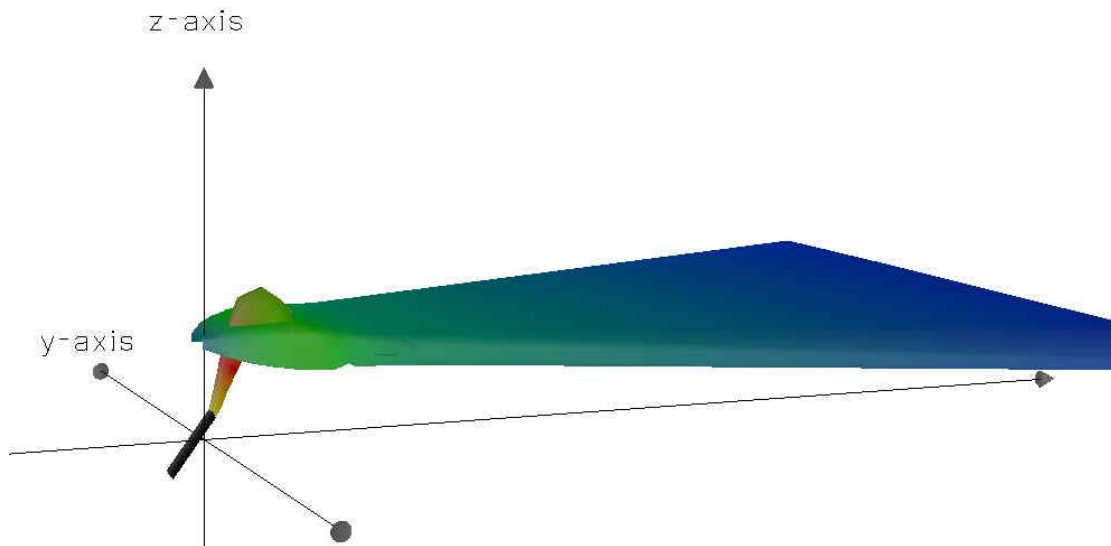


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΛΟΥΜΙΟΥ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ:
ΜΑΚΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ
ΠΟΛΙΤΗΣ ΑΡΧΟΝΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΚΡΕΣΤΕΝΙΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εξεταζόμενης διπλωματικής εργασίας είναι κατά πρώτον η διερεύνηση των επιπτώσεων της θερμικής ρύπανσης που παρατηρείται σε θαλάσσιους αποδέκτες λόγω αποβολής θερμών λυμάτων κυρίως από παράκτιες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και κατά δεύτερον και κυριότερο η μελέτη της διάχυσης, διασποράς αλλά και γενικότερης συμπεριφοράς θερμικού πλουμίου στο θαλάσσιο περιβάλλον με γνώμονα βέβαια την αποφυγή των προαναφερθέντων περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του φαινομένου της Θερμικής Ρύπανσης το οποίο ταυτίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας των φυσικών υδάτων, ως αποτέλεσμα της εκροής σε αυτά θερμών αποβλήτων από βιομηχανίες και εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, οι οποίες αντλούν νερό από φυσικούς αποδέκτες, το χρησιμοποιούν ως ψυκτικό μέσο και στη συνέχεια το επιστρέφουν στο φυσικό αποδέκτη σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τις θερμοκρασίες άντλησης. Εξετάζονται συνακόλουθα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη χώρα μας και παγκοσμίως καθώς και οι απαιτούμενες λύσεις που προτείνονται από την επιστημονική κοινότητα διεθνώς με γνώμονα πάντα τη λήψη αυστηρών μέτρων στα πλαίσια της οδηγίας 2000/60 (23/10/2000) για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα πολιτικής των υδάτων. Σε αυτήν την κατεύθυνση γίνεται αναφορά στην έκταση του φαινομένου γενικά (διεθνή χαρακτηριστικά παραδείγματα, τύποι συστημάτων ψύξης κ.τ.λ.), ανάλυση της σημασίας της θερμοκρασίας ως αβιοτικού παράγοντα του θαλάσσιου περιβάλλοντος, αλλά και της εξάρτησης του μεγέθους του φαινομένου από τη γεωγραφική θέση και τις ωκεανογραφικές συνθήκες στα πλαίσια των οποίων εκδηλώνεται. Στη συνέχεια γίνεται εκτενής ανάλυση των επιπτώσεων της θερμικής ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι οποίες χωρίζονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές. Καθώς δε οι τελευταίες αποτελούν τον πιο χαρακτηριστικό δείκτη υγείας των οικοσυστημάτων παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς όπως τα ψάρια, τα φύκη, το ζωοβένθος, οι μικροοργανισμοί, τα οστρακόδερμα, τα άλγη και άλλα υδρόβια είδη. Τέλος προτείνονται αναλυτικά διάφοροι τρόποι και συστήματα επίλυσης του προβλήματος θερμικής ρύπανσης με χρήση πύργων ψύξης (έρευνες, λειτουργία, απόδοση), του «ανοιχτού ή άμεσου συστήματος» (μίας διέλευσης και επιστροφής), του «κλειστού ή έμμεσου συστήματος» [με κλειστό βρόχο αναδιανομής (recirculating system)], υβριδικές λύσεις και η χρήση "υποβαθμισμένων" πηγών νερού ως μέσου ψύξης.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται θεωρητική ανάλυση της διάχυσης και διασποράς θερμικού πλουμίου καθώς και παρουσίαση του λογικού

‘VISUAL PLUMES for Windows’. Αναλυτικότερα γίνεται παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου πάνω στη διάθεση υγρών αποβλήτων σε θαλάσσιους αποδέκτες μέσω υποβρυχίων αγωγών και αναφορά πάνω στη δημιουργία τυρβώδους ανωστικής φλέβας και τυρβώδους πλουμίου από μοντέλα διαχυτήρων ή απλών αγωγών διάθεσης λυμάτων. Στη συνέχεια γίνεται θεωρητική αναφορά του φαινομένου της διάχυσης και διασποράς στο κοντινό (near-field) και στο μακρινό πεδίο (far-field), αλλά και της αναγκαιότητας χρήσης μαθηματικών ομοιωμάτων παράκτιας κυκλοφορίας και μεταφοράς ρυπαντών όπως το χρησιμοποιούμενο, στην παρούσα διπλωματική εργασία, VISUAL PLUMES, το οποίο επιλέγεται από μια πληθώρα τέτοιων πακέτων λογισμικού υδροδυναμικών επιλύσεων για επιφανειακούς κυρίως αποδέκτες, προτεινόμενα από το CEAM (Center for Exposure Assessment Modeling) της EPA (Environmental Protection Agency). Το Visual Plumes (VP) είναι μια πρότυπη εφαρμογή διαχείρισης υδάτινων ζωνών μίξης για περιβάλλον Windows που σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το πρόγραμμα PLUMES που βασίζεται σε περιβάλλον DOS (Baumgartner, Frick και Roberts, 1994). Πρόκειται για ένα μαθηματικό ομοίωμα παράκτιας κυκλοφορίας και μεταφοράς ρυπαντών σε υδατοσυλλέκτες, το οποίο προβλέπει τη συμπεριφορά (διασπορά, διάλυση, ανάδυση, κατάδυση κ.α.) υδάτινων μαζών εν είδη φλέβας και πλουμίου με ανωστική αρχική τάση μέσα σε αυτούς, στηριγμένο στον αλγόριθμο του Brooks για να προβλέψει την αξονοσυμμετρική (εστιακή) διάλυση σε μακρινό πεδίο και το εύρος του πεδίου απόθεσης αποβλήτων. Γίνεται γενική ανασκόπηση της διεπιφάνειας εργασίας (interface), παρουσιάζονται τα υπολογιστικά μοντέλα που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα του Visual Plumes (DKHW, NRFIELD/FRFIELD, UM3, PDSW, και DOS PLUMES), τα οποία είναι μοντέλα τύπου Lagrange ή τύπου Euler που βασίζονται στην υπόθεση της προβολής της τυρβώδους συμπαράσυρσης σε διδιάστατο πεδίο (projected-area-entrainment) από τους Rawn, Bowerman και Brooks (1960), Winiarski και Frick (1976) και Frick (1984). Τέλος γίνεται αναλυτική παρουσίαση των επιφανειών εργασίας για την κατάστρωση προβλημάτων (δηλ. του Διαχυτήρα, του Περιβάλλοντος χώρου, των Ειδικών Settings, της Απόδοσης Κειμένου, και της Απόδοσης Γραφικών).

Στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται περιγραφή και ανάλυση συγκεκριμένου προβλήματος (case study) και παρουσίαση του υπό μελέτη έργου. Πρόκειται συγκεκριμένα για την εγκατάσταση φυσικού αερίου που προβλέπεται να κατασκευαστεί στην περιοχή ‘Χασάπικα’ Θεσσαλονίκης. Ο αγωγός εκροής, που θα χρησιμοποιηθεί για την αποβολή των θερμών υδάτων στον Θερμαϊκό Κόλπο, βρίσκεται στην ίδια θέση με αυτόν της παλιότερης εγκατάστασης επεξεργασίας πετρελαίου ESSO-PAPAS, ΕΛ.ΠΕ. Παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά δεδομένα αγωγού και

μελέτης έργου [π.χ. $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ ($T_{\text{πλουμίου}} = T_{\text{θάλασσας}} + 5^{\circ}\text{C}$) και $\Delta S=30\%$ $S_{\text{θάλασσας}}$ ($S_{\text{πλουμίου}} = 1,30 \cdot S_{\text{θάλασσας}}$), όπου ΔT η διαφορά θερμοκρασίας και ΔS η διαφορά αλατότητας του αποβαλλόμενου νερού από αυτές του υδατοσυλλέκτη]. Γίνεται μελέτη κατασκευής αγωγού με απλό στόμιο εκροής, αλλά και με χρήση διαχυτήρα πολλαπλών ανυψωτήρων. Παρατίθενται τα φυσικά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος, προτείνονται οι μήνες για μελέτη-έλεγχο, αναλύεται η πολυπλοκότητα της σχέσης αλατότητας - θερμοκρασίας - πυκνότητας, εκτιμώνται οι παραδοχές αναφορικά με τα στοιχεία ρευμάτων του θαλάσσιου περιβάλλοντος και παρατίθεται η λογική 'δοκιμών' τοποθέτησης του αγωγού, ενώ ταυτόχρονα προβλέπονται διάφορες πρωτότυπες προτάσεις-λύσεις όσο αφορά στο σύστημα διάθεσης των θερμών αποβλήτων με σκοπό τη βέλτιστη διάχυση και διασπορά θερμικού πλουμίου, όπως η κατασκευή αγωγού ανάμιξης είτε διάταξης πολλαπλών αγωγών μικρότερης διατομής με συνολική παροχή την προβλεπόμενη από την προμελέτη είτε τέλος η μείωση κλίσης του ανυψωμένου άκρου του αγωγού.

Στο 4^ο Κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση των προτεινόμενων λύσεων μέσω κατάλληλων υπολογισμών στο λογισμικό VISUAL PLUMES. Προβάλλονται τα δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα και γίνεται επεξήγηση της διαμόρφωσης και του περιεχομένου των διαγραμμάτων με σκοπό την εκτίμηση αυτών ως προς τη συμπεριφορά των θερμών λυμάτων στον Κόλπο του Θερμαϊκού. Εξετάζονται οι εξής 5 κατασκευαστικές λύσεις:

- 1^η Λύση: Κατασκευαστικά δεδομένα προμελέτης
- 2^η Λύση: Περίπτωση χρήσης διαχυτήρα
- 3^η Λύση: Περίπτωση χρήσης αγωγού ανάμιξης
- 4^η Λύση: Περίπτωση χρήσης πολλαπλών αγωγών
- 5^η Λύση: Περίπτωση αλλαγής κλίσης ανύψωσης του άκρου αγωγού εκροής

Για κάθε μία πρόταση εξετάζονται οι μήνες Ιούνιος, Σεπτέμβριος, Φεβρουάριος και για βάθη εκροής 2m, 5m, 10m.

Εν κατακλείδι παρατίθεται μια σειρά συμπερασμάτων όσο αφορά στην απομείωση της θερμοκρασιακής διαφοράς πλουμίου-περιβάλλοντος ($\Delta T < 1-1,5^{\circ}\text{C}$) και της απόστασης στην οποία λαμβάνει χώρα αυτή, στην τελική πρόταση κατασκευαστικής λύσης, στον εποχιακό χαρακτήρα της πιθανής εμφάνισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στην αναγκαιότητα διενέργειας Μ.Π.Ε. με παρακολούθηση της βιοποικιλότητας της περιοχής σε βάθος χρόνου και συνολικά στην συμπεριφορά του χρησιμοποιούμενου λογισμικού και την ασφάλεια των συμπερασμάτων.

Τέλος γίνεται παράθεση εκτενούς βιβλιογραφίας και δύο παραρτημάτων (Α: χάρτης περιοχής υπό μελέτη και Β: πίνακες ωκεανογραφικών μετρήσεων από τον σταθμό TP01).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

➤ ΠΡΟΛΟΓΟΣ

1^ο Κεφάλαιο: ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

- 1.1 Εισαγωγή
- 1.2 Γενικά περί Θερμικής Ρύπανσης
- 1.3 Σημασία της θερμοκρασίας ως αβιοτικού παράγοντα του θαλάσσιου περιβάλλοντος
- 1.4 Περιοχές που επηρεάζονται από τη θερμική ρύπανση
- 1.5 Επιπτώσεις θερμικής ρύπανσης
- 1.6 Προτεινόμενες λύσεις
- 1.7 Συμπεράσματα

2^ο Κεφάλαιο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΛΟΥΜΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ‘VISUAL PLUMES’

- 2.1 Θεωρητικές αναφορές πάνω στη διάθεση υγρών αποβλήτων στη θάλασσα, στη δημιουργία και διασπορά πλουμίου
 - Γενικά περί διάθεσης υγρών αποβλήτων στη θάλασσα
 - 2.1.1 Διάχυση και διασπορά για βάθη < 20 m
 - 2.1.2 Διάχυση και διασπορά για βάθη > 20 m
 - 2.1.3 Περαιτέρω διάχυση και διασπορά
- 2.2 Παρουσίαση - περιγραφή - ανάλυση λειτουργιών λογισμικού υδραυλικών επιλύσεων Visual Plumes for Windows
 - 2.2.1 Εισαγωγή
 - 2.2.2 Γενική ανασκόπηση της διεπιφάνειας εργασίας (interface)
 - 2.2.3 Μοντέλα που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα του Visual Plumes
 - 2.2.4 Αναλυτική παρουσίαση των επιφανειών εργασίας

3^ο Κεφάλαιο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΓΟΥ

- 3.1 Παρουσίαση κατασκευαστικών δεδομένων αγωγού και μελέτης έργου
- 3.2 Φυσικά χαρακτηριστικά θαλάσσιου περιβάλλοντος
- 3.3 Προτεινόμενοι μήνες για μελέτη-έλεγχο στο λογισμικό Visual Plumes

- 3.4 Σχέση αλατότητας - θερμοκρασίας - πυκνότητας
- 3.5 Στοιχεία ρευμάτων θαλάσσιου περιβάλλοντος
- 3.6 Λογική 'δοκιμών' τοποθέτησης αγωγού
- 3.7 Προτάσεις-λύσεις τοποθέτησης αγωγού

4^ο Κεφάλαιο: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΤΟ VISUAL PLUMES

- 4.1 Τιμές δεδομένων εισαγωγής στο Visual Plumes
- 4.2 Διαμόρφωση και περιεχόμενο διαγραμμάτων
- 4.3 1^η Λύση: Κατασκευαστικά δεδομένα προμελέτης
- 4.4 2^η Λύση: Περίπτωση χρήσης διαχυτήρα
- 4.5 3^η Λύση: Περίπτωση χρήσης αγωγού ανάμιξης
- 4.6 4^η Λύση: Περίπτωση χρήσης πολλαπλών αγωγών
- 4.7 5^η Λύση: Περίπτωση αλλαγής κλίσης ανύψωσης του άκρου αγωγού εκροής

➤ ΕΠΙΛΟΓΟΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

➤ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

➤ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

i) Ευχαριστίες

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της επίπονης αλλά τόσο εποικοδομητικής προσπάθειας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όσους μας βοήθησαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Οφείλουμε αρχικά να ευχαριστήσουμε τον δάσκαλό μας Καθηγητή Ιωάννη Ν. Κρεστενίτη, ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη της εργασίας, καθοδηγώντας μας αρμονικά με πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις από το πρώτο μέχρι το τελικό της στάδιο.

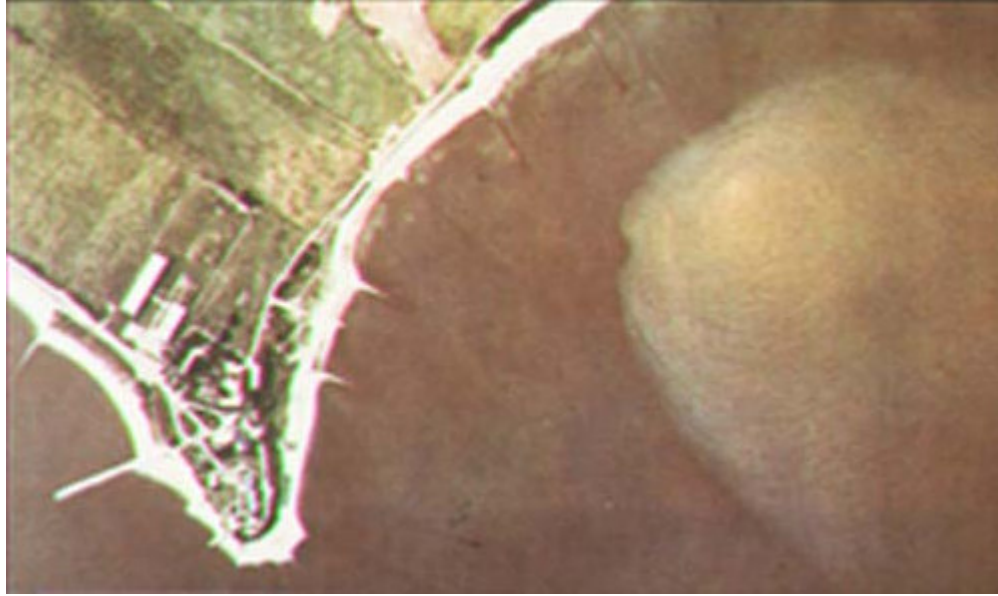
Πολύ σημαντική ήταν η βοήθεια που μας προσέφερε η μεταπτυχιακή φοιτήτρια του τμήματος Βιολογίας Α.Π.Θ. Παλάσκα Γεωργία, της οποίας η μεταπτυχιακή εργασία ‘Επιπτώσεις της Θερμικής Ρύπανσης των Θαλασσών’ (Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2003) υπό την επίβλεψη του αναπληρωτή Καθηγητή Χ. Χιντήρογλου, υπήρξε οδηγός πάνω στην έρευνα μας, όσο αφορά το 1^ο Κεφάλαιο: ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ, παρέχοντάς μας βιβλιογραφικό υλικό και χρήσιμες πληροφορίες, κυρίως πάνω σε θέματα βιολογικών επιπτώσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον Dr. Walter Frick (frick.walter@epa.gov) της Environmental Research Div., NERL, USEPA, Athens, Georgia, USA, του οποίου οι διαδικτυακές συμβουλές και πληροφορίες πάνω στην κατανόηση των λειτουργιών και τον χειρισμό του προγράμματος Visual Plumes ήταν πολύ χρήσιμες.

ii) Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι κατά πρώτον η διερεύνηση των επιπτώσεων της θερμικής ρύπανσης που παρατηρείται σε θαλάσσιους αποδέκτες λόγω αποβολής θερμών λυμάτων κυρίως από παράκτιες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και κατά δεύτερον και κυριότερο η μελέτη της διασποράς αλλά και γενικότερης συμπεριφοράς θερμικού πλουμίου στο θαλάσσιο περιβάλλον με γνώμονα βέβαια την αποφυγή των προαναφερθέντων περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Εικόνα Α).

Η μελέτη βασίζεται πάνω στην κατανόηση των λειτουργιών και την ορθή χρήση του λογισμικού υδραυλικών επιλύσεων Visual Plumes for Windows, το οποίο είναι μια πρότυπη εφαρμογή διαχείρισης υδάτινων ζωνών μίξης για



Εικόνα Α: Ρύπανση στην παράκτια ζώνη του Κόλπου Waitara-Woodlake λόγω εκροής λυμάτων

περιβάλλον Windows, προτεινόμενο από το CEAM (Center for Exposure Assessment Modeling) της EPA (Environmental Protection Agency).

Το πρόβλημα που μελετάται βασίζεται στα κατασκευαστικά δεδομένα αγωγού διάθεσης θερμού νερού στον Θερμαϊκό Κόλπο, ο οποίος πρόκειται να κατασκευαστεί στην ίδια θέση με αυτόν της παλιότερης εγκατάστασης επεξεργασίας πετρελαίου ESSO PAPAS (μετέπειτα ΕΛ.ΠΕ.) στην περιοχή 'Χασάπικα' Θεσσαλονίκης, στα πλαίσια δημιουργίας εγκατάστασης επεξεργασίας φυσικού αερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΠΑ.

1^ο Κεφάλαιο: ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

- 1.1 Εισαγωγή
- 1.2 Γενικά περί Θερμικής Ρύπανσης
- 1.3 Σημασία της θερμοκρασίας ως αβιοτικού παράγοντα του θαλάσσιου περιβάλλοντος
- 1.4 Περιοχές που επηρεάζονται από τη θερμική ρύπανση
- 1.5 Επιπτώσεις θερμικής ρύπανσης
- 1.6 Προτεινόμενες λύσεις
- 1.7 Συμπεράσματα

1.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Θερμική ρύπανση είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των φυσικών υδάτων, ως αποτέλεσμα της εκροής σε αυτά θερμών αποβλήτων από βιομηχανίες και εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, οι οποίες αντλούν νερό από φυσικούς αποδέκτες, το χρησιμοποιούν ως ψυκτικό μέσο και στη συνέχεια το επιστρέφουν στο φυσικό αποδέκτη σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τις θερμοκρασίες άντλησης.

Οι επιπτώσεις της εισροής θερμών υδάτων σε μια υδατοσυλλογή μπορούν να είναι φυσικές, χημικές και βιολογικές .

Οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την περιεκτικότητα του οξυγόνου στο νερό λόγω μείωσης της διαλυτότητας σε αυτό. Το θερμότερο νερό αναγκάζει επίσης τους υδρόβιους οργανισμούς να καταναλώνουν το ήδη μειωμένο οξυγόνο με γρηγορότερους ρυθμούς και αυξάνει την ευαισθησία τους σε ασθένειες, παράσιτα και τοξικές χημικές ουσίες (Εικόνα 1.1). Η εκροή θερμού ύδατος σε παράκτιες ζώνες μπορεί επίσης να αποδιοργανώσει τη διαδικασία της ωοτοκίας και να προκαλέσει το θάνατο νεαρών ατόμων του πληθυσμού διαφόρων ειδών ψαριών.



Εικόνα 1.1: Θερμική ρύπανση σε συνδυασμό με βιολογική μόλυνση παράκτιων υδάτων, που οδηγεί σε εμφάνιση ‘γαλαζοπράσινης’ άλγης.

Αν και στη χώρα μας το φαινόμενο δεν έχει πάρει μεγάλη έκταση, επιβάλλεται η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θερμικής ρύπανσης των φυσικών υδάτων, κυρίως σε παράκτιες εγκαταστάσεις παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτή του Φυσικού Αερίου που προβλέπεται να κατασκευαστεί στην περιοχή των ‘Χασάπικων’ Θεσσαλονίκης (πρώην ESSO PAPAS, ΕΛ.ΠΕ.) με εκροή θερμών υδάτων στον Θερμαϊκό Κόλπο. Ωστόσο στις Η.Π.Α. και στη Γερμανία (Εικόνα 1.2) παρατηρείται πολύ συχνά το φαινόμενο εξαιτίας της πληθώρας παράκτιων πυρηνικών, υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων ή εγκαταστάσεων φυσικού αερίου με αποτέλεσμα πάνω από το 50% του αντλούμενου νερού από πάσης φύσεως υδατοσυλλογές να

χρησιμοποιείται για ψυκτικούς σκοπούς προκαλώντας θερμική ρύπανση κυρίως στις βορειοαμερικανικές παράκτιες ζώνες του Ατλαντικού Ωκεανού.



Εικόνα 1.2: Υπεριώδης απεικόνιση και αεροφωτογραφία αποβολής θερμού ύδατος σε παράκτιο περιβάλλον στη Γερμανία

Τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις αποφυγής των περιβαλλοντικών επιπτώσεων λόγω θερμικής ρύπανσης και στη χώρα μας επιβάλλουν την εύρεση πρακτικών λύσεων που δε θα επιβαρύνουν επαχθώς τις βιομηχανίες. Οι λύσεις αυτές περιλαμβάνουν την εκλογικευμένη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, τον περιορισμό του αποβαλλόμενου θερμού νερού και τον έλεγχο με αραίωση (χρήση ψυκτικών πύργων, ρηχών δεξαμενών εξάτμισης ή συστημάτων αγωγών κλειστού βρόχου κτλ.). Όμως για μια πιο αξιόπιστη προσέγγιση των επιπτώσεων της θερμικής ρύπανσης είναι αναγκαία η ταυτόχρονη βιοπαρακολούθηση, δηλαδή η μελέτη της συγκρότησης των βιοκοινωνιών μιας περιοχής.

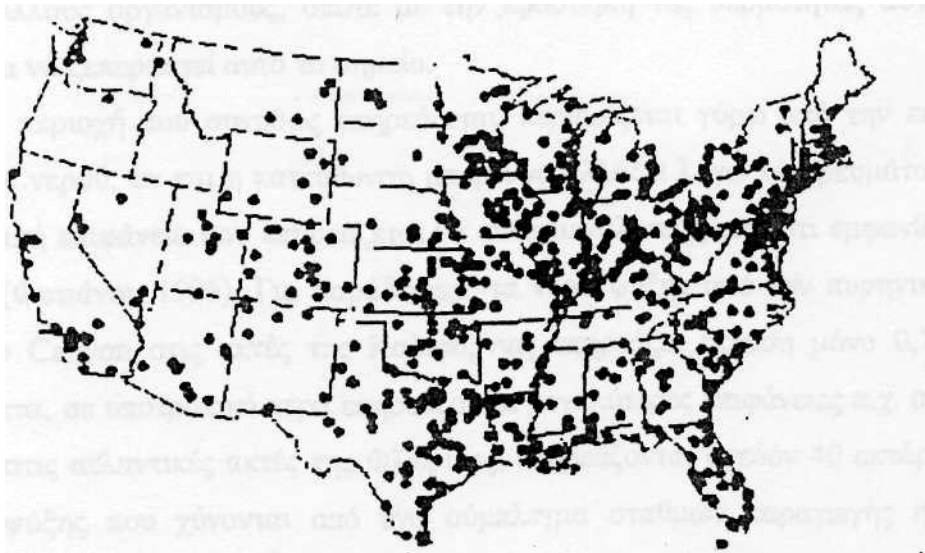
Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 2000/60 της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα πολιτικής των υδάτων, είναι απαραίτητο να ληφθούν αυστηρά μέτρα για τη λειτουργία παράκτιων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που να συμβάλλουν στη βιώσιμη ανάπτυξη.

1.2) ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η εισροή θερμών νερών σε μία υδατοσυλλογή αναφέρεται και ως θερμική ρύπανση. Πρόκειται για μία ιδιάζουσα κατηγορία ρύπου, γιατί πρόκειται για καθαρό μεν νερό, αλλά υψηλότερης θερμοκρασίας από αυτή του αποδέκτη. Μιλούμε για θερμική ρύπανση μιας υδατοσυλλογής όταν εισρέει σε αυτήν νερό σε τόση ποσότητα και με τέτοια θερμοκρασία ώστε η ανύψωση της θερμοκρασίας της υδατοσυλλογής που θα προκύψει να προκαλεί σοβαρές αλλοιώσεις στην υδρόβια κοινότητα. Συνηθέστερες επιπτώσεις αποτελούν η μείωση της βιολογικής ποικιλότητας και η αύξηση του αριθμού των ατόμων κάποιων επικινδύνων για την ισορροπία του υδάτινου οικοσυστήματος ειδών.

Αν και για πολλά χρόνια το νερό χρησιμοποιούνταν ως ψυκτικό μέσο στις βιομηχανίες και ιδιαίτερα στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό δεν θεωρούνταν πρόβλημα, καθώς τίποτα εν είδη ρύπου δεν προστίθεται σε αυτό. Σχετικά πρόσφατα διαπιστώθηκε ότι ακόμη και μικρές μεταβολές στη θερμοκρασία του νερού μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον. Άλλωστε, με τον όρο ρύπανση των νερών, δεν εννοούμε μόνο κάθε άμεση ή έμμεση, ανθρωπογενούς προέλευσης, εισαγωγή ουσιών στο υδάτινο περιβάλλον, που επιφέρει δυσμενείς επιδράσεις στους ζωντανούς οργανισμούς ή στην ανθρώπινη υγεία ή ακόμη αλλοιώνει την ποιότητα του νερού, αλλά και την εισαγωγή ενέργειας στο υδάτινο περιβάλλον με τα ανάλογα αποτελέσματα..

Το θαλασσίνο νερό χρησιμοποιείται συχνά ως ψυκτικό μέσο σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, στα διυλιστήρια πετρελαίου και σε άλλες βιομηχανίες. Αυτός είναι και ο λόγος που οι περισσότερες βιομηχανίες έχουν κτιστεί κοντά σε παράκτιες ζώνες. Το θερμό νερό που προκύπτει από τη διεργασία της ψύξης, επιστρέφεται στη θάλασσα, οπότε επιδρά στο θαλάσσιο περιβάλλον με τη μορφή θερμικής ρύπανσης. Οι κατά τόπους συγκεντρώσεις θερμών νερών μπορεί να είναι σημαντικές σε περιοχές με όχι καλή κυκλοφορία του νερού, όπως λιμνοθάλασσες και κλειστοί κόλποι. Επομένως, το κύριο αίτιο της θερμικής ρύπανσης είναι οι βιομηχανίες εκείνες που για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες νερού ως ψυκτικό υλικό. Η μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας που καταλήγει στη θάλασσα προέρχεται από νερά ψύξης από παραθαλάσσιους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Περίπου 20.000.000 m³ νερών ψύξης χύνονται στη θάλασσα, 12 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος της θάλασσας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 1000 MW που παράγεται σε σταθμούς από καύση πετρελαίου ή άνθρακα (Εικόνα 2). Οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι λιγότερο αποτελεσματικοί και τα νερά ψύξης από αυτούς είναι περίπου 15°C πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Εικόνα 3).



Εικόνα 2 : Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

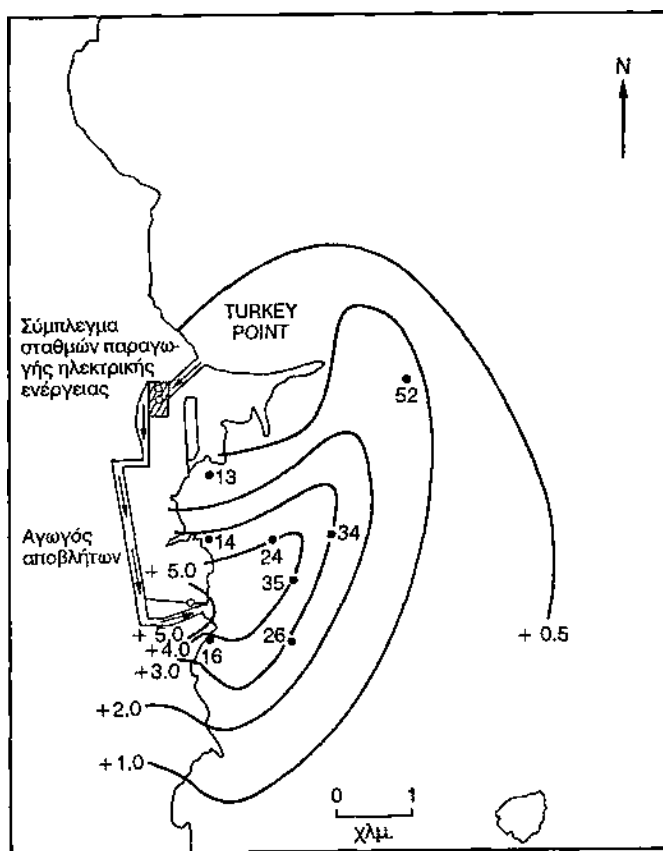


Εικόνα 3 : Πυρηνικά εργοστάσια στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Στις εύκρατες περιοχές, η μέγιστη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια και συνεπώς η μεγαλύτερη ποσότητα νερού ψύξης που καταλήγει στη θάλασσα, είναι το χειμώνα όταν η θερμοκρασία της θάλασσας είναι χαμηλή και έχει πτωτική τάση. Στις υποτροπικές περιοχές, κυρίως εκείνες της Βόρειας Αμερικής, το μέγιστο φορτίο παρατηρείται το καλοκαίρι, λόγω της εκτεταμένης χρησιμοποίησης των ψυκτικών μηχανημάτων. Επομένως, στις περιοχές αυτές η μέγιστη ποσότητα θερμού νερού που απορρέει στη θάλασσα πραγματοποιείται σε εποχές που οι θερμοκρασίες της θάλασσας βρίσκονται σε μέγιστο όριο 30-35°C. Όχι μόνο η θερμότητα που προστίθεται απορροφάται πιο αργά από ότι στις ψυχρές θάλασσες, αλλά οι θερμοκρασίες της θάλασσας βρίσκονται ήδη κοντά στο σημείο του θερμοκτικού θανάτου για

πολλούς οργανισμούς, οπότε με την προσθήκη της θερμότητας αυτής μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί αυτό το σημείο.

Η περιοχή που συνήθως επηρεάζεται, περιορίζεται γύρω από την εκβολή του θερμού νερού, αν και η κατεύθυνση μπορεί να αλλάξει λόγω των ρευμάτων, ώστε η συνολική επιφάνεια που επηρεάζεται να είναι μεγαλύτερη από ότι εμφανίζεται στην αρχή. Για παράδειγμα, τα νερά ψύξης από τον πυρηνικό σταθμό Diablo Canyon στις ακτές της Καλιφόρνιας επηρεάζουν έκταση μόνο 2832,8 m² (0,7 εκτάρια). Αντίθετα, σε υποτροπικά νερά επηρεάζονται μεγαλύτερες επιφάνειες π.χ. στο Turkey Point στις ατλαντικές ακτές της Φλόριδας, επηρεάζονται σχεδόν 161874,4 m² (40 εκτάρια) από τα νερά ψύξης που χύνονται από ένα σύμπλεγμα σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας λόγω εκροής νερών ψύξης από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Φλόριδα των ΗΠΑ.

Προκειμένου να κατανοηθούν καλύτερα οι αλλαγές που προκαλούνται από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι πιθανές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς, κρίνεται σκόπιμη μία περιληπτική αναφορά της κυκλοφορίας του νερού μέσα στο εργοστάσιο. Τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες νερού στους συμπυκνωτές για την ψύξη και υγροποίηση του ατμού των στροβίλων.

Υπάρχουν τρεις τύποι συστημάτων ψύξης :

1) Το ανοικτό ή άμεσο σύστημα, στο οποίο το νερό της θάλασσας, του ποταμού ή της λίμνης, περνά μέσα από αντλίες στους συμπυκνωτές (που αποτελούνται από πολλούς σωλήνες), χρησιμοποιείται μία φορά για ψύξη και επιστρέφει στο φυσικό αποδέκτη με θερμοκρασία περίπου 10 °C υψηλότερη από αυτή του αποδέκτη. Για να αποφευχθεί η ανάπτυξη βακτηρίων ή μυκήτων στις επιφάνειες των σωλήνων προστίθεται χλώριο.

2) Το κλειστό ή έμμεσο σύστημα, στο οποίο το νερό χρησιμοποιείται πολλές φορές για την ψύξη του ατμού, αφού κάθε φορά ψυχθεί στους ειδικούς πύργους (ψυκτήρες). Υπάρχουν πολλοί τύποι ψυκτήρων. Κατά την ψύξη χάνεται μέρος των θερμών νερών από το άνω μέρος των ψυκτήρων και με τη μορφή ατμών διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, οπότε μπορούμε να μιλήσουμε και για θερμική ρύπανση της ατμόσφαιρας. Το νερό που συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος του ψυκτήρα και δεν επαναχρησιμοποιείται οδηγείται στο φυσικό αποδέκτη σε ικανοποιητική θερμοκρασία. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις που υπάρχουν περιορισμένες ποσότητες νερού, γεγονός που δεν ισχύει για τη θάλασσα.

3) Το μικτό σύστημα. Πρόκειται για το συνδυασμό ενός ανοικτού και ενός κλειστού συστήματος.

Οι παραπάνω τύποι συστημάτων ψύξης παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω στις προτεινόμενες λύσεις.

1.3) ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΩΣ ΑΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Δύο κύρια χαρακτηριστικά διαχωρίζουν σαφώς το θαλάσσιο περιβάλλον από την ξηρά, και αυτά είναι η συνέχεια και η ομοιομορφία των συνθηκών του περιβάλλοντος. Οι περισσότερες θάλασσες βρίσκονται σε άμεση επικοινωνία μεταξύ τους. Τόσο όμως η συνέχεια όσο και η ομοιομορφία είναι περισσότερο φαινομενικές παρά πραγματικές ιδιότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, διότι υπάρχουν φραγμοί για τους οργανισμούς. Ακόμη και μικρές διαφορές στη θερμοκρασία, την αλατότητα και άλλες συνθήκες, έχουν μεγάλη σημασία για τους οργανισμούς και αποτελούν φράγμα για την εξάπλωσή τους. Ειδικότερα τα θερμικά πλούμια, με την θερμοκρασιακή αύξηση που προκαλούν στο ευρύτερο περιβάλλον τους, μπορούν να αποτελέσουν καθοριστικά όρια περιορισμού της διασποράς πληθυσμών σε συγκεκριμένες περιοχές. Για την κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων από την επίδραση της θερμικής ρύπανσης στους

θαλάσσιους οργανισμούς, είναι αναγκαία η αναφορά στη σημασία της θερμοκρασίας ως αβιοτικού παράγοντα του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Για τους θαλάσσιους οργανισμούς η θερμοκρασία αποτελεί τον κύριο οικολογικό παράγοντα. Έχει άμεσες αλλά και έμμεσες επιδράσεις στους υδρόβιους οργανισμούς. Έμμεσα, επιδρά δια των αλλαγών που προκαλεί στις φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού (πυκνότητα, διαλυτότητα οξυγόνου κτλ.). Επίσης, επηρεάζει τη σταθερότητα της στήλης του νερού, καθορίζοντας το χρόνο παραμονής των πλαγκτονικών οργανισμών στην ευφωτική ζώνη και την ποσότητα των θρεπτικών ουσιών. Άμεσα, η θερμοκρασία επηρεάζει το μεταβολικό ρυθμό των οργανισμών (καθώς αυξάνεται η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων), τη γεωγραφική κατανομή φυτών και ζώων και την αφθονία τους στις διάφορες εποχές.

Πιο συγκεκριμένα, όλες οι ζωτικές λειτουργίες των οργανισμών πραγματοποιούνται σε ένα σχετικά μικρό θερμοκρασιακό εύρος, συνήθως, μεταξύ 0 και 40°C. Ορισμένοι οργανισμοί ανέχονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες ή μικρότερες από αυτά τα όρια, όπως όσοι ζούνε σε θερμές πηγές (85 °C). Εντός των ορίων επιβίωσης, όλες οι μεταβολικές διεργασίες επηρεάζονται από τη θερμοκρασία και συνήθως ο ρυθμός τους αυξάνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας (π.χ. αυξάνεται ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης στα φυτά, ο ρυθμός της αναπνοής κτλ.). Γενικά, ο μεταβολικός ρυθμός διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C. Η αύξηση του μεταβολισμού προϋποθέτει περισσότερη ενέργεια και συνεπώς περισσότερη κατανάλωση τροφής. Τα αποτελέσματα των αλλαγών στη θερμοκρασία δεν είναι τα ίδια για όλες τις μεταβολικές διαδικασίες, γιατί τα ένζυμα διαφέρουν ως προς την ευαισθησία τους στη θερμοκρασία, ενώ επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες, όπως το φως, το pH και τα θρεπτικά. Ο θάνατος στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες φαίνεται ότι συνδέεται με την αδρανοποίηση των αναπνευστικών ενζύμων. Η λειτουργία της αναπαραγωγής εμφανίζει ευαισθησία ως προς τη θερμοκρασία και συντελείται εντός στενότερων θερμικών ορίων από τα όρια επιβίωσης των οργανισμών. Η θερμοκρασία επιταχύνει και το ρυθμό ανάπτυξης των οργανισμών, όμως οι υψηλότερες θερμοκρασίες ανάπτυξης δεν συνδέονται με τα μεγαλύτερα μήκη σώματος ενός είδους, γιατί ο καθοριστικός παράγοντας για τη διαμόρφωση του μήκους είναι η διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης, η οποία βραχύνεται στις υψηλές θερμοκρασίες.

Στους ωκεανούς η θερμοκρασία ποικίλει (κατά την οριζόντια διεύθυνση) με την αλλαγή του γεωγραφικού πλάτους. Η κατανομή των οργανισμών σχετίζεται με τις αλλαγές της θερμοκρασίας. Κλασσικό παράδειγμα αποτελεί η κατανομή των κοραλλιών, τα οποία δεν απαντώνται σε περιοχές όπου η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χρόνου πέφτει κάτω από 21°C. Με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους η θερμοκρασία μειώνεται, από περίπου 28°C στους τροπικούς σε 0°C στους πόλους. Στους τροπικούς και στους πόλους η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας δεν ξεπερνά τους 2°C, ενώ στις εύκρατες περιοχές κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10°C. Η θερμοκρασία ποικίλει επίσης με το βάθος. Στους τροπικούς τα επιφανειακά νερά είναι ζεστά (20-30°C) ολόκληρο το χρόνο, ενώ στις εύκρατες ζώνες τα νερά είναι ζεστά το καλοκαίρι. Κάτω από το ζεστό επιφανειακό νερό, η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά, ενώ από τα 50-300 m μειώνεται απότομα.

Οι περισσότεροι υδρόβιοι οργανισμοί είναι προσαρμοσμένοι να ζουν σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών. Μεταξύ αυτών βρίσκεται και η βέλτιστη θερμοκρασία επιβίωσης. Για παράδειγμα, πολλά ποτικά είδη διαθέτουν ένζυμα που λειτουργούν καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες και δεν μπορούν να ανεχθούν ζεστά νερά. Το αντίθετο ισχύει για πολλά τροπικά είδη. Βέβαια, οι άριστες συνθήκες ενός παράγοντα για κάθε είδος εξαρτώνται και από την ηλικία και το αναπτυξιακό στάδιο των οργανισμών.

1.4) ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων κοινωνιών για ηλεκτρική ενέργεια οδηγούν στη δημιουργία όλο και περισσότερων σταθμών παραγωγής ενέργειας σε παράκτιες περιοχές. Η θερμική ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος δεν έχει μελετηθεί επαρκώς, σε σύγκριση με άλλες πιο έκδηλες μορφές ρύπανσης (από λύματα, βαρέα μέταλλα κτλ.). Έτσι, το ερευνητικό αυτό πεδίο είναι ανοικτό για βιολογικές έρευνες όσον αφορά στις αποκρίσεις των υδρόβιων οργανισμών στη θερμική ρύπανση. Οι περισσότερες από τις έρευνες που έγιναν πάνω στο θέμα επικεντρώνονται στις βενθικές κοινωνίες, γιατί θεωρούνται οι πλέον κατάλληλες για τη μελέτη των επιδράσεων διαφόρων ειδών ρύπανσης. Η άποψη αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι τα βενθικά είδη είναι ευάλωτα, στις όποιες επιπτώσεις της αποβολής θερμού νερού, καθώς έχουν περιορισμένη δυνατότητα να ξεφύγουν. Πολλά από αυτά είναι προσκολλημένα στο υπόστρωμα, ενώ ακόμη και εκείνα που έχουν ικανότητα μετακίνησης, στην πραγματικότητα κινούνται ελάχιστα κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Μέχρι στιγμής φαίνεται ότι οι περιοχές που επηρεάζονται από τη θερμική ρύπανση περιορίζονται γύρω από τα σημεία εκβολών του θερμού νερού. Οι μεταβολές που προκαλούνται στο θαλάσσιο περιβάλλον από την εισροή θερμών νερών μπορεί να ποικίλουν, καθώς εξαρτώνται από την ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται και από τα κλιματικά, υδρολογικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη περιβαλλόντων. Για αυτό το λόγο είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς *a priori* την επίδραση των θερμών αποβλήτων στη θάλασσα.

Οι επιδράσεις της θερμικής ρύπανσης είναι πιο έντονες στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, στις οποίες οι οργανισμοί ζούνε σε νερά με θερμοκρασίες που πλησιάζουν το θερμικό τους μέγιστο. Επομένως, έστω και μία μικρή αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει θερμική πίεση (θερμικό stress) σε τέτοιες κοινωνίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των επιπτώσεων της εισροής θερμών νερών στις τροπικές κοινωνίες περιγράφεται από τους Banus & Kolehmainen (1976) στις νότιες ακτές του Πουέρτο Ρίκο, όπου ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προωθεί νερό με θερμοκρασία 8-10°C υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε μια λιμνοθάλασσα. Η θερμοκρασία του νερού της λιμνοθάλασσας φτάνει τους 39°C το καλοκαίρι. Το γεγονός αυτό επηρεάζει την αναπαραγωγή των κυρίαρχων μακρόβιων δέντρων του κόλπου, ενώ δεν έχουν βρεθεί νεαροί βλαστοί των

ειδών αυτών. Οι οργανισμοί που απαντώνται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη έχουν μεγαλύτερη ικανότητα ανοχής στις αλλαγές της θερμοκρασίας.

Επιπλέον, οι επιπτώσεις της θερμικής ρύπανσης εξαρτώνται από την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας (Εικόνα 5). Σε ένα κλειστό κόλπο για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στην παρακείμενη στο εργοστάσιο περιοχή θα είναι μεγαλύτερη, εξαιτίας της έλλειψης ρευμάτων ή έντονου κυματισμού (Εικόνα 6).



Εικόνα 5: Διασπορά πλουμίου σε ανοικτό κόλπο



Εικόνα 6: Διασπορά πλουμίου θερμών αποβλήτων σε κλειστό κόλπο (Λίμνη Cayuga Μάρτιος 1983)

Π.χ. σε ένα κλειστό λιμάνι στη Μεγάλη Βρετανία η θερμοκρασία του νερού εξαιτίας της εισροής θερμών υδάτων διατηρούνταν περίπου 5°C πάνω από τη φυσιολογική. Ένα

ενδημικό βρετανικό είδος στρειδιού της περιοχής εξαφανίστηκε και αντικαταστάθηκε από ένα υποτροπικό είδος, ενώ καταγράφηκαν και ποικίλα άλλα είδη χαρακτηριστικά των θερμών νερών. Αντίθετα, σε μία «ανοικτή» ακτή όπου η μάζα του θερμού νερού παρασύρεται και διασκορπίζεται εξαιτίας των ρευμάτων και των ανέμων, οι επιπτώσεις δεν αναμένεται να είναι τόσο έντονες, ιδιαίτερα στις εύκρατες περιοχές. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα είδη που συναντώνται σε εκβολές ποταμών υφίστανται ήδη μιας μορφής stress εξαιτίας των μεταβολών της αλατότητας, που ενισχύεται με τις αλλαγές στη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό προτείνεται να αποφεύγεται η οικοδόμηση εργοστασίων σε εκβολές ποταμών (δέλτα ποταμών) και σε περιοχές με περιορισμούς στην κυκλοφορία των υδάτων και να προτιμούνται οι ανοικτές ακτές.

1.5) ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η θερμική ρύπανση έχει αποτελέσματα που δύσκολα προσδιορίζονται με ακρίβεια.

Π.χ. παρατηρείται σημαντική μείωση της αλατότητας του νερού και των διακυμάνσεων αυτής στο χρόνο και στο χώρο. Οι συνέπειες μιας τέτοιας ρύπανσης είναι πολυποίκιλες και αφορούν κατά κύριο λόγο την διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό κ.α.

Επίσης όσο αφορά την άλγη, το πλαγκτόν και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς η δράση της θερμικής ρύπανσης είναι πολυδιάστατη. Έχουν σημειωθεί οι εξής αντιδιαμετρικές επιπτώσεις: α) γρήγοροι ρυθμοί πολλαπλασιασμού πληθυσμού, β) σημαντική αύξηση της θνησιμότητας. Το θερμό νερό επηρεάζει έντονα και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες τον μεταβολισμό της άλγης, το φυτοπλαγκτόν και τη βενθική μακροφάγωση.

Μερικά γεγονότα όσο αφορά τις επιπτώσεις της θερμικής ρύπανσης που φαίνεται να έχουν γενική ισχύ είναι τα εξής :

- παρατηρείται μια αριθμητική δυσαναλογία μεταξύ των υπαρχόντων ειδών, εξαιτίας διαφορών που παρουσιάζουν οι διάφοροι οργανισμοί στις ανοχές στην άνοδο της θερμοκρασίας του νερού, με συνακόλουθη εξασθένηση της δομής και της ισορροπίας του οικοσυστήματος.

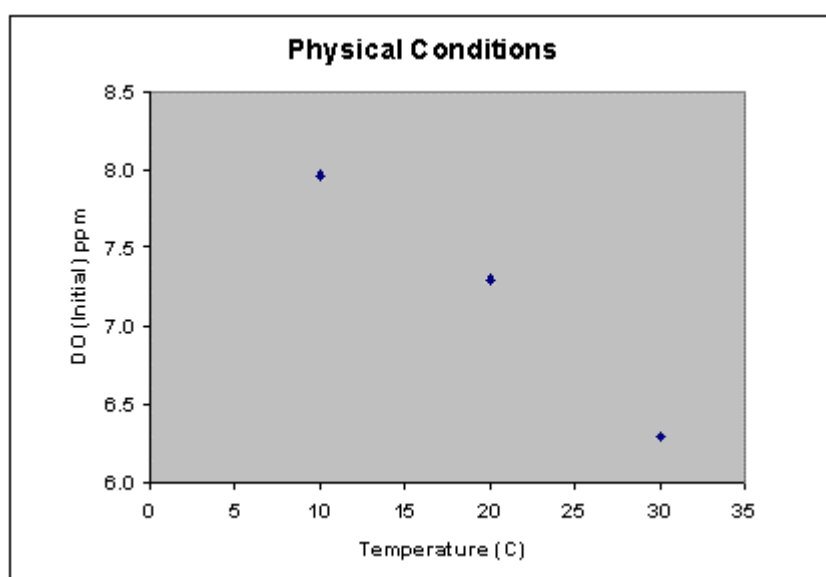
- η αναδιάταξη του οικοσυστήματος καταλήγει σε τρεις ζώνες: μια νεκρή ζώνη, μια ζώνη με μειωμένη ποικιλομορφία και τελικά μια ζώνη όπου παρατηρείται μια βαθμιαία αποκατάσταση της χλωρίδας του εξεταζόμενου βιότοπου.

Οι επιδράσεις της θερμικής ρύπανσης στους θαλάσσιους οργανισμούς ποικίλουν σημαντικά. Συνοπτικά, οι συνέπειες της προώθησης θερμού νερού στη θάλασσα είναι οι εξής:

- Μειώνεται η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά.

- Αυξάνονται οι ταχύτητες των χημικών αντιδράσεων που επιτελούνται εκεί
- Δημιουργείται μία όχι φυσική κατάσταση για την υδροχαρή ζωή και
- Εάν η θερμοκρασία υπερβεί το όριο αντοχής των διαφόρων ζωικών και φυτικών οργανισμών, τότε αυτοί νεκρώνονται.

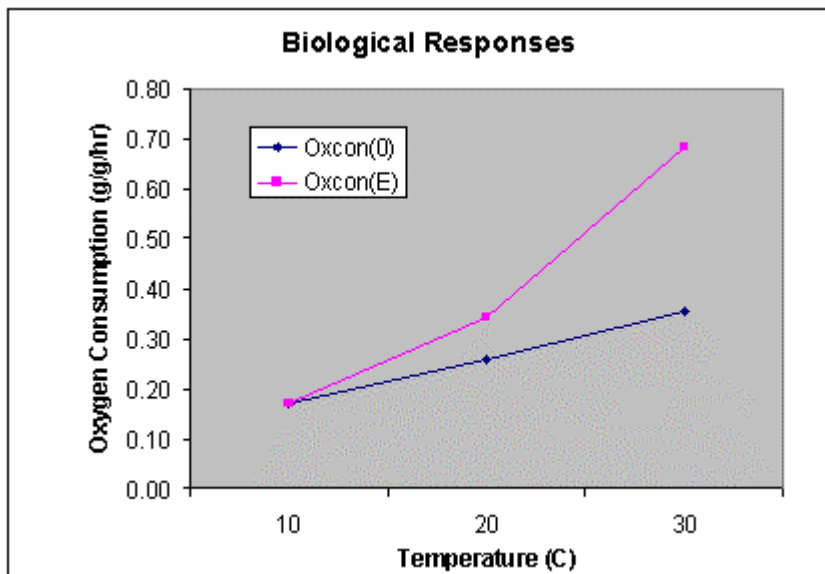
Η κυριότερη συνέπεια είναι η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου. Η μείωση αυτή δεν οφείλεται μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας του υδατικού χώρου, αλλά και στο γεγονός ότι το αποβαλλόμενο θερμό νερό, καθώς συνήθως είναι ελαφρύτερο, παραμένει στην επιφάνεια, δημιουργώντας ένα θερμότερο στρώμα, με μικρότερη ικανότητα διάλυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Δηλαδή, παρατηρείται μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1.1.



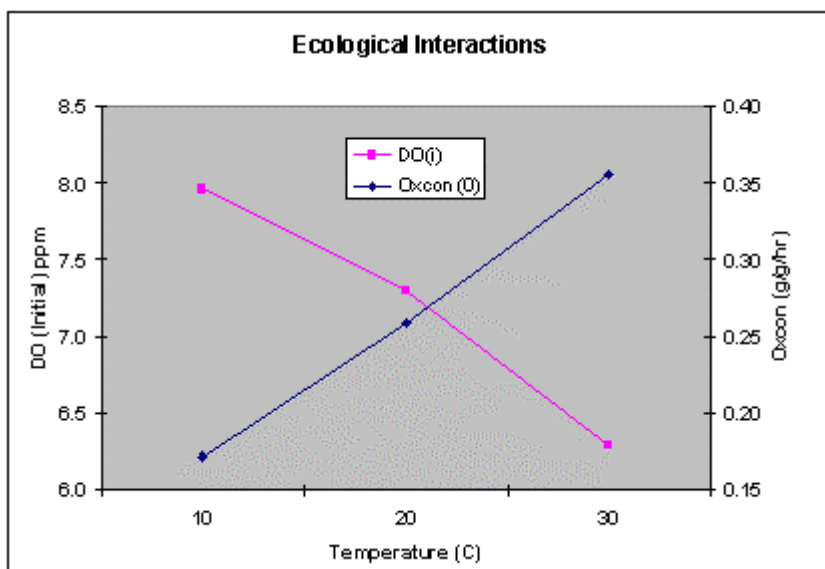
Διάγραμμα 1.1: Σενάριο της γραμμικά αυξανόμενης σχέσης ανάμεσα στη θερμοκρασία θαλάσσιου περιβάλλοντος και αρχικής συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου (DO_i).

Παράλληλα, επιταχύνεται η διεργασία της αναπνοής των ψαριών εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απαιτήσεις τους σε οξυγόνο όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1.2. Με άλλα λόγια ύψωση της θερμοκρασίας του νερού σημαίνει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε οξυγόνο και μείωση του οξυγόνου όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και στο Διάγραμμα 1.3, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα ασφυξίας.

Μία ακόμη συνέπεια που παρατηρείται με τα νερά ψύξης στις βιομηχανίες είναι ότι τα νερά αυτά χλωριώνονται για να περιοριστεί η ανάπτυξη των διαφόρων μικροοργανισμών που προκαλούν αποφράξεις των σωλήνων. Όμως με τον τρόπο αυτό, τα αποβαλλόμενα χλωριωμένα νερά καταστρέφουν το έμβιο περιβάλλον.



Διάγραμμα 1.2: Σενάριο κατανάλωσης οξυγόνου από το είδος *Crassius auratus* σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 1.3: Οικολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαλυμένου οξυγόνου (DO_i) και κατανάλωσης οξυγόνου (Oxcon) σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας. Προσοχή στην αντίστροφη σχέση μεταξύ 'DO' και 'Oxcon' στις υψηλές θερμοκρασιακές τιμές.

Μία από τις μακροσκοπικές επιπτώσεις της θερμικής αλλοίωσης που έχουν παρατηρηθεί, είναι η εκλεκτική ανάπτυξη φυκών στα φυσικά υδάτινα συστήματα. Κάτω από τους 20°C κυριαρχούν τα διάτομα, ενώ στους 30°C τα πράσινα φύκια και πάνω από τους 30° C τα κυανοπράσινα φύκια. Η θερμική ρύπανση μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και να αλλάξει το χαρακτήρα των φυτικών κοινοτήτων στη γειτονική του σημείου απορροής των ζεστών νερών περιοχή.

Επίσης, ελαττώνεται η ικανότητα αντίστασης των υδροχαρών οργανισμών και των ψαριών σε ασθένειες και στις τοξικές ουσίες. Έτσι, επηρεάζονται διάφορες σημαντικές βιολογικές λειτουργίες τους π.χ. ελάττωση του χρόνου επώασης των αυγών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι επιδράσεις της θερμικής ρύπανσης στη θαλάσσια ζωή είναι ιδιαίτερα έντονες στις τροπικές περιοχές. Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, που απαντώνται στα αβαθή νερά των τροπικών και υποτροπικών περιοχών, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι. Π.χ. στο νησί Oahu της Χαβάης τα κοράλλια προσβλήθηκαν από τα θερμά απόβλητα ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σχεδόν όλες οι αποικίες κοραλλιών πεθαίνουν σε νερό 4-5° C πάνω από την ανεκτή θερμοκρασία. Το παγκόσμιο φαινόμενο του αποχρωματισμού των κοραλλιών που άρχισε γύρω στο τέλος της δεκαετίας του '80, έχει αποδοθεί από ορισμένους βιολόγους στις αυξημένες θερμοκρασίες του νερού. Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι συνιστούν τα βιολογικά παραγωγικότερα οικοσυστήματα με τη μεγαλύτερη βιοποικιλότητα και κρίνονται ισοδύναμα μόνο με τα τροπικά δάση. Γίνονται λοιπόν εύκολα αντιληπτές οι συνέπειες από την καταστροφή τους.

Καθώς μεγάλες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, πολλά αυγά, λάρβες και νεαρά άτομα διαφόρων οργανισμών εισέρχονται στους σωλήνες εισόδου, περνούν μέσα από το σύστημα ενέργειας του εργοστασίου, θερμαίνονται απότομα και επιστρέφουν στο φυσικό περιβάλλον μέσω των αγωγών εκροής. Έτσι, ένα σημαντικό ποσοστό θνησιμότητας των οργανισμών αυτών σχετίζεται με αυτές τις διεργασίες. Αν τα ψάρια είναι αρκετά μεγάλα μπορεί να παγιδευτούν στα συστήματα εισόδου με άμεσες συνέπειες για τη ζωή τους. Οι αντλίες εισόδου δημιουργούν ισχυρή πίεση που οδηγεί στη σύνθλιψη πολλών υδρόβιων οργανισμών. Βέβαια, γίνονται προσπάθειες για να βρεθούν τρόποι σχεδιασμού των συστημάτων εισόδου που θα μειώνουν τους θανάτους των ψαριών.

Παρακάτω γίνεται αναλυτική αναφορά στα αποτελέσματα μελετών που αποδεικνύουν τις αρνητικές συνέπειες από την αποβολή θερμών υδάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι συνέπειες αυτές μπορούν να χωριστούν στις εξής παρακάτω ομάδες:

α) Φυσικές:

- 1) Πυκνότητα
- 2) Ιξώδες
- 3) Πίεση Ατμών
- 4) Διαλυτότητα

1 & 2) Νόμος του Stokes – κατακάθιση στερεών σε μη τυρβώδες μέσο:

$$Vt = \frac{D^2 \cdot g}{18\mu} (\rho_s - \rho_f)$$

Παρατηρούμε ότι αύξηση στη θερμοκρασία μειώνει τα ρ_f και μ με συνέπεια την αύξηση Vt . Αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει τη θέση και το ποσό κατακαθισμένων ιζημάτων. Μικρές διαφορές στο πυκνοκλινές μπορούν να προκαλέσουν στρωμάτωση η οποία επίσης εξαρτάται από το βάθος και τη ροή του

νερού και μπορεί να εμποδίσει την κατακόρυφη μίξη στρωμάτων νερού και τη μεταφορά οξυγόνου.

3) Η αύξηση στην πίεση ατμών συνεπάγεται αύξηση στο ρυθμό εξατμίσεως και προκαλείται από τη διαφορά της μεταξύ νερού και αέρα, καθώς επίσης και από την ταχύτητα του ανέμου.

$$F = \frac{C \cdot W}{L} (e_s - e_a)$$

F = ροή εξάτμισης (kg/m²s)

L = λανθάνουσα θερμότητα (J/kg)

C = εμπειρικός συντελεστής εξάτμισης

W = ταχύτητα ανέμου (m/s)

e_s = πίεση ατμών κορεσμένου αέρα σε θερμοκρασίες επιφανειακού νερού (Pa)

e_a = πίεση ατμών υπερκείμενου αέρα

4) Οι περισσότεροι ζωντανοί οργανισμοί εξαρτώνται από το οξυγόνο με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Η σχέση της θερμοκρασίας ύδατος με τη διαλυτότητα των αερίων σε αυτό αποτελεί μια σημαντική πτυχή της θερμικής ρύπανσης.

Η διαλυτότητα είναι άμεσα ανάλογη προς τη μερική πίεση σε δεδομένη θερμοκρασία για συνθήκες ισορροπίας.

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές προκαλούν περιπλοκές στη δυναμική ισορροπία του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα και καθιστούν δύσκολη την ικανοποίηση των απαιτήσεων σε αυτό λόγω φωτοσύνθεσης, ατμοσφαιρικών ανακατατάξεων κτλ.

Καθώς στη θάλασσα σπάνια συναντώνται κορεσμένες μάζες νερού, η άνοδος της θερμοκρασίας μειώνει την ικανότητα κατακράτησης οξυγόνου η οποία είναι ήδη μικρότερη από τη βέλτιστη.

Τα πρόσφατα στοιχεία αποδεικνύουν ότι οι αυξανόμενες θερμοκρασίες μπορούν να αυξήσουν τα επίπεδα αζώτου στο θαλάσσιο περιβάλλον με συνακόλουθα σοβαρές επιπτώσεις στη θαλάσσια ζωή.

β) Χημικές:

Η θερμοκρασία ως παράγοντας αύξησης των χημικών αντιδράσεων:

Σχέση Arrhenius:

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

E_a = ενέργεια ενεργοποίησης βιοχημικών αντιδράσεων

Μεγάλη τιμή της **E_a** έχει ως αποτέλεσμα μικρή τιμή του **K** που αποτελεί σταθερά ισορροπίας άρα και αργές αντιδράσεις. Ο ρυθμός των αντιδράσεων μεγαλώνει σε

ψηλότερες θερμοκρασίες. Για δεδομένη αντίδραση η θέση ισορροπίας αλλάζει με τη θερμοκρασία και άλλες συνθήκες όπως οι αρχικές συγκεντρώσεις των αντιδρώντων.

Η σταθερά ισορροπίας επηρεάζεται από τη θερμοκρασία:

ΣΤΑΘΕΡΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ:



$$Kp = \frac{P_c^2}{P_A^2 \cdot P_B}$$

Η σταθερά ισορροπίας αυξάνει όσο αυξάνει η θερμοκρασία όταν η αντίδραση είναι ενδόθερμη και μειώνεται όταν η αντίδραση είναι εξώθερμη.

Σύμφωνα με τη εξίσωση Van't Hoff:

$$\frac{d \ln(k)}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

η ταχύτητα περίπου διπλασιάζεται για κάθε 10° C αύξηση.

Στις αντιστρέψιμες αντιδράσεις, η θερμοκρασία επηρεάζει το χρόνο και το σημείο ισορροπίας.



Πολλές από τις αντιδράσεις που επηρεάζουν την ποιότητα νερού είναι βιοχημικές και αφορούν κυρίως τη μικροβιακή δραστηριότητα. Οι περισσότερες από αυτές συμβαίνουν στις χαμηλές θερμοκρασίες με παρουσία ενζύμων που είναι με τη σειρά τους ευαίσθητα σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Η μέγιστη δραστηριότητα παρατηρείται μεταξύ 30° και 37° C και για μεγαλύτερες τιμές αναστέλλεται.

Προβλήματα στη γεύση και οσμή του νερού μπορούν να προκληθούν θερμοκρασιακές μεταβολές που επιταχύνουν χημικές ή βιοχημικές αντιδράσεις, ιδιαίτερα όταν μειώνεται το οξυγόνο.

Οι ουσίες που μπορούν να συσσωρευτούν περιλαμβάνουν H₂S, SO₂, CH₄, ενώσεις σιδήρου, ανθρακικά άλατα, θειικά άλατα και φαινόλες.

Η γεύση και οσμή παρουσιάζει αλλοιώσεις κυρίως σε θερμά ύδατα λόγω της μειωμένης διαλυτότητας.

Όταν οι θερμοκρασίες στο θαλάσσιο περιβάλλον αυξάνονται, η δράση των μικροοργανισμών προκαλεί αύξηση του BOD σε μικρότερες αποστάσεις από ότι συνήθως.

γ) Βιολογικές:

Η θερμοκρασία είναι σημαντική στη συντήρηση των βέλτιστων χαρακτηριστικών στα υδρόβια συστήματα.

Παράδειγμα οι θερμοκρασίες που δεν σκοτώνουν τα ψάρια ή τα οστρακόδερμα μπορεί να έχουν επιπτώσεις στο μεταβολισμό, την αναπαραγωγή και την ανάπτυξη με αποτέλεσμα τη μείωση πληθυσμών που χρησιμεύουν ως τροφή.

Όμως λόγω της πολυπλοκότητας των φυσικών συστημάτων, πρέπει να αποφεύγεται η γενίκευση των επιπτώσεων της θερμοκρασιακής αύξησης στον υδρόβιο βιόκοσμο. Καταλληλότερο είναι να μελετούνται τοπικά τα πιο σημαντικά και ευαίσθητα είδη.

γ.ι) Ψάρια:

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η θερμοκρασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα τη φυσιολογία των ψαριών. Η θερμοκρασία του οργανισμού των ψαριών πλησιάζει αυτή του περιβάλλοντα χώρου, διαφέροντας μόνο κατά 0.5-10°C. Οι εξωτερικές θερμοκρασίες πρέπει να συνάδουν με τις εσωτερικές θερμοκρασιακές ανάγκες.

Οι μεταβολικοί ρυθμοί αυξάνουν με τη θερμοκρασία σε σημείο που να προκαλούν θάνατο. Εξαρτώνται δε άμεσα από το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου και την αλατότητα και μπορούν να αποτελέσουν δείκτη για τη γένεση μεταναστευτικών ρευμάτων.

Με την άνοδο της θερμοκρασίας αυξάνει ο ρυθμός του μεταβολισμού, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στο θάνατο. Οι αλλαγές στο μεταβολικό ρυθμό επηρεάζουν και τη μετανάστευση των ψαριών. Ο θάνατος μπορεί να προκληθεί:

- 1) Από την επιτάχυνση των ενζυμικών αντιδράσεων και την επακόλουθη αδρανοποίηση των ενζύμων.
- 2) Από τη μετουσίωση των κυτταρικών πρωτεϊνών.
- 3) Από την ελάττωση της διαπερατότητας των κυτταρικών μεμβρανών
- 4) Από την παραγωγή τοξικών ουσιών

Η άνοδος της θερμοκρασίας επηρεάζει την αναπαραγωγή, την εμβρυϊκή ανάπτυξη και την εκκόλαψη των αυγών. Τα θερμοκρασιακά όρια μέσα στα οποία συντελείται η αναπαραγωγή των ψαριών είναι περιορισμένα. Ακόμα, παρατηρείται ταυτόχρονη δράση θερμοκρασίας και τοξικότητας όπως για παράδειγμα η τοξική επίδραση του κυανιούχου νατρίου NaCN η οποία αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

Τα ψάρια αναζητούν την καταλληλότερη θερμοκρασία για επιβίωση, γνωστή ως αποκαλούμενη "preferred temperature".

Καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις των ψαριών σε οξυγόνο και μειώνεται η διαλυτότητα του στο νερό, δημιουργούνται φαινόμενα ασφυξίας. Επιπρόσθετα, παρατηρείται αύξηση του παρασιτισμού και άλλων ασθενειών των ψαριών.

Επιπλέον, πολλά ψάρια προσελκύονται από τις θερμές μάζες νερού το χειμώνα ενώ θα έπρεπε να μεταναστεύουν. Όταν όμως, αυτές οι μάζες νερού διαλύονται (π.χ. αν κλείσει το εργοστάσιο ή στη διάρκεια μιας καταιγίδας) τα ψάρια υφίστανται ψυχρό σοκ. Έχουν δημιουργηθεί μοντέλα που υπολογίζουν πόσο γρήγορα πέφτει η θερμοκρασία του νερού σε παρακείμενες στα εργοστάσια περιοχές αν αυτά κλείσουν κι έτσι εκτιμάται ο βαθμός επίδρασης του ψυχρού σοκ. Οι προβλέψεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να τίθενται περιορισμοί στο απότομο κλείσιμο των εργοστασίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η θερμοκρασία μπορεί επίσης να αλλάξει τη φυσική και χημική μορφή κάποιων ρύπων που πιθανότατα υπάρχουν στο νερό της περιοχής που δέχεται τα θερμά απόβλητα. Από πολλούς ερευνητές έχει δειχθεί ότι η θερμοκρασία του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στο ρυθμό πρόσληψης των βαρέων μετάλλων από τους υδρόβιους οργανισμούς, καθώς και στην τοξικότητα τους. Επηρεάζει επίσης την ευαισθησία των οργανισμών και κατά συνέπεια το χρόνο επιβίωσης τους. Όπως έδειξαν πειραματικές έρευνες σε ψάρια, η απορρόφηση και η απελευθέρωση των μετάλλων εξαρτώνται επίσης από τη θερμοκρασία.

γ.ii) Φύκη:

Οι επίδραση της θερμικής ρύπανσης στα μακροφύκη είναι είτε δηλητηριώδης, είτε ευεργετική, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή, την εποχή του έτους και τα είδη των φυκών που περιλαμβάνονται. Σε αντίθεση με τα ανώτερα φυτά, τα οποία μπορεί να εκτίθενται σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, τα θαλάσσια φύκη επιβιώνουν εντός στενότερων θερμοκρασιακών ορίων (έως 10-25° C). Η επιβίωση ή όχι των μακροφυκών με την αύξηση στη θερμοκρασία του νερού, εξαρτάται από το πόσο κοντά βρίσκονται στο ανώτερο όριο ανοχής της θερμοκρασίας. Το όριο αυτό δεν είναι σταθερό για ένα είδος, αλλά εξαρτάται και από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το φως, η αλατότητα, τα θρεπτικά και οι ρυπαντές.

Για παράδειγμα, το καλοκαίρι σε ρηχούς κόλπους των εύκρατων περιοχών ή στις τροπικές περιοχές, έστω και μία μικρή επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, προκαλεί θανατηφόρες συνθήκες για ορισμένα είδη και δραματική μείωση στους ρυθμούς ανάπτυξης τους. Στον υποτροπικό κόλπο Biscayne στη Φλόριδα, όπου υπάρχει εισροή θερμών υδάτων από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, παρατηρήθηκε εκτεταμένη μείωση των μακροφυκών. Αντίθετα, σε εύκρατες παράκτιες περιοχές με υψηλούς ρυθμούς ανακύκλωσης των νερών, οι τοπικές αυξήσεις της θερμοκρασίας συνήθως αυξάνουν τους ρυθμούς ανάπτυξης και πρωτογενούς παραγωγής. Ακόμη και στην περίπτωση που δεν προκαλείται «θερμική βλάβη» στα άτομα, η άνοδος της θερμοκρασίας απορεί να επηρεάσει τον ανταγωνισμό μεταξύ των ειδών. Μία αλλαγή στη σύνθεση των φυκών επηρεάζει με τη σειρά της τα ασπόνδυλα και τους οργανισμούς των ανώτερων τροφικών επιπέδων. Επιπλέον, αν κλείσει ένα εργοστάσιο πολλά

μακροφύκη μπορεί να υποστούν «ψυχρό σοκ». Φυσικά, το χλώριο που μπορεί να περιέχεται στα θερμά νερά των εργοστασίων είναι τοξικό για τα φύκη.

