεσματικότητά τους στη θεραπεία διαφόρων παθήσεων.

Σχεδόν σε όλες τις πόλεις της ευρύτερης περιοχής υπάρχουν δημόσια ή δημοτικά λουτρά, που συνοδεύονται από ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, τόσο των ιδίων των λουτρών, όσο και των γύρω περιοχών. Τα περισσότερα από αυτά τα λουτρά είναι ηλικίας 3-4 δεκαετιών, όμως τα τελευταία χρόνια άρχισε ένα πρόγραμμα ανακαίνισής τους, κυρίως στις μεγάλες πόλεις όλων των εμπλεκόμενων κρατών.

Εδώ και 10 περίπου έτη υπάρχει ανάπτυξη μίας νέας μορφής τουρισμού, της "wellness", η οποία αφορά κυρίως την αναψυχή σε λουτρά και σπα. Στα πλαίσια αυτά, αναπτύχθηκε ένα δίκτυο πολυτελών ξενοδοχείων που διαθέτουν ιδιωτικά λουτρά, τα οποία τροφοδοτούνται από ιδιόκτητες γεωτρήσεις.

Για λόγους υγιεινής το νερό των λουτρών απαγορεύεται να επανεισαχθεί στον ταμιευτήρα. Συνήθως απορρίπτεται σε γειτονικά ρέματα, αν και γίνονται προσπάθειες για περαιτέρω χρήση του (πχ πότισμα γκαζόν, σιντριβάνια, κα). Τα θερμά λουτρά χρησιμοποιούν για τη θέρμανσή τους το ίδιο το νερό των γεωτρήσεων. Η χρήση του νερού για θέρμανση γίνεται πριν την απόδοσή του στις πισίνες.

Η ιδανική θερμοκρασία για λουτροθεραπεία είναι 34-37 °C . Οι περισσότερες γεωτρήσεις παράγουν νερό θερμοκρασίας άνω των 50 °C . Για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία αναμιγνύεται με ψυχρό νερό ρηχών γεωτρήσεων, γεγονός που μεταβάλλει κάποιες φορές τη σύστασή του και συνήθως δεν "διαφημίζεται". Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι αντλούμενες ποσότητες νερού στις λουτροθεραπευτικές εγκαταστάσεις.

Πίνακας 3. Ποσότητες ιαματικού και θερμού νερού που αντλούνται για λουτροθεραπεία στην Ουγγαρία ετησίως

Είδος χρήσης	Αριθμός λουτρών	Ποσότητα ύδατος (10^3 m^3)
Ιαματικά λουτρά	36	13.013
Θερμά λουτρά	167	29365

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται οι αναλύσεις των υδάτων τριών γνωστών λουτρών της Ουγγαρίας σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Παρατηρείται ότι ενώ προέρχονται από το ίδιο πεδίο υπάρχουν διαφορές στη χημική τους σύσταση κάτι αναμενόμενο αφού έρχονται σε επαφή με διαφορετικά πετρώματα. Τα στοιχεία αντλήθηκαν από τις διαδικτυακές τους ιστοσελίδες.

Morahalom (www.erksebetfurdo.hu, www.morahalom.hu).

Πίνακας 4. Συγκεντρώσεις αλάτων στα νερά των λουτρών της πόλης Μοραχαλόμ. Εταιρία δειγματοληψιών: AQUALABOR KFT

Κατιόν	mg/l	mg εέ/l	Ποσοστό %
Νάτριο Na	537	23,35	96,45
Κάλιο K	5,4	0,14	0,57
Λίθιο Li	0,049	0,01	0,03
Αμμωνία NH ₃	8,1	0,45	1,86
Ασβέστιο Ca	3,7	0,18	0,76
Μαγνήσιο Mg	0,9	0,07	0,31
Σίδηρος Fe	0,11	0,01	0,02
Μαγγάνιο Mn	0,007	0,00	0,00
Σύνολο:	555,3	24,21	100,00
Αδέσμευτο CO ₂		40,1	mg/l
Δεσμευμένο CO ₂		471	mg/l
Αντιμόνιο Sb		<1	μg/l
Αρσενικό As		9	μg/l
Βάριο Ba		70	μg/l
Ψευδάργυρος Zn		<10	μg/l
Υδράργυρος Hg		<0,2	μg/l
Κάδμιο Cd		<0,5	μg/l
Χρώμιο Cr		<2	μg/l
Νικέλιο Ni		<2	μg/l
Μόλυβδος Pb		<2	μg/l
Χαλκός Cu		<10	μg/l
Σελήνιο Se		<2	μg/l
Κυανίδια Cn		<5	μg/l

