

Περίληψη

Το περιβάλλον αποτελούσε ανέκαθεν τον τελικό αποδέκτη των υπολειμμάτων της κατανάλωσης και των κατάλοιπων της παραγωγικής διαδικασίας. Τα παλαιότερα χρόνια η ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων ήταν μία ιδανική λύση αφού η φύση είχε τη δυνατότητα να τα ανακυκλώσει. Αντίθετα, σήμερα η κατάσταση έχει μεταβληθεί δραματικά, αφού ο άνθρωπος οδηγείται στην ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων αγνοώντας το γεγονός ότι οι ποσότητες και η ποιοτική σύσταση των απορριμμάτων έχουν ξεπεράσει την ικανότητα της φύσης για αυτοκαθαρισμό.

Όμως ακόμα και στην περίπτωση της χρήσης μεθόδων ελεγχόμενης απόθεσης των απορριμμάτων, κατά την οποία τα απορρίμματα εναποτίθενται σε στρώσεις, συμπιέζονται και επικαλύπτονται με χώμα, δε λείπουν τα προβλήματα διαρροών προς το περιβάλλον. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να εξετάζονται όλα τα σενάρια διαρροών και οι πιθανές επιπτώσεις τους στο γειτονικό περιβάλλον.

Το θέμα αυτό, δηλαδή μιας ενδεχόμενης διαρροής και συγκεκριμένα στην περιοχή του ΧΥΤΑ Χερσονήσου και την έκταση της διαρροής και μεταφορά των ρύπων αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία. Η πτυχιακή αυτή εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη: Στο πρώτο μέρος αναλύεται η υγειονομική ταφή απορριμμάτων ως τρόπος διάθεσης και οι μέθοδοι υγειονομικής ταφής. Επίσης αναλύεται η μοντελοποίηση ως τρόπος πρόβλεψης και σχεδιασμού πολιτικής στα περιβαλλοντικά θέματα. Τα μοντέλα μέσω των οποίων γίνεται η εκτίμηση κινδύνου, είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που βοηθάει στον συνδυασμό οικονομίας και σχεδιασμού λύσεων σε θέματα περιβαλλοντικά.

Στο δεύτερο μέρος αναλύεται το πρόγραμμα «Argus One», το οποίο είναι ένα πρόγραμμα δημιουργίας καννάβου από σημεία και έχει ως βάση πεπερασμένα στοιχεία και διαφορές. Με τη βοήθεια του προγράμματος αυτού γίνεται παρουσίαση της υπό μελέτη περιοχής και μελετάται η διασπορά των ρύπων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και στη γειτονική θαλάσσια περιοχή από το σενάριο πιθανής

διαρροής από τον ΧΥΤΑ Χερσονήσου, καθώς επίσης και οι επιπτώσεις στην περιοχή. Η παρούσα εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα.

Σκοπός της Παρούσας Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλυθεί μέσω της χρήσης μοντέλου η διασπορά των ρύπων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και στη γειτονική θαλάσσια περιοχή από το σενάριο πιθανής διαρροής από τον ΧΥΤΑ Χερσονήσου, καθώς επίσης και οι επιπτώσεις στην περιοχή.

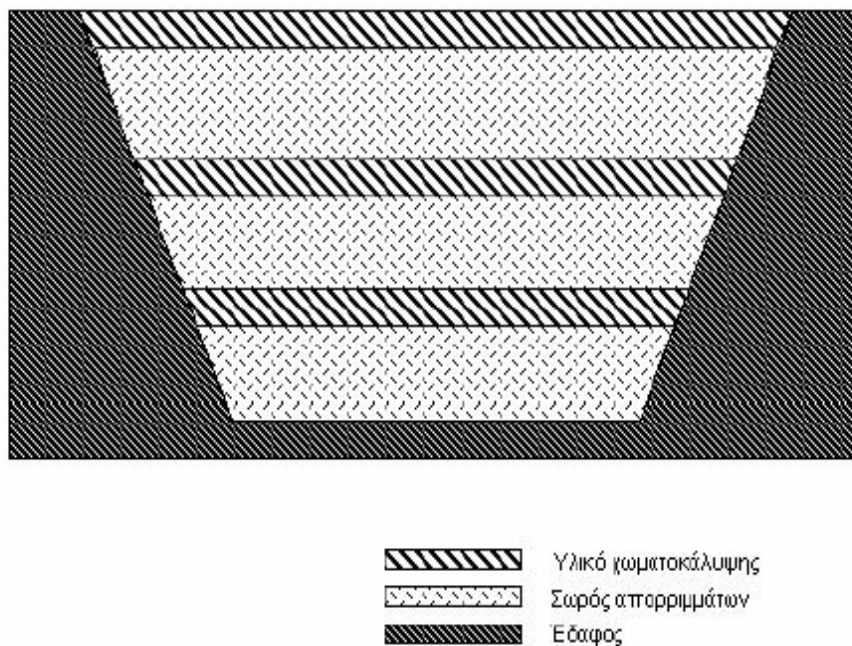
Η εκπόνησή της εργασίας δε θα ήταν εφικτή χωρίς την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του

Κ. Γεωργίου Π. Καρατζά, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και επιβλέπων καθηγητή της εργασίας αυτής.

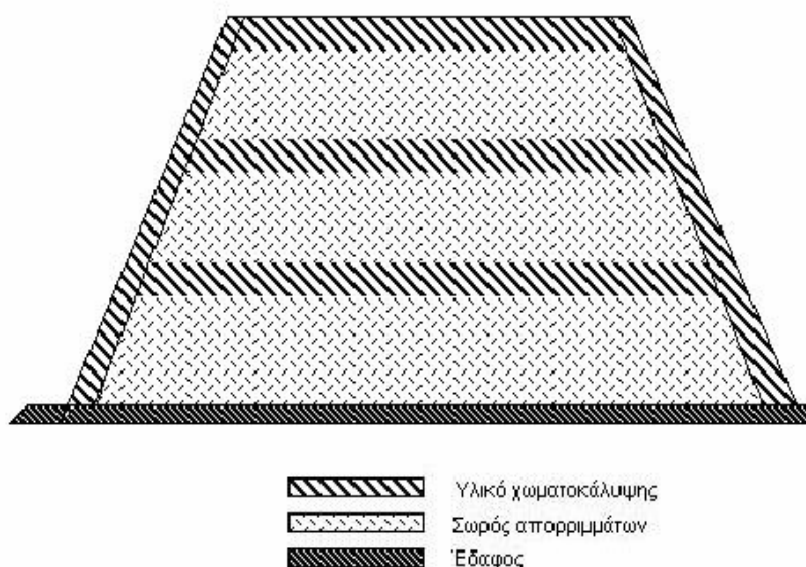
1. ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

1.1 Γενικά

Υγειονομική ταφή είναι η διαδικασία κατά την οποία τα απορρίμματα εναποτίθενται σε στρώσεις, συμπιέζονται και επικαλύπτονται με χώμα. Η διαδικασία περιλαμβάνει επίσης την λειτουργία εγκαταστάσεων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο συγκεκριμένων παραμέτρων (π.χ. στραγγίσματα, βιοαέριο), με στόχο την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη δημόσια υγεία.¹



Εικόνα 1: Υγειονομική ταφή σε τεχνητό ή φυσικό λάκκο.²



Εικόνα 82. Υγειονομική ταφή στην επιφάνεια του εδάφους.

Εικόνα 2: Υγειονομική ταφή στην επιφάνεια του εδάφους.²

Γενικά, η Υγειονομική Ταφή είναι ένα έργο διάρκειας περίπου 50 ετών (20 έτη για τη λειτουργία και 30 έτη για την παρακολούθηση του χώρου ταφής μετά την πλήρωση και κάλυψή του). Οι χώροι υγειονομικής ταφής δεν πρέπει να συγχέονται με τους χώρους ανεξέλεγκτης απόρριψης, φαινόμενο ιδιαίτερα συχνό στη χώρα μας, οι οποίοι αποτελούν εστίες ρύπανσης του περιβάλλοντός και πηγές ανάφλεξης. Αντίθετα η υγειονομική ταφή είναι όχι απλώς μια περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος διάθεσης αλλά επίσης ένας άριστος τρόπος για την αξιοποίηση αχρήστων χώρων και για την περιβαλλοντική τους αποκατάσταση. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός χώρου υγειονομικής ταφής προϋποθέτει την εφαρμογή μιας σειράς επιστημονικών, τεχνικών και οικονομικών αρχών.

Ο ιδανικός τεχνικά και περιβαλλοντικά χώρος για μια μακροπρόθεσμη διάθεση των απορριμμάτων πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά: ¹

- Να βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από κατοικημένες περιοχές, να είναι περιφραγμένος και να μην είναι ορατός από τους πλησιέστερους δρόμους.
- Η διαθέσιμη έκταση γης να είναι αρκετή για να εξυπηρετήσει μακροπρόθεσμα τις ανάγκες δοσμένης περιοχής. Το κόστος διάθεσης, κύρια όσον αφορά την προετοιμασία του χώρου και τον απαιτούμενο μηχανολογικό εξοπλισμό αυξάνεται όσο η διάρκεια ζωής του χώρου, που εξαρτάται από την έκτασή του, μειώνεται. Αν και δεν υπάρχουν κανόνες που να καθορίζουν την απαιτούμενη έκταση απαιτείται αυτή να είναι επαρκής για λειτουργία του χώρου για δέκα τουλάχιστον χρόνια.
- Τα υδρογεωλογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής να είναι τέτοια ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για την ποιότητα των νερών. Αν οι απαιτήσεις αυτές δεν εξασφαλίζονται από τον ίδιο τον χώρο θα πρέπει να γίνουν πρόσθετα έργα υποδομής με συνέπεια την αύξηση του κόστους κατασκευής του χώρου.
- Να είναι χωροθετημένος κεντροβαρικά σε σχέση με την εξυπηρετούμενη περιοχή, ώστε οι αποστάσεις μεταφοράς των απορριμμάτων να ελαχιστοποιούνται. Συχνά όμως επειδή πολιτικοί και περιβαλλοντικοί λόγοι επηρεάζουν τη θέση ενός χώρου, η απόσταση αυτή μπορεί να είναι μεγάλη και γι'αυτό έχει παραστεί η ανάγκη δημιουργίας σταθμών μεταφόρτωσης.
- Να μη βρίσκεται σε περιοχή με τρέχουσα ή στάσιμα νερά.
- Να είναι προσβάσιμος από δρόμους ταχείας κυκλοφορίας και να μην παρεμποδίζει την κυκλοφορία.
- Να υπάρχουν κοντά ηλεκτρισμός, νερό και εγκαταστάσεις αποχέτευσης.
- Να υπάρχει διαθέσιμο αρκετό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την επικάλυψη των απορριμμάτων, άλλως θα πρέπει να μεταφέρεται στο χώρο από αλλού, με συνέπεια την αύξηση του κόστους λειτουργίας του.
- Οι κλιματολογικές συνθήκες και τα τοπικά χαρακτηριστικά (π.χ. χρήσεις γης) πρέπει να μην δημιουργούν προβλήματα.

Όταν βρεθεί ένας χώρος που πληρεί τις βασικές απαιτήσεις που αναφέραμε παραπάνω, τότε θα πρέπει να ακολουθεί ο τεχνικός σχεδιασμός και η οικονομική ανάλυση. Μία πολύ σημαντική παράμετρος στην επιλογή ενός χώρου υγειονομικής διάθεσης των αστικών απορριμμάτων είναι η εξασφάλιση της κοινωνικής αποδοχής. Η τελική επιλογή πρέπει να είναι ο βέλτιστος συνδυασμός μεταξύ: ¹

- Των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Του κόστους ανά τόνο διατιθέμενων απορριμμάτων
- Της κοινωνικής αποδοχής του χώρου.

Οι μη κατάλληλοι και κακώς οργανωμένοι χώροι προξενούν σοβαρές βλάβες στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις μπορούν να προκληθούν από: ¹

- Τα αέρια των χώρων διάθεσης
- Τα στραγγίσματα
- Τις οσμές
- Το θόρυβο και την σκόνη
- Τις πυρκαγιές
- Την διέλευση των οχημάτων από κατοικημένες περιοχές
- Τη διασπορά των απορριμμάτων
- Το δημιουργούμενο ανάγλυφο

Η προστασία του περιβάλλοντος θα πρέπει εκτός των άλλων να περιλαμβάνει:

- Την ασφαλή διαχείριση των στραγγισμάτων και των παραγομένων αερίων
- Τον έλεγχο της σκόνης, του θορύβου, των πυρκαγιών και των οσμών
- Μέτρα για την ασφάλεια των εργαζομένων.

1.2 Μέθοδοι Υγειονομικής Ταφής

Βασικό στοιχείο σχεδιασμού ενός χώρου υγειονομικής ταφής αποτελεί η μέθοδος που θα ακολουθηθεί για τη διάσθρωση των απορριμμάτων. Δεν υπάρχει μέθοδος κατάλληλη για όλους τους χώρους. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται κάθε φορά από τη μορφολογία του εδάφους και το είδος των απορριμμάτων που θα διατεθούν.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι: η “επιφανειακή μέθοδος”, η μέθοδος των διαδοχικών τάφρων και η μέθοδος “πλήρωσης λάκκων”. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται ένας συνδυασμός των τριών μεθόδων.³

➤ *Επιφανειακή μέθοδος*

Εφαρμόζεται όταν είναι δύσκολη η εκσκαφή του εδάφους για τη διάνοιξη τάφρων. Τα απορρίμματα ξεφορτώνονται και διαστρώνονται σε στενές λωρίδες στην επιφάνεια του εδάφους σχηματίζονται στρώσεις βάθους περίπου 50 - 80 cm. Κάθε στρώση συμπίεζεται καθώς προχωρεί η διαδικασία πλήρωσης του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας μέχρις ότου το πάχος των συμπιεσμένων απορριμμάτων φθάσει τα 2,50 - 3 μέτρα.

Στο τέλος της ημέρας τα απορρίμματα καλύπτονται με στρώση κατάλληλου αδρανούς υλικού, πάχους περίπου 15 - 30 cm το οποίο επίσης πρέπει να συμπιεσθεί. Το υλικό επικάλυψης εξασφαλίζεται από εκσκαφές στο γύρω χώρο, ή μεταφέρεται με φορτηγά από αλλού. Συνήθως, πριν αρχίσει η λειτουργία της χωματερής, κατασκευάζεται ένα ανάχωμα στη μία πλευρά του χώρου, για να διευκολυνθεί και η συμπίεση των απορριμμάτων. Το πλάτος του χώρου στον οποίο εναποτίθενται και διαστρώνονται τα απορρίμματα κυμαίνεται από 3 - 8 μέτρα.

Το μήκος του χώρου που χρησιμοποιείται κάθε μέρα υπολογίζεται έτσι ώστε στο τέλος της ημέρας το βάθος των απορριμμάτων να φθάσει τα 2,50 - 3 cm. Τα συμπιεσμένα απορρίμματα μαζί με το υλικό επικάλυψης μιας μέρας αποτελούν ένα κύτταρο που αποτελεί βασικό δομικό στοιχείο κοινό σε όλες τις μεθόδους υγειονομικής ταφής. Κάθε στρώση απορριμμάτων αποτελείται από πολλά κύτταρα τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο. Οι στρώσεις τοποθετούνται διαδοχικά η μία πάνω στην άλλη μέχρι τα απορρίμματα φθάσουν το τελικό ύψος που προβλέπεται από τον αρχικό σχεδιασμό του χώρου.

Παραλλαγή της επιφανειακής μεθόδου, αποτελεί η μέθοδος της ράμπας που εφαρμόζεται όταν στο χώρο διάθεσης υπάρχει διαθέσιμη μικρή ποσότητα υλικού επικάλυψης. Σε αυτή τη μέθοδο η εναπόθεση και διάστρωση των απορριμμάτων γίνεται όπως και στην επιφανειακή μέθοδο, αλλά καλύπτονται, μερικά ή ολικά, από χώμα που προέρχεται από εκσκαφή του πυθμένα της χωματερής. Συνήθως, επειδή η εκσκαφή δεν είναι βαθιά δεν επαρκεί το χώμα για επικάλυψη και το υπόλοιπο πρέπει να εξασφαλισθεί από αλλού, όπως και στην επιφανειακή μέθοδο.

➤ *Η μέθοδος των διαδοχικών τάφρων*

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται όταν στο χώρο υπάρχει υλικό επικάλυψης σε αρκετό βάθος και όταν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ χαμηλός. Τα απορρίμματα αποτίθενται σε τάφρους μήκους 30 - 120 m, βάθους 1 -2 m και πλάτους 5 -8 m. Στην αρχή της διαδικασίας γίνεται εκσκαφή ενός τμήματος της τάφρου και το χώμα αποτίθεται σε σωρό, στο πίσω μέρος της πρώτης τάφρου. Τα απορρίμματα κατόπιν αποτίθενται στην τάφρο, διαστρώνονται σε λεπτές στρώσεις πάχους 50 - 80 cm και συμπίεζονται. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος. Το μήκος της τάφρου που χρησιμοποιείται κάθε μέρα πρέπει να υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε στο τέλος της ημέρας τα απορρίμματα να έχουν φθάσει το επιθυμητό ύψος, το μήκος επίσης πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις των απορριμματοφόρων που έρχονται να ξεφορτώσουν. Το υλικό επικάλυψης εξασφαλίζεται με την εκσκαφή της διπλανής τάφρου ή συνεχίζοντας την εκσκαφή της τάφρου που ήδη χρησιμοποιείται.

➤ *Μέθοδος πλήρωσης κοιλοτήτων του εδάφους*

Σε περιοχές που υπάρχουν φυσικές ή τεχνητές κοιλότητες του εδάφους (χαράδρες, ρεματιές, ορυχεία, λατομεία), μπορούν κάλλιστα αυτές να χρησιμοποιηθούν για υγειονομική ταφή απορριμμάτων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διάστρωση και συμπίεση των απορριμμάτων στις διάφορες κοιλότητες εξαρτώνται από τη γεωμετρία του χώρου, τα χαρακτηριστικά του υλικού επικάλυψης, την υδρολογία και γεωλογία της περιοχής και την δυνατότητα πρόσβασης.

Σε χαράδρες που ο πυθμένας είναι κάπως επίπεδος η πρώτη στρώση μπορεί να τοποθετηθεί όπως στη μέθοδο των διαδοχικών τάφρων που αναφέρθηκε παραπάνω.

Όταν συμπληρωθεί η πρώτη στρώση, το γέμισμα συνεχίζεται ξεκινώντας από τα σημεία που βρίσκονται προς την κορυφή της χαράδρας και καταλήγοντας προς το στόμιο. Τα απορρίμματα αποτίθενται στον πυθμένα της χαράδρας και συμπίεζονται προς τις πλευρές της, μέθοδος που εξασφαλίζει υψηλή συμπίεση.

Τα ορυχεία και τα λατομεία βρίσκονται συνήθως χαμηλότερα από την επιφάνεια του γύρω εδάφους και γι αυτό είναι αναγκαίο να ληφθεί μέριμνα για τον έλεγχο των επιφανειακών υδάτων. Και στα ορυχεία και τα λατομεία ο τρόπος πλήρωσης είναι παρόμοιος με αυτόν στις χαράδρες. Σημαντική σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η εξασφάλιση υλικού επικάλυψης τόσο για τις ενδιάμεσες στρώσεις όσο και για την τελική επιφάνεια.

Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων. Επίσης μπορεί στον ίδιο χώρο να χρησιμοποιηθούν περισσότερες της μίας μέθοδοι. Αν επί παραδείγματι στα περισσότερα σημεία του πυθμένα ενός χώρου υπάρχει ένα μεγάλο πάχος χώματος ενώ στα υπόλοιπα το χώμα είναι πολύ ρηχό, μπορεί να ανοιχθούν τάφροι, όπου αυτό είναι δυνατόν και το χώμα που θα εξασφαλισθεί να χρησιμοποιηθεί σαν υλικό επικάλυψης και για τον υπόλοιπο χώρο που θα χρησιμοποιηθεί η επιφανειακή μέθοδος

Μια μέθοδος, παραλλαγή των παραπάνω μεθόδων, που εφαρμόζεται συχνά στη χώρα μας είναι η ταφή των απορριμμάτων σε χώρους της μορφής της πλατειάς μισγάγγειας που διαμορφώνεται από την πλαγιά κάποιου εδαφικού όγκου (βουνό, λόφος) και τις εκατέρωθεν πλαγιάς δύο γειτονικών ρευμάτων .

Συνήθως η εδαφική λεκάνη διαμορφώνεται έτσι ώστε να είναι ανοιχτή κατά το 1/3-1/4 της περιμέτρου της. Κατά κανόνα η κατά μήκος κλίσης της εδαφικής λεκάνης (κλίση μισγάγγειας) είναι σημαντική.

Στην περίπτωση αυτή η ταφή των απορριμμάτων πρέπει να αρχίσει από τη χαμηλότερη πλευρά της λεκάνης και να προχωράει προς το εσωτερικό της με την παρακάτω τεχνική:

Το πρώτο ταμπάνι (πλάτωμα) θα αρχίσει κατ ευθείαν από το χαμηλότερο σημείο του δρόμου προσπέλασης: θα διαμορφωθεί με συμπιεσμένα μπάζα ή χώμα μια μικρή

επιφάνεια για τους ελιγμούς των απορριματοφόρων. Τα επόμενα ταμπάνια από στρώσεις απορριμμάτων θα κινούνται παράλληλα προς την ανοιχτή πλευρά του χώρου και προς το εσωτερικό του. Είναι φανερό ότι τα ταμπάνια θα “σβήνουν” προς τα ανάντη (θα ακουμπάνε στην πλαγιά του υψώματος). Το πλάτος τους δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 50 μέτρα, και το ύψος τους τα 2,5 μ. Το υλικό επικάλυψης των ταμπανιών πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 0,20 μ. ενώ η επικάλυψη των μετοπικών πρανών τουλάχιστον 0,60 μ. Η κλίση του μετώπου εργασίας πρέπει να είναι μικρή και να μην υπερβαίνει το 1/3.

Ως υλικό επικάλυψης χρησιμοποιείται το υλικό (χώμα, άμμος κ.λ.π.) που θα βγει από την διαμόρφωση του χώρου διάθεσης, καθώς και υλικό από εκσκαφές στην γύρω περιοχή ή μπάζα.

Η εγκάρσια ρύση της επιφάνειας του κάθε ταμπανιού θα πρέπει να δίνεται προς τα ανάντη (δηλ. προς το ύψωμα) έτσι ώστε:

1.3 Προβλήματα Τελικής Διάθεσης από την Ύπαρξη Στραγγισμάτων

Τα πιο σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με την ταφή απορριμμάτων είναι η παραγωγή στραγγισμάτων (διασταλλαζόντων) και βιοαερίου. Τα στραγγίσματα (διασταλλάζοντα) είναι υγρά που δημιουργούνται από την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των απορριμμάτων και από τη διείσδυση στη μάζα τους των νερών της βροχής. Κατά την πορεία των υγρών μέσα από τη μάζα των απορριμμάτων διαλύονται και παρασύρονται διάφοροι ρύποι. Αν τα στραγγίσματα διαφύγουν στο περιβάλλον μπορούν να μολύνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά. Οι ρυπαντές που απελευθερώνονται από τα απορρίμματα με διάφορες φυσικοχημικές και βιολογικές διαδικασίες περνούν μέσα στο νερό και το επιβαρύνουν με οργανικά και ανόργανα υλικά.

Σύσταση Στραγγισμάτων: Τα κυριότερα ρυπαντικά συστατικά των διασταλλαζόντων είναι: Ανόργανα κατιόντα όπως ασβέστιο (Ca^{++}), μαγνήσιο (Mg^{++}), νάτριο (Na^{+}), κάλιο (K^{+}), αμμώνιο (NH_4^{+}), σίδηρος (Fe^{++}), μαγγάνιο (Mn^{++}). Ανόργανα ανιόντα όπως χλωριόντα (Cl^{-}), θειικά (SO_4^{--}) και όξινα ανθρακικά (HCO_3^{-}). Βαρέα μέταλλα όπως: κάδμιο (Cd), ψευδάργυρος (Zn), μόλυβδος (Pb), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni) και

κοβάλτιο (Co). Οργανικά υλικά εκφρασμένα ως BOD και COD. Ειδικά οργανικά υλικά (συνήθως περιεκτικότητας μικρότερης της 0,1 mg/l) όπως αρωματικοί υδρογονάνθρακες, φαινόλες και χλωριωμένες αλειφατικές ενώσεις. Διάφορα άλλα συστατικά όπως βορικά, θειούχα, αρσενικά και ελαιώδη (δευτερεύουσα σημασία). Υδράργυρος και βάριο (δευτερεύουσα σημασία).²

1.3.1 Συλλογή – Επεξεργασία Στραγγισμάτων

Η συλλογή των στραγγισμάτων μπορεί να γίνεται από τον πυθμένα του χώρου υγειονομικής ταφής είτε μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων και αντλιών ή με την κατασκευή αποστραγγιστικών τάφρων. Η τελευταία είναι μια σχετικά φθηνή μέθοδος με ικανοποιητικά αποτελέσματα σε πολλές περιπτώσεις για μικρούς χώρους διάθεσης. Σε χώρους υγειονομικής ταφής με μεγάλο βάθος η συλλογή των στραγγισμάτων μπορεί να γίνει και από ενδιάμεσα σημεία.

Μετά τη συλλογή τους τα στραγγίσματα οδηγούνται σε χώρους ή δεξαμενές προσωρινής αποθήκευσης και στη συνέχεια προωθούνται προς περαιτέρω επεξεργασία για απομάκρυνση του ρυπαντικού τους φορτίου.¹

Το δίκτυο αποστράγγισης του χώρου έχει στόχο την αμεσότερη παροχέτευση των ομβρίων, την αποφυγή διάβρωσης του εδάφους και την αποφυγή λιμναζόντων υδάτων στην επιφάνεια του χώρου. Εξαρτάται δε από παράγοντες όπως: Η ποσότητα και η ένταση των βροχοπτώσεων, η διαπερατότητα των χωμάτων, η ύπαρξη ή όχι διαπερατής τελικής στρώσης, η ύπαρξη βλάστησης και ο τύπος της, οι κλίσεις των διαμορφωμένων πρανών. Ανάλογα με την τοπογραφία του κάθε χώρου, κατασκευάζεται σε συνδυασμό ανάχωμα και τάφος, για να αποτρέπεται η είσοδος των ομβρίων της ευρύτερης λεκάνης απορροής στο απορριμματικό ανάγλυφο και να επιτρέπεται εκατέρωθεν του χώρου, όπου θα κατασκευαστούν ανοιχτά χαντάκια ή τάφροι απαγωγής των ομβρίων.

Για να εξασφαλιστεί η ελεγχόμενη απορροή των ομβρίων πάνω στο απορριμματικό ανάγλυφο, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι τοπικές διαβρώσεις και η κατείσδυση τους στη μάζα των απορριμμάτων, διαμορφώνονται πάνω στη στεγανωτική στρώση ανοικτά αβαθή αυλάκια με ειδικά συμπίεσμένο πυθμένα, με ήπια κατά μήκος κλίση (π.χ. 10%) που θα οδηγούν τα όμβρια στα δύο εκατέρωθεν του απορριμματικού ανάγλυφου χαντάκια απαγωγής των ομβρίων. Τα ως άνω αβαθή αυλάκια διατάσσονται περίπου παράλληλα μεταξύ τους σε πραγματικές αποστάσεις 15 έως 30 m ανάλογα με τις κλίσεις του ανάγλυφου (εντονότερη κλίση συνεπάγεται μικρότερη απόσταση). Το ενδεχόμενο επένδυσης του πυθμένα των παραπάνω αυλακιών αντιμετωπίζεται κατά περίπτωση. Η κλίση των πρανών αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για την αποστράγγιση του χώρου. Λιμνάζοντα νερά εμφανίζονται όταν η διαπερατότητα της τελικής κάλυψης είναι περιορισμένη.²

1.4 Συστήματα Μόνωσης Χ.Υ.Τ.Α.

Εξαιτίας του μεγάλου προβληματισμού που επικρατεί εξαιτίας της ύπαρξης των στραγγισμάτων, σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, ένα πολύ σημαντικό θέμα είναι ο σωστός σχεδιασμός και η σωστή κατασκευή μόνωσης του πυθμένα, ώστε να έχουμε τα λιγότερα δυνατά ατυχήματα διαφυγής των στραγγισμάτων. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της μόνωσης γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ή και να μηδενίζεται πρακτικά η διαφυγή στραγγισμάτων και η διαρροή ή μετανάστευση βιοαερίου από τη βάση και πλευρικά τοιχώματα του χώρου και να διασφαλίζονται οι δυνατότητες αποτελεσματικής συλλογής των στραγγισμάτων και του βιοαερίου.