Σύμφωνα με μία άλλη μελέτη στην περιοχή Martigues στη Γαλλία, διαπιστώθηκε ότι το φυτοβένθος του βραχώδους υποστρώματος αλλάζει αισθητά καθώς αυξάνει η απόσταση από το εργοστάσιο και καθώς αυξάνει το βάθος. Η «κρίσιμη ζώνη» για τις βενθικές κοινωνίες των φυκών είναι η περιοχή κοντά στο εργοστάσιο, όπου συγκεντρώνονται οι θερμές μάζες του νερού. Γενικά, παρατηρήθηκαν διαφορές στην ποσοτική σύσταση, στη δομή, στην αφθονία των νεαρών ατόμων και στην ανάπτυξη τους, στην αφθονία των ειδών με μικρούς κύκλους ζωής που δίνουν αρκετές γενιές το χρόνο, στην εποχιακή αφθονία ορισμένων ανθεκτικών ειδών ανάλογα με τη διακύμανση της θερμοκρασίας και της αλατότητας και στην κάλυψη των φυκών το φθινόπωρο και το χειμώνα.

Π.χ. τα νερά ψύξης ενός σταθμού στη Φλώριδα χύνονται σε μία ήρεμη και αβαθή περιοχή, όπου κυριαρχεί το φυτό *Thalassia*. Το φυτό αυτό σχηματίζει μία κοινωνία χαρακτηριστικής χλωρίδας. Η θερμοκρασία στην περιοχή αυτή είναι 30-38° C το καλοκαίρι και αυξάνεται με την είσοδο θερμότητας κατά 5° C, οπότε 10 περίπου εκτάρια *Thalassia* καταστράφηκαν και άλλα 30 εκτάρια παρουσίασαν ελαττωμένη ανάπτυξη του φυτού αυτού.

γ.iii) Ζωοβένθος:

Σύμφωνα με μία μελέτη της βενθικής πανίδας (από τον Ιανουάριο του 1979 έως το Σεπτέμβριο του 1981) στις εκβολές του ποταμού Medway, στη Μεγάλη Βρετανία, όπου υπάρχει ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρήθηκαν τα εξής : Η μακροπανίδα έδειξε να επηρεάζεται σε σχέση με την απόσταση από το σημείο εισροής των θερμών υδάτων. Η βενθική κοινωνία αποτελείται από τα μισά περίπου είδη συγκριτικά με το σταθμό ελέγχου. Παράλληλα, εμφανίζονται ορισμένα ευκαιριακά είδη σε αυξημένες πυκνότητες, τα οποία υποδηλώνουν κοινωνίες που βρίσκονται υπό κατάσταση πίεσης. Τα είδη αυτά, που είναι ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες, διαφέρουν από άλλα ευκαιριακά είδη που είναι χαρακτηριστικά κοινωνιών που υφίστανται stress από οργανική ρύπανση. Οι επιδράσεις αυτές περιορίζονται στις βενθικές κοινωνίες της παρακείμενης στο εργοστάσιο περιοχής, όπου τα θερμά νερά που αποβάλλονται έρχονται σε επαφή με τον πυθμένα. Επιπλέον, η θερμοκρασία του νερού που αποβάλλεται είναι 10°C μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού στο περιβάλλον. Οι ομάδες των ζωικών οργανισμών που συνήθως εξαφανίζονται εξαιτίας της θερμικής ρύπανσης σε εκβολικά συστήματα, είναι εκείνες με ασβεστώδη κελύφη και τα μαλάκια.

Επίσης, ορισμένες άλλες μελέτες των ζωοβενθικών κοινωνιών σε σχέση με τη θερμική ρύπανση δείχνουν ότι μειώνεται η σύσταση τους, αυξάνεται ο αριθμός των ευκαιριακών ή εφήμερων ειδών και αλλάζει η δυναμική των πληθυσμών των πιο άφθονων ειδών. Η αποβολή των αυγών για την πλειονότητα των βενθικών οργανισμών γίνεται μόνο εντός ορισμένων ορίων της θερμοκρασίας. Έχει παρατηρηθεί ότι πολλοί οργανισμοί διαθέτουν την ικανότητα να συγκρατούν για μεγάλο

χρονικό διάστημα τα ώριμα αυγά τους και να μην τα αποβάλλουν όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος δεν είναι ικανοποιητικές. Ο Suresh (1993) παρατήρησε το θάνατο όλων σχεδόν των ειδών της μακροπανίδας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε μία περιοχή που επηρεαζόταν από τα θερμά απόβλητα ενός πυρηνικού εργοστασίου. Γενικά, οι περισσότερες περιοχές στις οποίες παρατηρήθηκαν διαφορές στη δομή των βενθικών κοινωνιών, παρουσιάζουν αύξηση της θερμοκρασίας του πυθμένα κατά 7-10° C. συγκριτικά με τη φυσιολογική θερμοκρασία, εξαιτίας της εισροής θερμών υδάτων.

Τα τελευταία χρόνια, η μειοπανίδα επικεντρώνει το ενδιαφέρον των ερευνητών ως πιθανός δείκτης των ανθρωπογενούς προέλευσης διαταραχών στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η μειοπανίδα παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της μακροπανίδας, η οποία αποτελούσε παραδοσιακά το αντικείμενο των ερευνών για την παρακολούθηση της ρύπανσης. Αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν το μικρό της μέγεθος και τις υψηλές της πυκνότητες, έτσι ώστε να συλλέγονται μικρότερα δείγματα, τους μικρότερους χρόνους γενεών και την έλλειψη πλαγκτονικών φάσεων στους κύκλους ζωής της, γεγονός που σημαίνει ταχύτερη αντίδραση και μεγαλύτερη ευαισθησία στη ρύπανση.

γ.iv) Μικροοργανισμοί:

Έχει παρατηρηθεί ταχεία αύξηση μυκήτων (Sewage fungus) σε νερά που δέχονται θερμά υγρά απόβλητα. Με τον όρο sewage fungus ορίζεται ομάδα μικροοργανισμών προσκολλημένων σε λίθους. Στους αποδέκτες των θερμών υγρών αποβλήτων των θερμοηλεκτρικών σταθμών είναι αυξημένος ο αριθμός μικροοργανισμών (*Pseudomonas* κ.α.). Έτσι προκαλούνται ασθένειες στα ψάρια και οι υδρόβιοι φυκομύκητες παρουσιάζονται συχνά. Επίσης, τα κολοβακτηρίδια και ορισμένοι παθογόνοι μικροοργανισμοί εντερικής προέλευσης επιβιώνουν για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα σε θερμά νερά.

Γενικά, στα θερμά νερά που αποβάλλονται από τα εργοστάσια εντοπίζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις αμοιβάδων και περισσότερα παθογόνα στελέχη συγκριτικά με τα επιφανειακά νερά.

Σύμφωνα λοιπόν με πολλές μελέτες που διεξήχθησαν στις δεξαμενές νερού πυρηνικών εργοστασίων, διαπιστώθηκε ότι η αποβολή θερμών νερών προκαλεί πολύ μεγάλη αύξηση ευκαιριακών μικροοργανισμών. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή μικροβιολογικών εξετάσεων στους υδάτινους αποδέκτες, αλλά και στις δεξαμενές και στις διάφορες μονάδες των εργοστασίων. Συνεπώς οι παρακείμενες στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας περιοχές, ανεξάρτητα από τις οποιεσδήποτε άλλες επιπτώσεις της θερμικής ρύπανσης στους υδρόβιους οργανισμούς, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο για κολύμβηση, θαλάσσια σπορ κτλ.

γ.ν) Οστρακόδερμα:

Η φυσιολογία, ο μεταβολισμός και η ανάπτυξη πολλών ειδών επηρεάζονται από τη θερμοκρασία.

γ.νι) Άλγη και άλλα υδρόβια είδη:

Η αυξανόμενη θερμοκρασία συχνά εξολοθρεύει τα επιθυμητά είδη και βοηθάει στην καθιέρωση ανεπιθύμητων. Σε συνδυασμό δε με την ύπαρξη αυξημένων ποσοτήτων φωσφόρου στα θαλάσσια ύδατα –από βιομηχανικά απόβλητα- ευνοείται η υπερτροφία ορισμένων ειδών, όπως η άλγη, η οποία αποτελείται από σάπια -και συχνά τοξικά- υπολείμματα φυτών και προσδίδει στα παράκτια νερά αποκρουστικό χρώμα και αίσθηση στην αφή. Η εισπνοή δε μικρομορίων τοξικής θαλάσσιας άλγης μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα υγείας άμεσα και στον άνθρωπο, αλλά και έμμεσα λόγω κατανάλωσης μολυσμένων όστρακων ή ψαριών.

γ.νι) Βακτήρια:

Γενικά, η ανάπτυξη τους επωφελείται των θερμοκρασιακών αυξήσεων εφόσον και η τροφή είναι άφθονη, κάτι που δεν είναι απαραίτητα επιβλαβές εκτός αν έχουμε πληθώρα παθογόνων οργανισμών.

1.6 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την αντιμετώπιση και ελαχιστοποίηση της θερμικής ρύπανσης:

1. Πρόληψη:

- Χρησιμοποιώντας και ξοδεύοντας λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια
- Περιορίζοντας τις ποσότητες του ζεστού νερού που αποβάλλεται

2. Έλεγχος με αραίωση:

- Επιστρέφοντας το ζεστό νερό σε σημείο μακριά από την οικολογικά ευαίσθητη ζώνη της ακτής
 - Μεταφέροντας τη θερμότητα από το νερό στην ατμόσφαιρα με χρήση ψυκτικών πύργων (βέβαια στην περίπτωση αυτή μπορεί να μιλάμε για θερμική ρύπανση της ατμόσφαιρας!).
 - Αδειάζοντας το ζεστό νερό σε ρηχές δεξαμενές, επιτρέποντας του να κρυώσει και επαναχρησιμοποιώντας το ως ψυκτικό μέσο

Δεδομένου του γεγονότος ότι οι ανάγκες της ανθρωπότητας σε ενέργεια αυξάνονται συνεχώς, στο μέλλον αναμένεται να χτιστούν ακόμη περισσότερα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας ή και πυρηνικά εργοστάσια στις ακτές των αναπτυσσόμενων κυρίως χωρών. Είναι προτιμότερο να στραφούμε στην αιολική, την

ηλιακή ή την υδροηλεκτρική ενέργεια, προκειμένου να μειωθεί η θερμική ρύπανση των θαλασσών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τελευταία, άρχισε να επικρατεί η άποψη ότι ενέργεια δεν περιέχεται μόνο στο πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, αλλά και στο θαλασσινό νερό. Στην προσπάθεια του ανθρώπου για την ανεύρεση πιθανών πηγών ενέργειας, προτάθηκε η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη στα τροπικά νερά σε ηλεκτρική, με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στα ζεστά επιφανειακά νερά και στα κρύα νερά σε βάθος 600 μέτρων. Το πρόγραμμα αυτό όμως, θα έχει τα αντίθετα ακριβώς αποτελέσματα από αυτά ενός εργοστασίου παραγωγής ενέργειας, καθώς κρύο νερό θα αντλείται στην επιφάνεια. Επομένως, η θερμοκρασία των επιφανειακών νερών θα μειωθεί από 30 σε 20-25° C και θα αυξηθεί η συγκέντρωση των θρεπτικών ουσιών στην επιφάνεια.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά ορισμένοι τρόποι επίλυσης του προβλήματος της θερμικής ρύπανσης που προκαλούν κυρίως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση διαφόρων τύπων διατάξεων.

1) Επίλυση του προβλήματος θερμικής ρύπανσης με χρήση πύργων ψύξης

Η θερμική ρύπανση μπορεί σπείρει τον όλεθρο στα εγγενή είδη ψαριών, όπως η πέστροφα, τα οποία απαιτούν κρύο νερό με υψηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου. Όταν το νερό γίνεται θερμότερο, άλλα μη ιθαγενή ψάρια που αναπτύσσονται σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες μπορεί να αναπτυχθούν σε βάρος των εγγενών ψαριών. Επιπλέον, το θερμότερο νερό επιτρέπει στους βακτηριακούς πληθυσμούς να αυξηθούν, και στην άλγη να "ανθίσει".

Οι νομοθέτες στις Ηνωμένες Πολιτείες εδώ και καιρό αναγνώρισαν ότι η θερμική ρύπανση είναι ένα πρόβλημα και αντιμετώπισαν το ζήτημα με την παράγραφο 316 (α) του νόμου καθαρού νερού EPA (EPA Clean Water Act). Οι νομοθετικές αντιπροσωπείες σε διάφορες πολιτείες χρησιμοποιούν αυτές τις οδηγίες απαιτώντας από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και τις βιομηχανίες να περιορίσουν την αποβολή θερμού νερού πίσω στα επιφανειακά ύδατα, πολλές φορές μέσω πύργων ψύξης όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Αυτή η φωτογραφία δείχνει ένα υλοποιημένο σχέδιο αποφυγής θερμικής ρύπανσης στις εγκαταστάσεις Cinergy Corporation. Η εταιρία αρχικά σχεδίαζε να νοικιάσει ένα πύργο ψύξης αλλά τελικά αποφάσισε να αγοράσει 60 μικρές μονάδες πύργων ψύξης με τη λογική ότι οι μονάδες μπορούν αργότερα να μεταφερθούν σε άλλες περιοχές για να λύσουν άλλα περιστασιακά προβλήματα θερμικής ρύπανσης. Οι αντλίες επιπλέον σε πλωτήρες κατά μήκος του ποταμού, και ένας μεγάλος συμβατικός πύργος ψύξης φαίνεται στο βάθος αριστερά.

Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Επιτροπή Γεωλογικών Ερευνών (U.S. Geological Survey), περίπου 48% από όλες τις αντλήσεις γλυκού και θαλάσσιου νερού για το 2000 χρησιμοποιήθηκαν για θερμοηλεκτρική ενέργεια. Το μεγαλύτερο μέρος των

αντλήσεων έγινε σε επιφανειακά ύδατα και χρησιμοποιήθηκε για την ψύξη σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Περίπου 52% των αντλήσεων γλυκού νερού και περίπου 96% των αντλήσεων θαλάσσιου νερού ήταν για την παραγωγή θερμοηλεκτρικής ενέργειας.

Το ποσό νερού που απαιτείται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας είναι τόσο μεγάλο εξαιτίας του γεγονότος ότι με το πέρασμα του χρόνου, έχει υπάρξει μια συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας αναμένονται να λειτουργήσουν κοντά στο μέγιστο της παραγωγής για ένα μεγάλο μέρος του έτους. Η φτηνότερη και ευκολότερη μέθοδος για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων ήταν πάντα η άντληση νερού από ένα κοντινό σώμα (υδατοσυλλέκτη), η διέλευσή του μέσω των εγκαταστάσεων ως ψυκτικό μέσο, και η επιστροφή του στο ίδιο υδάτινο σώμα από το οποίο προήλθε.

Αυτά τα συστήματα ψύξης απαιτούν τώρα πολύ αυστηρές περιβαλλοντικές άδειες, που εκδίδονται σύμφωνα με το Εθνικό Σύστημα Μείωσης Ρύπανσης Εκροών (National Pollution Discharge Elimination System). Οι άδειες ποικίλλουν από πολιτεία σε πολιτεία και περιοχή σε περιοχή και μπορούν να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις. Παραδείγματος χάριν, μερικές άδειες απαιτούν οι εγκαταστάσεις να αποβάλλουν το νερό μέσα σε ένα όριο θερμοκρασίας πάνω από τη θερμοκρασία του νερού εισαγωγής. Άλλες άδειες έχουν ένα μέγιστο όριο, δηλαδή, δεν μπορούν να υπερβούν ποτέ μια συγκεκριμένη τιμή της θερμοκρασίας. Τέλος, άλλες άδειες συνδυάζουν και τα δύο.

Ανάλογα με την άδεια, οι περιορισμοί συχνά ενισχύονται σε περίπτωση χαμηλής στάθμης του ποταμού ή λιμνών, ή σε συνθήκες ξηρασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί οι περισσότερες εγκαταστάσεις φτάνουν τα μέγιστα φορτία τους στους θερινούς μήνες, όταν τα φορτία κλιματισμού είναι υψηλά. Επιπλέον, οι θερμοκρασίες νερού μεγιστοποιούνται το καλοκαίρι, κάτι που μπορεί να το καταστήσει δύσκολο για τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας να συμμορφωθούν με τις απαιτήσεις αδειών.

Οι πύργοι ψύξης παρέχουν μία λύση ώστε οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας να μπορούν να ακολουθήσουν τους περιορισμούς των αδειών. Είναι ο πιο σίγουρος τρόπος να λυθούν τα προβλήματα θερμικής ρύπανσης, επειδή τα αποτελέσματα ψύξης μπορούν να προβλεφθούν με έναν υψηλό βαθμό ακρίβειας πριν από την εγκατάσταση των πύργων.

Δεδομένου ότι η ανάγκη για τους πύργους ψύξης μπορεί να είναι εποχιακή, μερικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας τους νοικιάζουν κατά απαίτηση (Εικόνα 8). Στους μήνες όπου οι εγκαταστάσεις αγγίζουν τα θερμικά όριά τους, μπορούν να εγκαταστήσουν ενοικιαζόμενους πύργους ψύξης για να ψύξουν τα θερμά απόβλητα, υπό τον όρο ότι υπάρχει λογική πρόσβαση. Αυτές οι εγκαταστάσεις διοχετεύουν το σύνολο ή μέρος των αποβλήτων στον πύργο ψύξης και έπειτα αναμειγνύουν αυτό με το αποβαλλόμενο νερό ώστε να μειωθεί η μέγιστη συνολική θερμοκρασία προτού να φθάσει στα επιφανειακά ύδατα.



Εικόνα 8. Το εργοστάσιο Commonwealth Edison χρησιμοποίησε προσωρινούς πύργους ψύξης για να μειώσει την θερμοκρασία του καναλιού εκροής πριν το νερό φτάσει σε γειτονικό ποταμό.

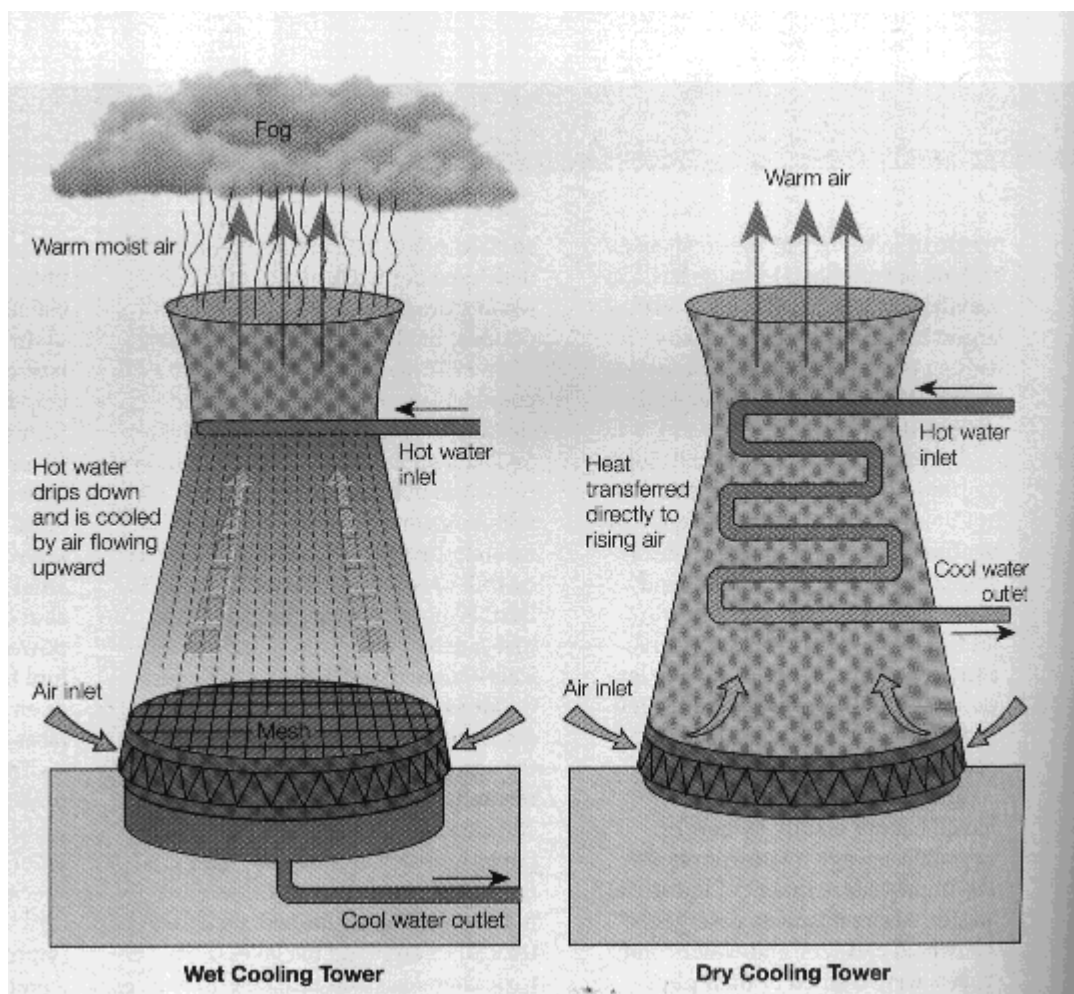
Αυτή η διαδικασία διευκολύνεται παρουσία ενός καναλιού εκροής που παρέχει την πρόσβαση στα ζεστά απόβλητα και τη διάχυση του δροσερού νερού πίσω στα απόβλητα.

Οι πύργοι ψύξης χρησιμοποιούνται συχνά επειδή επιτρέπουν στο χρήστη να αποβάλλει τη θερμότητα από ένα σύστημα ή διαδικασία χωρίς την κατανάλωση υπερβολικών ποσοτήτων νερού ή μολύνοντας θερμικά ένα επιφανειακό σώμα νερού. Υπάρχουν δευτερεύοντα μειονεκτήματα, μικρά μπροστά στο γενικό όφελος. Αυτά τα μειονεκτήματα είναι:

- υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας από ότι αν λαμβανόταν το νερό από επιφανειακά σώματα, με συνέπεια κάποια απώλεια θερμοδυναμικής αποδοτικότητας
- αιωρούμενα σωματίδια από αποβαλλόμενα σταγονίδια που περιέχουν μεταλλικά στοιχεία και άλλες επιβλαβείς ουσίες (ακαθαρσίες)
- κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για λειτουργία ανεμιστήρων και άλλων μέσων ψύξης
- κόστος της κατεργασίας ύδατος για να αποτραπεί η διάβρωση και η κατακρήση μικροοργανισμών στον εξοπλισμό και
- κίνδυνος διασποράς αερομεταφερόμενων παθογόνων οργανισμών από τους κακώς διατηρημένους πύργους ψύξης.

Ουσιαστικά οι πύργοι ψύξης μετατοπίζουν το πρόβλημα της απορρόφησης της απόβλητης θερμότητας από το νερό στην ατμόσφαιρα, που έχει πολύ μεγαλύτερη δυνατότητα να απορροφήσει και να διαλύσει τη θερμότητα που εισάγεται σε αυτήν χωρίς δυσμενή αποτελέσματα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 9.

Λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών, οι νέες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας χτίζονται συχνά με μόνιμους πύργους ψύξης. Εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που ενσωματώνουν τους πύργους ψύξης από την αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού μπορούν καλύτερα να συνεργαστούν με τα άλλα συστήματα της εγκατάστασης. Το σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση ενός συμπυκνωτή δύο-περασμάτων (two-pass condenser) αντί ενός συμπυκνωτή ενός-περάσματος (one-pass condenser), μικρότερη ροή του νερού ψύξης και υψηλότερες διαφορές θερμοκρασίας και εγκατάσταση ενός στροβίλου σχεδιασμένου για υψηλότερη υποπίεση. Ο πύργος ψύξης θα μπορούσε επίσης να σχεδιαστεί για να ψύχει ολόκληρη τη ροή.



Εικόνα 9: Λειτουργία πύργων ψύξης

2) Ανοιχτό ή άμεσο σύστημα (μίας διέλευσης και επιστροφής)

Μία από τις πιο προσιτές λύσεις αποτελεί το ανοιχτό ή άμεσο σύστημα ανάμιξης του αποβαλλόμενου θερμού νερού με μέρος του αντλούμενου από το θαλάσσιο περιβάλλον νερού, το οποίο δε χρησιμοποιήθηκε ως ψυκτικό μέσο σε εσωτερικές εγκαταστάσεις μονάδων παραγωγής ενέργειας παρά χρησιμοποιείται απευθείας για ανάμιξη με το θερμό νερό. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας συνήθως η μείωση της θερμοκρασίας και της αλατότητας του συνολικού αποβαλλόμενου ύδατος, με αντίστοιχη εξισορρόπηση των πυκνοτήτων του νερού εκροής (σε μορφή θερμικού πλουμίου) και του υδάτινου αποδέκτη.

Αυτό το σύστημα συνδυάζει αποτελεσματικότητα όσο αφορά την αντιμετώπιση της θερμικής ρύπανσης και οικονομικότητα καθώς δεν απαιτεί την κατασκευή περαιτέρω εγκαταστάσεων επεξεργασίας ή ψύξης του θερμού νερού, παρά μόνο την πρόβλεψη τοποθέτησης επιπλέον αγωγού διάθεσης-ανάμιξης μέρους του αντλούμενου θαλασσίου ψυχρού νερού με το αντίστοιχο θερμό προϊόν των ψυκτικών διαδικασιών στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων.

Αυτή η λύση προτείνεται σε σχετικά μικρές μονάδες λόγω μικρού κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης και παρουσιάζεται αναλυτικότερα

παρακάτω καθώς αποτελεί την ενδεικτικότερη λύση για την περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

3) Κλειστό ή έμμεσο σύστημα (με κλειστό βρόχο) και υβριδικές λύσεις

Μερικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας στις ΗΠΑ δεν έχουν καμία άλλη επιλογή εκτός από τα συστήματα ψύξης κλειστού βρόγχου ή αναδιανομής (recirculating systems). Ανάλογα με την περιοχή, το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε ένα τοπικό moratorium στην άντληση του νερού από έναν ποταμό ή μια λίμνη. Αυτό συνέβη πρόσφατα σε μια σημαντική εγκατάσταση χημικού καθαρισμού στην ακτή του Περσικού Κόλπου, η οποία επέλεξε να διακόψει το νερό ποταμών για όλες τις εφαρμογές ψύξης εγκαταστάσεων.

Επιλέχθηκε η εγκατάσταση κλειστού κυκλώματος πύργους ψύξης (Εικόνα 10), σταματώντας την αποβολή περίπου 500 εκατομμυρίων Btus (146 MW) θερμικής ροής στον ποταμό. Η χρησιμοποίηση των κλειστού κυκλώματος πύργων ψύξης μείωσε επίσης τις συχνές διακοπές λειτουργίας λόγω του βρομίσματος των ανταλλακτών θερμότητας (heat exchangers).



Εικόνα 10. Πύργος ψύξης κλειστού κυκλώματος εγκατεστημένος σε ένα χημικό διυλιστήριο, αποβάλλει θερμότητα από διαδικασίες θερμικών ανταλλακτών (exchangers) και σταματάει τη θερμική μόλυνση κοντινού ποταμού. Ο πύργος προστατεύει το περιβάλλον από απροσδόκητες χημικές εκπομπές απομονώνοντας το κύκλωμα ψύξης νερού (Photo courtesy of Baltimore Aircoil.)

Παρόλα αυτά υπάρχουν μειονεκτήματα που συνδέονται με τα συστήματα κλειστών βρόχων. Οι πύργοι ψύξης αναδιανομής (recirculating) ενέχουν μια ενεργειακή επιβάρυνση λόγω των πρόσθετων αντλιών, των ανεμιστήρων, και το βοηθητικό εξοπλισμό και μπορεί επίσης να απαιτούν μια πιο εκτενή κατεργασία ύδατος.

Σύμφωνα με μια πρόσφατη έκθεση από το Εθνικό Εργαστήριο Ενεργειακής Τεχνολογίας (National Energy Technology Laboratory) των ΗΠΑ, οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με αναδιανομή των συστημάτων ψύξης απαιτούν από 0,5 σε 1,25 γαλόνια ανά kW για να λειτουργήσουν, ενώ εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν συστήματα διέλευσης και άμεσης επιστροφής του νερού ψύξης (ανοικτό σύστημα) αποσύρουν περίπου 30 έως 40 φορές περισσότερο ύδωρ σε ένα γαλόνι ανά kW.

Αν και τα ανοικτά συστήματα “τραβάνε” σημαντικά μεγαλύτερα ποσά (μια μονάδα 500MW μπορεί να “τραβήξει” περίπου 450 εκατομμύριο γαλόνια ανά ημέρα), οι απώλειες είναι σημαντικά λιγότερες, περίπου 10% της κατανάλωσης μιας παρόμοιας μονάδας που εξοπλίζεται με πύργο ψύξης.

Λόγω των παραπάνω, μερικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας επιλέγουν τα υβριδικά συστήματα, τα οποία ενσωματώνουν ένα σύστημα ψύξης αναδιανομής σε συνδυασμό με ένα ανοικτό σύστημα. Ο Brayton Point Station (1600 MW) στο

Somerset, MA, παραδείγματος χάριν, θα αντιμετωπίσει τα ζητήματα θερμικής ρύπανσης και προστασίας των ψαριών μέσω της εγκατάστασης ενός ενισχυμένου πολυλειτουργικού συστήματος (Enhanced Multi-Mode System, EMM).

4) Άλλες πηγές άντλησης νερού ψύξης

Σε πολλά μέρη της χώρας, οι ανταγωνιστικές απαιτήσεις για επιφανειακά ύδατα έχουν αναγκάσει τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας να εξετάσουν τις εναλλακτικές πηγές νερού ψύξης. Αυτές οι "υποβαθμισμένες" πηγές νερού περιλαμβάνουν επεξεργασμένα λύματα αποχέτευσης ή υψηλής περιεκτικότητας σε ρύπους νερά, αποτέλεσμα της ενεργειακής παραγωγής. Όταν χρησιμοποιούνται από κοινού με έναν πύργο ψύξης, υπάρχουν διαφορετικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η απώλεια μεταφοράς θερμότητας, βρόμισμα των μέσων ψύξης, και η διάβρωση. Υπάρχουν επίσης πιθανά ζητήματα σχετικά με την έκθεση των χειριστών των πύργων ψύξης σε επιβλαβείς χημικούς διαβιβαστές.

Υπάρχουν καθορισμένα ζητήματα σχετικά με τα λύματα αποχέτευσης. Μπορεί να χρειάζεται επεξεργασία των λυμάτων ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις εγκαταστάσεις. Εάν υπάρχει υψηλό αζωτούχο ή υψηλό φωσφορικό φορτίο, πρέπει να υπόκειται σε επεξεργασία για να ελαχιστοποιείται οποιαδήποτε περίπτωση βιομόλυνσης σε ένα σύστημα.

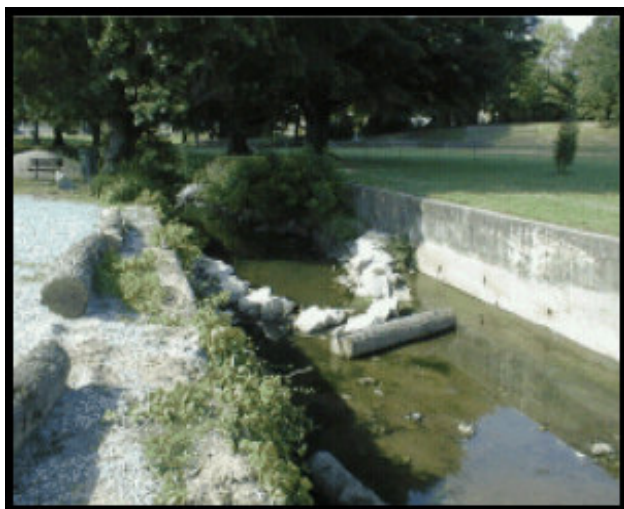
Πραγματοποιήθηκαν προγράμματα που ερευνούσαν το σχηματισμό της ένωσης Trihalomethane (THM), η οποία μπορεί να σχηματιστεί όταν οργανικά μολυσμένα ύδατα (π.χ., απόβλητα αποχετεύσεων) επεξεργάζονται με χλώριο ή βρώμιο για έλεγχο βιοχημικής ρύπανσης. (THM: οικογένεια ενώσεων που σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι καρκινογόνες ουσίες)

Υπάρχει μια πιθανότητα ότι οι εργαζόμενοι μέσα και γύρω από το πύργο ψύξης μπορούν να εκτεθούν στις καρκινογόνες ουσίες. Ευτυχώς, η δοκιμή έδειξε ότι το ποσοστό σχηματισμού των καρκινογόνων ενώσεων είναι πολύ χαμηλό.

1.7) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καταλήγοντας μπορούμε να κατατάξουμε τις σημαντικότερες πηγές θερμικής ρύπανσης στις παρακάτω κατηγορίες:

- εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές
- νερό ως ψυκτικό μέσο σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις
- αποδάσωση παράκτιων και παραποτάμιων περιοχών (Εικόνα 11)



Εικόνα 11: Θερμική και άλλη μόλυνση λόγω αποδάσωσης παραποτάμιας περιοχής

- εδαφική διάβρωση

Συμπερασματικά, από τις μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα σχετικά με τις επιπτώσεις της θερμικής ρύπανσης στη θάλασσα, προκύπτει ότι υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η επίδραση των θερμών εισροών σε μία περιοχή είναι αρνητική για τους οργανισμούς, αλλά και περιπτώσεις όπου δεν παρατηρήθηκαν καταστροφικές συνέπειες. Επομένως η γενίκευση όσον αφορά στη θερμική ρύπανση είναι δύσκολη. Η επίδραση από την αποβολή θερμών νερών σε μια θαλάσσια περιοχή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και δεν είναι πάντα καταστροφική. Όπως έχει αναφερθεί, οι πλέον ευαίσθητες περιοχές που αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο είναι οι τροπικές και υποτροπικές, καθώς και περιοχές κλειστών κόλπων ή λιμνοθαλασσών με ρηγά νερά και μικρή κυκλοφορία του νερού. Οι εύκρατες περιοχές επηρεάζονται περισσότερο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Από όλες τις μελέτες προκύπτει ότι οι επιπτώσεις της θερμικής ρύπανσης περιορίζονται στην παρακείμενη του σημείου απορροής των θερμών νερών περιοχή. Για την πιο αξιόπιστη προσέγγιση των επιπτώσεων της θερμικής ρύπανσης είναι αναγκαία η βιοπαρακολούθηση, δηλαδή η μελέτη της συγκρότησης των βιοκοινωνιών μιας περιοχής (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Εκροή ρυπογόνων λυμάτων σε ποταμό με έντονη παρουσία ψαριών

Κάθε περιοχή πρέπει να αντιμετωπίζεται διαφορετικά και να γίνεται λεπτομερής μελέτη σχετικά με τη θέση στην οποία θα πρέπει να οικοδομηθεί ένα εργοστάσιο, από τη στιγμή που είναι αναγκαίο, ώστε να ελαχιστοποιούνται στο βαθμό που είναι δυνατό οι αρνητικές συνέπειες για το θαλάσσιο οικοσύστημα. Είναι επίσης απαραίτητο να ληφθούν αυστηρά μέτρα για τη λειτουργία αυτού του είδους των εργοστασίων, ώστε να υποχρεωθούν να χρησιμοποιούν κλειστά συστήματα ψύξης και να επιστρέφουν το νερό στο θαλάσσιο αποδέκτη στην ίδια περίπου θερμοκρασία με αυτή του περιβάλλοντος. Κάτι τέτοιο βέβαια είναι αντιοικονομικό για τα εργοστάσια και για το λόγο αυτό είναι αρκετά δύσκολο να εφαρμοστεί.

Παρά το γεγονός ότι υπάρχει ασυμφωνία ως προς τις επιπτώσεις της θερμικής ρύπανσης στη θάλασσα, πρέπει να έχουμε υπόψη το γεγονός ότι μία περιοχή σπάνια υφίσταται την επίδραση μιας μόνο μορφής ρύπανσης. Επομένως, ακόμη και στην περίπτωση που εκτιμάται ότι η εισροή θερμών υδάτων σε μία περιοχή δεν προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα, μπορεί να δρα συνδυαστικά, με την έννοια ότι καθιστά τους οργανισμούς πιο ευαίσθητους σε άλλους ρύπους. Για το λόγο αυτό το φαινόμενο της θερμικής ρύπανσης πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα αρκετά σοβαρό πρόβλημα που αναμένεται να επιδεινωθεί.

Οι μετρήσεις της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας γίνονται από κέντρα μετεωρολογικής πρόβλεψης ετησίως και η γραφική παράσταση ανίχνευσης της τάσης θερμοκρασίας από μια περίοδο 10 ετών συγκρίνεται με αυτήν προηγούμενων περιόδων. Κατά συνέπεια μπορούμε να είμαστε σε θέση να ξέρουμε το ποσοστό αύξησης της θερμοκρασίας συνολικά και να ορίζουμε τυποποιημένο επίπεδο θερμότητας που μπορεί να διατηρείται στην ατμόσφαιρα ώστε να αποφεύγεται μεγάλη απόκλιση θερμοκρασιακών τιμών στο σύστημα και οι συνακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε αυτό.

2^ο Κεφάλαιο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΛΟΥΜΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ‘VISUAL PLUMES’

- 2.1 Θεωρητικές αναφορές πάνω στη διάθεση υγρών αποβλήτων στη θάλασσα, στη δημιουργία και διασπορά πλουμίου
 - Γενικά περί διάθεσης υγρών αποβλήτων στη θάλασσα
 - 2.1.1 Διάχυση και διασπορά για βάθη < 20 m
 - 2.1.2 Διάχυση και διασπορά για βάθη > 20 m
 - 2.1.3 Περαιτέρω διάχυση και διασπορά
- 2.2 Παρουσίαση - περιγραφή - ανάλυση λειτουργιών λογισμικού υδραυλικών επιλύσεων Visual Plumes for Windows
 - 2.2.1 Εισαγωγή
 - 2.2.2 Γενική ανασκόπηση της διεπιφάνειας εργασίας (interface)
 - 2.2.3 Μοντέλα που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα του Visual Plumes
 - 2.2.4 Αναλυτική παρουσίαση των επιφανειών εργασίας

2.1) ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΠΑΝΩ ΣΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ, ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΠΛΟΥΜΙΟΥ

Τα υγρά απόβλητα τα οποία προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που γίνονται στις παράκτιες περιοχές, δηλαδή τα αστικά λύματα, τα γεωργικά στραγγίσματα και τα βιομηχανικά απόβλητα, μεταφέρουν ένα μεγάλο φάσμα ρύπων. Είναι επομένως αναγκαίο μετά τη συλλογή τους από κατάλληλα αποχετευτικά δίκτυα να εκρέουν στο θαλάσσιο περιβάλλον με τέτοιο τρόπο ώστε να μη δημιουργούνται μη αναστρέψιμες συνθήκες στο παράκτιο οικοσύστημα. Η μέχρι σήμερα συνηθισμένη πρακτική για την αντιμετώπιση προβλημάτων προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι είτε εκροή των υγρών αποβλήτων μέσω υποβρύχιου αγωγού σε μεγάλο βάθος, αλλά χωρίς επεξεργασία, είτε μέσω υποβρύχιου αγωγού σε μικρότερα βάθη και αφού γίνει κάποιας μορφής καθαρισμός ή προσαρμογή των χαρακτηριστικών του λύματος με τα αντίστοιχα των συνθηκών του θαλάσσιου περιβάλλοντος (αλατότητα, θερμοκρασία, πυκνότητα). Και στις δύο πάντως περιπτώσεις έχει γίνει αποδεκτό ότι το θαλάσσιο περιβάλλον "απορροφά" ποσότητα της ρύπανσης, δηλαδή δεν έχει ξεπεραστεί η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του.

Οι υποβρύχιοι αγωγοί που θα χρησιμοποιηθούν για τη διάθεση των υγρών αποβλήτων στη θάλασσα, ανεξάρτητα αν έχει προηγηθεί ή όχι καθαρισμός και προσαρμογή συνθηκών, θα πρέπει να εξασφαλίζουν χαμηλές τιμές της τελικής (απομένουσας) συγκέντρωσης των διαφόρων ρύπων μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον και ικανοποιητική διασπορά της αποβαλλόμενης μάζας λυμάτων μέσα στον υδάτινο αποδέκτη ώστε να εκπληρούνται οι ισχύουσες προδιαγραφές προστασίας του παράκτιου οικοσυστήματος. Επομένως είναι απαραίτητη η μεγαλύτερη ανάμιξη των υγρών αποβλήτων με το θαλάσσιο νερό ώστε π.χ. να επιτυγχάνονται συγκλίνουσες τιμές αλατότητας, θερμοκρασίας και πυκνότητας (για περίπτωση θερμικής ρύπανσης).

Τα υγρά απόβλητα (αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα) είναι συνήθως ελαφρότερα του θαλασσινού νερού και κατά συνέπεια υφίστανται άνωση λόγω της διαφοράς πυκνότητας τους από το θαλάσσιο περιβάλλον τους και ανέρχονται προς την επιφάνεια της θάλασσας. Εξάιρεση, πολλές φορές, αποτελεί η περίπτωση θερμών αποβλήτων, τα οποία λόγω εμφάνισης υψηλών τιμών αλατότητας κατά την εκροή τους παρουσιάζουν πυκνότητες μεγαλύτερες από αυτές του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ αποβλήτων και θάλασσας και η μεταβολή της πυκνότητας της θάλασσας από τον πυθμένα μέχρι την επιφάνεια καθορίζει αν τα απόβλητα που εκρέουν από τον υποβρύχιο αγωγό θα φτάσουν μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια της

θάλασσας ή θα παραμένουν βυθισμένα μέσα στη θάλασσα μέχρι εκείνο το βάθος που μηδενίζεται η διαφορά πυκνότητας.

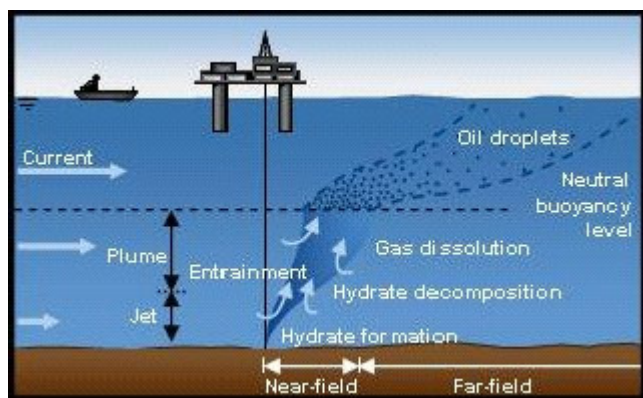
Η τελικά απομένουσα συγκέντρωση των διαφόρων ρύπων που μεταφέρουν τα υγρά απόβλητα μέσω του υποβρύχιου αγωγού στη θάλασσα ή ο εγκλωβισμός πλουμίου υψηλότερης θερμοκρασίας από αυτή του θαλάσσιου περιβάλλοντος, είναι αποτέλεσμα της επιμέρους διάλυσης, ή διασποράς αντίστοιχα, που γίνεται στις διάφορες φάσεις της μεταφοράς των λυμάτων μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι φάσεις αυτές είναι:

(i) η φάση της ανόδου των λυμάτων από την έξοδο του υποβρύχιου αγωγού προς την ελεύθερη επιφάνεια, διάλυση λόγω τυρβώδους διάχυσης .

(ii) η φάση της μεταφοράς και διασποράς των λυμάτων (στη στάθμη στην οποία έχουν φτάσει στη 1η φάση) λόγω της κίνησης των θαλάσσιων μαζών (ρεύματα), διάλυση λόγω οριζόντιας και κατακόρυφης διασποράς.

(iii) η φάση της βιοαποδόμησης, μείωση της συγκέντρωσης των μη συντηρητικών ρύπων λόγω βιο-χημικών αλληλεπιδράσεων.

Η πρώτη φάση αναφέρεται συνήθως ως γειτονικό ή κοντινό πεδίο (near field) και η 2η φάση ως μακρινό πεδίο (far field), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Εικονική αναπαράσταση συμπεριφοράς θερμικού πλουμίου πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον.

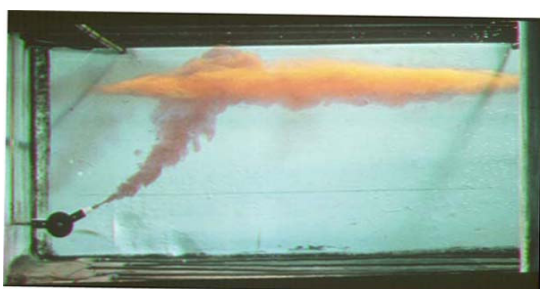
Εξετάζοντας τη φάση ανόδου των λυμάτων γίνεται η διάκριση τυρβώδους φλέβας και τυρβώδους πλουμίου.

(i) Τυρβώδης φλέβα: Στην ανοδική αυτή κίνηση των λυμάτων με χαρακτηριστικό μέγεθος την ταχύτητα εκροής, και μήκος ανάπτυξης από

μερικά μέτρα μέχρι μερικές δεκάδες μέτρων, η αρχική ορμή υπερισχύει της άνωσης που οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας.

(ii) Τυρβώδες Πλούμιο : Η ανοδική κίνηση των λυμάτων στην οποία όμως οι δυνάμεις βαρύτητας, λόγω διαφοράς πυκνότητας μεταξύ υγρών αποβλήτων και θάλασσας, υπερισχύουν των δυνάμεων λόγω αρχικής ορμής. Το τυρβώδες πλούμιο εκτείνεται μέχρι το βάθος όπου αρχίζει η (συνήθως) οριζόντια μεταφορά των λυμάτων. Οριακή περίπτωση τυρβώδους πλουμίου είναι η περίπτωση πολύ μικρής αρχικής ταχύτητας και σημαντικής διαφοράς πυκνότητας.

Επειδή η εκροή των υγρών αποβλήτων στη θάλασσα γίνεται σχεδόν πάντοτε με αρχική ταχύτητα και υπάρχει διαφορά πυκνότητας μεταξύ λυμάτων και θάλασσας η εκροή αρχίζει ως τυρβώδης φλέβα και αναπτύσσεται σχετικά γρήγορα σε τυρβώδες πλούμιο. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάπτυξη του πλουμίου και η απόσταση της αρχής του από την οπή εκροής εξαρτάται από την αρχική ταχύτητα και τη διαφορά πυκνότητας. Τα λύματα κατά την έξοδο τους, έχουν και αρχική κατακόρυφη ορμή και άνωση, δημιουργώντας ανωστικές δέσμες (buoyant jets), όπως φαίνεται στην εργαστηριακή φωτογραφία της Εικόνας 14.



Εικόνα 14: Εργαστηριακή φωτογραφία εξομοίωσης συμπεριφοράς πλουμίου.

Το τυρβώδες πλούμιο είναι δυνατόν να μην φτάσει μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας και να εμφανιστεί παγίδευση των υγρών αποβλήτων σε κάποιο σημείο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια (βυθισμένο πλούμιο). Η εμφάνιση παγιδευμένου πλουμίου συναντάται στις περιόδους ύπαρξης στρωμάτωσης και ανάπτυξης θερμοκλινούς-πυκνοκλινούς στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η θερμοκλινή στρωμάτωση έχει συνήθως (για τη Μεσόγειο) εποχιακό χαρακτήρα εμφάνισης και αναπτύσσεται σε βάθος 10 - 40 m κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας. Για να γίνει επομένως παγίδευση των λυμάτων από την πυκνοκλινή στρωμάτωση θα πρέπει να γίνεται εκροή των λυμάτων σε βάθη μεγαλύτερα από 20 m.

Η συνήθης διάταξη ενός συστήματος διάθεσης αποτελείται από το φρεάτιο φόρτισης, τον αγωγό προσαγωγής και το διαχυτήρα με τους ανυψωτήρες. Οι τελευταίοι είναι απαραίτητοι για διαχυτήρες διαμέτρου μικρότερης του 1 m ώστε να αποφεύγεται η είσοδος φερτών υλών στον αγωγό. Σε διαχυτήρες μεγαλύτερης διαμέτρου τα λύματα διατίθενται από οπές στο τοίχωμα του διαχυτήρα.

Τα λύματα που εξέρχονται από τα στόμια των ανυψωτήρων σχηματίζουν μία αξονοσυμμετρική ροή προς την επιφάνεια της θάλασσας που χαρακτηρίζεται από μία αρχική ροή ορμής και μία αρχική ανωστική δύναμη. Η ροή των λυμάτων αμέσως μετά την είσοδο τους στο θαλάσσιο νερό χαρακτηρίζεται ως φλέβα, όταν οι αρχικές δυνάμεις αδράνειας υπερिशύουν της αρχικής ανωστικής δύναμης και ως πλούμιο όταν συμβαίνει το αντίθετο.

Για τις συνήθεις τιμές παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό ενός υποθαλάσσιου αγωγού διάθεσης, τα λύματα συμπεριφέρονται ως ανωστικά πλούμια, δηλαδή ως φλέβες που εξελίσσονται γρήγορα σε πλούμια και ανεβαίνουν προς την επιφάνεια της θάλασσας. Το πλούμιο είτε θα φθάσει στην επιφάνεια της θάλασσας είτε, όταν η θάλασσα είναι ισχυρά στρωματωμένη, θα εξισορροπήσει σε κάποιο βάθος ("τερματικό ύψος"), όπου η μέση πυκνότητα των αραιωμένων λυμάτων είναι ίση με την πυκνότητα του θαλάσσιου νερού στο ίδιο βάθος.

Στην περίπτωση ευσταθώς στρωματωμένου θαλάσσιου πεδίου με την άνω στρώση μικρότερης πυκνότητας από την κάτω στρώση, υπάρχει πιθανότητα, όταν η ανωστική δέσμη φθάσει στη διαχωριστική ζώνη των δύο στρώσεων, (το πυκνοκλινές), να απολέσει την ανωστική τάση της λόγω της αναμίξεως που έχει ήδη υποστεί, και να παγιδευτεί στο πυκνοκλινές, εξαπλούμενη οριζόντια σαν να είχε φθάσει στην επιφάνεια (Εικόνα 15).

Οι συνθήκες παγιδεύσεως στο πυκνοκλινές περιγράφονται από την ακόλουθη ανισότητα της διαφορικής πυκνότητας α λυμάτων και άνω στρώσεως στη ζώνη του πυκνοκλινούς

$$\rho_h = \rho_s + 0.5 C_m (\rho_0 - \rho_s)$$

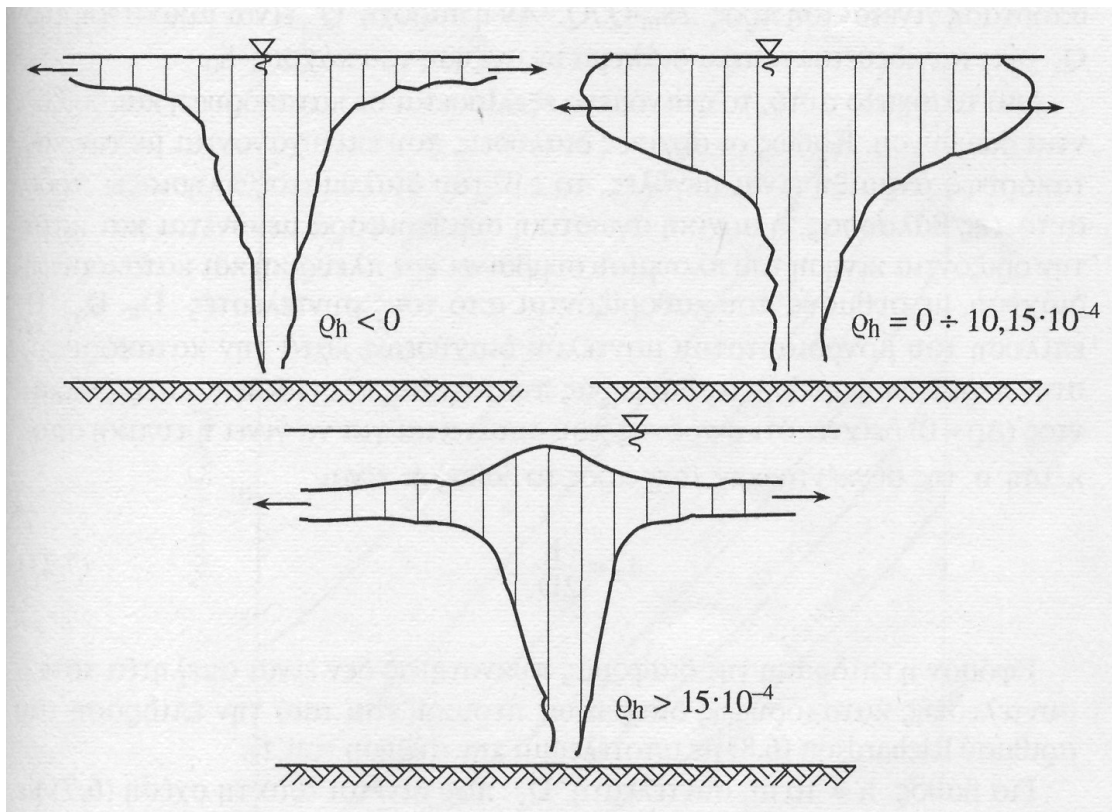
$$\alpha = (\rho_h - \rho_w) / \rho_0$$

1^η περίπτωση: $\alpha < 0$

2^η περίπτωση: $0 < \alpha < 10 \sim 15 \cdot 10^{-4}$

3^η περίπτωση: $\alpha > 15 \cdot 10^{-4}$

όπου c_m η συγκέντρωση στο βάθος του πυκνοκλινούς.



Εικόνα 15

Ως αρχική αραίωση ορίζεται το κλάσμα της πυκνότητας των λυμάτων στον αγωγό διάθεσης προς τη μέση πυκνότητα του στρώματος των λυμάτων στο βάθος ισορροπίας. Στην περίπτωση μας, όπου εξετάζεται η διασπορά θερμικού πλουμίου λυμάτων χωρίς ρυπαντές (καθαρό νερό με διαφορά θερμοκρασίας – αλατότητας) η τιμή συγκέντρωσης του ρυπαντή στα λύματα C_λ είναι μηδενική, οπότε δεν απαιτείται υπολογισμός αρχικής ή περαιτέρω αραίωσης λυμάτων.

Η φλέβα ή το πλούμιο που εξέρχεται από κυκλική οπή έχει αξονοσυμμετρική κατανομή ταχύτητας (και συγκέντρωσης) κατά Gauss:

$$u(x,r) = u_m(x) e^{-a r/x}$$

$$[C(x,r) = C_m(x) e^{-b r/x}]$$

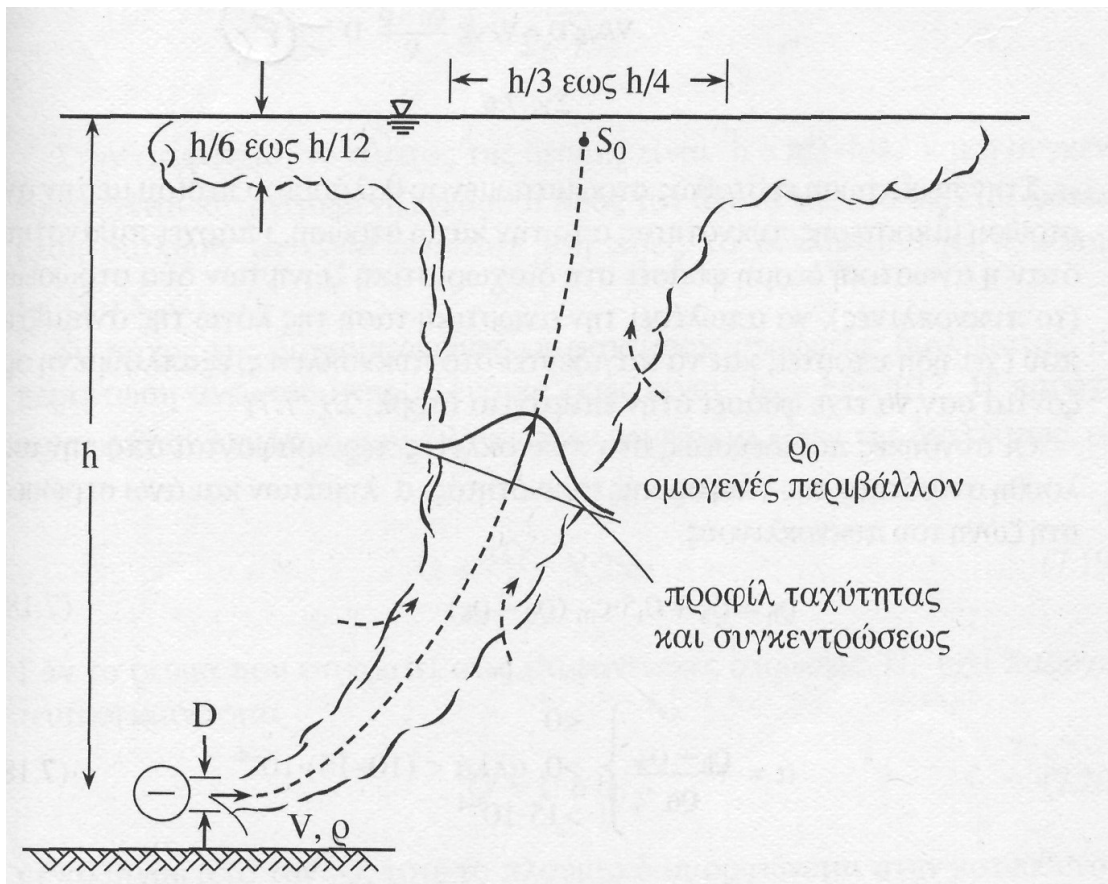
όπου a , b είναι εμπειρικοί συντελεστές, και είναι $a=87$, $b=62$ για τη φλέβα και $a=100$, $b=69$ για το πλούμιο κατά Fisher et. al [4], ο δείκτης m συμβολίζει τιμές των μεγεθών στον άξονα του πλουμίου, η απόσταση x μετράται κατά μήκος του άξονα της φλέβας και η απόσταση r κάθετα.

2.1.1) Διάχυση και διασπορά για βάθη < 20 m

Στις ελληνικές θάλασσες μπορεί να θεωρηθεί ότι τα νερά σε βάθη μικρότερα των 20 m περίπου είναι το χειμώνα πλήρως αναμιγμένα και το καλοκαίρι γραμμικά στρωματωμένα.

Σε όποιες σχέσεις χρειάζεται, ο πυκνομετρικός αριθμός Froude του πλούμιου δίνεται από τη σχέση :

$$F = V/[g D(\rho_s - \rho_w) / \rho_w]^{1/2} \text{ (H το βάθος διάθεσης)}$$



Εικόνα 16

όπου V η ταχύτητα εκροής, D η διάμετρος της οπής και $\Delta\rho/\rho_w$ η ανηγμένη διαφορά πυκνότητας θαλασσινού νερού και λυμάτων όπου $\Delta\rho = \rho_s - \rho_w$, όπως τα μεγέθη φαίνονται στην Εικόνα 16.

2.1.2) Διάχυση και διασπορά για βάθη > 20 m

Για διάθεση σε μεγαλύτερο βάθος πρέπει να εξετάζεται η περίπτωση παγίδευσης του πλούμιου κάτω από το θερμοκλινές εφόσον υπάρχει έντονη στρωμάτωση. Όταν υπάρχει μη γραμμική στρωμάτωση, δηλαδή

έντονο θερμοκλινές, δεν υπάρχουν πλέον αναλυτικές σχέσεις και γίνεται χρήση μαθηματικών μοντέλων.

Αξονοσυμμετρικές ροές δημιουργούνται από διαδοχικά στόμια διάθεσης που βρίσκονται κατά μήκος ενός αγωγού-διαχυτήρα. Μέσω των δημιουργούμενων στροβιλισμών, κάθε πλούμιο προσλαμβάνει θαλάσσιο νερό από την περιφέρεια της κυκλικής διατομής για αραίωση. Είναι όμως δυνατόν να επέλθει παρεμπόδιση της αραίωσης, αλληλοκάλυψη των διαδοχικών αξονοσυμμετρικών πλουμίων και τελική δημιουργία γραμμικού πλουμίου πριν από το τερματικό ύψος αν η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών στομίων διάθεσης είναι μικρή.

Στην περίπτωση που τα πλούμια εξέρχονται στην επιφάνεια, η αλληλοκάλυψη τους ελαχιστοποιείται αν τα διαδοχικά στόμια τοποθετηθούν σε απόσταση $H/3$. Μετά από απόσταση H , σε διατομή πλουμίου ακτίνας $H/6$ βρίσκεται το 94% της μάζας του ρυπαντή. Σε περίπτωση παγίδευσης των λυμάτων κάτω από την επιφάνεια, η απόσταση $H/6$ μεταξύ των στομίων εξασφαλίζει την ανεξάρτητη άνοδο των πλουμίων ως το τερματικό ύψος.

Τα θαλάσσια ρεύματα δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της αρχικής αραίωσης για βάθη διάθεσης μικρότερα των 20 m, όπου δηλαδή ο αποδέκτης είναι είτε ομογενής είτε έχει μικρή γραμμική στρωμάτωση διότι επαυξάνουν την αρχική αραίωση και οδηγούν σε ευμενέστερες καταστάσεις. Αντίθετα, τα θαλάσσια ρεύματα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς αρχικής αραίωσης όταν η διάθεση γίνεται σε βαθύτερα νερά και έντονα στρωματωμένους αποδέκτες. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν το θαλάσσιο ρεύμα να συντελέσει στην παγίδευση του ανωστικού πλουμίου (ιδιαίτερα αν η αρχικές δυνάμεις αδρανείας είναι πολύ μικρές) κάτω από το θερμοκλινές με συνέπεια τη μείωση της αρχικής αραίωσης.

2.1.3) Περαιτέρω διάχυση και διασπορά

Στο πέρας της αρχικής αραίωσης τα λύματα δημιουργούν ένα πλούμιο πλάτους b και πάχους d , που στην περίπτωση που τα λύματα εξέλθουν στην επιφάνεια είναι περίπου $d = H/6$ ως $H/12$. Μετά την αρχική αραίωση τα λύματα μεταφέρονται με τα θαλάσσια ρεύματα. Η χρονική και χωρική μεταβλητότητα των ρευμάτων προκαλούν διασπορά των λυμάτων που εκφράζεται με τους συντελεστές κατακόρυφης και οριζόντιας διάχυσης.

Η κατακόρυφη διάχυση είναι σημαντική μόνον όταν τα λύματα σχηματίσουν επιφανειακό στρώμα (ή στρώμα κοντά στην επιφάνεια) οπότε ο άνεμος δημιουργεί έντονες κατακόρυφες μεταβολές στο πεδίο ταχυτήτων. Ο συντελεστής κατακόρυφης διάχυσης K_v υπολογίζεται προσεγγιστικά από τον τύπο:

$$K_v = 0,1 u^* H$$

όπου $u^* = (\tau/\rho)^{1/2}$ και $\tau/\rho = 10^{-6} W^2$ είναι η διατμητική τάση που προκαλείται λόγω ανέμου ταχύτητας W . Ο χρόνος που απαιτείται για την κατακόρυφη διάχυση των λυμάτων σε βάθος H είναι:

$$t_v = H^2 / (8K_v)$$

Ο υπολογισμός της κατακόρυφης διάχυσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη ορίων που είναι ο πυθμένας αλλά και το θερμοκλίνας ώστε οι παραπάνω προσεγγιστικές σχέσεις να μην οδηγούν σε παράλογα αποτελέσματα.

Ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης K_h μπορεί να προσεγγισθεί από (εφόσον δεν υπάρχουν στοιχεία πεδίου):

$$K_h = 0.01 b^{4/3}$$

όπου b είναι το πλάτος του πλουμίου αμέσως μετά την αρχική αραίωση.

Το πλάτος του πλουμίου είναι:

$$L/b = (1 + (2/3) \beta x / b)^{3/2}$$

$$\text{όπου } \beta = 12 K_h / (u b)$$

Για πλούμιο που κινείται παράλληλα με τις ακτές και για πλάτος $b < 1000$ m είναι προτιμότερο να θεωρείται ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης σταθερός.

Ο υπολογισμός της αραίωσης λόγω μεταφερόμενης διασποράς είναι πολύ προσεγγιστικός διότι λαμβάνει μόνον έμμεσα και κατά γενικό τρόπο (με το συντελεστή διάχυσης) υπόψη τη χρονική και χωρική μεταβλητότητα των θαλάσσιων ρευμάτων. Αλλά είναι και συντηρητικός διότι θεωρεί ότι το θαλάσσιο ρεύμα σταθερής ταχύτητας u διαρκεί τουλάχιστον όσο χρόνο απαιτείται για να μεταφερθούν τα λύματα από το σημείο διάθεσης στο ευαίσθητο σημείο του αποδέκτη. Στην πραγματικότητα, τα θαλάσσια ρεύματα μεταβάλλονται χρονικά και χωρικά με αποτέλεσμα ο αποδέκτης να είναι διάσπαρτος από "νέφη" λυμάτων διαφόρων συγκεντρώσεων, που όμως σπάνια υπερβαίνουν τη συγκέντρωση που αντιστοιχεί στην αραίωση.

Τέλος η πυκνότητα ενός θερμικού πλουμίου αποβαλλόμενου νερού σε θαλάσσιο περιβάλλον επηρεάζεται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία με συνδυαστικό και πολύπλοκο τρόπο (δεν είναι γραμμικά ανάλογα μεγέθη). Ωστόσο είναι σίγουρο ότι η πυκνότητα του πλουμίου

μεγαλώνει όταν παρατηρείται αύξηση της αλατότητας και μείωση της θερμοκρασίας και αντίστοιχα μειώνεται όταν παρατηρείται μείωση της αλατότητας και αύξηση της θερμοκρασίας. Προφανώς όταν η τιμή της πυκνότητας του πλουμίου ξεπερνάει αυτήν του αποδέκτη προβλέπεται καταβύθιση του αποβαλλόμενου ύδατος προς τον πυθμένα μέχρι την εξισορρόπηση των πυκνοτήτων. Αντίστοιχα για μικρότερη τιμή πυκνότητας πλουμίου προβλέπεται ανάδυση αυτού προς την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι την αντίστοιχη εξισορρόπηση πυκνοτήτων.

Στην περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία το αποβαλλόμενο νερό στο σημείο εκροής έχει μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας από αυτές του θαλάσσιου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η άμεση πρόβλεψη της συμπεριφοράς του πλουμίου αναφορικά με τη διαφορά πυκνοτήτάς του και αυτής του υδάτινου αποδέκτη. Η δυσκολία υπολογισμού της πυκνότητας έγκειται ακριβώς στο γεγονός της αδυναμίας άμεσου υπολογισμού της, οπότε απαιτείται χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

Ακριβέστερος υπολογισμός μπορεί να γίνει με μαθηματικά ομοιώματα παράκτιας κυκλοφορίας και μεταφοράς ρυπαντών όπως το χρησιμοποιούμενο, στην παρούσα διπλωματική εργασία, VISUAL PLUMES.

Το μαθηματικό μοντέλο πρέπει να συνδυάζει τη συμπεριφορά των λυμάτων στο κοντινό πεδίο (near-field) αλλά και στο απομακρυσμένο πεδίο (far-field) και να δίνει κατά το δυνατό κατατοπιστικότερα διαγράμματα της κίνησης του εξεταζόμενου πλουμίου.

Άλλα τέτοια πακέτα λογισμικού υδροδυναμικών επιλύσεων για επιφανειακούς κυρίως αποδέκτες, προτεινόμενα από το CEAM (Center for Exposure Assessment Modeling) της EPA (Environmental Protection Agency), φαίνονται στον Πίνακα Α και είναι τα εξής:

Product Name	Operating System	Key Words
CORMIX	MS-DOS	aquatic biology, assessment, chemistry, compliance, environmental effects, metals, permits, point source(s), surface water, test/analysis, toxicity
EXAMS	MS-DOS	aquatic biology, assessment, biology, chemistry, compliance, environmental effects, metals, NPS related, permits, pesticides, point source(s), rivers, streams, surface water, test/analysis
EXPRESS	Windows	przm, exams, exposure, shell
GCSOLAR	MS-DOS	solar, photolysis, half-life, pollutant, aquatic, ozone
HSCTM2D	MS-DOS	hydrology, sediment, contaminant, transport, finite element model, river, estuary

HSPF	MS-DOS	assessment, biology, compliance, deposition, discharge, environmental effects, estuaries, hydrology, lakes, metals, monitoring, NPS related, NPDES, nutrients, permits, pesticides, point source(s), rivers, sediment, streams, surface water, test/analysis, TMDL related, toxicity
OXYREF	MS-DOS	fish, oxygen, respiration, ventilation, gases, requirement, data, literature
PLUMES	MS-DOS	plume, dilution, freshwater, marine, discharge, outfall
PRZM3	MS-DOS	assessment, discharge, environmental effects, hydrology, land use management, metals, pesticides, surface water, test/analysis
QUAL2EU	MS-DOS	stream, lake, water, quality, pollutants, planning, non-point, waste, load
SED3D	VAX VMS	hydrodynamics, sediment, transport, lakes, estuaries, harbors, coastal waters, three dimensional
SMPTOX3	MS-DOS	regulatory, waste, load, toxic, streams, pollutant, TMDL, sediment
SWMM	MS-DOS	aquatic biology, assessment, combined sewer, community, discharge, environmental effects, metals, NPS related, NPDES, point source(s), procedure, rivers, stormwater, streams, surface water, test/analysis, TMDL related
TMDL USLE	Windows	TMDL, load, USLE, soil, sediment, loss, watershed, spreadsheet
Visual Plumes	Windows	surface, water, jet, plume, model, quality, contaminant, TMDL
WASP	MS-DOS	aquatic biology, assessment, compliance, discharge, environmental effects, hydrology, metals, NPS related, NPDES, point source(s), surface water, test/analysis, TMDL related

Πίνακας Α: Πακέτα λογισμικού υδροδυναμικών επιλύσεων για επιφανειακούς αποδέκτες της EPA (Environmental Protection Agency).

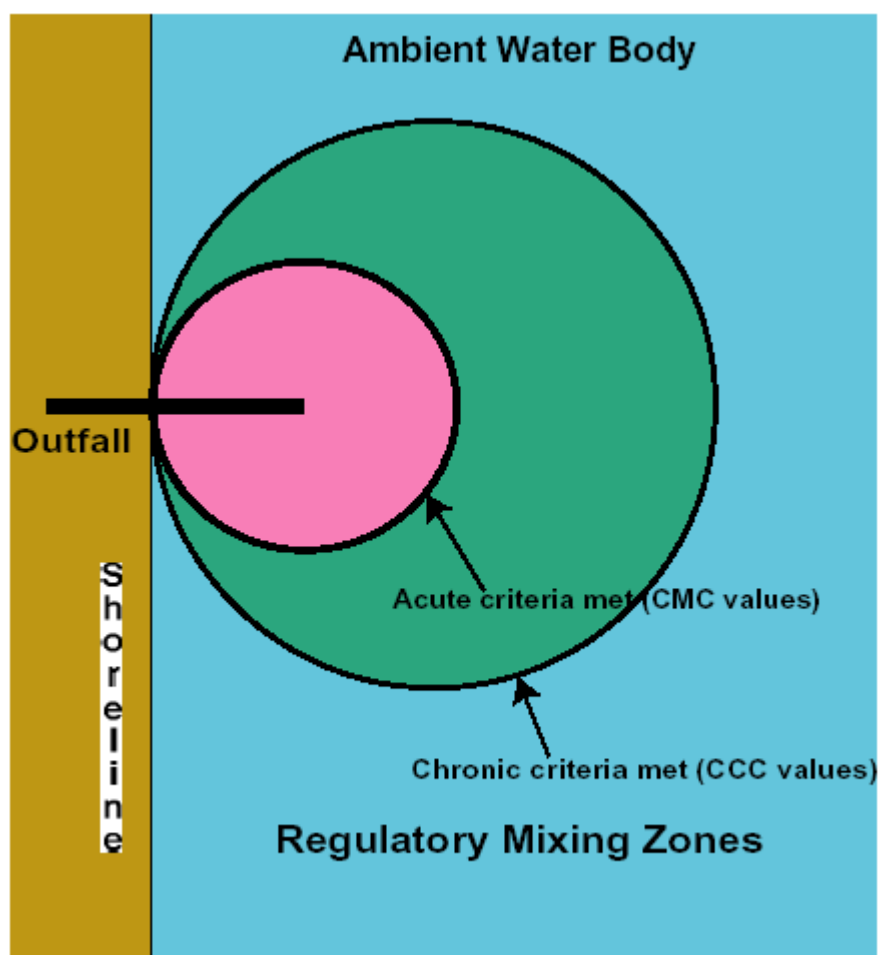
Τα παραπάνω πακέτα λογισμικού παρουσιάζονται στο διαδίκτυο και συγκεκριμένα στο site <http://www.epa.gov/ceampubl/swater/index.htm> από το οποίο μπορεί εύκολα κανείς να τα ‘κατεβάσει’ ελεύθερα και δωρεάν.