Bükk(www.bukkgyogyfurdo.hu)

Πίνακας 5. Περιεκτικότητες αλάτων στο νερό των λουτρών της περιοχής Μπουκκ (Bükk)

Στοιχείο	Σύμβολο	mg/l	mmol/l	ποσοστό (%)
Κάλιο	K ⁺	280	7,16	3,55
Νάτριο	Na ⁺	4220	183,48	91,06
Αμμώνιο	NH ₄ ⁺	36,04	2,02	1,00
Ασβέστιο	Ca ²⁺	93	4,64	2,30
Μαγνήσιο	Mg ²⁺	45,5	3,74	1,86
Σίδηρος	Fe ²⁺	0,46	0,02	0,01
Μαγγάνιο	Mn ²⁺	<0,02	0,00	0,00
Λίθιο	Li ⁺	3,0	0,43	0,21
Σύνολο κατιόντων:		4678,36	201,50	100,00
Νιτρικά	NO ₃ ⁻	<1,0	0,00	0,00
Νιτρώδη	NO ₂ ⁻	<0,02	0,00	0,00
Χλωρίδια	Cl ⁻	2390	67,40	32,92
Βρωμίδια	Br ⁻	7,5	0,09	0,05
Ιωδίδια	I ⁻	1,26	0,01	0,00
Φθορίδια	F ⁻	4,4	0,23	0,11
Θειικά	SO ₄ ²⁻	880	18,32	8,95
Όξινα ανθρακικά	HCO ₃ ⁻	7240	118,69	57,97
Θειούχα	S ²⁻	<0,05	0,00	0,00
Φωσφορικά	PO ₄ ³⁻	0,06	0,00	0,00
Σύνολο ανιόντων:		10 523,22	204,74	100,00
Βρωμιώδες οξύ	HBO ₂	14,3	0,00	0,00
Θειώδες οξύ	H ₂ SiO ₃	26	0,00	0,00
Ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	1090	0,00	0,00
Διαλυμένο οξυγόνο	O ₂	0,00	0,00	0,00
Σύνολο:		16 331,88	406,24	

Χαρκάνι (Harkány). (www.harkanylap.hu)

Πίνακας 6. Συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων στα νερά των λουτρών της πόλης Χαρκάνυ. Οι τιμές σε mg/l

Κάλιο K	12	Χλωρίδια Cl	110
Νάτριο Na	150	Βρωμίδια Br	0,32
Αμμωνία NH ₃	1,53	Ιωδίδια I	0,07
Ασβέστιο Ca	51	Φθορίδια F	1,19
Μαγνήσιο Mg	15	Όξινα ανθρακικά HCO ₃	565
Σίδηρος Fe	0,05	Θειούχα S	12,1
Σύνολο κατιόντων	230	Φωσφάτες (Σύνολο)	0,16

Σύνολο ανιόντων:	689
Σύνολο ιόντων	1150

Η γεωθερμική ενέργεια πέραν των πιο διαδεδομένων εφαρμογών που προαναφέρθηκαν έχει και άλλες μικρότερης κλίμακας χρήσεις, οι κυριότερες από τις οποίες είναι:

- **Ιχθυοκαλλιέργειες (Υδατοκαλλιέργειες).**

Στην Παννονία υπάρχουν αρκετές φυσικές λίμνες και τις τελευταίες δεκαετίες κατασκευάστηκαν από τον άνθρωπο πολλές μικρές τεχνητές λίμνες ή δεξαμενές, ποικίλου μεγέθους (από μερικές δεκάδες m³ ως αρκετές χιλιάδες m³). Συνήθως πρόκειται για απλά σκάμματα που γεμίζουν με νερό, στα οποία ρίχνεται γόνος κυρίως κυπρίνων αλλά και άλλων ψαριών γλυκού νερού (χέλια, πέστροφες), και όταν τα ψάρια αναπτυχθούν αλιεύονται είτε από τον ιδιοκτήτη είτε από αλιείς κατόπιν αντιτίμου. Τα περισσότερα από αυτά τα είδη ψαριών αναπτύσσονται ταχύτερα σε θερμοκρασίες 20-25 °C. Επειδή κατά τις ψυχρές εποχές του έτους σε τέτοια ρηχά στάσιμα νερά ο σχηματισμός πάγου θα ήταν καταστροφικός για τα ψάρια, συνήθως γίνεται ανακύκλωση με νερό ρηχών γεωτρήσεων. Σε μεγάλου μεγέθους δεξαμενές προτιμάται το θερμό νερό βαθύτερων γεωτρήσεων, κυρίως επειδή η αυξημένη θερμοκρασία επιταχύνει την ανάπτυξη των ψαριών. Πρέπει όμως να γίνεται έλεγχος αυτών των νερών για την παρουσία επικίνδυνων διαλυμένων ουσιών όπως As, Hg, Cd, κα.

- **Εμφιάλωση ιαματικού ή μεταλλικού νερού.**

Τα τελευταία 15-20 χρόνια αυξήθηκαν πολύ οι πωλήσεις εμφιαλωμένου νερού παγκοσμίως, συνήθως σε πλαστικά μπουκάλια δημιουργώντας μία νέα και αρκετά ανθούσα βιομηχανία. Οι περισσότερες εταιρίες διαφημίζουν τα προϊόντα τους αναγράφοντας αναλύσεις και περιεκτικότητες διαφόρων στοιχείων (πολλές φορές και μη αντιπροσωπευτικές), για να αυξήσουν τη ζήτησή τους. Είναι λοιπόν φυσικό τα θερμά νερά της Παννονίας να έχουν από καιρό αξιοποιηθεί από αρκετές εταιρίες εμφιάλωσης ιαματικού και μεταλλικού νερού, κάποιες από τις οποίες έχουν και διεθνή βραβεία ποιότητας.

Σήμερα υπάρχουν αρκετές δεκάδες εταιρίες που εκμεταλλεύονται το νερό 1672 γεωτρήσεων (στοιχεία 2007, Ουγγαρία) με ετήσια εμφιάλωση 38.000 m³ ιαματικού και 238.000 m³ μεταλλικού νερού (Πίνακας 7).

Πίνακας 7 Η εμφιάλωση μεταλλικού και ιαματικού νερού στην Ουγγαρία

Είδος χρήσης	Κατηγορίες	Γεωτρήσεις	Ποσότητα ύδατος (10^3m^3)
Εμφιάλωση ιαματικού νερού	7	1112	38
Εμφιάλωση μεταλλικού νερού	3	560	238

Μεγάλο ποσοστό του μεταλλικού νερού εμπλουτίζεται σε CO_2 και διατίθεται ως ανθρακούχο. Μερικά νερά είναι τόσο φημισμένα ώστε πωλούνται σε τιμές που υπερβαίνουν τα 4 €/λίτρο.