Η προστασία του εδάφους των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων επιτυγχάνεται με το συνδυασμό των παρακάτω συντελεστών:

1. Φυσική υπάρχουσα (ενδεχομένως μόνωση).
2. Συστήματα τεχνητής μόνωσης από συμπίεσμένα αργιλικά υλικά και συνθετική μεμβράνη.
3. Συστήματα αποστράγγισης και συλλογής στραγγισμάτων.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω συντελεστών λαμβάνονται υπόψη τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφών, καθώς και το είδος των προς διάθεση απορριμάτων. Τα συστήματα μόνωσης του πυθμένα και των περιμετρικών πρανών του ΧΥΤΑ πορέπει να πληρούν τις απαιτήσεις υδροπερατότητας και πάχους οι οποίες αντιστοιχούν σε στρώμα ενός μέτρου αργίλου με $K = 1 \cdot 10^{-9}$ m/sec. Σε περίπτωση που η φυσική υπάρχουσα μόνωση δεν πληρεί την παραπάνω απαίτηση υδροπερατότητας, πρέπει να συμπληρώνεται τεχνητά (τεχνητή μονωτική στώση) και να ενισχύεται με άλλα μέσα που παρέχουν ισοδύναμη προστασία. Η τεχνητά σχηματιζόμενη μόνωση πρέπει να έχει πάχους τουλάχιστον 0,50 μ.⁴

1.4.1 Τεχνητή Μέθοδος Στεγανοποίησης

Είναι η μέθοδος χρησιμοποίησης συνθετικών μεμβρανών (liners) από χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), από πολυαιθυλένιο χαμηλής ή υψηλής πυκνότητας (LDDE, HDPE), ή από πολυπροπυλαίνιο. Πριν αρχίσουν οι εργασίες στεγανοποίησης, θα πρέπει η επιφάνεια του εδάφους να είναι λεία και καλά συμπιεσμένη και να έχουν δοθεί οι κατάλληλες κλίσεις. Για να μην τρυπήσει η μεμβράνη από αιχμηρά αντικείμενα που υπάρχουν στα απορρίμματα ή έχουν απομείνει στην επιφάνεια του εδάφους, τοποθετούνται στρώσεις, λεπτόκοκκων υλικών, συνήθως άμμου και στις δύο πλευρές της μεμβράνης.

Οι συνθετικές μεμβράνες διατίθενται σε ρολλά πλάτους 8-10 μέτρων περίπου και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη συγκόλλησή τους. Τα συνθετικά υλικά εξασφαλίζουν καλύτερη στεγάνωση από το στρώμα αργίλλου, αλλά είναι πιο ακριβά και χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην τρυπήσουν ή και να μην ξεκολλήσουν στις ενώσεις, γιατί τότε η διέλευση των στραγγισμάτων δεν μπορεί να ανασχεθεί. Πολλές φορές, για εξασφάλιση καλύτερων αποτελεσμάτων, χρησιμοποιείται συνδυασμός των δύο μεθόδων. Τοποθετείται δηλαδή στρώμα αργίλλου και από πάνω οι συνθετική μεμβράνη. Επίσης πολλές φορές

χρησιμοποιούνται διάφορα τεχνητά εδαφικά μείγματα, όπως π.χ. μίγμα άμμου και μπετονίτη.³

1.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

Ως πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων σε σχέση με τις άλλες μεθόδους απόρριψης των απορριμμάτων θεωρούνται τα παρακάτω:

1. η υγειονομική ταφή είναι μία μέθοδος τεχνικά απλή, σίγουρη και αποτελεσματική. Η εφαρμογή της δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις. Τα σχετικά μηχανήματα είναι οικεία σε όλο τον πληθυσμό, ανθεκτικά, με ευχέρεια προμήθειας ανταλλακτικών και επισκευής.
2. Ο έλεγχος της ομαλής λειτουργίας του χώρου υγειονομικής ταφής από τις δημοτικές αρχές αλλά και από το κοινό γίνεται χωρίς καμία δυσκολία και είναι άμεσος.
3. Είναι κατ'εξοχήν οικονομική για τα Ελληνικά δεδομένα μέθοδος, με χαμηλή σχετικά αρχική επένδυση, που γίνεται ακόμη μικρότερη λόγω της ύπαρξης διαθέσιμης γης κατά κανόνα δωρεάν (δημοτική ή δημόσια ιδιοκτησία) ή με χαμηλό μίσθωμα.
4. Η συμμετοχή του εισαγόμενου μέρους του εξοπλισμού στο συνολικό κόστος διάθεσης ανά τόνο απορριμμάτων είναι πολύ χαμηλή.
5. Είναι εξαιρετικά λειτουργική μέθοδος, αν πάρουμε υπ'όψιν ότι ένας χώος υγειονομικής ταφής:
 - α) Μπορεί να δεχτεί για άμεση διάθεση τα πιο ετερογενή και «δύσκολα» απορρίμματα, όπως πτώματα ζώων, λάστιχα αυτοκινήτων, ογκώδη αντικείμενα, ακατάλληλα μπάζα κ.λ.π.
 - β) Δεν επηρεάζεται η λειτουργία του ακόμη και από έντονες αυξήσεις των ποσοτήτων των προσκομιζόμενων απορριμμάτων που μπορεί να τις δεχτεί με μια απλή προσθήκη ενός ακόμη μηχανήματος (π.χ. ενεργοποίηση ενός εφεδρικού, προσωρινή μίσθωση) ή και χωρίς καμία επαύξηση των υπάρχοντων μηχανημάτων με αύξηση του χρόνου εργασίας τους.

- γ) Δεν αντιμετωπίζει τον κίνδυνο του έκτακτου ατυχήματος, που στην περίπτωση οποιασδήποτε άλλης εγκατάστασης, θα κινδύνευε να την θέσει εκτός λειτουργίας μια μεγάλη περίοδο.
 - δ) Δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα από την εποχιακή διακύμανση της φυσικής σύνθεσης των απορριμμάτων που επηρεάζει έντονα την υγρασία του, και που θα αποτελούσε σοβαρό πρόβλημα σε άλλες μεθόδους π.χ. κομποστοποίηση, καύση.
 - ε) Δεν απαιτεί άλλη εγκατάσταση διάθεσης απορριμμάτων, πράγμα που συμβαίνει με τις άλλες μεθόδους που απαιτούν συμπληρωματικά και ένα μικρότερο χώρο υγειονομικής ταφής για την διάθεση των στερεών καταλοίπων τους.
 - στ) Η λειτουργία του χώρου μπορεί να τερματιστεί χωρίς να αχρηστεύεται ο βασικός εξοπλισμός, που μπορεί εύκολα να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί σε άλλες δραστηριότητες.
6. Μπορεί να συμβάλλει στην αναμόρφωση υποβαθμισμένων τοπίων ή στην αποκατάσταση άλλων, που έχουν πληγεί από την ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. λατομική δραστηριότητα), διαμορφώνοντας χώρους πρασίνου, αθλητικών δραστηριοτήτων κ.λ.π.

Ως μειονεκτήματα της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων θεωρούνται:

1. Η δυσκολία εξεύρεσης κατάλληλων χώρων κύρια σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, εξασφαλίζοντας παράλληλα μία οικονομικά απόσταση μεταφοράς των απορριμμάτων.
2. Προβλήματα που σχετίζονται με την κοινωνική αποδοχή αυτών των χώρων, δεδομένου ότι στη συνείδηση του κοινού η μέθοδος έχει ταυτιστεί με την ανεξέλεγκτη απόρριψη.
3. Είναι πιθανόν όταν δεν έχουν γίνει τα απαραίτητα έργα υποδομής, να προκύψουν προβλήματα από τη ρύπανση των νερών λόγω της διαφυγής των στραγγισμάτων από το χώρο.

4. Το παραγόμενο βιοαέριο αν δεν έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα μπορεί να δημιουργήσει κινδύνους και οχλήσεις κατά την λειτουργία του χώρου, καθώς και προβλήματα για την τελική χρήση του χώρου.
5. Ο θόρυβος, η σκόνη, η παράσυρση ελαφρών αντικειμένων από τον άνεμο, η ανάπτυξη εντόμων και τρωκτικών που εγκυμονούν κινδύνους για την δημόσια υγεία, είναι προβλήματα που σχετίζονται με την ύπαρξη χώρων που δεν λειτουργούν σωστά.
6. Η λειτουργία ενός χώρου υγειονομικής ταφής κατά την διάρκεια του χειμώνα μπορεί να είναι προβληματική.
7. Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας ενός σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας δεν είναι πλέον ασήμαντο.

2. Ο Χ.Υ.Τ.Α. Χερσονήσου

2.1 Γενικά

Ο μελετώμενος χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων εξυπηρετεί τα ανάγκες διάθεσης των αστικών απορριμμάτων του Ο.Τ.Α. Χερσονήσου. Ο συνολικός πληθυσμός των εξυπηρετούμενων δήμων και κοινοτήτων σύμφωνα με την απογραφή του 1991 ανέρχεται σε 11.914 κατοίκους. Ο πληθυσμός αυτός τους 70.682 κατοίκους κατά την περίοδο αιχμής (τουριστική περίοδος). Πρέπει να σημειώσουμε ότι για τον παραπάνω χώρο υπάρχει έγκριση από την αρμόδια Γνωμοδοτική Επιτροπή της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Ηρακλείου για την διάθεση των απορριμμάτων.⁵

Ο εξεταζόμενος χώρος βρίσκεται στα όρια των κτηματικών περιοχών Λιμ. Χερσονήσου, Μοχού και Ποταμιών, νότια του υψώματος «Πυργιά» και βορειοδυτικά του υψώματος «Προφήτης Ηλίας». Ο χώρος είναι απομονωμένος από τις γύρω κατοικημένες περιοχές. Υπάρχει πρόσβαση στο χώρο από την νοτιανατολική πλευρά της έδρας του δήμου της Χερσονήσου. Το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί πετρώδες, κι επομένως ο χώρος υπολείπεται του απαραίτητου χώματος για υγειονομική ταφή. Η μεταφορά του όμως από γειτονικές τοποθεσίες δε φαίνεται ιδιαίτερα δύσκολη.

Η υπό μελέτη έκταση και η ευρύτερη περιοχή χρησιμοποιούνται ως τόπος βοσκής αιγοπροβάτων, εκτός από ένα μικρό τμήμα στα βόρεια της έκτασης που χρησιμοποιούνταν επί αρκετά χρόνια ως χώρος απόθεσης απορριμμάτων. Η βλάστηση είναι χαμηλή, θαμνώδης, χωρίς δασική εκμετάλλευση. Σχετικός χάρτης των χρήσεων γης ευρύτερης του έργου περιοχής επισυνάπτεται στο παράρτημα. Στο χάρτη σημειώνονται οι δασικές και γεωργικές εκτάσεις σε ακτίνα 10 χλμ. από τον επιλεγέντα χώρο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα είδη χλωρίδας και πανίδας που αναφέρονται παρακάτω αφορούν γενικά την ημιορεινή ζώνη στην οποία ανήκει ο υπό επέκταση χώρος, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι εμφανίζονται, λόγω της επιβάρυνσης που έχει υποστεί η περιοχή από την απόθεση και καύση των απορριμμάτων.⁵

2.2 Γεωλογία – Υδρογεωλογία της Περιοχής

Τεφροί Κρητιδικοί βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι της Ενότητας της Τρίπολης, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, κατακερματισμένοι με έντονη καρστικοποίηση που αναπτύσσεται σε βάθος πολλών μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Γεωτρητικά δεδομένα έχουν καταδείξει ότι συχνά το καρστ είναι πληρωμένο με ερυθρή άργιλο και ότι το πάχος του σχηματισμού μπορεί τοπικά να υπερβαίνει τα 500 μέτρα.⁵

Γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί στο σχηματισμό αυτό περιφερειακά της ερευνητέας περιοχής έχουν διατρήσει έως και 250 μέτρα καρστικοποιημένου ασβεστόλιθου και έχουν συναντήσει την υδροστατική στάθμη στα –100 έως –170 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Στο παράρτημα δίνονται λεπτομερέστερα στοιχεία σχετικά με τις γεωτρήσεις στην περιοχή. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής έχει υποχρεώσει τη λήψη μέτρων κατά την κατασκευή του Χ.Υ.Τ.Α., όπως είναι τα απαραίτητα μέτρα στεγανοποίησης και διαχείρισης ομβρίων και στραγγισμάτων.⁵

2.3 Κλιματολογικά Στοιχεία

Βροχοπτώσεις

Στον πίνακα 2, παρουσιάζονται τα μηνιαία στοιχεία των βροχοπτώσεων και αποτελούν τους μέσους όρους στη διάρκεια της τελευταίας 15ετίας (1978 – 1993).

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυ γ	Σεπτ	Οκ τ	Νοεμ	Δεκ
Βρο χ/ση	125, 8	134, 7	78,1	41,2	40,5	21,7	2,2	2,4	34,1	56, 5	100, 8	159, 3
Θερ/ σία	9,4	9,7	11,0	14,0	17,6	21,8	23,5	23, 3	21	17, 5	14,0	11,1

Πίνακας 1: Μηνιαία Στοιχεία Βροχοπτώσεων (υδρολογική λεκάνη: Αποσελέμη).⁵

Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής του έργου είναι:

- Μέση ετήσια θερμοκρασία 16,2° C
- Μέση σχετική υγρασία 63.1%
- Μέσο ετήσιο ύψος βροχής 66.44 μμ.
- Μέση ετήσια τιμή ηλιοφάνειας 228,5 hrs.

Για την διαχείριση των ομβρίων και των στραγγισμάτων σημαντική είναι η διακύμανση του ύψους νετού, που από 2,2 μμ. τον Ιούνιο φθάνει τα 159,3 μμ. τον Δεκέμβριο, δεδομένα που πρέπει να σταθμίσει η μελέτη σχεδιασμού του χώρου.⁵

2.4 Ποιοτικά και Ποσοτικά Χαρακτηριστικά Απορριμμάτων

Ποιοτική Σύνθεση Απορριμμάτων

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται κάποια στοιχεία σύνθεσης απορριμμάτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας όπως αυτά έχουν προκύψει από σχετικές μελέτες που έγιναν στις αναφερόμενες πόλεις.⁵

ΥΛΙΚΑ (%)	Αθήνα '90	Θεσ/νίκη 87'	Ρόδος 89'	Ηράκλειο 90'
Οργανικά	48,5	51,7	43	52,5
Χαρτί	22,0	17,7	17	17,2
Γυαλί	3,5	4,1	14	1,4
Πλαστικά	10,5	7,2	10	14,3
Μέταλλα	4,2	5,9	10	2,8

Πίνακας 2: Σύνθεση Απορριμμάτων σε Διάφορες Πόλεις της Χώρας.⁵

Οι στρώσεις των απορριμμάτων που δημιουργούνται με την κλασσική διαδικασία «απόρριψη – διάσπρωση – συμπίεση – επικάλυψη» επικαλύπτονται με υλικό επικάλυψης (χώμα) πάχους 20 εκ. Αφού το κύτταρο φθάσει τον προβλεπόμενο από το σχέδιο αριθμό στρώσεων θα κατασκευαστεί η τελική επικάλυψη του χώρου με χώματα πάχους τουλάχιστον 1 μ. για την δημιουργία υποδομής για δενδροφυτεύσεις και ανάπλαση του χώρου.

Κατά την λειτουργία της κάθε στρώσης, ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για την δημιουργία μικρής κλίσης με αντίθετη φορά προς το μέτωπο εργασιών, ώστε τα όμβρια να μην διέρχονται μέσα από το μέτωπο εργασιών αλλά να οδεύουν περιφερειακά εκτός του χώρου διάθεσης. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνεται η ταφή των απορριμμάτων και στις υπόλοιπες στρώσεις, μέχρις ότου ο Χ.Υ.Τ.Α. φθάσει τον προβλεπόμενο αριθμό στρώσεων και καλύψει τον από την μελέτη διατιθέμενο χώρο. Τα στραγγίσματα μέσω του δικτύου συλλογής τους οδηγούνται με τη βοήθεια αντλιών στην εγκατάσταση επεξεργασίας τους. Τα στραγγίδια προσάγονται στην εγκατάσταση μέσω συλλεκτήριου αγωγού και καταλήγουν στο φρεάτιο εκτροπής από όπου τροφοδοτούν είτε την δεξαμενή αερισμού είτε μέσω της υπερχειλίσας την δεξαμενή αποθήκευσης των βροχοστραγγιδίων. Στο φρεάτιο γίνεται και η δοσομέτρηση των απαραίτητων θρεπτικών (φωσφορικό οξύ). Με την κατασκευή περιφερειακά του Χ.Υ.Τ.Α. τάφρων αποστράγγισης τα όμβρια δεν διέρχονται από την μάζα των απορριμμάτων αλλά απομακρύνονται από το χώρο οδηγούμενα σε φυσικούς αποδέκτες.⁵

2.5 Στεγανοποίηση του Πυθμένα

Η περιοχή έχει κριθεί γεωλογικώς ακατάλληλη, πράγμα το οποίο εγκυμονεί μεγάλους κινδύνους για την διαρροή ανεπιθύμητων στραγγισμάτων στο υπέδαφος. Για την δημιουργία ισχυρού υπόβαθρου και την αύξηση της προστασίας του χώρου χρησιμοποιήθηκε σύστημα «σύνθετης στεγάνωσης» η οποία αποτελείται από:⁵

- Στεγανωτική χωμάτινη στρώση από αδιαπέρατα υλικά, κατάλληλα συμπιεσμένα.
- Γεωμεμβράνη από σκληρό πολυαιθυλένιο.
- Γεώφασμα πολυπροπυλενίου.

Προβλέφθηκε επίσης η μεταφορά αργιλικού στρώματος 50 εκ. η οποία προβλέφθηκε να συμπυκνωθεί με επάλληλες διελεύσεις συμπυκνωτήρα, έτσι ώστε τα εδαφικά υλικά να αποκτήσουν την επιθυμητή τελική υδροπερατότητα $k=10^{-9}$ m/sec. Επάνω σε αυτή την συμπιεσμένη στρώση θα τοποθετηθεί η συνθετική γεωμεμβράνη. Η γεωμεμβράνη θα έχει πάχος 2,0μμ. και θα είναι από σκληρό πολυαιθυλένιο (HDPE).

Με αυτή την κατασκευή δημιουργείται ενιαία προστατευτική επιφάνεια στον πυθμένα του Χ.Υ.Τ.Α., στοιχείο που συνηγορεί στην αποτελεσματικότερη προστασία από τον κίνδυνο διαφυγής στραγγισμάτων. Τέλος, η γεωμεμβράνη θα προστατεύεται επιφανειακά από γεωύφασμα πολυπροπυλενίου και στη συνέχεια από στρώση στρογγυλεμένου χαλίκιου ποταμού, πάχους 30εκ. Η προστασία αυτή έχει κριθεί επιβεβλημένη λόγω της παρουσίας αιχμηρών αντικειμένων στα απορρίμματα τα οποία μπορούν να καταστρέψουν την ακεραιότητα και τελικά την στεγανότητά της.⁵

2.6 Ποιοτικά και Ποσοτικά Χαρακτηριστικά των Στραγγισμάτων

Ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ποσότητας των παραγόμενων στραγγισμάτων. Στηρίζεται δε στα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής του μελετώμενου Χ.Υ.Τ.Α. Ο κλασσικότερος και πιο αξιόπιστος υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου ενός χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων εκφράζεται από την εξίσωση:⁵

$$L = P - R - E - \alpha * W$$

Όπου:

- L = η αναμενόμενη παραγωγή στραγγισμάτων
- P = οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις
- R = η επιφανειακή απορροή από το χώρο
- E = η εξατμισοδιαπνοή
- α = η απορροφητική ικανότητα των απορριμμάτων
- W = η ποσότητα των απορριμμάτων ανά έτος.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας των στραγγισμάτων λογίζεται έκταση 25.000μ². Η εκτός του χώρου περιοχή θεωρείται ότι σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του Χ.Υ.Τ.Α. αποστραγγίζεται αποτελεσματικά μέσω περιφερειακών τάφρων, ενώ ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου γίνεται λαμβάνοντας υπόψη:⁵

- Το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (P) που δίνει το ετήσιο μέγεθος του ισοζυγίου και προσομοιάζει με X.Y.T.A. σε πλήρη εξέλιξη, μετά το πέρας της αρχικής φάσης λειτουργίας του. Στην συγκεκριμένη περίπτωση $P_{\text{ετήσιο}} = 797,3$ μμ.
- Το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης όπως δίνεται από το βροχομετρικό σταθμό Αβδού Ηρακλείου.
- Τον συντελεστή επιφανειακής απορροής (R) ο οποίος - για ημιπερατά εδάφη όπως ο X.Y.T.A., με κλίσεις ~7% - λαμβάνεται ίσος με 20%P.
- Την εξατμισοδιαπνοή, που υπολογίζεται με την μέθοδο του Thornthwaite, όπως παρουσιάζονται στον επισυναπτόμενο πίνακα.
- Την προς διάθεση ποσότητα των απορριμμάτων (W), δηλ. 21.500 τόνους ανά έτος ή 357 τόνους μηνιαία το χειμώνα, 2.195 τόνους ανά μήνα το καλοκαίρι και 2.741 τόνους ανά μήνα την περίοδο αιχμής.
- Την απορροφητική ικανότητα των απορριμμάτων (α) μέσα στο X.Y.T.A., η οποία για συμπίεση της τάξης των $0,65 \text{ tons/m}^3$ φθάνει τα $0,1 \text{ μ}^3/\text{τόννο}$ απορριμμάτων.

Η σύνθεση των στραγγισμάτων του (leachate) του X.Y.T.A. εξαρτάται, εκτός των άλλων, σε πολύ μεγάλο βαθμό από το είδος και την σύνθεση των απορριμμάτων που έχουν ήδη διατεθεί στο X.Y.T.A. Η συγκέντρωση των οργανικών ουσιών εξαρτάται επίσης από την ηλικία του X.Y.T.A. και από την δραστηριότητα των μεθανοβακτηριδίων. Νεαρές χωματερές εμφανίζουν στραγγίσματα με συγκεντρώσεις COD μεγαλύτερες από 500 mg/lit. Η σύσταση των στραγγισμάτων που παράγονται σε ένα X.Y.T.A. εξαρτώνται ακόμη από παράγοντες, όπως η ηλικία των απορριμμάτων και ο βαθμός συμπίεσης στο X.Y.T.A. Μία τυπική σύσταση στραγγισμάτων από X.Y.T.A. οικιακών απορριμμάτων δίνεται στον παρακάτω πίνακα.⁵

Παράμετροι	Όρια (mg/l)	Τυπική Τιμή (mg/l)
BOD 5	2000 – 30000	10000
TOC	1500 – 20000	6000
COD	3000 – 45000	18000
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά	200 – 1000	500
Οργανικό Άζωτο	10 – 600	200
Αμμωνιακό Άζωτο	10 - 800	200
Νιτρικά	5 – 40	25
Ολικός Φώσφορος	1 – 70	30
Ορθοφωσφορικά	1 – 50	20
Αλκαλικότητα ως CaCO ₃	1000 – 10000	3000
PH	5.3 – 8.5	6
Ολική Σκληρότητα ως CaCO ₃	300 – 10000	3500
Ασβέστιο	200 – 3000	1000
Μαγνήσιο	50 – 1500	250
Κάλιο	200 – 2000	300
Νάτριο	200 – 2000	500
Χλώριο	100 – 3000	500
Θείο	100 – 3000	500
Ολικός Σίδηρος	50 - 600	

Πίνακας 3: Σύνθεση Απορριμμάτων σε Διάφορες Πόλεις της Χώρας.⁵

Λοιπά Υγρά του Χ.Υ.Τ.Α.

Τα λοιπά υγρά που παράγονται στο χώρο διάθεσης αφορούν:⁵

1. Τα υγρά από τις δραστηριότητες του προσωπικού του οικισμού, η ποιότητα των οποίων δεν διαφέρει από αυτήν των αστικών λυμάτων. Δεδομένου ότι η μέση παραγωγή λυμάτων ανά άτομο φθάνει τα 150 – 200lt/ημέρα – λαμβανομένου υπόψη της παραμονής δύο ατόμων στο Χ.Υ.Τ.Α. επί 8ωρο – εκτιμάται ότι η ημερήσια παραγόμενη ποσότητα αυτών των λυμάτων θα ανέρχεται σε 150 lt. Οι επιπτώσεις από αυτά, λόγω ποιότητας και ποσότητας, είναι ανύπαρκτες.
2. Τα υγρά που παράγονται από τις εργασίες πλύσης του μηχανήματος (φορτωτή) και από την συντήρησή του, μικρές ποσότητες ορυκτελαίων κινητήρα. Οι αρνητικές επιπτώσεις από τα νερά αυτά είναι ασήμαντες.

Με βάση γεωλογία και υδρογεωλογία της περιοχής, ο πυθμένας του χώρου διάθεσης απαιτεί στεγάνωση για να επιτευχθεί σε αυτόν πλήρης στεγανότητα. Η διαχείριση των

υγρών αποβλήτων του Χ.Υ.Τ.Α., στραγγισμάτων (leachate), προϋποθέτει ενιαία αντιμετώπιση της στεγάνωσης του χώρου και της εγκατάστασης συστήματος συλλογής τους.⁵

3. Μοντέλα Προσομοίωσης Υπόγειων Υδάτων και Μεταφοράς Ρύπων στο Υπέδαφος

3.1 Γενικά

Είναι γνωστό ότι υπάρχουν πολλά μοντέλα προσομοίωσης υπόγειων υδάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τις συγκεντρώσεις των ρυπογόνων ουσιών (ρυπαντών) και την διαδρομή που ακολουθούν για να φτάσουν στους υπόγειους υδροφορείς.

Η ακρίβεια πρόβλεψης των μοντέλων αυτών εξαρτάται από την ακρίβεια στους υπολογισμούς και προσδιορισμούς του μοντέλου όσον αφορά τον προσδιορισμό των κατευθύνσεων ροής του υπόγειου νερού, τη μεταφορά των ρυπαντών και τις χημικές αντιδράσεις, και την ικανότητα εφαρμογής ως προς τη ροή και τις εξισώσεις μεταφοράς του προβλήματος για το οποίο γίνεται η προσομοίωση. Τα σφάλματα στο μοντέλο πρόβλεψης, ακόμη και τα μικρά, μπορεί να αναδειχτούν μοιραία στη συνέχεια κατά την επίλυση.⁶

Οι προσομοιώσεις που αφορούν προβλέψεις, πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν εκτιμήσεις και όχι σαν βεβαιότητα για να μπορούν να βοηθούν στην διαδικασία του να πάρουμε τις κατάλληλες αποφάσεις. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός ενός συστήματος αποκατάστασης ενός υδροφορέα πρέπει να βασίζεται σε προσομοιώσεις μοντέλων πρόβλεψης. Ένα μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τον ρυθμό άντλησης που χρειάζεται για να προβλέψουμε την διάχυση μιας ουσίας και για να εκτιμήσουμε την συγκέντρωση της ουσίας στο υπόγειο νερό που εκχυλίζει. Για να προσδιορίσουμε το υδραυλικό δυναμικό και την διαδρομή της διάχυσης της ουσίας πρέπει να γίνεται έλεγχος των υδραυλικών υψών και των συγκεντρώσεων της ουσίας.

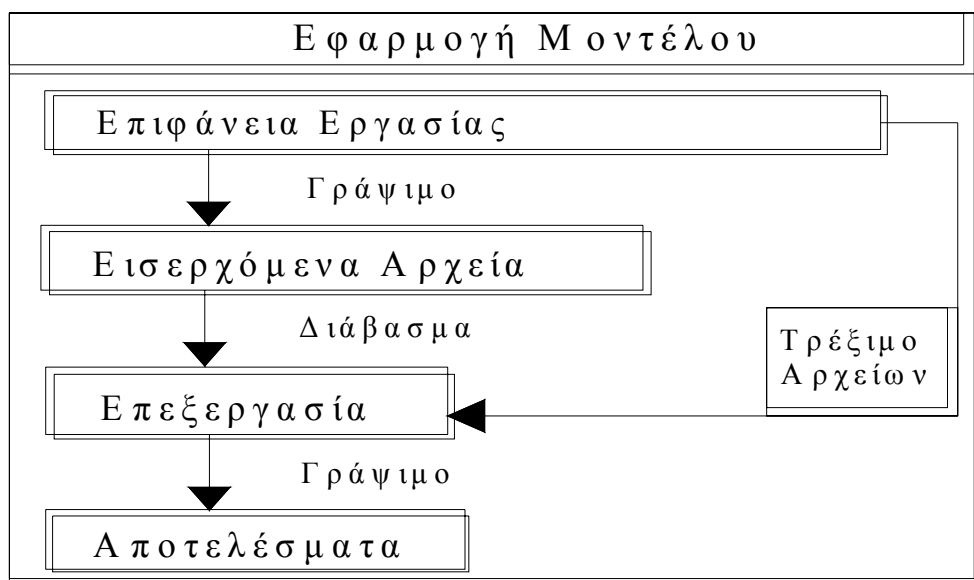
6

Οι προσομοιώσεις που αφορούν προβλέψεις βασίζονται σε μοντέλα προσομοίωσης που αναπτύσσονται για την κάθε περίπτωση, σε τιμές υδρογεωλογικών ή γεωχημικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο, και στις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο μοντέλο. Πιθανά λάθη σε τιμές που δίνουμε στις

παραμέτρους, ή διαφορές ανάμεσα στις συνθήκες πεδίου και στα μοντέλα προσομοίωσης ή τις εξισώσεις των μοντέλων οδηγούν σε λάθος εκτιμήσεις. Τα μοντέλα δουλεύουν ως εξής: ⁶

Η εφαρμογή ενός μοντέλου είναι ολόκληρο το σύστημα δεδομένων software του μοντέλου που εγκαταστεί κάποιος μέσα στον υπολογιστή. Συνήθως η εφαρμογή ενός μοντέλου αποτελείται από μία επιφάνεια εργασίας και ένα υπολογιστικό μηχάνημα (έναν υπολογιστή). Ο υπολογιστής χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς που γίνονται. Ο χρήστης παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες μέσω των δεδομένων του χρήστη δίνοντας τα δεδομένα των πληροφοριών που εισέρχονται στον υπολογιστή. ⁷

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τρέξει το μοντέλο προσομοίωσης, πατώντας ένα κουμπί, και δίνοντας ένα δεδομένο στον υπολογιστή, κάνοντας την εκκίνηση (Εικόνα 3). Ο υπολογιστής διαβάζει τα δεδομένα που του δίνονται ως εισερχόμενες πληροφορίες, πραγματοποιεί τους κατάλληλους υπολογισμούς, και κατόπιν δίνει τα αποτελέσματα ως εξερχόμενες πληροφορίες. ⁷



Εικόνα 3: Η Λειτουργία ενός Μοντέλου. ⁷

Όταν ο υπολογιστής έχει διαβάσει τα εισερχόμενα δεδομένα που του δίνονται, αυτό σημαίνει ότι υφίσταται μοντέλο το οποίο είναι σε λειτουργία. Με άλλα λόγια ένα μοντέλο είναι ένα υπολογιστικό μηχάνημα το οποίο ασχολείται με δεδομένα

(στοιχεία). Ένα μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει την συμπεριφορά μίας συγκεκριμένης φυσικής οντότητας., για παράδειγμα ένα ποτάμι.⁷

Τα λάθη στα οποία οδηγούμαστε με την προσομοίωση στα μοντέλα πρέπει στο μέλλον να ελαττωθούν, με το να παρατηρούμε πιο προσεκτικά τις συνθήκες στο πεδίο ή μέχρι να πετύχουμε τα κατάλληλα κριτήρια. Υπάρχει πάντα ένα μέγεθος αβεβαιότητας όσον αφορά τα μοντέλα προβλεψιμότητας.