Η παράθεσή τους γίνεται γιατί η χρήση τους και η ενασχόληση με αυτά θα μπορούσε να αποτελέσει ζήτημα πιθανών μελλοντικών διπλωματικών ή άλλων εργασιών πάνω στο ίδιο ή παρόμοιο θέμα με το οποίο ασχολείται και η παρούσα διπλωματική εργασία, με σκοπό τη σύγκριση αποτελεσμάτων ή την περαιτέρω έρευνα πάνω στα γνωστικά αντικείμενα της Παράκτιας Διαχείρισης, Ωκεανογραφίας, Υδροδυναμικής, Διαχείρισης Επιφανειακών Υδροφορέων κ.α.

2.2) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΠΙΛΥΣΕΩΝ VISUAL PLUMES for WINDOWS

2.2.1) Εισαγωγή

Το Visual Plumes (VP) είναι μια πρότυπη εφαρμογή διαχείρισης υδάτινων ζωνών μίξης (Εικόνα 17) για περιβάλλον Windows που σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το πρόγραμμα PLUMES που βασίζεται σε περιβάλλον DOS (Baumgartner, Frick και Roberts, 1994). Όπως και το PLUMES, το VP υποστηρίζει τα πρότυπα αρχικής διάλυσης που προσομοιώνουν είτε μοναχικά είτε αναμειγνυόμενα βυθισμένα πλούμια μέσα σε περιβάλλοντες χώρους (θάλασσα ή υδάτινους



Εικόνα 17: Σχηματική αναπαράσταση ρύθμισης Ζωνών Μίξης σε υδάτινο αποδέκτη (θαλάσσιο περιβάλλον)

αποδέκτες γενικότερα) με κατανεμημένη στρωμάτωση. Πρόκειται δηλαδή για ένα μαθηματικό ομοίωμα παράκτιας κυκλοφορίας και μεταφοράς ρυπαντών σε υδατοσυλλέκτες, το οποίο προβλέπει τη συμπεριφορά (διασπορά, διάλυση, ανάδυση, κατάδυση κ.α.) υδάτινων

μαζών εν είδη πλουμίου μέσα σε αυτούς. Οι προβλέψεις που παρέχει χρησιμοποιούν μεταβλητές διάλυσης, ανάδυσης, διαμέτρου κ.α. Διατηρείται ο αλγόριθμος του Brooks για να προβλέψει την αξονοσυμμετρική (εστιακή) διάλυση σε μακρινό πεδίο και το εύρος του πεδίου απόθεσης αποβλήτων. Νέα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το μοντέλο επιφανειακής εκροής (PDS: Davis, 1999. Fundamentals of environmental discharge modeling. CRC Press), το (multi-stressor) μοντέλο βακτηριακής αποσύνθεσης (που βασίζεται στο μοντέλο Mancini, 1978), τη δημιουργία γραφικών, την εισαγωγή χρονοσειρών προόδου, μονάδες κατάλληλες για κάθε χρήστη και ικανότητα συντηρητικής πρόβλεψης συμπεριφοράς ρυπαντικής ουσίας σε παλιρροιακά περιβάλλοντα.

Το VP διαφέρει κατά πολύ από το PLUMES όσον αφορά το λειτουργικό σύστημα, τις βελτιώσεις και τις προσθήκες των μοντέλων, , την οργάνωση της δομής του και τον τρόπο εμφάνισης των εφαρμογών. Η παρούσα εκδοχή για Windows του πιο συχνά χρησιμοποιούμενου μοντέλου UM (Updated Merge) για αγωγή με ελεύθερο άκρο έχει μετατραπεί πλέον σε ένα πλήρως τρισδιάστατο μοντέλο ροής. Πήρε εκ νέου το όνομα UM3 για να δοθεί έμφαση σε αυτή την αλλαγή και για να διαφοροποιηθεί από την προηγούμενη έκδοση του. Το UDKHDEN, επίσης ένα τρισδιάστατο μοντέλο, ήταν ένα από τα παλιότερα πρότυπα προγράμματα της EPA (Muellenhoff et al., 1985) το οποίο εμφανίστηκε εκ νέου με το όνομα DKHW. Αυτή η προσθήκη επιδεικνύει την τάση δημιουργίας μιας ολοκληρωμένης πρότυπης πλατφόρμας με απώτερο στόχο να προκαλέσει ανταγωνισμό στην επιστημονική κοινότητα ενθαρρύνοντας τους κατασκευαστές προγραμμάτων να συνεχίσουν τη βελτίωση των λογισμικών εφαρμογών τους. Κάποια μέρη του PLUMES έχουν εισαχθεί χωρίς να έχουν υποστεί αλλαγή. Το RSB μοντέλο είναι ένα από αυτά παρ' όλο που το νέο του όνομα, NRFIELD και FRFIELD θέτει τα θεμέλια για προγραμματισμένες μελλοντικές αλλαγές. [Για πολλούς χρήστες του PLUMES που θέλουν να υποστηρίξουν προηγούμενα projects ή να επωφεληθούν από ορισμένα χαρακτηριστικά του, το VP είναι συμβατό. Το DOS PLUMES ειδικά είναι ένα από τα μοντέλα που υποστηρίζονται από το VP. Όταν επιλεγθεί, το VP προετοιμάζει την απαραίτητη εισαγωγή αρχείων PLUMES και προβάλλει τα αποτελέσματα (output), ερμηνεύοντας κάποια από αυτά γραφικά. Διαβάζει επίσης την εισαγωγή αρχείων PLUMES (αρχεία με το πρόθεμα VAR)]

Όπως το DOS PLUMES, το VP επιτρέπει στον χρήστη να τρέχει πολλά προβλήματα, καθώς η δημιουργία πολλαπλών υποθέσεων εργασίας (case-studies) είναι εύκολη στο στήσιμο και στη σύγκριση. Διευκολύνεται ο καθορισμός της στατιστικής ευαισθησίας του μοντέλου σε πολλές παραμέτρους εισαγωγής. Η ικανότητα να τρέχουν διαφορετικά

μοντέλα, όπως το UM3 και το DKHW, ταυτόχρονα και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα σε γραφική μορφή με διαφορετικά αντίστοιχα χρώματα, διευκολύνει τη σύγκριση μεταξύ μοντέλων.

Αυτό που διαχωρίζει το VP από το PLUMES είναι η ικανότητα να συνδέουμε αρχεία χρονοσειρών. Αυτό το γεγονός παρέχει τη δυνατότητα εξομοίωσης και οπτικής αναπαράστασης της εκροής για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, και άρα για πολλαπλά σενάρια κατάστρωσης περιβαλλόντων χώρων. Οι περισσότερες μεταβλητές περιβάλλοντος χώρου και απορροής αποβλήτων, όπως ο ρυθμός εκροής υγρών αποβλήτων και η κατεύθυνση ρεύματος, μπορούν να διαβαστούν από αρχεία που περιέχουν τιμές που αλλάζουν με τον χρόνο σε διαφορετικά χρονικά μεσοδιαστήματα. Έτσι, ένα αρχείο 24-ωρης ροής, που επαναλαμβάνεται περιοδικά, μπορεί να συνδυαστεί με ένα σύνολο υδρογραφικών δεδομένων (κατεύθυνση, ταχύτητα ρεύματος) που περιέχει εκατοντάδες αρχεία. Αυτό είναι το βασικό κομμάτι (ο πυρήνας) της πρόβλεψης εξάπλωσης ρυπαντικής ουσίας σε μονορροϊκά παλιρροιακά ποτάμια ή σε εκβολές ποταμών χάρη στο οποίο το VP υπολογίζει τη μόλυνση του περιβάλλοντος από την εν λόγω πηγή. Η ικανότητα σύνδεσης του αρχείου της χρονοσειράς υποστηρίζεται από «συνοπτικές» γραφικές παραστάσεις, π.χ. από πίνακες γραφικών παραστάσεων που επικεντρώνονται σε δείκτες ολικής απόδοσης, όπως τη διάλυση ή την πυκνότητα στη ζώνη μίξης.

Παρά τις όλες αλλαγές του, το VP είναι ακόμα ένα μεταβατικό προϊόν. Πρωτίστως, το VP επωφελείται από τον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό που προσφέρεται από την γλώσσα προγραμματισμού Delphi με την οποία αναπτύχθηκε. Κατά δεύτερο λόγο, το VP είναι μόνο ένα πρωτότυπο για μια ολοκληρωμένη πρότυπη πλατφόρμα που θα μπορούσε πλήρως να υποστηρίξει τα διάφορα μοντέλα ζωνών μίξης, ενώ παράλληλα αποτελεί ένα πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε για να συμβαδίζει με τους κανονισμούς εφαρμογής. Κατά τρίτο λόγο, η ικανότητα πρόβλεψης της εξάπλωσης ρυπαντικής ουσίας σε παλιρροιακά περιβάλλοντα είναι μόνο ένα βήμα προς ένα μελλοντικό πακέτο πλήρους ανάλυσης τρισδιάστατης ζώνης μίξης.

2.2.2) Γενική ανασκόπηση της διεπιφάνειας εργασίας (interface)

Η διεπιφάνεια του VP οργανώνεται σε πέντε πίνακες εργασίας-στηλογνώμονες (tabs): τον *διαχυτήρα (diffuser tab)*, τον *περιβάλλοντα χώρο (ambient tab)*, τις *ειδικές ρυθμίσεις (special settings tab)*, την *απόδοση αποτελεσμάτων σε κείμενο (text output tab)*, και τις *γραφικές αναπαραστάσεις (graphical output tab)*. Για το στήσιμο και την εισαγωγή δεδομένων, παρέχονται πολλά συστατικά στοιχεία του λειτουργικού Windows, όπως πίνακες, μενού pull-down και pop-up, και λίστες. Στο

στήσιμο της διεπιφάνειας κυριαρχούν δύο πίνακες εισαγωγής αριθμητικών δεδομένων, οι οποίοι προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά του διαχυτήρα, τις συνθήκες ροής και τις περιβάλλουσες συνθήκες. [Το σύστημα βοήθειας επιτρέπει στον χρήστη να κάνει δεξί κλικ σε οποιοδήποτε στοιχείο στην οθόνη, ή να χρησιμοποιήσει το μενού της βοήθειας (help menu)].

Σε πολλές εφαρμογές, οι πίνακες εισαγωγής πρέπει να γεμίσουν πλήρως με δεδομένα, είτε τα δεδομένα είναι περιττά είτε όχι. Στο ambient tab δεν απαιτείται η συμπλήρωση όλων των δεδομένων στις στήλες του πίνακα εισαγωγής, λόγω της δυνατότητας γραμμικής παρεμβολής. Για παράδειγμα, αν έχουμε ένα πρόγραμμα μέτρησης με δείγματα ταχύτητας ρεύματος σε 10 και 30 μέτρα βάθους και δείγματα θερμοκρασίας στην επιφάνεια και στα 25m, τότε απαιτούνται τέσσερις σειρές εισαγωγής κελιών (cells). Το VP απαιτεί από τον χρήστη να εισάγει δεδομένα ταχύτητας ρεύματος μόνο στις σειρές των 10m και 30m, και όχι στις σειρές της επιφάνειας και των 25m. Εξαιρέση αποτελεί ο πίνακας του διαχυτήρα, όπου όλες οι απαιτούμενες στήλες πρέπει να διαθέτουν μία ορισμένη τιμή στην πρώτη σειρά, που ονομάζεται 'base case'.

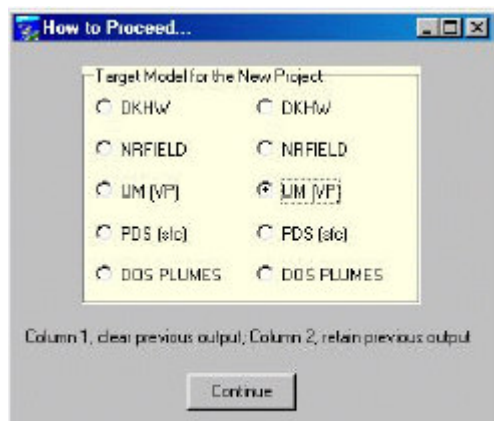
Για να τρέξει το VP, πρέπει να καθοριστεί η base case του διαχυτήρα και να συμπληρωθεί τουλάχιστον ένα προφίλ περιβάλλοντος χώρου στο ambient tab. Η επιλογή του μοντέλου και τα special settings καθορίζουν ποιες στήλες απαιτούν εισαγωγή. Οι στήλες που αναγράφονται ως n/r (not requested) δεν απαιτούν συμπλήρωση. Για περισσότερες από μία ταυτόχρονες λειτουργίες, ή σειρές δεδομένων χρειάζεται να τοποθετηθούν μόνο οι τιμές των κελιών που είναι διαφορετικές από την βασική επιλογή (base case). Αν ένα κελί είναι άδειο, η τιμή του υιοθετείται από την προηγούμενη σειρά.

Η οργάνωση των δεδομένων σε διαφορετικά tabs τονίζει το γεγονός ότι τα δεδομένα του διαχυτήρα και τα δεδομένα εισαγωγής του περιβάλλοντος χώρου διαφυλάσσονται σε ξεχωριστά αρχεία σε μορφή '.db'. Το πλεονέκτημα που προκύπτει από την καταχώρηση δεδομένων σε ξεχωριστά αρχεία είναι πως τα αρχεία δεδομένων περιβάλλοντος χώρου (ambient files) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλα πλάνα εργασίας (projects).

Το VP υποστηρίζει πολλά συστήματα μονάδων μέτρησης ειδικά για κάθε χρήστη. Και στο tab του *Διαχυτήρα* και στο tab του *Περιβάλλοντος Χώρου* ο χρήστης μπορεί να κάνει κλικ στη σειρά πάνω από τον πίνακα εισαγωγής για να επιλέξει μονάδες από μια λίστα που περιέχει παραπάνω από πέντε επιλογές. Επιπλέον, κάποιες από τις στήλες είναι στήλες πολλαπλής χρήσης. Για παράδειγμα, η στήλη της αλατότητας μπορεί να μετατραπεί σε στήλη πυκνότητας, επιλέγοντας απλώς μια μονάδα πυκνότητας από τη λίστα των επιλογών μονάδων.

2.2.3) Μοντέλα που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα του Visual Plumes.

Υπάρχουν προς το παρόν πέντε προτεινόμενα μοντέλα στο VP (Εικόνα 18): DKHW, NRFIELD/FRFIELD, UM3, PDSW, και DOS PLUMES. Αυτά και ο αλγόριθμος Brooks σε μακρινό πεδίο και ένα πειραματικό διανυσματικό μοντέλο περιγράφονται εν συντομία παρακάτω.



Εικόνα 18: Παράθυρο επιλογής μοντέλων επίλυσης του VP

▪ UM3

Το UM3 είναι ένα ακρωνύμιο για το τρισδιάστατο πρότυπο UM (Updated Merge) που εξομοιώνει τις εκροές αποβλήτων, με ελεύθερο άκρο ή διαχυτήρα. Το πρότυπο κωδικοποιείται στην γλώσσα προγραμματισμού Delphi, την γλώσσα του VP.

Το UM3 είναι ένα μοντέλο τύπου Lagrange που βασίζεται στην υπόθεση της projected-area-entrainment (PAE: Winiarski και Frick, 1976, Frick, 1984). Αυτή η παγιωμένη υπόθεση (Rawn, Bowerman και Brooks, 1960) ποσοτικοποιεί την διασπορά, τον ρυθμό δηλ. με τον οποίο η μάζα του ρυπαντή ενσωματωμένη στο πλούμιο αποβάλλεται στο περιβάλλον παρουσία ρευμάτων. Στο UM3 μοντέλο, εικάζεται πως το πλούμιο βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση. Στον σχηματισμό τύπου Lagrange, κάτι τέτοιο υποδηλώνει πως διαδοχικά στοιχεία ακολουθούν την ίδια τροχιά. (Baumgartner et al., 1994). Η περιβάλλουσα του πλουμίου παραμένει αμετάβλητη ενόσω οι στοιχειώδεις μάζες στις οποίες μπορεί να αναλυθεί αλλάζουν σχήμα και θέση με την πάροδο του χρόνου. Παρόλα αυτά, οι συνθήκες εκροής και περιβάλλοντος χώρου μπορούν να μεταβάλλονται σε χρονικές κλίμακες όμως πολύ μεγαλύτερες συγκριτικά με τον χρόνο στον οποίο ένα εκρέον στοιχείο

φτάνει στο τέλος της αρχικής φάσης της διάλυσης, η οποία συνήθως ολοκληρώνεται όταν έχουμε μέγιστη ανύψωση.

▪ DKHW

Το DKHW είναι ένα ακρωνύμιο για το μοντέλο Davis, Kannberg, Hirst για περιβάλλον Windows. Όπως το UM3, το DKHW είναι επίσης ένα τρισδιάστατο μοντέλο πλουμίου που εξομοιώνει τις εκροές αποβλήτων, με ελεύθερο άκρο ή διαχυτήρα. Σε αντίθεση με το UM3, το DKHW είναι ένα μοντέλο σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran το οποίο συνεργάζεται με το VP. Λόγω μιας πιο λεπτομερούς θεώρησης στο κοντινό πεδίο απαιτείται περισσότερος χρόνος εκτέλεσης του μοντέλου. Το DKHW περιορίζεται προς το παρόν σε ανωστικά πλούμια.

▪ PDSW

Το PDSW είναι ένα ακρωνύμιο για τα Prych, Davis, Shirazi μοντέλα για περιβάλλον Windows. Το PDS είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο συμπεριφοράς πλουμίου το οποίο εφαρμόζεται όταν έχουμε εκροές σε υδατοσυλλέκτες όπως κανάλια και παραπόταμους, π.χ. κανάλι εκροής ψυκτικού πύργου. Όπως το DKHW, το PDSWIN είναι ένα εκτελέσιμο μοντέλο τύπου Fortran που συνεργάζεται με το VP. Το PDSWIN παρέχει προσομοιώσεις για τη θερμοκρασία και τη διάλυση σε διάφορες συνθήκες εκροής. Χρησιμοποιήθηκε για να αναπτύξει τα νομογράμματα του μοντέλου Shirazi και Davis (1972).

Το PDS είναι ένα μοντέλο ολοκλήρωσης ροής τύπου Euler για την επιφανειακή εκροή αποβαλλόμενου πλουμίου σε ένα κινητό υδάτινο αποδέκτη που περιλαμβάνει και τις επιδράσεις της επιφανειακής μεταφοράς θερμότητας. Το πλούμιο θεωρείται πως ακολουθεί ανωστική πορεία προς την επιφάνεια με παράλληλη διασπορά προς όλες τις κατευθύνσεις. Η αρχική ορμή εκροής προκαλεί διείσδυση των αποβλήτων στον περιβάλλοντα χώρο ενώ παράλληλα το ρεύμα παρασύρει το πλούμιο στην κατεύθυνση της ροής του. Η εκροή θεωρείται πως έχει τη μορφή ορθογώνιου αγωγού σε μεγάλο υδάτινο σώμα. Το PDSWIN υπολογίζει την τροχιά του πλουμίου, την μέση και την αξονική διάλυση, το μήκος και το πλάτος του πλουμίου και την αξονική πλεονάζουσα θερμοκρασία. Επίσης μπορεί να αναλύει περιοχές μέσα σε επιλεγμένες ισοθερμικές γραμμές. Ο χρήστης πρέπει να ορίζει a priori τα όρια (βάθος και οριζόντια απόσταση) μέσα στα οποία μπορεί να εξελιχθεί το υπό εξέταση φαινόμενο. Οι υπολογισμοί πέρα από το σημείο όπου το πλούμιο προσκρούει σε ένα από τα όρια τίθεται υπό αμφισβήτηση και εναπόκειται στον ερευνητή η αξιολόγηση της περαιτέρω συμπεριφοράς.

- **NRFIELD**

Το NRFIELD (RSB) πρότυπο μοντέλο, όπως υποδηλώνει και η είσοδος του στο *Πρότυπο Μενού*, είναι ο διάδοχος του PLUMES RSB μοντέλου. Το NRFIELD είναι ένα εμπειρικό μοντέλο για διαχυτήρα πολλαπλών ανυψωτήρων που βασίζεται σε πειραματικές μελέτες εκροής από διαχυτήρες σε στρωματοποιημένα ρεύματα που περιγράφονται από τις μελέτες των Roberts, Synder, και στο Baumgartner (1989, a,b,c)

- **FRFIELD**

Το FRFIELD μοντέλο υπολογίζει την μακροπρόθεσμη κατανομή των ρυπαντικών ουσιών στο γειτονικό περιβάλλον εκβολής ποταμού. Δεν είναι όμως προς το παρόν λειτουργικό.

- **DOS PLUMES (DP)**

Το DOS PLUMES, που άλλοτε ονομάζονταν PLUMES, είναι ο άμεσος προκάτοχος του VP. Το πρόγραμμα μπορεί να τρέχει ανεξάρτητα από το VP.

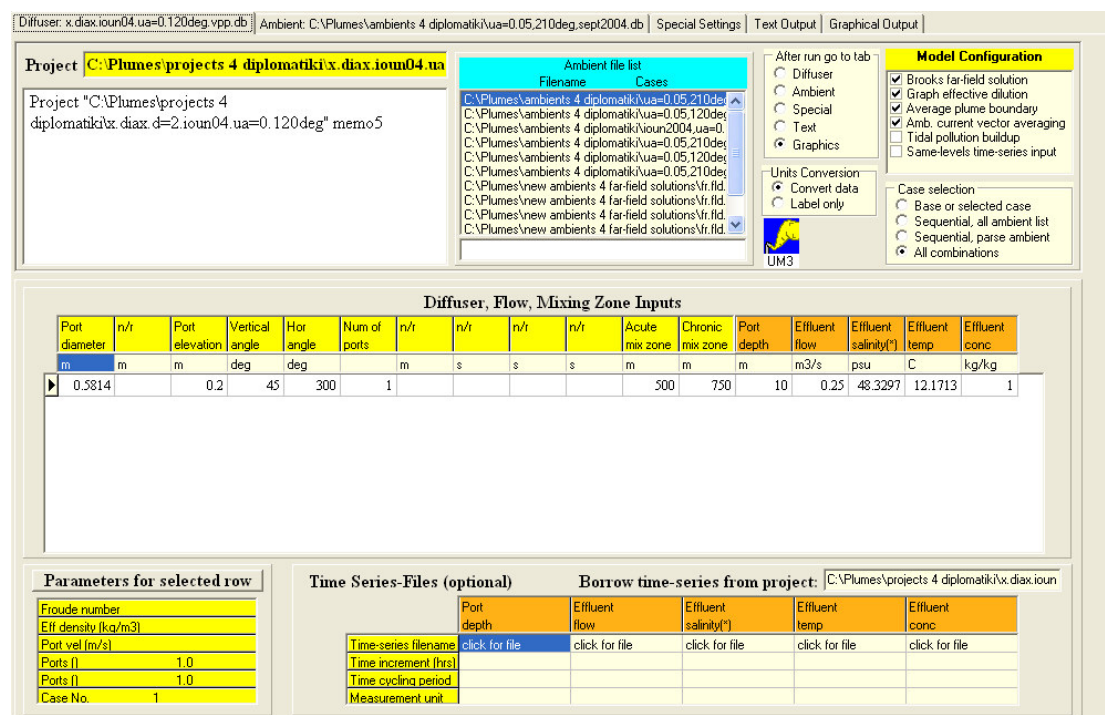
- **BROOKS αλγόριθμος σε μακρινό πεδίο**

Αυτό το μοντέλο είναι λειτουργικά διαφορετικό από τα προαναφερθέντα μοντέλα, υπό την έννοια ότι δεν υπάρχει στα μενού των μοντέλων. Αντιθέτως, καθορίζεται επιλέγοντας την εντολή *Brooks far-field dilution* στον ευρετήριο κατάλογο *Διαμόρφωση Προτύπων* στο *diffuser tab*. Σε γενικές γραμμές, ο αλγόριθμος είναι ένας απλός υπολογισμός διασποράς και είναι συνάρτηση του χρόνου και του αρχικού πλάτους του πεδίου απόθεσης των αποβλήτων.

2.2.4) Αναλυτική παρουσίαση των επιφανειών εργασίας

Εξέχοντα χαρακτηριστικά του VP αποτελούν τα διάφορα tabs, όπως αυτά έχουν αναφερθεί παραπάνω. Πρόκειται για τα tabs του *Διαχυτήρα*, του *Περιβάλλοντος χώρου*, των *Ειδικών Settings*, της *Απόδοσης Κειμένου*, και της *Απόδοσης Γραφικών*. Εξ ορισμού, όταν τίθεται σε εκκίνηση το VP, η επιφάνεια εργασίας καταλαμβάνεται από το tab του *Διαχυτήρα*. Τα υπόλοιπα τέσσερα tabs παρατίθενται σε παράλληλες επιφάνειες πίσω από αυτό. Τα κελιά των tabs συνήθως φορμάρονται με ξεχωριστό χρώμα. Το άσπρο φόντο σημαίνει πως το κελί μπορεί να τροποποιηθεί πληκτρολογώντας απευθείας, ή εισάγοντας σε αυτό δεδομένα και πληροφορίες.

2.2.4.i) Tab Διαχυτήρα



Εικόνα 19: Επιφάνεια εργασίας του Διαχυτήρα

Το tab *διαχυτήρα* (Εικόνα 19) προβάλλει το όνομα του τρέχοντος project στο κίτρινο κουτί πάνω από το Project memo box. Υπάρχουν πολλά ταμπλό στο tab του *Διαχυτήρα* που περιέχουν ποικίλα συστατικά στοιχεία. Από πάνω αριστερά έως και κάτω δεξιά αυτά περιλαμβάνουν:

1. *Project memo box*: αυτό το κίτρινο κουτί προβάλλει το όνομα του τρέχοντος project. Παρακάτω, υπάρχει ένα memo box που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσουμε ένα project με το όνομα και να γράψουμε συγκεκριμένες παρατηρήσεις σχετικά με το project. Πρόκειται για ένα παράθυρο επεξεργασίας περιορισμένων δυνατοτήτων, ανεξάρτητο από το υπολογιστικό μέρος του προγράμματος.

2. *Λίστα Αρχείου Περιβάλλοντος χώρου (Ambient File List)*: αυτό το κουτί λίστας προβάλλει το όνομα των αρχείων περιβάλλοντος χώρου (ambient files) που έχουν δημιουργηθεί προηγουμένως και έχουν επιλεγεί για χρήση.

3. *After run go to tab*: αυτό το πλαίσιο καθορίζει ένα προτιμώμενο tab το οποίο θα προβληθεί αφού έχει τρέξει ένα μοντέλο.

4. *Units Conversion*: περιστασιακά κάποιος χρήστης ίσως θέλει να αλλάξει την ονομασία των μονάδων χωρίς να μετατρέψει τις τιμές στην στήλη. Αυτή η επιλογή επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν τα pop-up menus μετατροπής μονάδων για να αλλάξουν μόνο την ονομασία της μονάδας.

5. *Διαμόρφωσης προτύπου (Model configuration)*: πρόκειται για έναν ευρετήριο κατάλογο για να αλλάζουμε ριζικά τον τρόπο με τον οποίο διαβάζεται το input (η εισαγωγή δεδομένων), στήνονται τα πρότυπα για να τρέξουν, παρουσιάζεται το output, και άλλες επιλογές. Για παράδειγμα, αν επιλέξουμε το μέσο σύνορο πλουμίου (*average plume boundary*), το VP σχηματίζει γραφικά ένα εσωτερικό σύνορο στο οποίο η διάλυση του πλουμίου ισοδυναμεί με την μέση διάλυση του στοιχειακού πλουμίου.

6. *Case selection*: αυτό το πλαίσιο επιτρέπει στον χρήστη να στήνει τον τρόπο λειτουργίας. Για παράδειγμα, ξεχωριστές ή πολλαπλές υποθέσεις εργασίας μπορούν να επιλεγούν για παράλληλη εκτέλεση.

7. *Πίνακας Διαχυτήρα, Ροής και Εισαγωγής Ζώνης Μίξης (Diffuser, Flow, Mixing Zone Inputs)* : πρόκειται για τον πίνακα εισαγωγής των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του διαχυτήρα και των συνθηκών της ροής. Τα κελιά παρέχονται για την εισαγωγή δεδομένων.

8. *Pop-up menus μετατροπής μονάδων*: αυτά τα pop-up menus επιτρέπουν σε κάποιον να αλλάξει τις μονάδες ή τις ετικέτες που σχετίζονται με το κελί. Ένα κλικ στην ονομασία της μονάδας αποκαλύπτει τα pop-up menus.

9. *Parameters for selected row*: όταν κάνουμε κλικ στο κουμπί με αυτό το όνομα, προβάλλονται περαιτέρω πληροφορίες για μια συγκεκριμένη επιλεγμένη υπόθεση, όπως τιμές για αριθμό Froude, πυκνότητα λυμάτων στην έξοδο και ταχύτητα εκροής. 10. *Αρχεία Χρονικής Περιόδου (Time series files)*: [προαιρετικός πίνακας] παρέχει πληροφορίες διασύνδεσης τιμών παρεχομένων από πιθανά time series files.

2.2.4.ii) Tab περιβάλλοντος χώρου

Diffuser: x.diax.ioun04.ua=0.120deg.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\ambients 4.diplomatik\ua=0.05.210deg.sept2004.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

Ambient Inputs

	Measurement depth or height	Current speed	Current direction	Ambient salinity	Ambient temperature	Background concentration	Pollutant decay rate(*)	Far-field current speed	Far-field current direct	Far-field diffusion coeff
Depth or Height	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth
Extrapolation (stc)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Extrapolation (btm)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Measurement unit	m	m/s	deg	psu	C	kg/kg	s-1	m/s	deg	m0.67/s2
	0	0.3	210	35.0764	24.3413	0	0	0.3	210	0.67
	0.5	0.3	210	35.0764	24.3413	0	0	0.3	210	0.67
	1	0.3	210	35.0764	24.3413	0	0	0.3	210	0.67
	1.5	0.3	210	35.2913	24.4245	0	0	0.3	210	0.67
	2	0.3	210	35.3412	24.4902	0	0	0.3	210	0.67
	2.5	0.3	210	35.4012	24.4952	0	0	0.3	210	0.67
	3	0.3	210	35.5736	24.4892	0	0	0.3	210	0.67
	3.5	0.3	210	35.588	24.4767	0	0	0.25	210	0.67
	4	0.3	210	35.6085	24.4522	0	0	0.25	210	0.67
	4.5	0.3	210	35.6216	24.4441	0	0	0.25	210	0.67
	5	0.3	210	35.6344	24.4379	0	0	0.25	210	0.67
	5.5	0.25	210	35.6617	24.4345	0	0	0.25	210	0.67
	6	0.25	210	35.7127	24.4681	0	0	0.25	210	0.67
	6.5	0.25	210	35.7505	24.5106	0	0	0.25	210	0.67

Ambient file list

Filename

ua=0.05.210deg.sept2004
ua=0.05.120deg.mai2005.
ioun2004.ua=0.05.210deg.
ua=0.05.210deg.sept2004
ua=0.05.120deg.sept2004
ua=0.05.210deg.feb2005.
fr.fld.feb006.210deg.db 1
fr.fld.ioun2004.210deg.db
fr.fld.feb006.210deg.coefC
fr.fld.sept2005.coef0.67.2
fr.fld.210deg.sept005.db 1

Time-Series Files (optional)

Borrow time-series files from project: C:\Plumes\projects 4.diplomatik\va.diax.ioun04.ua=0.120deg

Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment [hrs]									
Cycling period									
File measurement unit									

Εικόνα 20: Επιφάνεια εργασίας περιβάλλοντος χώρου

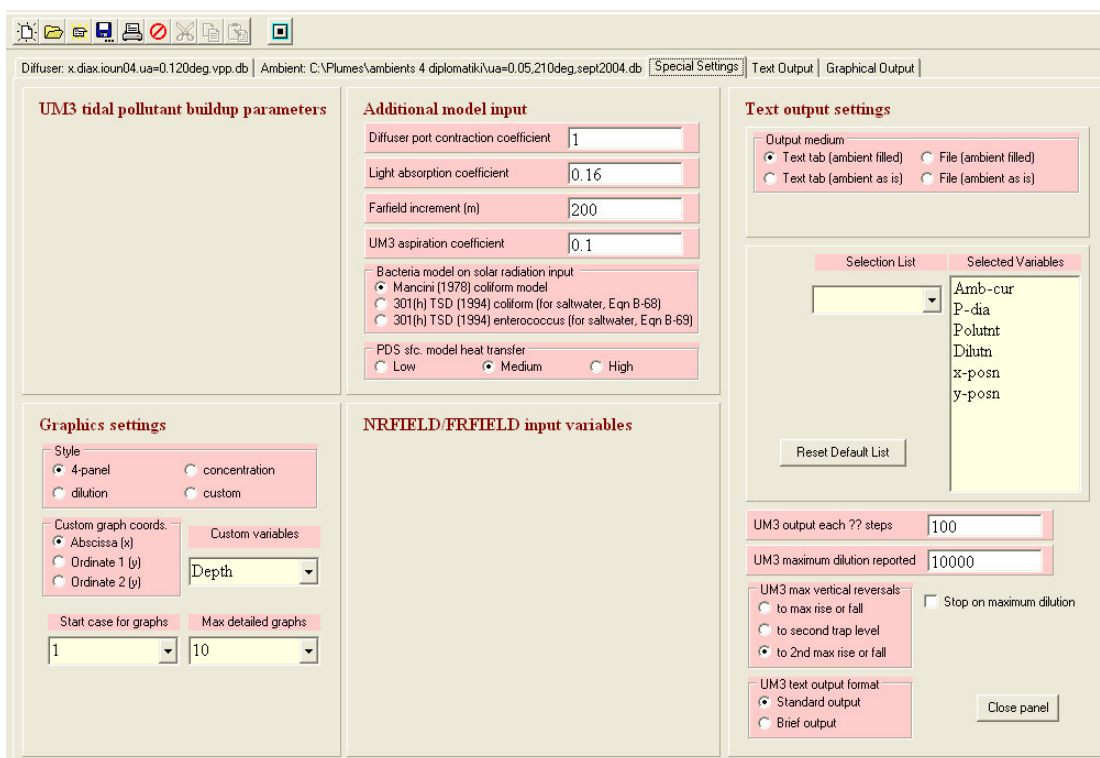
Ο πίνακας εισαγωγής του tab του *Περιβάλλοντος χώρου* (Εικόνα 20) είναι παρόμοιος με τον πίνακα εισαγωγής του tab του *Διαχυτήρα*. Τα συστατικά στοιχεία περιλαμβάνουν:

1. Τον πίνακα *Περιβάλλον χώρος-Εισαγωγή Δεδομένων (Ambient Inputs)* που περιλαμβάνει τον πίνακα εισαγωγής δεδομένων περιβάλλοντος χώρου, για διάφορα βάθη (ή ύψη). Πάνω από τον πίνακα δεδομένων υπάρχει ένας διευρυμένος πίνακας επιλογής (ή διάταξης επικεφαλίδων) για τον καθορισμό ρύθμισης βάθους ή ύψους, επιλογών παρεμβολής και μονάδων μέτρησης. Η πρώτη γραμμή δεν χρειάζεται να αντιστοιχεί στην επιφάνεια του νερού, ούτε και η τελευταία γραμμή πρέπει να ισοδυναμεί ή να επεκτείνεται κάτω από το βάθος της οπής εξόδου. Συστήνεται πάντως να καθοριστεί μια σειρά βάθους μηδέν. Επίσης, για να αναγκάσουμε το VP να υπολογίσει κατά προσέγγιση το κατώτερο βάθος, συστήνεται μια γραμμή καθορισμού του τελικού βάθους, ακόμα και αν δεν υπάρχουν άλλα δεδομένα σε αυτήν τη γραμμή. Γενικά δε, όταν δε συμπληρώνονται δεδομένα εισαγωγής στις στήλες, το VP υπολογίζει τις ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή των δύο ακρότατων τιμών.

2. Τη λίστα *Αρχεία περιβάλλοντος χώρου (ambient file list)* που προβάλλει τα υπάρχοντα ambient files που προστέθηκαν πρωτότερα.

3. Ο πίνακας *Αρχεία χρονικής περιόδου (Time Series Files)* για την σύνδεση αρχείων δεδομένων περιβάλλοντος χώρου σε χρονοσειρές με το VP, εξυπηρετώντας την ίδια λειτουργία όπως και το αντίστοιχο ταμπλό στο tab του *Διαχυτήρα*.

2.2.4.iii) Tab ειδικών ρυθμίσεων



Εικόνα 21: Επιφάνεια εργασίας ειδικών ρυθμίσεων

Το tab *ειδικών ρυθμίσεων (special settings)* (Εικόνα 21), ελέγχει το format απόδοσης κειμένου και γραφικών και άλλες λειτουργίες. Περιέχει πέντε πίνακες:

1. Τον *UM3* πίνακα παραμέτρων δημιουργίας παλιρροιακής ρυπαντικής ουσίας (*Tidal Pollution Build-Up Parameters*), ο οποίος εμφανίζεται μόνο αν επιλεγθεί η εντολή Tidal Pollution Build-Up στο diffuser tab. Τα κουτιά επεξεργασίας πρέπει να συμπληρωθούν για να ενεργοποιηθεί η πρόβλεψη δημιουργίας παλιρροιακής ρυπαντικής ουσίας. Με λίγα λόγια, στα ποτάμια παλιρροιακών κυμάτων, αυτή η ικανότητα καθιστά δυνατό να υπολογίσουμε την πυκνότητα μόλυνσης στο περιβάλλον ποικίλλοντας στο χρόνο που μπορεί να προκαλέσει την μείωση της αποτελεσματικής διάλυσης της εκροής. Αυτή η επιλογή περιορίζεται τώρα στο μοντέλο UM3.

2. Τον *Πίνακα επιπρόσθετης εισαγωγής μοντέλου (Additional Model Input)* ο οποίος παρέχεται για να καθορίσει ειδικότερες τιμές του

προβλήματος, π.χ την τιμή του συντελεστή μείωσης για τις οπές εκροής. Ο συντελεστής εκροής των αιχμηρών οπών (μια κυλινδρική τρύπα στο τοίχωμα του σωλήνα του διαχυτήρα) είναι περίπου 0.61. Για τις καλοσηματισμένες οπές, (που κυρτώνουν προς τα μέσα στην κατεύθυνση ροής) χρησιμοποιείται η τιμή 1.0.

Το κελί *Συντελεστής απορρόφησης φωτός (Light absorption coefficient)* παρέχεται για να καθορίσει το συντελεστή απορρόφησης φωτός για το πρότυπο βακτηρίων Mancini. Αυτός είναι ο συντελεστής *Ke* που βρίσκεται στο μοντέλο Mancini, 1978, που περιγράφει τη διαύγεια του νερού. Η εξ ορισμού τιμή είναι 0.16.

Η *Προσαύξηση σε μακρινό πεδίο (far-field increment)* ελέγχει τον αριθμό των γραμμών απόδοσης με τον αλγόριθμο Brooks σε μακρινό πεδίο. Μια μικρή τιμή παράγει περισσότερες γραμμές και γραφικά απ' ό,τι μια μεγάλη τιμή. Η καθορισμένη τιμή εξαρτάται από το μέγεθος της ζώνης μίξης, αλλά τυπικά μπορεί να κυμαίνεται από 100 έως και 1000m.

Ο *UM3 συντελεστής aspiration* καθορίζει το ρυθμό κατά τον οποίο το υγρό περιβάλλοντος χώρου παρασύρεται στο πλούμιο. Η εξ ορισμού τιμή 0.1 είναι μια μέση τιμή, που από ιστορική άποψη, αλλάζει σπάνια από χρήστες DOS PLUMES. Μια μεγάλη τιμή προκαλεί πιο ραγδαία επέκταση πλουμίου και επηρεάζει άλλα χαρακτηριστικά, όπως την ανύψωση πλουμίου.

Η επιλογή *PDS.sfc μεταφοράς θερμότητας* καθορίζει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας της επιφάνειας που χρησιμοποιείται όταν τρέχει το πρότυπο PDS εκροής της επιφάνειας. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι χαμηλός, μέσος, και υψηλός, σε αντιστοιχία με τις συνθήκες χαμηλού ανέμου και υψηλής υγρασίας, στις μέσες συνθήκες, και στις ανεμώδεις και υγρές συνθήκες αντίστοιχα.

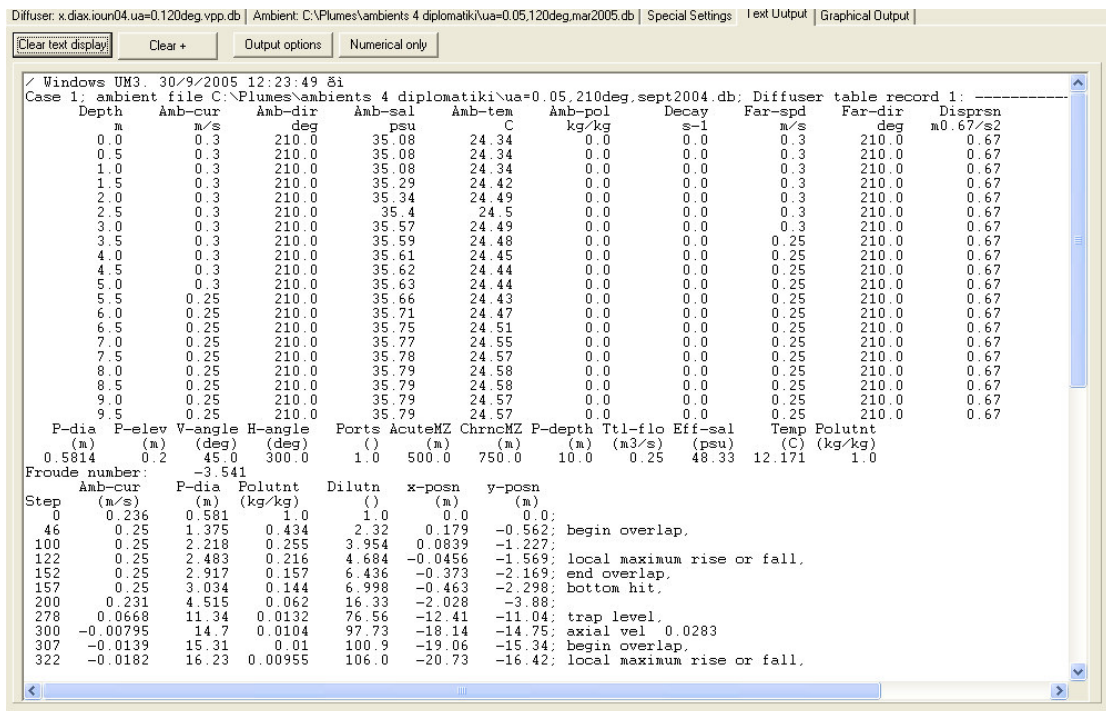
3. *Πίνακας ρυθμίσεων απόδοσης κειμένου*

4. *Πίνακας ρυθμίσεων γραφικών παραστάσεων.* Με αυτό τον πίνακα καθορίζεται η μορφή και η σειρά με την οποία θα εμφανίζονται τα τελικά διαγράμματα αποτελεσμάτων.

5. *NRFIELD/FRFIELD πίνακας εισαγωγής μεταβλητών*

Αυτός ο πίνακας δεν έχει ακόμα τελειώσει.

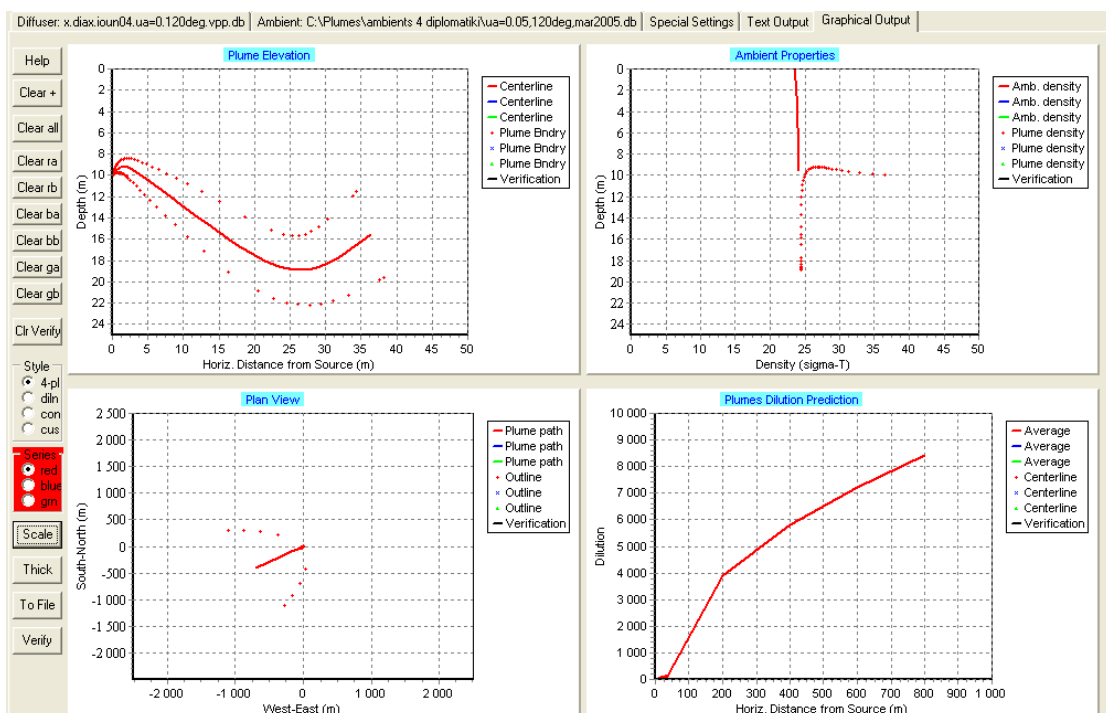
2.2.4.iv) Tab απόδοσης κειμένου



Εικόνα 22: Επιφάνεια εργασίας απόδοσης κειμένου

Αυτό το tab παρουσιάζει την απόδοση δεδομένων και αποτελεσμάτων σε μορφή κειμένου (Εικόνα 22).

2.2.4.v) Tab απόδοσης γραφικής παράστασης



Εικόνα 23: Επιφάνεια εργασίας γραφικών παραστάσεων

Αυτό το tab προβάλλει τα αποτελέσματα σε μορφή γραφικής παράστασης. Ένα δείγμα τύπου 4-ταμπλό της απόδοσης γραφικής παράστασης δίνεται στην Εικόνα 23. Οι συνηθέστερες επιλογές εμφάνισης των διαγραμμάτων είναι η μορφή 4-panel ή custom, οι οποίες προεπιλέγονται στο tab των ειδικών ρυθμίσεων όπως φαίνεται στην Εικόνα 21. Αναλυτικά οι παραπάνω τύποι παρουσιάζονται στο 4^ο Κεφάλαιο. Γενικά ο χρήστης μπορεί να επέμβει στην κλίμακα των διαγραμμάτων (scale), να επιλέξει χρώμα και πάχη γραμμών απεικόνισης συναρτήσεων για τις διάφορες περιπτώσεις που μπορούν να 'τρέχουν' ταυτόχρονα και να αποθηκεύσει τα διαγράμματα σε αρχεία bitmap (.bmp).

3^ο Κεφάλαιο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΓΟΥ

- 3.1 Παρουσίαση κατασκευαστικών δεδομένων αγωγού και μελέτης έργου
- 3.2 Φυσικά χαρακτηριστικά θαλάσσιου περιβάλλοντος
- 3.3 Προτεινόμενοι μήνες για μελέτη-έλεγχο στο λογισμικό Visual Plumes
- 3.4 Σχέση αλατότητας - θερμοκρασίας - πυκνότητας
- 3.5 Στοιχεία ρευμάτων θαλάσσιου περιβάλλοντος
- 3.6 Λογική 'δοκιμών' τοποθέτησης αγωγού
- 3.7 Προτάσεις-λύσεις τοποθέτησης αγωγού

3.1) ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΡΓΟΥ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και συμπεριφοράς (διασπορά, ανάμιξη) θερμικού πλουμίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η δημιουργία του πλουμίου είναι αποτέλεσμα της εκροής μάζας θερμού νερού το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί ως μέσο ψύξης σε εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο της οποίας η κατασκευή βρίσκεται στο στάδιο προμελέτης.

Πρόκειται συγκεκριμένα για την εγκατάσταση φυσικού αερίου που προβλέπεται να κατασκευαστεί στην περιοχή 'Χασάπικα' Θεσσαλονίκης. Ο αγωγός εκροής, που θα χρησιμοποιηθεί για την αποβολή των θερμών υδάτων στον Θερμαϊκό Κόλπο, βρίσκεται στην ίδια θέση με αυτόν της παλιότερης εγκατάστασης επεξεργασίας πετρελαίου ESSO PAPAS (μετέπειτα ΕΛ.ΠΕ.) και έχει προσανατολισμό 150° Νοτιοανατολικά, όπως φαίνεται και στο συνημμένο χάρτη (Παράρτημα Α) του Όρμου και Λιμένα Θεσσαλονίκης [Ελληνική Υδρογραφική Υπηρεσία - Νοέμβριος 1986 (Κλίμακα 1 : 20.000)].

3.1.1) Στοιχεία και θέση αγωγού

- Μήκη αγωγού για τις διάφορες περιπτώσεις βαθών εκροής και χαρακτηριστικές αποστάσεις σημείου εκροής θερμών υδάτων από την ακτή, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

ΒΑΘΗ ΕΚΡΟΗΣ	ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΕΚΡΟΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΠΟ ΑΚΤΗ	
		Για παράλληλο- αντίθετο ρεύμα	Για κάθετο (προς ΒΔ) ρεύμα
D σε (m)	L σε (m)	L ₁ σε (m)	L ₂ σε (m)
2	200	200	1140
5	340	340	1360
10	560	560	1520

Πίνακας 1

- Κλίση αγωγού $i = 1.8 \%$ (10 m / 560 m)
- Η θέση του σταθμού ωκεανογραφικών μετρήσεων και λήψης υδρογραφικών δεδομένων TP01 (πλησιέστερος σταθμός στο λιμάνι) φαίνεται στο συνημμένο χάρτη
- Σε κάθε περίπτωση το νερό που θα χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο αντλείται από βάθος 10 m επιστρέφεται στο θαλάσσιο

αποδέκτη με αυξημένες τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας. Για τις συγκεκριμένες επιλογές, οι διαφορές τιμών αλατότητας – θερμοκρασίας του θερμικού πλουμίου σε σχέση με το θαλάσσιο περιβάλλον, όπως προκύπτουν από την προμελέτη της κατασκευάστριας εταιρείας, είναι $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ ($T_{\text{πλουμίου}} = T_{\text{θάλασσας}} + 5^{\circ}\text{C}$) και $\Delta S=30\%$ $S_{\text{θάλασσας}}$ ($S_{\text{πλουμίου}} = 1,30 \cdot S_{\text{θάλασσας}}$), όπου ΔT η διαφορά θερμοκρασίας και ΔS η διαφορά αλατότητας του αποβαλλόμενου νερού από αυτές του υδατοσυλλέκτη. Οι χαρακτηριστικές τιμές για τους επιλεγόμενους μήνες παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2:

Μεγέθη	Ιούνιος 2004	Σεπτέμβριος 2004	Φεβρουάριος 2005
Αλατότητα (psu)	46,4273	46,5518	48,3297
Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	27,1298	29,5523	12,1713

Πίνακας 2

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις διαμόρφωσης αγωγού θερμικής εκροής: Στην πρώτη το νερό αποβάλλεται από ανυψωμένο ελεύθερο άκρο και στη δεύτερη ο αγωγός καταλήγει σε διαχυτήρα.

3.1.2) Στοιχεία και διαστάσεις αγωγού με ελεύθερο άκρο (χωρίς διαχυτήρα)



Εικόνα 24: Πόντιση αγωγού διάθεσης υγρών αποβλήτων στη θάλασσα

Η κατασκευάστρια εταιρεία έχει προβλέψει τα εξής στοιχεία:
 Ο HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο) αγωγός κυλινδρικής διατομής έχει εσωτερική διάμετρο $D=581,4$ mm, ονομαστική διάμετρο $\text{Ø}630$ PN 4atm και βάρος 46,3 kg/m. Η παροχή εκροής του αγωγού είναι $Q = 0,5$ m³/sec και η ταχύτητα εξόδου $V = 1,883$ m/sec ($V = \frac{Q}{\pi D^2 / 4}$). Ο αγωγός στο άκρο του ανυψώνεται από τον πυθμένα κατά 0,2 m με γωνία ανύψωσης $\varphi = 45^\circ$. Τα προβλεπόμενα βάθη εκροής του αγωγού είναι $d_1 = 2$ m, $d_2 = 5$ m και $d_3 = 10$ m. Τέλος θεωρείται ότι ο αγωγός έχει ενιαία κλίση σε όλο το μήκος του $i = 1.8$ %.

3.1.3) Στοιχεία και διαστάσεις αγωγού με διαχυτήρα



Εικόνα 25: Εκροή λυμάτων από διαχυτήρα πολλαπλών ανυψωτήρων

Ο διαχυτήρας διαστασιολογείται με βάση τις «αρχές ορθής λειτουργίας διαχυτήρα» :

1. Απλότητα λειτουργίας
2. Συνεχής κλίση του αγωγού προς τη θάλασσα
3. Αγωγός σε όλο το μήκος του κάτω από την ελάχιστη στάθμη της θάλασσας
4. Εξασφάλιση ελάχιστης ταχύτητας ροής στον αγωγό, για αποφυγή επικαθίσεων
5. Εξασφάλιση από την εισαγωγή θαλάσσιου νερού στον αγωγό (αριθμός Froude $F \geq 1$)
6. Συνεχής λειτουργία αγωγού

7. Διάμετρος ανυψωτήρων τουλάχιστον 100 mm για την αποφυγή εμφράξεων και δυνατότητα καθαρισμού. Η παροχές των ανυψωτήρων να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφες

8. Προσεκτικός σχεδιασμός φρεατίου φόρτισης

Όλες οι οπές εκροής των ανυψωτήρων έχουν την ίδια εσωτερική διάμετρο $d = 129,2$ mm (ονομαστική διάμετρο $\text{Ø}140$ PN 4atm) και απέχουν μεταξύ τους απόσταση $H/4$, όπου H το βάθος εκροής.

Η συνολική επιφάνεια των οπών εκροής των ανυψωτήρων πρέπει να είναι μικρότερη από την επιφάνεια της διατομής του διαχυτήρα στο εκάστοτε κομμάτι του και η εκροή από τις οπές να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφη. Τα παραπάνω εξασφαλίζονται με την ικανοποίηση της ακόλουθης σχέσης:

$$0,5 \leq \frac{\sum d^2}{D_n^2} \leq 0,7$$

Για $D = 581,4$ mm , $d = 129,2$ mm και N αριθμό ανυψωτήρων προκύπτει $11 \leq N \leq 15$, οπότε $N = 13$ ανυψωτήρες. Τα κομμάτια του διαχυτήρα υπολογίζονται με τη μέθοδο που φαίνεται στον Πίνακα 3.

Εσωτερική Διάμετρος D (mm)	Εσωτερική Διάμετρος d (mm)	$0,5 \cdot D^2/d^2$	$\leq N \leq$	$0,7 \cdot D^2/d^2$
581,4	129,2	10,125	$\leq N \leq$	14,175
516,8	129,2	8	$\leq N \leq$	11,2
461,4	129,2	6,37676126	$\leq N \leq$	8,927465757
415,2	129,2	5,16368411	$\leq N \leq$	7,229157761
369,2	129,2	4,08289641	$\leq N \leq$	5,71605498

327,6	129,2	3,2146431	$\leq N \leq$	4,50050034
290,6	129,2	2,52950881	$\leq N \leq$	3,541312339
258,4	129,2	2	$\leq N \leq$	2,8
230,6	129,2	1,59280857	$\leq N \leq$	2,229931994
207,6	129,2	1,29092103	$\leq N \leq$	1,80728944
184,6	129,2	1,0207241	$\leq N \leq$	1,429013745

Πίνακας 3

Τελικά, μετά από στρογγυλοποίηση των αποτελεσμάτων, προτείνονται 7 τμήματα διαχυτήρα με τις διαμέτρους και τον αντίστοιχο αριθμό ανυψωτήρων που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα, Πίνακας 4:

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ d=129,2 mm		
ΤΜΗΜΑ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D (mm)	ΑΝΥΨΩΤΗΡΕΣ
1	581,4	11-13
2	516,8	8-10
3	415,2	6-7
4	369,2	4-5
5	290,6	3
6	230,6	2
7	184,6	1

Πίνακας 4

Συνεπώς, για $N = 13$ ανυψωτήρες οι αποστάσεις μεταξύ των ανυψωτήρων, ανάλογα με το βάθος εκροής του θερμού νερού, φαίνονται στον Πίνακα 5:

ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ H (m)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΝΥΨΩΤΗΡΩΝ $\Delta l=H/4$ (m)	ΜΗΚΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ L_D (m)
2	0,5	6,5
5	1,25	16,25
10	2,5	32,5

Πίνακας 5

Οι θυρίδες εκροής σχεδιάζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζουν τη συνεχή εκροή των λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον και βρίσκονται σε σωλήνες (ανυψωτήρες) που έχουν ύψος 0,20 m για βάθος εκροής $d=2m$, 0,50 m για $d=5m$ και 1 m για $d=10m$ αντίστοιχα.

3.2) ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τα ωκεανογραφικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για τη διαμόρφωση των παραμέτρων μορφοποίησης και συμπεριφοράς του θαλάσσιου αποδέκτη (ταχύτητες και κατεύθυνση ρευμάτων, στρωμάτωση υδατοσυλλέκτη κ.τ.λ.) έχουν ληφθεί από το σταθμό υδρογραφικών μετρήσεων ΤΡΦ1 (σημειώνεται στο Παράρτημα Α) για τους ακόλουθους μήνες: Ιούνιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος του έτους 2004 και Φεβρουάριος, Μάρτιος του έτους 2005.

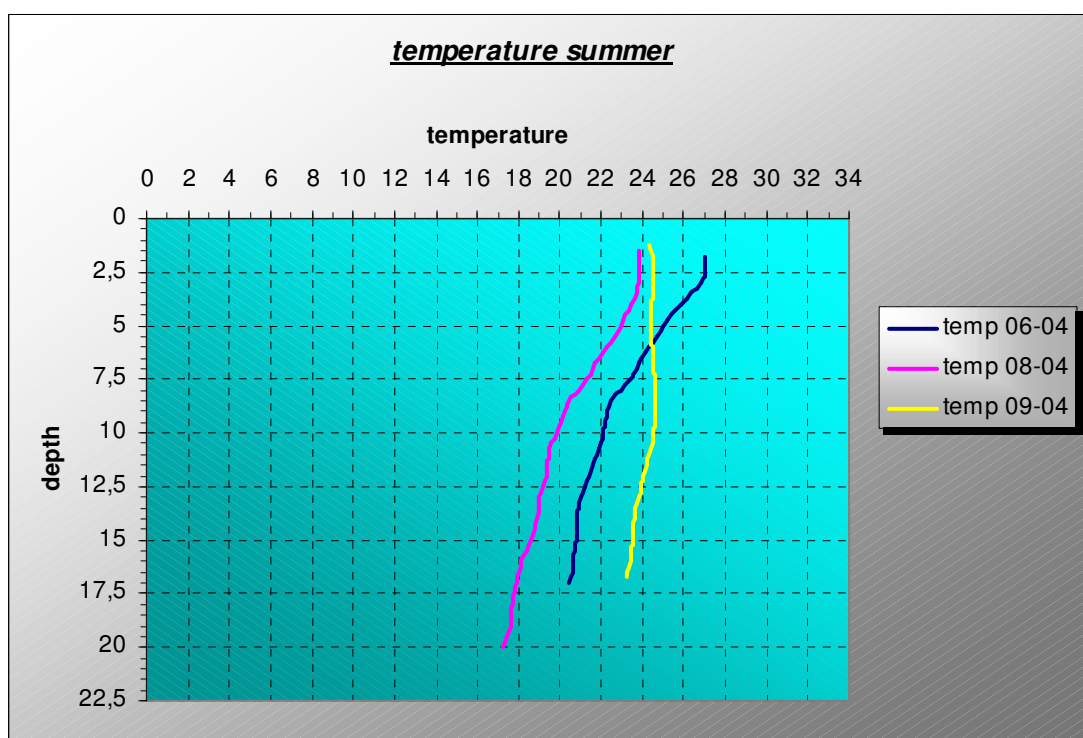
Τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν για την κατάστροψη του προβλήματος στο λογισμικό Visual Plumes είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα και η πυκνότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος για τα διάφορα βάθη. Παρουσιάζονται, όπως αυτά έχουν καταγραφεί τις συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, στους πίνακες που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Β.

Το πρόβλημα θα μελετηθεί χωρίζοντας τους μήνες σε τρεις περιόδους (εποχές) με βάση τις τιμές των θερμοκρασιών, την καλοκαιρινή (Ιούνιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος), την φθινοπωρινή (Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος) και την χειμερινή περίοδο (Φεβρουάριος, Μάρτιος). Αυτό που μας ενδιαφέρει στην παρούσα φάση μελέτης είναι η επιλογή

συγκεκριμένων τιμών για τη μορφοποίηση του μοντέλου περιβάλλοντος χώρου στο λογισμικό Visual Plumes.

Αυτό θα επιτευχθεί με σύγκριση των κατανομών αλατότητας – θερμοκρασίας – πυκνότητας ανά μήνα και εποχή και επιλογή των πιο ενδιαφερουσών όσο αφορά τις ακραίες τιμές και τη διακύμανση που παρουσιάζουν αυτές με το βάθος. Τα παραπάνω δεδομένα των συγκεντρωτικών πινάκων εισαχθήκανε στο πρόγραμμα MS Excel for Windows και προέκυψαν τα κάτωθι διαγράμματα χωρισμένα ανά εποχή: Καλοκαίρι [Διαγράμματα 1-3], Φθινόπωρο [Διαγράμματα 4-6], Χειμώνας [Διαγράμματα 7-9].

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 2004



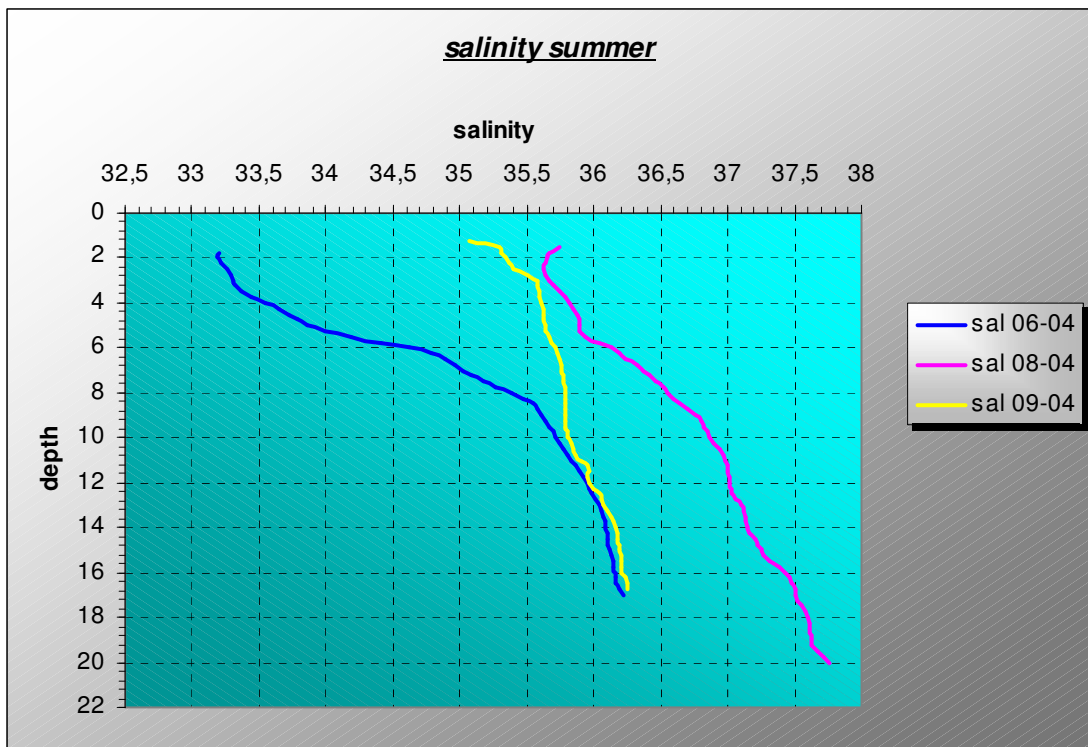
Διάγραμμα 1

όπου, temp 06-04: θερμοκρασία Ιουνίου 2004

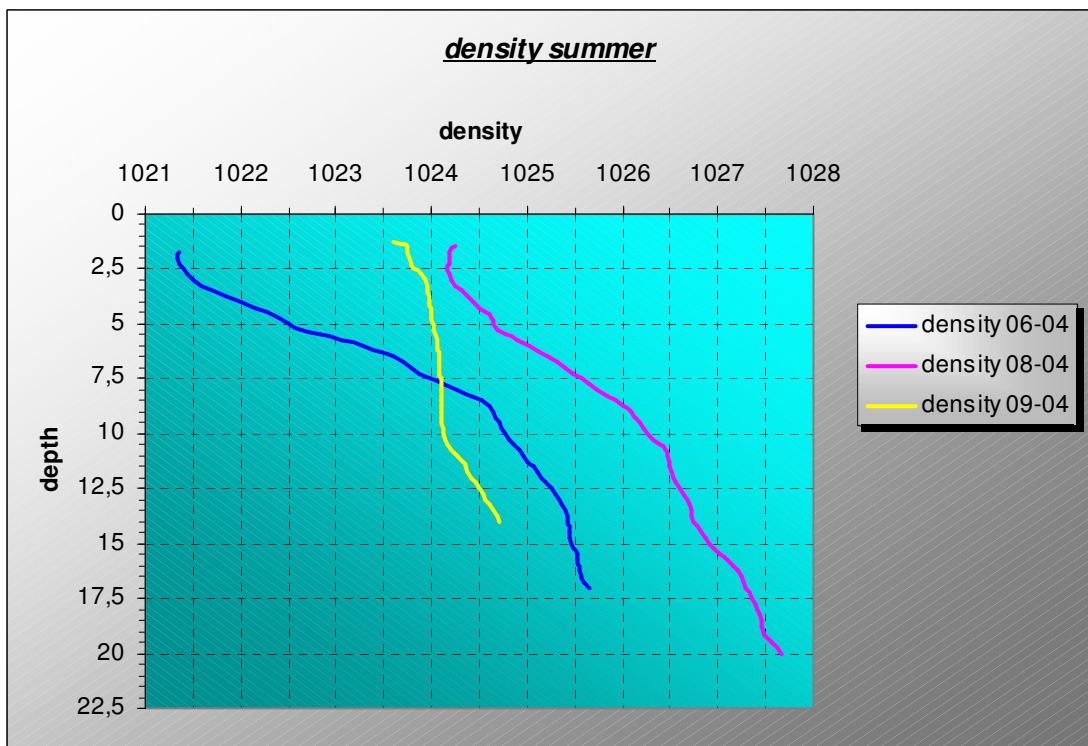
temp 08-04: θερμοκρασία Αυγούστου 2004

temp 09-04: θερμοκρασία Σεπτεμβρίου 2004

κ.ο.κ. παρακάτω στα αντίστοιχα διαγράμματα θερμοκρασίας, αλατότητας (salinity) και πυκνότητας (density) για κάθε μήνα και εποχή.