Τα βάθη των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 280 ως 790 m με συνηθέστερα τα βάθη των 400-600 m αυτό κυρίως γιατί σε αυτό το βάθος η θερμοκρασία και η πίεση δίνουν στα νερά ικανοποιητικές συνθήκες διαλυτότητας. (Haas 2001)

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας στην Παννονία είναι:

- Η αντιφατική αντιμετώπιση της γεωθερμικής ενέργειας από τους κοινωνικούς φορείς. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον αφορά τη μέγιστη δυνατή παραγωγή ενέργειας, χωρίς μέλημα για τη διατήρηση της μακροπρόθεσμα, ενώ παράλληλα οι υπηρεσίες που είναι υπεύθυνες για την ορθολογική χρήση της γεωθερμίας (νομαρχίες, υπουργεία Ενέργειας και Βιομηχανίας κλπ) δε συνεργάζονται ή δεν επικοινωνούν μεταξύ τους.
- Η ολοένα αυξανόμενη διεύρυνση των απόψεων για την ορθολογιστική χρήση της γεωθερμίας που αφενός εκπροσωπούνται από πλήθος "ειδικών", οι οποίοι μάλλον εκφράζουν τα συμφέροντα των διαφόρων λόμπι που εκμεταλλεύονται τη γεωθερμική ενέργεια και υποστηρίζουν ότι δεν είναι απαραίτητη η επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμειυτήρα, και αφετέρου εκείνων που την υπερασπίζονται. Μολονότι η ΕΕ επιβάλλει την επιστροφή των ρευστών στον ταμειυτήρα, οι διάφοροι επενδυτές (συμπεριλαμβανομένου και του δημοσίου, η πηγή είναι φιλικό πολιτικό πρόσωπο, και δόθηκε προφορικά) προσπαθούν να το αποφύγουν, ή τουλάχιστον να το υποβαθμίσουν λόγω του επιπρόσθετου οικονομικού κόστους.
- Η έλλειψη παιδείας και βασικών γνώσεων για τη σπουδαιότητα και την αξιοποίηση της γεωθερμίας ακόμη και σε αυτούς που κάνουν χρήση της. Ταυτόχρονα δεν υπάρχει ενημέρωση από τα επιμελητήρια ή τις αρμόδιες υπηρεσίες για τις εξελίξεις στον τομέα και τις διαθέσιμες νέες τεχνολογίες.

- Η απουσία ενοποιημένης βάσης γεωθερμικών δεδομένων. Τα διάφορα πανεπιστημιακά ιδρύματα δεν επικοινωνούν ή δε συνεργάζονται επαρκώς μεταξύ τους, με αποτέλεσμα την εξαγωγή διαφορετικών υδροδυναμικών και θερμοδυναμικών μοντέλων που αντικρούουν το ένα το άλλο. Αυτή η έλλειψη συνεργασίας δυσκολεύει την πραγματοποίηση μίας ολοκληρωμένης μελέτης, η οποία θα συνέβαλε στην επίτευξη της μέγιστης απόδοσης μίας γεωθερμικής μονάδας με τις μικρότερες απώλειες και την ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

- Το αυξημένο κόστος για την επανεισαγωγή των ρευστών. Στην περιοχή της Παννονίας υπάρχουν πολλές γεωθερμικές μονάδες στις οποίες δεν γίνεται επιστροφή των ρευστών στον ταμιευτήρα ή αυτά διατίθενται σε σχεδόν επιφανειακά στρώματα, ώστε να αποφεύγεται η κατασκευή της γεώτρησης επανεισαγωγής και να εξοικονομείται ταυτόχρονα η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της. Πολλές μονάδες παλαιότερης ηλικίας (και τεχνολογίας) αν αναγκαστούν να συμμορφωθούν με τις σύγχρονες περιβαλλοντικές επιταγές (κυρίως με την επανεισαγωγή) θα γίνουν οικονομικά ασύμφορες, Περίπου το 40% των γεωθερμικών ρευστών αποβάλλεται στο έδαφος (αν συνυπολογίσουμε και αυτό που δεν εισάγεται σωστά το ποσοστό είναι αρκετά μεγαλύτερο αλλά δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία). Για την αποφυγή της περιβαλλοντικής ρύπανσης επιβάλλεται η επεξεργασία τους, που θεωρείται όμως οικονομικά ασύμφορη διεργασία, και για αυτό δεν εφαρμόζεται.

- Η διάθεση των θερμών νερών των λουτρών, που για λόγους υγιεινής δεν επανεισάγονται στον ταμιευτήρα μετά τη χρήση τους στις λουτροθεραπευτικές εγκαταστάσεις.