Τα μοντέλα προβλεψιμότητας πρέπει να είναι συντηρητικά. Δηλαδή, δεδομένου της αβεβαιότητας στις παραμέτρους που αφορούν τα εισερχόμενα δεδομένα και της αντίστοιχης αβεβαιότητας στα συμπεράσματα των μοντέλων πρόβλεψης, θα πρέπει οι τιμές στα εισερχόμενα δεδομένα να επιλέγονται, ώστε να παίρνουμε την περίπτωση του χειρότερου σεναρίου. Τα μοντέλα προσομοίωσης υπόγειων υδάτων είναι μία προσέγγιση της συμπεριφοράς του συστήματος στην πραγματικότητα και ο έλεγχος στις συνθήκες πεδίου χρειάζεται για να εκτιμήσουμε το σφάλμα στις προβλέψεις του μοντέλου.

Η παρουσίαση στην οθόνη του μόνιτορ απαιτείται ως ένα μέσο των φυσικών μετρήσεων της πραγματικής συμπεριφοράς του υδρογεωλογικού συστήματος και της παρουσίας των ομοιοτήτων με το περιβαλλοντικό στάτους. Οι προσομοιώσεις των μοντέλων υπόγειων υδάτων είναι εκτιμήσεις και ίσως να μην υποκαθιστούν τις μετρήσεις στο πεδίο. Παραδείγματα εφαρμογών μεταφοράς ρύπων και μοντέλων υπόγειων υδάτων που απαιτούν παρουσίαση στο μόνιτορ πρέπει να περιέχουν, αλλά όχι να περιορίζονται στα παρακάτω:⁶

- Συστήματα υδραυλικής περιεκτικότητας για τα οποία έχουν προσδιοριστεί σε ένα σχέδιο επαναλαμβανόμενης δράσης συγκεκριμένα γεωχημικά και υδραυλικά κριτήρια τα οποία μετρούν την επιτυχία της επαναλαμβανόμενης δράσης.
- Οι ζώνες ανάμειξης υπόγειων και επιφανειακών επιφανειών για τις οποίες η χημεία της εκροής της διάχυσης του ρύπου σε ένα επιφανειακό υδάτινο σώμα πρέπει να ακολουθούν τα κατάλληλα κριτήρια.

- Θεραπείες φυσικής αραίωσης κατά τις οποίες ένα μοντέλο μεταφοράς των ρύπων προβλέπει ότι συγκεκριμένες ουσίες θα φτάσουν σε όρια περιοριστικά πριν φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

3.2 Συνδυάζοντας Προστασία Περιβάλλοντος και Οικονομική Ανάπτυξη

Είναι ευρέως γνωστό ότι η προστασία του περιβάλλοντος και η οικονομική ανάπτυξη είναι δύο πράγματα άμεσα συνδεδεμένα. Ανάπτυξη δεν μπορεί να υπάρξει σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος και το περιβάλλον δεν μπορεί να προστατευτεί όταν τα προγράμματα ανάπτυξης αποτύχουν στο να καλύψουν πλήρως οικονομικά το κόστος υλοποίησής τους. Είναι ξεκάθαρο στις μέρες μας ότι τα περισσότερα περιβαλλοντικά προβλήματα μεταφράζονται ως «θετικές υπερβολές» του οικονομικού συστήματος, το οποίο λαμβάνει στα σοβαρά υπόψιν τα περισσότερα θέματα που αφορούν το περιβάλλον.⁸

Η παρέμβαση σε θέματα περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά είναι το απαραίτητο κλειδί στο όνομα της σταθερότητας, όχι μόνο για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και για την προώθηση μίας μακροχρόνιας οικονομικής ανάπτυξης. (Διεθνής Ένωση Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης, 1987).

Σύμφωνα με τις προτεραιότητες στον τομέα της οικονομίας, τον οικονομικό σχεδιασμό και τα δεδομένα, η προστασία και η αντιστροφή της βλάβης που προκαλείται από διάφορους παράγοντες στο περιβάλλον, είναι από τις πρώτες προτεραιότητες στον τομέα της οικονομίας του περιβάλλοντος, και ανάμεσα στα βασικά στοιχεία μίας περιβαλλοντικής πολιτικής που μπορεί να εξασφαλίσει μια μακρόχρονη περιβαλλοντική και οικονομική σταθερότητα.⁸

4. Εκτίμηση Κινδύνου και Αποφάσεις Περιβαλλοντικών Θεμάτων.

Ο συνδυασμός περιβαλλοντικών και οικονομικών θεμάτων έχει γίνει ακόμα πιο πολύπλοκος σήμερα, και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που υπάρχει αβεβαιότητα λόγω έλλειψης στοιχείων και πληροφοριών των περιβαλλοντικών συστημάτων. Αυτός ο συνδυασμός έχει επιπτώσεις στην οικονομική ανάλυση, παίζοντας έναν σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό πολιτικής.⁸

Σε πολλές περιπτώσεις η αβεβαιότητα που αφορά βασικούς παραμέτρους ενός περιβαλλοντικού συστήματος έχει επίδραση στον σχεδιασμό πολιτικής, έτσι ώστε τα ενδεχόμενα ρίσκα αποτυχίας να γίνονται κρίσιμοι παράγοντες στην οικονομική ανάλυση. Σε αυτές τις περιπτώσεις η διαδικασία για να πάρουμε μία απόφαση πρέπει να το σκεφτούμε πολύ καλά και να λάβουμε υπόψη εκτός από το πραγματικό κόστος και το πραγματικό κέρδος, επιπλέον και το ρίσκο που έχει η απόφαση που παίρνουμε και που έχει να κάνει με το πιθανό κόστος αποτυχίας εναλλακτικών πολιτικών.⁸

Η πιθανότητα αποτυχίας, που προκύπτει από στοχαστικές μελέτες προσομοίωσης περιβαλλοντικών συστημάτων, γίνεται ένας κρίσιμος παράγοντας κατά το σχεδιασμό. Η παραδοσιακή οικονομική ανάλυση που βασίζεται σε εναλλακτικά σχήματα αντικαθίσταται στις περιπτώσεις προσομοιώσεων των μοντέλων με την ανάλυση η οποία βασίζεται στις αποφάσεις που παίρνουμε με ρίσκο, κατά την οποία και τα δύο είδη κόστους και το πραγματικό και το προφανές που προκύπτουν από από περιβαλλοντικούς παράγοντες αβεβαιότητας λαμβάνονται υπόψιν.⁸

Η αξιολόγηση της έκθεσης (σε ένα ρυπαντή) είναι η διαδικασία μέτρησης ή εκτίμησης της έντασης, της συχνότητας, και της διάρκειας που εκτίθεται ένας ανθρώπινος ή ζωικός οργανισμός σε έναν ρυπαντή στην παρούσα περίοδο ή του υπολογισμού των υποθετικών εκθέσεων που να προκύψουν από την απελευθέρωση των νέων χημικών ουσιών στο περιβάλλον. Οι πληροφορίες που απαιτούνται για την αξιολόγηση της έκθεσης περιλαμβάνουν:⁹

- Μετρήσεις των συγκεντρώσεων έκθεσης και της διάρκειας της έκθεσης.
- Μετρήσεις για τις χημικές συγκεντρώσεις στα μέσα, συνήθως επιθυμητές με το προφίλ ενός σχεδιαγράμματος συγκέντρωση – χρόνος - θέση.
- Πληροφορίες για τα πρόσωπα τα οποία έχουν εκτεθεί

Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση της έκθεσης στον ρυπαντή μπορεί να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση της συγκέντρωσης του ρυπαντή που έρχεται σε επαφή με τα άτομα οποιαδήποτε στιγμή, αλλά για ποικίλους λόγους αυτό μπορεί να μην είναι εφικτό. Οι εναλλακτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη συγκέντρωση στα μέσα (περιοχή υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, χώμα, θάλασσα) ή τη μοντελοποίηση της συγκέντρωσης βασισμένης στο δυναμικό της πηγής, τη μεταφορά από τα διάφορα μέσα και τις χημικές διαδικασίες μεταφοράς. Συνήθως, οι εκτιμήσεις, οι μετρήσεις και τα μοντέλα χρησιμοποιούνται μαζί για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.⁹

Τα μαθηματικά πρότυπα χρησιμοποιούνται εκτενώς στις αξιολογήσεις της έκθεσης για να υπολογίσουν την περιβαλλοντική μοίρα και μεταφορά, τη συγκέντρωση των χημικών ουσιών στα διαφορετικά περιβαλλοντικά μέσα, την κατανομή των συγκεντρώσεων στο χώρο και το χρόνο κ.λπ. Τα μοντέλα μπορούν να παρέχουν γρήγορες, εύκολες και οικονομικά αποδοτικές εκτιμήσεις των περιβαλλοντικών συγκεντρώσεων. Μπορούν να υποστηρίξουν προσπάθειες συλλογής δεδομένων υποδεικνύοντας το απαραίτητο επίπεδο ανίχνευσης και υπολογισμού της ποσότητας (του ρυπαντή) και των θέσεων όπου οι χημικές συγκεντρώσεις αναμένεται να έχουν τις υψηλότερες τιμές. Όταν οι συγκεντρώσεις στα μέσα είναι διαθέσιμες, τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρεμβάλουν τις συγκεντρώσεις μεταξύ των μετρήσεων. Επειδή τα μοντέλα στηρίζονται στις έμμεσες μετρήσεις και σε στοιχεία μακρινά από το σημείο επαφής, οι στατιστικά έγκυρες αναλυτικές μετρήσεις παίρνουν την προτεραιότητα όταν οι αποκλίσεις αυξάνουν.

Ολοκληρώνοντας μπορούμε να πούμε ότι η χρήση των προτύπων διαλογής παρέχει τις αρχικές πληροφορίες για τον πιθανό κίνδυνο που προκύπτει από την έκθεση σε μια ορισμένη χημική ουσία. Εντούτοις, όταν τα επίπεδα αβεβαιότητας πρέπει να

μειωθούν, σύνθετες και ρεαλιστικές εργαστηριακές μελέτες και τα μοντέλα έκθεσης πρέπει να πραγματοποιηθούν.⁹

Ο χαρακτηρισμός κινδύνου είναι η ολοκλήρωση των πληροφοριών από: τον προσδιορισμό του κινδύνου, την αξιολόγηση της δόσης-αντίδρασης και την αξιολόγηση της έκθεσης. Παρέχει μια εκτίμηση της γενικής ποιότητας της αξιολόγησης και του βαθμού εμπιστοσύνης που οι συντάκτες έχουν ως προς τις εκτιμήσεις των κινδύνων και των συνεπαγόμενων συμπερασμάτων. Επιπλέον, περιγράφει τους κινδύνους για τα άτομα και τους πληθυσμούς και τη δριμύτητα της πιθανής ζημιάς και παρέχει τα αποτελέσματα αξιολόγησης του κινδύνου στους διαχειριστές του κινδύνου.

Κατά την ανάπτυξη του προσδιορισμού κινδύνου, της αξιολόγησης της δόσης-αντίδρασης και της αξιολόγησης της έκθεσης, ο αξιολογητής κάνει πολλές κρίσεις σχετικά με τη σχετικότητα και την καταλληλότητα των στοιχείων και της μεθοδολογίας. Αυτές οι κρίσεις συνοψίζονται στους μεμονωμένους χαρακτηρισμούς για τον προσδιορισμό κινδύνου, τον προσδιορισμό κινδύνου αξιολόγησης της δόσης-αντίδρασης και αξιολόγησης της έκθεσης, τη δόση-αντίδραση και την έκθεση. Στην ενσωμάτωση των μερών της αξιολόγησης ο αξιολογητής κινδύνου καθορίζει εάν μερικές από αυτές τις κρίσεις έχουν επιπτώσεις σε άλλα μέρη της αξιολόγησης και εάν τα μέρη της αξιολόγησης είναι συμβατά. Δεδομένου ότι ο στόχος μιας αξιολόγησης του κινδύνου είναι να ενημερωθεί το κοινό και οι υπεύθυνοι με σκοπό τη λήψη αποφάσεων για τον πιθανό περιβαλλοντικό και ανθρώπινο κίνδυνο μιας προοριζόμενης δράσης, η παρουσίαση των συμπερασμάτων που συνάγονται είναι ένα σημαντικό μέρος της όλης διαδικασίας. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων μιας διαδικασίας χαρακτηρισμού κινδύνου θα πρέπει να περιλαμβάνει όχι μόνο τις πληροφορίες που συγκεντρώνονται και τις εκτιμήσεις που γίνονται αλλά και μια σαφής και ρητή εξήγηση των επιπτώσεων και των περιορισμών της ανάλυσης. Ο χαρακτηρισμός αβεβαιότητας είναι απαραίτητος για να πραγματοποιηθεί αυτό υπεύθυνα. Μια δημόσια διάλεξη και μια εκτενής συζήτηση των αποτελεσμάτων με τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων επιτρέπουν να υπάρχουν οι πλήρεις πληροφορίες για την επιτύχουμε την καλύτερη απόφαση.⁹

Ένα βασικό τμήμα του χαρακτηρισμού κινδύνου είναι μια πλήρης συζήτηση και μια ανάλυση των αβεβαιοτήτων. Η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα μιας αξιολόγησης κινδύνου είναι συνεπώς μια λειτουργία «εμπιστοσύνης» στα αποτελέσματα κάθε ανάλυσης: κίνδυνος, δόση-αντίδραση και έκθεση. Η ανάλυση αβεβαιότητας μπορεί να είναι μια απλή ποιοτική ανάλυση ή μια περιπλοκότερη ποσοτική ανάλυση.

Η αβεβαιότητα μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις ευρείες κατηγορίες: ⁹

- Αβεβαιότητα από απύσες ή ελλιπείς πληροφορίες.
- Αβεβαιότητα σχετική με κάποια παράμετρο.
- Αβεβαιότητα σχετική με τα χάσματα στην επιστημονική θεωρία η οποία απαιτείται για να γίνουν οι προβλέψεις βάσει των περιστασιακών συμπερασμάτων.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα περιγραφικά λάθη, τα λάθη συνάθροισης ως αποτέλεσμα διάφορων προσεγγίσεων, τα λάθη επαγγελματικής κρίσης κατά την επιλογή στον καθορισμό των κατάλληλων περιβαλλοντικών μοντέλων ή στον καθορισμό αντίστοιχων περιβαλλοντικών συνθηκών, και της ελλιπούς ανάλυσης λόγω έλλειψης των πληροφοριών που απαιτούνται. Στην τελευταία υπόθεση ο αξιολογητής πρέπει να αναφέρει εάν τα συμπεράσματα είναι βασισμένα στα πραγματικά στοιχεία, τα ανάλογα ή την επαγγελματική κρίση.

Οι πηγές αβεβαιότητας παραμέτρου περιλαμβάνουν λάθη μετρήσεων (τυχαία ή συστηματικά), λάθη δειγματοληψίας σχετικά με την αντιπροσωπευτικότητα δειγματοληψίας, λάθη που προκύπτουν από την ανικανότητα να χαρακτηριστεί η μεταβλητότητα στις περιβαλλοντικές παραμέτρους και τις σχετικές με την έκθεση στον ρυπαντή παραμέτρους (εποχιακή μεταβλητότητα των μετεωρολογικών συνθηκών ή μεταβλητότητα στην ηλικία και το φύλο πληθυσμών), και τα λάθη που προκύπτουν από τα γενικά ή αναπληρωματικά στοιχεία όταν τα στοιχεία της συγκεκριμένης περιοχής δεν είναι διαθέσιμα. Προφανώς, τα μέρη μιας διαδικασίας αξιολόγησης κινδύνου όπου μεγάλες αβεβαιότητες προκύπτουν, είναι τα τμήματα δόση-αντίδραση και έκθεσης του ρυπαντή, επειδή σε αυτά γίνονται οι περισσότερες υποθέσεις εξαιτίας της έλλειψης των στοιχείων ή της χρήσης μοντέλων για την πρόβλεψη της έκθεσης και της δόσης, ιδιαίτερα όταν πραγματοποιούνται πολύπλοκες εκθέσεις σε ρυπαντές. ⁹

5. Περιγραφή του Προγράμματος ARGUS ONE

5.1 Γενικά

Το Argus One είναι ένα πρόγραμμα δημιουργίας κανάβου από σημεία και έχει ως βάση πεπερασμένων στοιχείων και διαφορές. Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει ψηφιοποιημένους χάρτες, τους οποίους μπορεί να επεξεργαστεί όποιο μέρος από αυτούς θέλει και αυτόματα δημιουργεί κανάβους από σημεία στο τμήμα που τον ενδιαφέρει. Έχει επίσης τη δυνατότητα να δίνει διάφορες μεταβλητές ή σε συγκεκριμένα σημεία – κόμβους ή σε όλο τον κανάβο χρησιμοποιώντας τα Layers.¹⁰

Το Layer είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στη χρήση του προγράμματος. Χρησιμοποιώντας αυτό το στοιχείο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει ταυτόχρονα πολλά δεδομένα στα διάφορα σημεία, τα οποία ανά κατηγορία παρουσιάζονται στα διάφορα Layers. Έτσι διάφορες πληροφορίες και δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν σε συγκεκριμένα είδη Layers. Τα βασικά στοιχεία με τα οποία το πρόγραμμα δουλεύει καθορίζονται στα Layers Domain, Mesh και Grid. Τα άλλα είδη των Layers είναι τα Information, Maps και Data.¹⁰

Το Layer Information χρησιμοποιείται για να συνδυάζει μεταβλητές με τους βρόγχους ή το πλέγμα. Σε ένα μόνο Layer Information είναι δυνατόν να καθοριστούν αρκετές μεταβλητές. Για παράδειγμα μπορεί να καθοριστεί η διαπερατότητα του εδάφους. Έτσι μπορούν να δοθούν στη συγκεκριμένη μεταβλητή μια σταθερή τιμή ή τιμές που να μεταβάλλονται χωρικά. Όταν συνδεθούν αυτές οι τιμές με το πλέγμα, μεταβιβάζονται στους κόμβους ή στα στοιχεία που έχουμε.

Τα Maps Layer χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή του ψηφιοποιημένου χάρτη της περιοχής μελέτης μας στο Argus One. Έτσι επιτρέπεται στον χρήστη να καθορίσει τα όρια της περιοχής μελέτης πάνω στον εισαγόμενο χάρτη. Τα Maps Layer επίσης χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία γραφικών διαφόρων ειδών, όπως ισούψεις ή τρισδιάστατων επιφανειών.

Το Data Layer χρησιμοποιείται για την εισαγωγή δεδομένων που έχουν δημιουργηθεί από άλλα προγράμματα (όπως PTC στη συγκεκριμένη περίπτωση) στο Argus One. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες περιπτώσεις : όπως για παράδειγμα στην δημιουργία γραφικών με βάση τα αποτελέσματα που έχουν δημιουργηθεί από το PTC.¹⁰

Τα Layers μπορούν να δημιουργηθούν ή να διαγραφούν από το χρήστη. Τα στοιχεία μιας εργασίας στο Argus μπορούν να σωθούν ως αρχεία. Ο φάκελος που περιέχει όλες τις πληροφορίες τις οποίες ο χρήστης μπορεί να έχει προσθέσει ή διαγράψει κατά την διάρκεια της εργασίας καλείται Argus Project και έχει την κατάληξη «mmb».

5.2 Βασικές Εξισώσεις που Χρησιμοποιούνται στο «PTC»

Το Princeton Transport Code (PTC) είναι ένας κώδικας επίλυσης ροής του υπόγειου νερού σε τρεις διαστάσεις και προσομοίωσης μεταφοράς των μολυντών του υπόγειου νερού. Το PTC είναι γραμμένο σε Fortran 77, έτσι μπορεί να τρέξει επιτυχώς σε μεγάλη ποικιλία υπολογιστών με λίγη ή καθόλου τροποποίηση. Έτσι το PTC μπορεί να εφαρμοστεί σε προσωπικό υπολογιστή και να τρέξει σε DOS.¹⁰

Το PTC χρησιμοποιεί τις παρακάτω βασικές εξισώσεις για να παρουσιάσει την κίνηση του υπόγειου ύδατος περιγράφοντας το υδραυλικό ύψος, h ,

$$\frac{\theta}{\theta x} \left(K_{xx} \frac{\theta h}{\theta x} \right) + \frac{\theta}{\theta y} \left(K_{yy} \frac{\theta h}{\theta y} \right) + \frac{\theta}{\theta z} \left(K_{zz} \frac{\theta h}{\theta z} \right) - S \frac{\theta h}{\theta t} + Q = 0 \quad (1.1)$$

τις συνιστώσες της ταχύτητας του υπογείου ύδατος

$$V_x = -K_{xx} \frac{\theta h}{\theta x}, \quad V_y = -K_{yy} \frac{\theta h}{\theta y}, \quad V_z = -K_{zz} \frac{\theta h}{\theta z} \quad (1.2)$$

και τις συνιστώσες μεταφοράς που περιγράφονται με την συγκέντρωση, c ,

$$\begin{aligned}
& \frac{\theta}{\theta\chi} \left[D_{xx} \frac{\theta c}{\theta\chi} + D_{xy} \frac{\theta c}{\theta y} D_{xz} \frac{\theta c}{\theta z} \right] + \frac{\theta}{\theta y} \left[D_{yx} \frac{\theta c}{\theta x} + D_{yy} \frac{\theta c}{\theta y} + D_{yz} \frac{\theta c}{\theta z} \right] + \\
& + \frac{\theta}{\theta z} \left[D_{zx} \frac{\theta c}{\theta x} + D_{zy} \frac{\theta c}{\theta y} + \frac{\theta c}{\theta z} \right] - \left[V_x \frac{\theta c}{\theta x} + V_y \frac{\theta c}{\theta y} + V_z \frac{\theta c}{\theta z} \right] + Q(c^\omega - c) - \\
& - \theta [1 + E(c)] \left(\frac{\theta c}{\theta t} \right) = 0
\end{aligned} \tag{1.3}$$

Οι παραπάνω εξισώσεις προέρχονται από τις αρχές διατήρησης της μάζας και από τον νόμο του Darcy. Η λύση των παραπάνω εξισώσεων ακολουθεί την εξής διαδικασία: αρχικά λύνεται η πρώτη εξίσωση παίρνοντας τα υδραυλικά ύψη, h , από την σχέση (1.1), στη συνέχεια υπολογίζονται οι ταχύτητες του Darcy V_x , V_y , V_z από την σχέση (1.2) και τελικά λύνουμε την εξίσωση (1.3) για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των μολυντών, c .¹⁰

5.2.1 Η Ροή του Υπόγειου Ύδατος σε Τρεις Κατευθύνσεις

Οι βασικές εξισώσεις

Το PTC προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά του συστήματος του υπόγειου ύδατος με την επίλυση του υδραυλικού ύψους μέσω των επιμέρους παρακάτω σχέσεων

$$\begin{aligned}
& \frac{\theta}{\theta x} \left(K_{xx} \frac{\theta h}{\theta x} \right) + \frac{\theta}{\theta y} \left(K_{yy} \frac{\theta h}{\theta y} \right) + \frac{\theta}{\theta z} \left(K_{zz} \frac{\theta h}{\theta z} \right) - S \frac{\theta h}{\theta t} + \\
& + \sum_{i=1}^r Q_i \delta(\chi - \chi_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) = 0
\end{aligned} \tag{2.1}$$

όπου οι θεμελιώδεις μεταβλητές των μονάδων σημαίνουν μήκος (L), χρόνος (Tα), και μάζα (M).

h είναι το υδραυλικό ύψος (L)

K_{xx} είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην x οριζόντια κατεύθυνση (LT^{-1})

K_{yy} είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην y οριζόντια κατεύθυνση (LT^{-1})

K_{zz} είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην z οριζόντια κατεύθυνση (LT^{-1})

S είναι ο ειδικός συντελεστής αποθηκευτικότητας (L^{-1})

Q_i είναι ο όρος της εκροής / κατείσδυσης στην περιοχή i (L^3T^{-1}) (π.χ. στις αντλίες, θετικές τιμές υποδηλώνουν έγχυση)

$\delta()$ είναι η Dirac δέλτα συνάρτηση.

r είναι ο αριθμός των σημείων εκροής / κατείσδυσης

Για ευκολία, ο τελευταίος όρος στη σχέση (2.1) θα συντομευτεί ως Q . Η βασική εξίσωση (2.1) λύνεται αριθμητικά από το PTC χρησιμοποιώντας τις μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών.¹⁰

5.2.2 Μεταφορά Μάζας σε τρεις Κατευθύνσεις

Οι βασικές εξισώσεις

Η εξίσωση μεταφοράς έχει ως εξής:¹⁰

$$\begin{aligned} & \frac{\theta}{\theta x} \left[D_{xx} \frac{\theta c}{\theta x} + D_{xy} \frac{\theta c}{\theta y} + D_{xz} \frac{\theta c}{\theta z} \right] + \frac{\theta}{\theta y} \left[D_{yx} \frac{\theta c}{\theta x} + D_{yy} \frac{\theta c}{\theta y} + D_{yz} \frac{\theta c}{\theta z} \right] + \\ & + \frac{\theta}{\theta z} \left[D_{zx} \frac{\theta c}{\theta x} + D_{zy} \frac{\theta c}{\theta y} + D_{zz} \frac{\theta c}{\theta z} \right] - \left[V_x \frac{\theta c}{\theta x} + V_y \frac{\theta c}{\theta y} + V_z \frac{\theta c}{\theta z} \right] + Q(c^\omega - c) - \end{aligned}$$

$$-\theta[1 + E(c)]\left(\frac{\theta c}{\theta t}\right) = 0 \quad (3.1)$$

Οι όροι διασποράς στην σχέση (3.1) καθορίζονται ως εξής: ¹⁰

$$D_{xx} = (\alpha_L V_x^2 + \alpha_T V_y^2 + \alpha_V V_z^2) / V \div D_M$$

$$D_{yy} = (\alpha_T V_x^2 + \alpha_L V_y^2 + \alpha_V V_z^2) / V \div D_M$$

$$D_{zz} = (\alpha_V V_x^2 + \alpha_V V_y^2 + \alpha_L V_z^2) / V \div D_M$$

$$D_{yx} = D_{xy} = (\alpha_L - \alpha_T) V_x V_y / V$$

$$D_{yz} = D_{zy} = (\alpha_L - \alpha_T) V_y V_z / V$$

$$D_{zx} = D_{xz} = (\alpha_L - \alpha_T) V_z V_x / V$$

Και οι εναπομείναντες όροι ως εξής: ¹⁰

D_M είναι ο μοριακός συντελεστής διάχυσης, γενικά με μικρή τιμή (L^2 / T)

α_L είναι η διαμήκης διασπορά (L)

α_T είναι η κατά πλάτος διασπορά (L)

α_V είναι η κατακόρυφη εγκάρσια διασπορά (L)

V είναι το μέγεθος του διανύσματος της ταχύτητας (L/T) ($V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$)

c είναι η χημική συγκέντρωση στο σημείο (x, y, z) τη χρονική στιγμή t (M / L^3)

θ είναι το πορώδες του υδροφορέα (χωρίς μονάδες)

$E(c)$ είναι ο όρος που αντιπροσωπεύει ιδιότητες της χημικής προσρόφησης

Q είναι η ισχύς άντλησης (πηγάδι / πηγή) ($1/T$) ($Q = Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)$)

Q_i είναι ο ογκομετρικός ρυθμός έγχυσης / εκκένωσης (L^3 / T) στο σημείο (x_i, y_i, z_i)

C^w είναι η συγκέντρωση του αντλούμενου υγρού στο σημείο (x_i, y_i, z_i)

$\delta()$ είναι η Dirac δέλτα συνάρτηση.