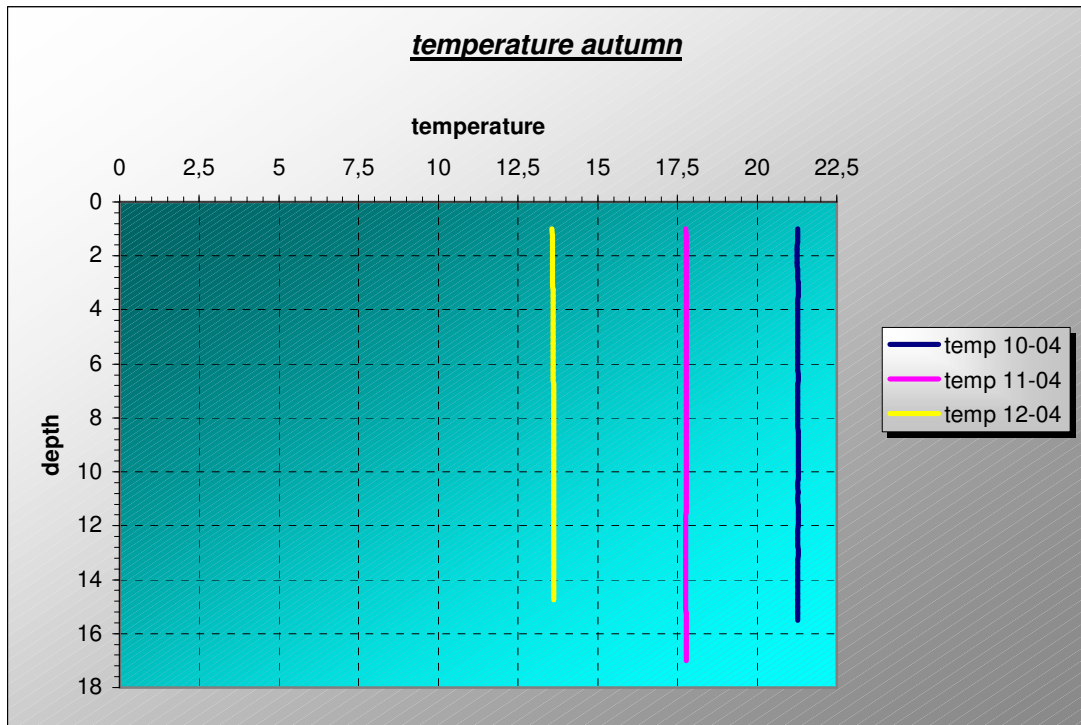


Διάγραμμα 2

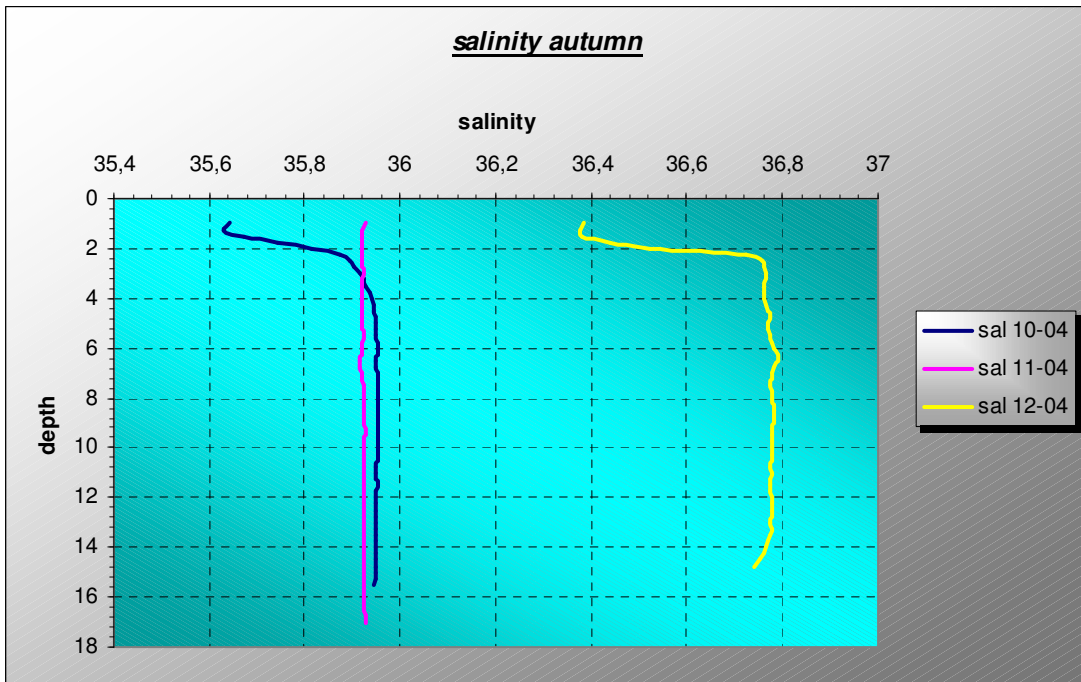


Διάγραμμα 3

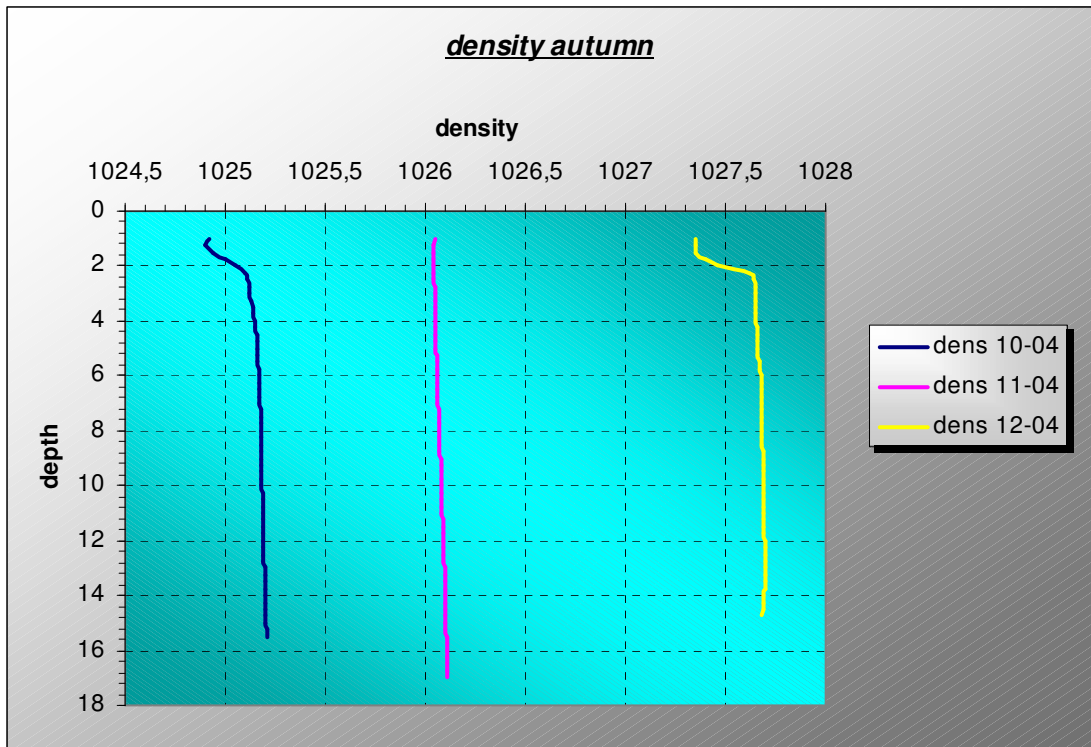
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 2004



Διάγραμμα 4

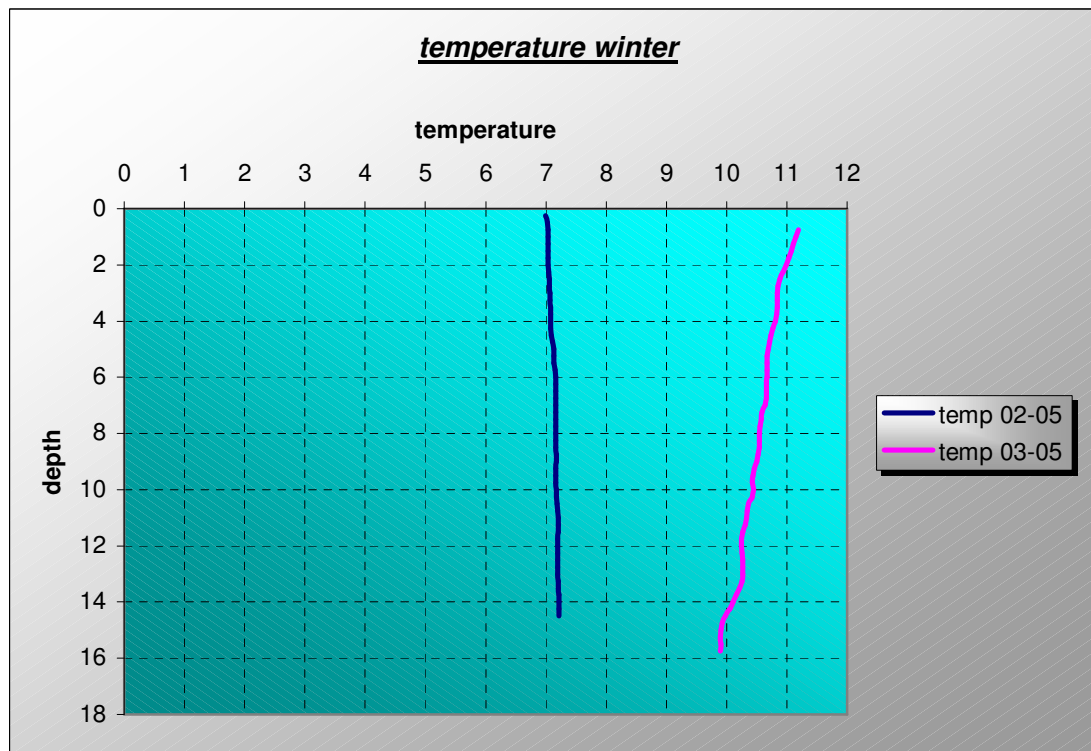


Διάγραμμα 5

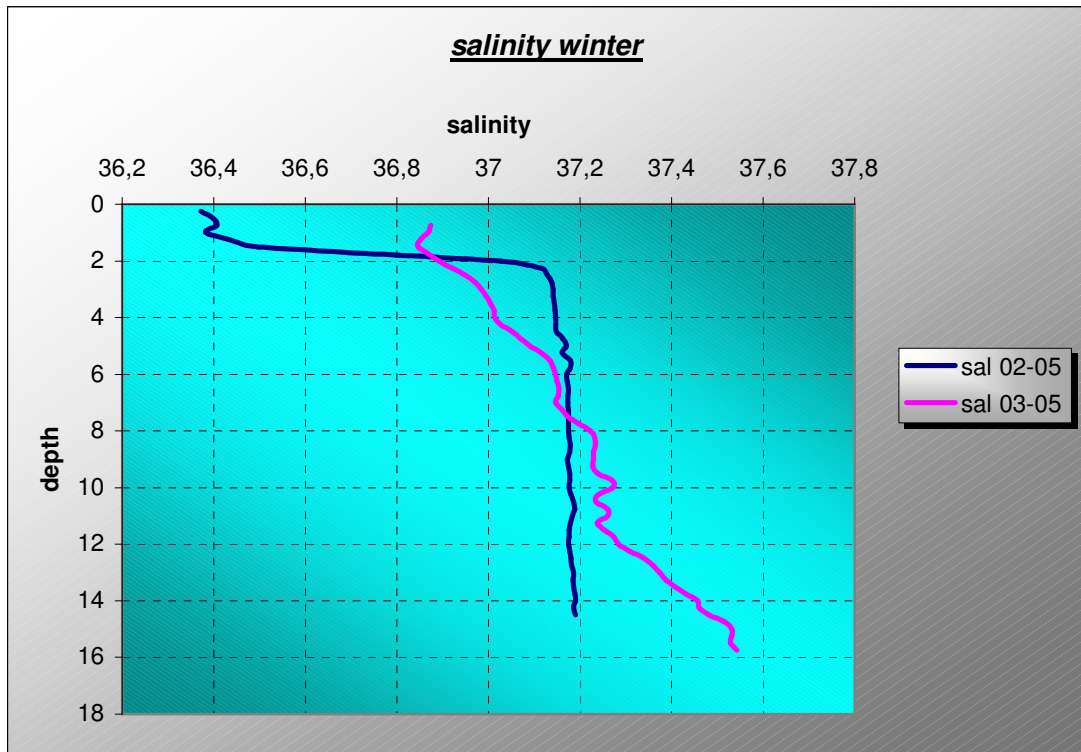


Διάγραμμα 6

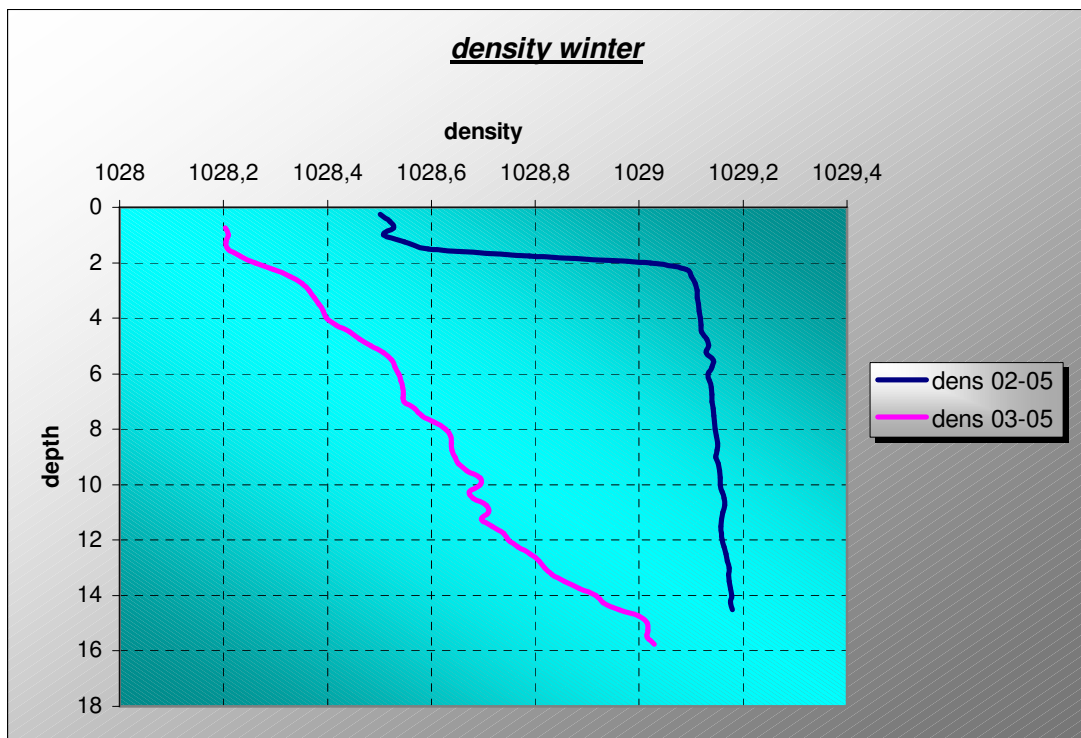
ΧΕΙΜΩΝΑΣ 2005



Διάγραμμα 7



Διάγραμμα 8



Διάγραμμα 9

3.3) ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΙ ΜΗΝΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ-ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ VISUAL-PLUMES

(στη φάση της κατάστρωσης των ambient files)

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα 1-9 και εξετάζοντας τους μήνες με τις πιο ακραίες ελάχιστες και μέγιστες τιμές θερμοκρασίας ακολουθήσαμε την εξής λογική επιλογής μηνών για την κατάστρωση των ambient files:

ΙΟΥΝΙΟΣ: Παρουσιάζει κατανομή τιμών αλατότητας, θερμοκρασίας με σημαντική διακύμανση συναρτήσει του βάθους αλλά και τη μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας επιφάνειας θαλάσσιου νερού(βάθος 0m) 27,033°C.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ: Δεν παρουσιάζει κατανομή τιμών αλατότητας, θερμοκρασίας με σημαντική διακύμανση συναρτήσει του βάθους, όμως παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας επιστρεφόμενου νερού(29,552°C) στο θαλάσσιο περιβάλλον με σημαντικές επομένως επιπτώσεις σε αυτό.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ: Δεν παρουσιάζει κατανομή τιμών αλατότητας, θερμοκρασίας με σημαντική διακύμανση συναρτήσει του βάθους, όμως παρουσιάζει τις μικρότερες θερμοκρασίες(πιο κρύος μήνας με min temperature:6,999°C), συνεπώς επιβάλλεται η μελέτη της διασποράς του θερμικού πλουμίου.

3.4)ΣΧΕΣΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ - ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ **(με χρήση ρουτίνας υπολογισμού πυκνότητας στο MATLAB για δεδομένες τιμές αλατότητας-θερμοκρασίας)**

Η πυκνότητα ενός θερμικού πλουμίου αποβαλλόμενου νερού σε θαλάσσιο περιβάλλον επηρεάζεται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία.

Όπως έχει προαναφερθεί η πυκνότητα του πλουμίου μεγαλώνει όταν παρατηρείται αύξηση της αλατότητας και μείωση της θερμοκρασίας και αντίστοιχα μειώνεται όταν παρατηρείται μείωση της αλατότητας και αύξηση της θερμοκρασίας. Προφανώς όταν η τιμή της πυκνότητας του πλουμίου ξεπερνάει αυτήν του αποδέκτη προβλέπεται καταβύθιση του αποβαλλόμενου ύδατος προς τον πυθμένα μέχρι την εξισορρόπηση των πυκνοτήτων. Αντίστοιχα για μικρότερη τιμή πυκνότητας πλουμίου προβλέπεται ανάδυση αυτού προς την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι την αντίστοιχη εξισορρόπηση πυκνοτήτων.

Στην περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία το αποβαλλόμενο νερό στο σημείο εκροής έχει μεγαλύτερες τιμές

θερμοκρασίας και αλατότητας από αυτές του θαλάσσιου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η άμεση πρόβλεψη της συμπεριφοράς του πλουμίου αναφορικά με τη διαφορά πυκνότητάς του και αυτής του υδάτινου αποδέκτη. Η δυσκολία υπολογισμού της πυκνότητας έγκειται ακριβώς στο γεγονός της αδυναμίας άμεσου υπολογισμού της, οπότε απαιτείται χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

Παρακάτω γίνεται αναλυτική χρήση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων του μοντέλου υδραυλικής επίλυσης Visual Plumes for Windows το οποίο υπολογίζει και συγκρίνει τιμές πυκνοτήτων πλουμίου και περιβάλλοντος στα διάφορα βάθη καθώς και προβλέπει την πλήρη συμπεριφορά του πλουμίου στο θαλάσσιο αποδέκτη. Ενδεικτικά όμως στα πλαίσια περιγραφής της σχέσης αλατότητας – θερμοκρασίας – πυκνότητας παρουσιάζεται ο Πίνακας 6, ο οποίος περιέχει αποτελέσματα όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά του αποβαλλόμενου θερμού ύδατος για δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις επιλύσεων (αγωγός με ή χωρίς ανάμιξη).

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΑΓΩΓΟΥ			
Μεγέθη	Ιούνιος 2004	Σεπτέμβριος 2004	Φεβρουάριος 2005
Περίπτωση χωρίς ανάμιξη με παροχή αγωγού Q=0.5 m³/s			
Αλατότητα (psu)	46,4273	46,5518	48,3297
Θερμοκρασία (°C)	27,1298	29,5523	12,1713
Πυκνότητα (kg/m ³)	1031,4	1030,6	1037
Περίπτωση με ανάμιξη με παροχή αγωγού Q=1 m³/s			
Αλατότητα (psu)	41,0703	41,1805	42,7532
Θερμοκρασία (°C)	24,6298	27,0523	9,6713
Πυκνότητα (kg/m ³)	1028,1	1027,4	1033,1

Πίνακας 6

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 6 προέκυψαν με τη χρήση του πακέτου ρουτινών SEAWATER για το λογισμικό Matlab v.5.2 το οποίο χρησιμοποιεί για τους υπολογισμούς την καταστατική εξίσωση IES80 της UNESCO (1980) με τη μορφή:

$$\rho = \rho_o (1 - \alpha T + \beta S)$$

όπου ρ = τελική πυκνότητα, ρ_o = αρχική πυκνότητα, αT = συνάρτηση θερμοκρασίας και βS = συνάρτηση αλατότητας.

Για δεδομένες τιμές θερμοκρασίας, αλατότητας και βάθους η ρουτίνα sw_dens.m μας δίνει την ζητούμενη τιμή πυκνότητας στο σημείο εκροής του αγωγού διάθεσης θερμικών λυμάτων.

Η σύγκριση των τιμών πυκνότητας, που προέκυψαν και φαίνονται στον Πίνακα 6, με τις αντίστοιχες κατανεμημένες τιμές του θαλάσσιου περιβάλλοντος, που φαίνονται στα Διαγράμματα 1-9 και στο Παράρτημα, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το θερμικό πλούμιο θα ακολουθήσει πορεία βύθισης προς τον πυθμένα της θάλασσας, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει περιβαλλοντική απειλή αν και εφόσον δεν επιτευχθεί ικανοποιητική ανάμιξη του πλουμίου με τη μάζα του θαλάσσιου αποδέκτη και αντίστοιχη εξισορρόπηση των τιμών των θερμοκρασιών τους. Η ακριβής πορεία μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον συναρτήσεται και της στρωμάτωσής του (ταχύτητες και κατεύθυνση ρεύματος, κατανομή πυκνότητας) περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο όπου παρουσιάζονται οι επιλύσεις του προβλήματος με τη χρήση του προγράμματος Visual Plumes.

3.5) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Όσο αφορά την στρωμάτωση των ταχυτήτων των παρατηρούμενων ρευμάτων στην περιοχή γίνονται κάποιες παραδοχές:

i) Για βάθη μικρότερα των 20m, γενικότερα στις ελληνικές θάλασσες άρα και στην εξεταζόμενη περιοχή, θεωρείται ότι τα νερά είναι το χειμώνα πλήρως αναμιγμένα και το καλοκαίρι γραμμικά στρωματωμένα

ii) Οι τιμές των ταχυτήτων που θα εξεταστούν δεν μπορούν να ξεπεράσουν την τιμή $u_a=0.3$ m/sec και θα είναι $u_a=0$ m/sec (calm/ηρεμία: ακίνητος αποδέκτης), 0.05 m/sec, 0.10 m/sec, 0.15 m/sec, 0.20 m/sec, 0.25 m/sec και 0.30 m/sec

iii) Οι φορές του ρεύματος που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι αυτές που μπορούν να παρασύρουν το πλούμιο προς την ακτή και ειδικότερα τη βόρεια και βορειοδυτική ακτή του Θερμαϊκού Κόλπου που απειλούνται άμεσα καθώς βρίσκονται εγγύτερα στο σημείο εκροής του αγωγού. Συνεπώς οι εξεταζόμενες διευθύνσεις ρεύματος είναι η κάθετη στη διεύθυνση του αγωγού (240° ΝΔ ή 60° ΒΑ) και η παράλληλη και αντίθετη προς αυτόν (330° ΒΔ) όπως φαίνεται και στο χάρτη.

3.6) ΛΟΓΙΚΗ ‘ΔΟΚΙΜΩΝ’ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ

Η κυρίαρχη απαίτηση και κύριο μέλημα για την τοποθέτηση του αγωγού είναι η επίτευξη ικανοποιητικής ανάμιξης του θερμικού πλουμίου με το θαλάσσιο περιβάλλον με αντίστοιχη εξισορρόπηση των θερμοκρασιών τους. Προτιμάται δηλαδή η εμφάνιση ανωστικού πλουμίου καθώς με την ανάδυσή του στην επιφάνεια του αποδέκτη από τη μία εξασφαλίζεται αρκετά καλή ανάμιξη με τη θαλάσσια υδάτινη μάζα και από την άλλη αποφεύγονται οι επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς οι οποίοι ζουν και αναπτύσσονται ως επί το πλείστον στον πυθμένα. Αν όμως τα ρεύματα συντελέσουν στην εμφάνιση εγκλωβισμένου πλουμίου κάτω από το πυκνοκλινές ή το πλούμιο βυθιστεί προς τον πυθμένα λόγω βάρους (μεγάλη πυκνότητα), τότε απαιτείται η τιμή της θερμοκρασίας του να μην υπερβαίνει την αντίστοιχη του αποδέκτη σε εκείνο το βάθος πάνω από 1 έως 1,5°C.

Επίσης επιβάλλεται η αποφυγή κατεύθυνσης του αποβαλλόμενου θερμού νερού προς τις κοντινές ακτές (δυτικά και βόρεια του σημείου εκροής του αγωγού) ή η επίτευξη ικανοποιητικής διασποράς και ανάμιξης αυτού πριν την προσέγγισή του στις περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές.

Συνολικά προκύπτει το συμπέρασμα ότι η εκροή των θερμών αποβλήτων πρέπει να συγκεντρώνει τέτοια χαρακτηριστικά (βάθος, ταχύτητα, παροχή, γωνία ανύψωσης άκρου αγωγού κ.τ.λ.) ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατό μεγαλύτερη και γρηγορότερη ανάμιξη του θερμικού πλουμίου με το θαλάσσιο αποδέκτη με αντίστοιχη σύγκλιση των θερμοκρασιών και αλατότητας τους και αποφυγή της παγίδευσης υψηλής θερμοκρασίας μαζών σε κάποιο βάθος ή τον πυθμένα του θαλάσσιου αποδέκτη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαμορφώνονται τα εξής κριτήρια αναφορικά με τις δοκιμές τοποθέτησης του αγωγού:

1₀ ΚΡΙΤΗΡΙΟ: Ικανοποιητική διασπορά (‘διάλυση’) του θερμικού πλουμίου στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Ελέγχουμε κατά πόσο το θερμικό πλούμιο:

- i) φτάνει μέχρι την ακτή και ειδικότερα την βορειοδυτική και βόρεια περιοχή αυτής (εξαιτίας των αντίστοιχων ρευμάτων), δηλ. την επιφάνεια επιρροής του
- ii) φτάνει στην επιφάνεια της θάλασσας, εγκλωβίζεται σε κάποιο βάθος ή τον πυθμένα

Γενικά όμως απαιτείται η θερμοκρασία του θερμικού πλουμίου να μη ξεπερνά αυτή του θαλάσσιου περιβάλλοντος κατά ένα με ενάμιση βαθμό Κελσίου ($1 - 1,5^{\circ}\text{C}$).

Δηλαδή όταν $T_{\pi} - T_{\theta} < 1$ έως $1,5^{\circ}\text{C}$ ικανοποιείται η απαίτηση της επαρκούς ανάμιξης και διασποράς της μάζας του θερμικού πλουμίου με αυτή του υδατοσυλλέκτη.

2₀ ΚΡΙΤΗΡΙΟ: Οικονομικότητα έργου (τοποθέτηση αγωγού με βάθος εκροής $d=2$ ή 5 ή 10m).

Ξεκινάμε τις δοκιμές από τα μικρότερα προς τα μεγαλύτερα βάθη. Αν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις επαρκούς διασποράς του θερμικού πλουμίου και άρα δεν παρατηρούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον επιλέγεται σαν βάθος εκροής το βάθος που εξετάζεται.

3.7) ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΛΥΣΕΙΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ

(Με σκοπό την αποφυγή εμφάνισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων)

Αρχικά θα εξεταστεί η συμπεριφορά του θερμικού πλουμίου για τα κατασκευαστικά δεδομένα της προμελέτης του αγωγού όπως αυτά προσκομίστηκαν από την ανάδοχο εταιρεία και παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Έπειτα από το τρέξιμο των δεδομένων στο μοντέλο προσομοίωσης του Visual Plumes και εφόσον τα αποτελέσματα κριθούν μη ικανοποιητικά προτείνονται οι εξής εναλλακτικές παραμετρικές λύσεις:

- χρήση διαχυτήρα στο άκρο του αγωγού με τα στοιχεία που έχουν προαναφερθεί
- χρήση αγωγού ανάμιξης του εκρέοντος θερμού νερού με μέρος του αρχικού αντλούμενου νερού, με σκοπό την τελική μείωση θερμοκρασίας και αλατότητας των θερμών αποβλήτων
- χρήση διάταξης πολλαπλών αγωγών μικρότερης διατομής με συνολική παροχή την προβλεπόμενη από την προμελέτη, με σκοπό την επίτευξη μικρότερων ταχυτήτων εξόδου θερμών αποβλήτων, έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη ανάμιξη στο πρώτο στάδιο αραίωσης (όχι εκτόξευση λυμάτων στη επιφάνεια της θάλασσας)
- μείωση κλίσης του ανυψωμένου άκρου του αγωγού ώστε το πλούμιου να ακολουθήσει λιγότερο κατακόρυφη πορεία προς την επιφάνεια, με σκοπό μεγαλύτερη και γρηγορότερη αρχική ανάμιξη.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι παραπάνω παραμετρικές λύσεις μόνες τους αλλά και συνδυαστικά, όπου αυτό είναι εφικτό.

4^ο Κεφάλαιο: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΤΟ VISUAL PLUMES

- 4.1 Τιμές δεδομένων εισαγωγής στο Visual Plumes
- 4.2 Διαμόρφωση και περιεχόμενο διαγραμμάτων
- 4.3 1^η Λύση: Κατασκευαστικά δεδομένα προμελέτης
- 4.4 2^η Λύση: Περίπτωση χρήσης διαχυτήρα
- 4.5 3^η Λύση: Περίπτωση χρήσης αγωγού ανάμιξης
- 4.6 4^η Λύση: Περίπτωση χρήσης πολλαπλών αγωγών
- 4.7 5^η Λύση: Περίπτωση αλλαγής κλίσης ανύψωσης του άκρου αγωγού εκροής

4) ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΤΟ VISUAL PLUMES

4.1) Τιμές δεδομένων εισαγωγής στο Visual Plumes

Οι αλατότητες και οι θερμοκρασίες έχουν υπολογιστεί για κάθε μήνα αλλά και κάθε περίπτωση παροχής ξεχωριστά στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι γωνίες των ρευμάτων για την εφαρμογή του V.P. προσαρμόζονται σε άλλους άξονες προσανατολισμού σε σχέση με τους κύριους άξονες, όπως αυτοί φαίνονται στο χάρτη. Η μετατροπή τους δίνει για κάθετο στον άξονα του αγωγού ρεύμα $\varphi=210^\circ$ (ΝΔ) και για παράλληλο και αντίθετο στον άξονα ρεύμα $\varphi=120^\circ$ (ΒΔ).

Ο συντελεστής διασποράς για επίλυση σε μακρινό πεδίο (far-field) λαμβάνεται ο ελάχιστος προτεινόμενος από το πρόγραμμα $K_v=0,67\text{cm}^2/\text{sec}$.

Οι παροχές, οι διαμέτροι και οι κλίσεις του τμήματος εξόδου του αγωγού παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε λύση ξεχωριστά.

4.2) Διαμόρφωση και περιεχόμενο διαγραμμάτων

Κάθε λύση περιλαμβάνει ένα σύνολο διαγραμμάτων που χωρίζεται ανά μήνα μελέτης, βάθος εκροής και γωνία κατεύθυνσης ρευμάτων. Αναλυτικά έχουμε:

- 3 περιπτώσεις μηνών μελέτης (Ιούνιος, Σεπτέμβριος, Φεβρουάριος)
- 3 περιπτώσεις βαθών εκροής ($D = 2, 5, \text{ και } 10$ μέτρα)
- 2 περιπτώσεις κατεύθυνσης ρευμάτων ($\varphi = 120^\circ$ και 210°)

Συνολικά έχουμε 18 περιπτώσεις διαγραμμάτων για κάθε λύση, εκ των οποίων για κάθε περίπτωση πέντε διαγράμματα:

1^ο Διάγραμμα – Plume Elevation

Δίνει μια δισδιάστατη πρόβλεψη της πορείας του πλουμίου μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Στον κάθετο άξονα φαίνονται τα βάθη [Depth (m)] και στον οριζόντιο η απόσταση από το σημείο εκροής [Horizontal Distance from Source (m)]. Με συνεχή γραμμή απεικονίζεται ο κεντρικός άξονας του πλουμίου [centerline] και με ακολουθία σταυροειδών στιγμάτων το άνω και κάτω όριο του πλουμίου [plume boundary]. Συνεπώς μπορεί να προβλεφθεί η κατακόρυφη πορεία του πλουμίου στον αποδέκτη και σε ποια απόσταση από το σημείο εκροής παρατηρείται ανάδυση, εγκλωβισμός ή καταβύθιση του πλουμίου προς τον πυθμένα.

2^ο Διάγραμμα – Ambient Properties

Δίνει τις κατανομές πυκνότητας του πλουμίου και του περιβάλλοντος αναφορικά με το βάθος. Με συνεχή γραμμή απεικονίζεται η κατανομή της πυκνότητας του περιβάλλοντος και με ακολουθία σταυροειδών στιγμάτων αυτή του πλουμίου. Οι τιμές της πυκνότητας φαίνονται στον οριζόντιο άξονα σε

μονάδες sigma-T, ενώ στον κάθετο φαίνονται αυτές του βάθους σε μέτρα. Συγκρίνοντας τις δύο κατανομές βλέπουμε σε ποιο βάθος έχουμε εξίσωση των πυκνοτήτων και συνεκδοχικά αν παρατηρείται ανάδυση του πλουμίου στην επιφάνεια, παγίδευσή του σε κάποιο βάθος ή βύθιση προς τον πυθμένα.

3° Διάγραμμα – Plan View

Πρόκειται ουσιαστικά για μια κάτοψη της πορείας του πλουμίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ο κάθετος άξονας έχει διεύθυνση Βορά-Νότου και ο οριζόντιος Δύσης-Ανατολής. Οι δύο άξονες περιέχουν μετρικές αποστάσεις και ορίζουν τον προσανατολισμό και την έκταση του πλουμίου. Το μέγεθος της έκτασής του σχετίζεται με την προβλεπόμενη διάλυση, που απεικονίζεται στο 4° διάγραμμα. Με συνεχή γραμμή απεικονίζεται η πορεία του κεντρικού άξονα του πλουμίου [plume path] και με ακολουθία σταυροειδών στιγμάτων τα εκατέρωθεν όρια [outline].

4° Διάγραμμα – Plumes Dilution Prediction

Δίνει τη διάλυση (κάθετος άξονας) του πλουμίου αναφορικά με την οριζόντια απόσταση από το σημείο εκροής (οριζόντιος άξονας).

5° Διάγραμμα – Predicted Relationships

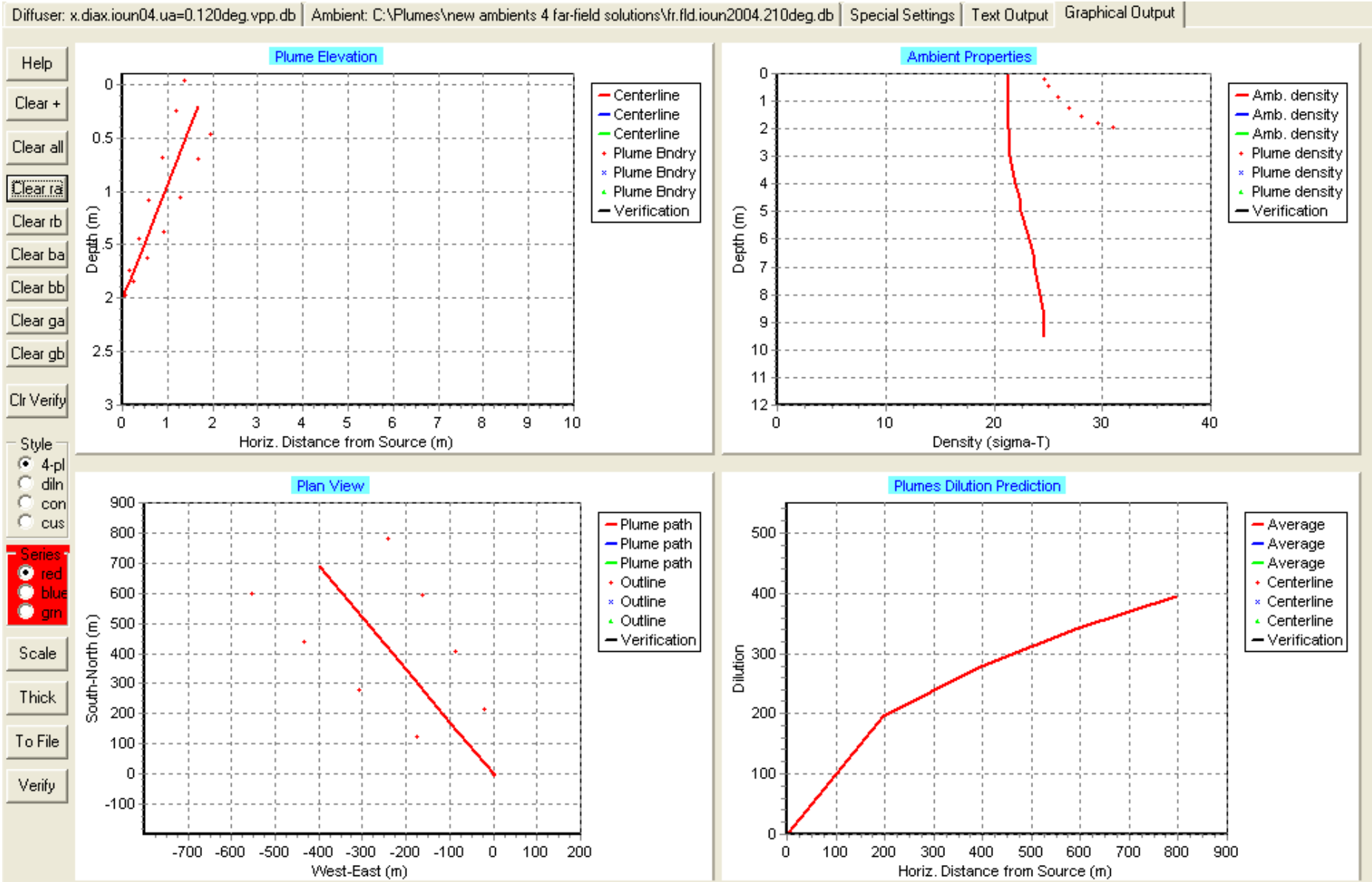
Στο διάγραμμα αυτό, που είναι και το σημαντικότερο, απεικονίζεται η κατανομή θερμοκρασιών του πλουμίου (με συνεχή γραμμή) και του περιβάλλοντος (με ακολουθία σταυροειδών στιγμάτων) σε σχέση με το βάθος. Με τη χρήση του διαγράμματος αυτού προβλέπεται η σύγκλιση ή όχι των θερμοκρασιών πλουμίου και περιβάλλοντος καθώς και σε ποιο βάθος λαμβάνει χώρα αυτή.

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των πέντε διαγραμμάτων καταλήγουμε σε μια εκτίμηση πάνω στη συνολική συμπεριφορά του πλουμίου στο θαλάσσιο περιβάλλον όσο αφορά την οριζόντια και κατακόρυφη κίνηση του (βύθιση ή ανάδυση) σε αυτό ενώ παράλληλα προβλέπουμε σε ποια απόσταση και βάθος παρατηρείται η απαιτούμενη σύγκλιση των θερμοκρασιών τους.

1^η ΛΥΣΗ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ

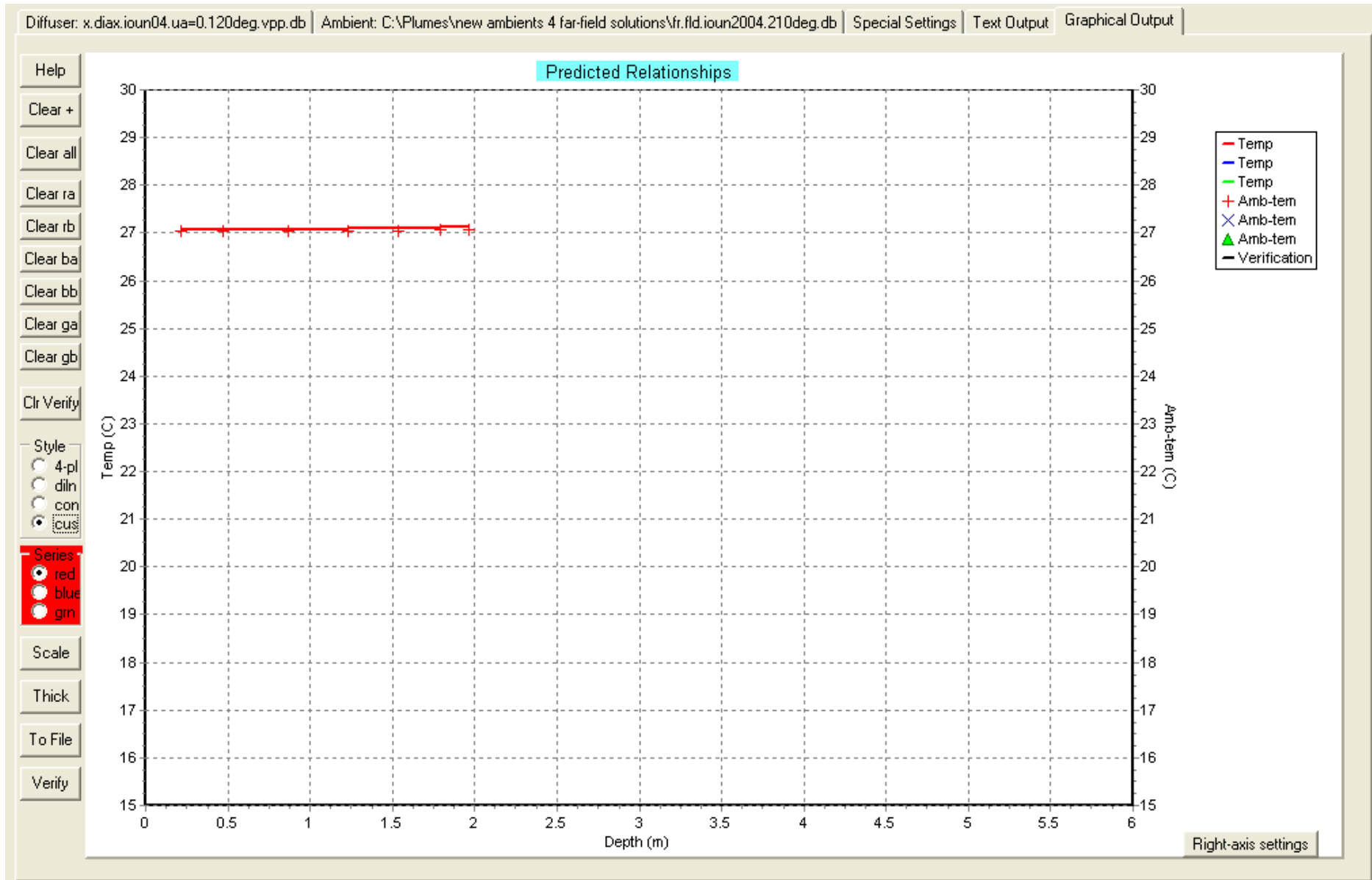
- Παροχή $Q=0,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Διάμετρος αγωγού $D=0,5814 \text{ m}$
- Ανύψωση σημείου εξόδου $0,20 \text{ m}$
- Κλίση ανυψωμένου τμήματος εξόδου 45°
- Οριζόντια γωνία 300°

Σε αυτή τη συγκεκριμένη επίλυση παρουσιάζεται η μελέτη της συμπεριφοράς του πλουμίου εκρεόμενου θερμού νερού, από τον υπό μελέτη αγωγό διάθεσης του ήδη χρησιμοποιημένου ως ψυκτικού μέσου ύδατος, στον θαλάσσιο αποδέκτη (Ορμος Θεσσαλονίκης), όπως αυτή έχει παρουσιαστεί αναλυτικά στο 3^ο Κεφάλαιο.

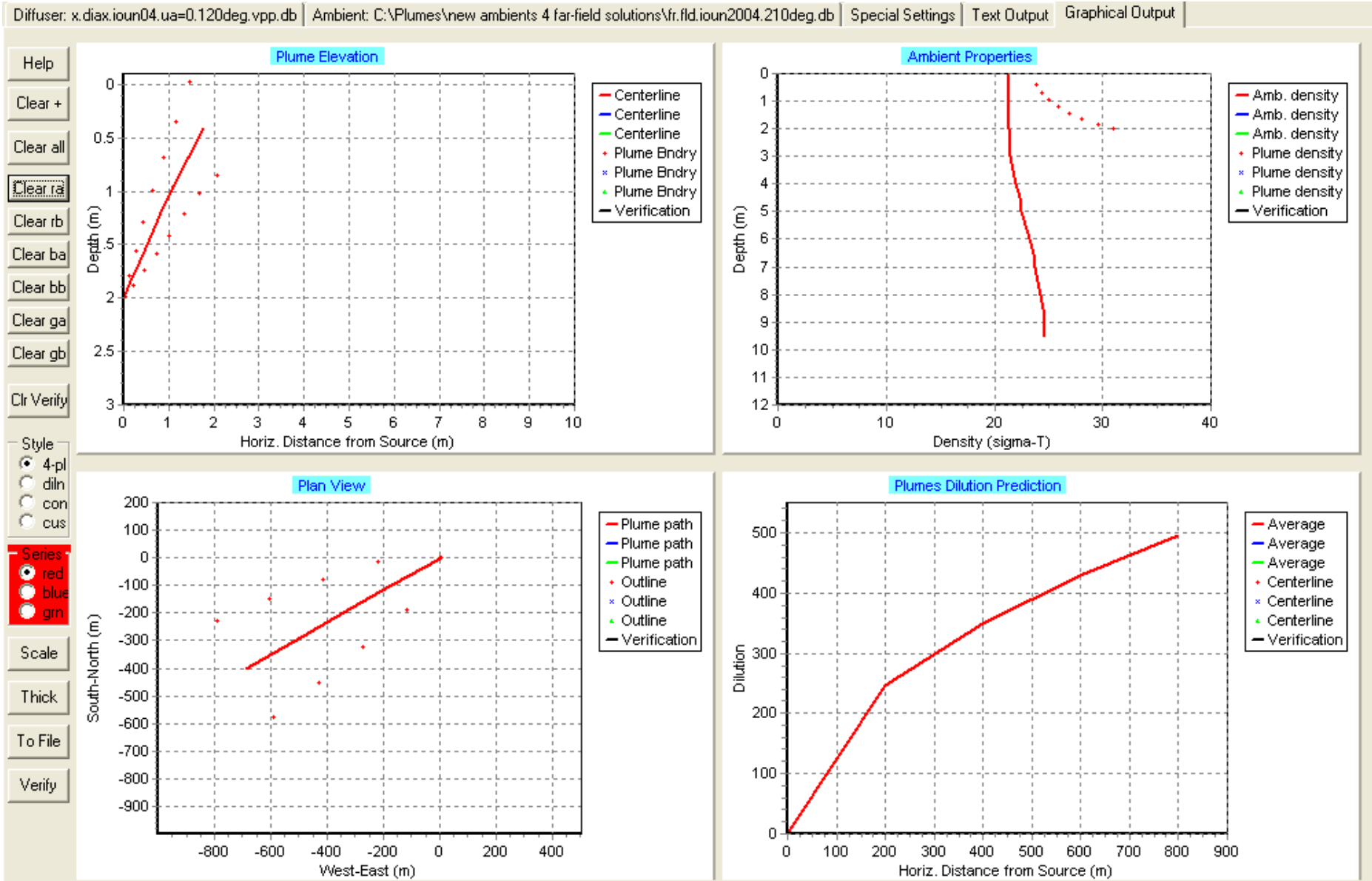


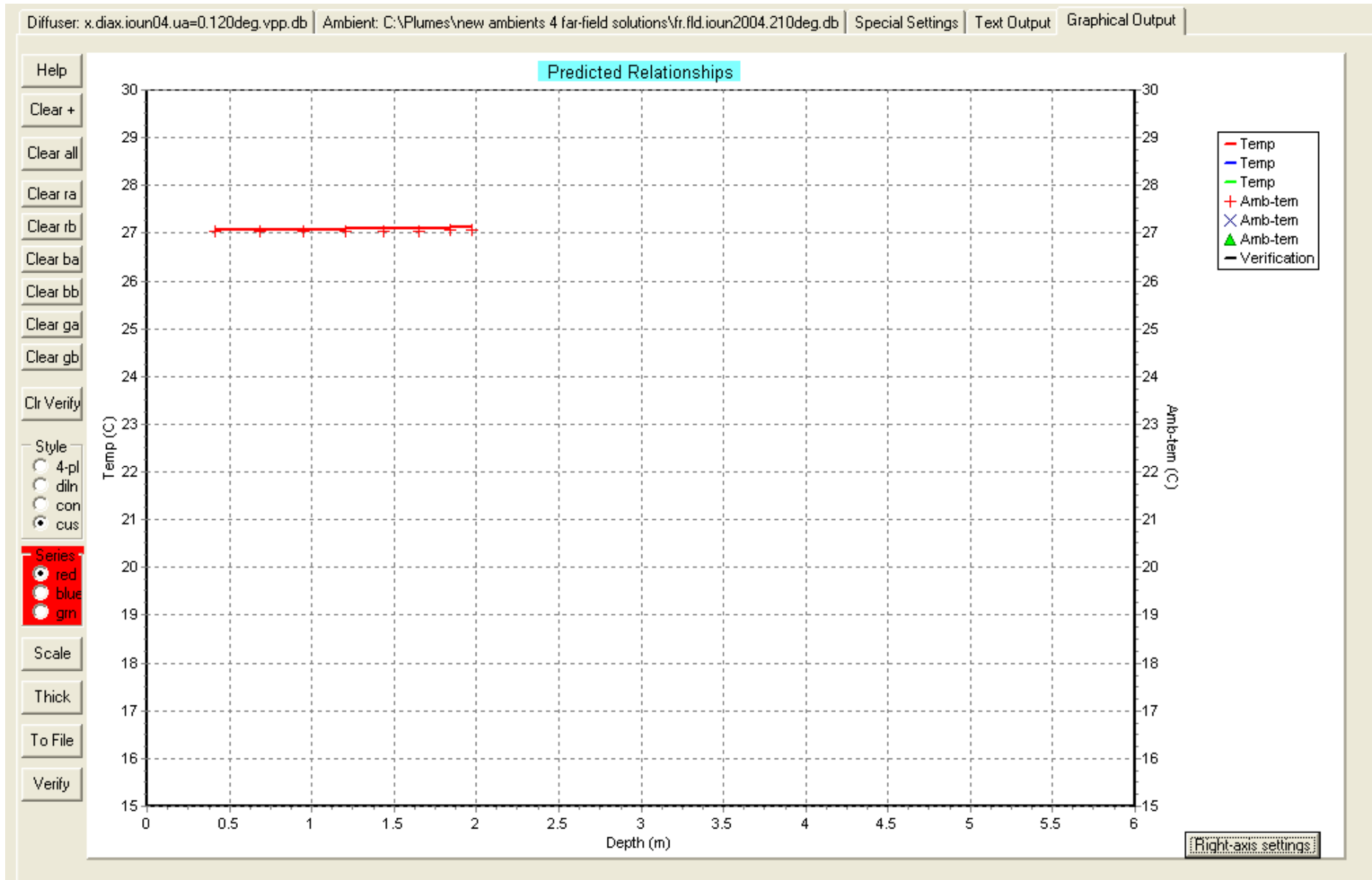
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΣΗ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

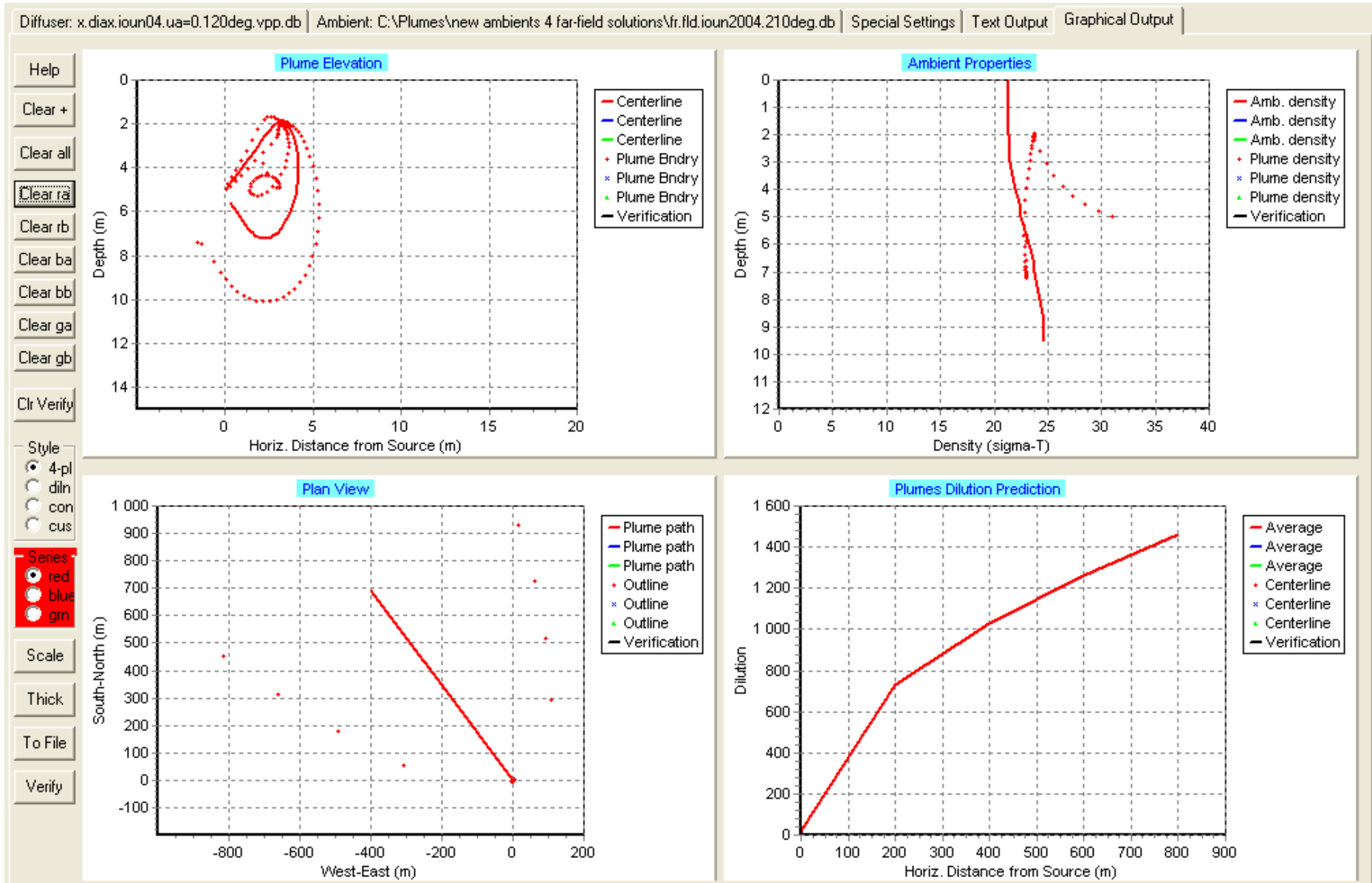


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



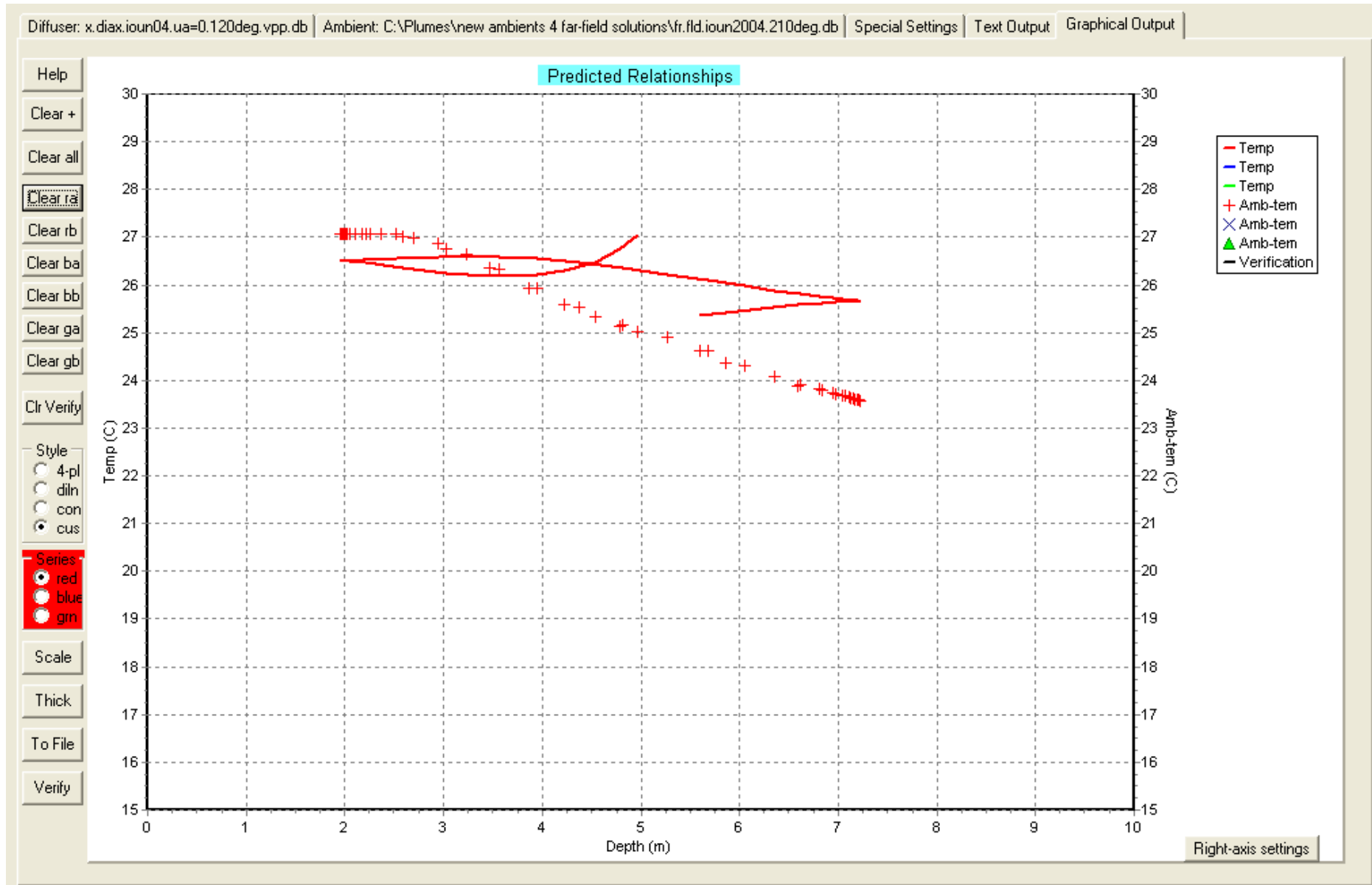


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

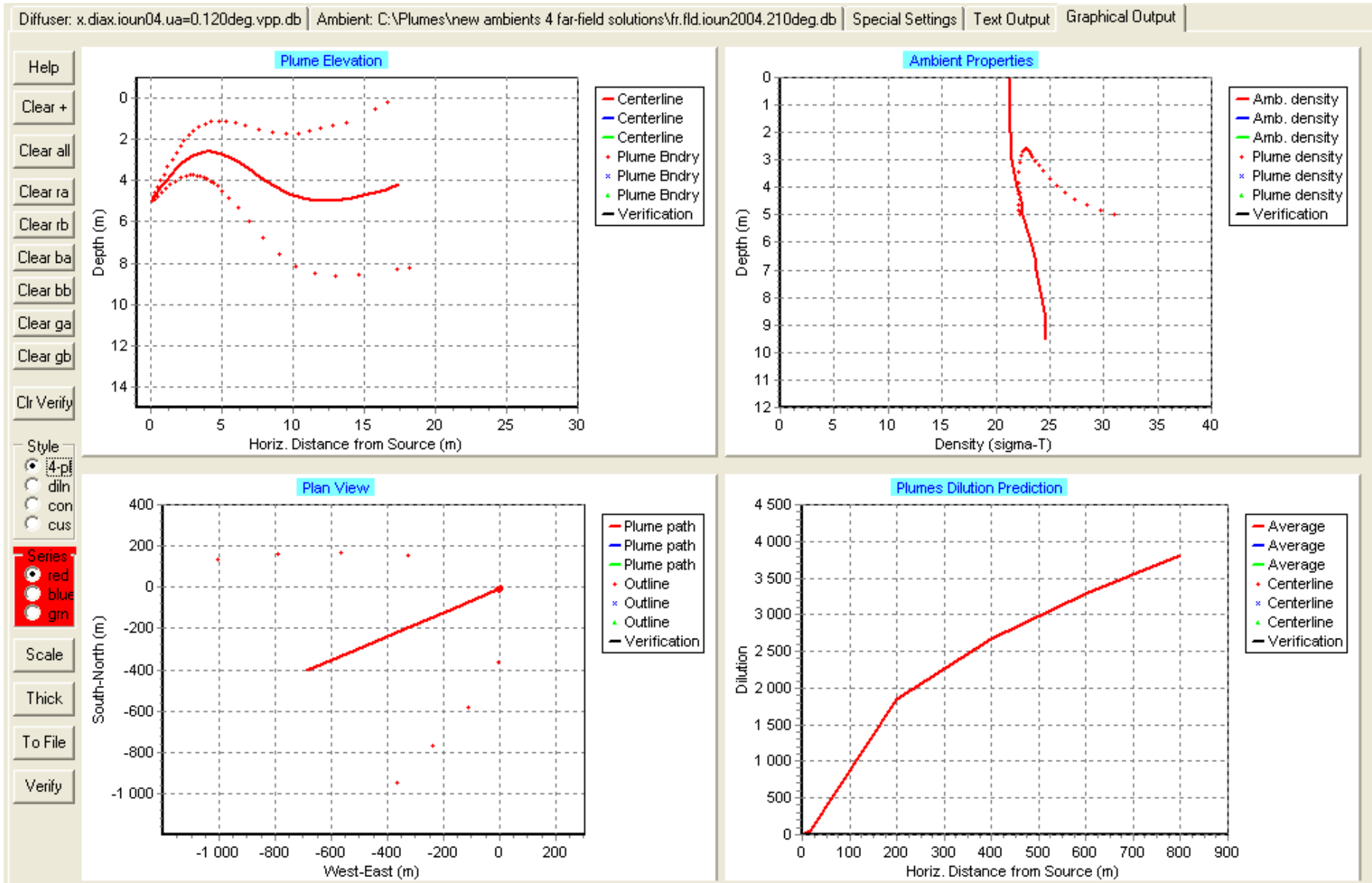


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

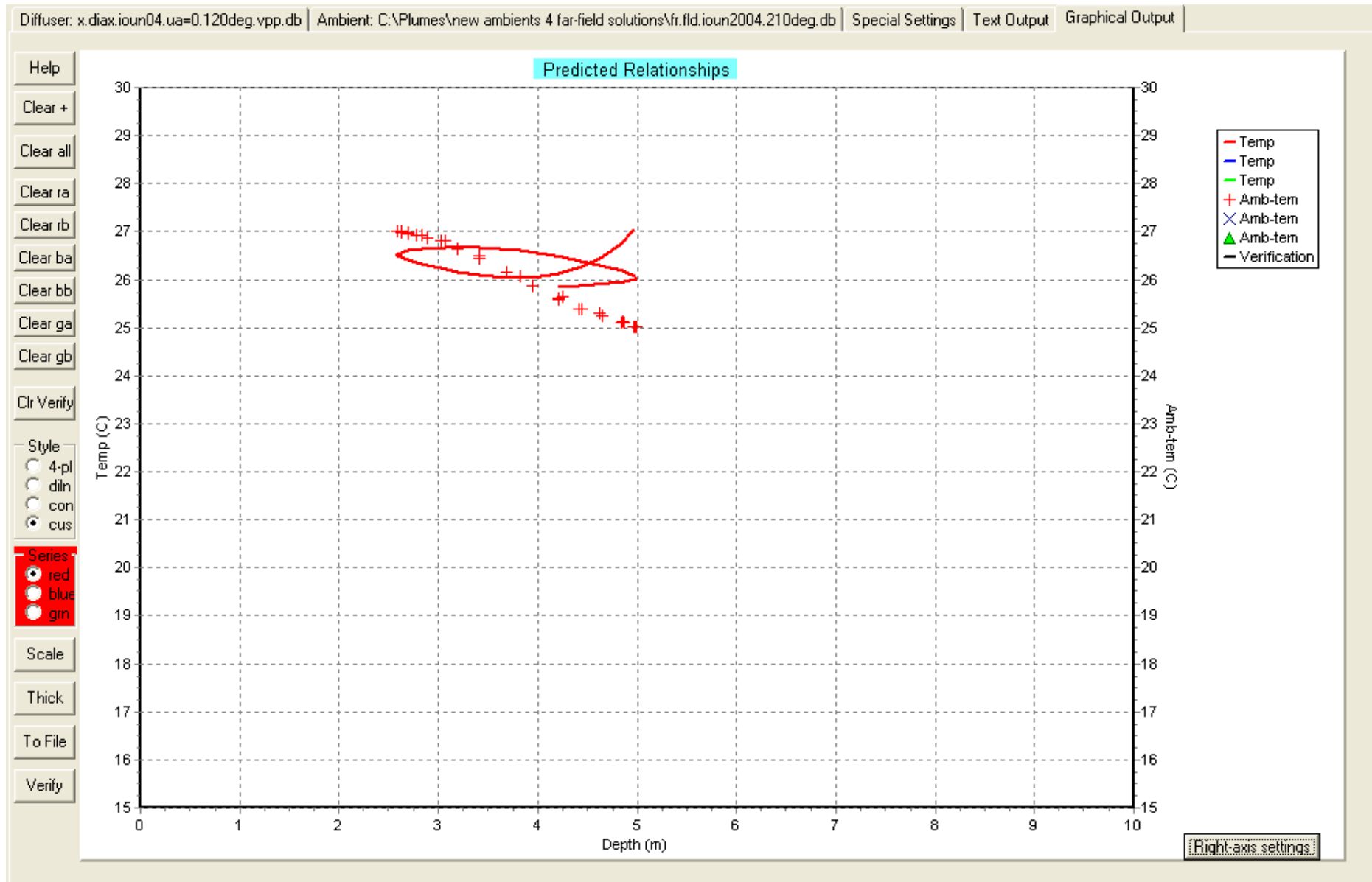


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



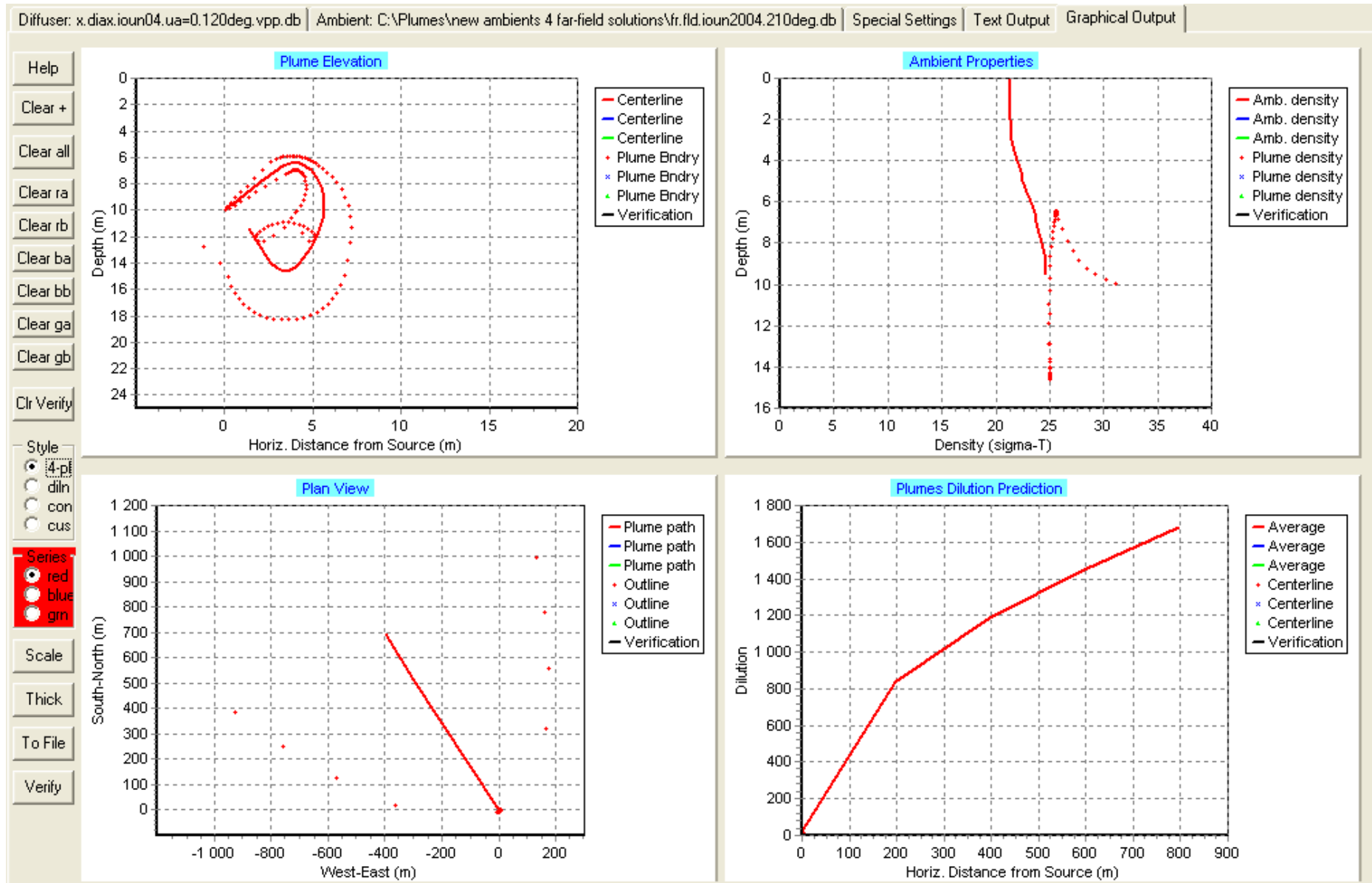
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



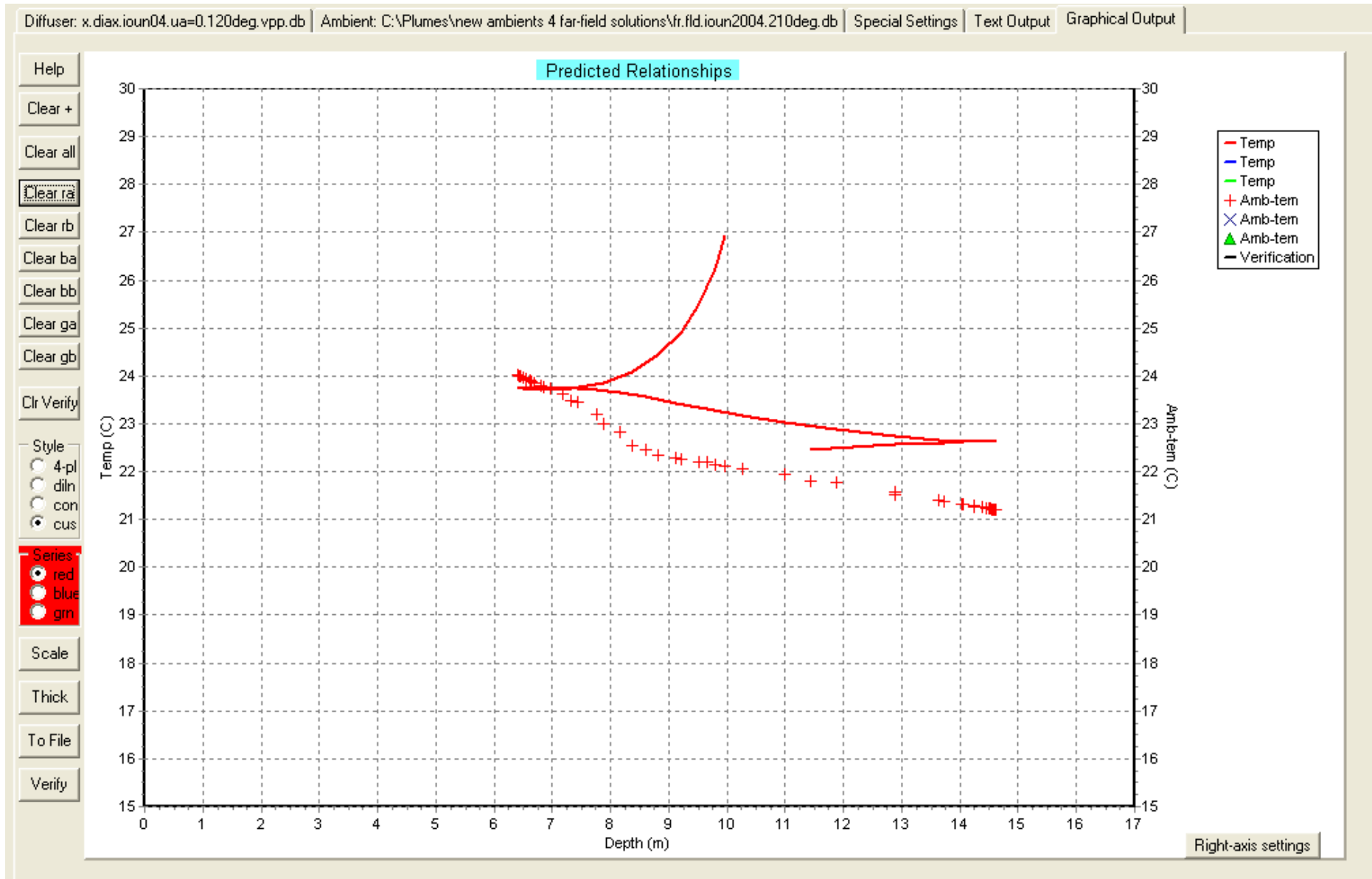
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

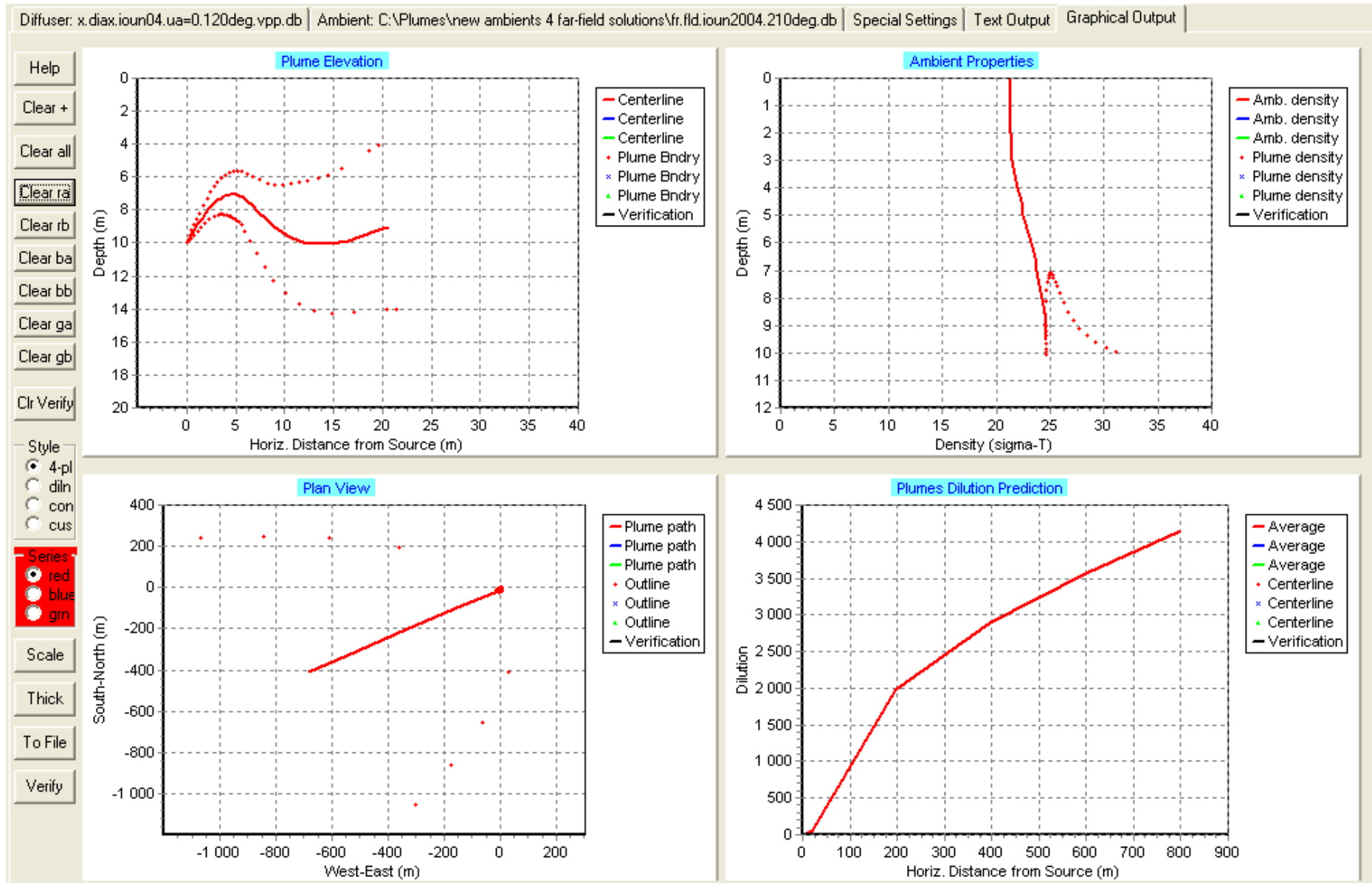


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°

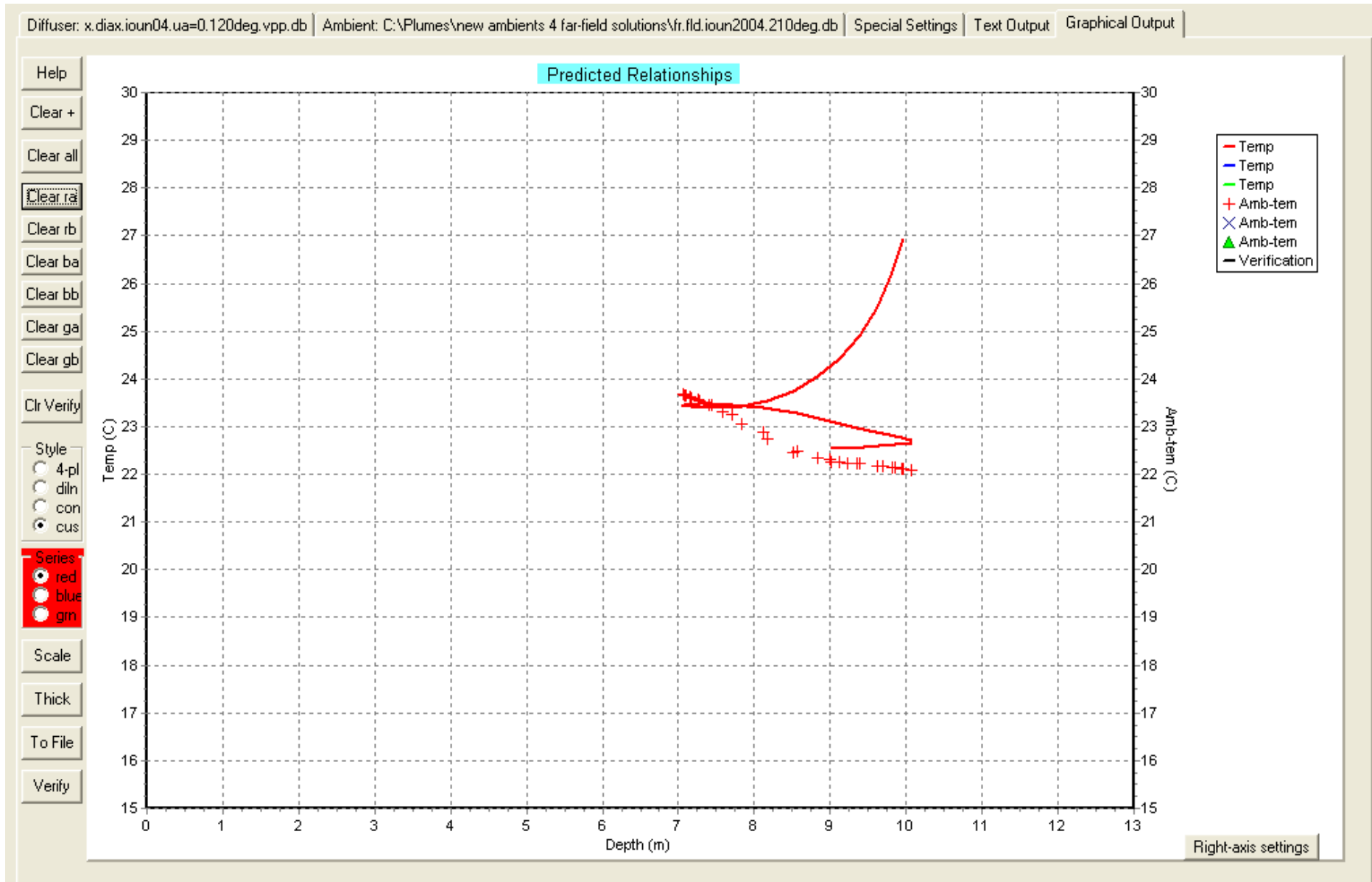
ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°



- **Μήνας Ιούνιος 2004**

Βάθος εκροής 2m

Το εκτοξευμένο πλούμιο φτάνει στην επιφάνεια της θάλασσας σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού. Το Visual Plumes αδυνατεί να μας δώσει στοιχεία για την εξέλιξη του φαινομένου όσον αφορά την πορεία του πλουμίου, τη θερμοκρασία και την πυκνότητά του, από τη στιγμή που φτάνει στην επιφάνεια και αρχίζει η περαιτέρω βύθισή του προς τον πυθμένα. Η σύγκρισή των τιμών των πυκνοτήτων όμως μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πλούμιο βυθίζεται σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής και εγκλωβίζεται στον πυθμένα. Παρατηρούμε όμως πως η θερμοκρασία του αποβαλλόμενου θερμού νερού διαφέρει ελάχιστα από αυτή του θαλάσσιου περιβάλλοντος και εξισώνεται αμέσως, καθώς ο Ιούνιος παρουσιάζει την υψηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία περιβάλλοντος και λόγω της έντονης στρωμάτωσης η μεταβολή στην θερμοκρασία του αντλούμενου νερού (+5°C) δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να ξεπεραστεί η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας.