- Η έλλειψη ενδιαφέροντος τόσο από τοπικούς όσο και από ξένους επενδυτές για την κατασκευή γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, λόγω του υψηλού ρίσκου που παρουσιάζουν αυτού του είδους επενδύσεις. Ένα φιλόδοξο σχέδιο από την εθνική εταιρία ενέργειας της Ουγγαρίας τη MOL ύψους 10 δις φιορινιών (περίπου 40 εκ. €) ακόμα βρίσκεται σε στάδιο συζητήσεων, ενώ στη Ρουμανία η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από γεωθερμικά ρευστά είναι σε υβριδικό επίπεδο, καθώς προτιμάται το εγχώριο πετρέλαιο. Εξαίρεση αποτελεί η Αυστρία όπου υπάρχει μονάδα παραγωγής 1,2 MW. Η έρευνα στην Αυστρία έχει προχωρήσει ιδιαίτερα και βρίσκονται σε εξέλιξη αρκετά σχέδια, αν και δεν μπορεί να χαρακτηριστεί τμήμα της Παννονίας αφού τα θερμά πεδία της δεν έχουν άμεση σχέση με το Παννονικό πεδίο, με εξαίρεση τα ανατολικά τμήματα της χώρας.

Συμπερασματικά, ενώ η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει μεγάλο ποσοστό των αναγκών στην περιοχή και να συμβάλλει στην ανάπτυξη των σχετικά καθυστερημένων οικονομικά κρατών, εντούτοις μάλλον παραμένει ανεκμετάλλευτη ή αναλώνεται μη ορθολογιστικά ή ακόμη και άσκοπα, προσκρούοντας στη γραφειοκρατία, μικροσυμφέροντα, αλλά και στην έλλειψη σωστού και επιστημονικού προγραμματισμού.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Όπως προαναφέρθηκε μολονότι η περιοχή είναι προικισμένη με άριστες γεωθερμικές συνθήκες, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας δεν είναι αυτή που θα έπρεπε για λόγους που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Εντούτοις, εδώ και μία δεκαετία υπάρχει αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος της έρευνας και ζήτησης της γεωθερμικής ενέργειας τόσο από το δημόσιο όσο και τον ιδιωτικό τομέα, κυρίως λόγω των νέων κανονισμών της ΕΕ και της αύξησης των τιμών των καυσίμων σε παγκόσμια κλίμακα.

Εξακολουθεί όμως να παρατηρείται αδράνεια εκ μέρους των κυβερνήσεων των εμπλεκόμενων κρατών, όσον αφορά στην εκπόνηση μεγάλων σχεδίων, κάτι που ως ένα βαθμό δικαιολογείται αφού πρόκειται για σχετικά φτωχές χώρες με μεγάλα οικονομικά προβλήματα (Η Ουγγαρία και η Ρουμανία από το 2008 είναι υπό την επιτήρηση του ΔΝΤ) ενώ και οι υπόλοιπες δεν είναι σε πολύ καλύτερη κατάσταση.

Ο κύριος όγκος της έρευνας γεωθερμικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια επικεντρώνεται σε δύο κύριους τομείς: Θέρμανση κτηρίων και λουτρά. Οι συνεχείς αυξήσεις της τιμής του φυσικού αερίου που αποτελεί την κύρια πηγή θέρμανσης των κτηρίων κάνουν την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών θέρμανσης επιτακτικότερη από ποτέ.