Σε όλες τις περιπτώσεις υποχώρησης μέσω της άντλησης ($Q_i \leq 0$), θεωρούμε ότι η συγκέντρωση του (υγρού) νερού c^w στην άντληση εξισώνει την συγκέντρωση των γειτονικών περιβάλλοντος νερό c . Έτσι, σε όλες τις αντλίες εκκένωσης, ο όρος $Q(c^w - c) = 0$ στην σχέση(3.1). Ο κώδικας συνεπώς διατηρεί τους όρους με Q στην (3.1) μόνο όταν υπάρχει αντλία να εκχύνει ($Q_i > 0$) την διαλυμένη ουσία, με την συγκέντρωση c^w να αντιπροσωπεύει την συγκέντρωση του υγρού που εκχύνεται.¹⁰

5.2.3 Οριακές Συνθήκες

Το PTC διαθέτει τρία είδη οριακών συνθηκών στην εξίσωση της ροής. Τα τρία είδη είναι Dirichlet (συγκεκριμένου ύψους), Neumann (συγκεκριμένης ροής), και του Cauchy (διαρροής) ή ροή εξαρτώμενη από το υδραυλικό ύψος. Οι οριακές συνθήκες μπορεί να αλλαχτούν από τον χρήστη κατά την διάρκεια της πορείας της προσομοίωσης. Η αθέτηση των οριακών συνθηκών για όλα τα όρια αποτελεί συνθήκη μηδενικής ροής. Αυτό υποδηλώνει έναν περιορισμένο υδροφορέα με αδιαπέραστες πλευρές και πυθμένα. Με την επιλογή εναλλακτικών οριακών συνθηκών σε ολόκληρη την έκταση, ο χρήστης μπορεί να παρουσιάσει διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες. Αναλυτικότερα:¹⁰

➤ *Συγκεκριμένο Ύψος (Dirichlet Conditions – 1^{ov} είδους)*

Τα όρια συγκεκριμένου ύψους προσομοιώνονται θέτοντας τα υδραυλικά ύψη στους σχετικούς οριακούς κόμβους ίσα με τις τιμές των γνωστών υδραυλικών τιμών. Όταν το όριο είναι ένας ποταμός, το υδραυλικό ύψος παραπλεύρως του ορίου θα ποικίλει χωρικά, ενώ για λίμνες και υδατοδεξαμενές το όριο περιγράφεται από συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους. Στις προσομοιώσεις περιοχών δύο κατευθύνσεων, οι οριακοί κόμβοι συγκεκριμένου υδραυλικού ύψους αντιπροσωπεύουν καθολική περατότητα μέσω της επιφάνειας του υδατικού σώματος ή το κατακόρυφο μέσο υδραυλικό ύψος στον υδροφορέα στα υδραυλικά όρια. Στην κατανομή και στα

μοντέλα τριών διαστάσεων, κόμβοι συγκεκριμένου υδραυλικού ύψους αντιπροσωπεύουν την υδατική πλάκα ή την επιφάνεια των υδατικών σωμάτων.

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι τα όρια συγκεκριμένου υδραυλικού ύψους αντιπροσωπεύουν μια ανεξάντλητη υδατική περιοχή. Το σύστημα του υπόγειου ύδατος μπορεί να προσλαμβάνει νερό από τα όρια ή μπορεί να εκβάλλει νερό στα όρια χωρίς να μεταβάλλεται το υδραυλικό ύψος στους κόμβους συγκεκριμένου υδραυλικού ύψους. Σε μερικές περιπτώσεις το παραπάνω σενάριο μπορεί να αποτελεί μη ρεαλιστική προσέγγιση σε όλο το υδατικό σύστημα. Παρέχεται η δυνατότητα βέβαια, της αλλαγής του υδραυλικού ύψους του ορίου καθώς η διαδικασία της προσομοίωσης προτείνει μια νέα τιμή για το υδραυλικό ύψος του ορίου.¹⁰

➤ *Συγκεκριμένη Ροή (Neuman Conditions – 2^ο είδους)*

Οι συνθήκες συγκεκριμένης ροής χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ροών στην επιφάνεια υδατικών σωμάτων, πίδακες, υπόγεια ροή και τον διαποτισμό από και προς το θεμελιώδες βραχώδες υπόστρωμα του συστήματος. Οι συνθήκες σταθερής ροής μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση υδραυλικών ορίων καθορισμένα από πληροφορίες από την τοπική ροή του συστήματος. Ωστόσο, όποτε είναι δυνατό, επιλέγονται συνθήκες συγκεκριμένου υδραυλικού ύψους περισσότερο από ότι συνθήκες συγκεκριμένης ροής γιατί είναι ευκολότερη η μέτρηση υδραυλικού ύψους από την μέτρηση της ροής. Οι συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους είναι επιπλέον περισσότερο χρήσιμες στην πραγματοποίηση της βαθμονόμησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ωστόσο, μπορεί να είναι ενδεδειγμένη η χρήση των συνθηκών συγκεκριμένης ροής. Για παράδειγμα, οι ροές στο σύστημα μπορεί να είναι σταθερές αν και τα υδραυλικά ύψη κατά μήκος των ορίων μπορεί να είναι μεταβαλλόμενα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Στα μοντέλα πεπερασμένων διαφορών, τα όρια συγκεκριμένης ροής προσομοιώνονται με τη χρησιμοποίηση πηγαδιών έγχυσης ή άντλησης για έγχυση ή εξαγωγή νερού στο συγκεκριμένο ρυθμό. Οι εισροές θεωρούνται ως όγκος του νερού που βρίσκεται σε κάθε κελί. Η ροή θεωρείται ότι είναι ομοιόμορφα διανεμημένη σε όλη την επιφάνεια του κελιού. Στα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων, ο χρήστης

προσδιορίζει την ροή στο τμήμα του ορίου ανάμεσα σε δύο κόμβους. Τόσο οι κώδικες των πεπερασμένων διαφορών όσο και των πεπερασμένων στοιχείων έχουν μια ξεχωριστή ευχέρεια που επιτρέπει το ξαναγέμισμα του υδροφορέα να εισαχθεί απευθείας ως ταχύτητα (L/T).¹⁰

➤ **Ροή εξαρτώμενη από το υδραυλικό ύψος (Cauchy Conditions – 3^{ov} είδους)**

Η ροή μέσω αυτού του είδους ορίου εξαρτάται από τη διαφορά ανάμεσα στο καθορισμένο υδραυλικό ύψος που θέτει ο χρήστης στη μία μεριά του ορίου και από το υπολογιζόμενο από το μοντέλο, υδραυλικό ύψος στην άλλη μεριά. Η συμπεριφορά της εξαρτώμενης ροής από το υδραυλικό ύψος στα μοντέλα πεπερασμένης διαφορά και στα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων είναι παρόμοια με εξαίρεση το γεγονός ότι στα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων οι ροές παρουσιάζονται στους κόμβους, ενώ στα μοντέλα πεπερασμένων διαφορών οι ροές υπολογίζονται για το κελί.

Η διαρροή από ή προς το ποτάμι, λίμνη ή υδαταποθήκη μπορεί να προσεγγιστεί χρησιμοποιώντας συνθήκες εξαρτώμενες από υδραυλικά ύψη. Η ροή ή ο ρυθμός διαρροής (L) υπολογίζεται ως εξής:¹⁰

$$L = Q_L / A = K_z' / b (h_{\text{source}} - h)$$

Όπου Q_L είναι η ογκομετρική ροή και A είναι η περιοχή του κελιού μέσω του οποίου λαμβάνει χώρα η διαρροή, h_{source} είναι το υδραυλικό ύψος στην πηγή της υδαταποθήκης (π.χ. μια λίμνη ή ποταμός) και h είναι το υδραυλικό ύψος στον αμέσως υποκείμενο υδροφορέα ή παρακείμενο στην πηγή. Το K_z' αποτελεί την κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα της κοινής επιφάνειας που διαχωρίζει τον υδροφορέα από την πηγή, b' είναι το πάχος της κοινής επιφάνειας. Ο χρήστης καθορίζει τα K_z' , b' , και h_{source} . Η επικρατούσα τιμή του h που υπολογίζεται από το μοντέλο, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού διαρροής. Η εξατμισοδιαπνοή μέσω της υδατικής πλάκας μπορεί επίσης να παρουσιαστεί ως όριο εξαρτώμενο από το υδραυλικό ύψος, όπου η ροή μέσω του ορίου είναι ανάλογη του βάθους της υδατικής πλάκας κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.¹⁰

6. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ARGUS ONE

6.1 Γενικά

Στο καιφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στον τρόπο εκτέλεσης του προγράμματος Argus one σύμφωνα με τα πιθανά σενάρια και τις αρχικές τιμές που εισάγονται στο πρόγραμμα προκειμένου να προκύψουν συμπεράσματα για την ασφαλή ή όχι λειτουργία της εγκατάστασης Χ.Υ.ΤΑ της περιοχής Χερσονήσου σε περίπτωση αστοχίας και διασποράς των στραγγισμάτων στον υπόγειο υδροφορέα της περιοχής μελέτης.

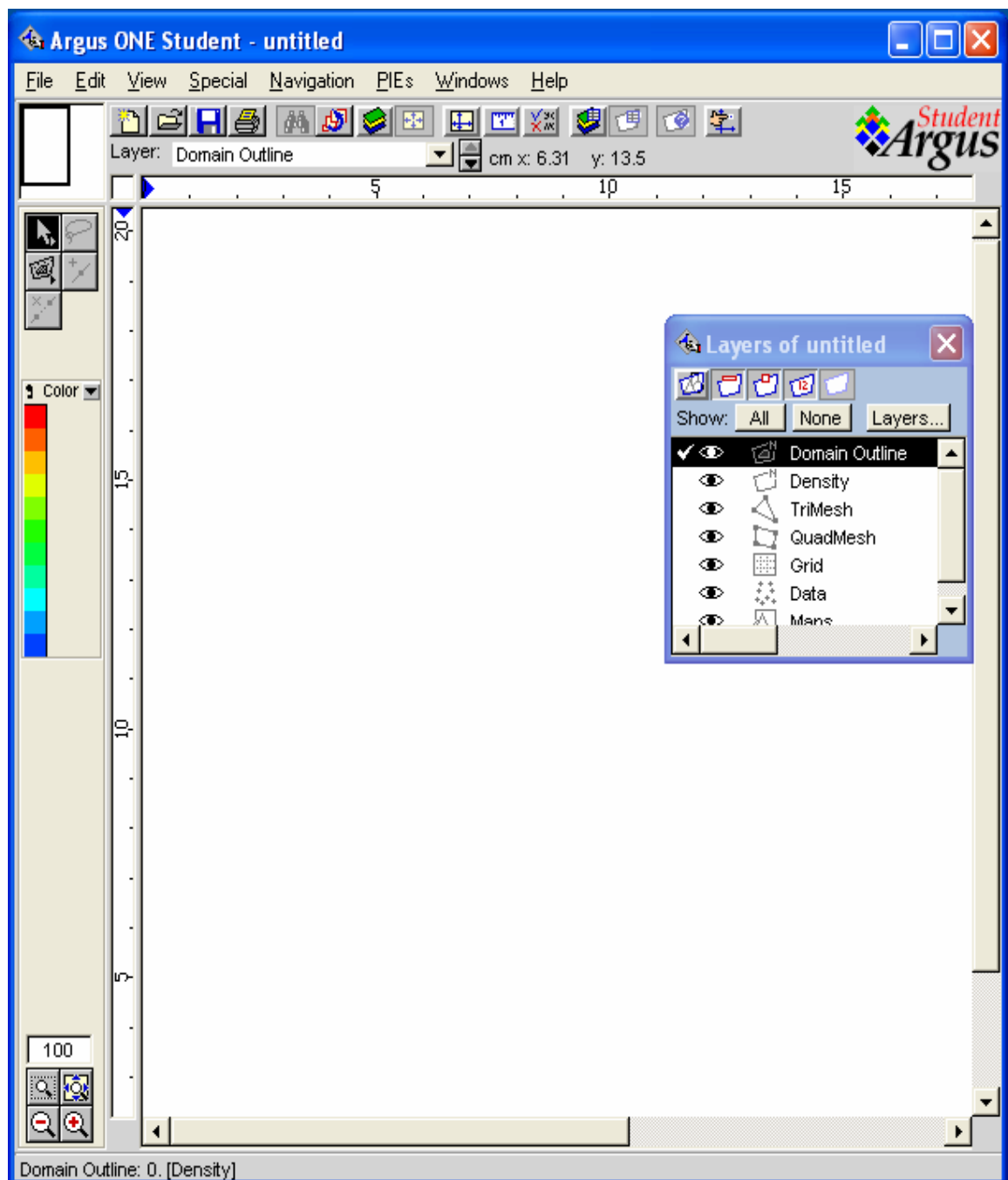
Οι τιμές που αναφέρονται παρακάτω και αφορούν στα υδρογεολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης καθώς και τα σενάρια αστοχίας και διασποράς της εγκατάστασης των Χ.Υ.ΤΑ Χερσονήσου είναι υποθετικά και χρησιμοποιούνται μόνο για την δημιουργία κατάλληλου υποβάθρου για την εξαγωγή συμπερασμάτων διασποράς ρύπων σε υπόγειους υδροφορείς παράκτιων περιοχών.

Η διαδικασία εκτέλεσης του προγράμματος περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια :

- ο Καθορισμός της ευρύτερης περιοχής μελέτης . Σε αυτό το στάδιο γίνεται εισαγωγή τοπογραφικών δεδομένων της περιοχής με την μορφή υψομετρικού χάρτη ή άλλης διαθέσιμης τοπογραφικής αποτύπωσης. Πάνω σε αυτόν τον χάρτη καθορίζεται η περιοχή που θα λάβει χώρα η μοντελοποίηση και στην οποία θα αναφερόμαστε για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η περιοχή αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει την περιοχή Χ.Υ.ΤΑ καθώς και όλη την ζώνη που γειτνιάζει και επηρεάζεται από την λειτουργία των εγκαταστάσεων υγειονομικής ταφής απορριμάτων.
- ο Ακολούθως αυτή η περιοχή θα πρέπει να κατακερματιστεί με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων προκειμένου μέσω του προγράμματος να επιλυθούν οι διαφορικές εξισώσεις ροής και μάζας.
- ο Το επόμενο στάδιο είναι η εισαγωγή των διαφόρων υδρογεολογικών παραμέτρων και αρχικών τιμών καθώς και των οριακών συνθηκών βάση των οποίων το πρόγραμμα θα υπολογίσει τις συγκεντρώσεις , τα υδραυλικά ύψη και τις ταχύτητες ροής στην υπο μελέτη περιοχή στο χωροχρονικό εύρος που έχει προκαθοριστεί.
- ο Τέλος ακολουθεί η εκτέλεση του προγράμματος και η εξαγωγή αποτελεσμάτων.

6.2 Αναλυτική παρουσίαση των σταδίων εκτέλεσης του Argus One.

Με την έναρξη του προγράμματος εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο διαλόγου .



Για να ξεκινήσει μια νέα εργασία ενεργοποιούμε την εντολή New PTC Project από το κεντρικό μενού επιλογών του προγράμματος (PIEs – New PTC Project) . Με την εντολή αυτή εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο με δύο υποκαρτέλες α) General και β) Stresses.

Η πρώτη υποκαρτέλα (General) δίνει την δυνατότητα να δοθεί τίτλος στην παρούσα εργασία , να περιγραφεί το είδος του υδροφορέα εάν δηλαδή πρόκειται για κλειστό ή ανοικτό , να καθοριστεί το είδος του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων που δημιουργεί το πρόγραμμα όπου δίνονται δύο επιλογές τριγωνικά και τετράπλευρα καθώς επίσης να προκαθοριστεί ο αριθμός των επιπέδων (layers) που θα κατασκευαστούν και η τιμή σύγκλισης όπου το πρόγραμμα θα θεωρεί ότι έχει φτάσει μετά από αρκετούς κύκλους υπολογισμών σε σταθερές συνθήκες .

The screenshot shows the 'PTC Configuration' dialog box with the 'General' tab selected. The 'Project title' field contains 'X.Y.T.A. Χερσονήσου'. Under 'Mesh type', 'Triangular' is selected. 'Physical properties' include 'Molecular diffusion' at 0.0001 and 'Upstream weight' at 1. 'Steady state criterion' is 0.001. The 'Use water table' checkbox is checked, with 'Number of iterations for watertable' at 50 and 'Convergence criterion' at 0.0001. 'Number of layers' is set to 1, with a table showing layer 1. 'Output Control' has all checkboxes checked. 'Insert Layer' and 'Delete Layer' buttons are at the bottom right of the layers table. 'OK' and 'Άκυρο' buttons are at the bottom right of the dialog.

Layer number
1

*Οι επιλογές κάτω από την καρτέλα (Output control) πρέπει να είναι όλες τσεκαρισμένες ώστε το πρόγραμμα να λητουργήσει κανονικά .

Στη συνέχεια ανοίγοντας την υποκαρτέλα Stresses έχουμε την εικόνα που ακολουθεί:

PTC Configuration

General Stresses

Stress	Flow	Velocity	Transport	Length
1	1	1	1	7300

Insert Modify Delete

General control

- ☒ Do flow
- ☒ Do velocity
- ☒ Do transport
- ☒ Use memory
- ☒ Do mass balance

Time control

Total number of time steps: 7300

No. of flow time-steps reset: 20

No. of flow time-steps no-change: 1

No. of conc. time-steps per flow: 2

Time-step multiplier: 1

Total time: 7300

Graphs control

Time step of first flow output: 7300

Output period flow: 7300

Time step of first conc. output: 7300

Output period conc.: 7300

Number of stress periods: 1

Graphics filenames for heads: heads

Total simulation time: 7300

Graphics filenames for concentrations: concs

OK Ακυρο

Στο σημείο αυτό έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε το είδος των υπολογισμών που θα εκτελέσει το πρόγραμμα ,έτσι στο μενού επιλογών General control μπορούμε να τσεκάρουμε να υπολογίζονται εκτός από την ροή , οι ταχύτητες , η μεταφορά ρύπου και να γίνεται ισοζύγιο μάζας.

Σε πρώτη φάση και για να επιτύχουμε μεγαλύτερες ταχύτητες στους υπολογισμούς στεκάρουμε μόνο την επιλογή Do flow ώστε να υπολογίσουμε τα υδραυλικά ύψη και στην συνέχεια αφού έχουμε τα υδραυλικά ύψη στεκάρουμε και τις άλλες επιλογές. Η επιλογή use memory πρέπει να είναι σε κάθε περίπτωση επιλεγμένη ώστε να πραγματοποιούνται ταχύτερα οι υπολογισμοί.

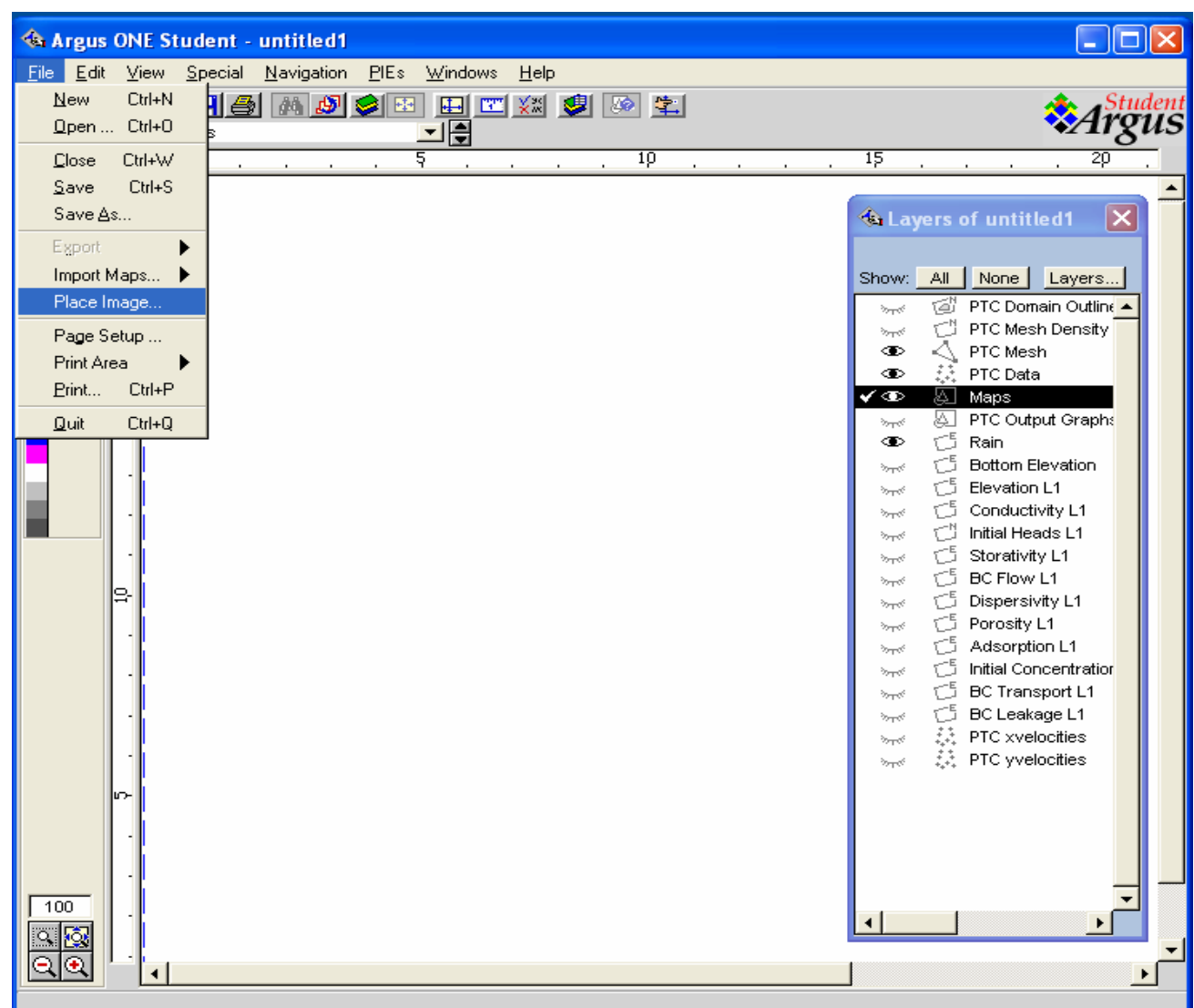
Σε αυτό το παράθυρο διαλόγου έχουμε ακόμα την δυνατότητα να επιλέξουμε την χρονική περίοδο της μελέτης , στην παρούσα επειδή εξετάζονται διάφορα σενάρια έχει επιλεγεί αρχικά περίοδος Δέκα ετών (3650 ημερών) και στην συνέχεια περίοδος 20 ετών (7300 ημερών).

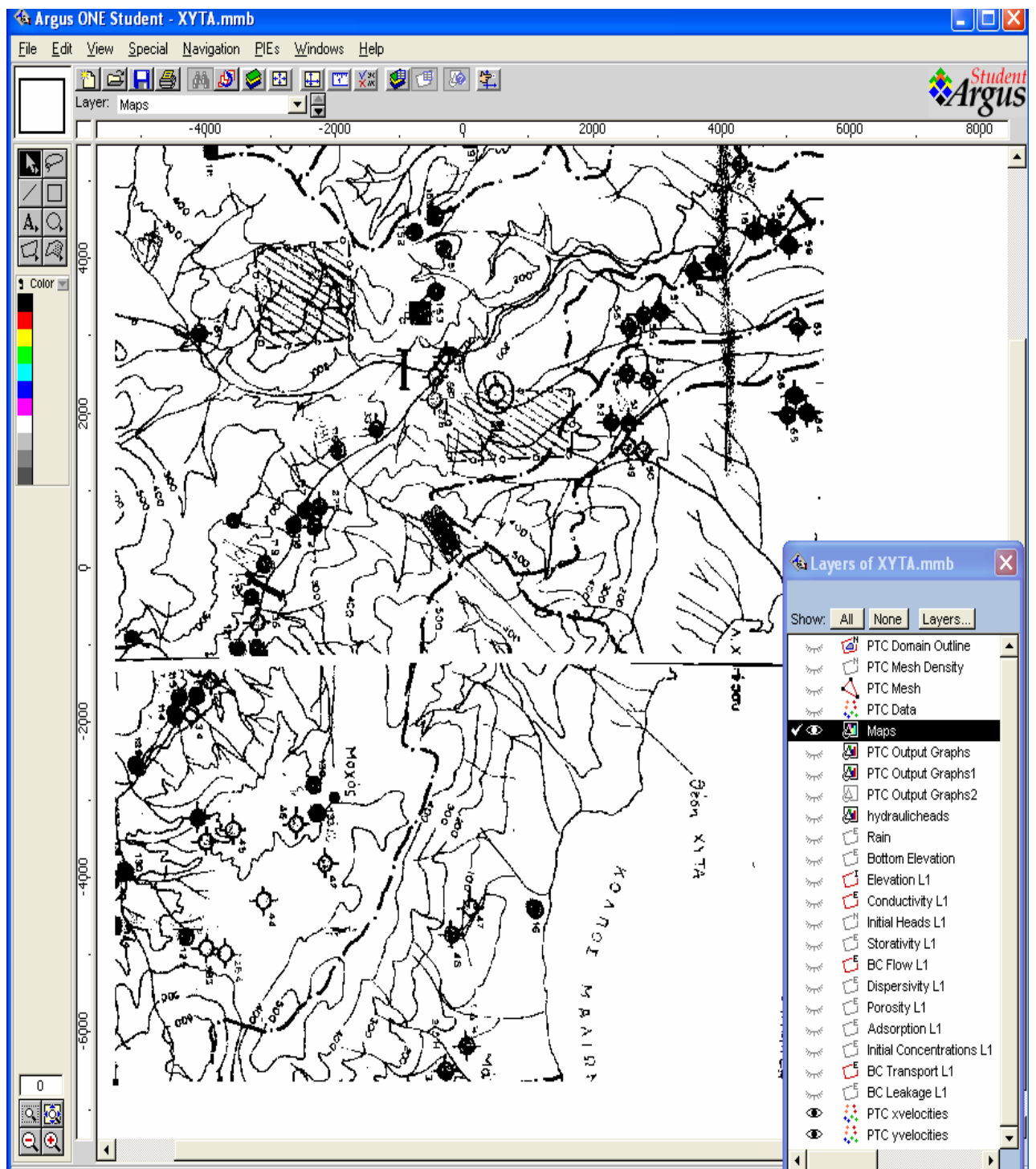
Για τον υπολογισμό των υδραυλικών υψών επιλέγεται βήμα μίας ημέρας ενώ για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων το βήμα θα πρέπει να είναι μικρότερο. Γιαυτό το λόγο στην επιλογή No. of conc. Time-steps per flow δίνεται ο αριθμός 2 που σημαίνει ότι για την ίδια χρονική περίοδο ο συνολικός αριθμός βημάτων για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων θα είναι διπλάσιος.

Η επιλογή (1) που έχει δοθεί στις περιοχές Time step multiplier και No of flow time steps no change σημαίνει ότι το βήμα θα είναι σταθερό. Όσον αφορά την καρτέλα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων επιλέγεται σε κάθε περίπτωση να γίνει μετά το τέλος της χρονικής περιόδου των δέκα και είκοσι ετών αντίστοιχα, ενώ ορίζονται και τα ονόματα των αρχείων στα οποία θα γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

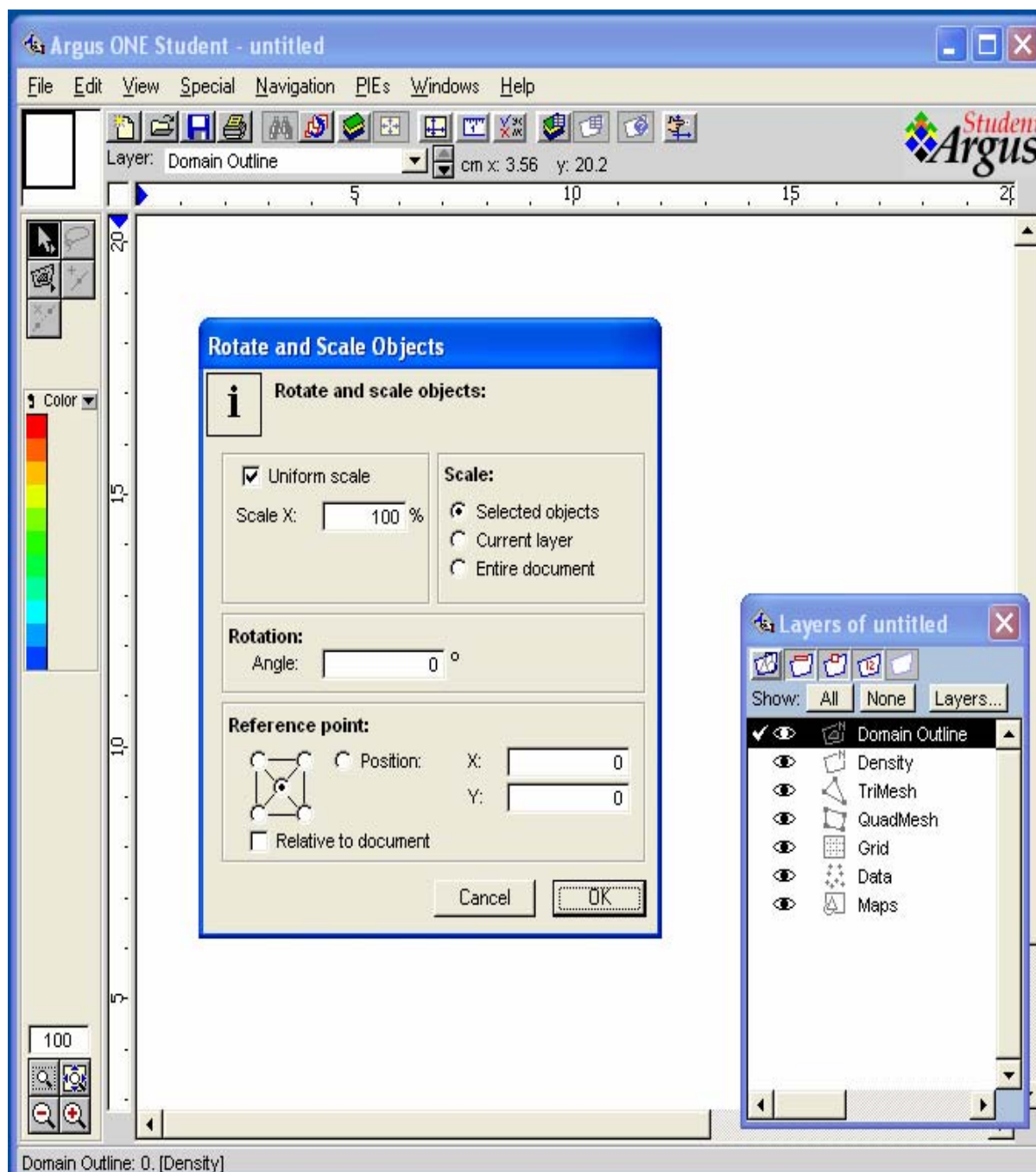
Εισαγωγή περιοχής μελέτης με την μορφή αρχείου .gif.