Βάθος εκροής 5m

Για γωνία ρεύματος 210° η θερμοκρασία και η πυκνότητα του αποβαλλόμενου νερού γρήγορα εξισώνεται με τις αντίστοιχες του θαλάσσιου αποδέκτη, με αποτέλεσμα το πλούμιο να εγκλωβίζεται σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού και σε παράλληλη με τον πυθμένα πορεία, γεγονός το οποίο δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς η θερμοκρασία του πλουμίου έχει ήδη εξισωθεί με αυτή του περιβάλλοντος.

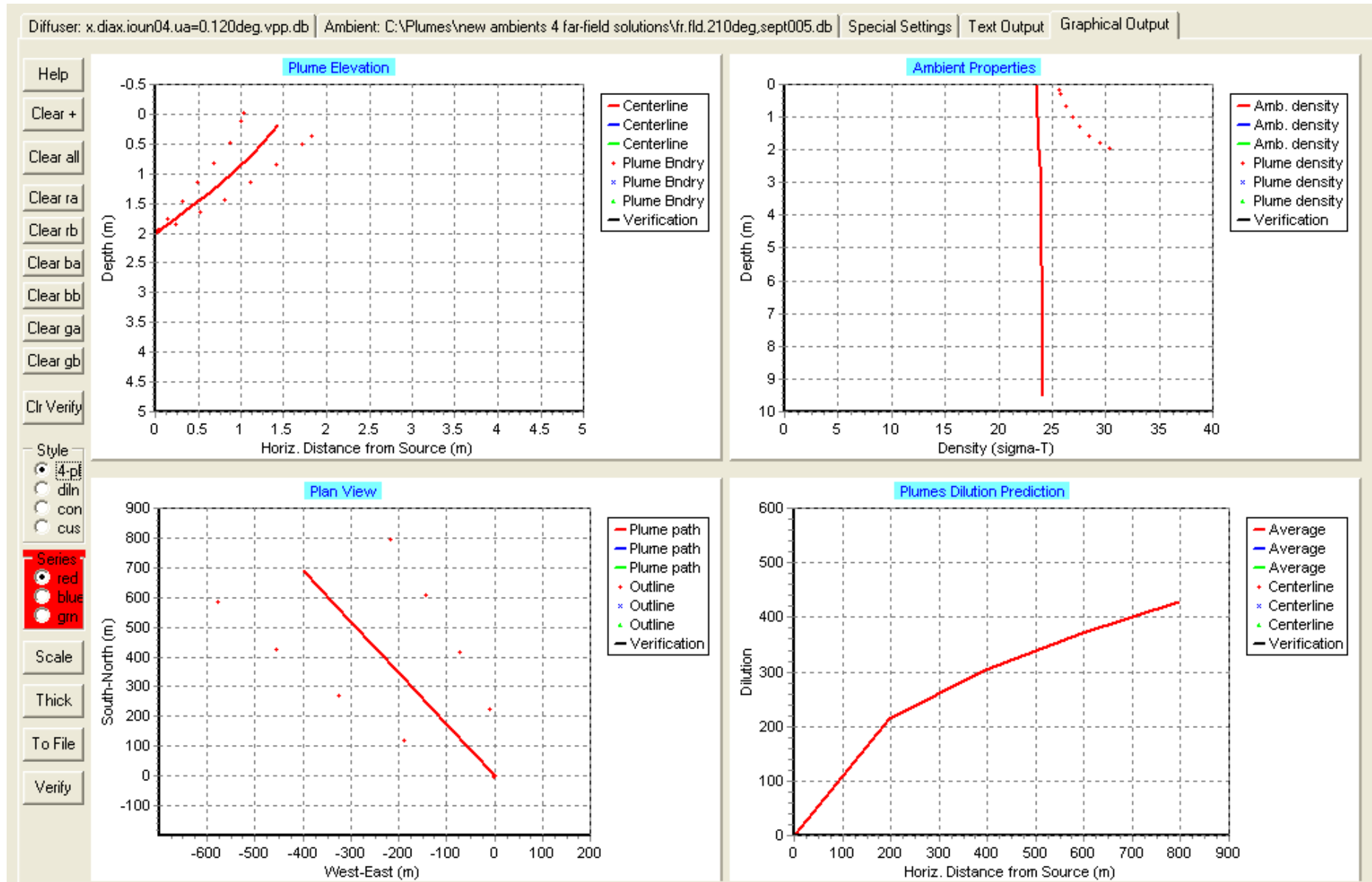
Για γωνία ρεύματος 120° παρατηρείται επίσης γρήγορη εξίσωση θερμοκρασιών αλλά λόγω διαφοράς πυκνότητας παρατηρείται βύθιση του πλουμίου προς τον πυθμένα σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής, χωρίς οι θερμοκρασιακές διαφορές να υπερβαίνουν τους 1,5°C.

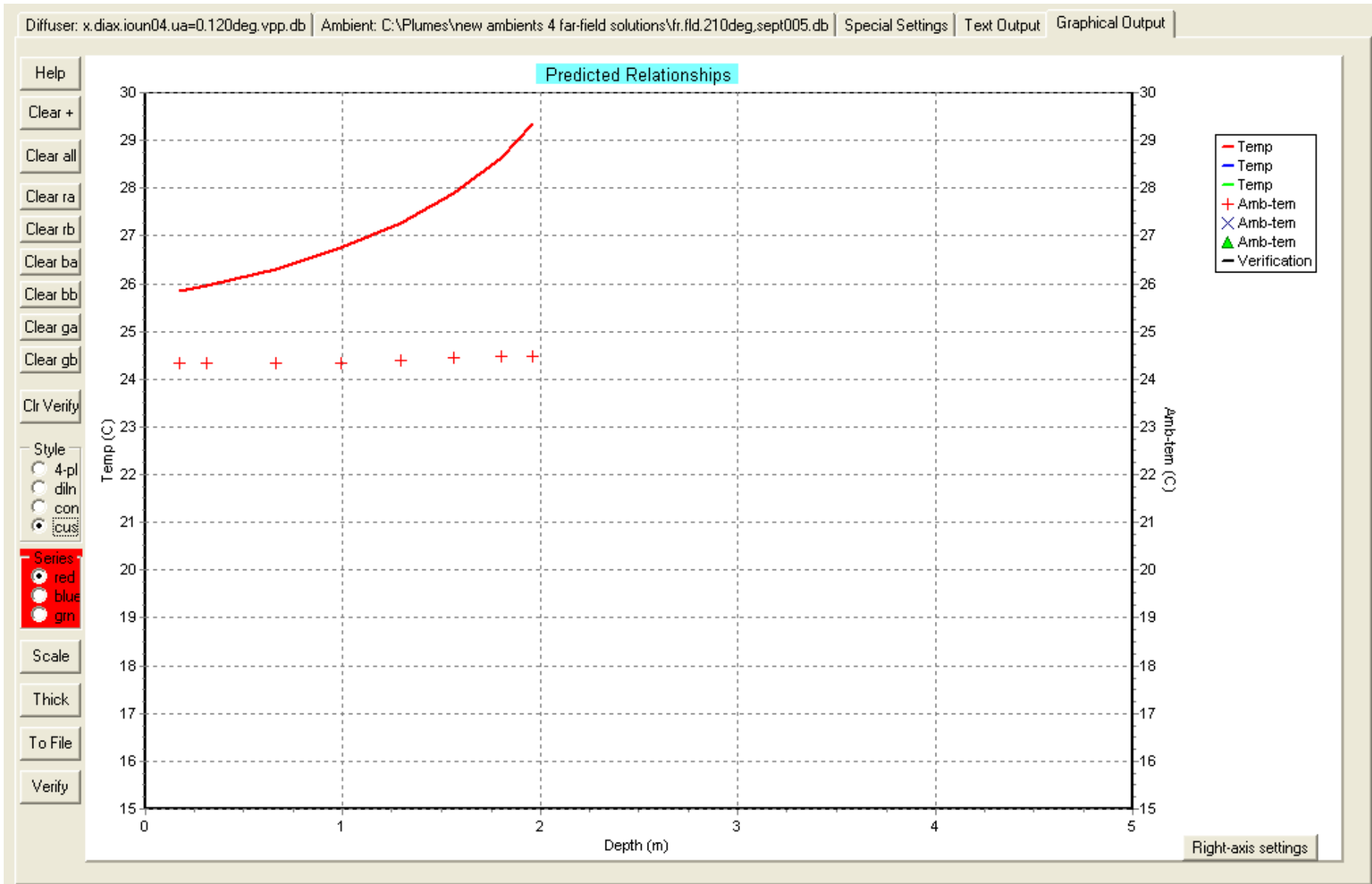
Βάθος εκροής 10m

Για γωνία ρεύματος 210° η θερμοκρασία και η πυκνότητα του αποβαλλόμενου νερού γρήγορα εξισώνεται με τις αντίστοιχες του θαλάσσιου αποδέκτη, με αποτέλεσμα το πλούμιο να εγκλωβίζεται σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού και σε παράλληλη με τον πυθμένα πορεία, ενώ η θερμοκρασία του πλουμίου έχει ήδη εξισωθεί με αυτή του περιβάλλοντος είτε η διαφορά των δύο δεν ξεπερνάει ποτέ τον 1°C.

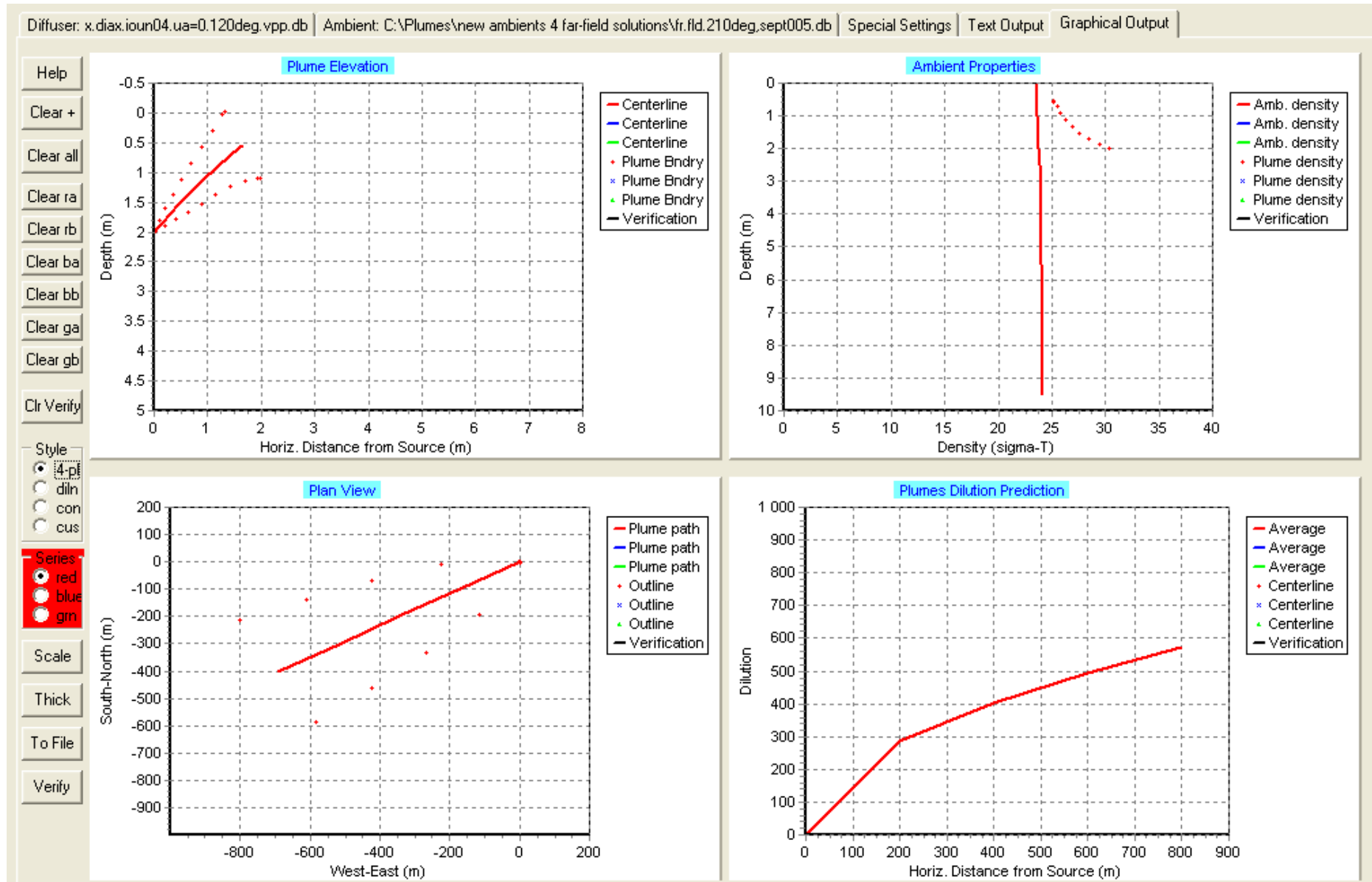
Για γωνία ρεύματος 120° παρατηρείται επίσης γρήγορη εξίσωση θερμοκρασιών αλλά λόγω διαφοράς πυκνότητας παρατηρείται βύθιση του

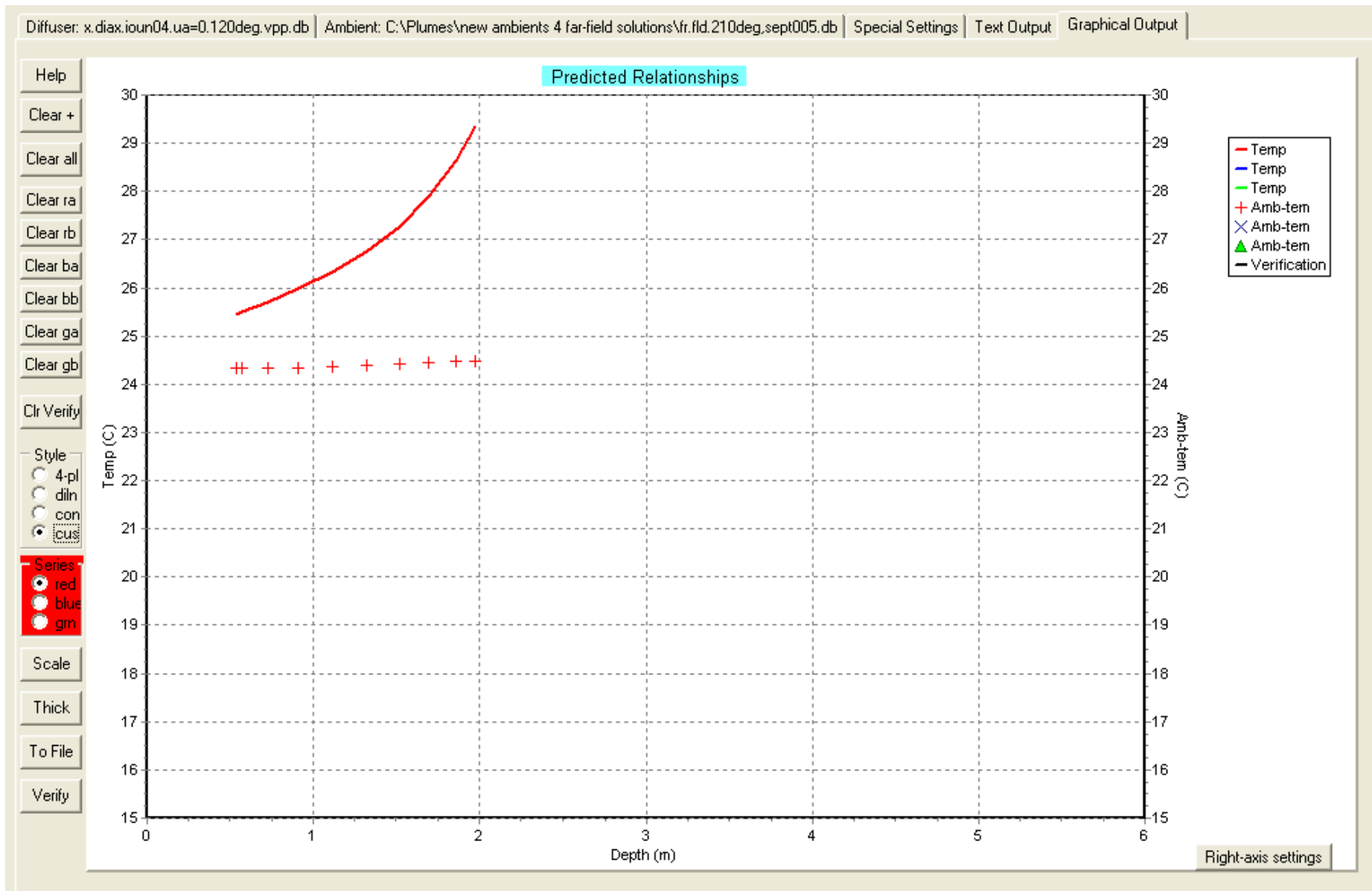
πλουμίου προς τον πυθμένα σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής, ενώ ταυτόχρονα οι θερμοκρασιακές διαφορές δεν υπερβαίνουν τον 1°C.

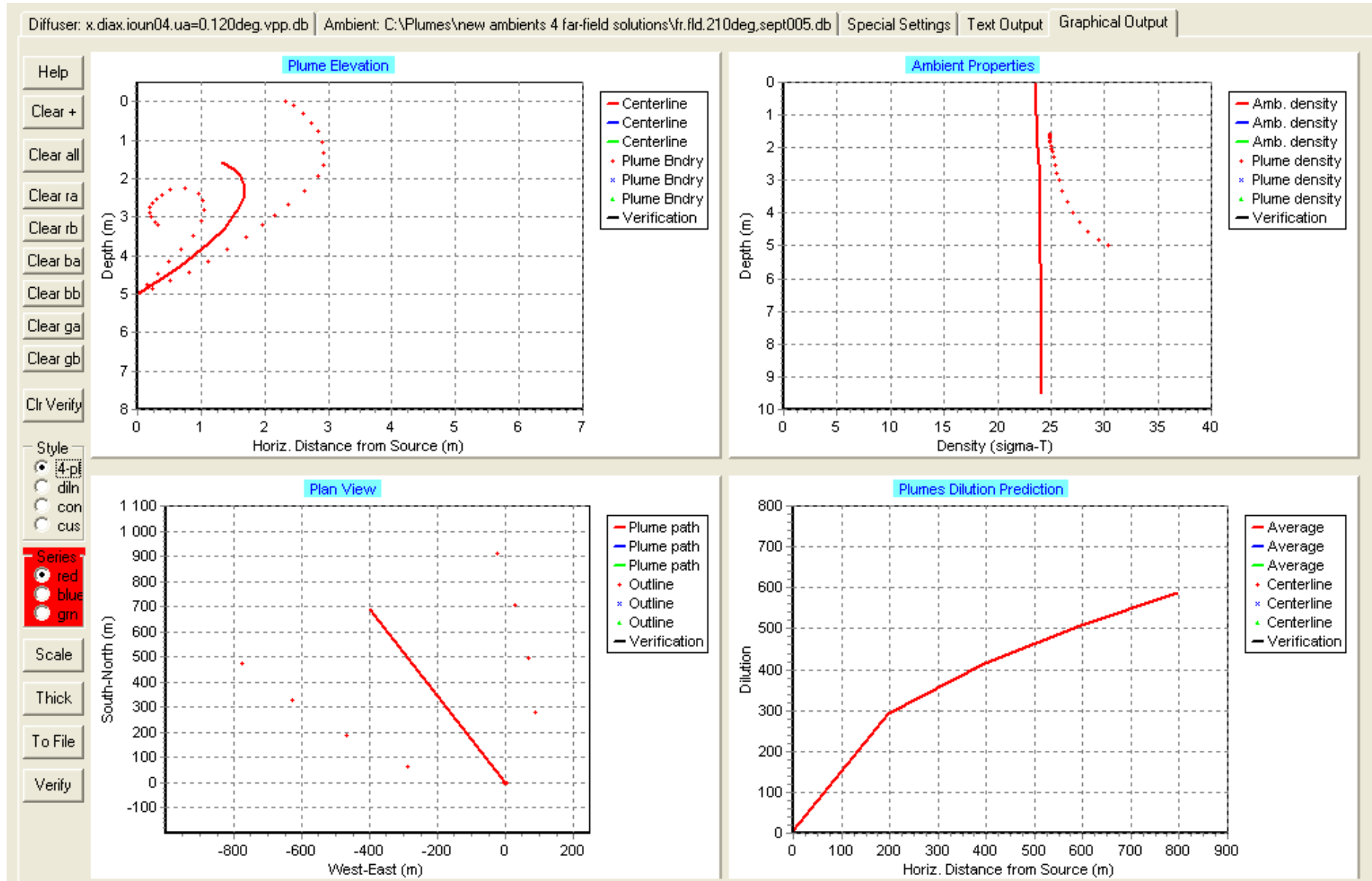


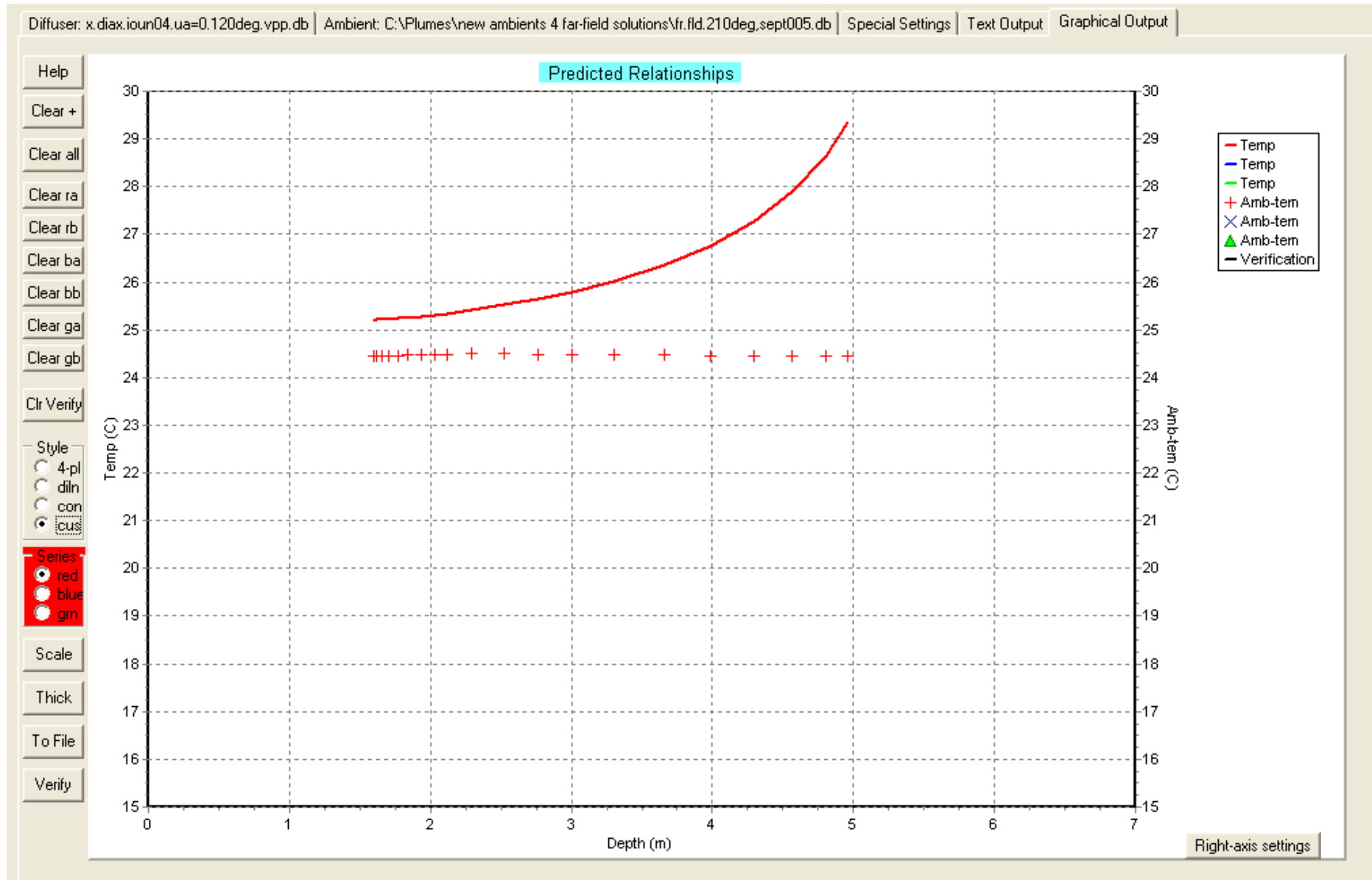


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

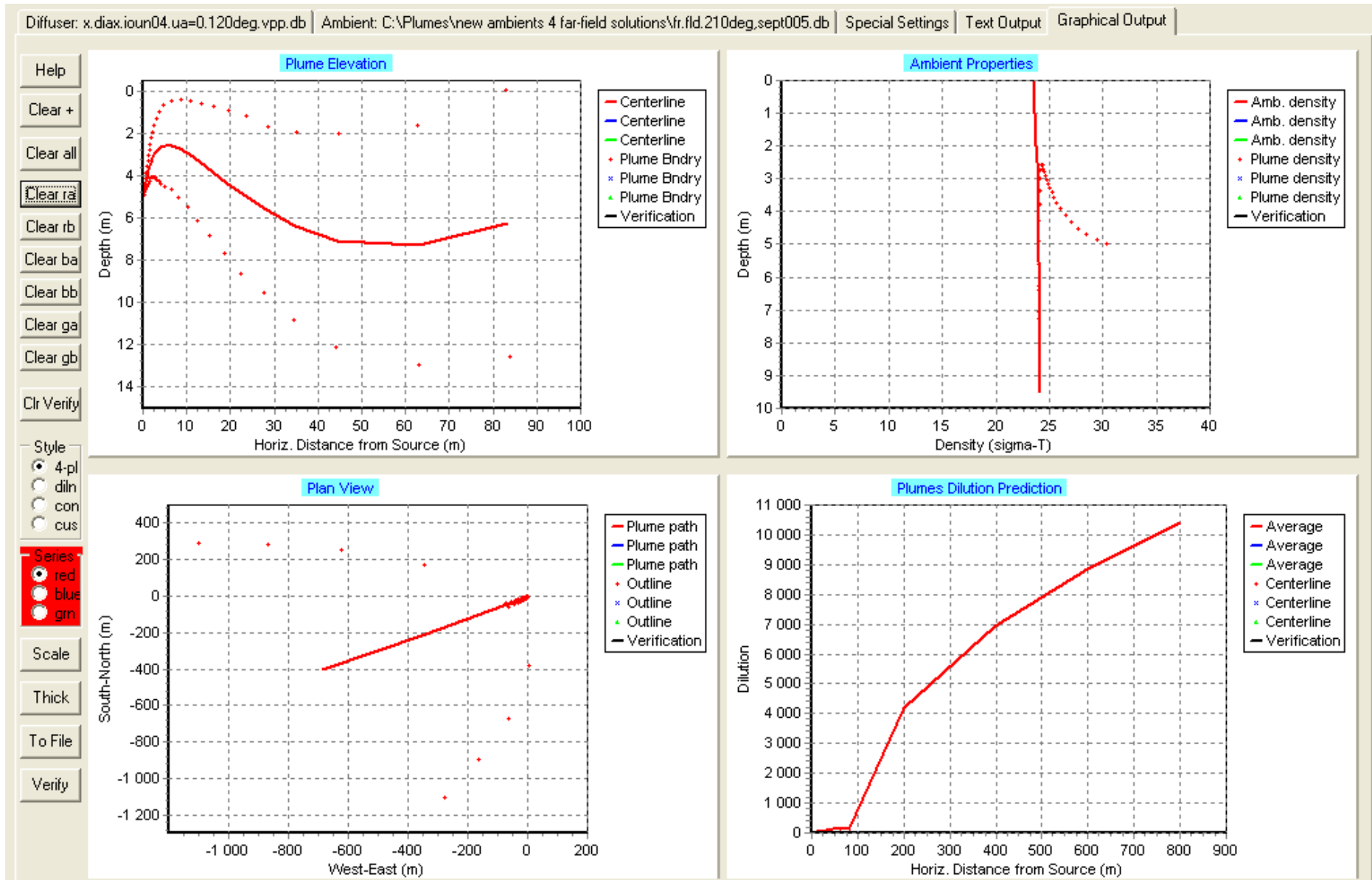




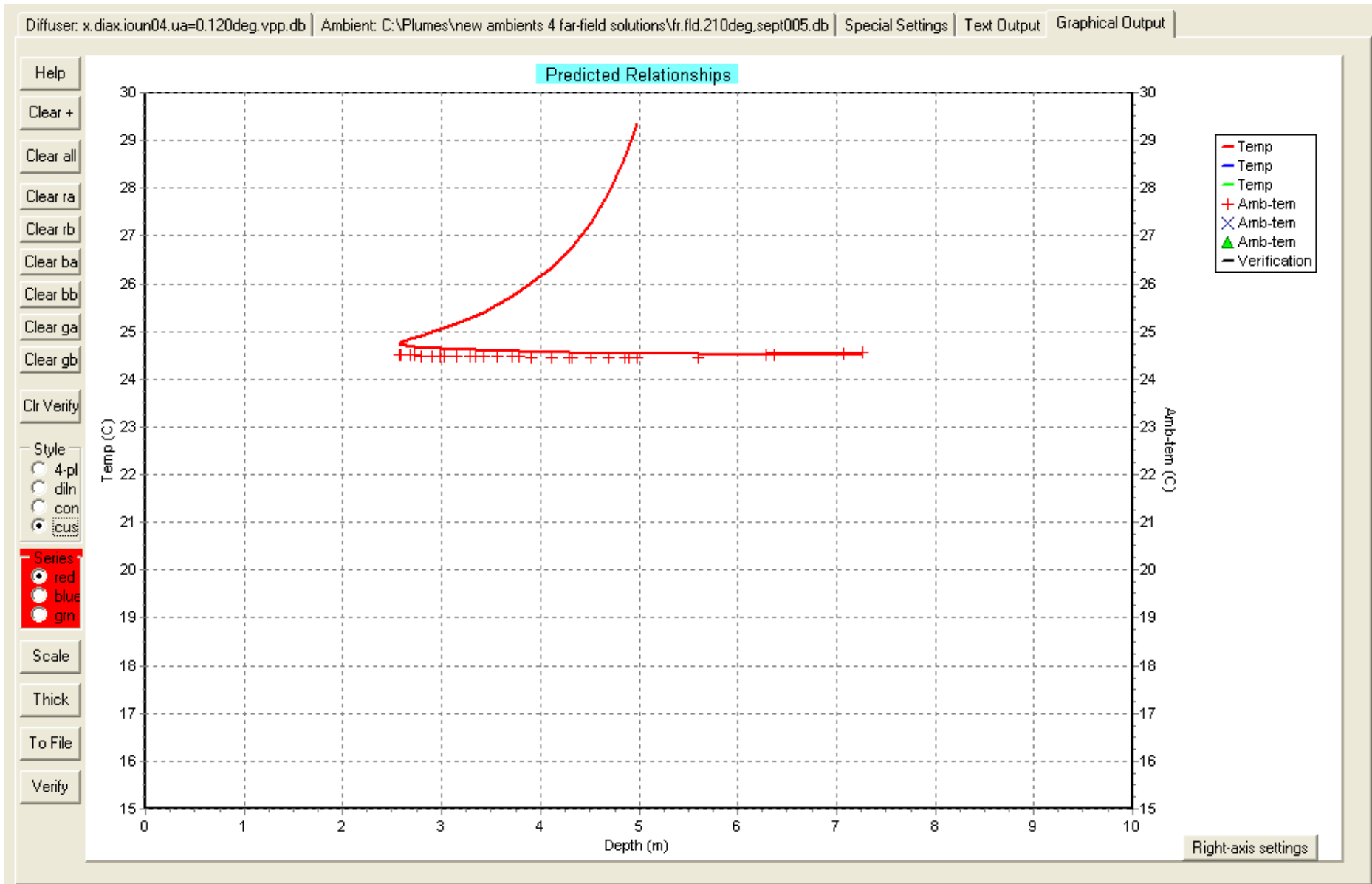




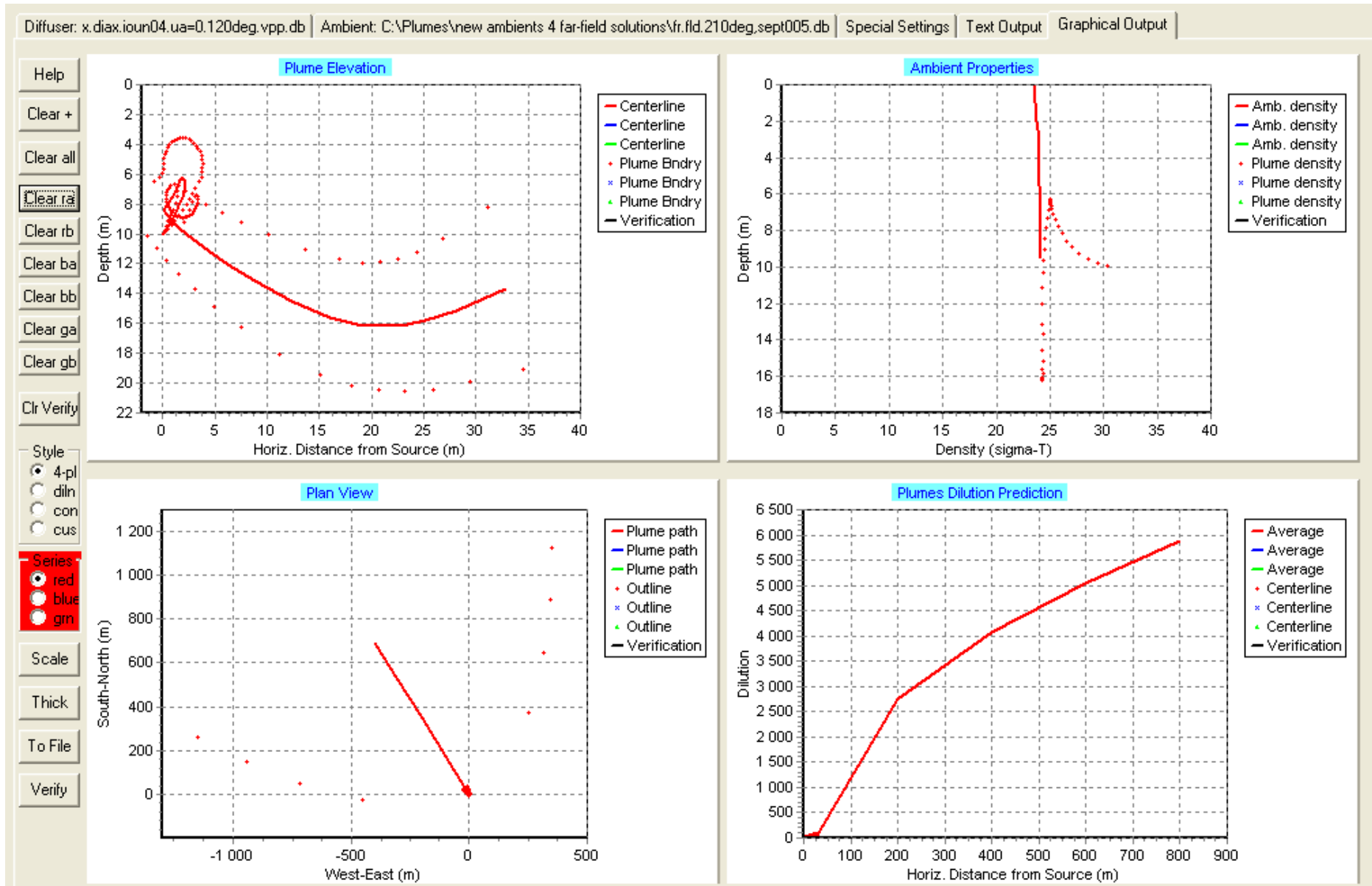
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



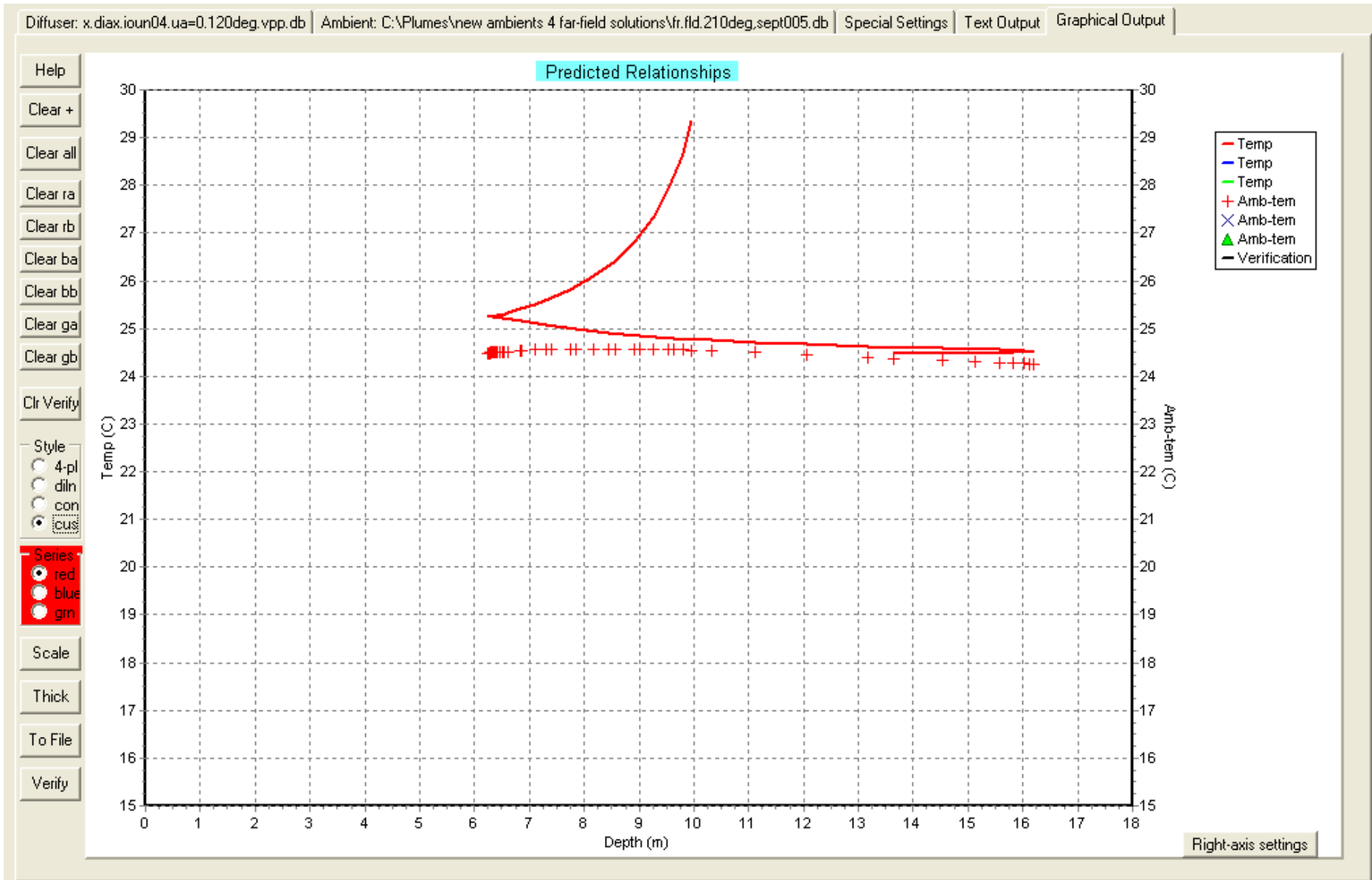
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

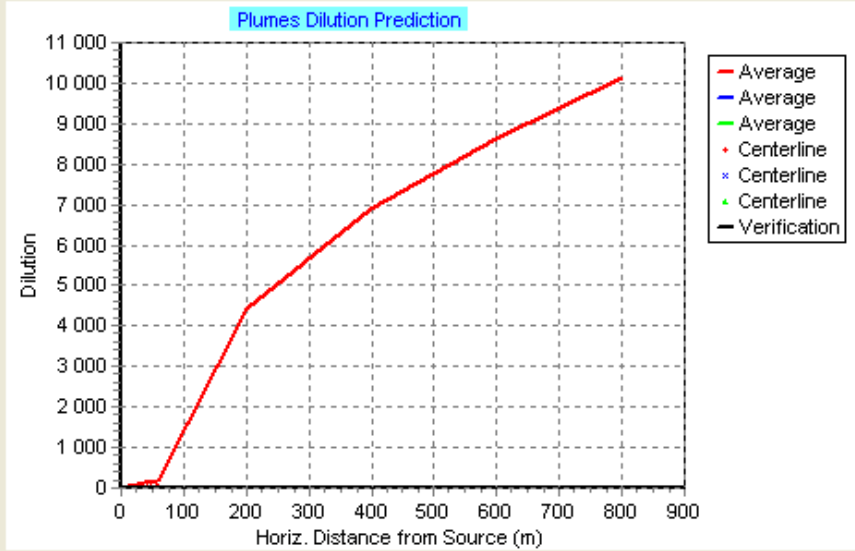
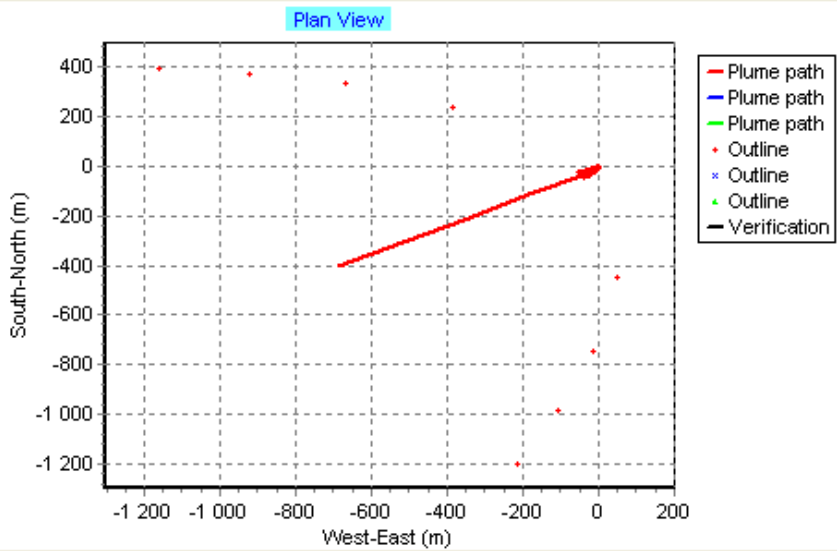
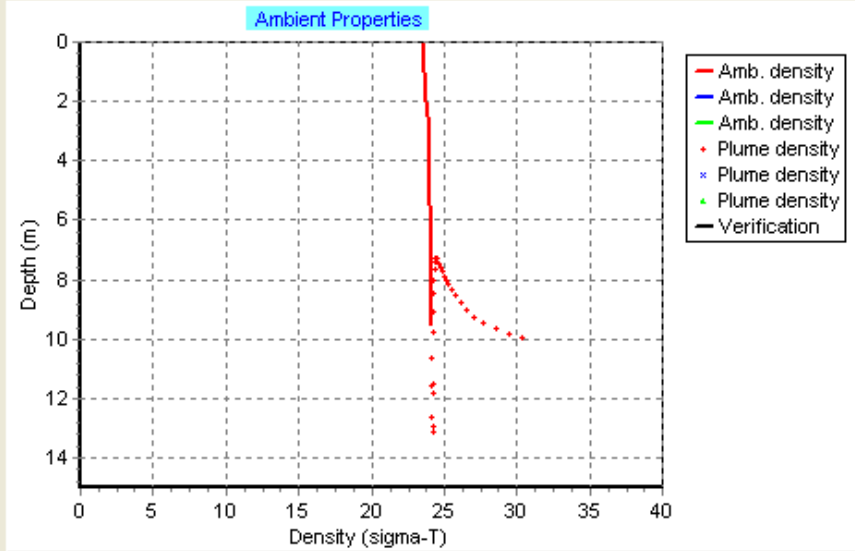
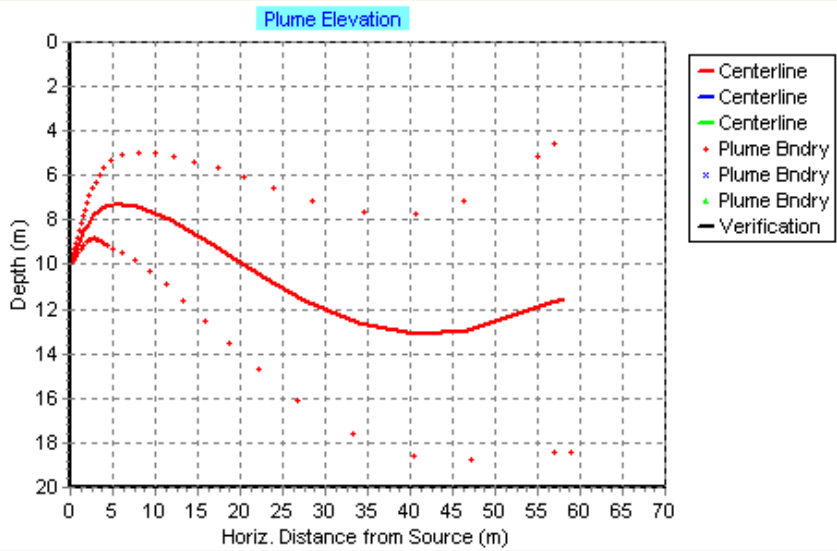
Diffuser: x.diax.ioun04.ua=0.120deg.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\new ambients 4 far-field solutions\fr.fld.210deg.sept005.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

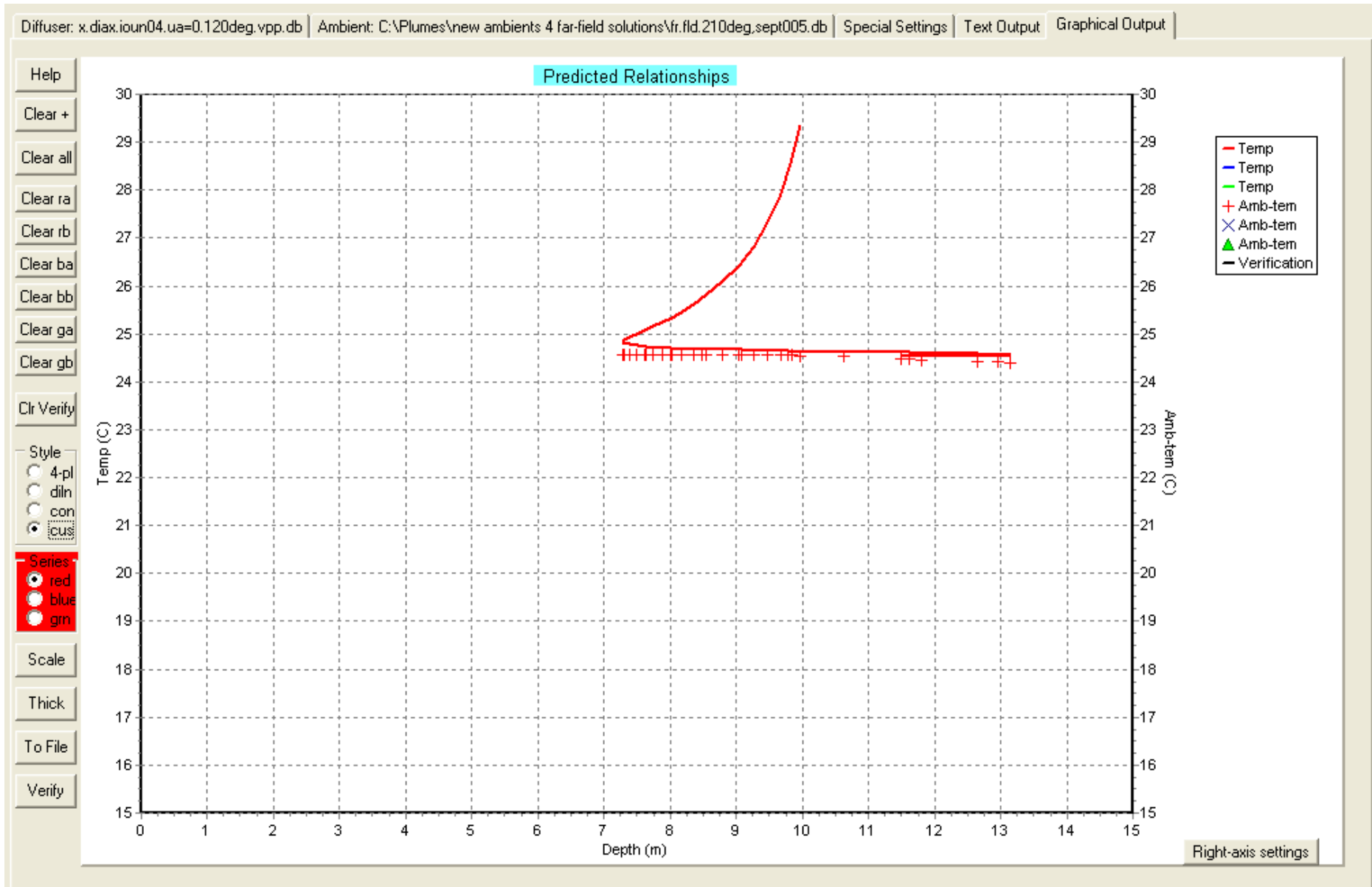
- Help
- Clear +
- Clear all
- Clear ra
- Clear rb
- Clear ba
- Clear bb
- Clear ga
- Clear gb
- Clr Verify

- Style
- 4-pl
 - diln
 - con
 - cus

- Series
- red
 - blue
 - gm

- Scale
- Thick
- To File
- Verify





ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Σεπτέμβριος 2004**

Βάθος εκροής 2m

Το εκτοξευμένο πλούμιο φτάνει στην επιφάνεια της θάλασσας σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού. Το Visual Plumes αδυνατεί να μας δώσει στοιχεία για την εξέλιξη του φαινομένου όσον αφορά την πορεία του πλουμίου, τη θερμοκρασία και την πυκνότητά του, από τη στιγμή που φτάνει στην επιφάνεια και αρχίζει η περαιτέρω βύθισή του προς τον πυθμένα. Η σύγκρισή των τιμών των πυκνοτήτων όμως μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πλούμιο βυθίζεται σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής και εγκλωβίζεται στον πυθμένα. Παρατηρούμε όμως πως η διαφορά θερμοκρασίας του αποβαλλόμενου θερμού νερού σε σχέση με το περιβάλλον βρίσκεται ήδη μέσα στα ορισμένα, κατά τις αρχικές παραδοχές, επιτρεπτά όρια ($\Delta T=1,5^{\circ}\text{C}$) όταν το πλούμιο φτάσει στην επιφάνεια, οπότε η ακόλουθη βύθισή του αναμένεται να οδηγήσει σε γρήγορη εξισορρόπηση των θερμοκρασιών.

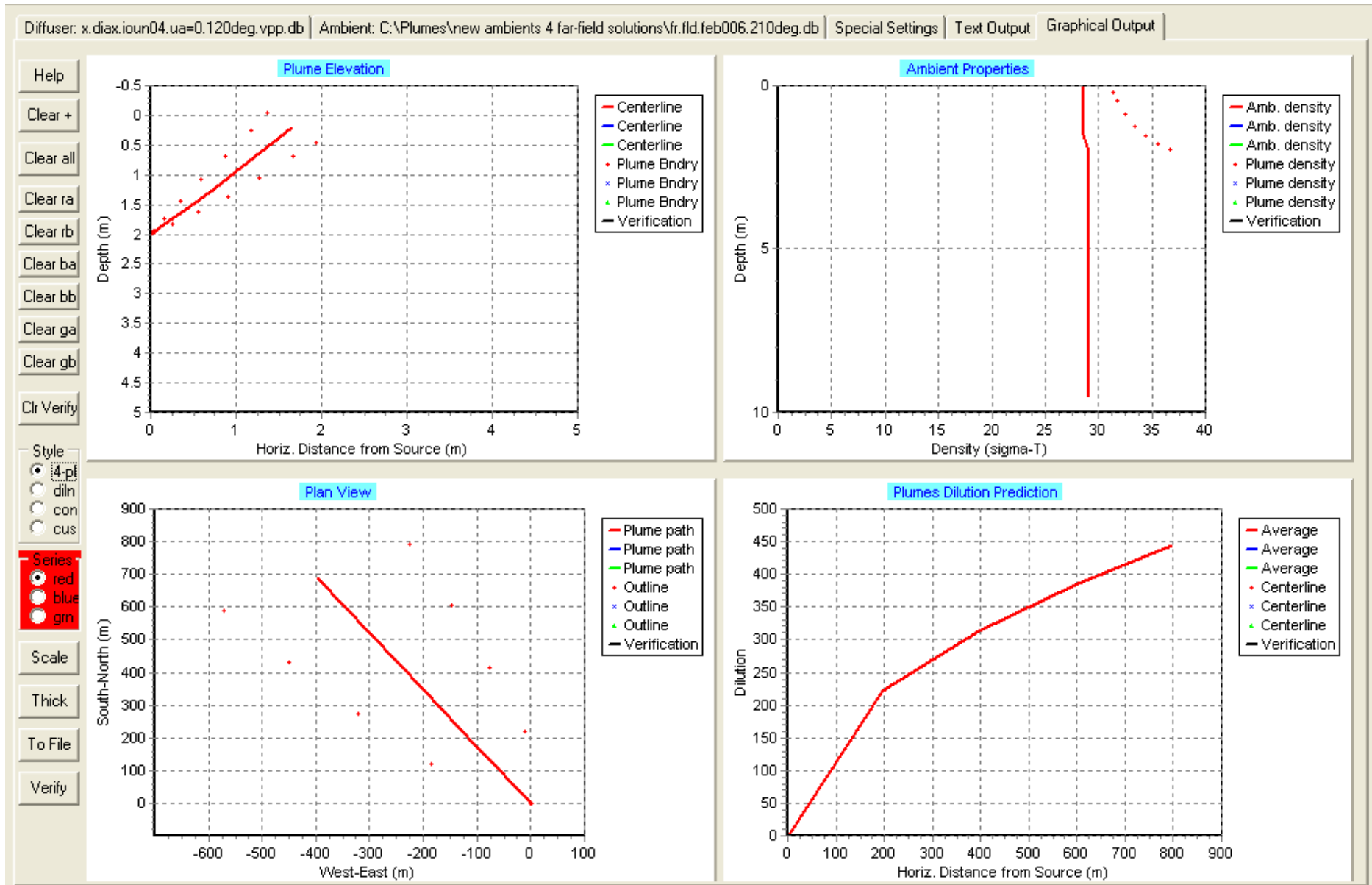
Βάθος εκροής 5m

Παρατηρούμε ότι άσχετα από την κατεύθυνση των ρευμάτων το πλούμιο ακολουθεί στην αρχή ανοδική πορεία και στη συνέχεια εγκλωβίζεται σε κάποιο βάθος κοντά στον πυθμένα, με ταυτόχρονη όμως γρήγορη εξισορρόπηση των θερμοκρασιακών τιμών (για γωνία 210° έχουμε εξίσωση τιμών).

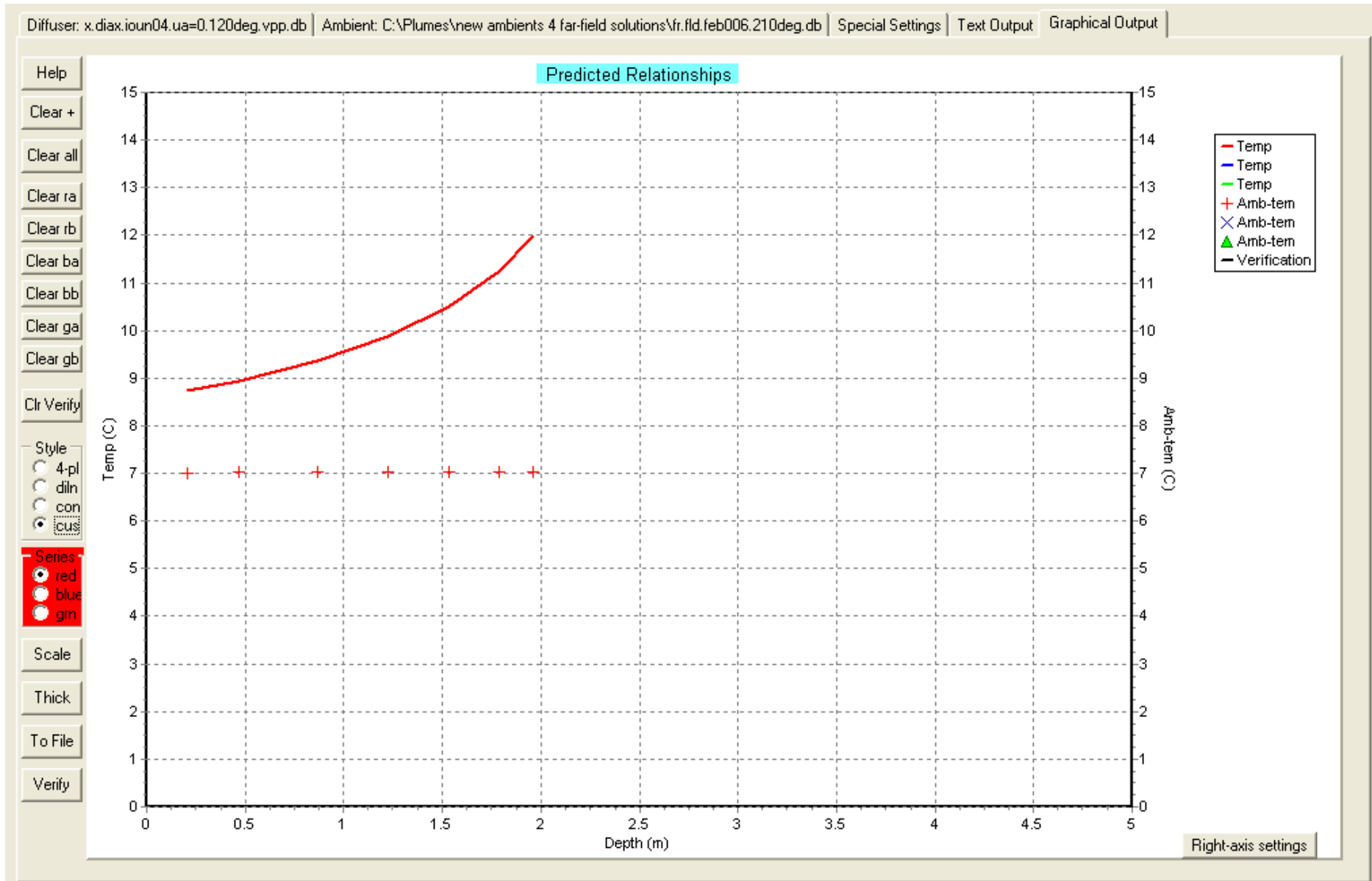
Βάθος εκροής 10m

Παρατηρούμε ότι άσχετα από την κατεύθυνση των ρευμάτων το πλούμιο ακολουθεί στην αρχή ανοδική πορεία και στη συνέχεια παγιδεύεται σε παράλληλη πορεία με τον πυθμένα ενώ η θερμοκρασία του έχει ήδη εξισωθεί κατά την άνοδό του (περίπου στα 7 μέτρα βάθους).