Τα περισσότερα πανεπιστήμια πλέον εκπονούν ερευνητικά προγράμματα για τον εντοπισμό κατάλληλων θέσεων για θερμές γεωτρήσεις, αλλά κυρίως για τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση αυτού του ``Θείου δώρου``, της γεωθερμίας. Ενθαρρυντικό είναι ότι άρχισε πλέον από κοινού έρευνα μεταξύ των γειτονικών κρατών, για την ενδεχόμενη κοινή κατασκευή και εκμετάλλευση γεωθερμικών εγκαταστάσεων, κυρίως μεταξύ Ουγγαρίας-Σερβίας-Ρουμανίας κοντά στα κοινά σύνορά τους (Cross-border Cooperation program Hungary-Romania-Serbia).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λόγω της γεωλογίας, και της γεωγραφίας της η Παννονία είναι ιδιαίτερα ευνοημένη γεωθερμικά, ενώ εξαιτίας του αρκετά ψυχρού κλίματός της η γεωθερμία προσφέρεται για περισσότερες εφαρμογές. Το γεωθερμικό πεδίο της έχει τεράστια ενεργειακά αποθέματα και δυστυχώς μέχρι σήμερα πολύ μικρό τμήμα αυτής της ενέργειας αξιοποιείται και όχι πάντα με τον καλύτερο τρόπο. Οι σύγχρονες όμως γεωπολιτικές εξελίξεις κάνουν την εξεύρεση νέων ενεργειακών πόρων αναγκαία όσο ποτέ. Η γεωθερμία μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών αυτών αναγκών προσφέροντας μία φθηνή, συνεχή και απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον ενέργεια, ικανή να ανυψώσει σε μεγάλο βαθμό το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων της περιοχής, αλλά και να βελτιώσει τα οικονομικά των ήδη χρεωμένων κρατών, αρκεί όλες οι εφαρμογές της να γίνουν ορθολογικά, τεκμηριωμένα και όχι με κατάχρηση. Η βελτίωση των σχέσεων μεταξύ των κρατών της περιοχής δίνει ένα σοβαρό πλεονέκτημα της δυνατότητας διακρατικών προγραμμάτων για το σχεδιασμό και την πραγμάτωση μεγάλων επενδύσεων, με το μέγιστο δυνατό όφελος. Ταυτόχρονα, οι σύγχρονες ενεργειακές και οικονομικές επιταγές καθιστούν την εκμετάλλευση της γεωθερμίας ως μονόδρομο. Επίσης και η ΕΕ, είτε με επιδοτήσεις είτε με νομοθεσίες, πιέζει προς αυτήν την κατεύθυνση.

Επιγραμματικά, τα κύρια χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πεδίου της Παννονίας συνοψίζονται στα εξής:

- Το πεδίο έχει τεράστια αποθέματα, η συνολική του ισχύς υπολογίζεται σε 13,5 GJ.
- Η μέση θερμοβαθμίδα του είναι $1^{\circ}\text{C}/20\text{ m}$ ενώ η μέση τιμή του φλοιού της γης είναι $1^{\circ}\text{C}/33\text{ m}$.
- Το μέγεθός του είναι τεράστιο και στερείται στενών γεωγραφικών και γεωλογικών περιορισμών.
- Η θερμική ροή είναι αυξημένη, συνεχής χωρίς απότομες μεταβολές για ολόκληρο το πεδίο. Κατά Μέσο Όρο ανέρχεται σε $90\text{ mW}/\text{m}^2$ ενώ σε πολλά σημεία υπερβαίνει τα $110\text{ mW}/\text{m}^2$.
- Το αίτιο δημιουργίας του πεδίου είναι η λέπτυνση του φλοιού κάτω από την ευρύτερη περιοχή, λόγω εφελκυστικών τάσεων.
- Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή, η έλλειψη ιδιαίτερα υψηλών θερμικών ανωμαλιών απαιτεί βαθιές γεωτρήσεις με το ανάλογο κόστος και ρίσκο.
- Αντίθετα λόγω της λιθολογίας της, η περιοχή κρίνεται ιδανική για όλες τις άλλες μορφές εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, με πολύ καλές αποδόσεις ακόμη και για αβαθή γεωθερμία.

- Η χρήση της γεωθερμίας στην περιοχή είναι πολύ διαδεδομένη, πολλές μέθοδοι όμως και μορφές εκμετάλλευσης είναι πεπαλαιωμένες και δεν ανταποκρίνονται στη σύγχρονη τεχνολογία.