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης ο χάρτης της περιοχής με σημειωμένη την περιοχή των εγκαταστάσεων X.Y.TA Χερσονήσου αφού σαρώθηκε και ψηφιοποιήθηκε εισήχθη στο πρόγραμμα με την μορφή αρχείου .gif. Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά η διαδικασία εισαγωγής με την βοήθεια των παραθύρων του προγράμματος.

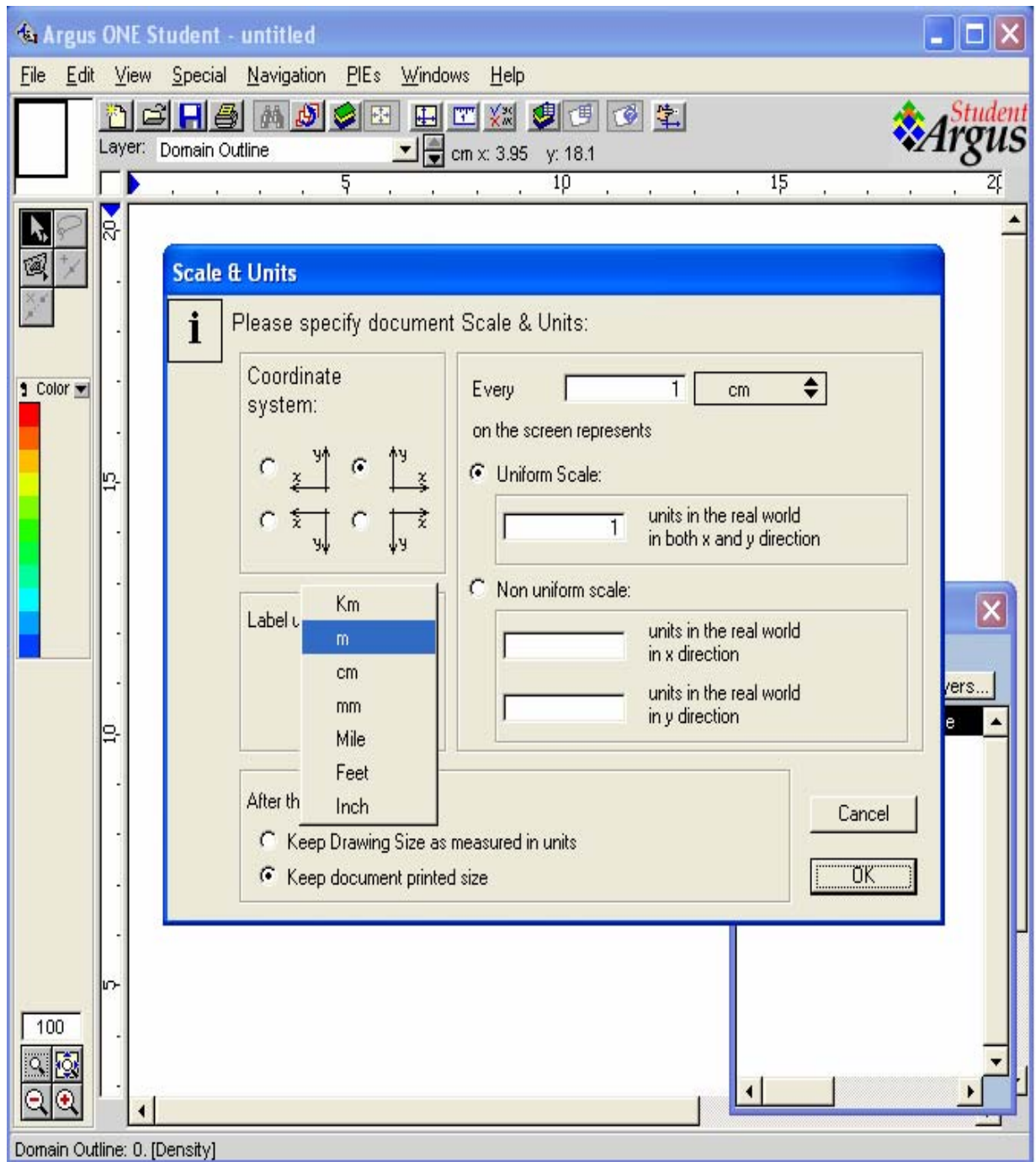




Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει μια επεξεργασία της κλίμακας του χάρτη έτσι ώστε να συσχετίζονται οι συντεταγμένες της οθόνης με αυτές του πεδίου. Είναι απαραίτητο η αναλογία μεταξύ των συντεταγμένων της οθόνης και των πραγματικών συντεταγμένων να είναι ακέραιος αριθμός. Αν αυτή η αναλογία δεν τηρείται τότε από το κεντρικό μενού επιλογών Special – Rotate and Scale εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα:



Με κατάλληλη εισαγωγή ποσοστού στην επιλογή Scale X μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή αναλογία ένα προς ένα μεταξύ της μονάδας της οθόνης και του ενός μέτρου του χάρτη. Όλες οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο πρέπει να έχουν την ίδια μονάδα μέτρησης μήκους (1μ).

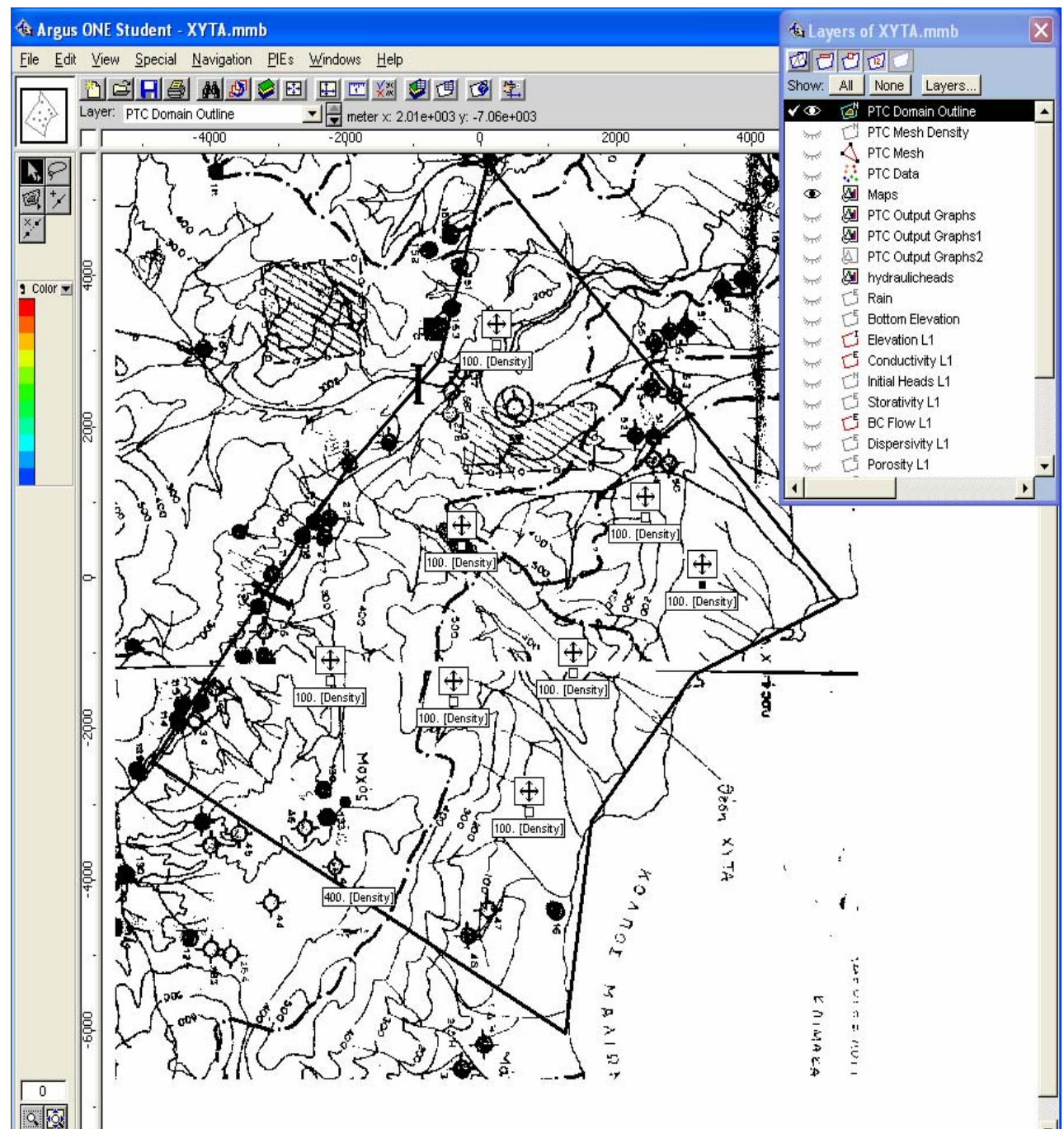


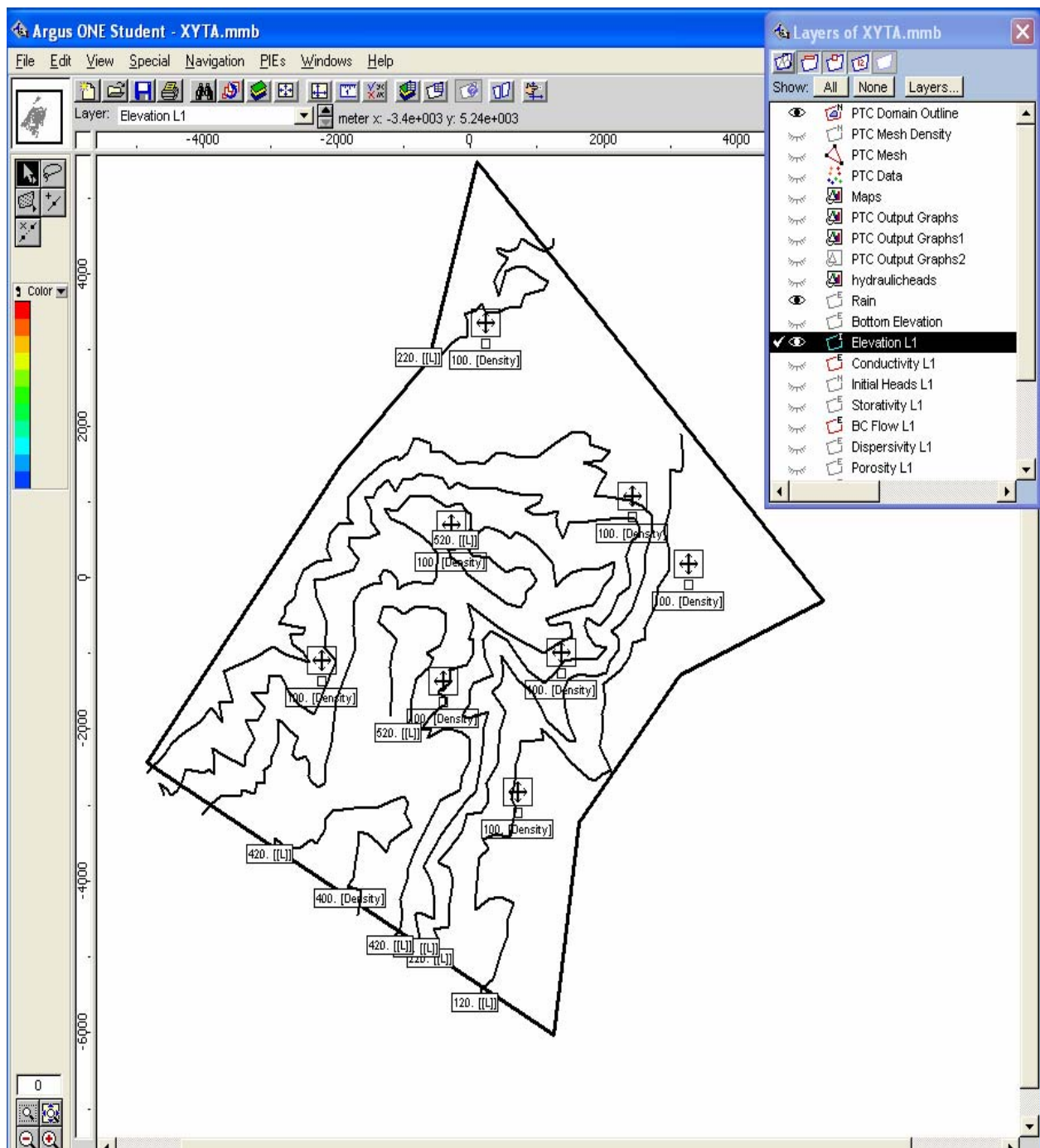
Το αμέσως επόμενο βήμα είναι να οριοθετηθεί πάνω στον χάρτη η ακριβής περιοχή που θα λάβει χώρα η μοντελοποίηση.

Με ενεργό το Layer PTC Domain Outline και χρησιμοποιώντας το Geographic Tool δημιουργείται κλειστό πολύγωνο όπως φαίνεται παρακάτω.

Αμέσως μετά την δημιουργία του πολυγώνου πρέπει να καθοριστεί η πυκνότητα του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων. Για τριγωνική διάταξη δικτύου η τιμή που δίνεται αντιπροσωπεύει το μήκος της πλευράς του τριγώνου. Στην παρούσα μελέτη έχει χρησιμοποιηθεί η τιμή 400.

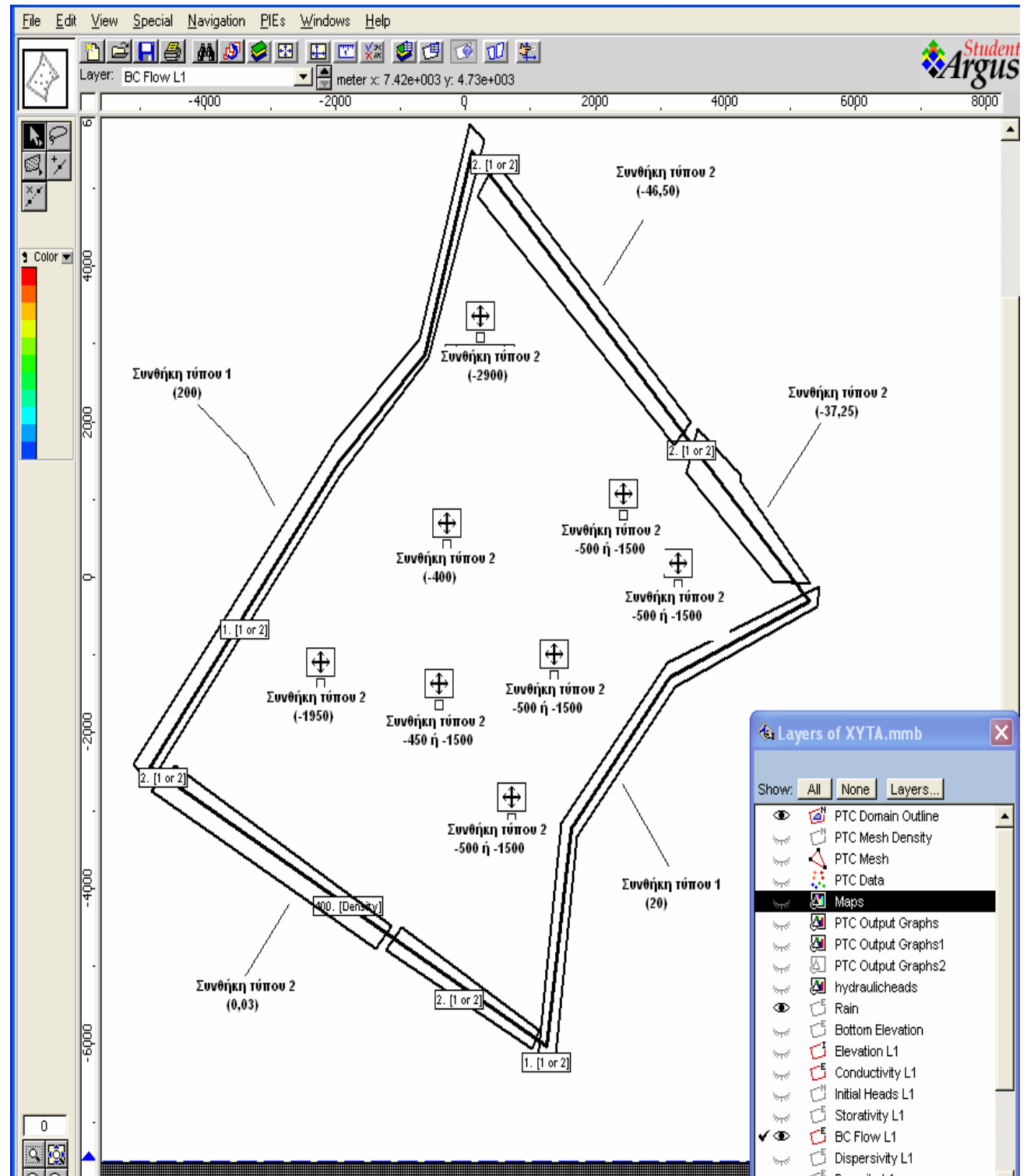
Με ανάλογο τρόπο και με την βοήθεια του point tool τοποθετούμε και τα πηγάδια καθορίζοντας ταυτόχρονα και την πυκνότητα του τριγωνικού δικτύου γύρω από αυτά.





Με δεδομένο ότι το πάχος του υδροφορέα στην παράκτια περιοχή του κόλπου των Μαλίων είναι 20 μ και με την βοήθεια των ισουψών καμπυλών του χάρτη κατασκευάζουμε τις καμπύλες του παραπάνω σχήματος έχοντας ενεργοποιημένο το layer Elevation L1. Οι καμπύλες αυτές είναι ισουψής και εκφράζουν σε κάθε περίπτωση το βάθος του υδροφορέα.

Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της περιοχής φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Η ανάντι πλευρά του υδροφορέα θεωρήθηκε ότι έχει σταθερό υδραυλικό ύψος 200 μ πράγμα που προέκυψε από της μετρήσεις υφιστάμενων πηγαδιών κατά μήκος του ορίου αυτού. Σταθερό υδραυλικό ύψος θεωρήθηκε ότι έχει και η παράκτια ζώνη με σταθερό υδραυλικό ύψος 20μ.

Για τα υπόλοιπα όρια θεωρήθηκε ότι υπάρχει απώλεια νερού σταθερής υδραυλικής κλίσης (Συνθήκη τύπου 2 ή Newman) με τιμές που φαίνονται στο σχήμα..

Ο τρόπος που εισάγονται στο πρόγραμμα οι οριακές συνθήκες ακολουθεί τα παρακάτω στάδια.

- Με το εργαλείο Geographic Tool και έχοντας ενεργό το layer BC Flow L1 κατασκευάζουμε κλειστά πολύγωνα με τα οποία περικλείουμε κάθε πλευρά της περιοχής μοντελοποίησης.
- Με το κλείσιμο κάθε πολυγώνου εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο διαλόγου που παραπέμπει στον καθορισμό του είδους των οριακών συνθηκών και των αντιστοίχων τιμών.
- Οι οριακές συνθήκες σε πηγάδια εισάγονται ανάλογα αφού πρώτα αντιγραφούν οι πληροφορίες που υπάρχουν στο Layer PTC Domain Outline. Η αντιγραφή γίνεται με τις εντολές copy και paste μεταφέροντας έτσι τις πληροφορίες από το ένα layer στο άλλο. Με διπλό κλικ στα σημεία που υπάρχουν πηγάδια εμφανίζεται όπως και πρίν πλαίσιο διαλόγου όπου καθορίζονται οι τιμές φόρτισης θετικές ή αρνητικές εκφρασμένες σε όγκο ανα χρόνο. Οι οριακές συνθήκες των πηγαδιών είναι τύπου 2.

Contour Information

Please enter value for this contour:

OK Cancel

Contour is: One point
Number of vertices: 1
Contour area: 0
Contour length: 0

Contour name:

Icon: **Source**

Parameter	f_x	Value	Units
BC Type L1		2	1 or 2
BC Stress1		-2900	

Καθορισμός της οριακής συνθήκης τύπου 2

Contour Information

Please enter value for this contour:

OK Cancel

Contour is: Closed
Number of vertices: 8
Contour area: 2.99292e+006
Contour perimeter: 20444.5

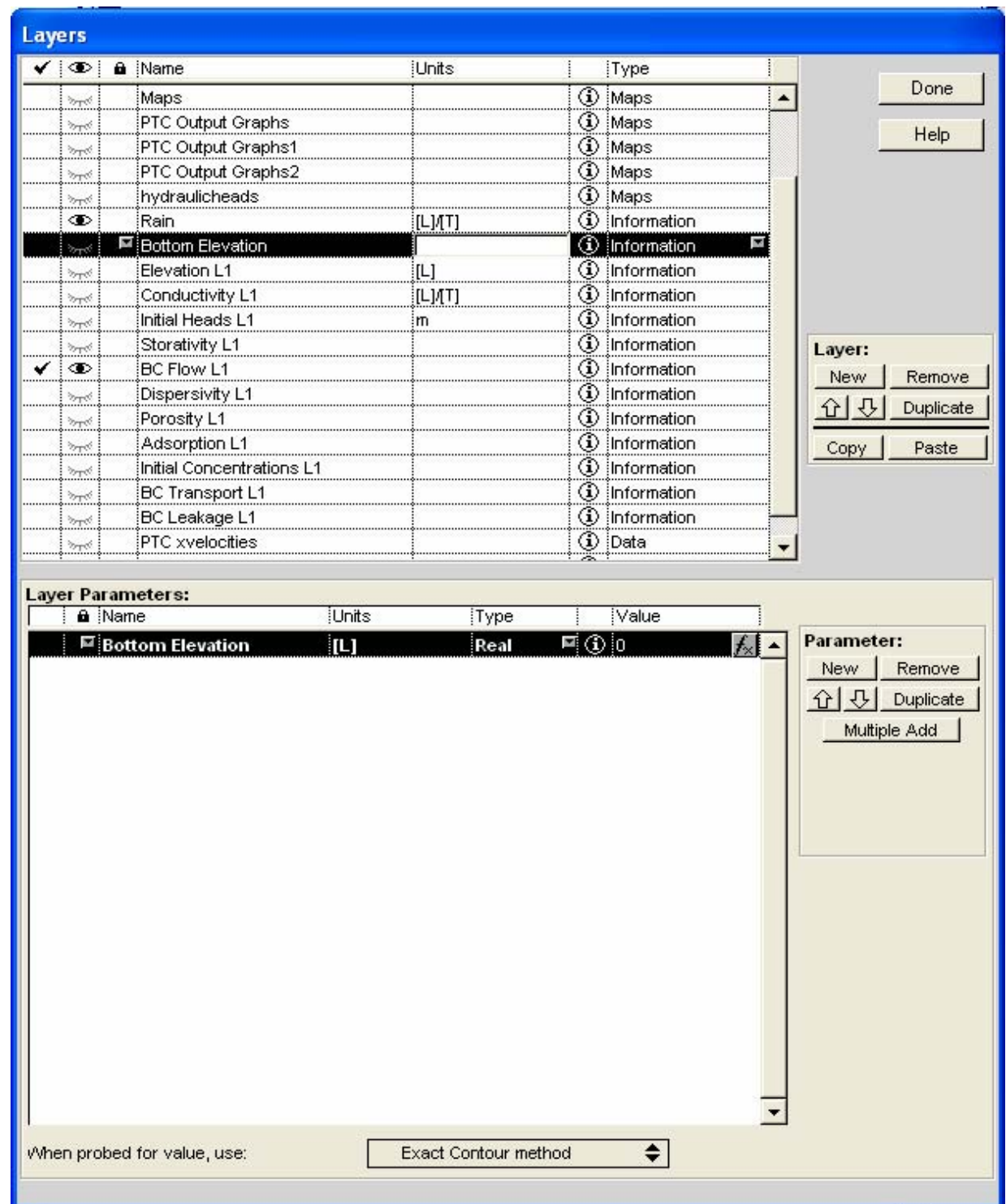
Contour name:

Icon: **None**

Parameter	f_x	Value	Units
BC Type L1		1	1 or 2
BC Stress1		200	

Καθορισμός της οριακής συνθήκης τύπου 1

Η εισαγωγή των υπόλοιπων παραμέτρων γίνεται μέσα από το παράθυρο διαχείρισης των layers όπως αυτό που ακολουθεί στο οποίο και δίνονται για κάθε layer οι τιμές των αντιστοιχών παραμέτρων.



Εισαγωγή λοιπών παραμέτρων.

- **Υψόμετρο Πυθμένα (bottom elevation)**

Η μέτρηση των υδραυλικών υψών γίνεται με βάση κάποιο επίπεδο αναφοράς . Στην παρούσα μελέτη ως υψόμετρο του επιπέδου αναφοράς δίνεται η τιμή 0.

- **Υδραυλική Αγωγιμότητα**

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της υδρογεολογικής έρευνας στην περιοχή της μελέτης που άρχισε το παράρτημα ΙΓΜΕ Κρήτης το 1986 , Η πεδινή και ημιορεινή περιοχή καλύπτεται κυρίως από τεταρτογενείς (κροκαλοπαγή) και νεογενείς αποθέσεις (μάργες και μαργαικούς ασβεστόλιθους).

Η τιμή 3 μ / ημέρα είναι η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας στις διευθύνσεις χ και γ του χώρου .

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας στην κατακόρυφη διεύθυνση λαμβάνεται δέκα φορές μικρότερη δηλαδή 0,3 μ / ημέρα

Στο τέλος της παρούσας μελέτης παρατίθεται παράρτημα με εδαφικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή.

- **Πορώδες**

Με βάση τις μετρήσεις του ΙΓΜΕ Κρήτης όπου φαίνεται στην περιοχή μελέτης να επικρατεί κατακερματισμένος ασβεστόλιθος η τιμή του πορώδους σε αντιστοιχία με την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας λαμβάνεται ίση με 0,4.

- **Συντελεστής αποθήκευσης (Storativity L1)**

Σε ένα στοιχειώδη όγκο κορεσμένου πορώδους υλικού , ο όγκος του νερού που αποθηκεύεται στο στοιχειώδη αυτό όγκο από μια αύξηση του υδραυλικού ύψους ή τη μείωση ονομάζεται συντελεστής ειδικής αποθήκευσης και η τιμή του δίνεται από την σχέση :

$$S_o = \rho \, g \, (a + n \, \beta)$$

α: η συμπιεστότητα του εδάφους

β: η συμπιεστότητα του νερού

ρ: η πυκνότητα του νερού

n: το πορώδες

Ο συντελεστής ειδικής αποθήκευσης έχει τιμή μικρότερη από 0,0001 και οι διαστάσεις του είναι 1/L.

Ο συντελεστής αποθήκευσης του υδροφορέα είναι αδιαστατο μέγεθος και προκύπτει από το γινόμενο του ειδικού συντελεστή αποθήκευσης με το πάχος του υδροφορέα. Στην παρούσα μελέτη ο Συντελεστής αποθήκευσης λαμβάνεται ίσος με 0,0001.

- **Αρχικό υδραυλικό ύψος (Initial Head)**

Ως αρχικό υδραυλικό ύψος στην παρούσα μελέτη λαμβάνεται η τιμή 20.

- **Βροχόπτωση (Rain)**

Η τιμή που δίνεται για την βροχόπτωση είναι 0,0018 μ / ημέρα και εκφράζει την καθαρή διήθηση στην επιφάνεια του γεολογικού στρώματος..