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005

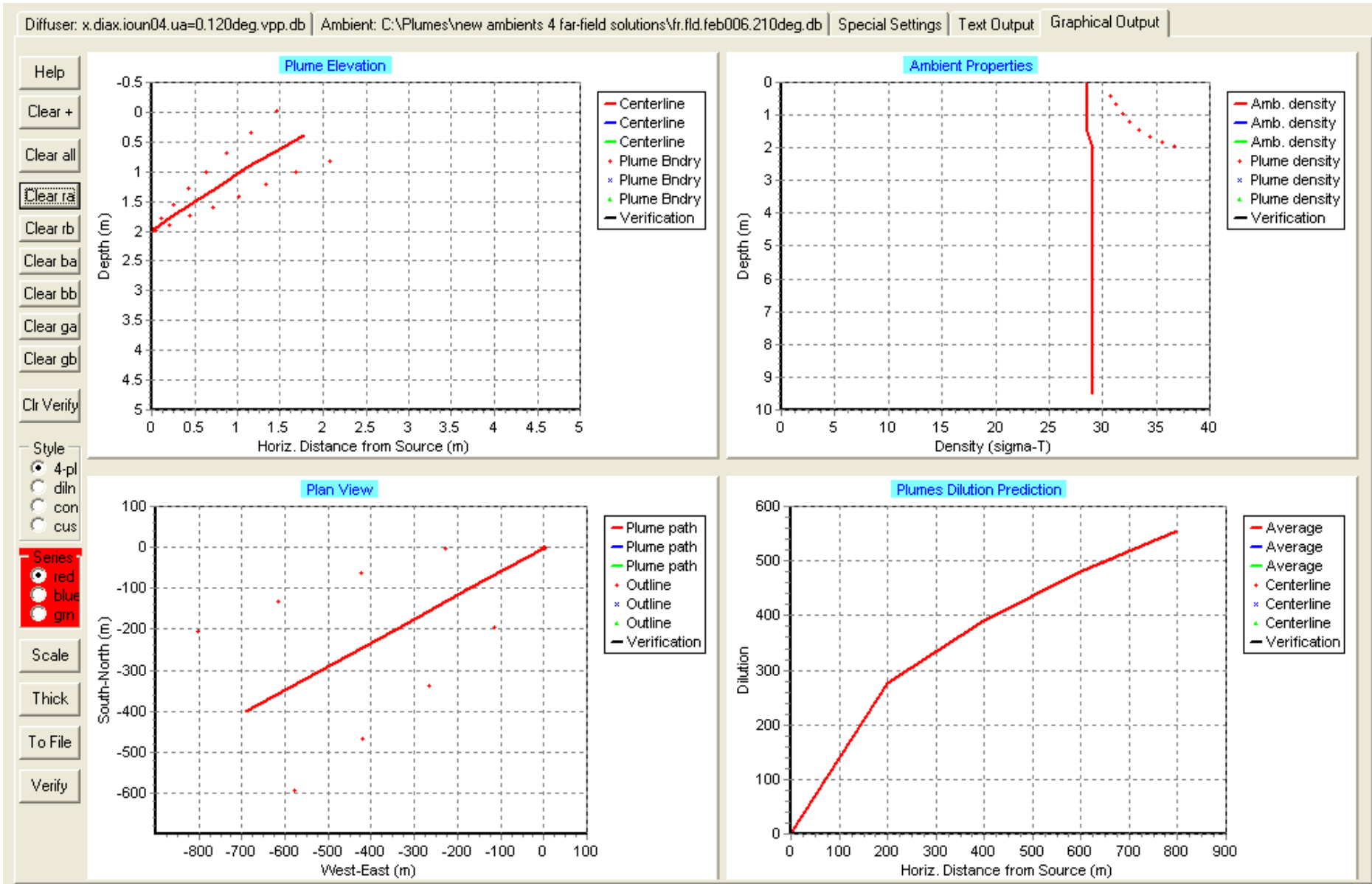


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°

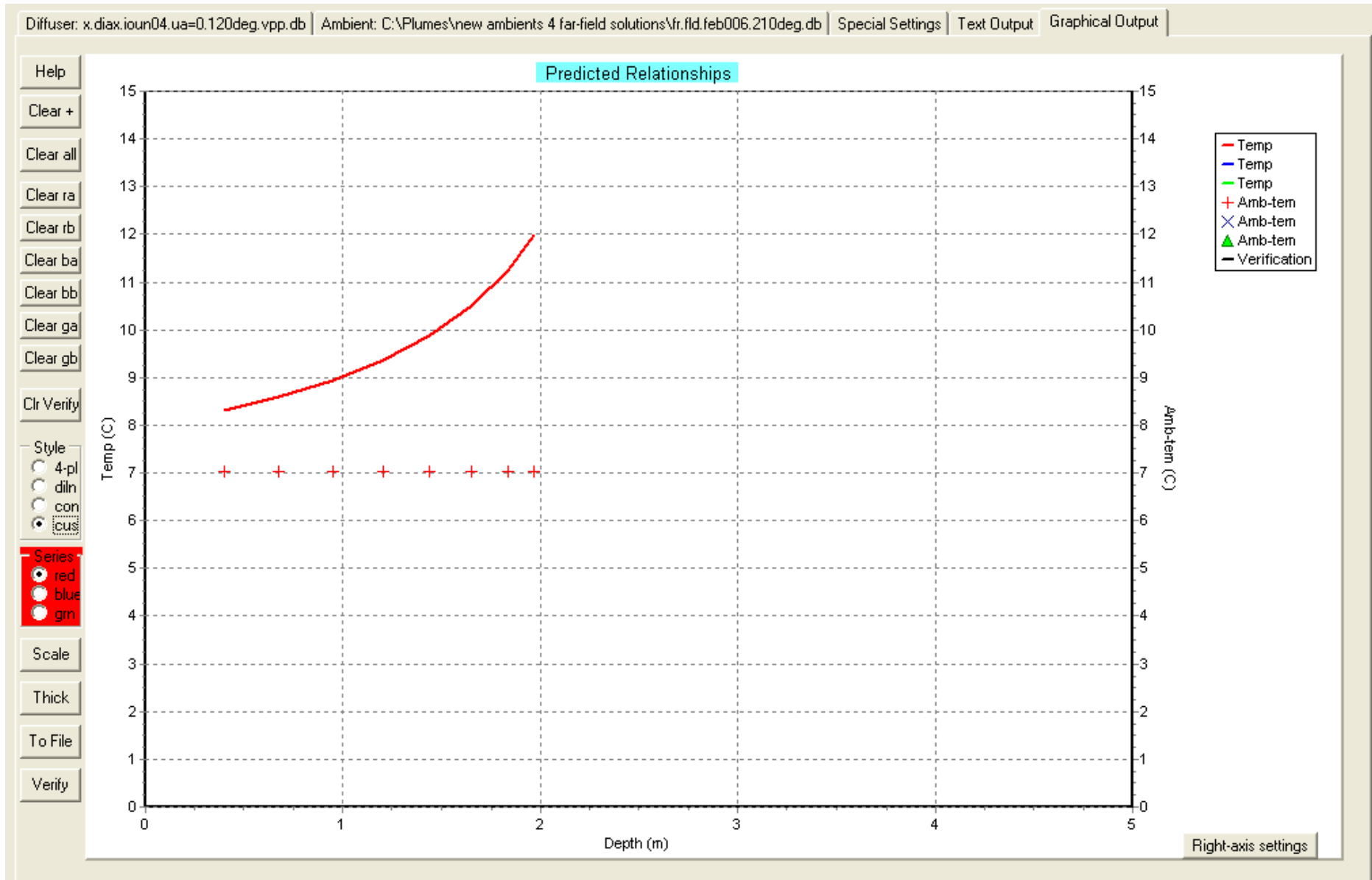


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005

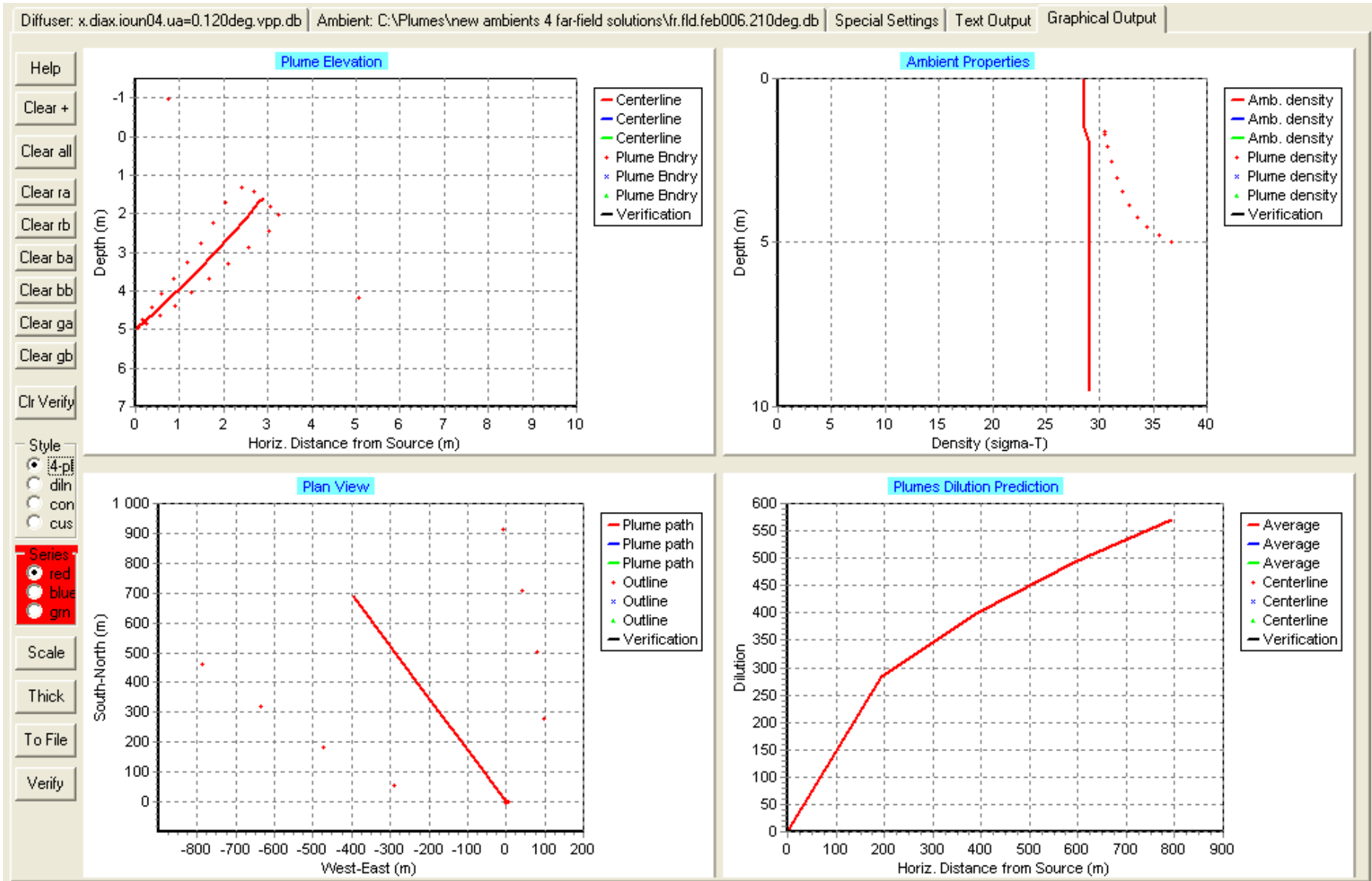


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

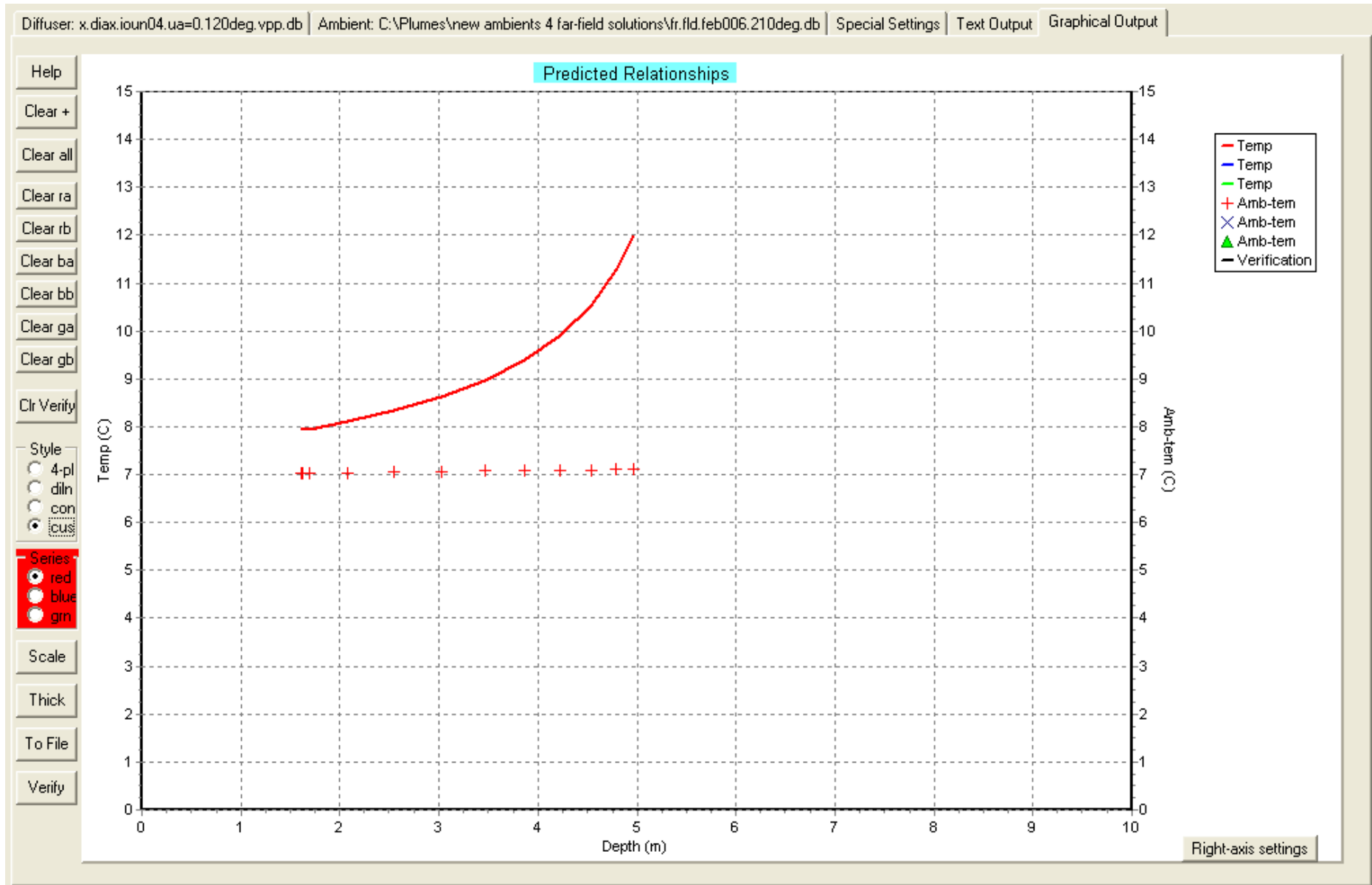


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

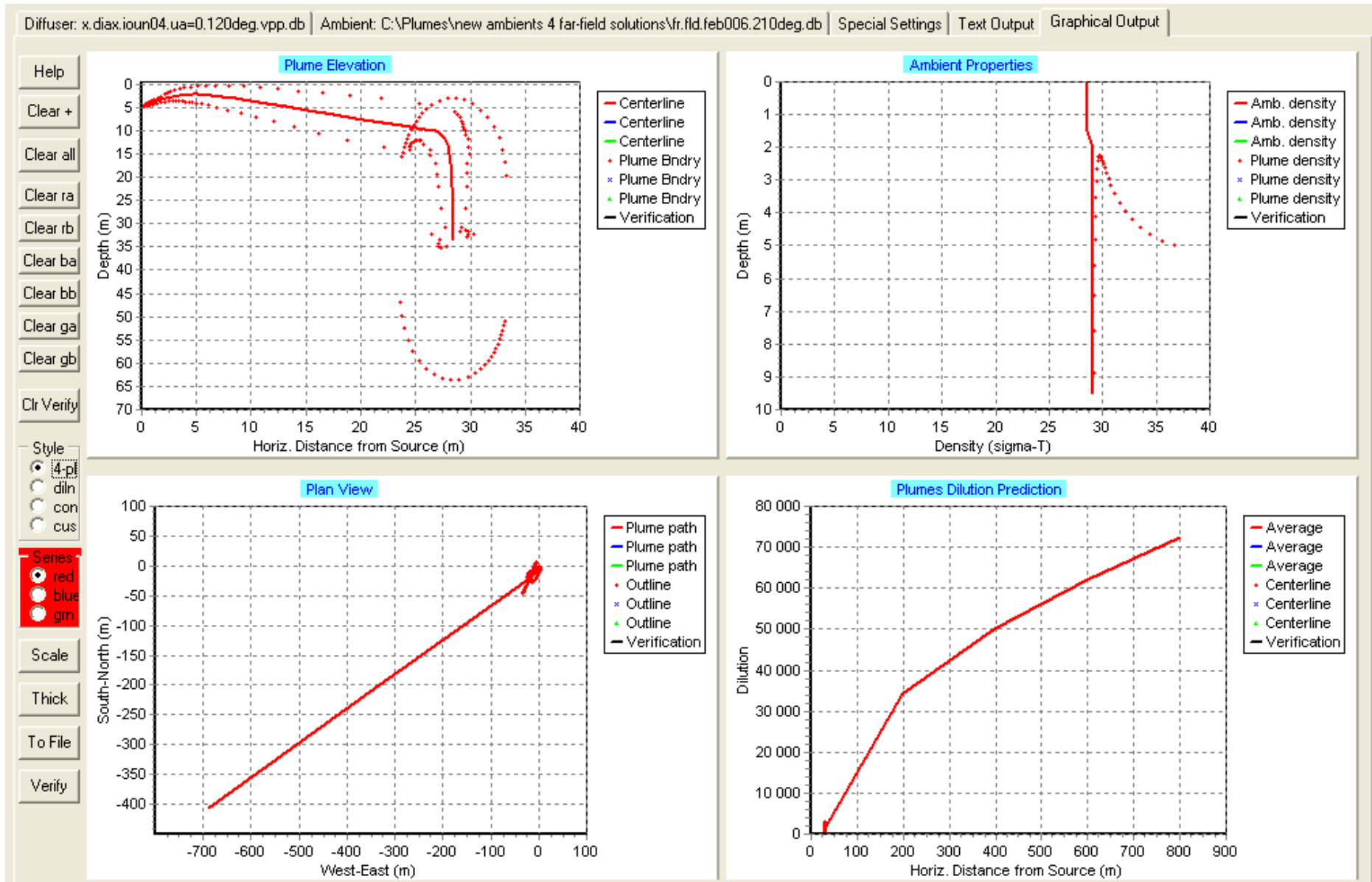
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



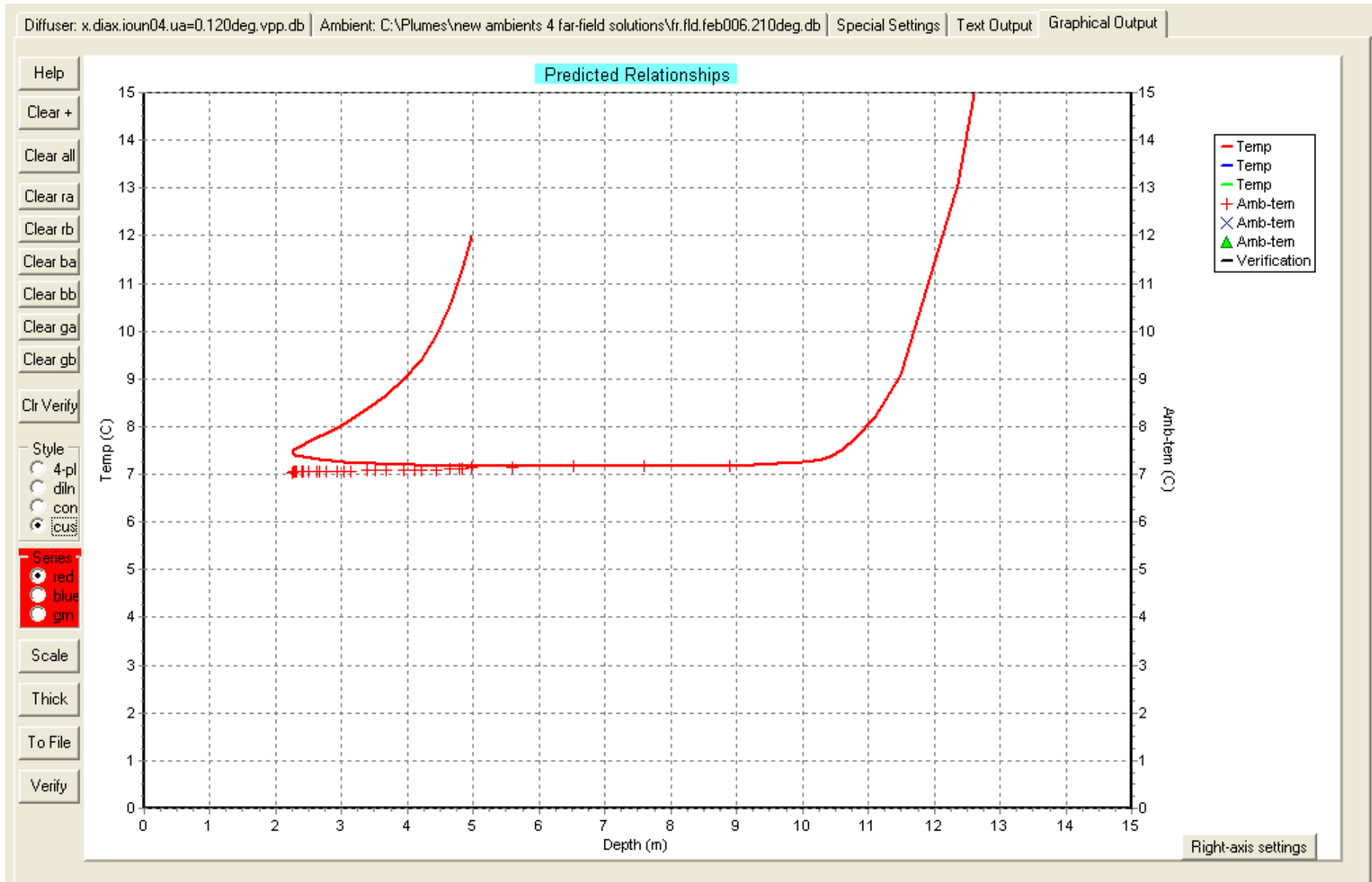
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



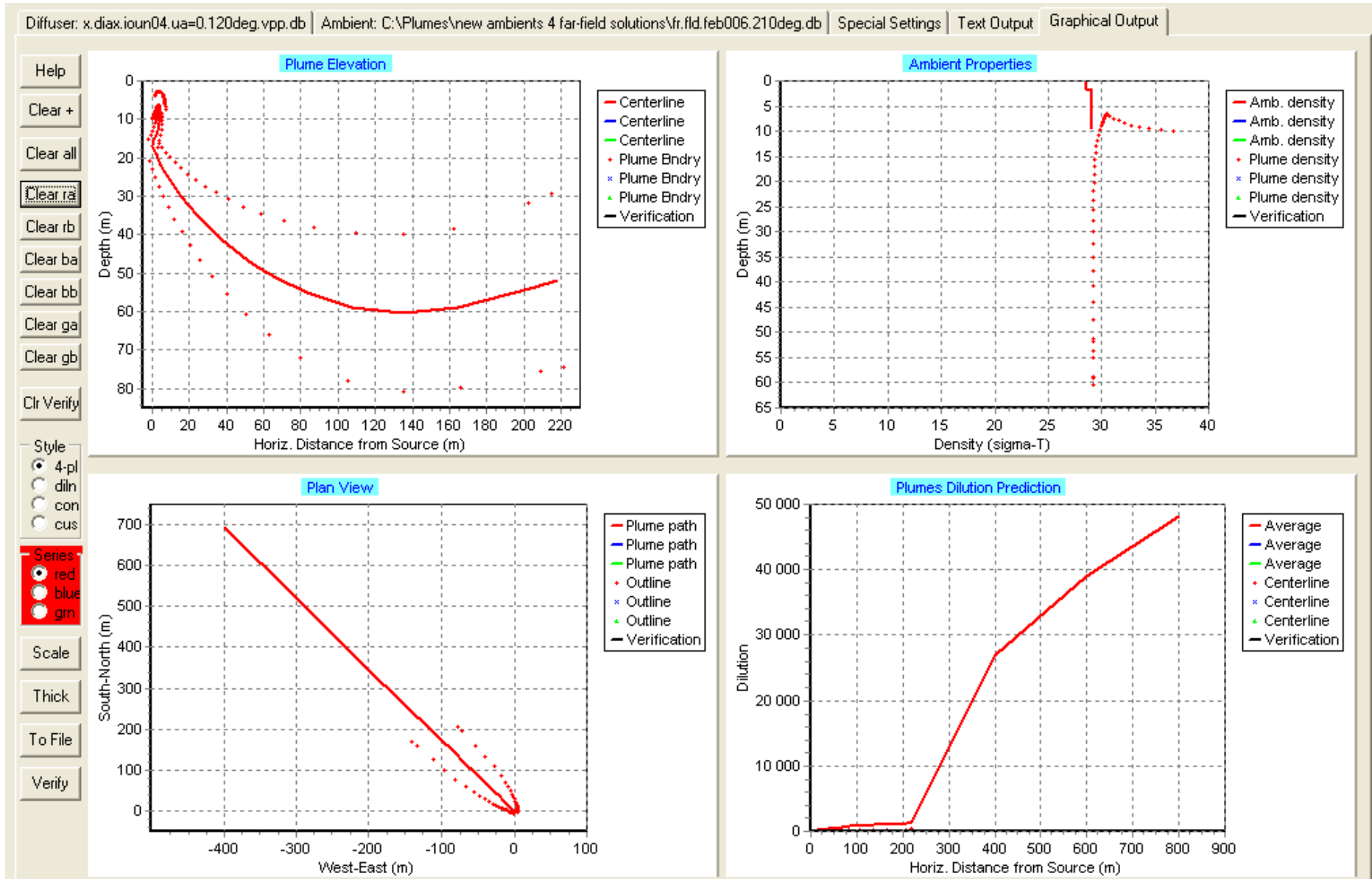
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



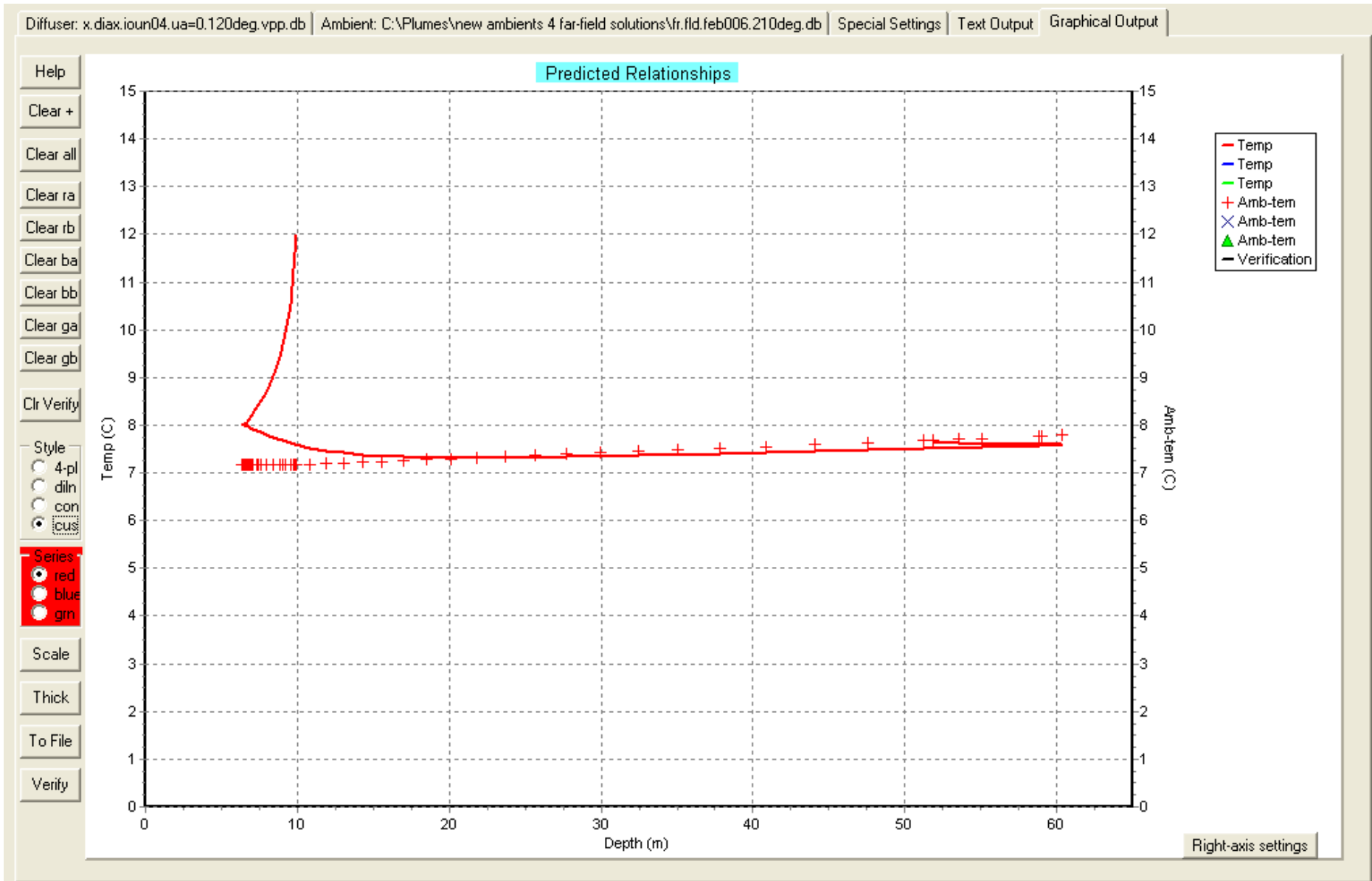
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

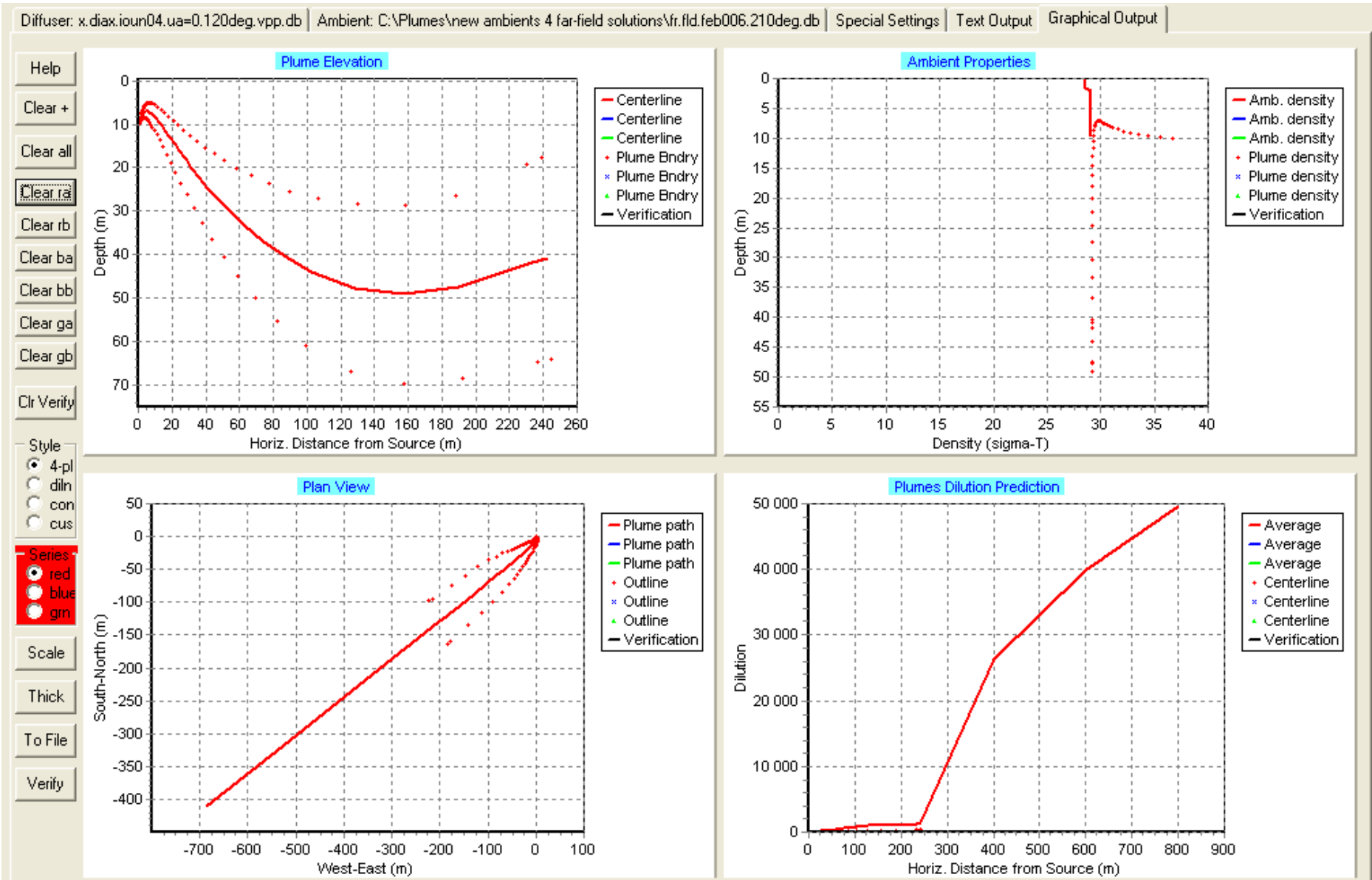


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



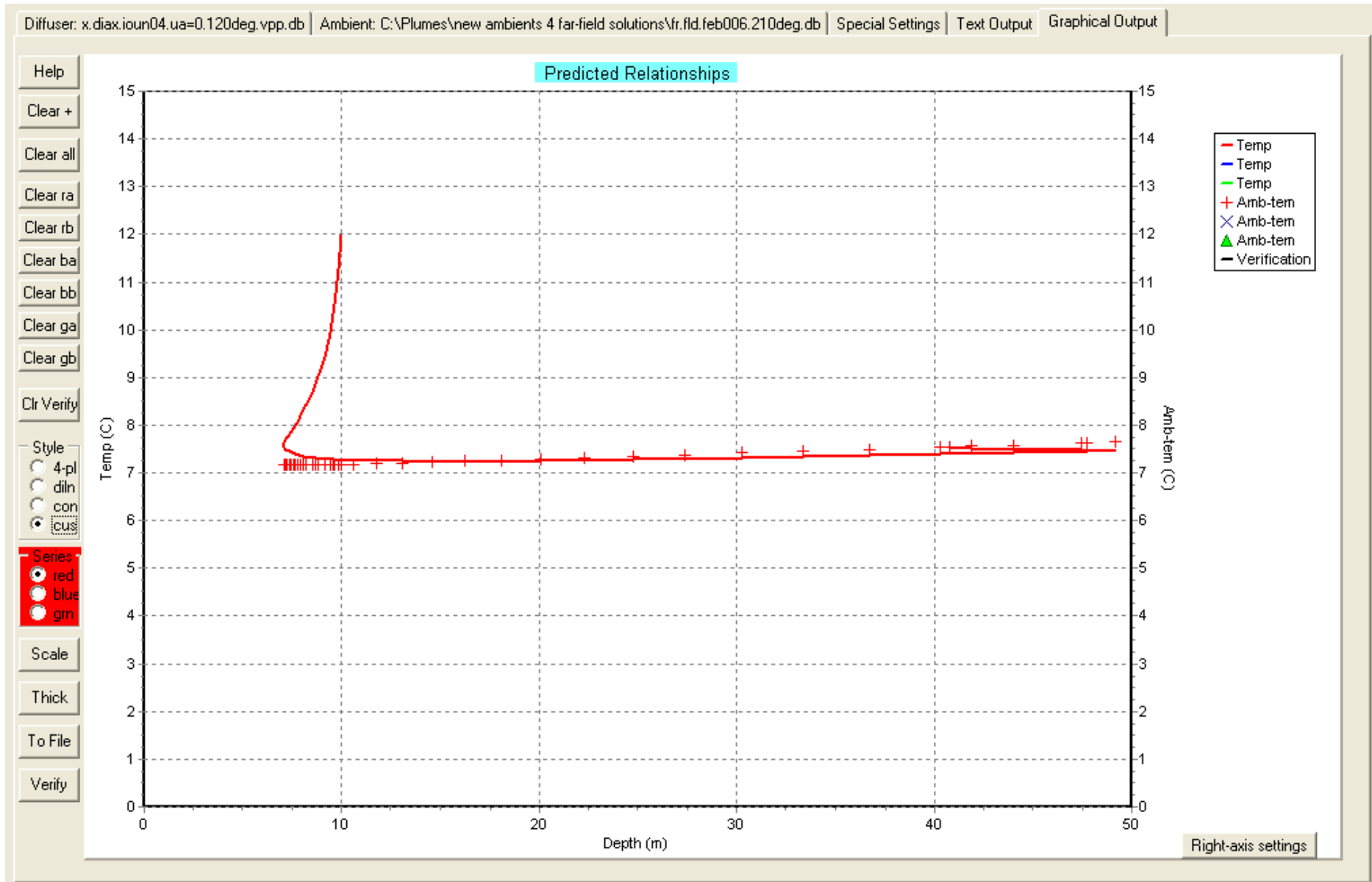
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Φεβρουάριος 2005**

Βάθος εκροής 2m

Το εκτοξευμένο πλούμιο φτάνει στην επιφάνεια της θάλασσας σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού. Το Visual Plumes αδυνατεί να μας δώσει στοιχεία για την εξέλιξη του φαινομένου όσον αφορά την πορεία του πλουμίου, τη θερμοκρασία και την πυκνότητά του, από τη στιγμή που φτάνει στην επιφάνεια και αρχίζει η περαιτέρω βύθισή του προς τον πυθμένα. Η σύγκρισή των τιμών των πυκνοτήτων όμως μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πλούμιο βυθίζεται σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής και πολύ πιθανώς εγκλωβίζεται στον πυθμένα. Παρατηρούμε όμως πως η διαφορά θερμοκρασίας του αποβαλλόμενου θερμού νερού σε σχέση με το περιβάλλον βρίσκεται ήδη μέσα στα ορισμένα, κατά τις αρχικές παραδοχές, επιτρεπτά όρια ($\Delta T=1,5^{\circ}\text{C}$) όταν το πλούμιο φτάσει στην επιφάνεια, οπότε η ακόλουθη βύθισή του αναμένεται να οδηγήσει σε γρήγορη εξισορρόπηση των θερμοκρασιών.

Βάθος εκροής 5m

Για γωνία ρεύματος 210° η θερμοκρασία και η πυκνότητα του αποβαλλόμενου νερού γρήγορα εξισώνεται με τις αντίστοιχες του θαλάσσιου αποδέκτη, με αποτέλεσμα το πλούμιο να εγκλωβίζεται σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού και σε παράλληλη με τον πυθμένα πορεία, ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία του πλουμίου έχει ήδη εξισωθεί με αυτή του περιβάλλοντος (οι τιμές των διαγραμμάτων για βάθη μεγαλύτερα των 7 μέτρων προφανώς δεν είναι αποδεκτές και το πρόγραμμα οδηγείται στην προβολή 'παράλογων' τιμών λόγω ελλειπών στοιχείων αναφορικά με τη βυθομετρία του περιβάλλοντος).

Για γωνία ρεύματος 120° παρατηρείται επίσης γρήγορη εξίσωση θερμοκρασιών αλλά λόγω διαφοράς πυκνότητας παρατηρείται βύθιση του πλουμίου προς τον πυθμένα σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής, με ταυτόχρονη εξισορρόπηση των θερμοκρασιακών διαφορών, καθώς αυτές δεν υπερβαίνουν τον 1°C .

Βάθος εκροής 10m

Παρατηρούμε ότι άσχετα από την κατεύθυνση των ρευμάτων το πλούμιο ακολουθεί στην αρχή ανοδική πορεία και στη συνέχεια παγιδεύεται στον πυθμένα ενώ η θερμοκρασία του έχει ήδη απολύτως εξισωθεί κατά την άνοδό του (περίπου στα 7 μέτρα βάθους).

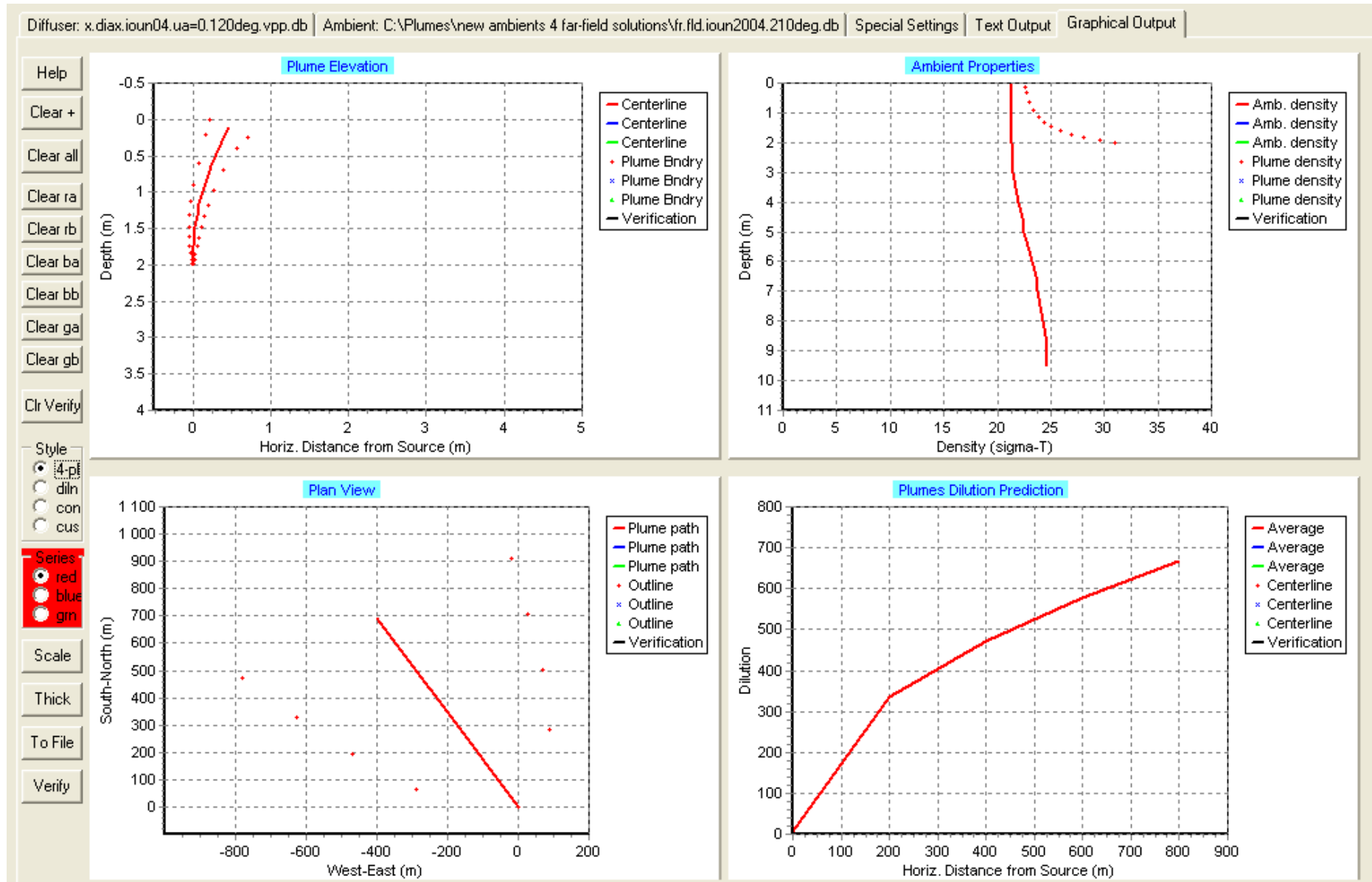
2^η ΛΥΣΗ: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ

- Παροχή $Q=0,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Οριζόντια γωνία 300°
- Διάμετρος ανυψωτήρων $d=129,2 \text{ mm}$
- Πλήθος ανυψωτήρων $N=13$
- Απόσταση μεταξύ ανυψωτήρων για βάθη εκροής 2,5,10 m είναι αντίστοιχα 0,5m , 1,25m και 2,5 m
- Ανύψωση εξόδων για βάθη εκροής 2,5,10 m είναι 0,2m , 0,5m και 1m αντίστοιχα
- Κλίση ανυψωτήρων 90°

Στη συγκεκριμένη περίπτωση προτείνεται η χρήση διαχυτήρα έτσι ώστε να επιτευχθεί γρηγορότερη και καλύτερη ανάμιξη του πλουμίου με το θαλάσσιο περιβάλλον με στόχο την αποφυγή εγκλωβισμού του πλουμίου στον πυθμένα της θάλασσας λόγω μεγάλων διαφορών στις τιμές αλατότητας, ενώ ταυτόχρονα η διαφορά των θερμοκρασιών βρίσκεται έξω από τα ορισμένα επιτρεπτά όρια ($\Delta T > 1,5^\circ\text{C}$).

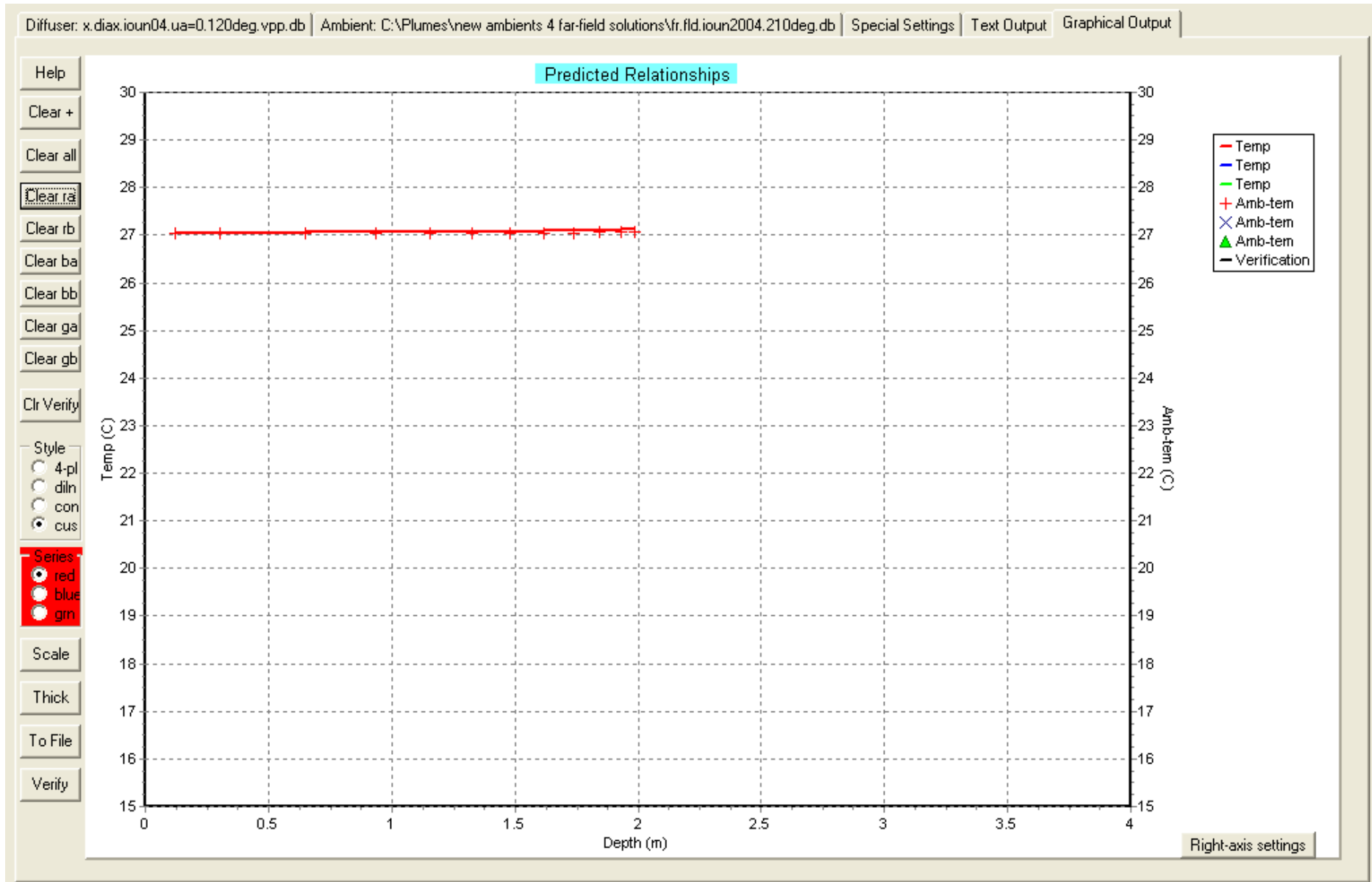
Η χρήση διαχυτήρα συνήθως γίνεται όταν τα λύματα περιέχουν ρυπαντές και θέλουμε να πετύχουμε μεγαλύτερη και γρηγορότερη διάλυση των αποβλήτων στον αποδέκτη (μικρές συγκεντρώσεις ρυπογόνων ουσιών στις εξόδους των ανυψωτήρων). Στην περίπτωσή μας όμως τα λύματα δεν περιέχουν ρυπαντικές ουσίες οπότε δε μας απασχολεί η επίτευξη καλύτερης διάλυσης των λυμάτων στο θαλάσσιο αποδέκτη παρά μόνο η εξισορρόπηση της θερμοκρασίας του αποβαλλόμενου νερού με αυτή του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε μικρά βάθη.

Άρα αυτό που πρέπει να προσεχθεί στην προκειμένη λύση είναι το κατά πόσο μπορεί η χρήση της διάταξης του διαχυτήρα πράγματι να συμβάλει στην αποτελεσματική διασπορά του θερμικού πλουμίου, όσον αφορά την απαιτούμενη, όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενες ενότητες, ταυτόχρονη εξισορρόπηση των διαφορών στη θερμοκρασία, την αλατότητα και την πυκνότητα.

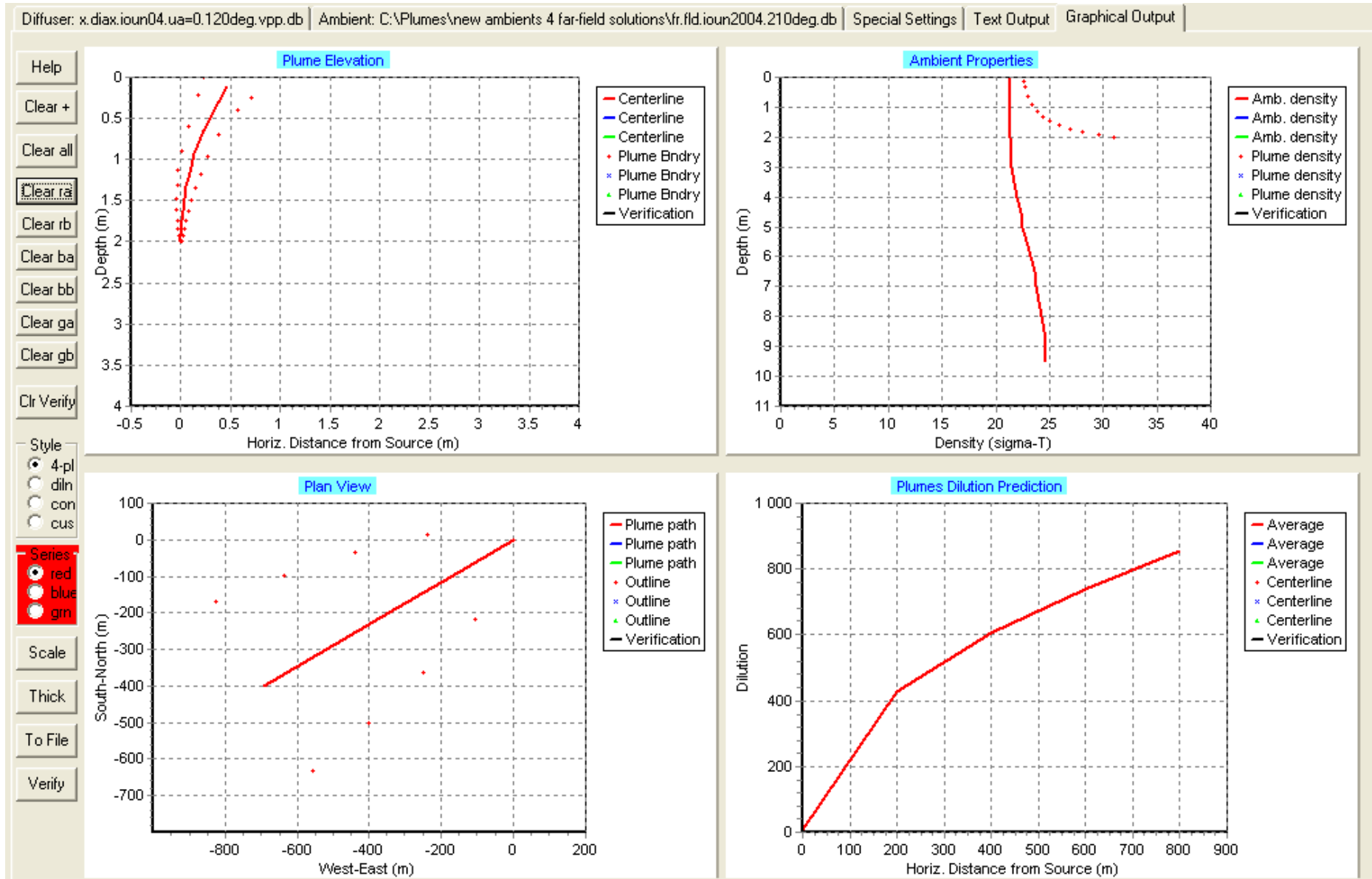


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΣΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

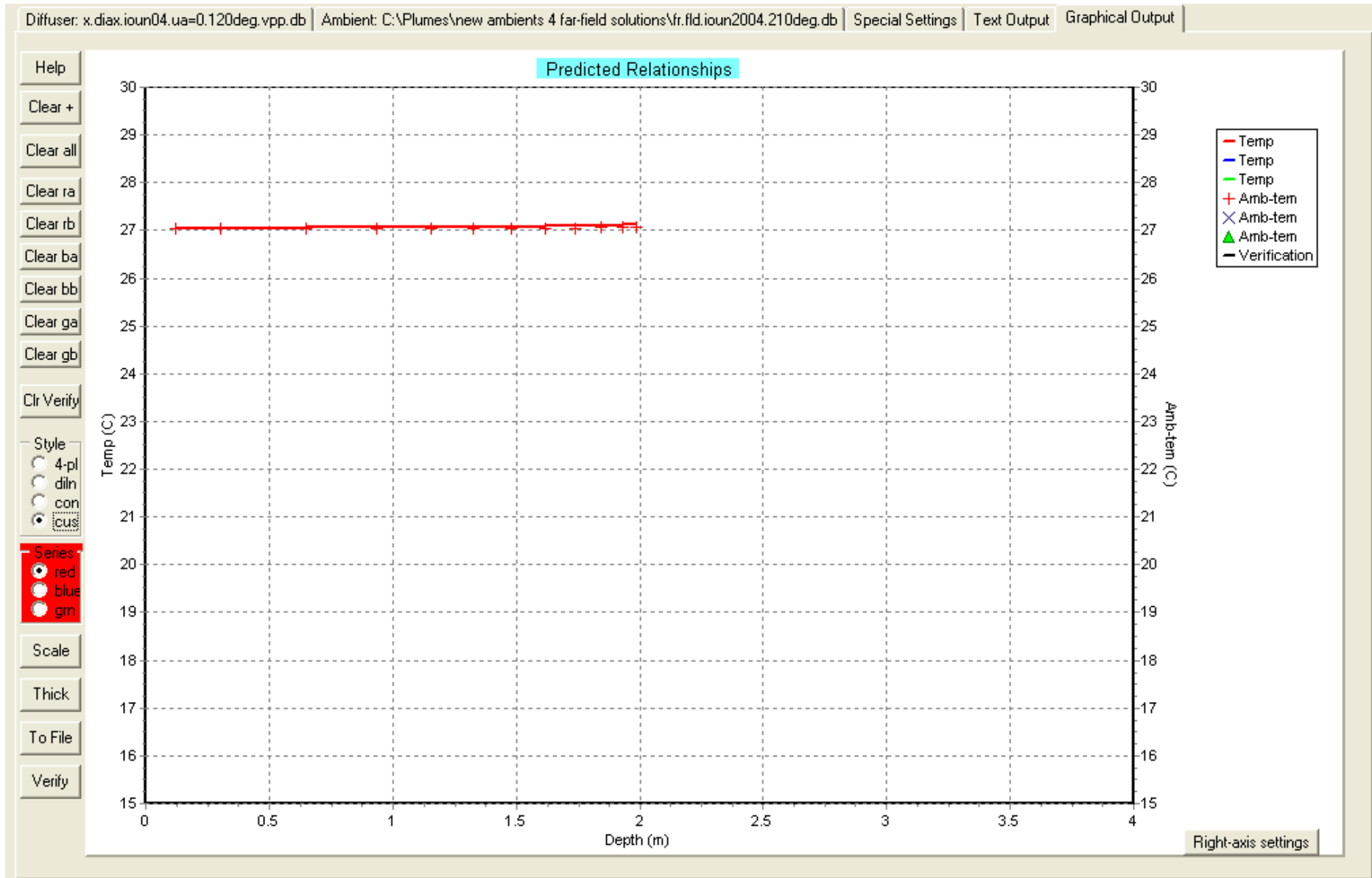
ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



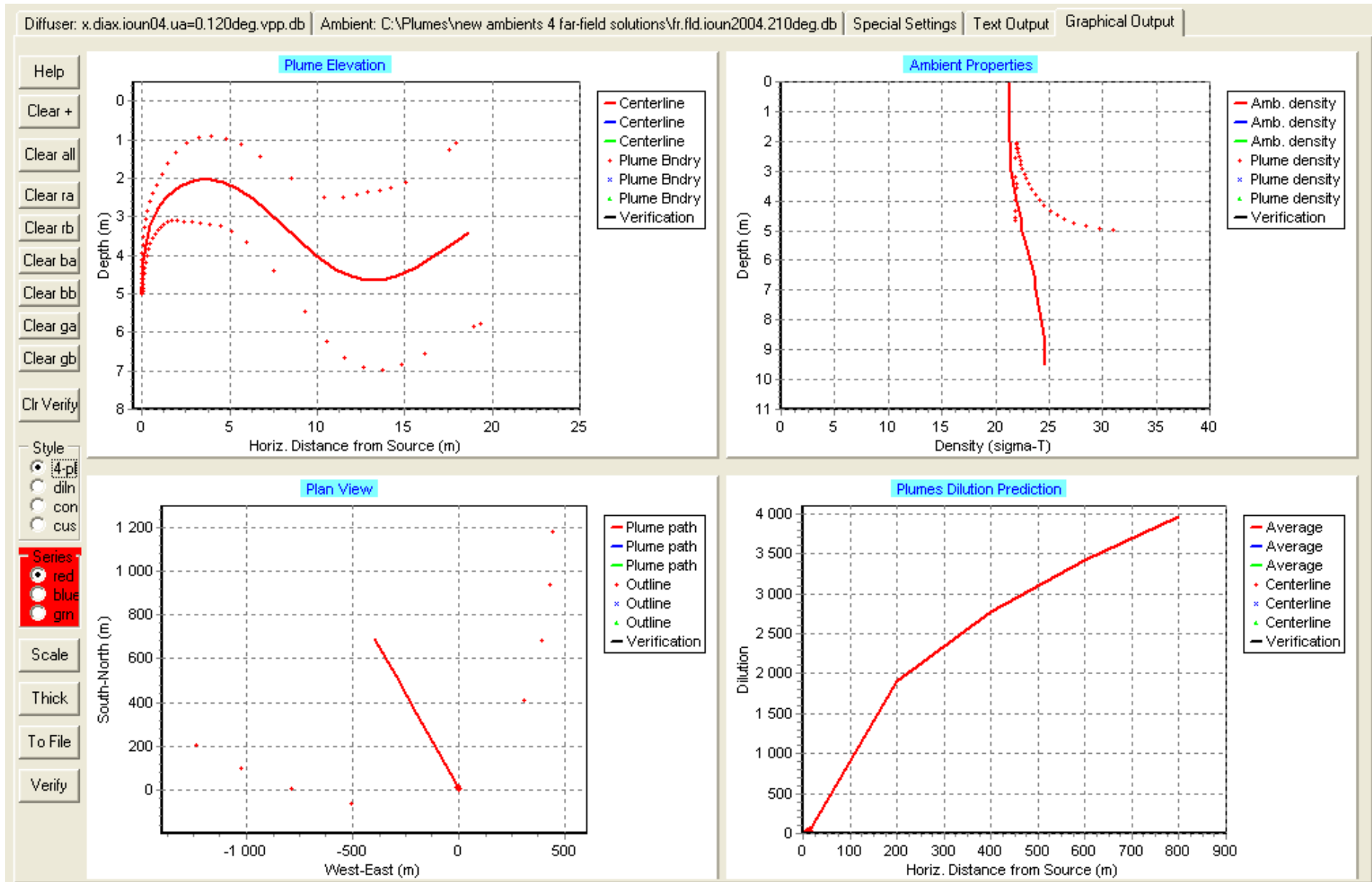
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

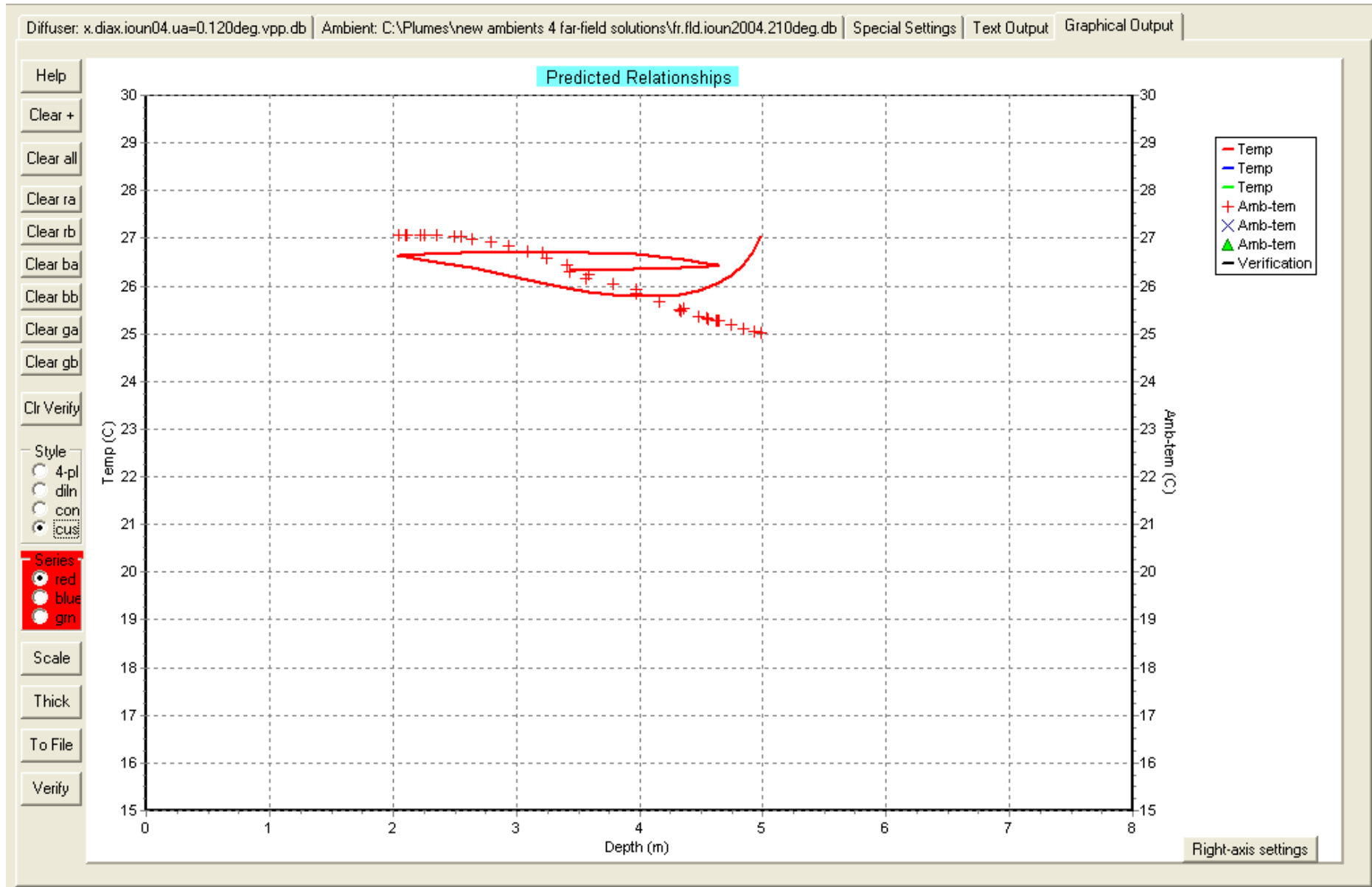


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

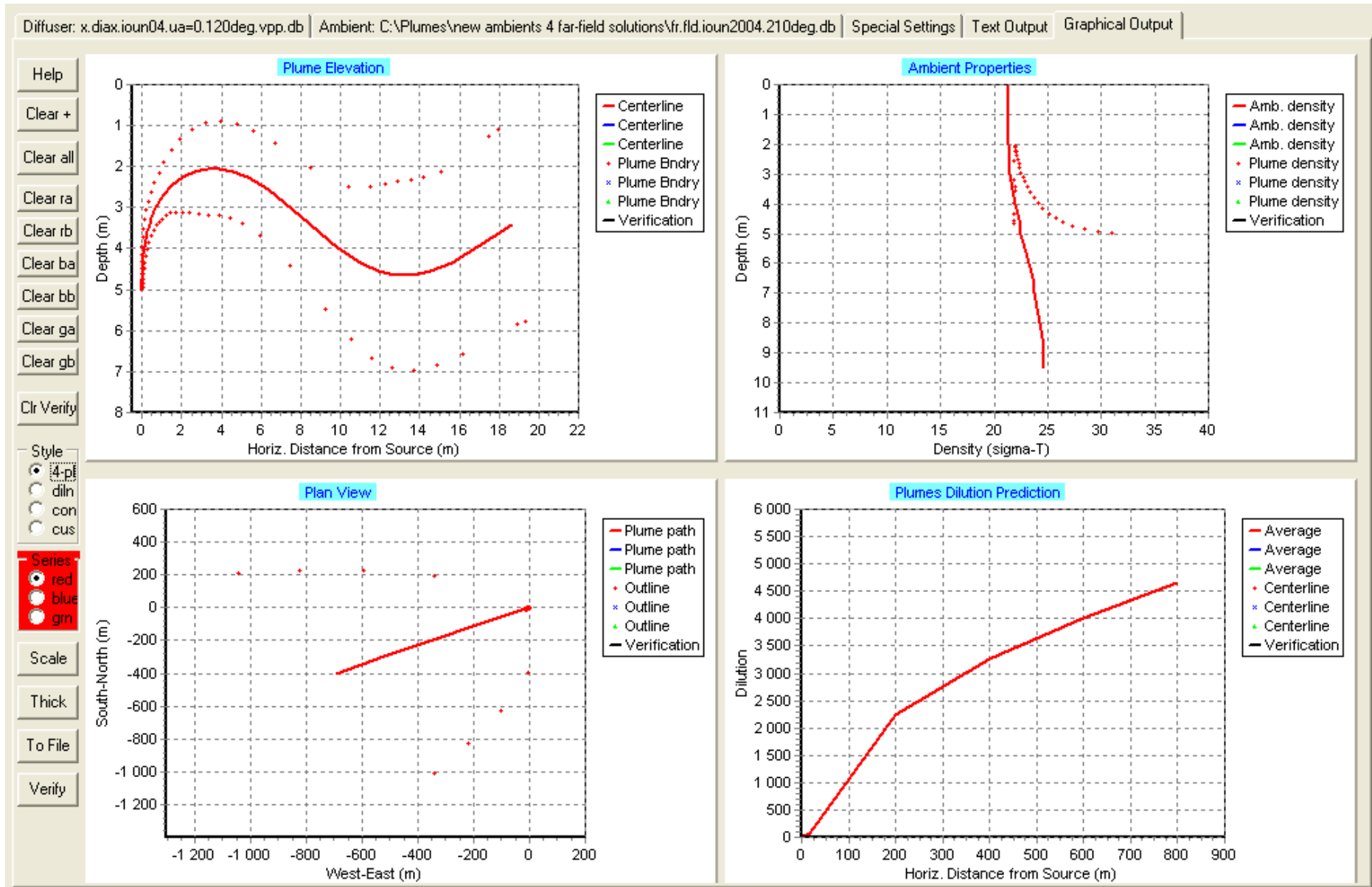


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

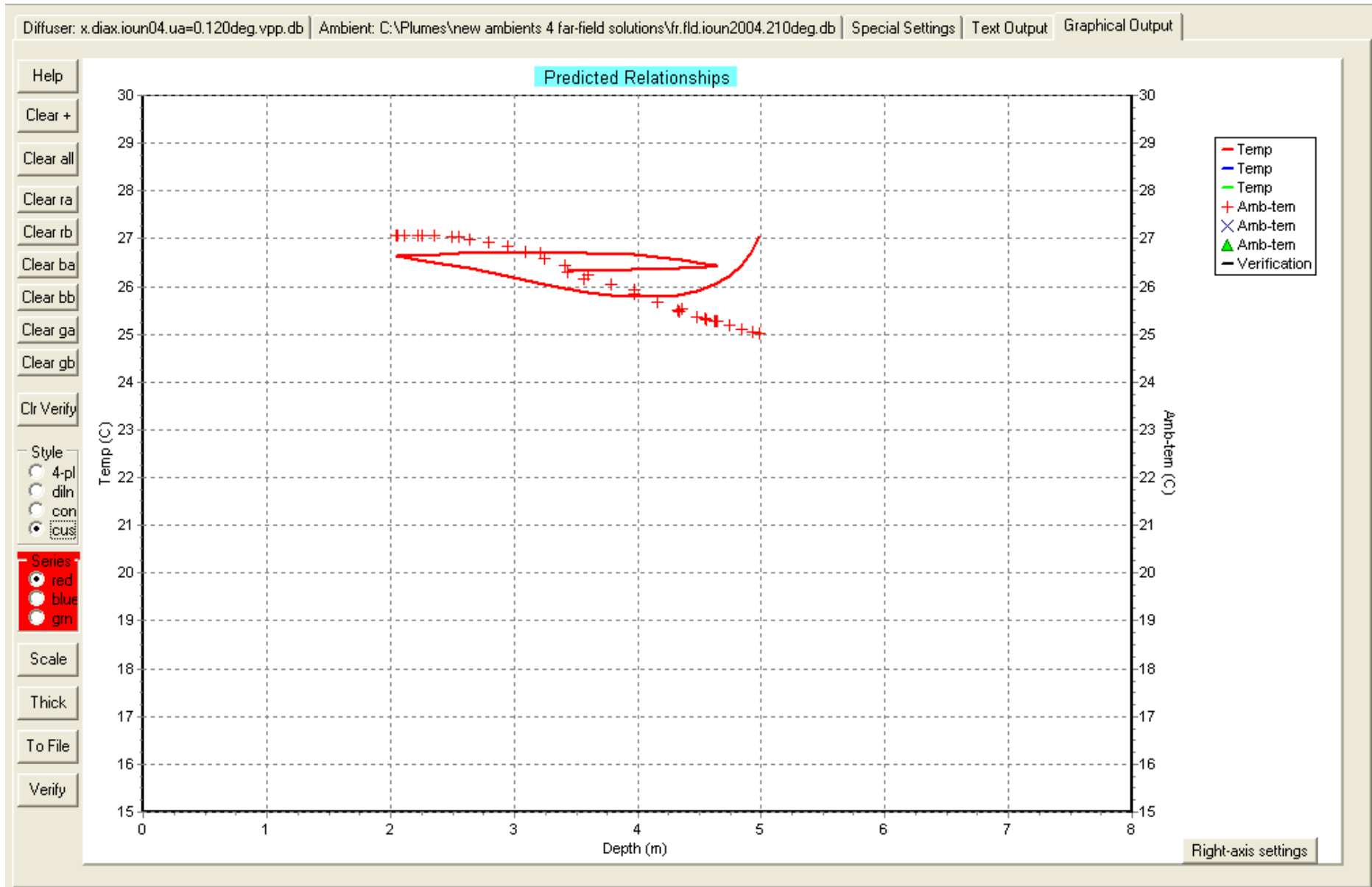
ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



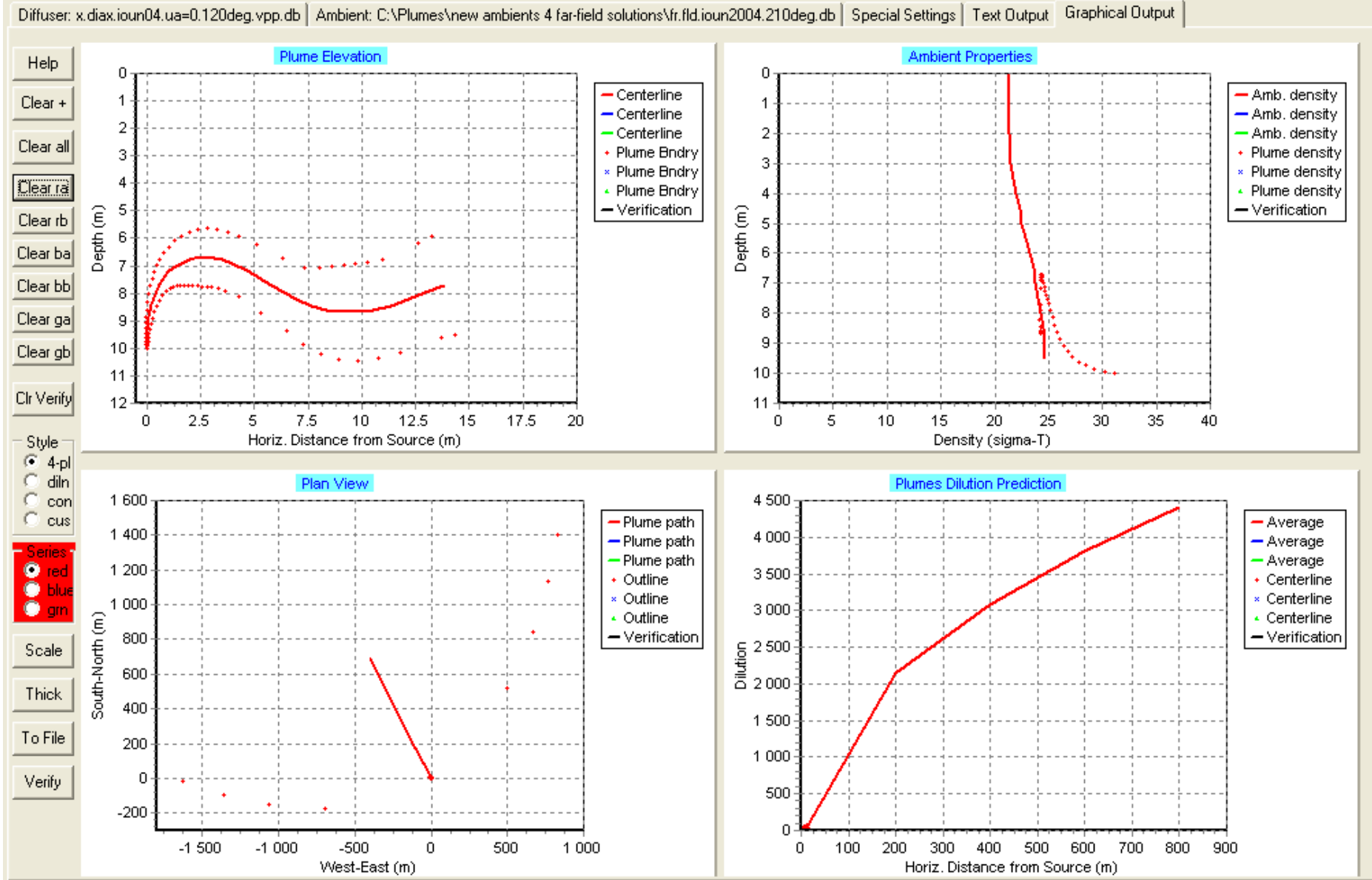
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°