- Τα κράτη της περιοχής στερούνται κατάλληλων μηχανισμών ελέγχου και αντιμετώπισης προβληματικών μορφών χρήσης της γεωθερμίας.

- Δεν υπάρχουν οργανωμένα σχέδια και κατάλληλη νομοθεσία που θα ενίσχυαν το ενδιαφέρον εγχώριων και ξένων επενδυτών και θα έδιναν κίνητρα για περαιτέρω χρήσεις και ανανέωση υπαρχόντων υποδομών.

- Υπάρχουν πολλά σχέδια για το μέλλον, δυστυχώς κάποια προσκρούουν σε γραφειοκρατικά εμπόδια.

- Οι κάτοικοι των περιοχών αγνοούν σε μεγάλο ποσοστό τη γεωθερμία και είναι επιφυλακτικοί ως προς τη χρήση της.

Η γεωθερμία πλέον αποτελεί τμήμα της ανθρώπινης εξέλιξης και τεχνολογίας. Ως τέτοια δεν μπορεί πλέον να μένει έξω από τις διαδικασίες ανάπτυξης, αρκεί να υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις από γεωλογικής και ανθρωπογενούς πλευράς. Από γεωλογικής υπάρχουν. Από ανθρωπογενούς επίσης, και σίγουρα θα υπάρξουν στο μέλλον πολλοί περισσότεροι.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Hartai Éva.....Magyarország Földtana (Ουγγρική Γεωλογία, σύγγραμμα του πανεπιστημίου της Μίσκολτς)

Tar Károly.....MTA konferencia 2007 (Συνέδριο της Ουγγρικής Ακαδημίας Επιστημών). (περισσότερες πληροφορίες www.mszt.hu, www.nyirokowatt.hu)

Komlós Ferenc.....MTA konferencia 29/05/2009 (Συνέδριο της Ουγγρικής Ακαδημίας Επιστημών).

Szalma Raul (2010).... Ο σχηματισμός των γεωθερμικών υδροφόρων οριζόντων στο νομό Χάιντου-Μπιχάρ. (A termálvizkivitelek alakulása Hajdú-Bihar megyében), Debrecen.

Kobor Balázs και συνεργάτες (2008).....Οι δυνατότητες αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ουγγαρία. (Az alternatív energia lehetőségei Magyarországon), Csongrád Megyei Önkormányzat, Szeged

Fischer Anita, Hlatki Miklós, Mezősi András, Pató Zsuzsanna (2008)....Δυνατότητες γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ουγγαρία. (Geotermikus villamosenergia-termelés lehetőségei Magyarországon)

Ágoston Bence–Kozák Péter–Török József (2007).....Οι δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμίας στην Περιφέρεια ΝΑ Ουγγαρίας. (A TERMÁLENERGIA HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI A DÉL-ALFÖLDI RÉGIÓ TERÜLETÉN), Szeged

Φυτίκας Μ.-Ανδρίτσος Ν. (2004) Γεωθερμία, εκδόσεις Τζιόλα Θεσ/νίκη
Dövényi Péter, MTA Geofizikai kutatócsoport (Ερευνητική ομάδα γεωφυσικής της Ουγγρικής ακαδημίας επιστημών)- Tóth György hidrogeológus, Magyar Állami Földtani Intézet (Υδρογεωλόγος του Γεωλογικού Ινστιτούτου Ουγγαρίας....Τα γεωθερμικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των υπόγειων υδάτων της λεκάνης των Καρπαθίων (Από την οπτική γωνία των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής τους) IV φόρουμ ειδικότητας στην πόλη Kistelek, 26/02/2008. (A Kárpát-medence geotermikus és hévízföldtani adottságai (a hasznosítások szemszögéből) IV. kisteleki szakmai fórum, 2008. február 26).

Διαδικτυακοί τόποι:

www.geothermalpower.net

<http://www.geothink.net>

www.geotermika.hu

www.georen.hu

www.bukkgyogyfurdo.hu

www.erzsebetfurdo.hu

www.morahalom.hu

www.harkanylap.hu

www.mafi.hu.