- **Διασπορά (Dispersivity L1)**

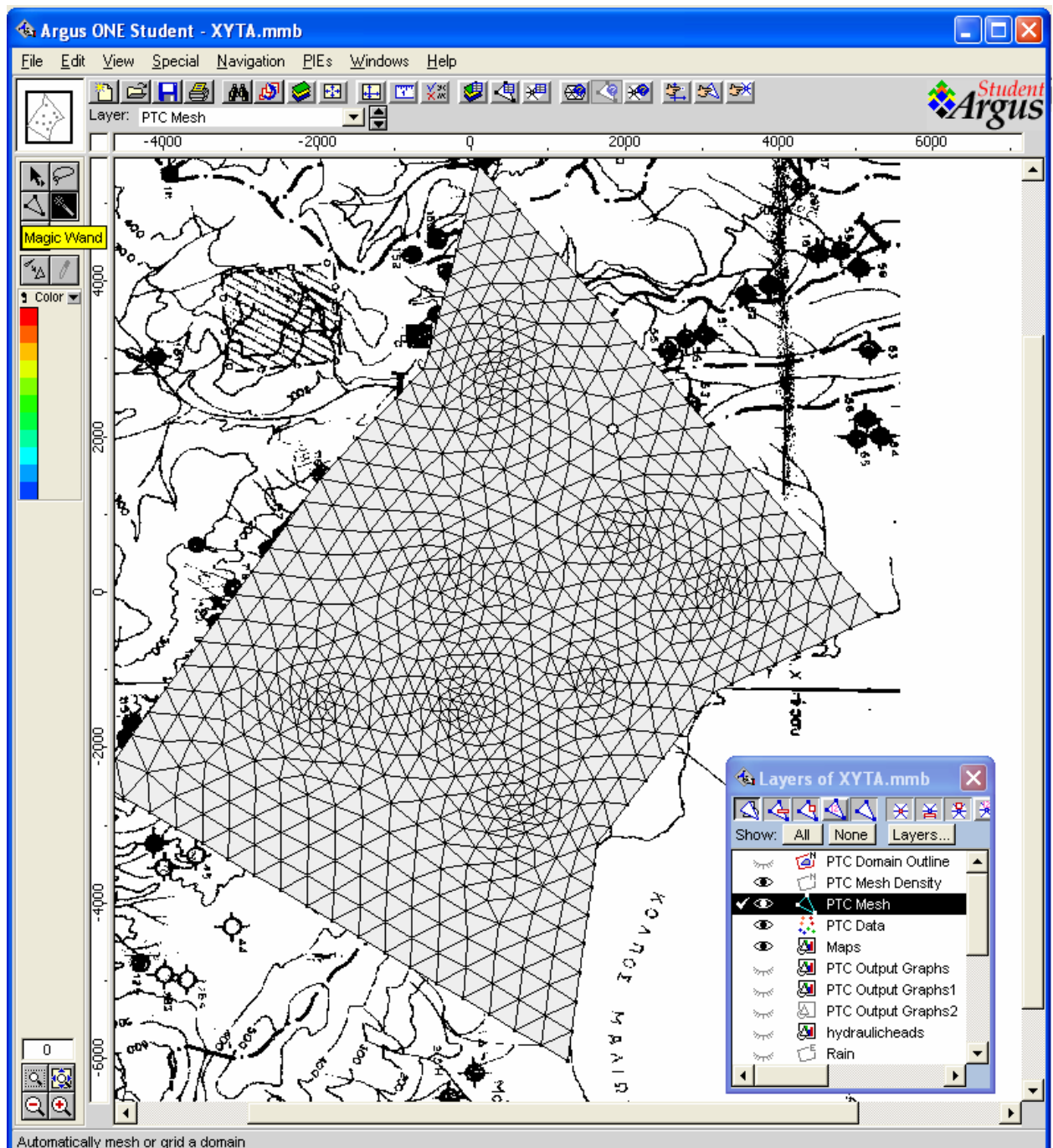
Η διασπορά λαμβάνεται ίση με την μονάδα και στις τρεις διευθύνσεις του χώρου.

Κατασκευή του κανάβου πεπερασμένων στοιχείων

Αφού έχει γίνει η εισαγωγή των διαφόρων παραμέτρων είμαστε έτοιμοι να τρέξουμε το πρόγραμμα . Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει η κατασκευή του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων .

Με ενεργό το layer PTC Mesh και με το εργαλείο Magic Wand κατασκευάζεται ο καναβος όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.

Στη συνέχεια από το κεντρικό μενού Special / Renumber / Optimize Band Width μπορούμε να βελτιώσουμε την αρίθμηση των κόμβων του δικτύου ώστε να γίνονται ταχύτερα οι υπολογισμοί αο το πρόγραμμα .



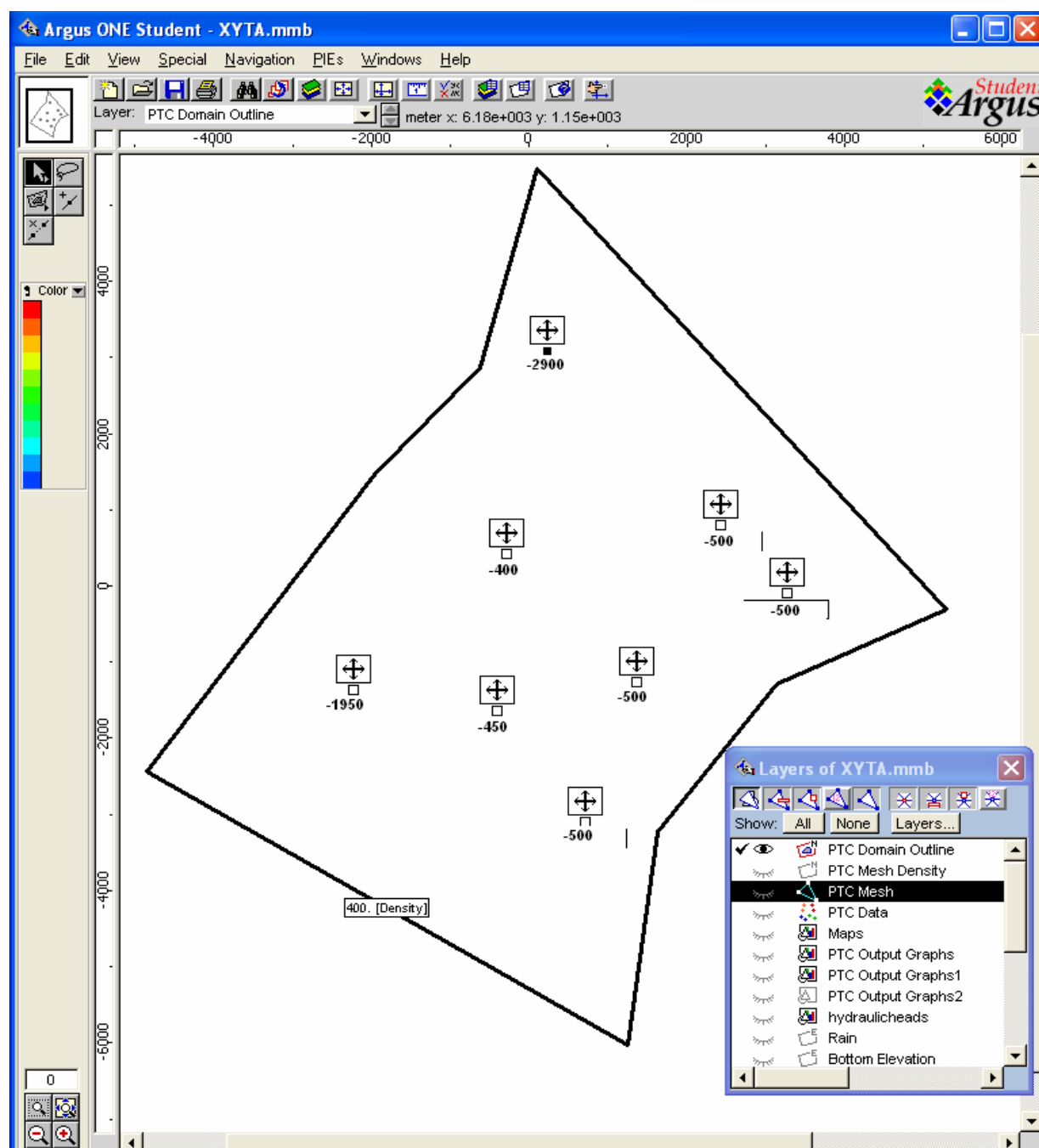
6.3 Σενάρια επίλυσης – αποτελέσματα - συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται δύο διαφορετικά σενάρια ως προς την άντληση από τα υφιστάμενα πηγάδια .

Για κάθε ένα από αυτά τα σενάρια εξετάζονται δύο διαφορετικές χρονικές περίοδοι 10 και 20 ετών αντίστοιχα .

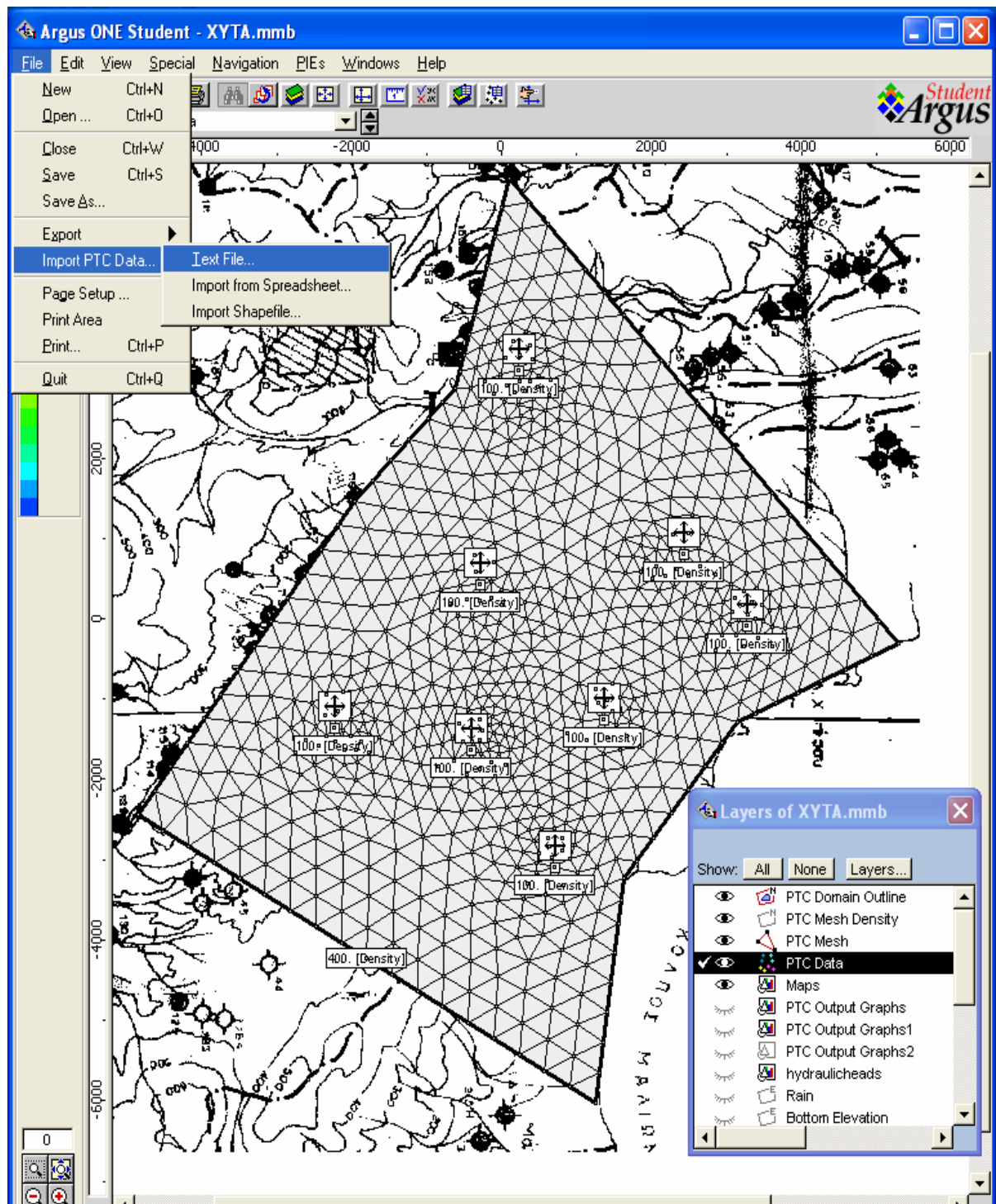
Παρακάτω γίνεται η επίλυση για κάθε σενάριο ξεχωριστά και τα αποτελέσματα συγκρίνονται για τις δύο χρονικές περιόδους .

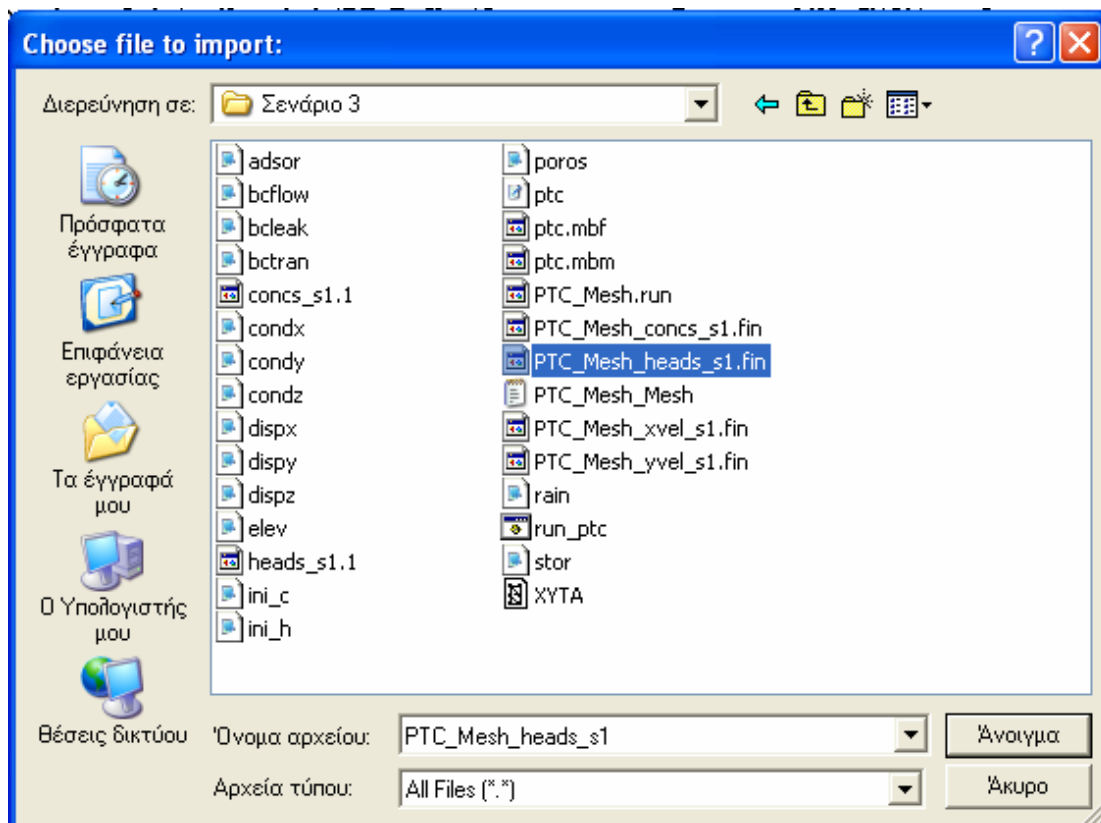
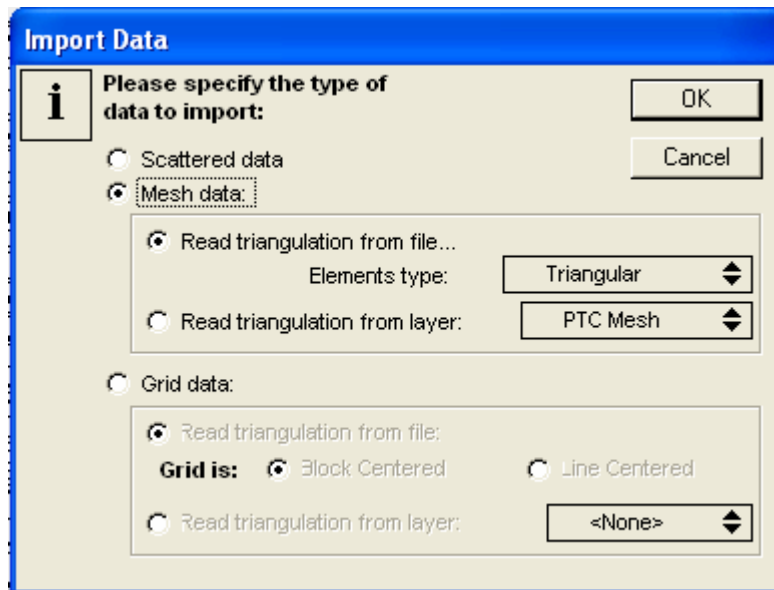
- Σενάριο Α (Περίοδος 10 ετών και 20 ετών)

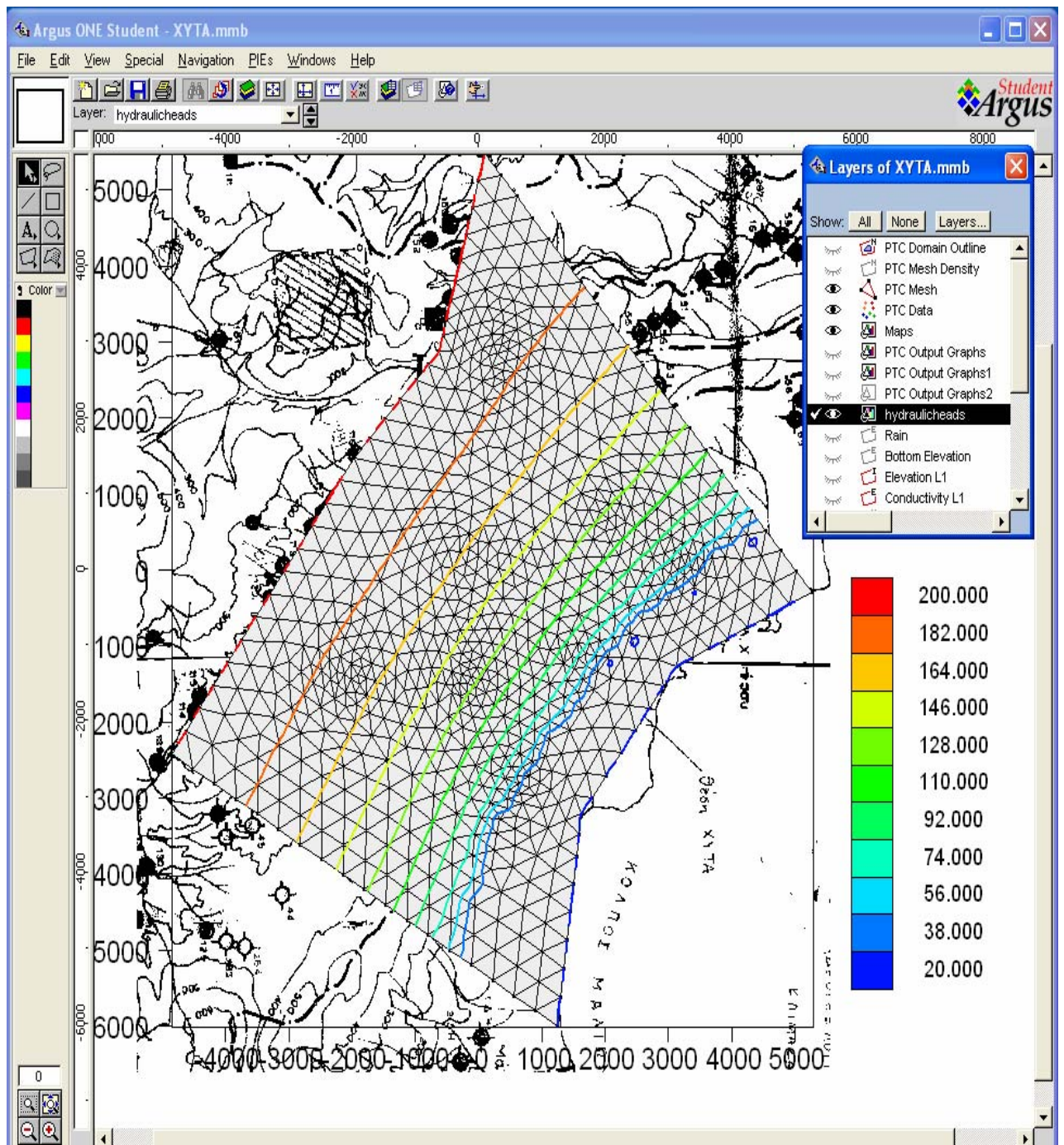


ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΨΗ

Η εξαγωγή των υδραυλικών υψών παρουσιάζεται με τις εικόνες που ακολουθούν :







Η ζώνη σταθερού υδραλικού ύψους 20μ που σχηματίζεται στην παράκτια περιοχή είναι χαρακτηριστικό της εισόδου του θαλασσινού νερού λόγω υπεράντλησης και δημιουργεί το γνωστό φαινόμενο της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων στην περιοχή κοντά στη θάλασσα.

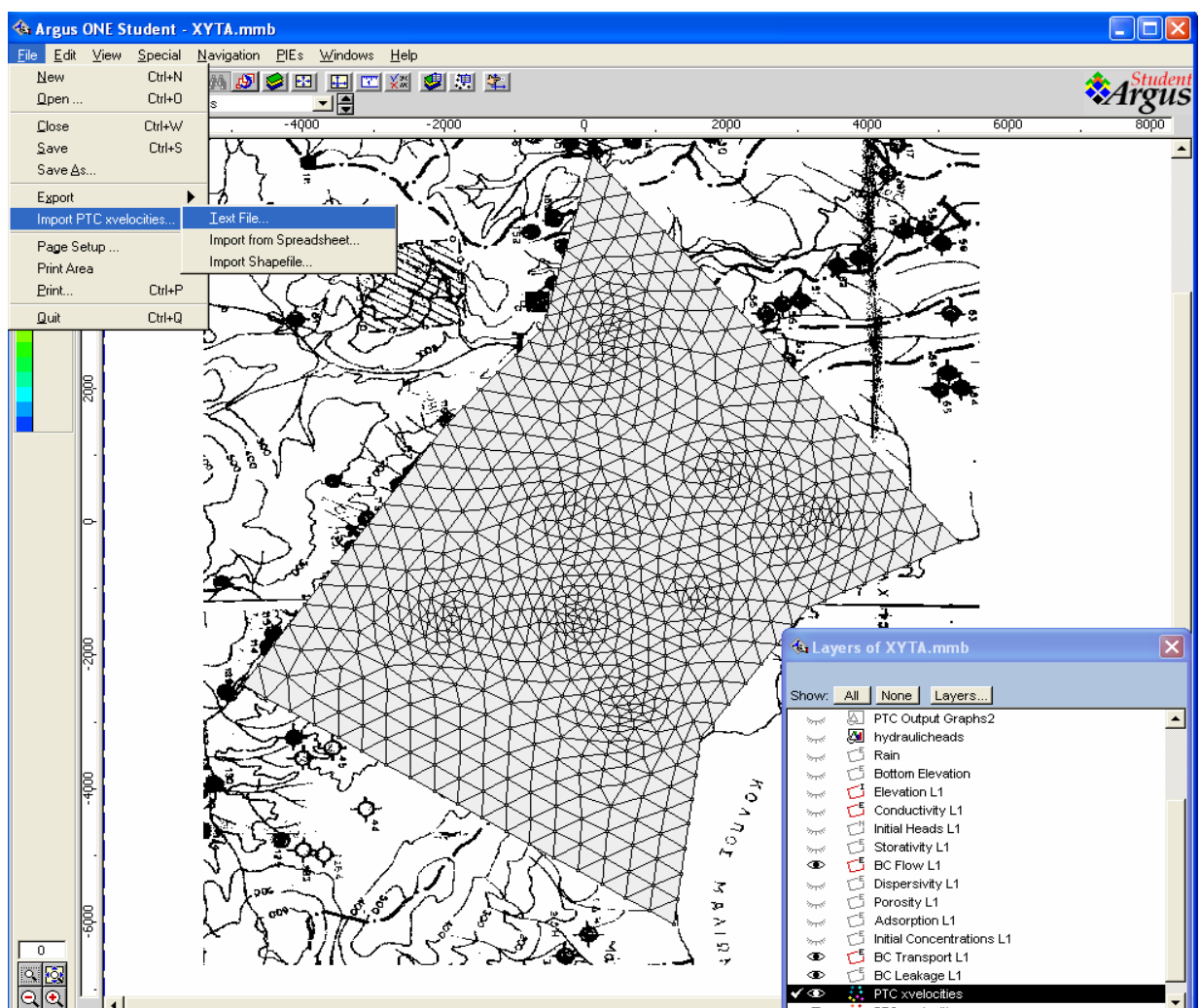
Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται για την εξαγωγή και των υπολοίπων χαρακτηριστικών της ταχύτητας και της συγκέντρωσης επιλέγοντας κάθε φορά τα κατάλληλα αρχεία :

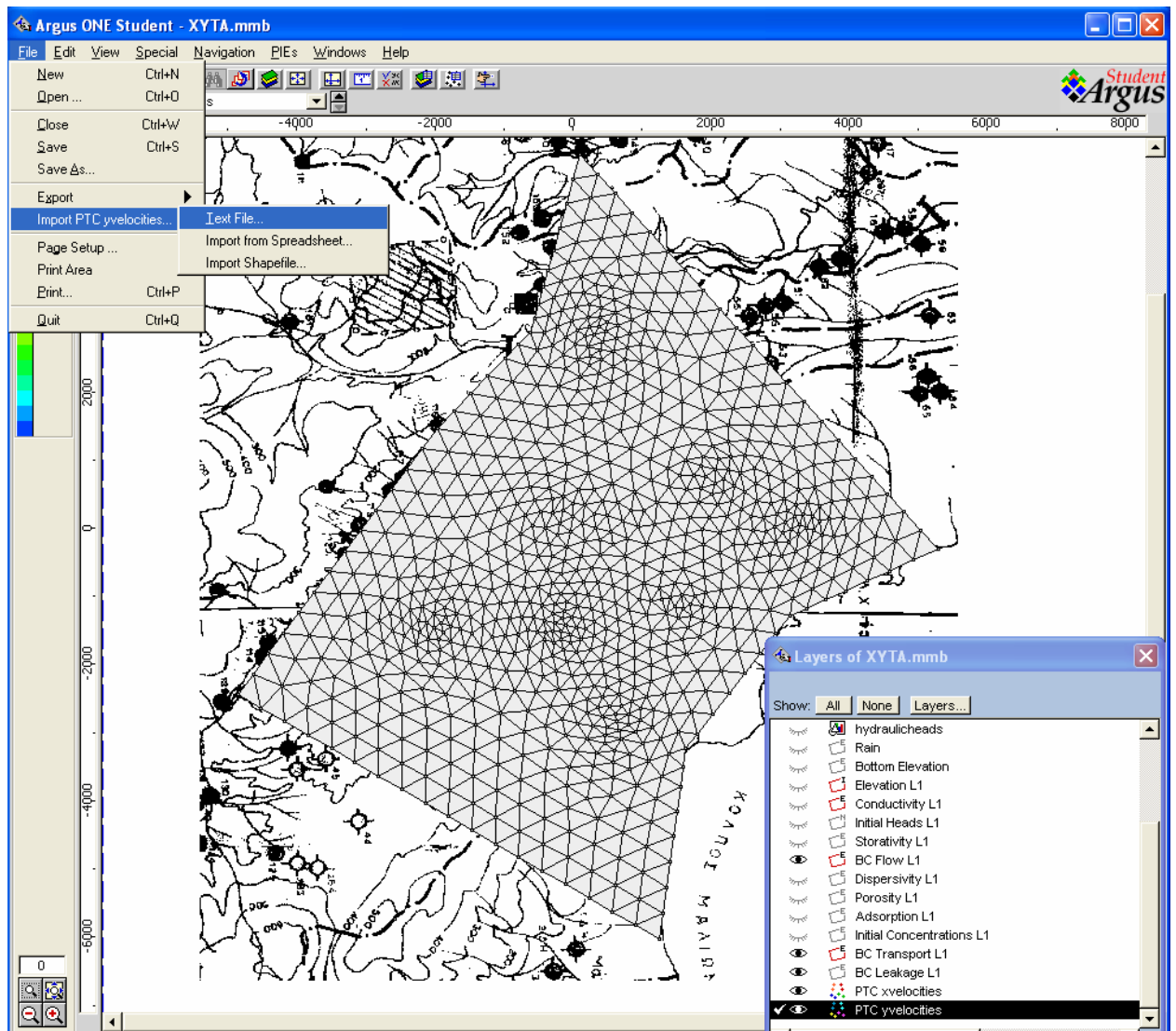
PTC_Mesh_Concs_S1.fin για τις συγκεντρώσεις

PTC_Mesh_XVel_S1.fin
Για τις ταχύτητες

PTC_Mesh_YVel_S1.fin

Για τις ταχύτητες εισάγονται πρώτα τα δεδομένα για τις δύο διευθύνσεις ξεχωριστά και γραφικά εξάγεται η συνδυασμένη τους. Η διαδικασία εξαγωγής των τιμών των ταχυτήτων φαίνεται παρακάτω.