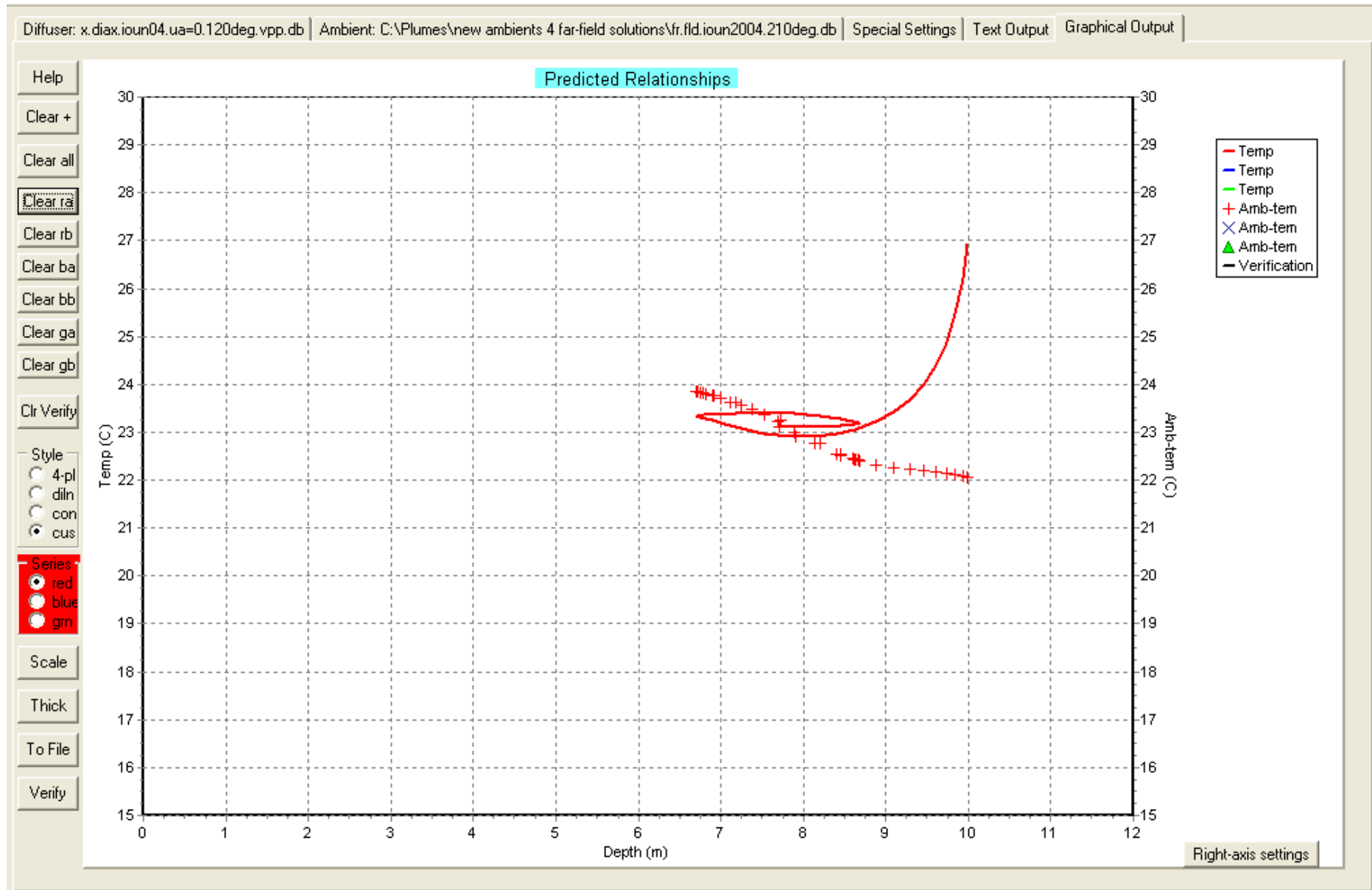


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

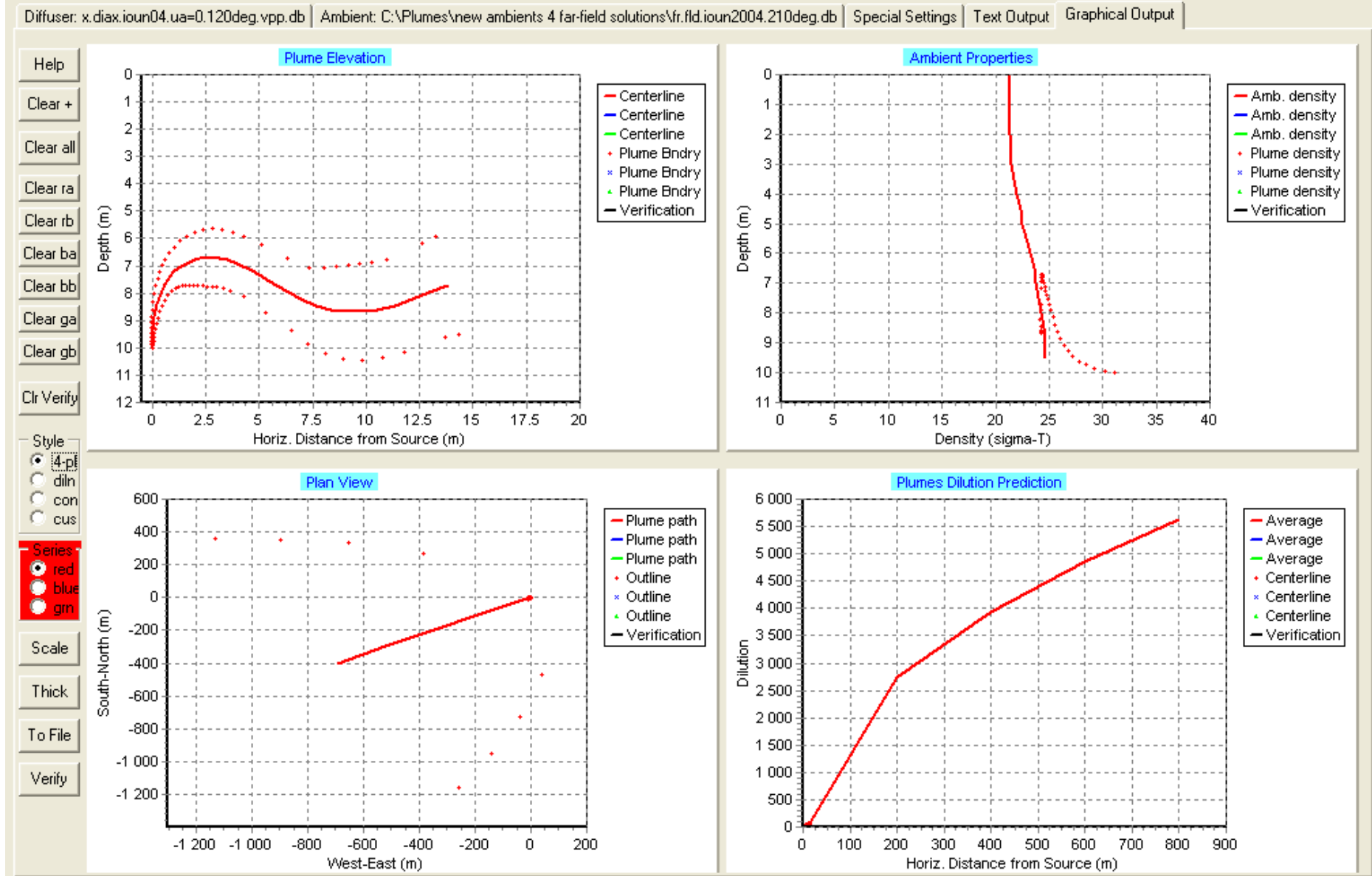


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

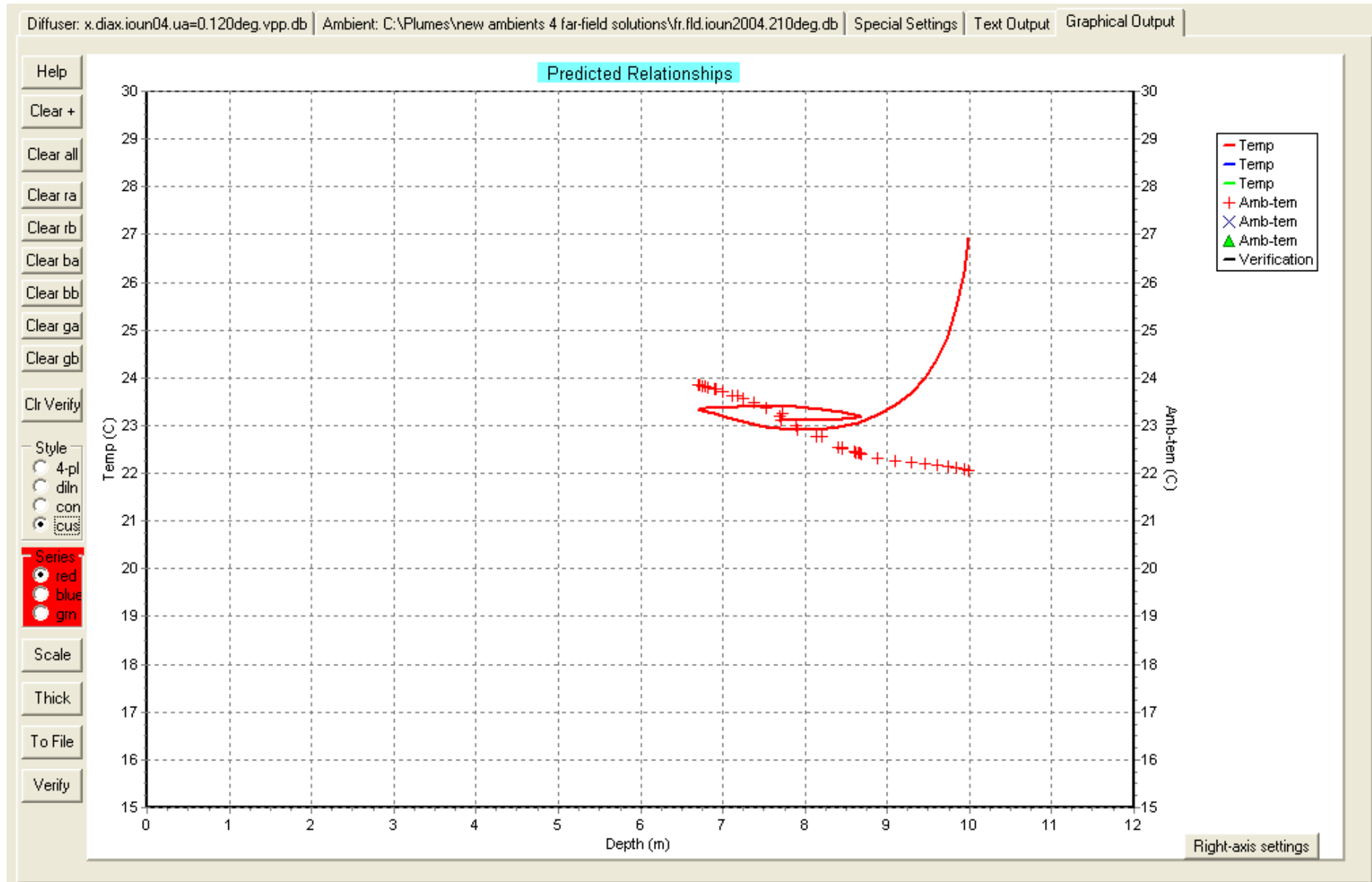


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Ιούνιος 2004**

Βάθος εκροής 2m

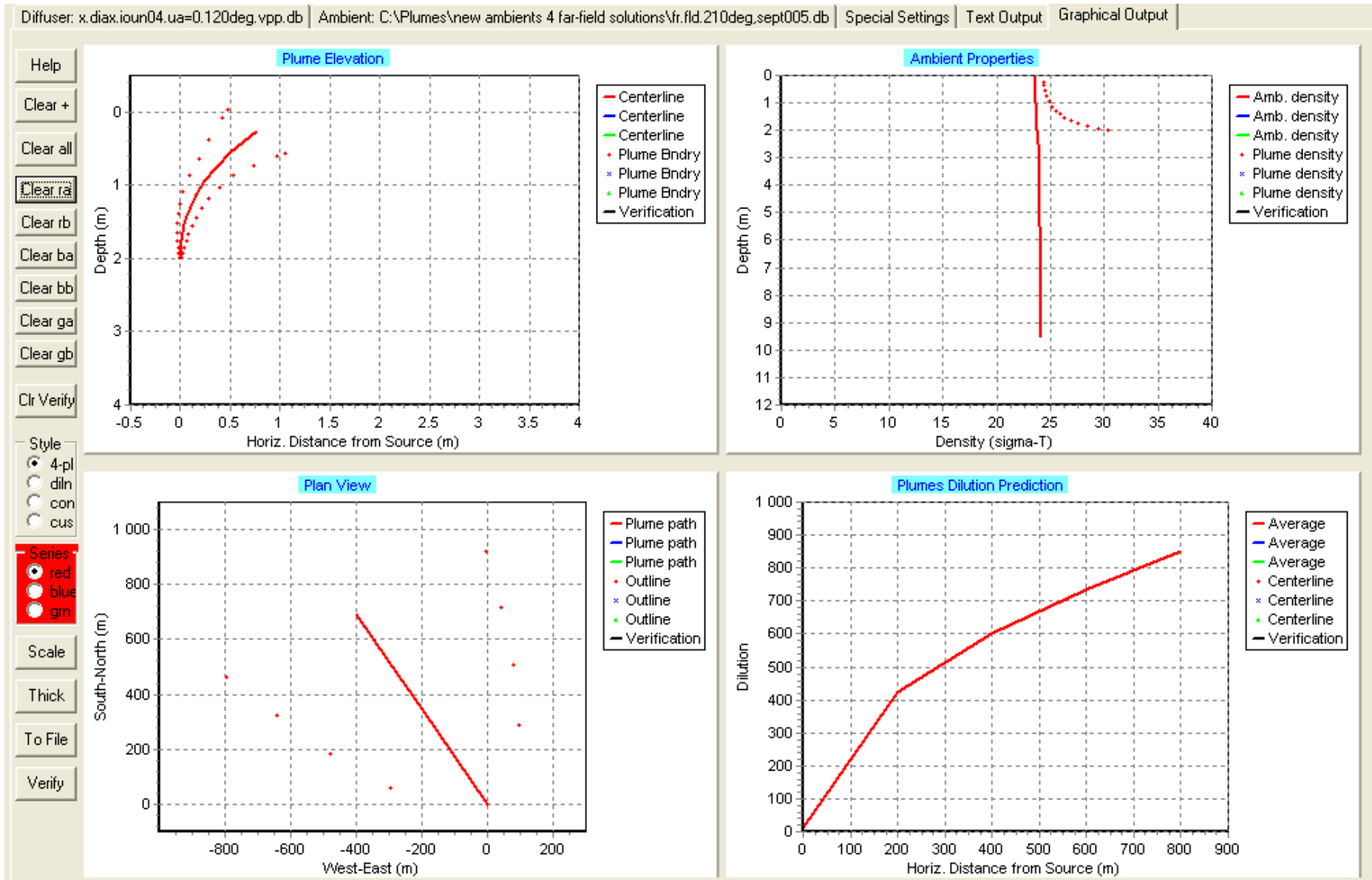
Το εκτοξευμένο πλούμιο φτάνει στην επιφάνεια της θάλασσας σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού. Το Visual Plumes αδυνατεί να μας δώσει στοιχεία για την εξέλιξη του φαινομένου όσον αφορά την πορεία του πλουμίου, τη θερμοκρασία και την πυκνότητά του, από τη στιγμή που φτάνει στην επιφάνεια και αρχίζει η περαιτέρω βύθισή του προς τον πυθμένα. Η σύγκρισή των τιμών των πυκνοτήτων όμως μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πλούμιο βυθίζεται σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής και εγκλωβίζεται στον πυθμένα. Παρατηρούμε όμως πως η θερμοκρασία του αποβαλλόμενου θερμού νερού διαφέρει ελάχιστα από αυτή του θαλάσσιου περιβάλλοντος και εξισώνεται αμέσως, καθώς ο Ιούνιος παρουσιάζει την υψηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία περιβάλλοντος και λόγω της έντονης στρωμάτωσης η μεταβολή στην θερμοκρασία του αντλούμενου νερού (+5°C) δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να ξεπεραστεί η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας.

Βάθος εκροής 5m

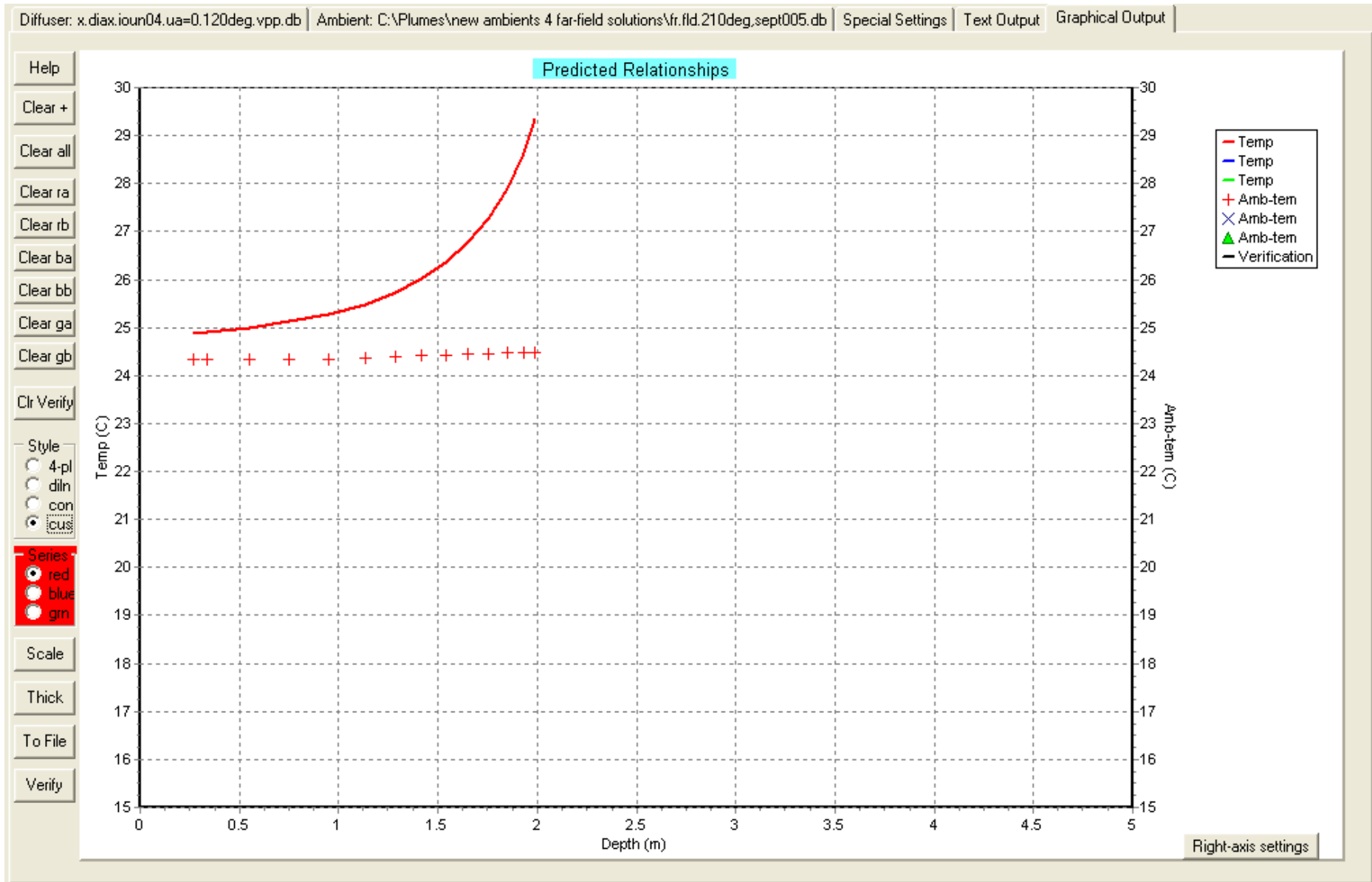
Λόγω της χρήσης του διαχυτήρα παρατηρείται καλύτερη διασπορά του πλουμίου και εγκλωβισμός αυτού σε παράλληλη με τον πυθμένα πορεία σε βάθη από 2 έως 5 μέτρα με αντίστοιχη εξίσωση των θερμοκρασιακών τιμών σε κοντινή απόσταση από το σημείο εκροής.

Βάθος εκροής 10m

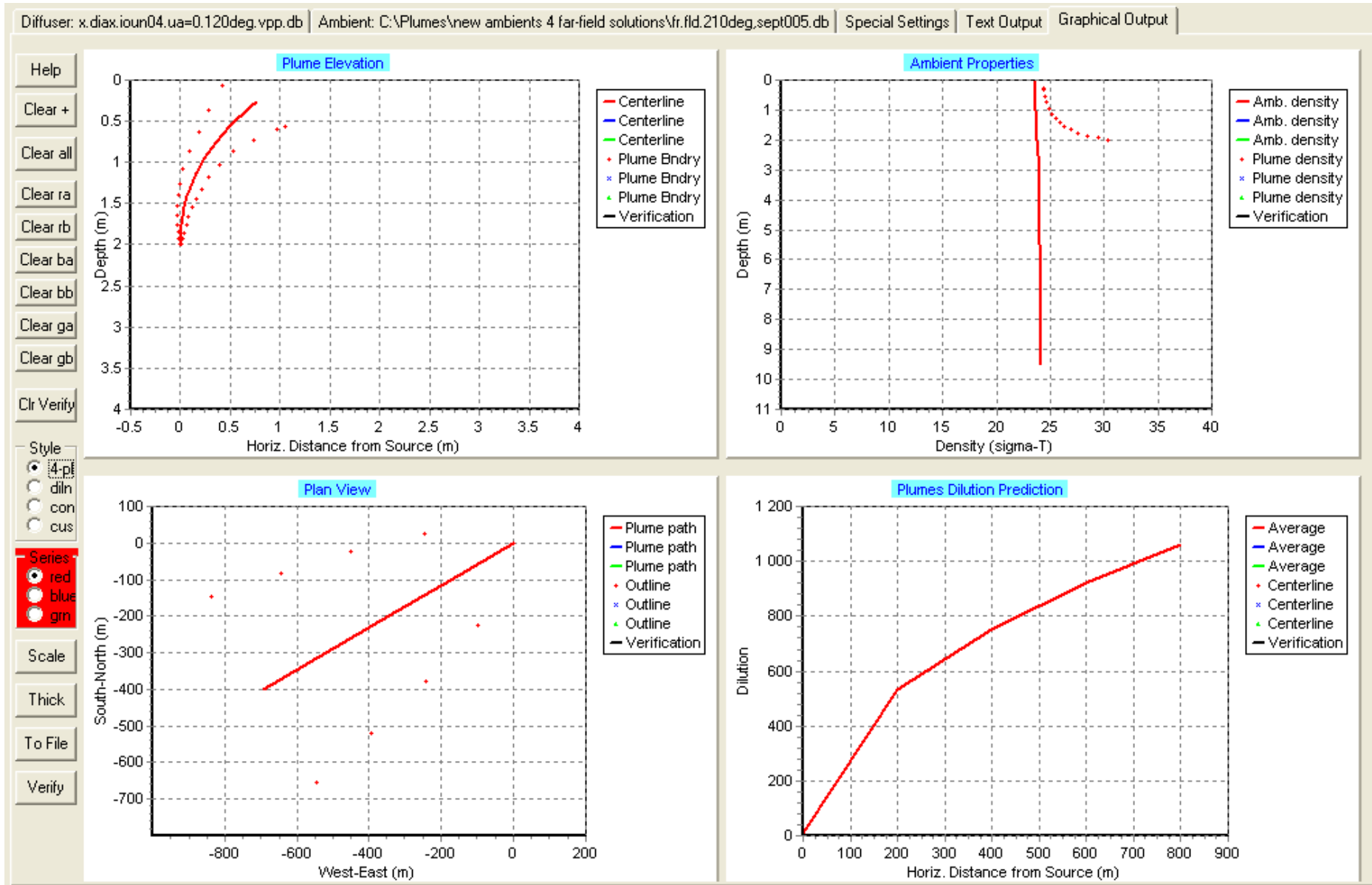
Παρατηρείται ίδια συμπεριφορά πλουμίου όπως και για την περίπτωση πέντε μέτρων βάθους εκροής με αντίστοιχη παγίδευση του πλουμίου από 7 έως 10 μέτρα και γρήγορη εξίσωση θερμοκρασιών.



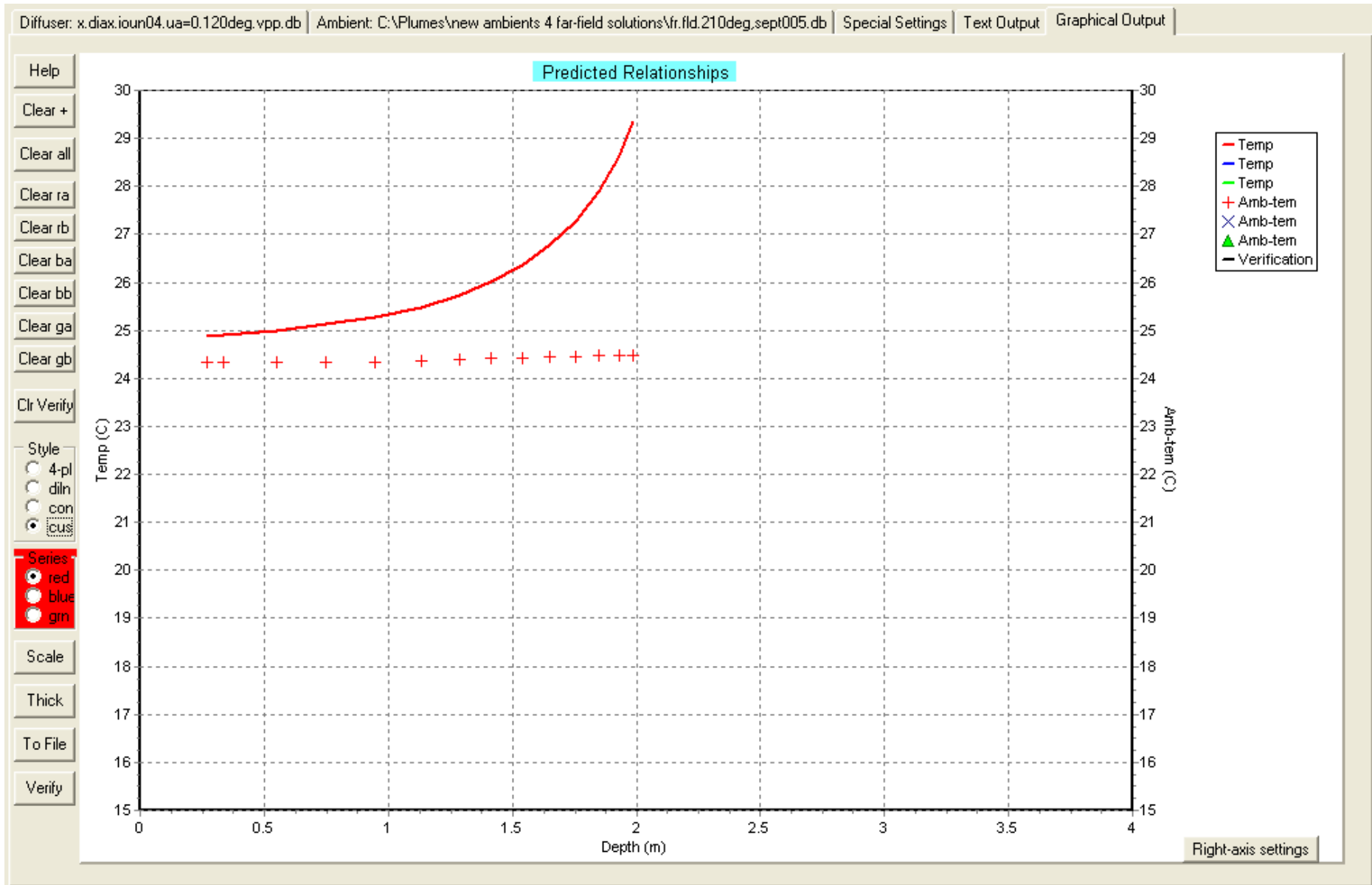
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

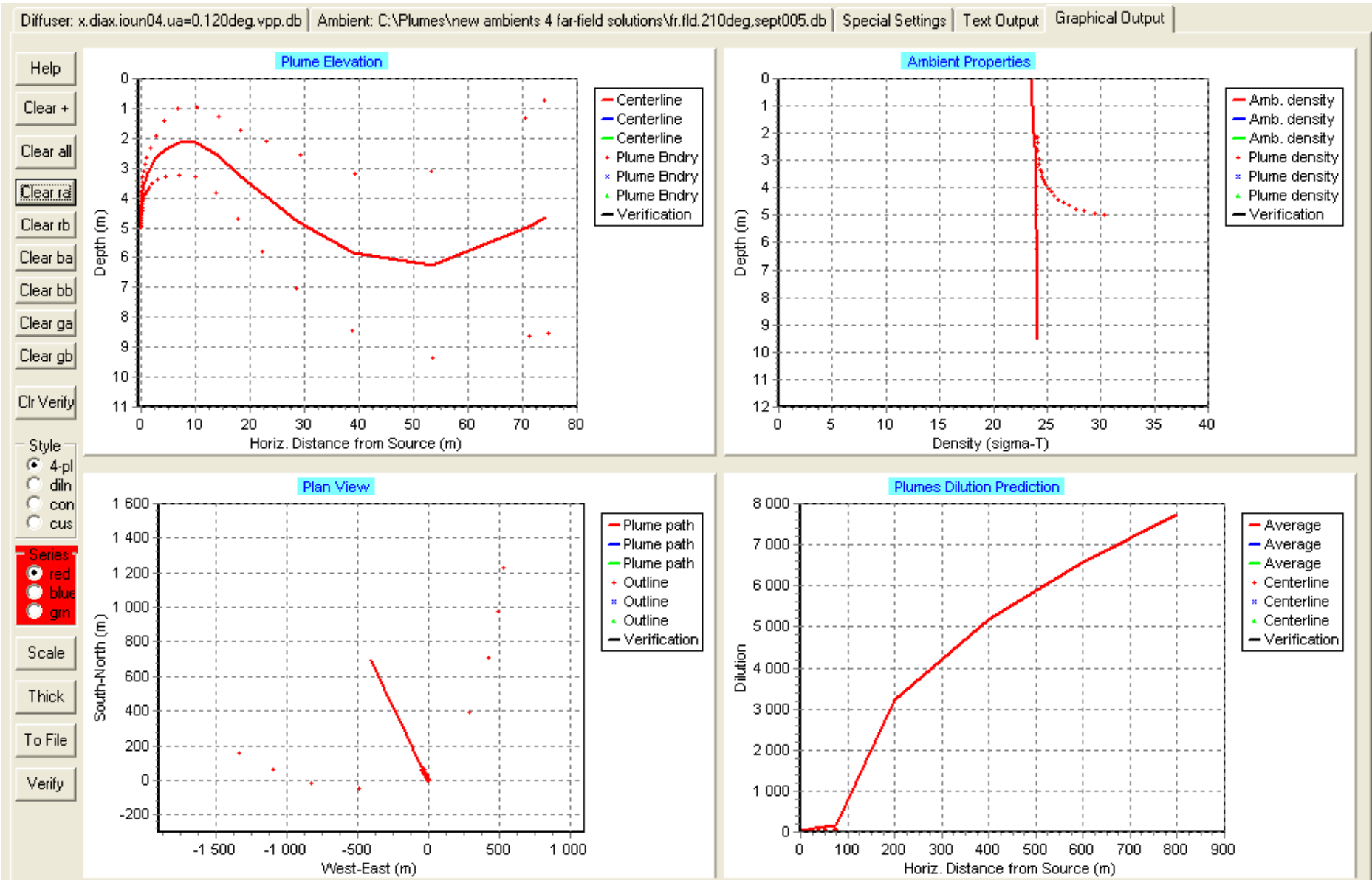


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

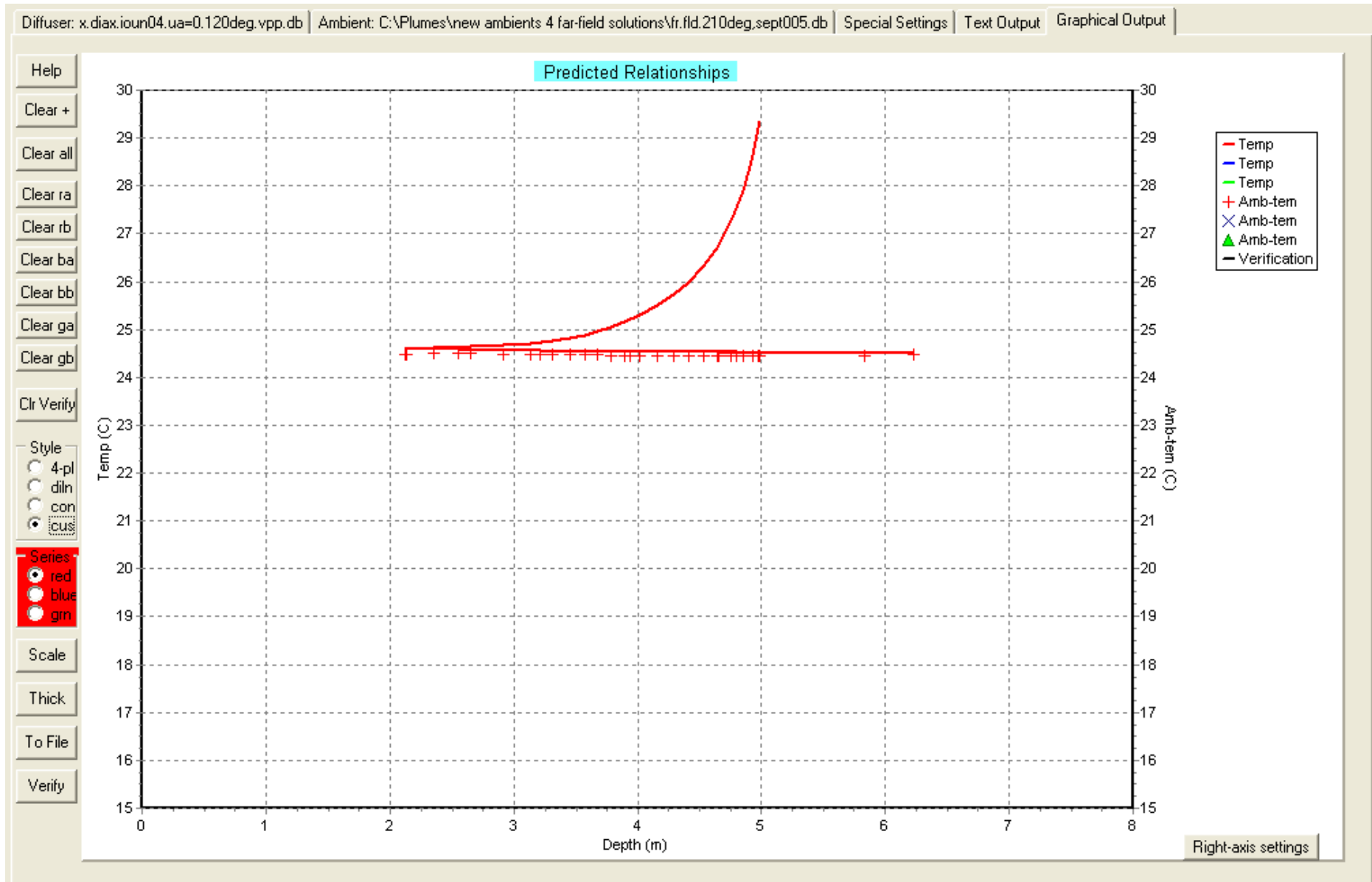


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

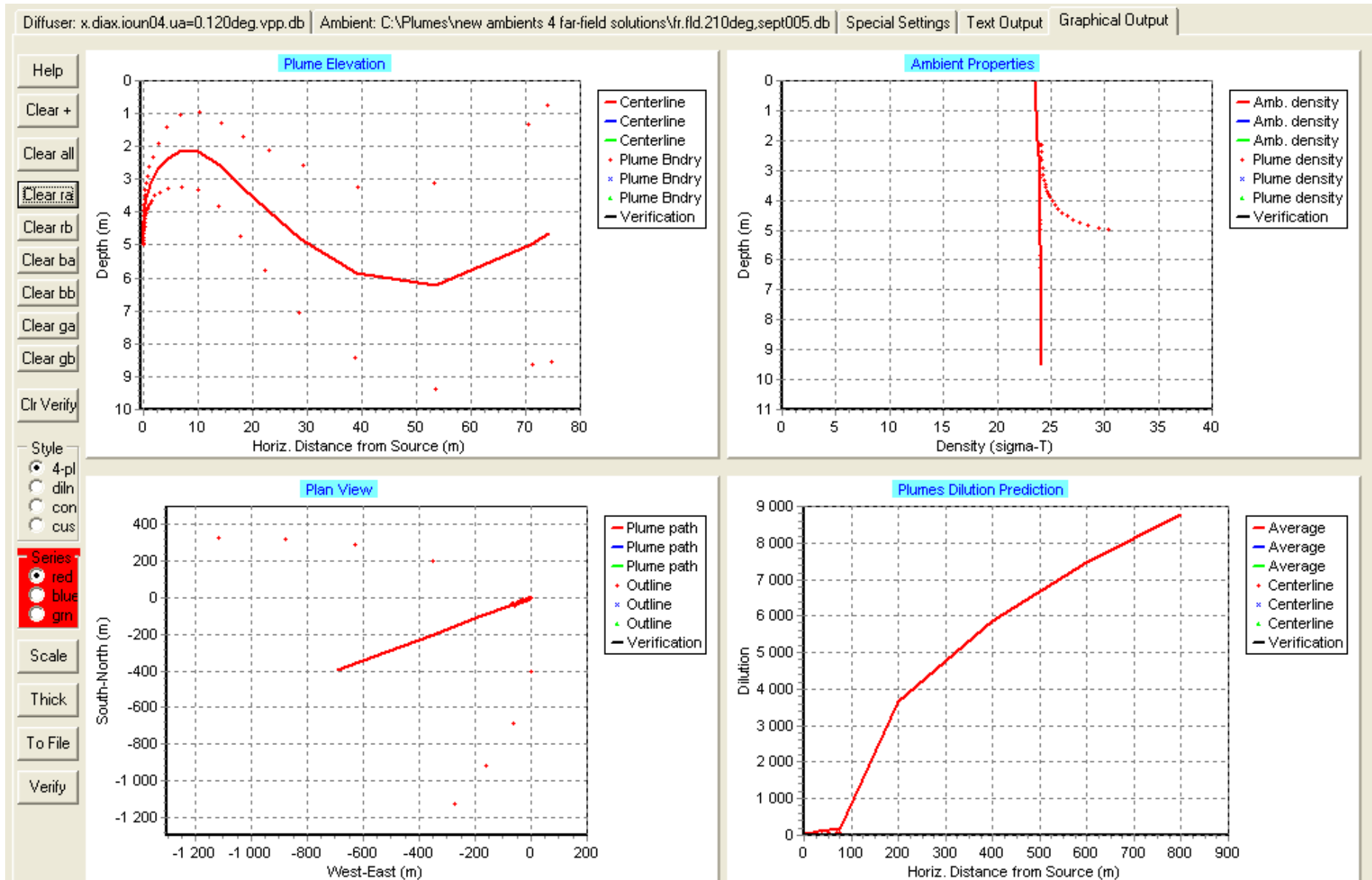
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2004



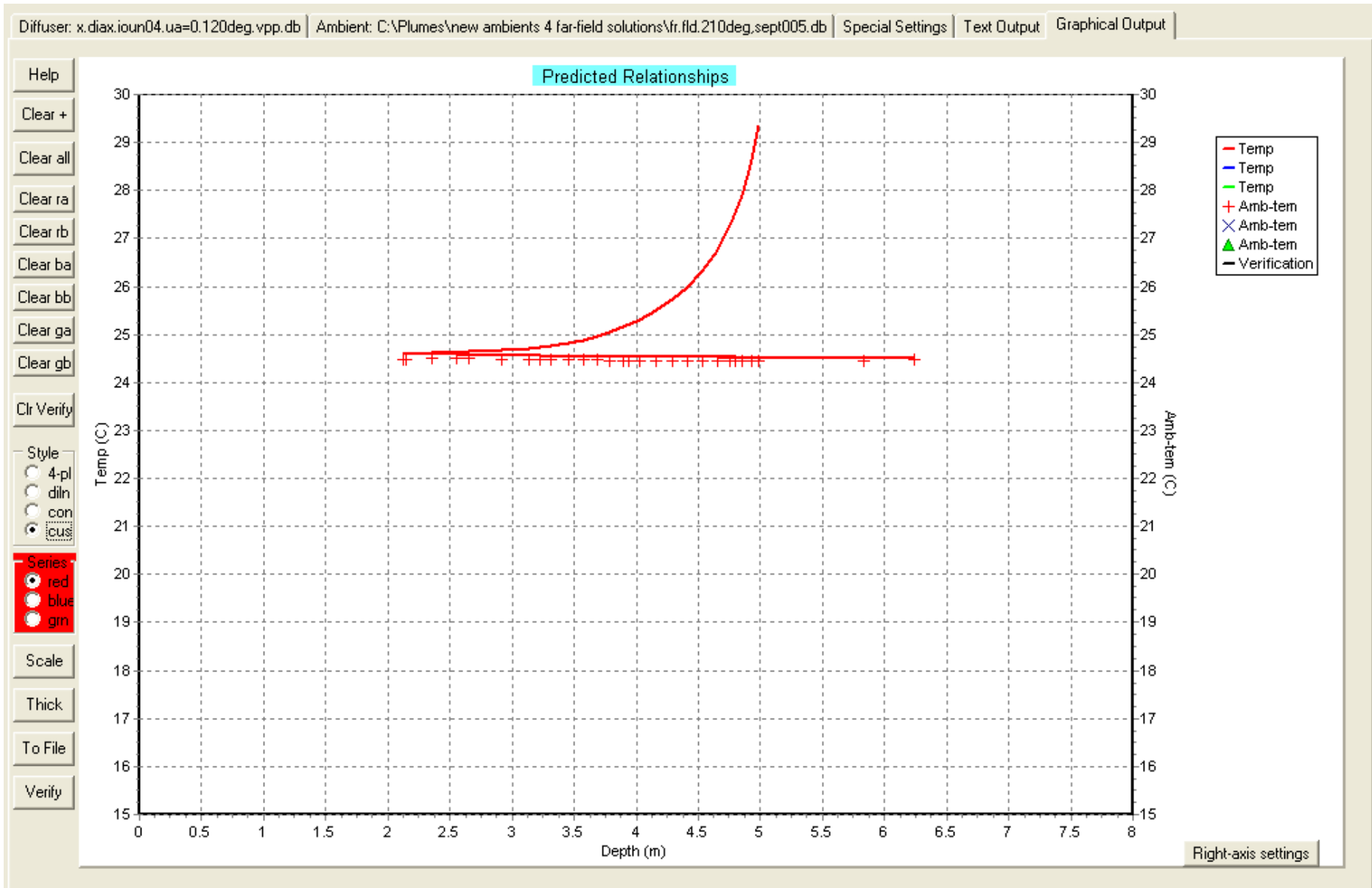
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



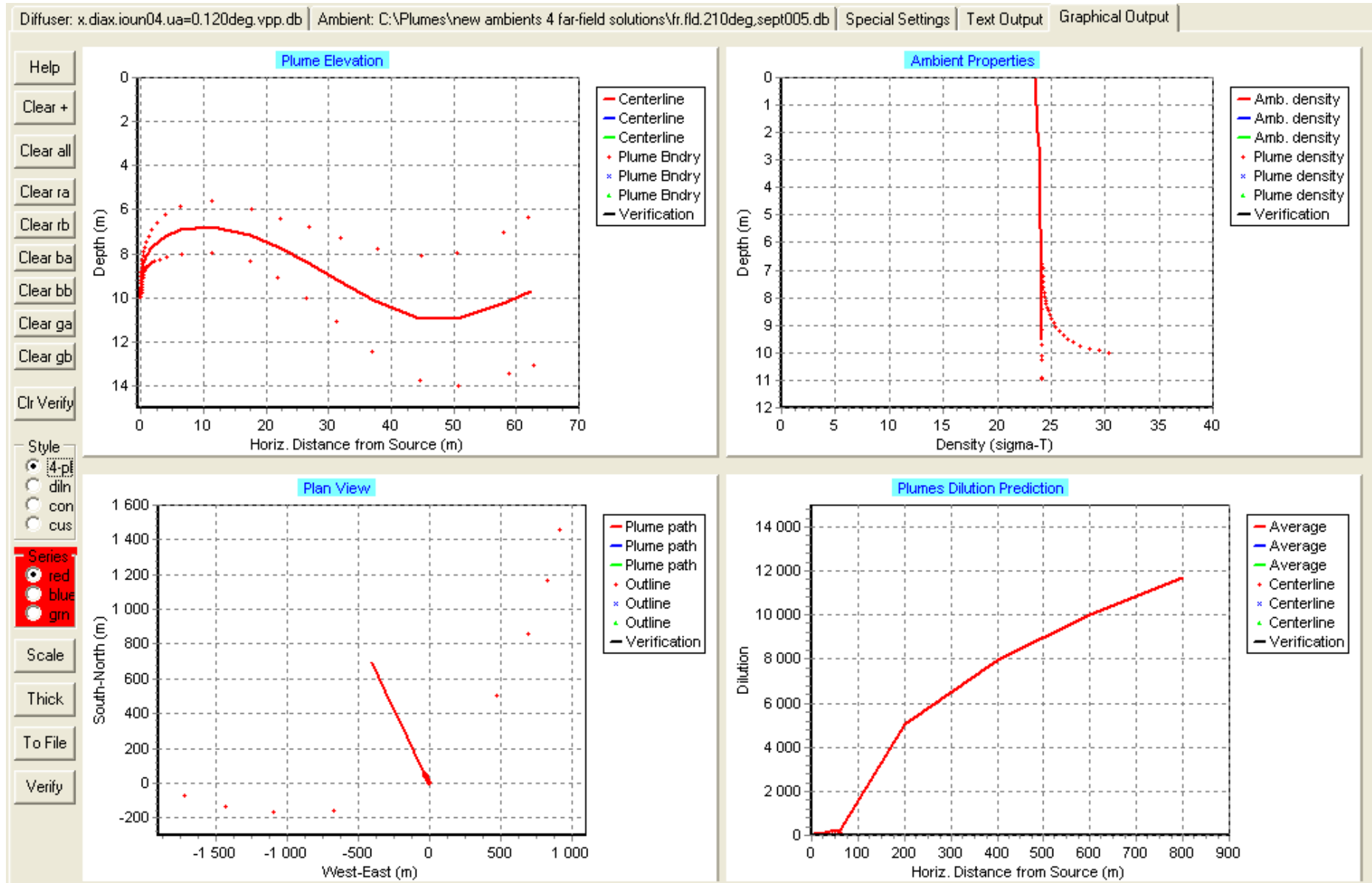
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



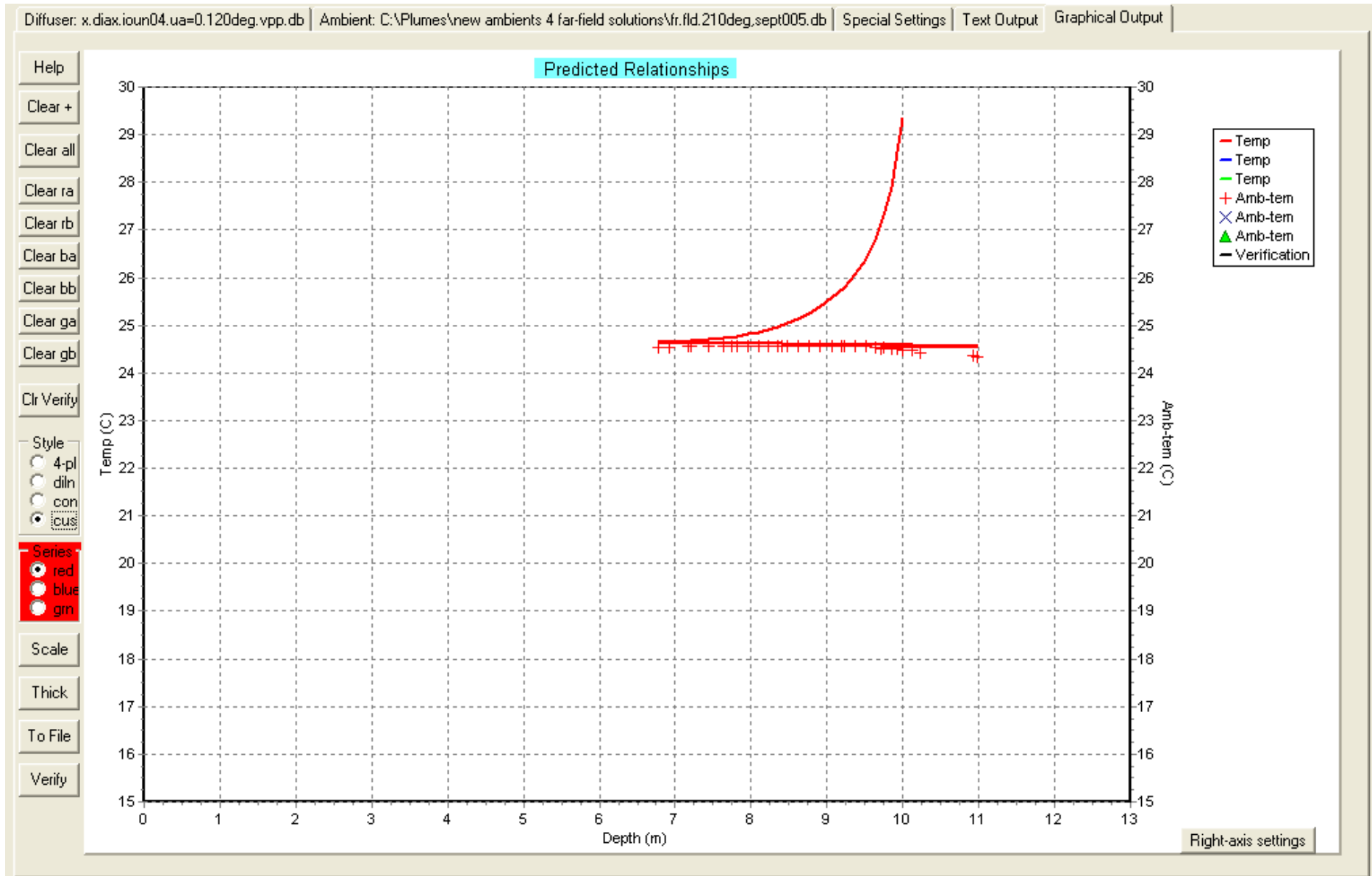
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



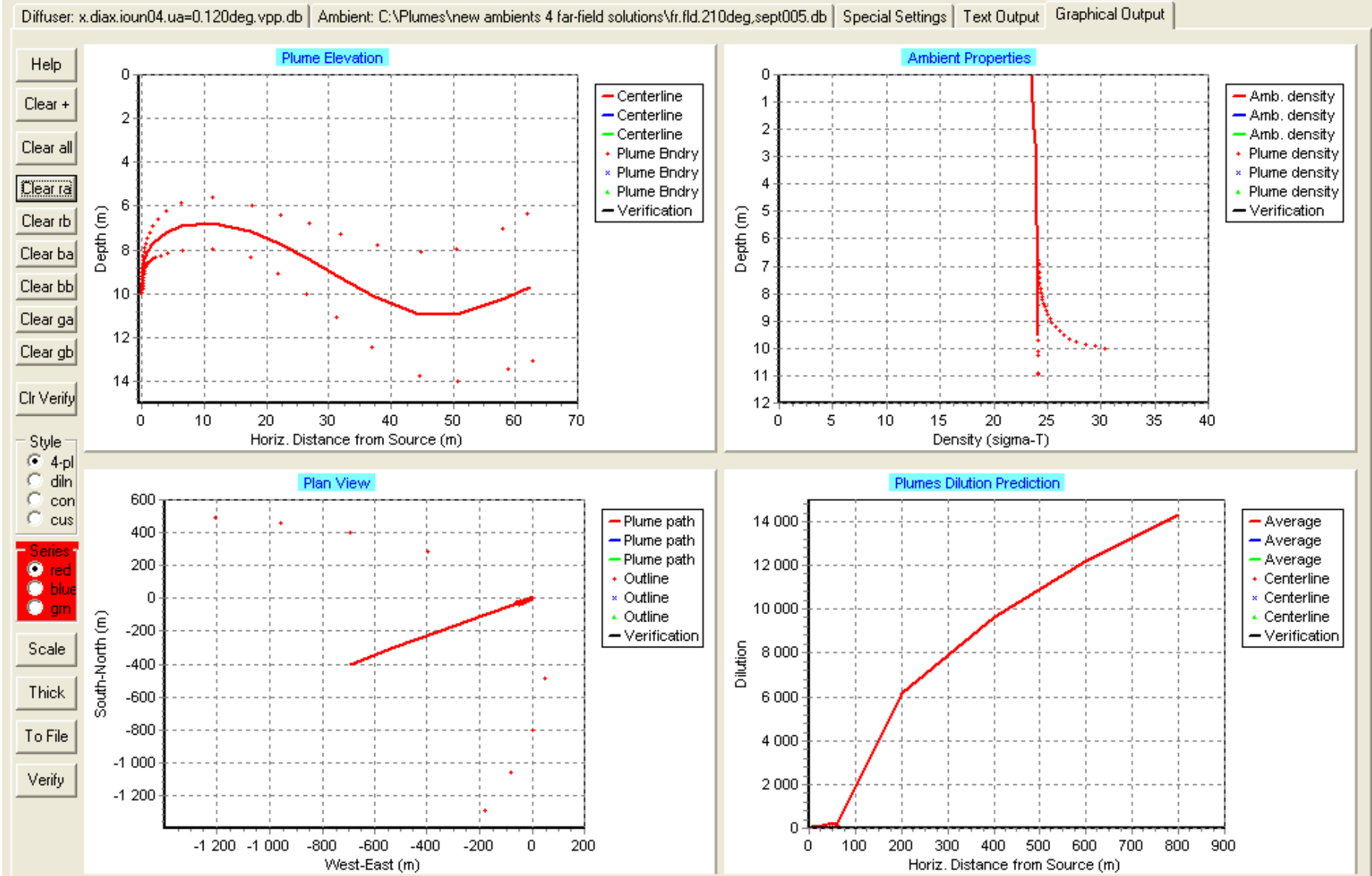
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°



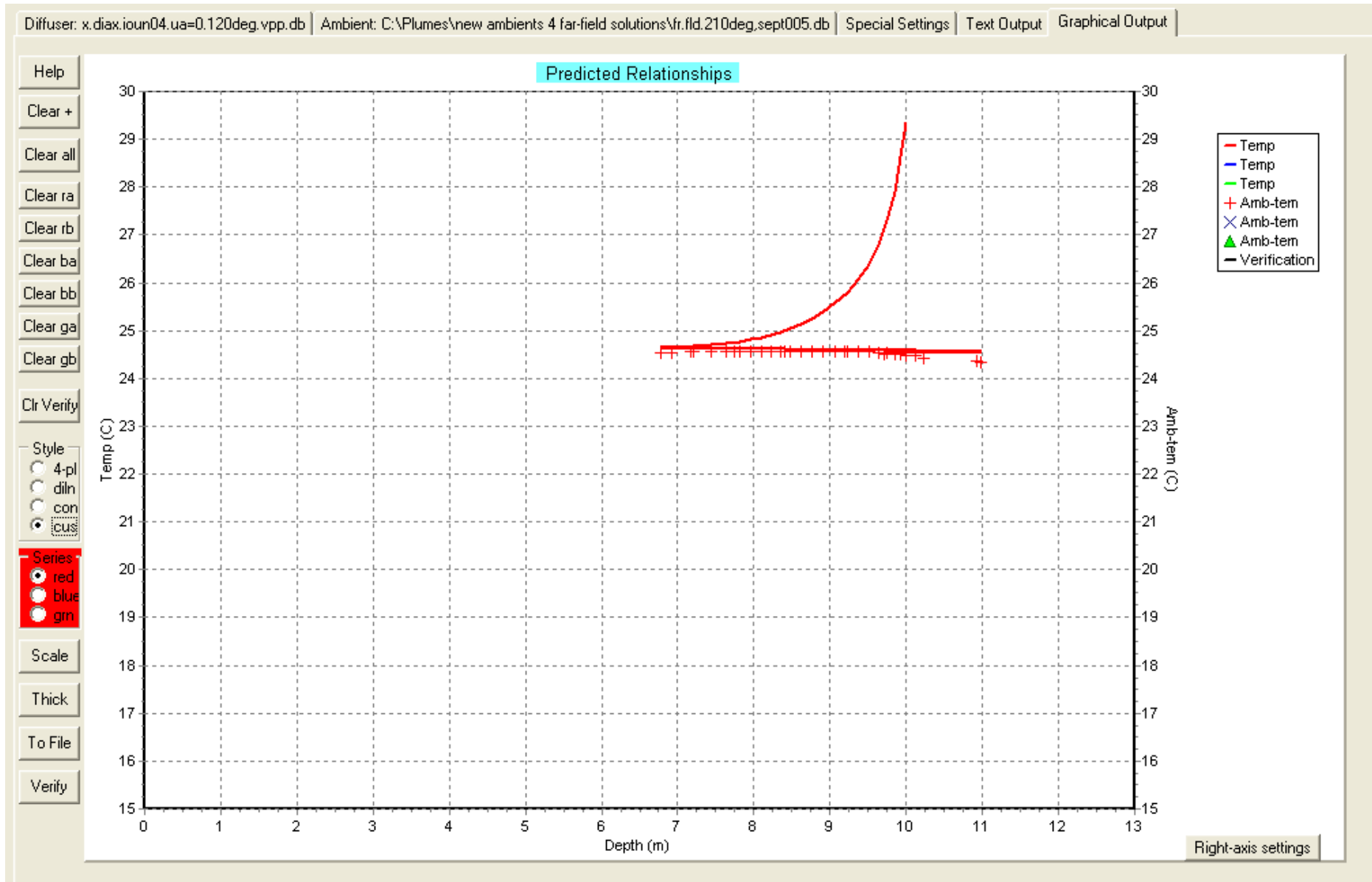
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Σεπτέμβριος 2004**

Βάθος εκροής 2m

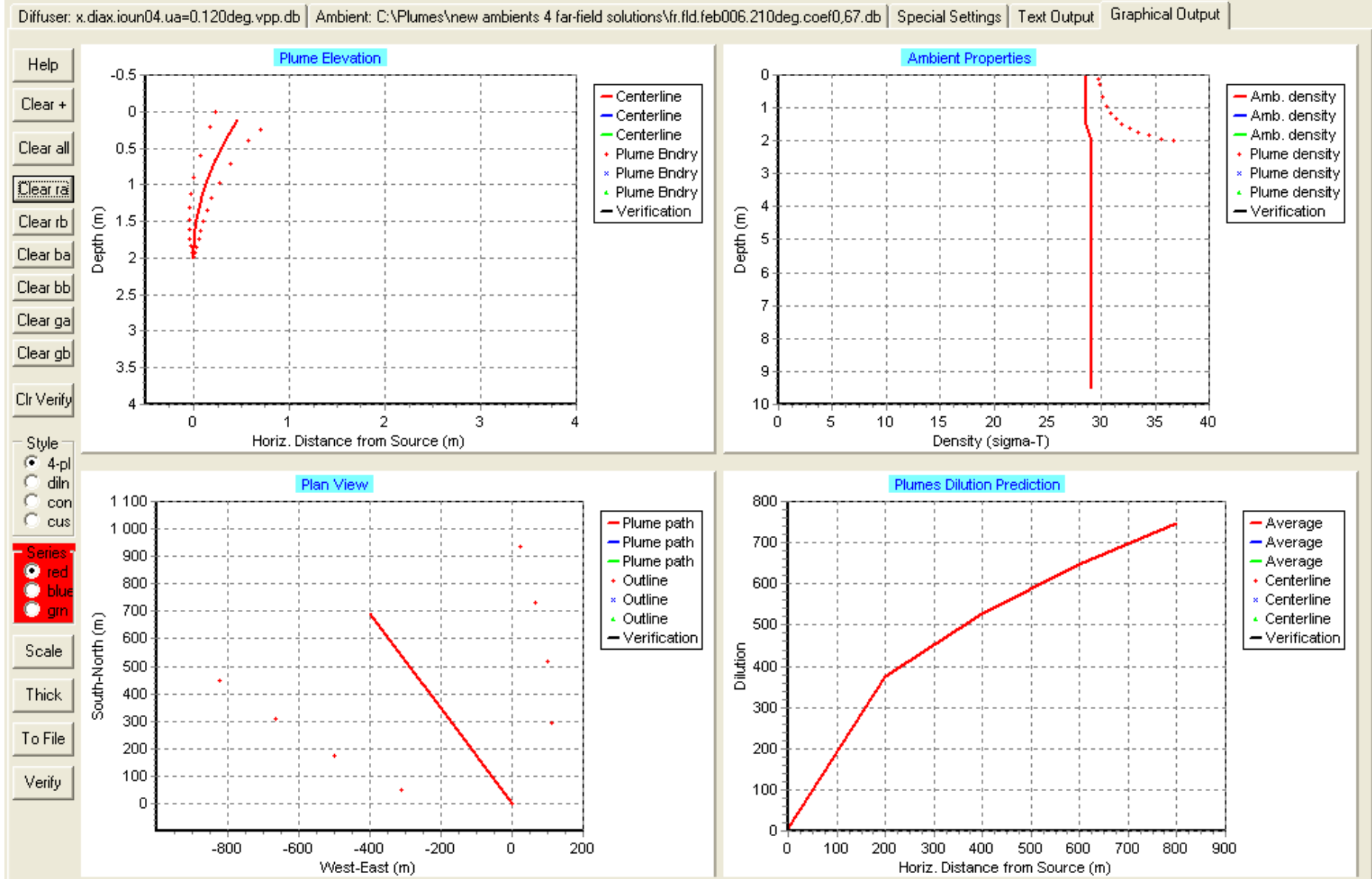
Παρουσιάζονται παρόμοια διαγράμματα με αυτά της πρώτης λύσης μόνο που επιτυγχάνονται μικρότερες διαφορές θερμοκρασιών πλουμίου-περιβάλλοντος λόγω χρήσης διαχυτήρα.

Βάθος εκροής 5m

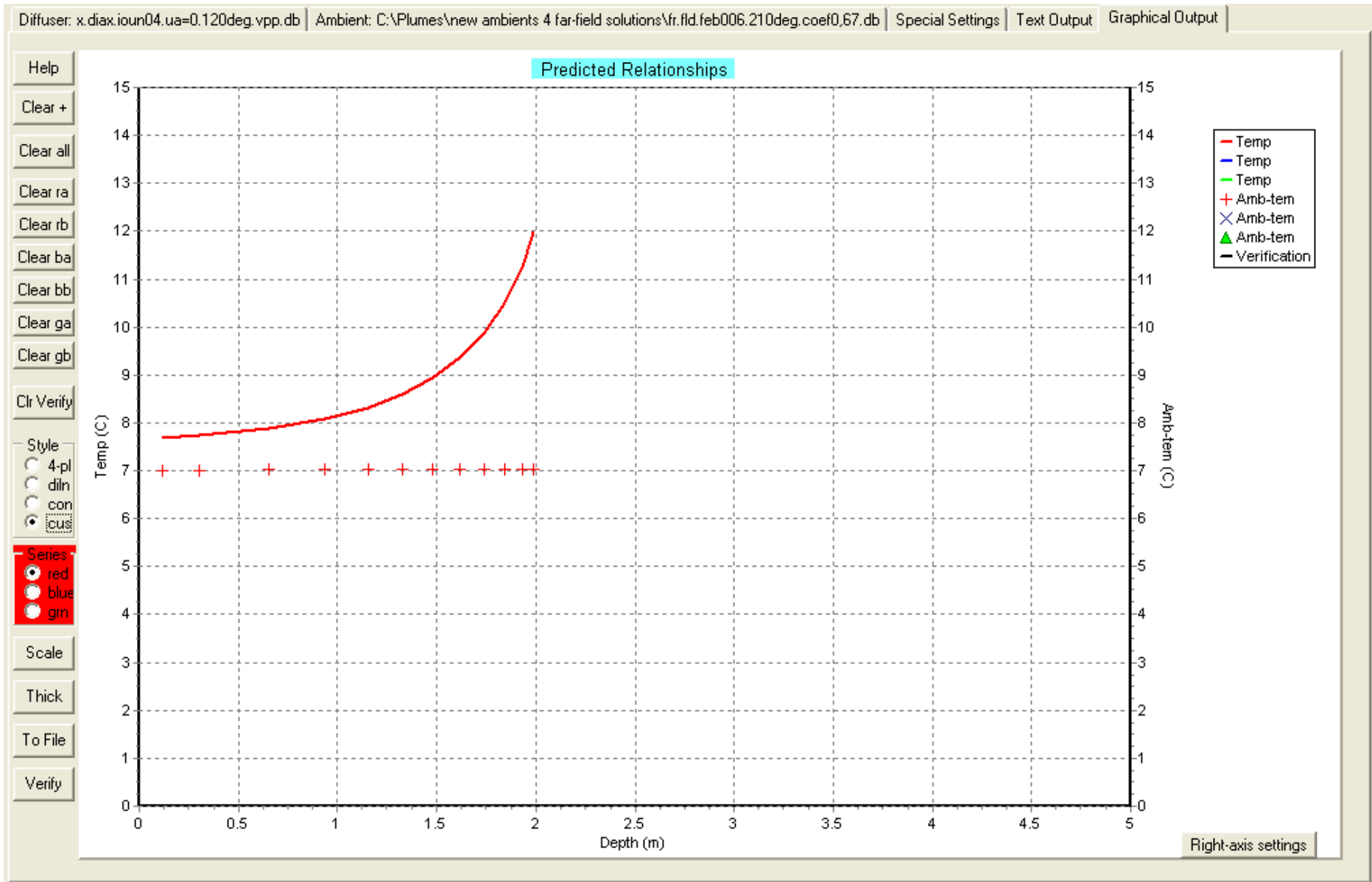
Παρατηρούμε ότι η εκτόξευση του πλουμίου δεν είναι τόσο έντονη όσο στην πρώτη λύση και ο εγκλωβισμός του λαμβάνει χώρα σε μεγαλύτερα βάθη λόγω γρηγορότερης εξίσωσης των πυκνοτήτων πλουμίου-περιβάλλοντος, ενώ οι θερμοκρασίες τους έχουν ήδη απολύτως εξισωθεί κατά την άνοδό του.

Βάθος εκροής 10m

Παρομοίως με την περίπτωση των πέντε μέτρων, έχουμε γρηγορότερη εξισορρόπηση θερμοκρασιών και ομαλότερη διασπορά του πλουμίου στη θάλασσα σε σχέση με την πρώτη λύση (χωρίς διαχυτήρα).