Vector Diagram

Please specify object information: OK Cancel

Chart | Position | Titles

Layer: PTC Mesh

X Value: PTC xvelocities

Y Value: PTC yvelocities

Color: By Length

Size Factor: ☒ Calculate automatically

Valid data: All 0 and All 0

☒ Show axes ☐ Revert X axis

☒ Show legend ☐ Revert Y axis

☒ Keep ratio ☒ Show bounding box

Arrows Thickness: 2 Points

Vector Diagram

i Please specify object information: OK

Chart Position Titles Cancel

☒ **Overlay Source Data**

☒ **Dimension**

Width:

Height:

☐ **Scale**

☐ Proportional

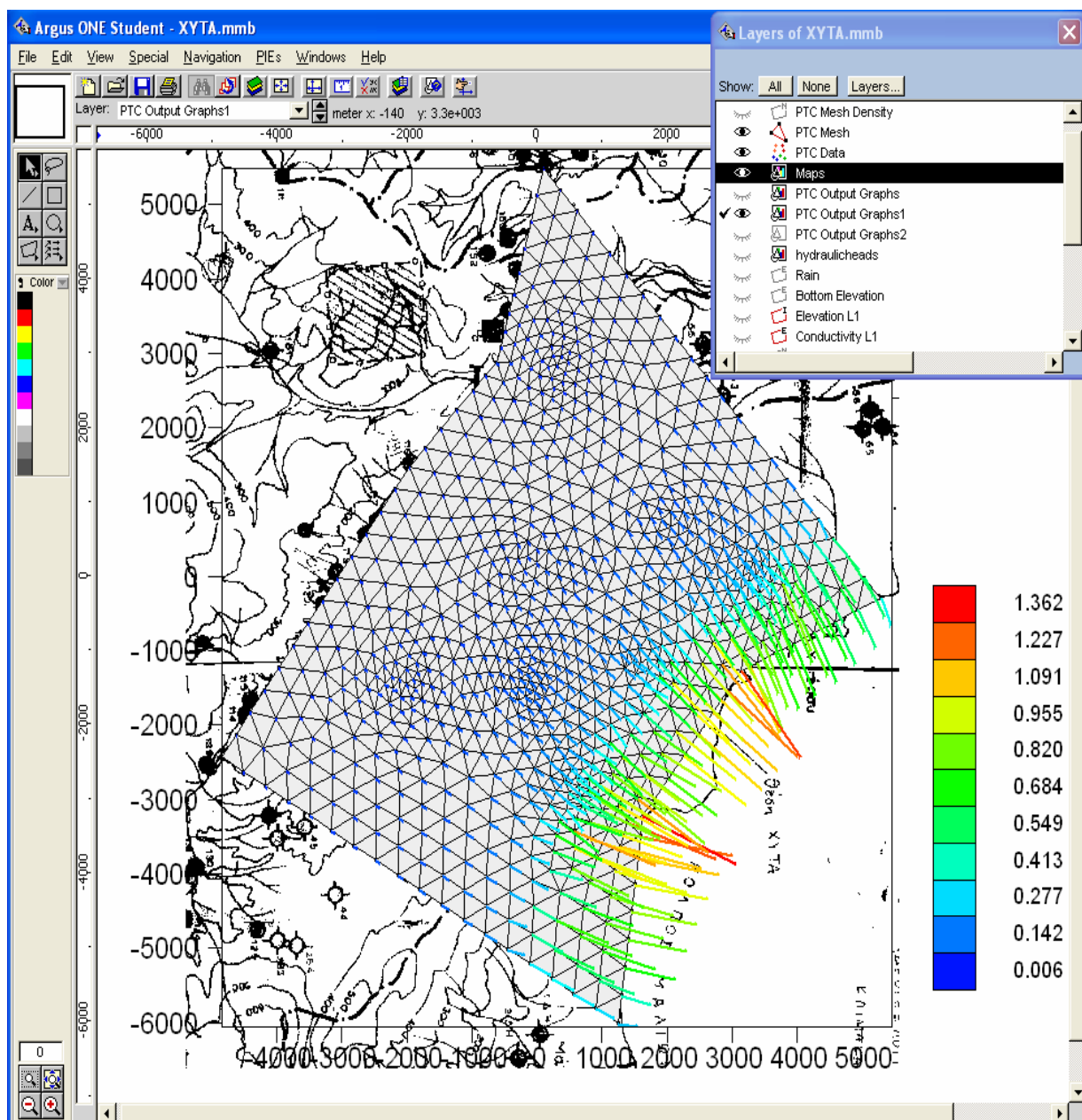
X Scale: %

Y Scale: %

Position

☒ Top ☐ Right

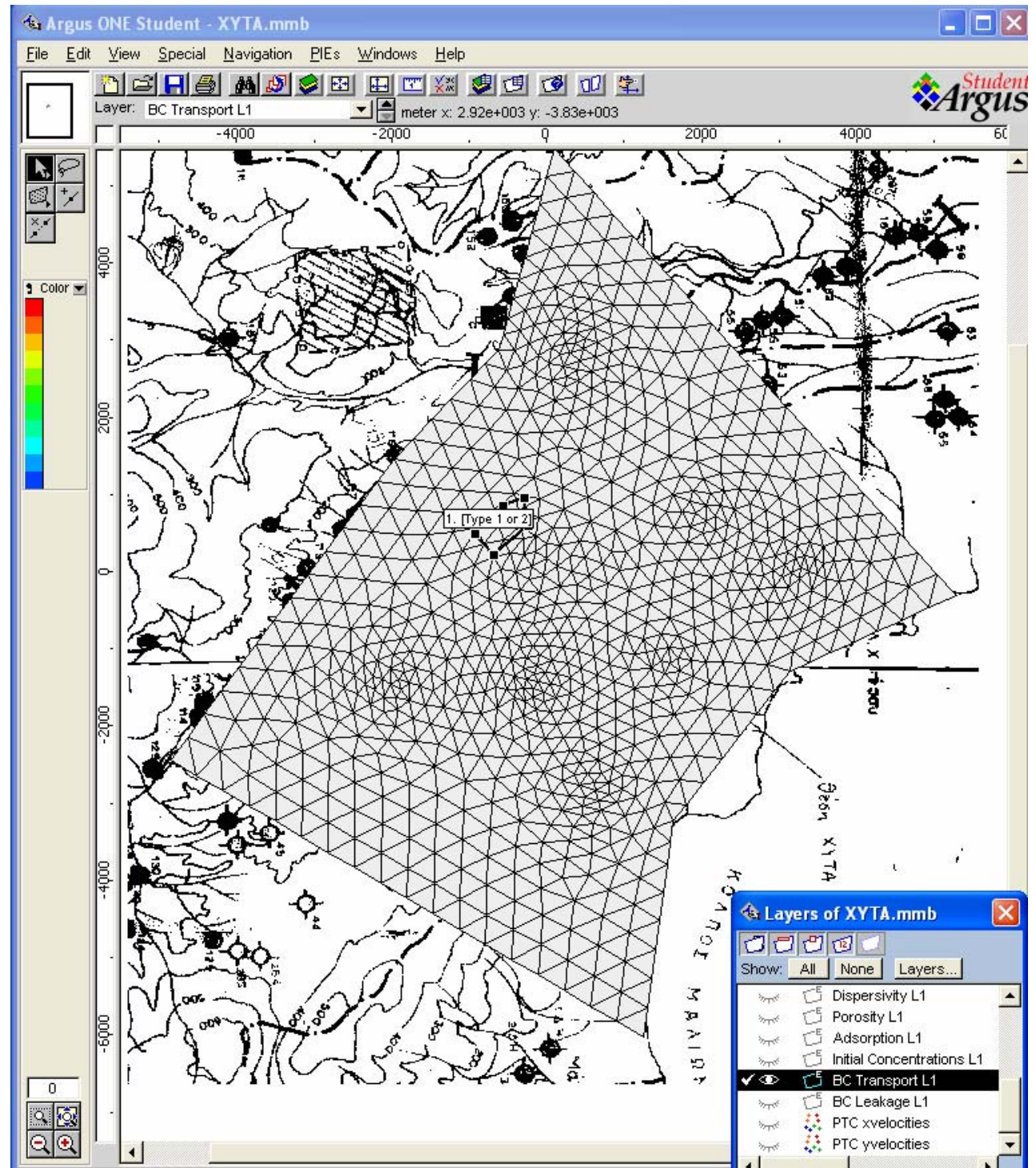
☐ Bot ☒ Left



Στην παραπάνω εικόνα αποτυπώνονται γραφικά τα δυνύσματα των ταχυτήτων όπου διακρίνεται καθαρά η φορά της κίνησης των υδάτων προς την θάλασσα. Στο δεξιό μέρος της εικόνας διακρίνεται με διαβαθμισμένο χρωματολόγιο οι τιμές των ταχυτήτων που κυμαίνονται από 0,006 έως και 1,362 μέτρα / ημέρα.

Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων του ρυπαντή από πιθανή αστοχία της εγκατάστασης των Χ.Υ.ΤΑ ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία :

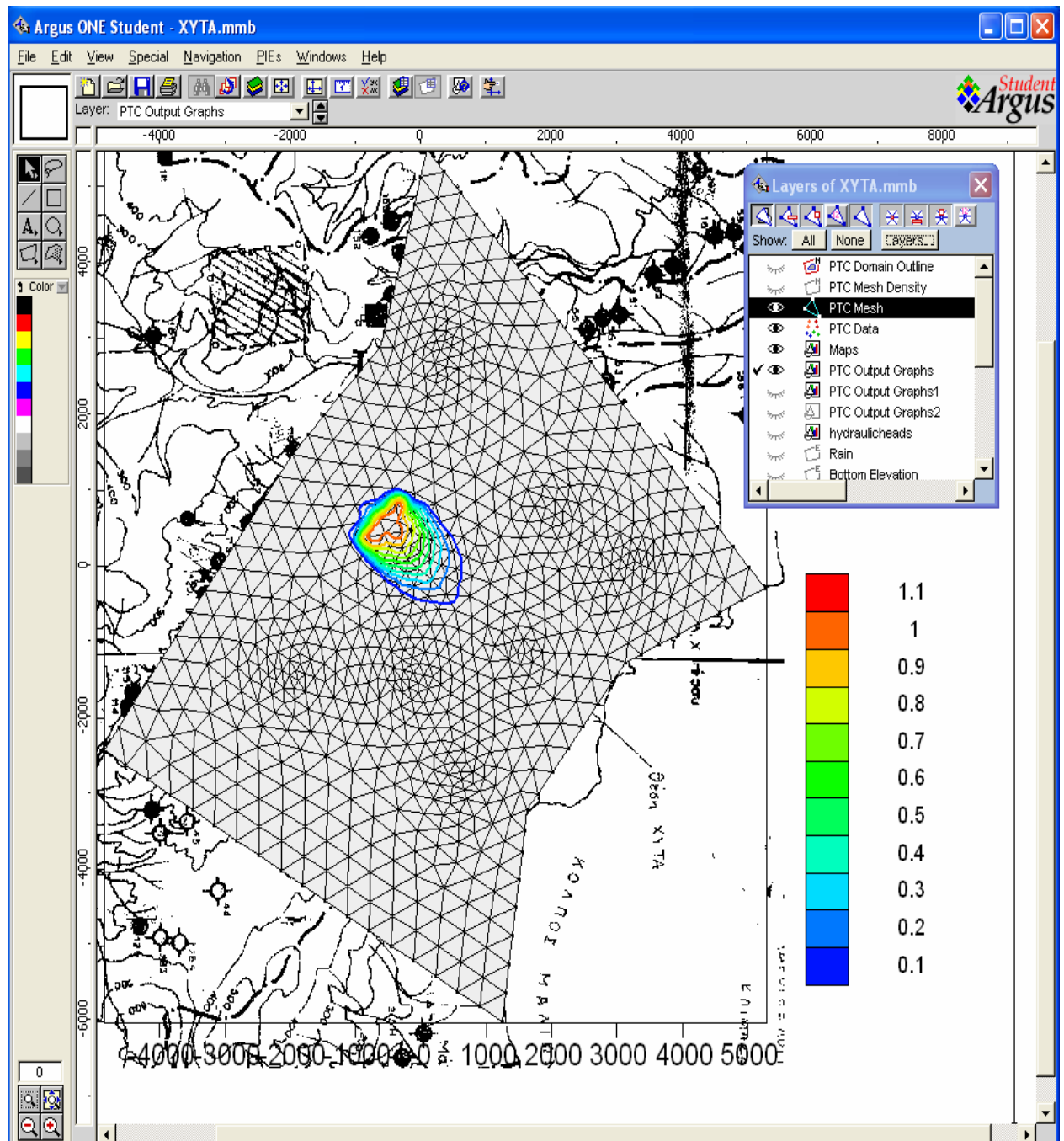
Με ενεργό το layer BC Transport τοποθετείται η σημαϊκή πηγή ρύπανσης στην περιοχή της μελέτης όπως φαίνεται παρακάτω :



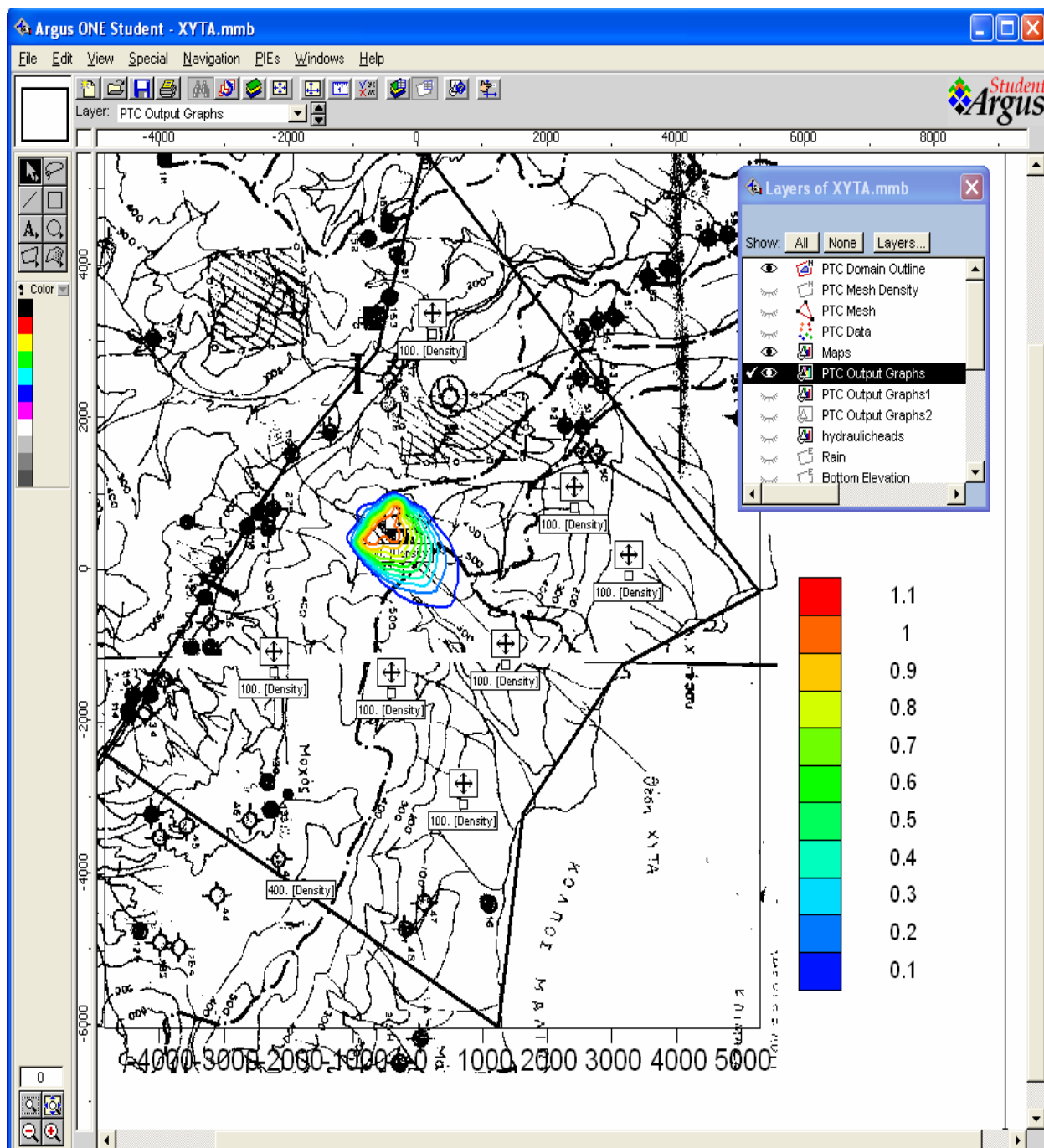
Στα παράθυρα διαλόγου BC Type L1 και BC Stress δίνεται ως οριακή συνθήκης συγκέντρωσης η τιμή 1 , στην συνέχεια αφού αντιγραφεί στο PTC Domain outline μπορούμε να προχωρίσουμε στην επίλυση.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την επίλυση θεωρεί αφθαίρετα ότι το ρυπαντικό φορτίο μετακινείται σχεδόν αφτόματα προς την κατακόρυφη διεύθυνση δημιουργώντας ένα μέτωπο σταθερής συγκέντρωσης μέσα στον υδροφορέα και μετά υπολογίζει την χωροχρονική μεταβολή του .

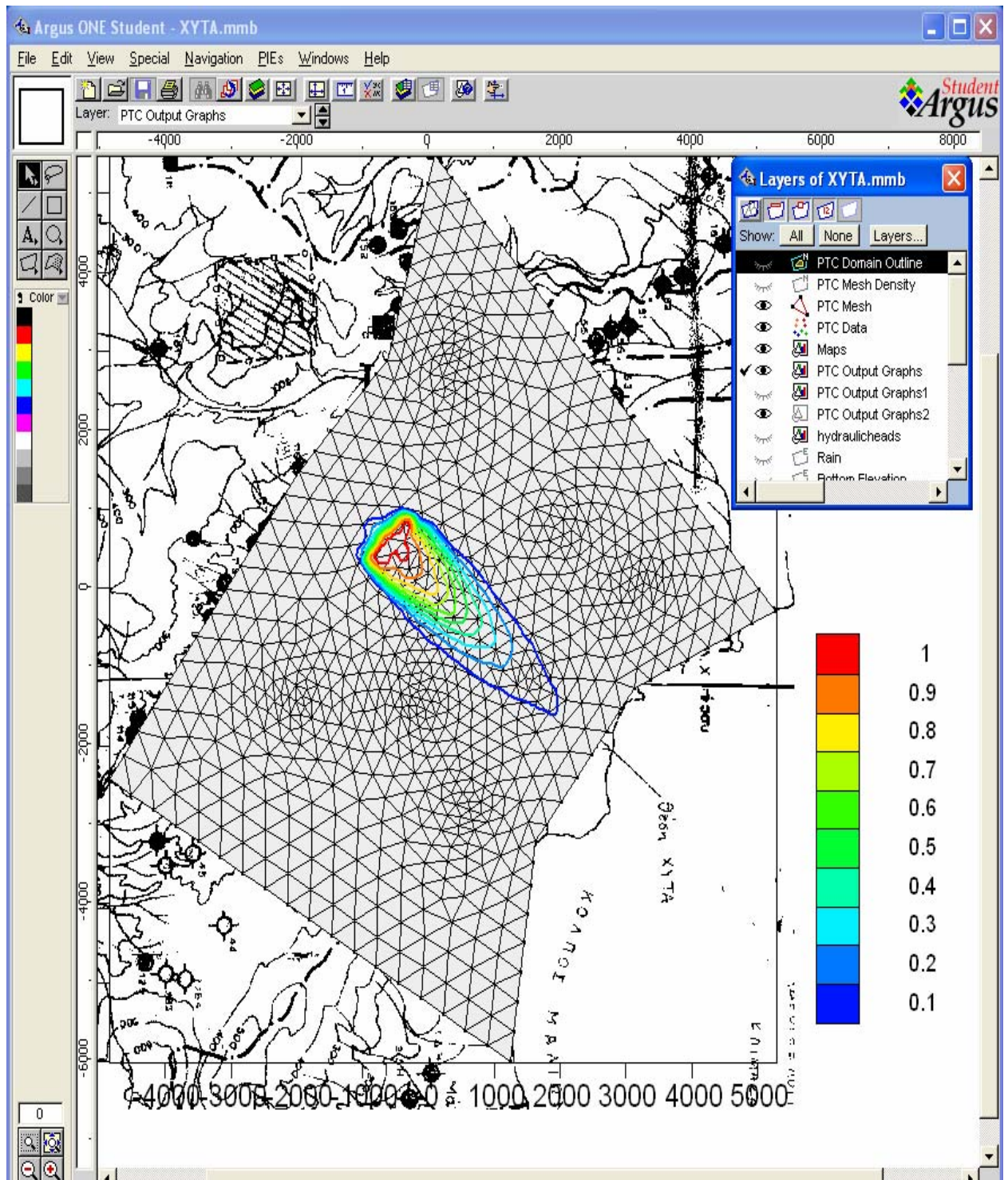
Οι εικόνες που ακολουθούν αφορούν στην απεικόνιση των συγκεντρώσεων του ρυπαντή που υποθετικά διαφύγει από την εγκατάσταση των Χ.Υ.ΤΑ . Πρώτα φαίνεται η διάδοση του φορτίου σε 10 χρόνια ενώ αμέσως μετά σε 20 χρόνια.



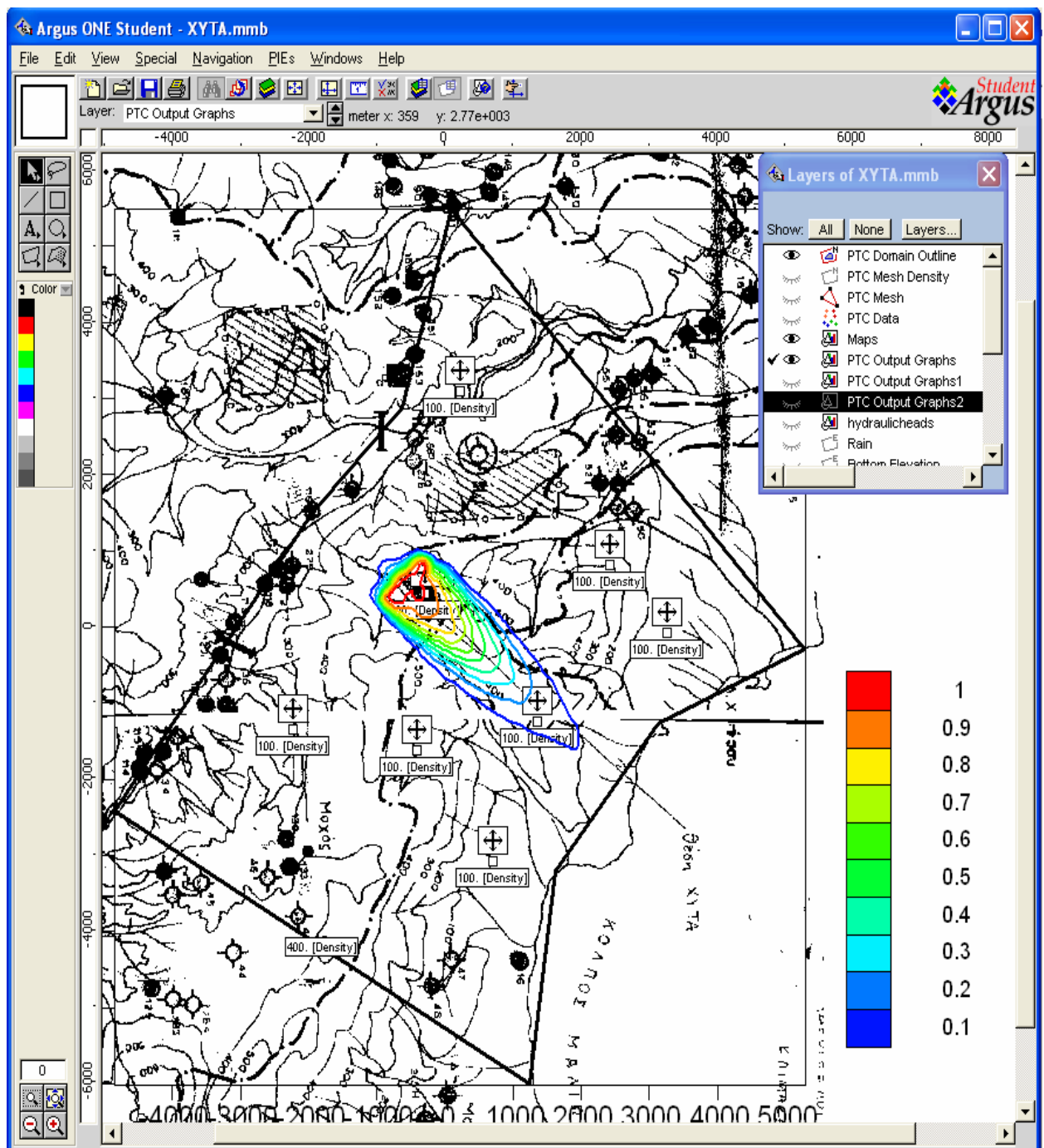
Διάδοση του ρυπαντικού φορτίου 10 χρόνια μετά την διαφυγή του από την εγκατάσταση των Χ.Υ.ΤΑ



Απεικόνιση της κατάστασης μετά από 10 χρόνια
(διασπορά σε σχέση με τον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής)



Απεικόνιση των συγκεντρώσεων του ρυπαντικού φορτίου σε περίοδο 20 ετών



Απεικόνιση σε σχέση με τον τοπογραφικό χάρτη

Η μεταφορά των διαλυμένων ουσιών στα υπόγεια νερά γίνεται εξαιτίας των φαινομένων που ακολουθούν :

1. Μοριακή Διάχυση

Με τον όρο αυτό εννοούμε την κίνηση μιας διαλυμένης ουσίας μέσα σε κάποιο διαλύτη από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές με χαμηλή συγκέντρωση. Το φαινόμενο αυτό έχει να κάνει με την διάχυση της διαλυμένης ουσίας και δεν προϋποθέτει την κίνηση του υγρού.

2. Επιμήκης και εγκάρσια διασπορά

Λόγω της διαφορετικής ταχύτητας κίνησης των νερών στους υπόγειους υδροφορείς οι διαλυμένες ουσίες υφίστανται ανάμειξη με αποτέλεσμα την διάλυση τους κατά την διάρκεια της ροής.

Όταν η ανάμειξη αυτή γίνεται κατά μήκος των γραμμών ροής ονομάζεται επιμήκης διασπορά ενώ όταν γίνεται εγκάρσια ονομάζεται εγκάρσια διασπορά.

3. Συμμεταφορά

Οι διαλυμένες ουσίες μεταφέρονται λόγω της ροής των υπόγειων υδάτων

Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάσαμε την μετάδοση του ρυπαντικού φορτίου λόγω διάχυσης και διασποράς σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους (10 και 20 χρόνια) με δεδομένη διάταξη πηγαδιών άντλησης.

Οι τιμές των συγκεντρώσεων και στις δύο περιπτώσεις έχουν διατηρηθεί στην ίδια κλίμακα ώστε να προκύπτουν ευκολότερα συμπεράσματα

Στην περίπτωση που εξετάζουμε χρονική περίοδο 10 ετών παρατηρούμε ότι η διάδοση του ρυπαντικού φορτίου περιορίζεται σχετικά γύρω από την πηγή σε σχήμα σχεδόν σφαιρικό. Οι καμπύλες ίσης συγκέντρωσης βρίσκονται πολύ κοντά η μια στη άλλη ένδειξη ότι το ρυπαντικό φορτίο δεν έχει μετακινηθεί σημαντικά από την πηγή και η αραίωση του λόγω διάχυσης και διασποράς είναι μικρή.

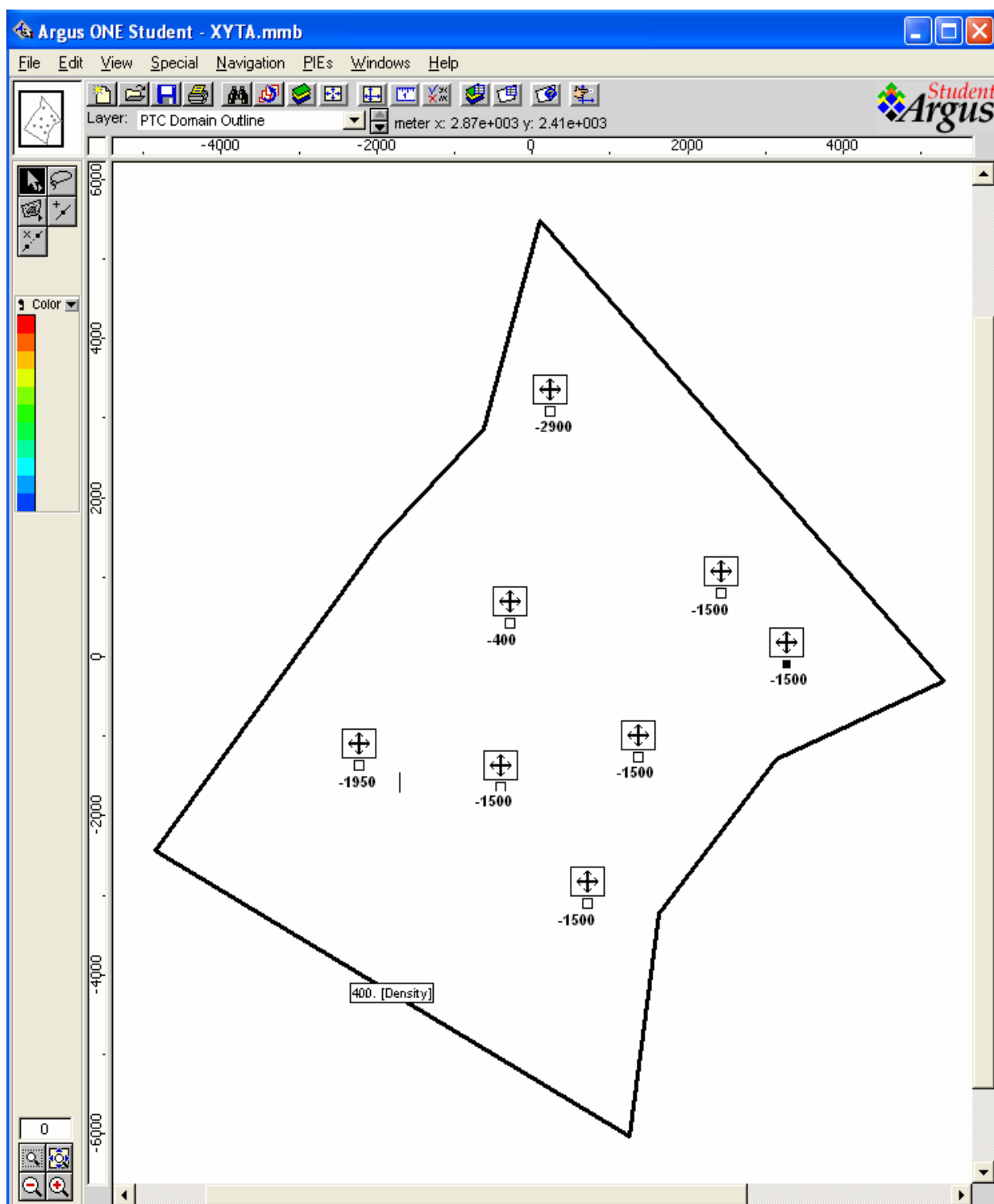
Σε περίπτωση που το πηγάδι άντλησης που βρίσκεται κοντά στην εγκατάσταση χρησιμοποιείται για ύδρευση υπάρχει κίνδυνος για την δημόσια υγεία μια και από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται να βρίσκεται σε περιοχή υψηλών συγκεντρώσεων του ρύπου σε αυτή την χρονική περίοδο.

Στην περίπτωση που η χρονική περίοδος μελέτης είναι τα 20 χρόνια παρατηρούμε θεαματική μετάδοση του ρύπου ο οποίος φαίνεται να φτάνει μέχρι την παράκτια ζώνη. Οι καμπύλες ίσης συγκέντρωσης έχουν απομακρυνθεί σχετικά μεταξύ τους, ένδειξη της αραίωσης και της διασποράς που έχει επέλθει σε αυτό τον χρόνο. Το επιμήκες σχήμα των καμπυλών υποδηλώνει την ταχύτητα ροής προς την θάλασσα που δεν αφήνει σημαντικά περιθώρια για διάδοση του ρυπαντή σε διεύθυνση κάθετη προς την ροή.

Σε αυτή την περίπτωση εκτός από το πηγάδι που βρίσκεται πλησίον στην εγκατάσταση και το πηγάδι της παράκτιας ζώνης κατάντι εγκυμονεί πλέον κινδύνους για την δημόσια υγεία.

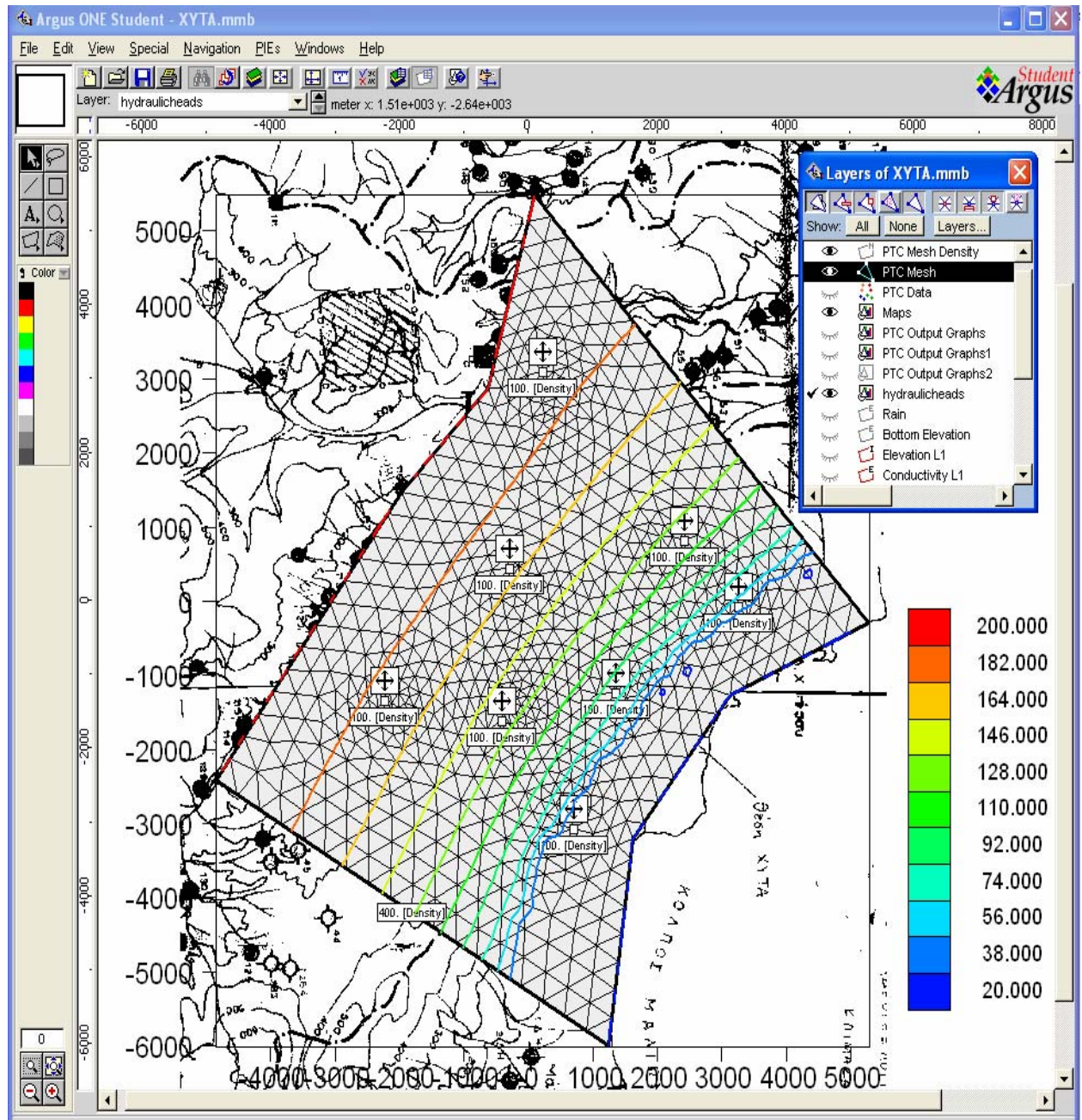
- Σενάριο Β (Περίοδος 10 ετών και 20 ετών)

Η διάταξη των πηγαδιών άντλυσης σε αυτή την περίπτωση φαίνεται παρακάτω :

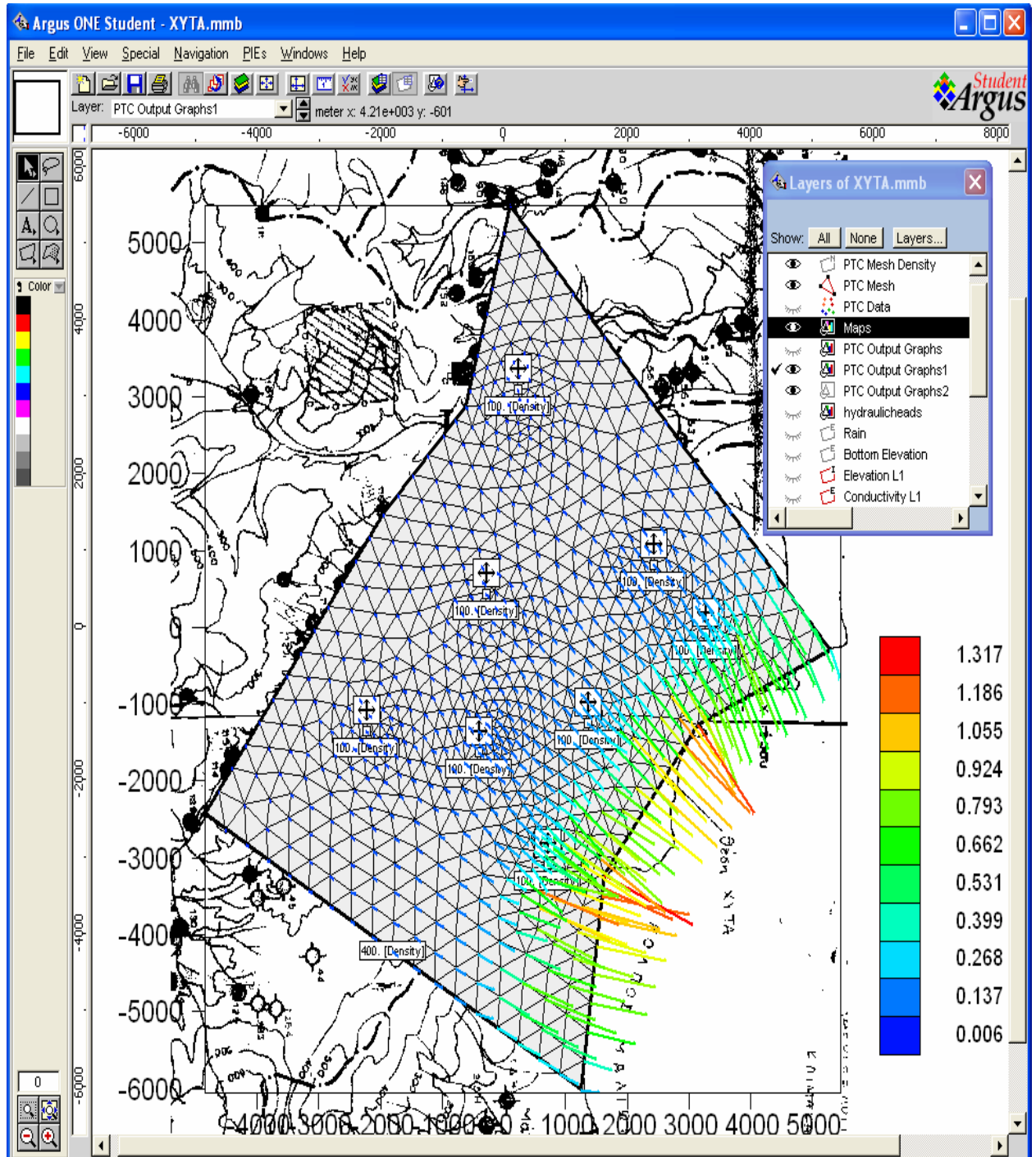


Ακολουθώντας ανάλογη τακτική όπως και στα προηγούμενα , εξάγονται τα παρακάτω :

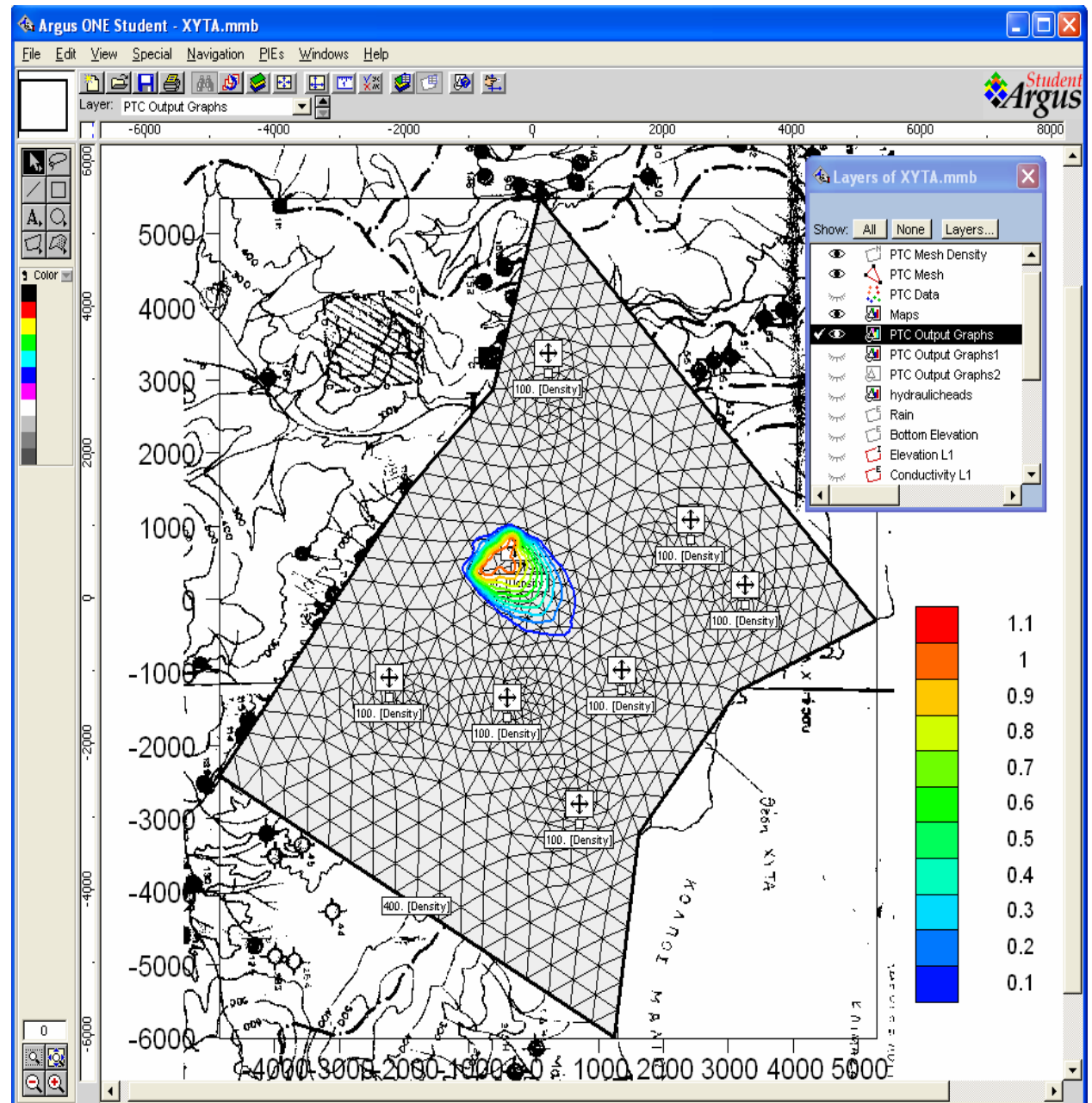
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΨΗ



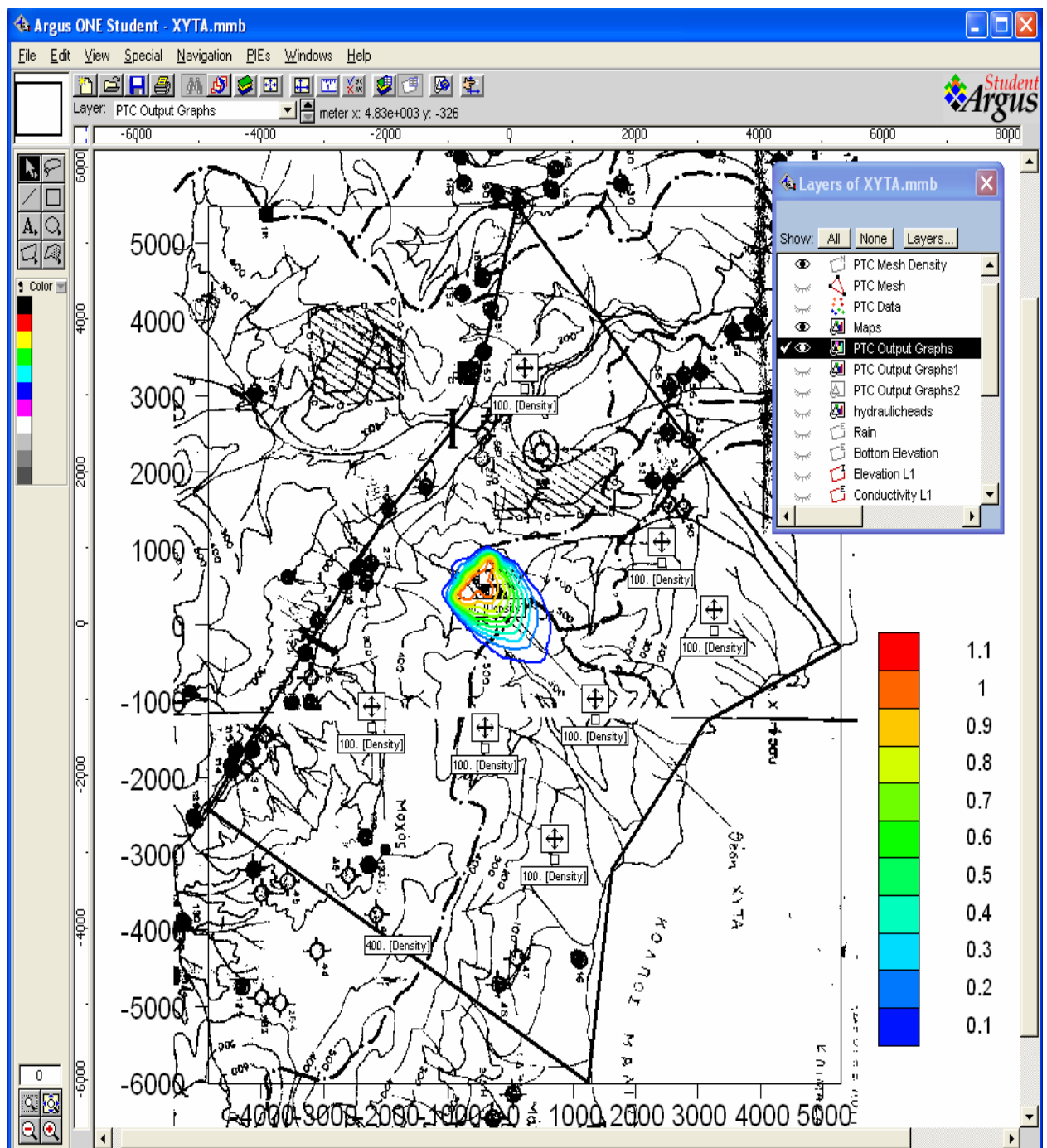
TAXYTHTES



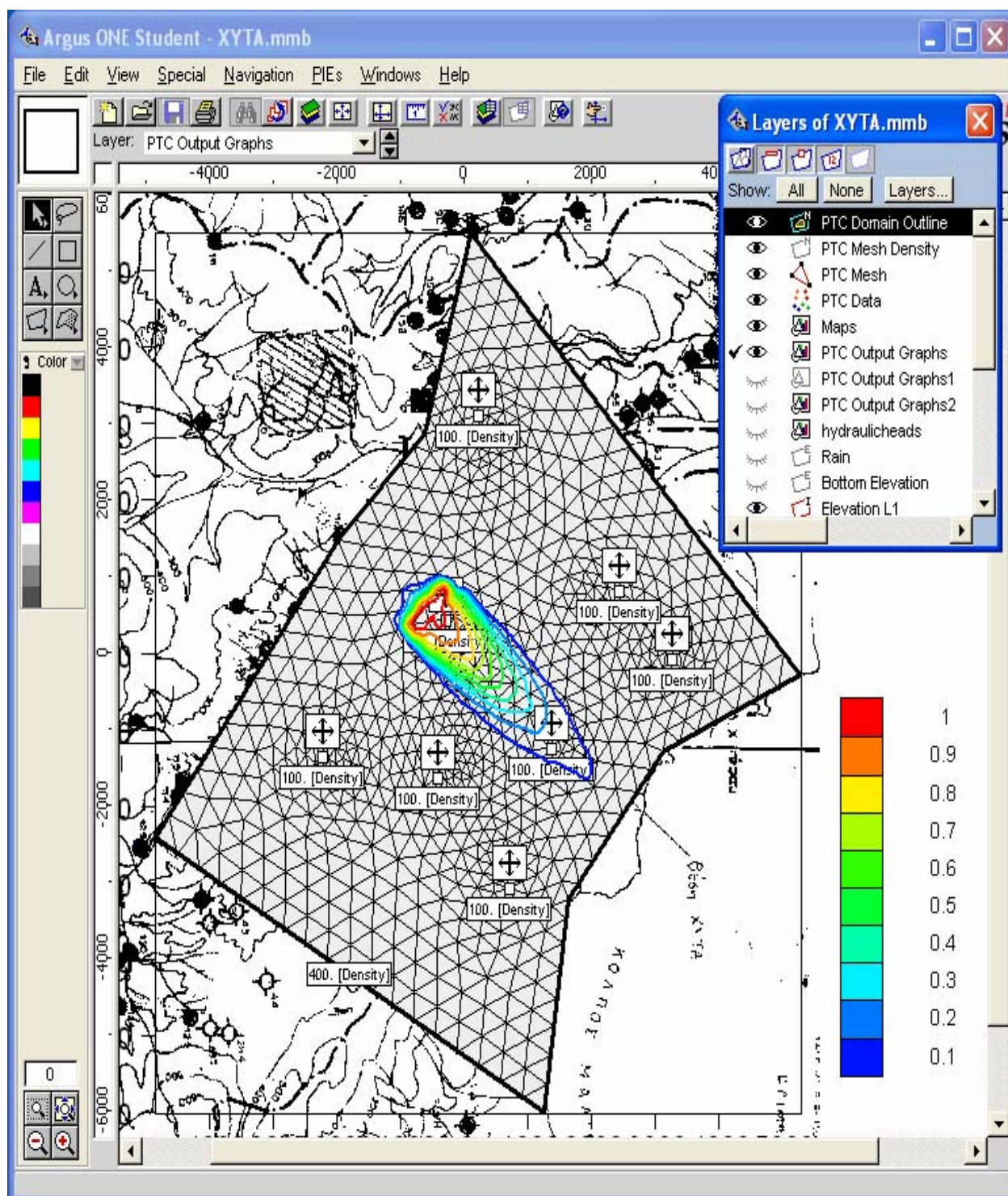
Οι εικόνες που ακολουθούν αφορούν στην απεικόνιση των συγκεντρώσεων του ρυπαντή που υποθετικά διαφύγει από την εγκατάσταση των Χ.Υ.ΤΑ. Πρώτα φαίνεται η διάδοση του φορτίου σε 10 χρόνια ενώ αμέσως μετά σε 20 χρόνια.



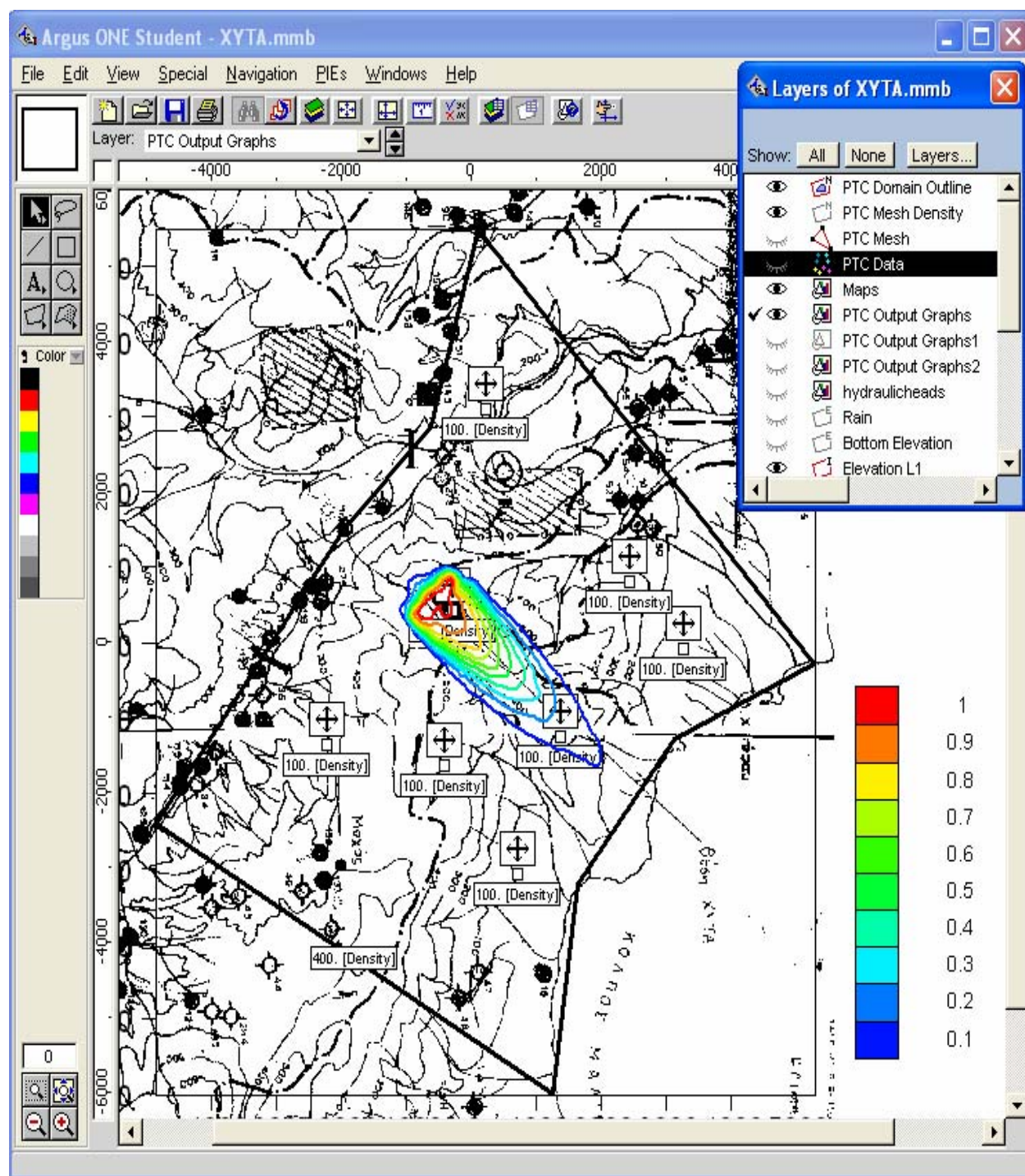
Απεικόνιση συγκεντρώσεων (Σενάριο Β – 10 χρόνια)



Απεικόνιση καμπυλών ίσης συγκέντρωσης πάνω στον τοπογραφικό χάρτη



Απεικόνιση συγκεντώσεων (Σενάριο Β – 20 χρόνια)



Απεικόνιση καμπυλών ίσης συγκέντρωσης πάνω στον τοπογραφικό χάρτη

Τα αποτελέσματα του δευτέρου σεναρίου δεν φαίνονται να διαφέρουν σημαντικά από αυτά του πρώτου .

Η αυξομείωση της άντλησης των πηγαδιών δεν επιρεάζει σημαντικά την ροή .Παρόλα αυτά είναι φανερό ότι η περίπτωση της αύξησης της άντλησης των πηγαδιών στα κατάντι επισπέβδει την διασπορά και την μετακίνηση του ρύπου προς την θάλασσα.

Εξαιτίας των αρχικών οριακών συνθηκών και αρχικών τιμών που έχουν δοθεί για την περιοχή της μελέτης φαίνεται να διηγουργείται ένα μοντέλο ροής αρκετά ισχυρό που δεν επιρεάζεται συμαντικά από την άντλωση των όμορων πηγαδιών.

Η κατασκευή ενός χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων καθώς και η λειτουργία του απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και προυποθέτει συστηματική παρακολούθηση .

Όπως προκύπτει από τα σενάρια αστοχίας που παρουσιάστηκαν παραπάνω οι περιοχές των Χ.Υ.Τ.Α ιδιαίτερα όταν βρίσκονται κοντά σε κατοικιμένες περιοχές μπορούν υπο προυποθέσεις να αποβούν επικύνδυνες για την δημόσια υγεία αλλά και να επιρεάσουν αρνητικά τις καλιεργούμενες περιοχές ανάλογα με την χημική σύσταση των στραγγισμάτων των απορριμμάτων.

Η μόλυνση ενός υπόγειου υδροφορέα αφού λάβει χώρα δεν είναι εύκολα αναστρέψιμη γιαυτό το λόγω τα μέτρα πρόληψης κρίνονται πολύ πιο ουσιαστικά από ότι τυχόν τρόπων εξιγείανσης των υδροφορέων από ρυπογόνους παράγοντες.

Η ορθή επιλογή του χώρου και η ποιότητα κατασκευής των εγκαταστάσεων υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων είναι από τους παράγοντες που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την μελλοντική εύρυθμη δραστηριότητα τους.

Οι εγκαταστάσεις των Χ.Υ.Τ.Α θα πρέπει να ελέγχονται καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας τους τόσο από άποψη της χημικής σύστασης των σταγγισμάτων τους όσο και για τυχόν μικροδιαροές στο υπέδαφος που μπορεί να οφείλονται είτε σε αστοχία των μεμβρανών στεγανοποίησης στο κυρίως σώμα των εγκαταστάσεων είτε σε δυσλειτουργία των συστημάτων απαγωγής των όμβριων υδάτων .

Ο έλεγχος των διαρροών μπορεί να γίνει με γεωτρήσεις γύρω από την περιοχή των εγκαταστάσεων των Χ.Υ.Τ.Α και κυρίως προς την κατεύθυνση της ροής των υπόγειων υδάτων με συστηματικές δηγματολειςψίες και χημικές ανάλυσεις των δειγμάτων νερού.

Συστηματικός έλεγχος απαιτείται και στις γεωτρήσεις που υδροδοτούν όμορους οικισμούς έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα έγκαιρης ενημέρωσης των κατοίκων τους σε περίπτωση ανίχνευσης επικύνδινων ουσιών.

Σε γενικές γραμμές η λειτουργία εγκαταστάσεων Χ.Υ.Τ.Α δεν υποβαθμίζει την περιοχή στην οποία βρίσκεται αλλά προσφέρει αντίθετα ένα ουσιαστικό τρόπο διαχύρησης των απορριμμάτων με την προυπόθεση της ορθής λειτουργίας και των συστηματικών ελέγχων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ανατολική Κρήτη», Φάση Γ', Διεύρυνση Λύσεων, ΟΑΝΑΚ, 1994.
2. <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/swm6.pdf>
3. «Σημειώσεις για την Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων», Πρόγραμμα LIFE, Διονύσιος Γεωργόπουλος, Χημικός Μηχανικός, Σεπτέμβριος 1998.
4. «Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων», ΦΕΚ 1016/Τεύχος Β', 17/11/97.
5. «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Κατασκευή Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στην 9^η Εδαφική Περιφέρεια του Νομού Ηρακλείου», Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Κρήτης, ΟΑΝΑΚ, Οκτώβριος 1998.
6. <http://www.michigan.gov/deq/>
7. «The international Environmental Modelling and Software Society Conference Complexity and Intergrated Resources Management», J. B. Gregersen and M. Blind, University of Osnabruck, Germany, June 2004.
8. "Economic incentives in Sustainable water Management: ARisk-Based Decision Analysis Approach for Determining Groundwater Pollution Charges under Uncertainty", Y.A. Mylopoulos, Aristotle University of Thessaloniki, N.A. Mylopoulos, University of Thessaly, Volos, 1999.
- 9.
10. «Μοντελοποίηση της Υπόγειας Ροής της Μεταφοράς Νιτρικών στον Παραλιακό Ελεύθερο Υδροφορέα της Δυτικής Περιαστικής Ζώνης της Καλαμάτας», Θεόδωρος Ε. Τιμπαλέξης, Ιούλιος 2002.