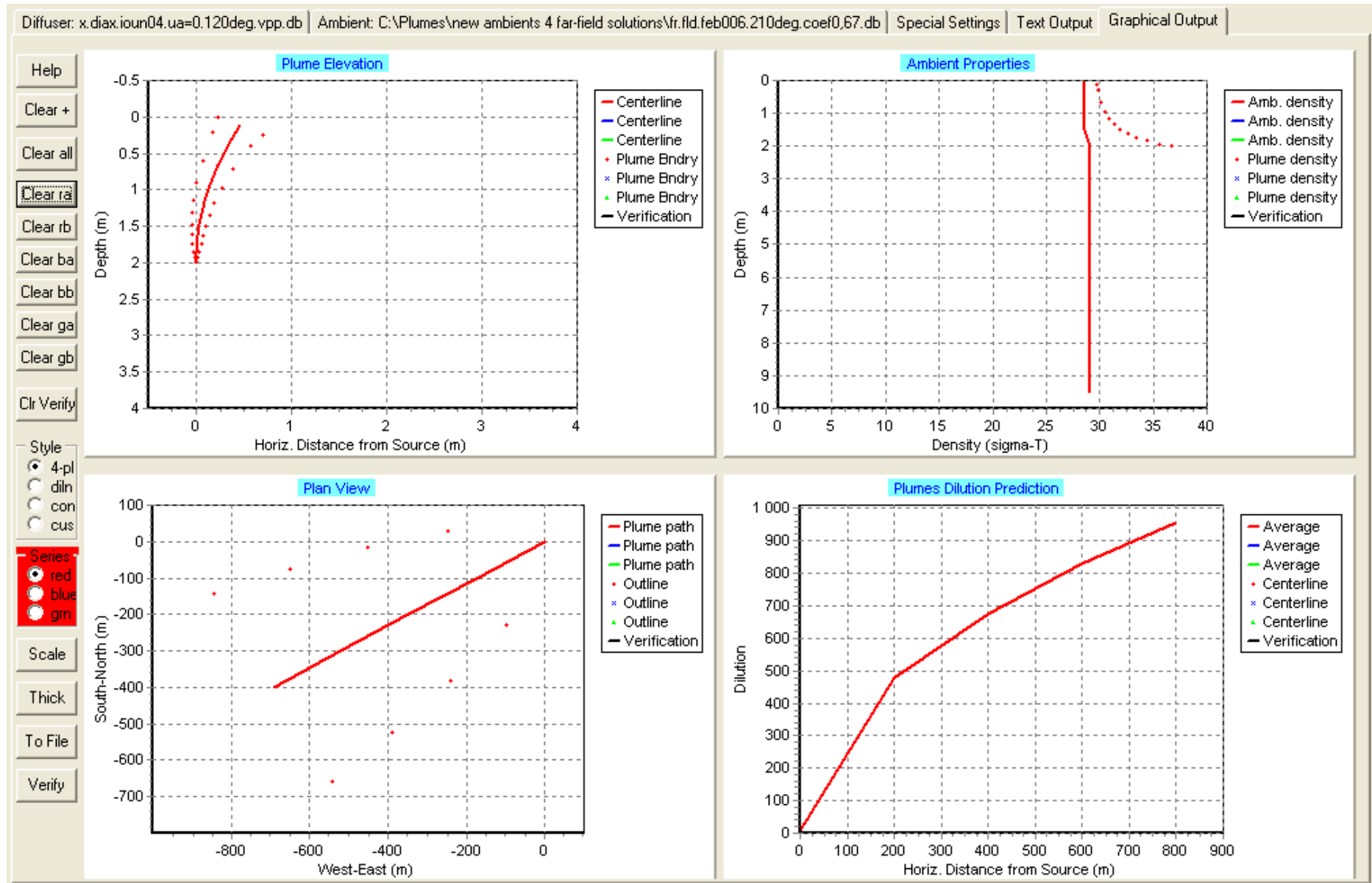


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

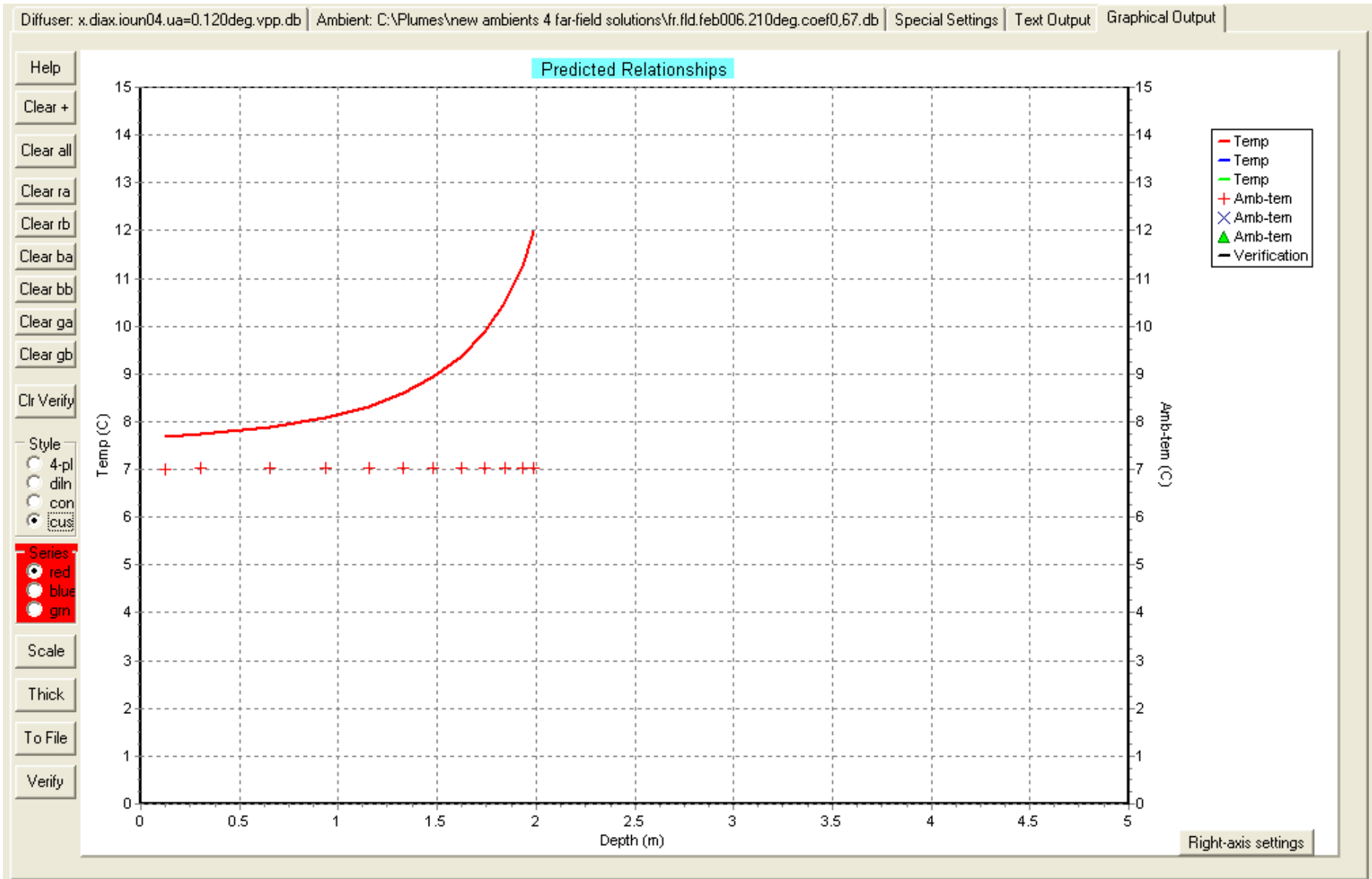


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

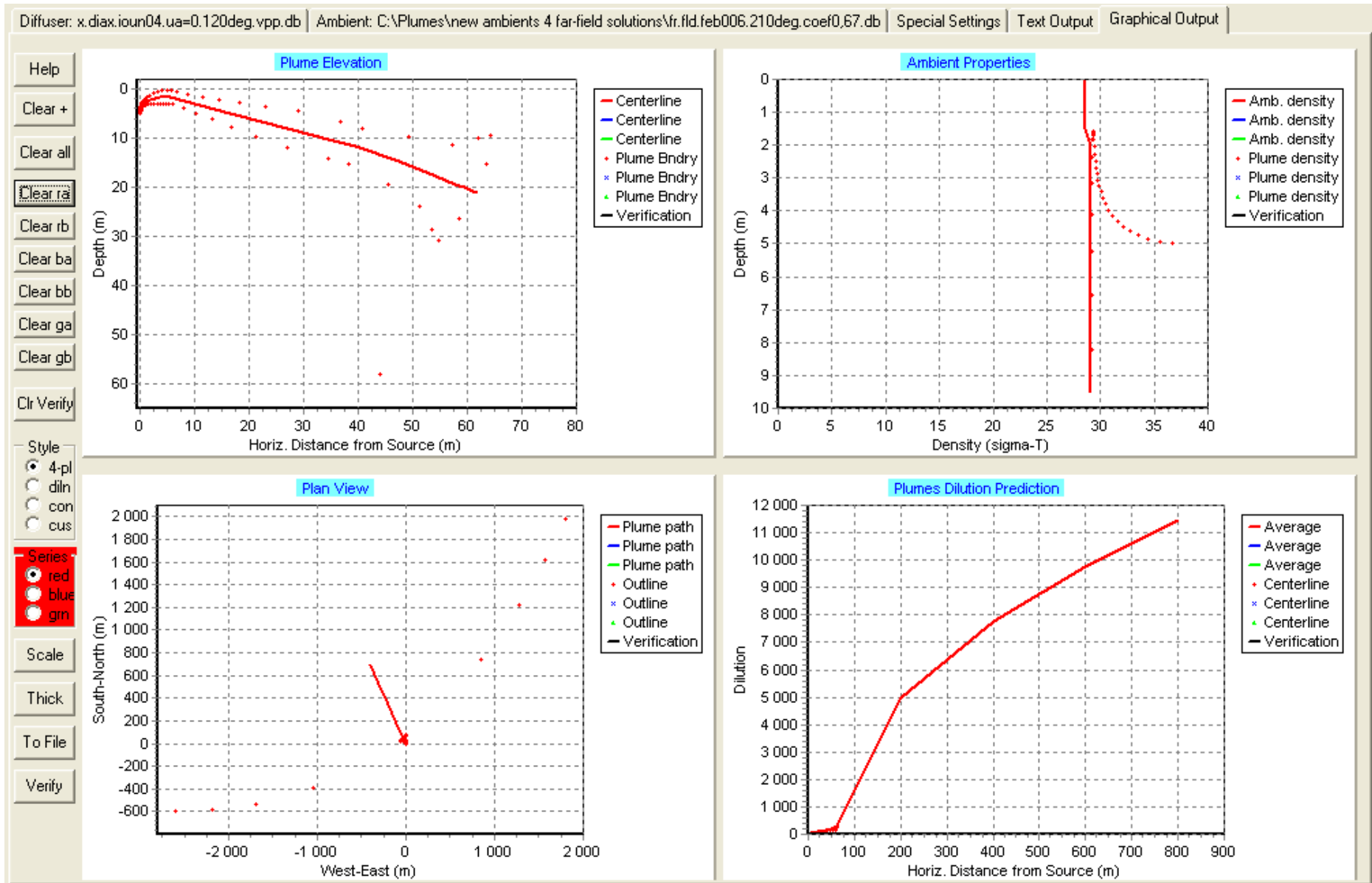
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°

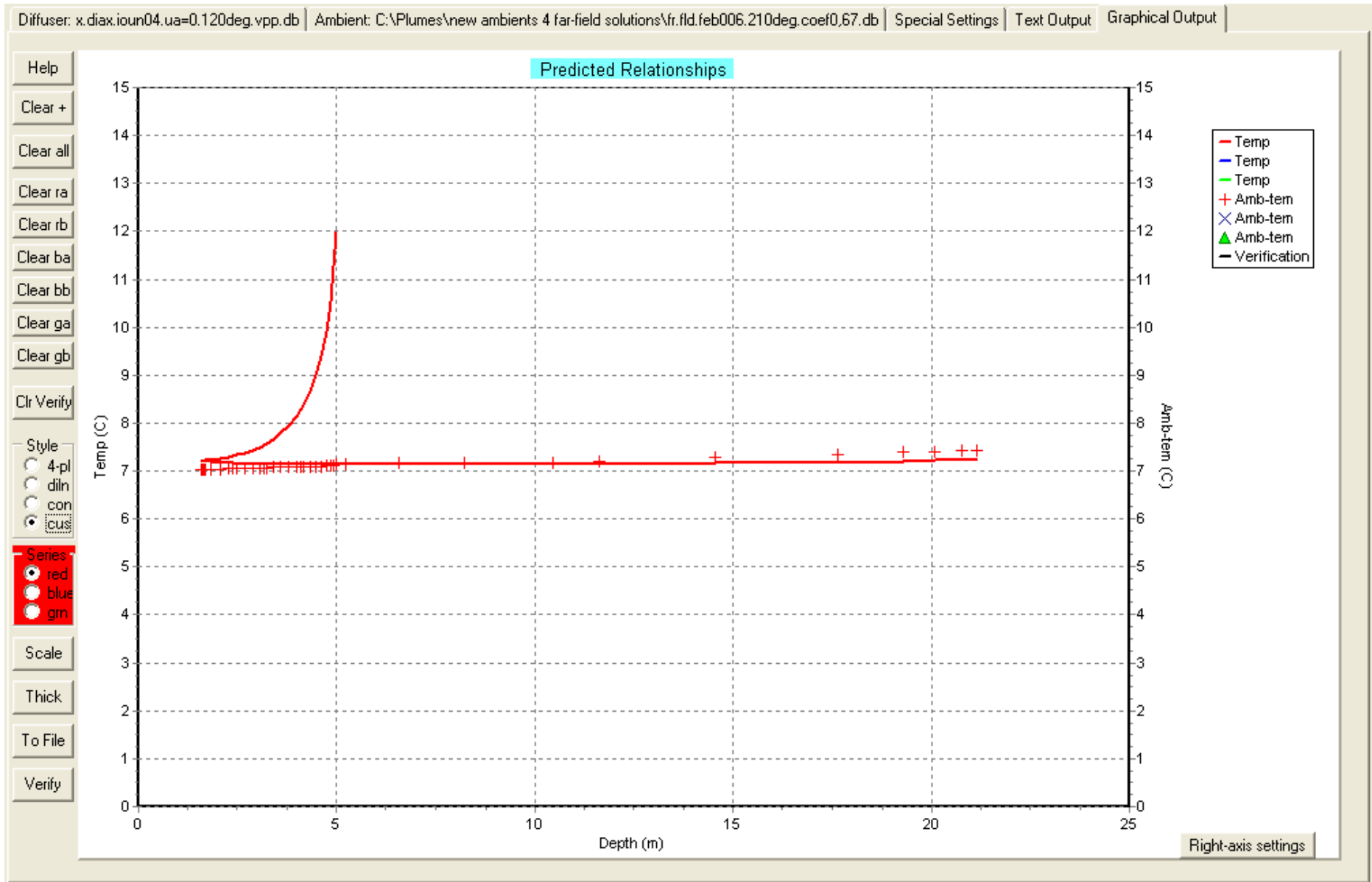


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



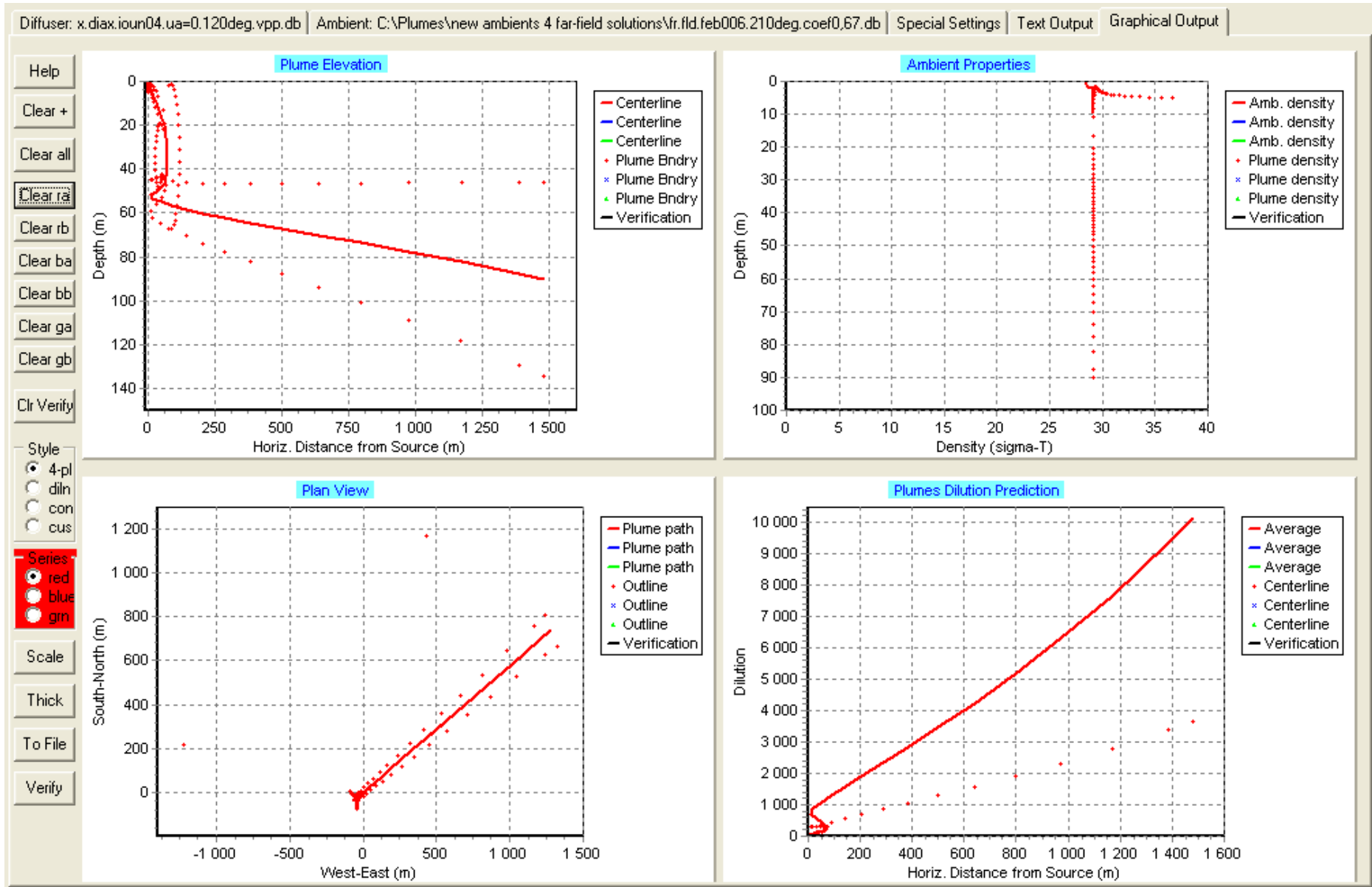
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΣΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



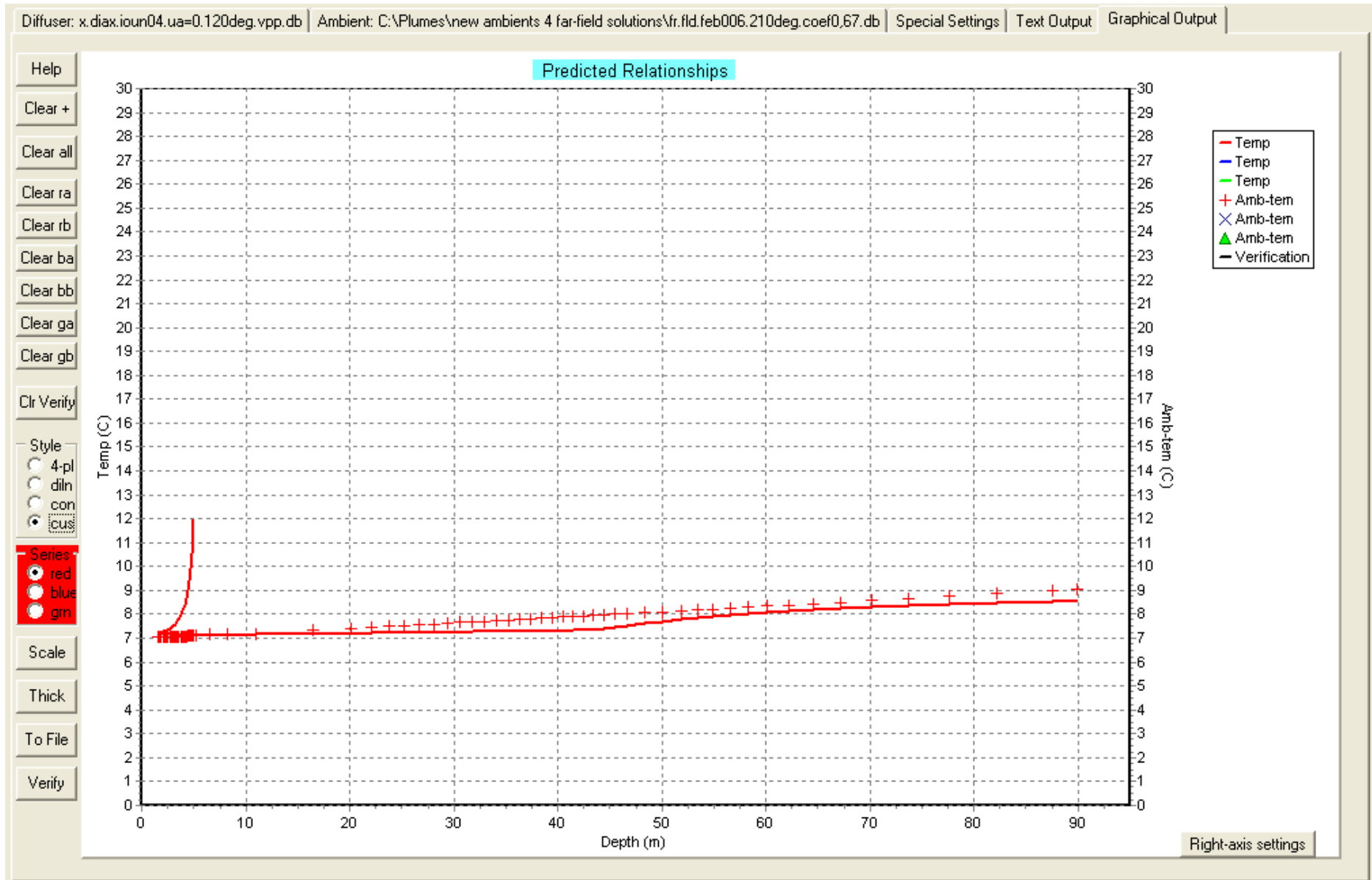
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



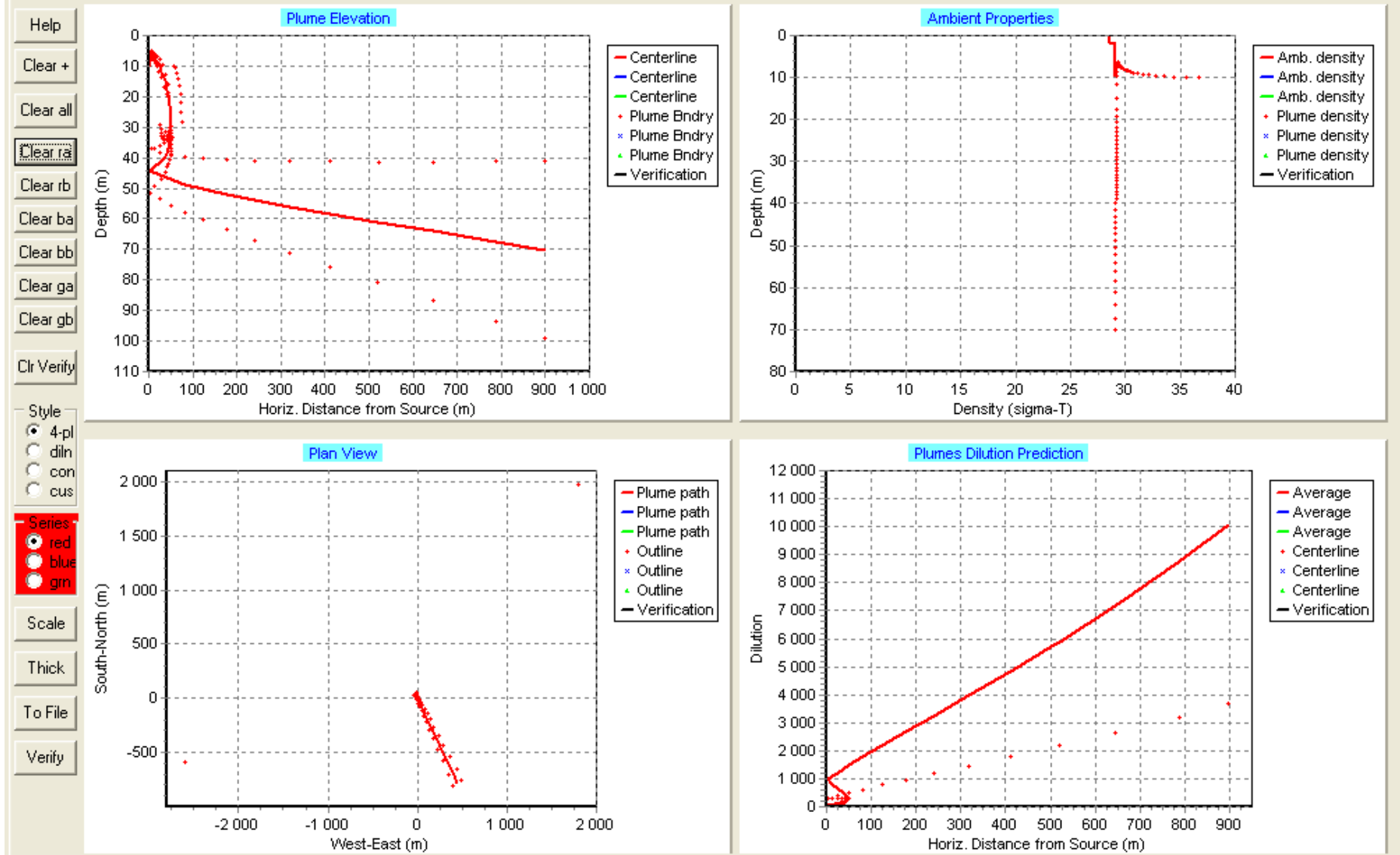
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005

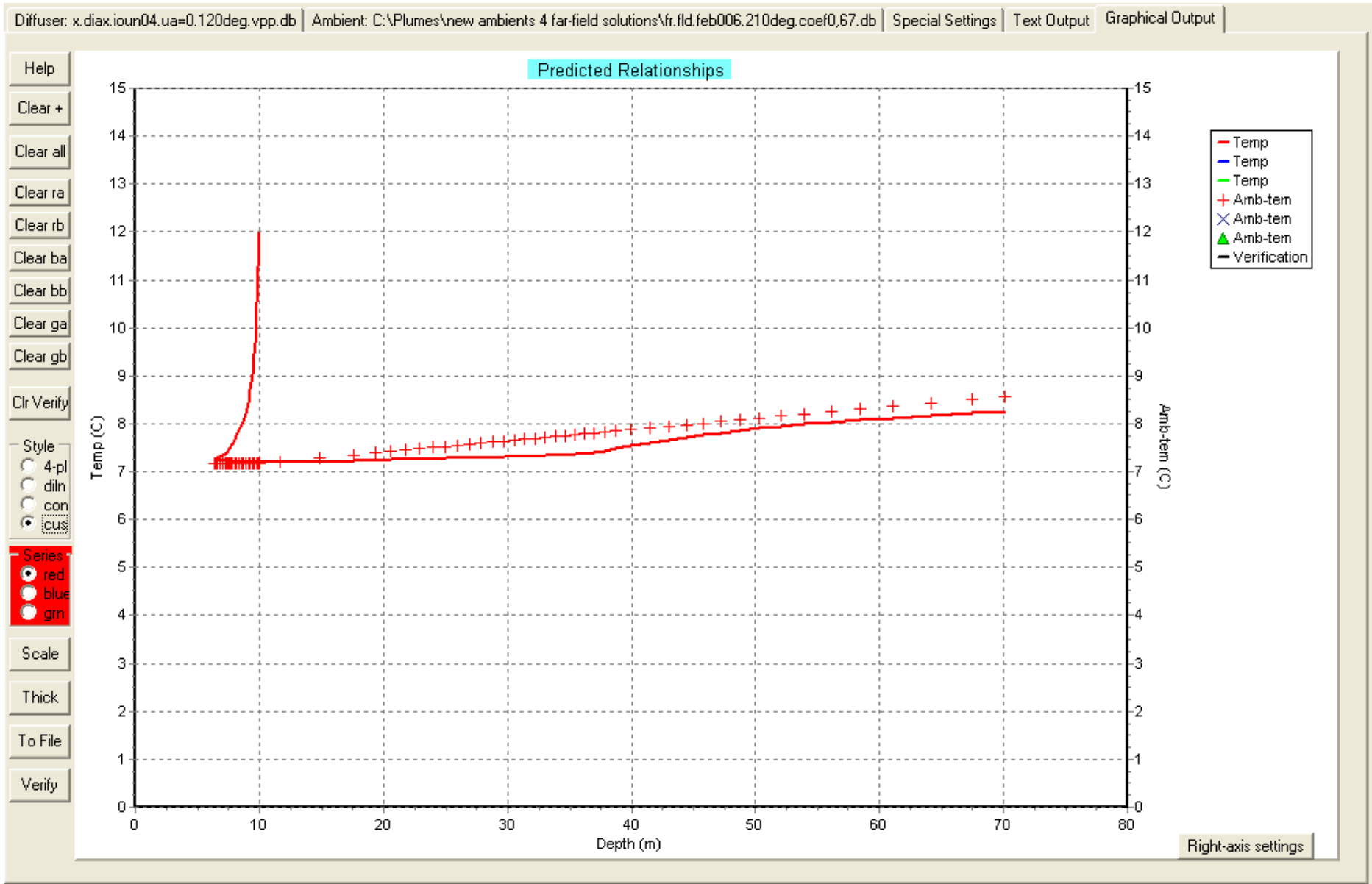


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

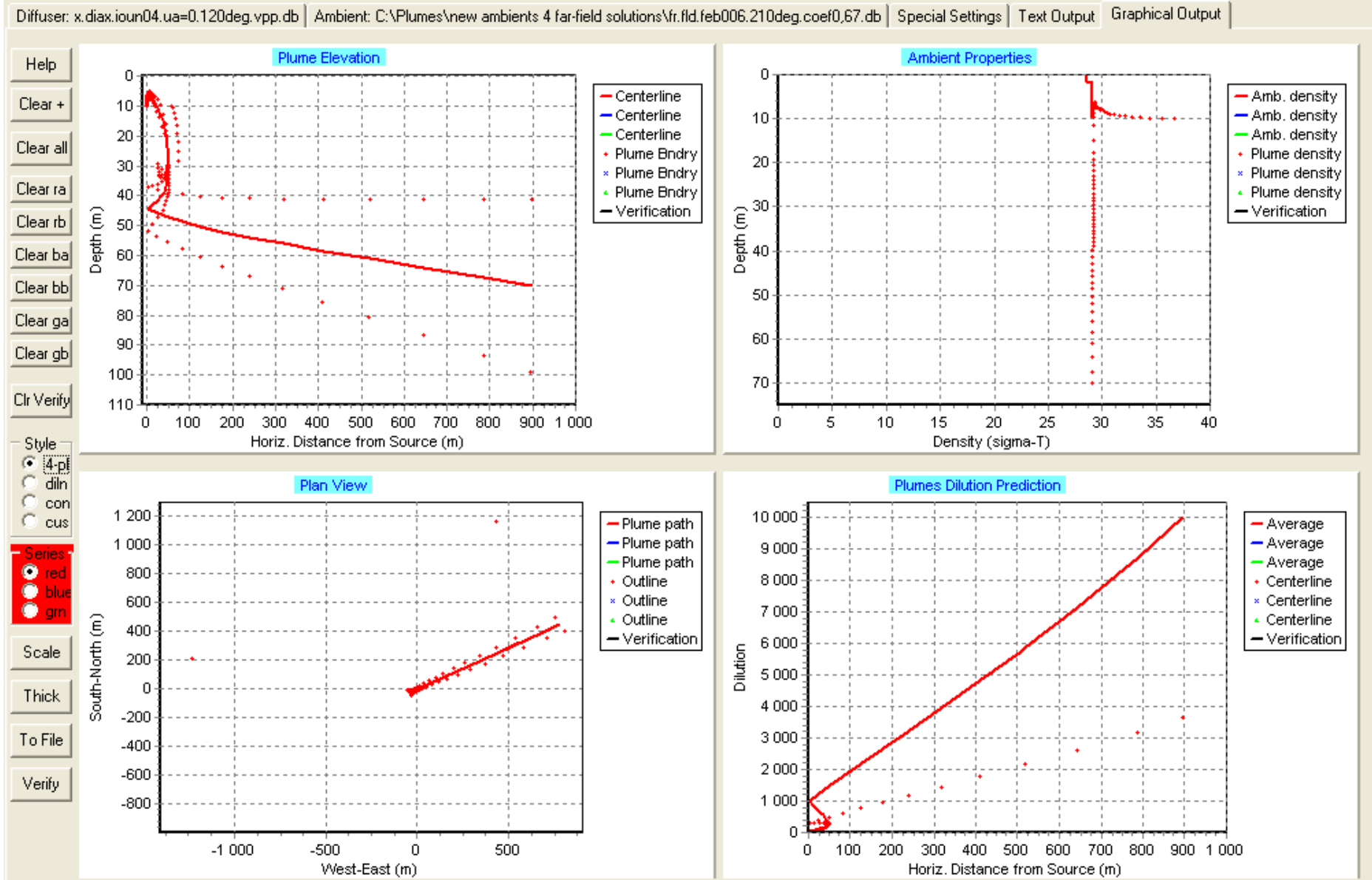
Diffuser: x.diax.ioun04.ua=0.120deg.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\new ambients 4 far-field solutions\fr.fld.feb006.210deg.coef0,67.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output



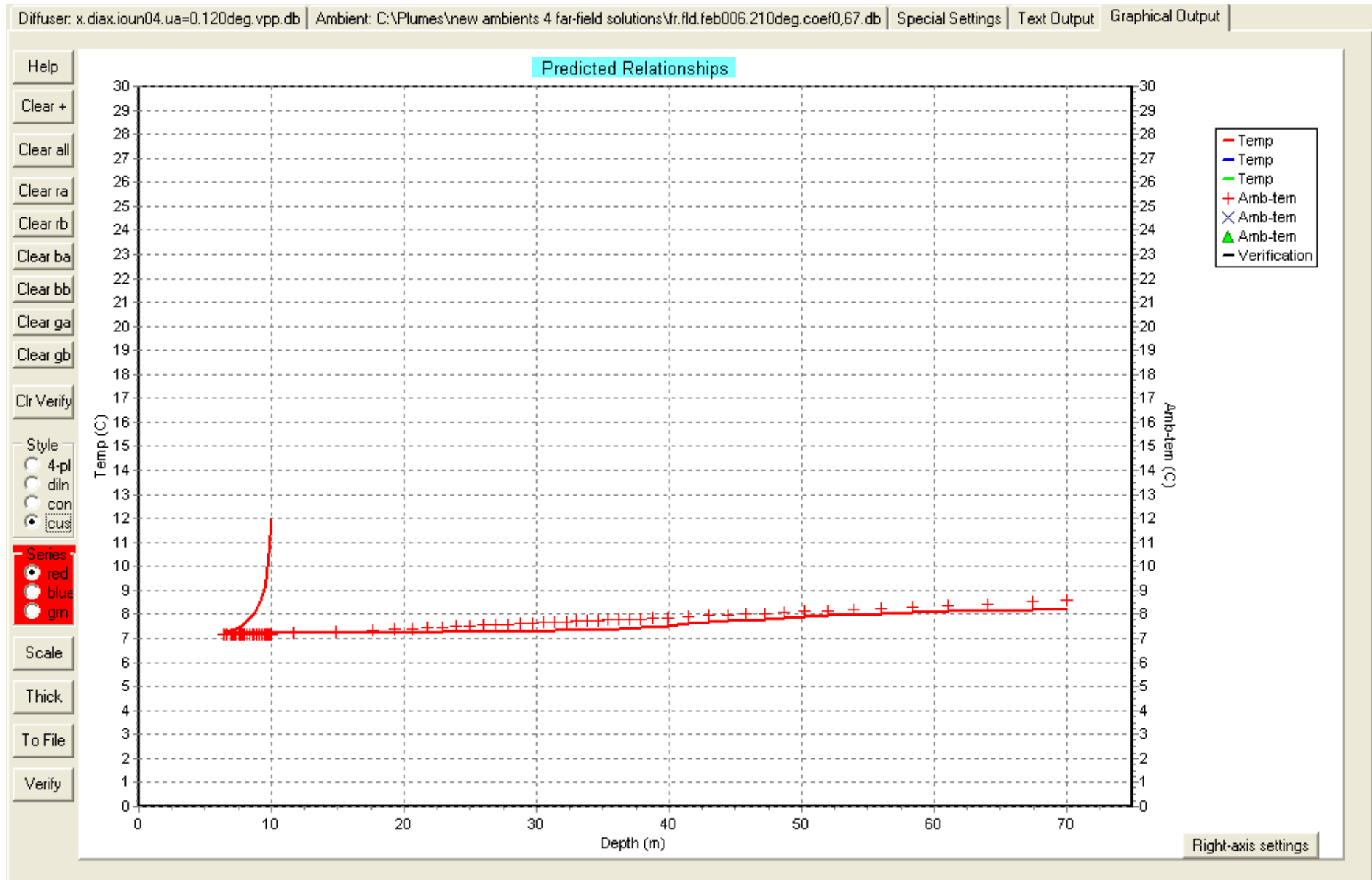
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Φεβρουάριος 2005**

Βάθος εκροής 2m

Το εκτοξευμένο πλούμιο, όπως και για την πρώτη λύση, φτάνει στην επιφάνεια της θάλασσας σε μικρή απόσταση από την έξοδο του αγωγού. Το Visual Plumes αδυνατεί να μας δώσει στοιχεία για την εξέλιξη του φαινομένου όσον αφορά την πορεία του πλουμίου, τη θερμοκρασία και την πυκνότητά του, από τη στιγμή που φτάνει στην επιφάνεια και αρχίζει η περαιτέρω βύθισή του προς τον πυθμένα. Η σύγκρισή των τιμών των πυκνοτήτων όμως μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πλούμιο βυθίζεται σε μικρή απόσταση από το σημείο εκροής και πολύ πιθανώς εγκλωβίζεται στον πυθμένα. Παρατηρούμε όμως πως η διαφορά θερμοκρασίας του αποβαλλόμενου θερμού νερού σε σχέση με το περιβάλλον βρίσκεται ήδη μέσα στα ορισμένα όρια ($\Delta T = 1,5^\circ \text{C}$) όταν το πλούμιο φτάσει στην επιφάνεια, οπότε η ακόλουθη βύθισή του αναμένεται να προκαλέσει γρήγορη εξισορρόπηση των θερμοκρασιών.

Βάθος εκροής 5m

Λόγω της χρήσης του διαχυτήρα παρατηρείται καλύτερη διασπορά του πλουμίου και εγκλωβισμός αυτού στον πυθμένα με αντίστοιχη όμως εξίσωση των θερμοκρασιακών τιμών σε κοντινή απόσταση από το σημείο εκροής.

Βάθος εκροής 10m

Λόγω της χρήσης του διαχυτήρα παρατηρείται καλύτερη διασπορά του πλουμίου και γρηγορότερος εγκλωβισμός αυτού στον πυθμένα με αντίστοιχη όμως εξίσωση των θερμοκρασιακών τιμών σε κοντινή απόσταση από το σημείο εκροής και σε βάθος 6-7 μέτρων.

3^η ΛΥΣΗ: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

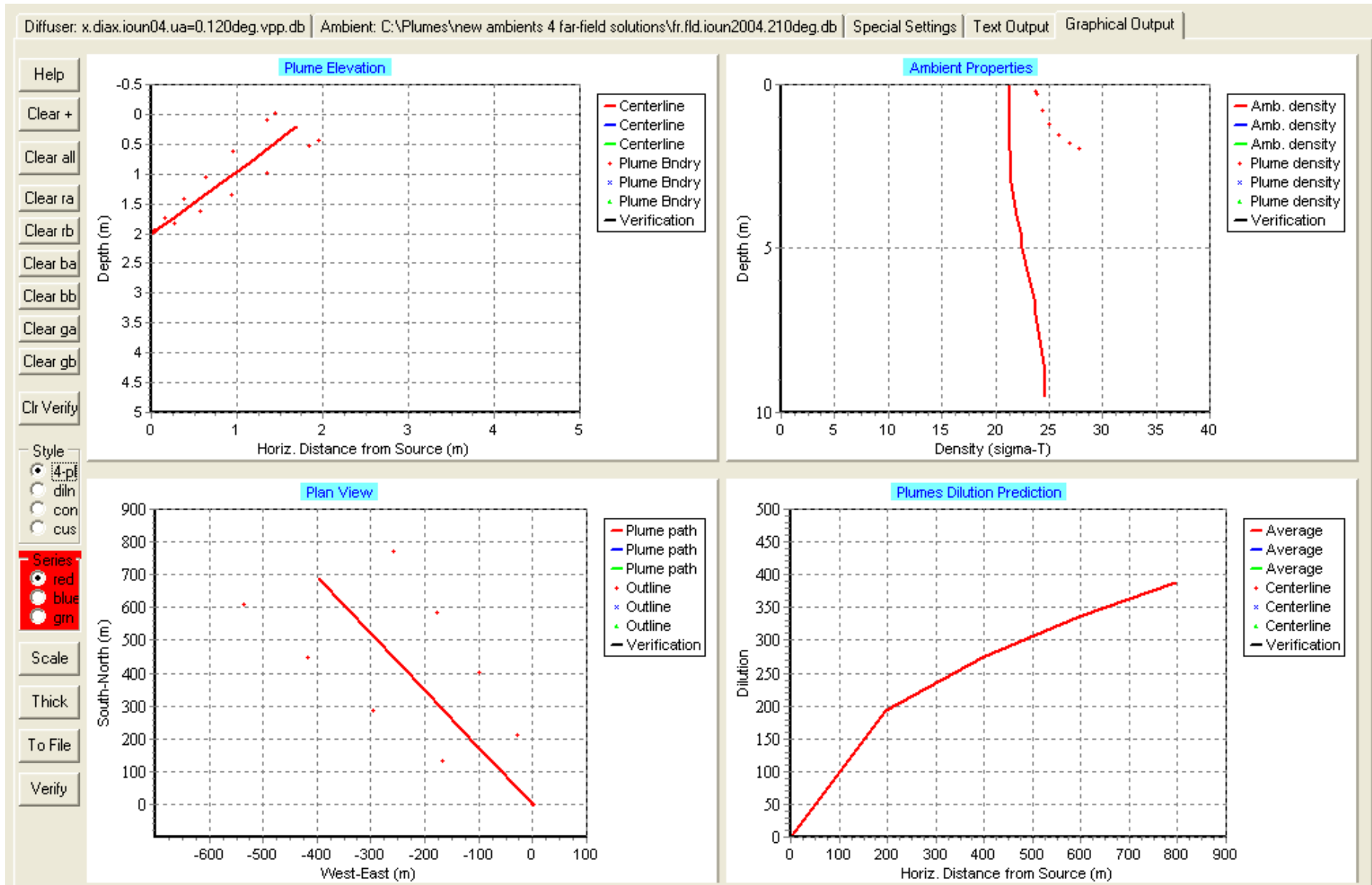
- Παροχή $Q=1 \text{ m}^3/\text{s}$
- Διάμετρος αγωγού $D=0,5814 \text{ m}$
- Ανύψωση σημείου εξόδου $0,20 \text{ m}$
- Κλίση ανυψωμένου τμήματος εξόδου 45°
- Οριζόντια γωνία 300°

Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται διάταξη αγωγού ανάμιξης του θερμού νερού με χαμηλότερης θερμοκρασίας αντλούμενο νερό πριν την απόθεσή του στη θάλασσα. Η λογική της λειτουργίας της διάταξης είναι η εξής:

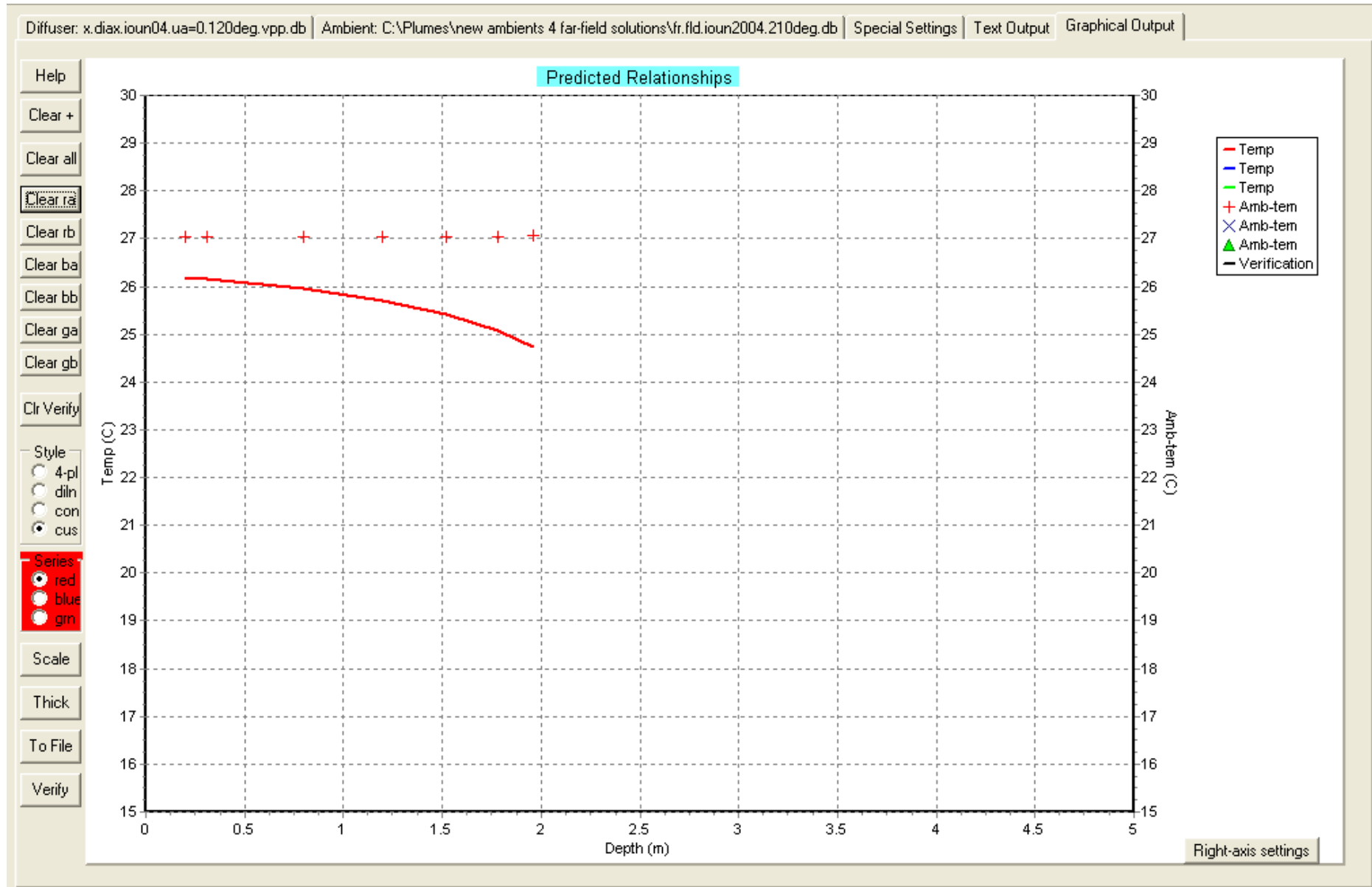
- η παροχή του αντλούμενου ψυχρού νερού από το θαλάσσιο περιβάλλον (βάθος άντλησης 10 μέτρα) είναι $Q = 1 \text{ m}^3/\text{sec}$
- η μισή ποσότητα του παροχετευόμενου νερού χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο ενώ η υπόλοιπη ποσότητα χρησιμοποιείται ως μέσο ανάμιξης με το αποβαλλόμενο θερμό νερό πριν την εκροή του στο θαλάσσιο αποδέκτη.

Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας είναι η επίτευξη μείωσης των τιμών θερμοκρασίας και αλατότητας του αποβαλλόμενου ύδατος πριν την τελική εκροή του στον θαλάσσιο αποδέκτη. Η ανάμιξη θερμού και ψυχρού νερού έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες τελικές διαφορές θερμοκρασίας και αλατότητας από τις αρχικά προβλεπόμενες και συγκεκριμένα $\Delta T' = +2,5^\circ\text{C}$ ($< 5^\circ\text{C}$) και $\Delta S' = +0,15 \cdot S$ ($< 0,30 \cdot S$).

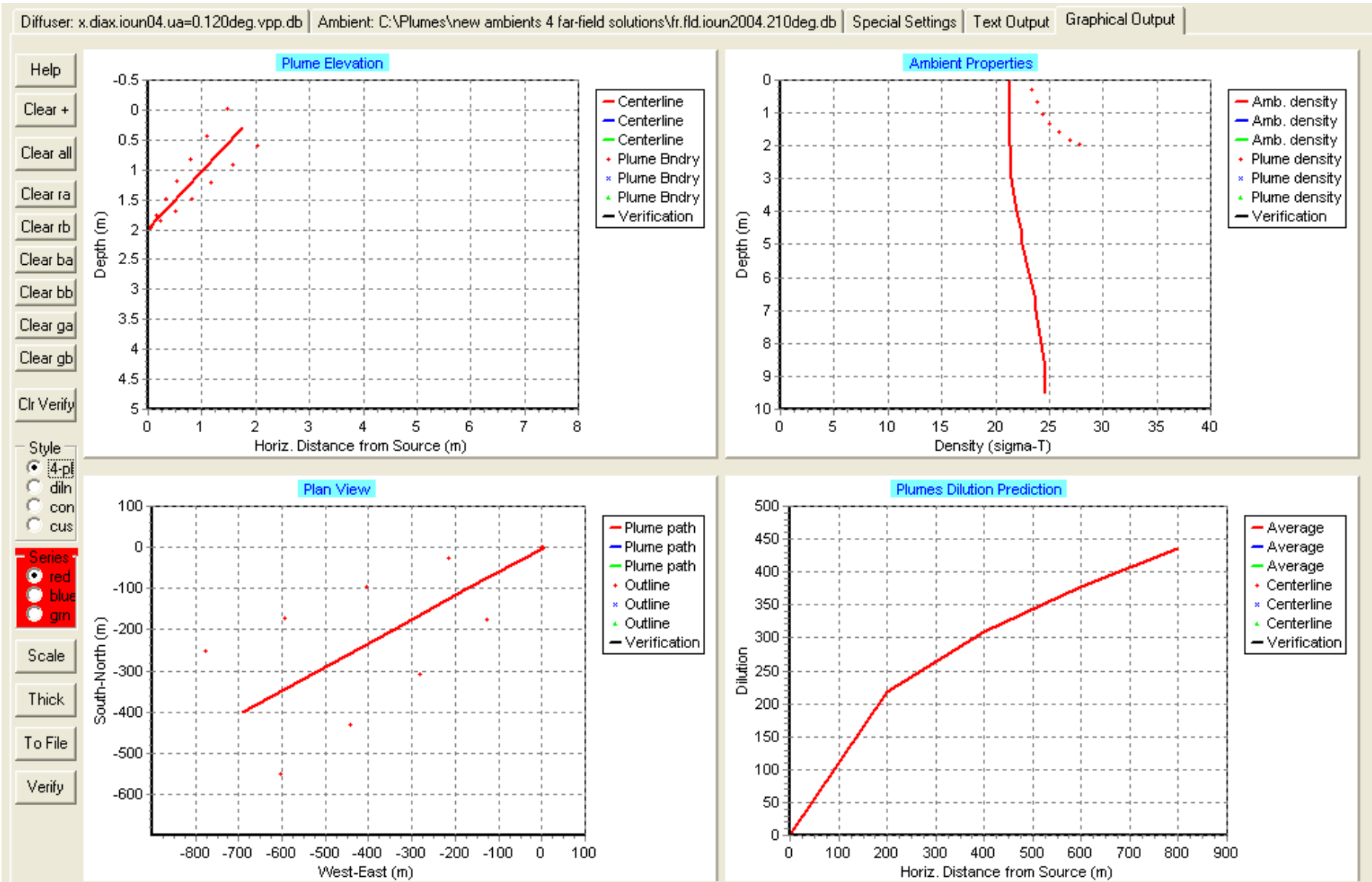
Συνεκδοχικά αναμένεται η γρηγορότερη εξισορρόπηση των διαφορών στη θερμοκρασία, την αλατότητα και την πυκνότητα με σκοπό τον περιορισμό της περιοχής που επηρεάζεται από το θερμικό σοκ που προκαλείται από την εκροή θερμού ύδατος στο θαλάσσιο περιβάλλον.



ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

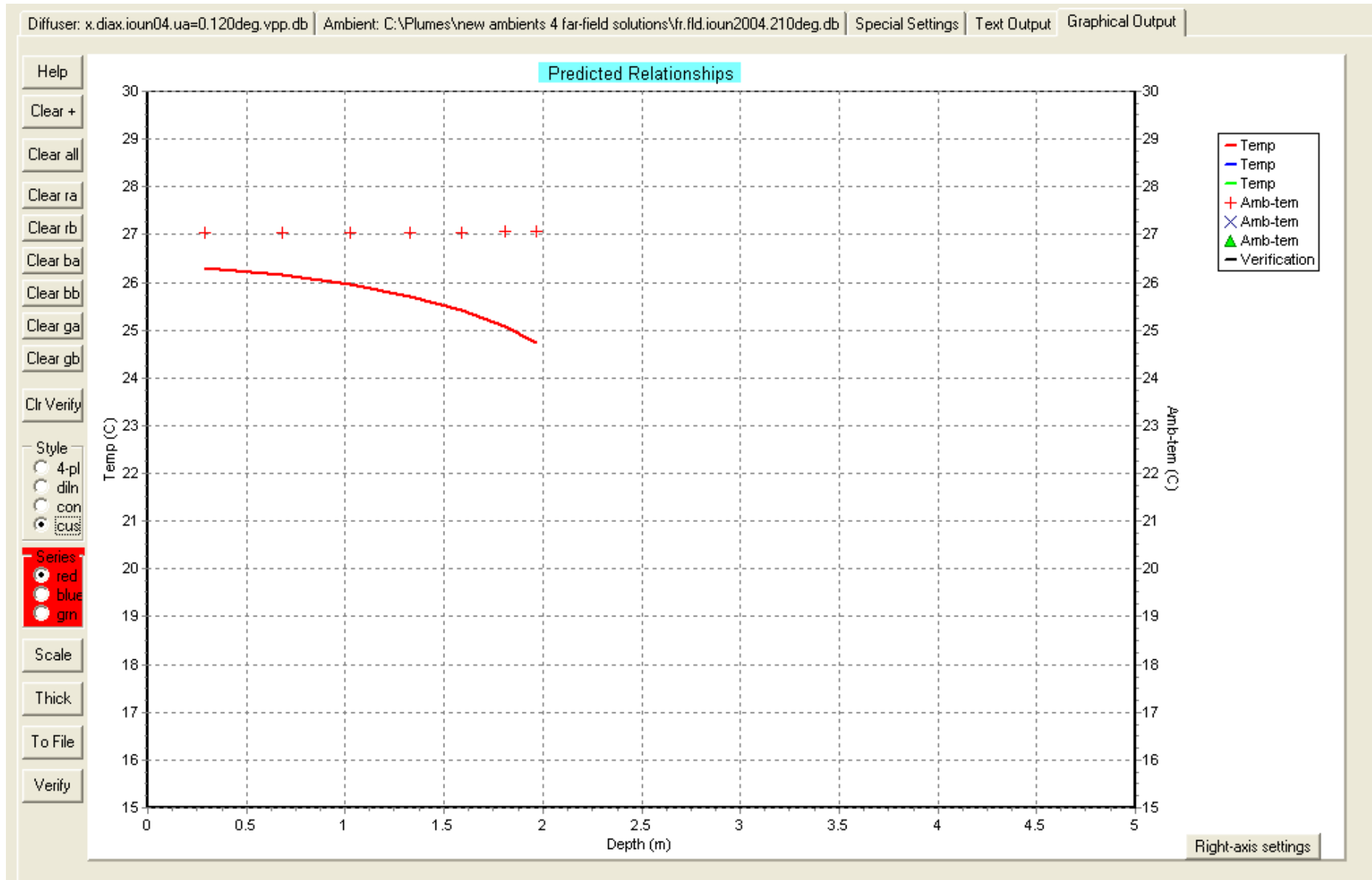


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



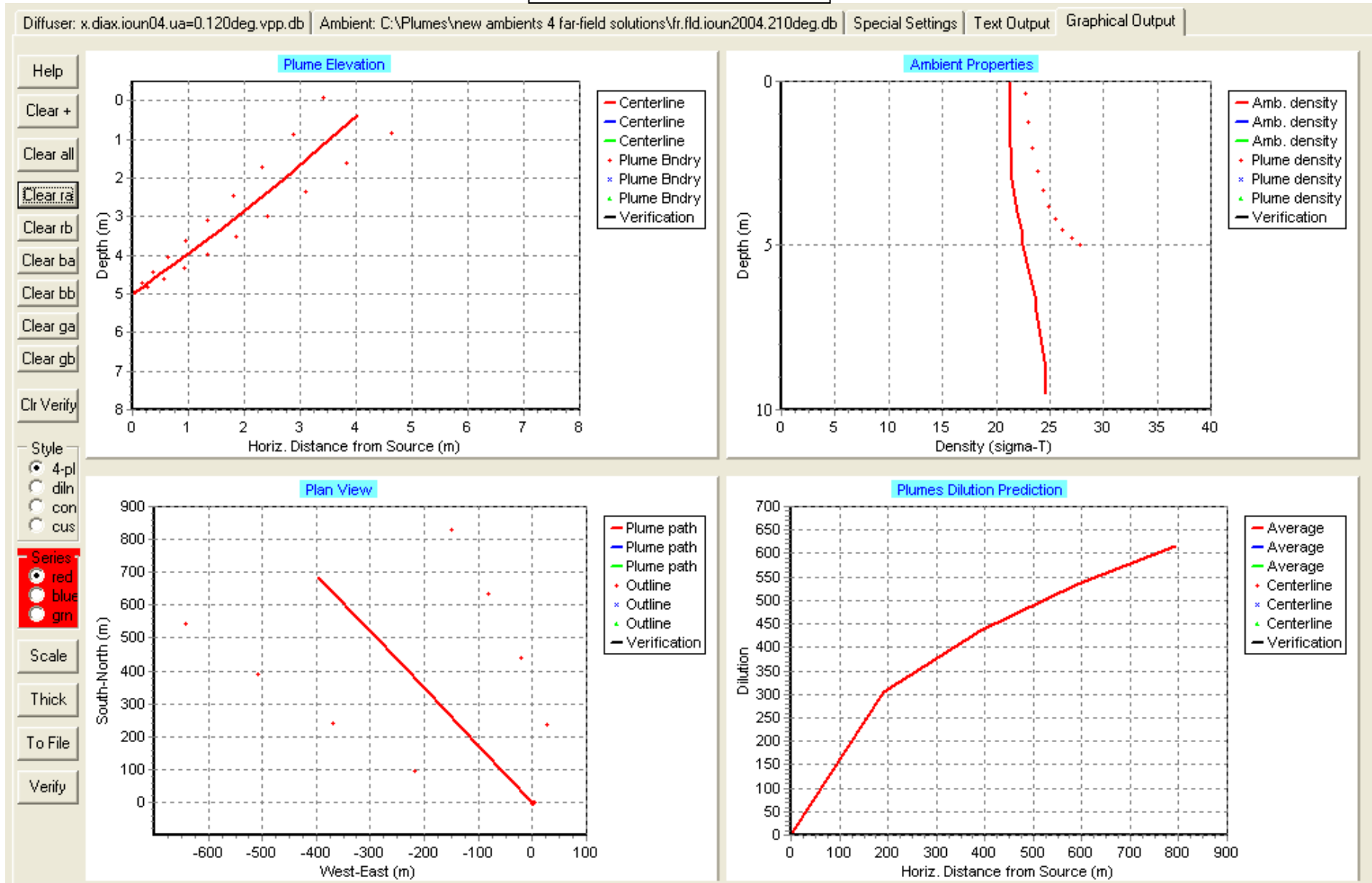
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



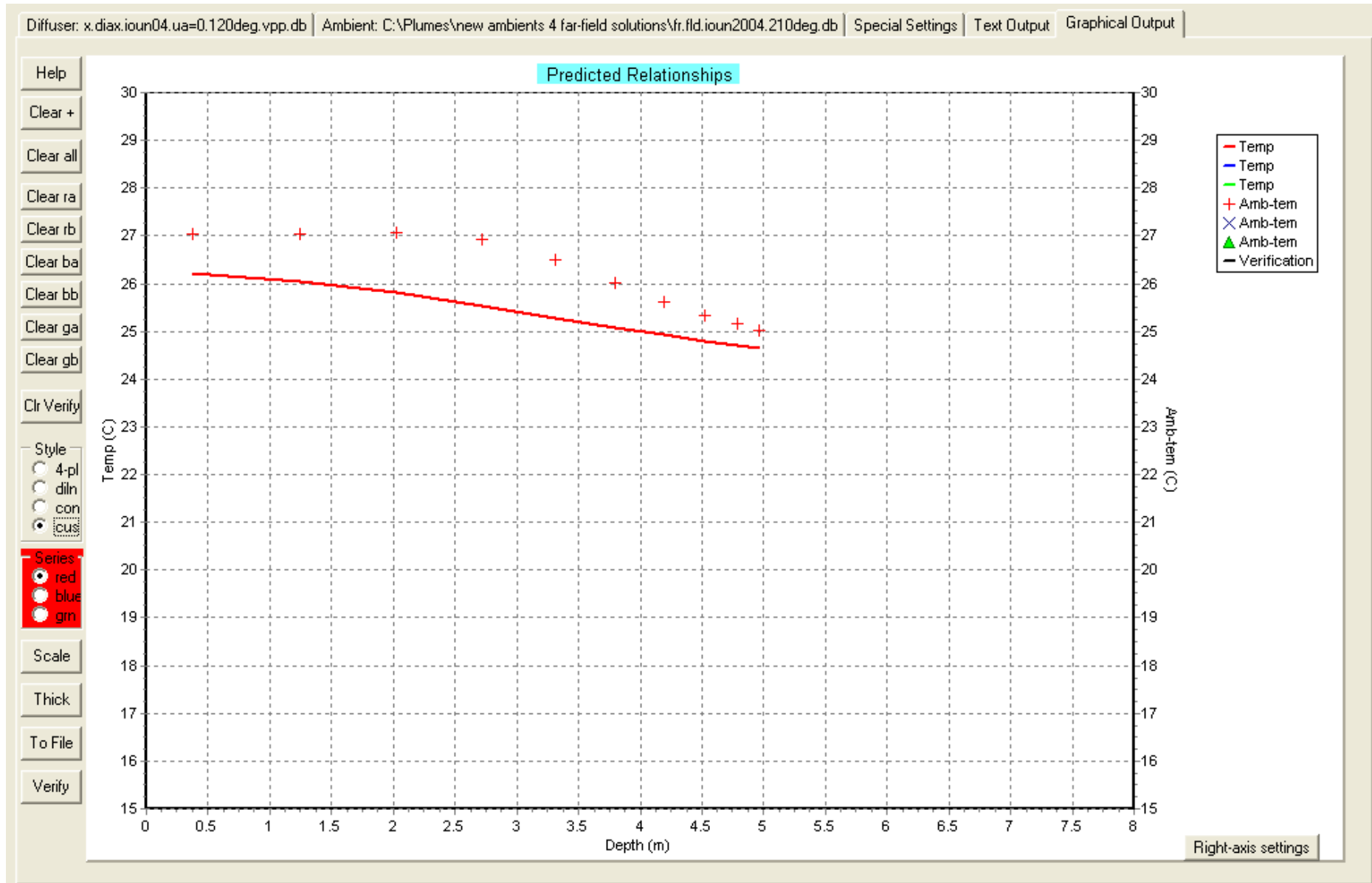
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

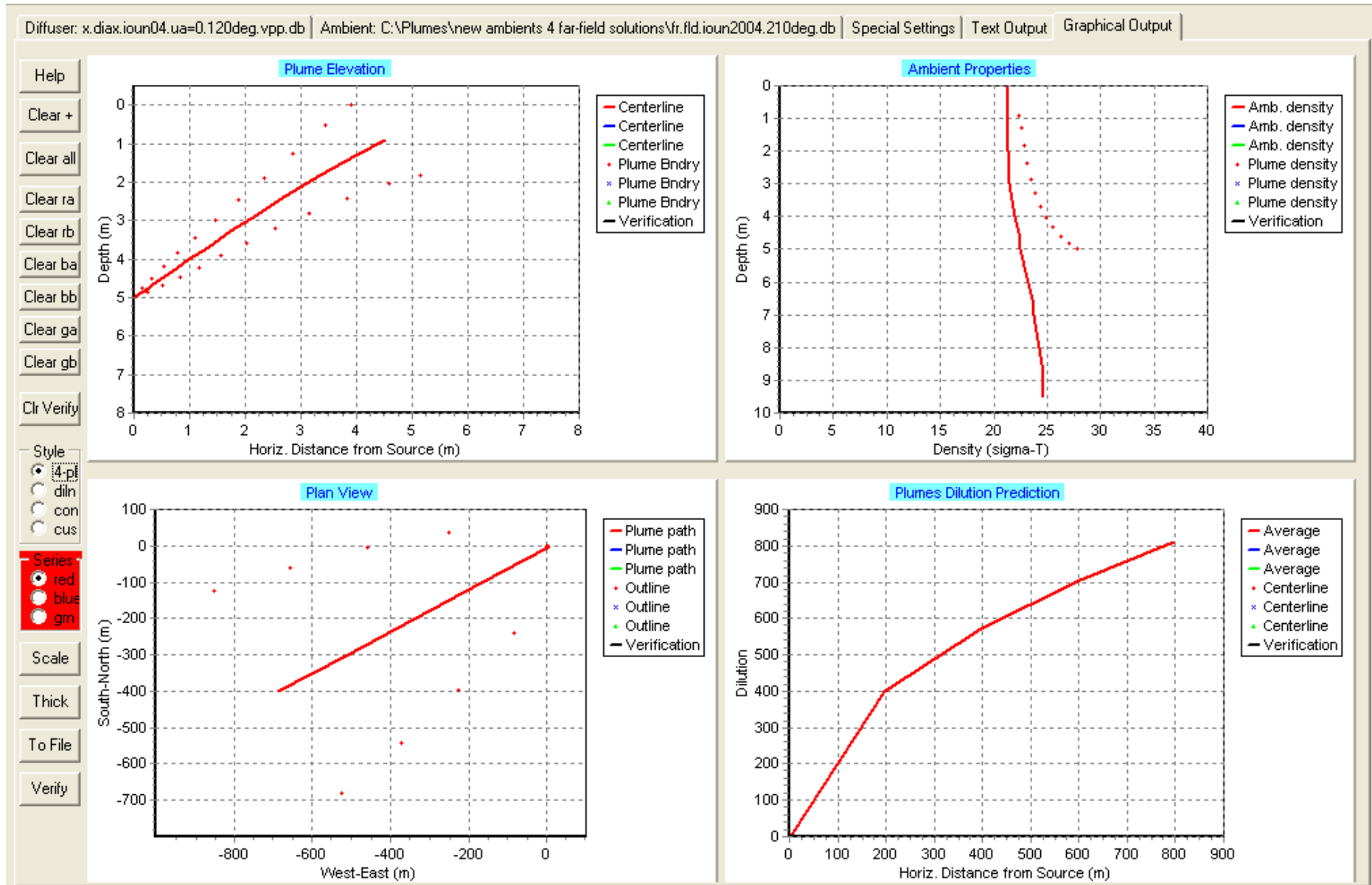


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

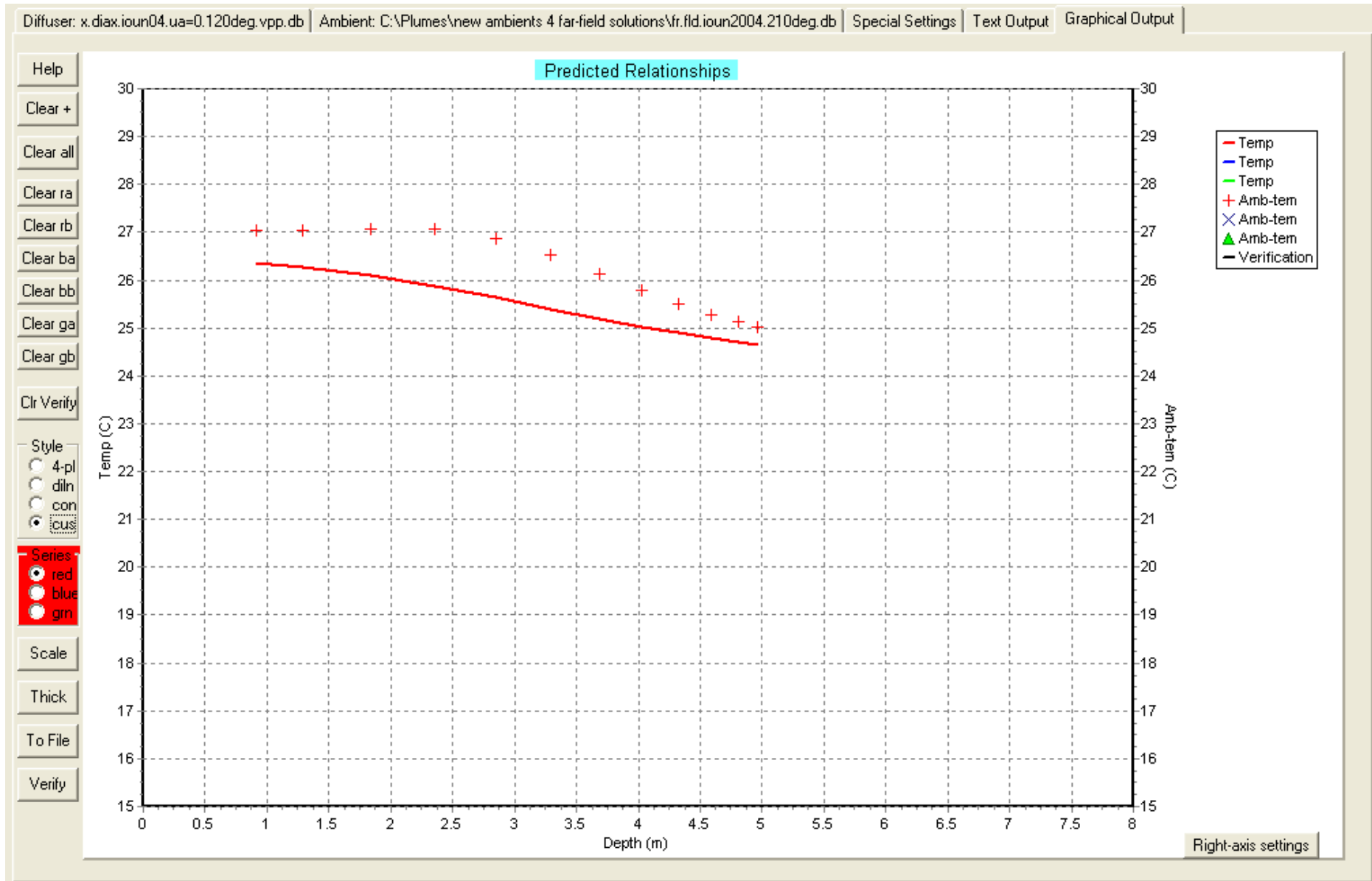


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

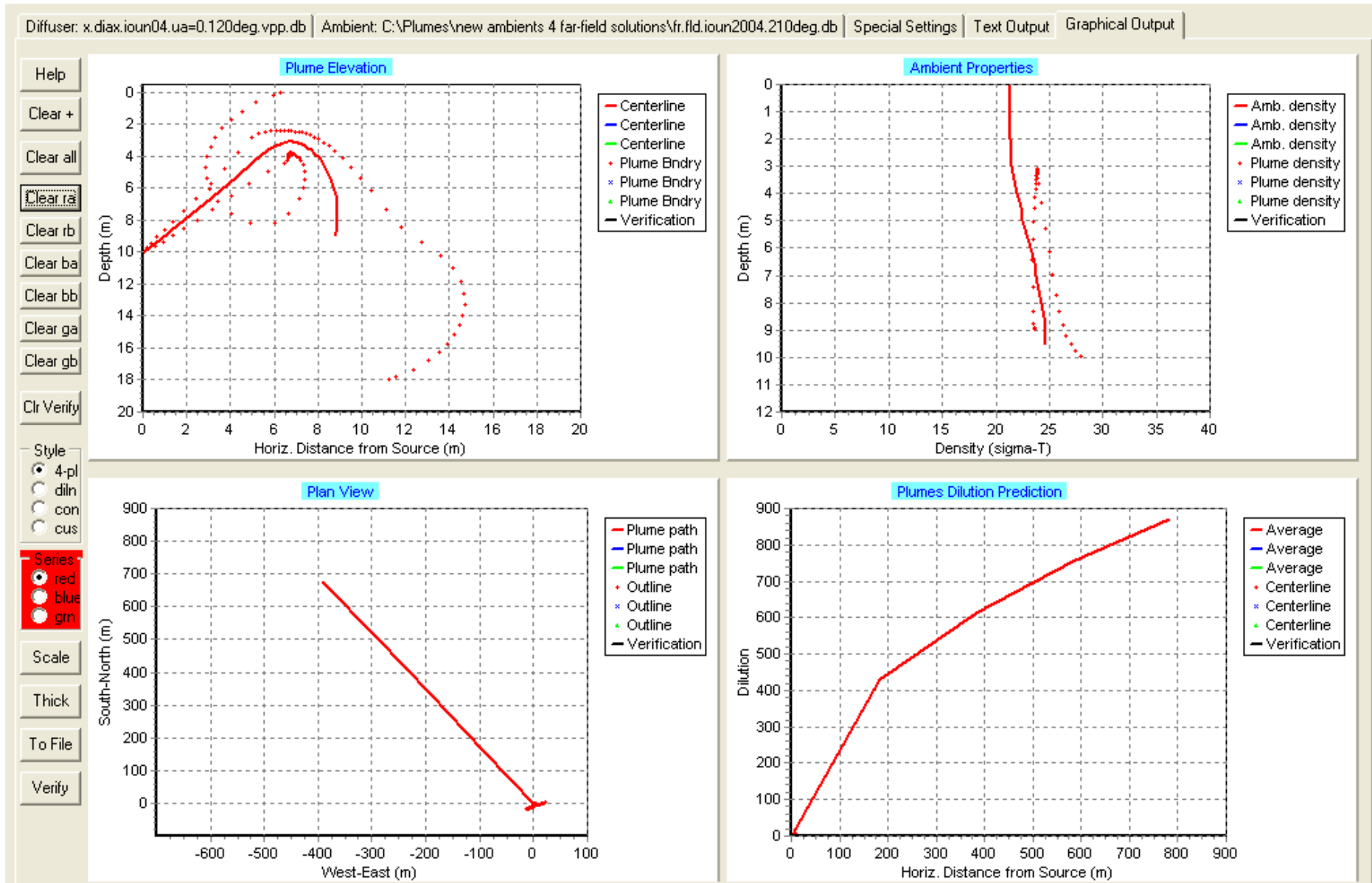


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

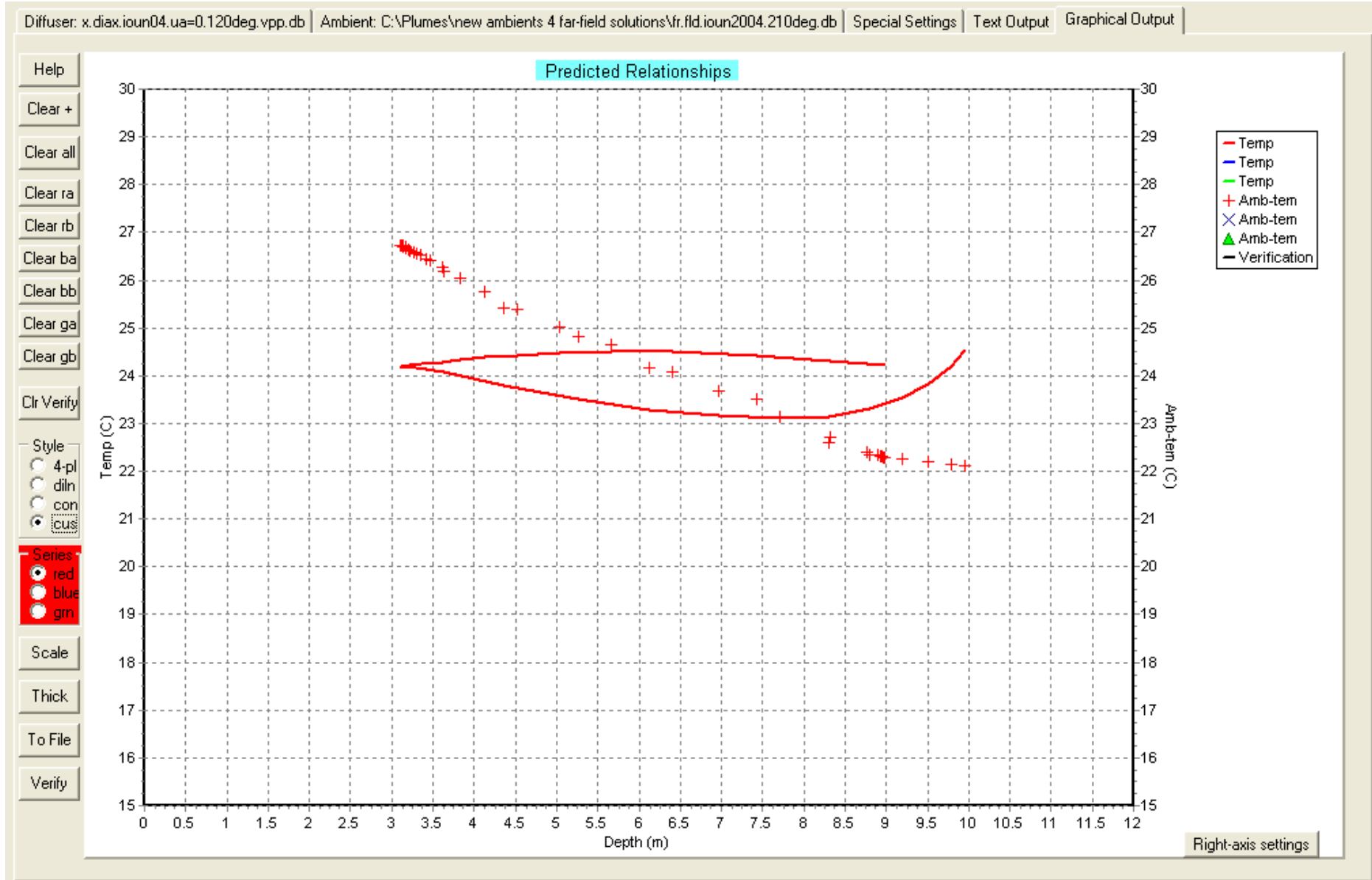
ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



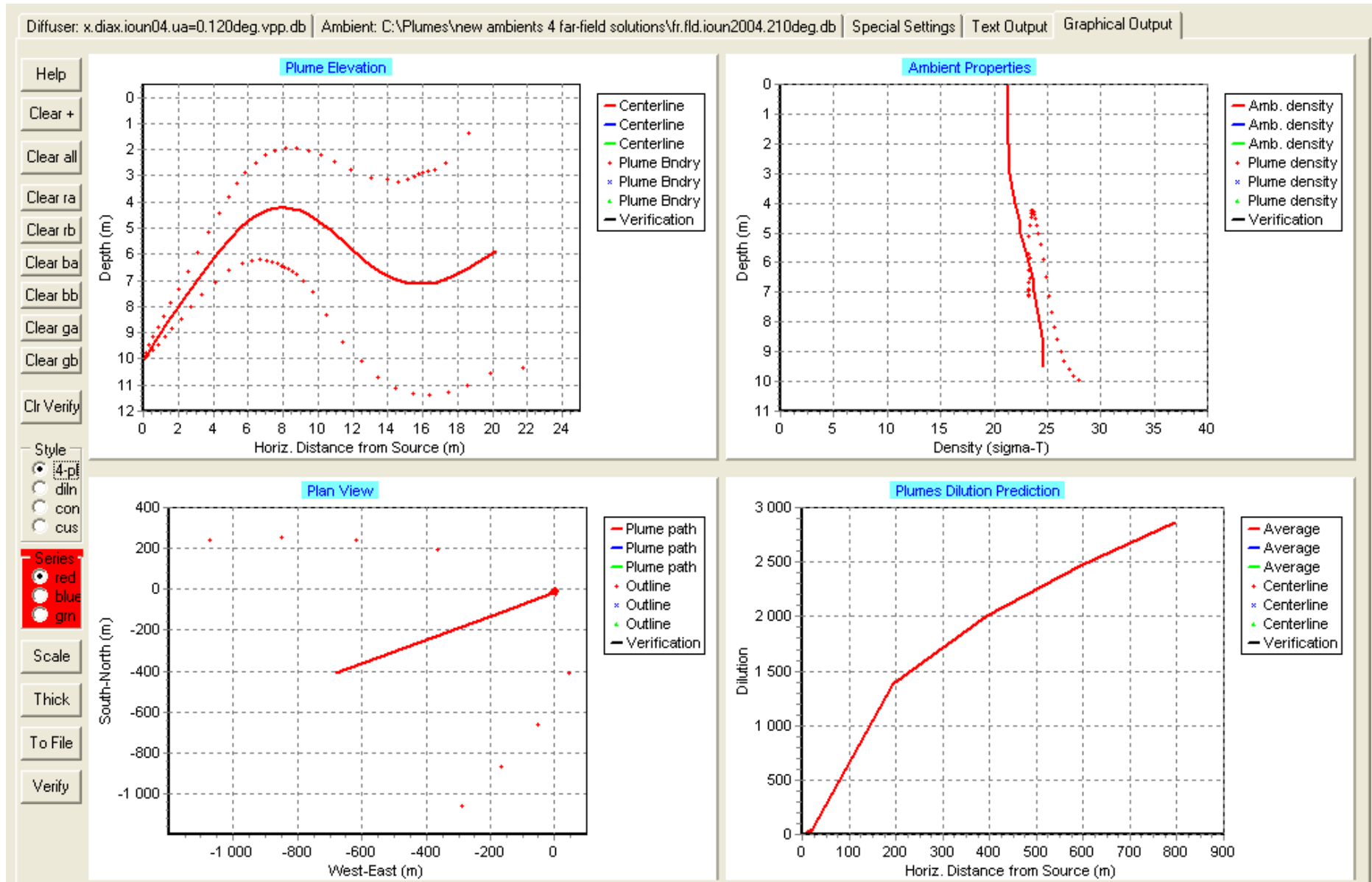
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°

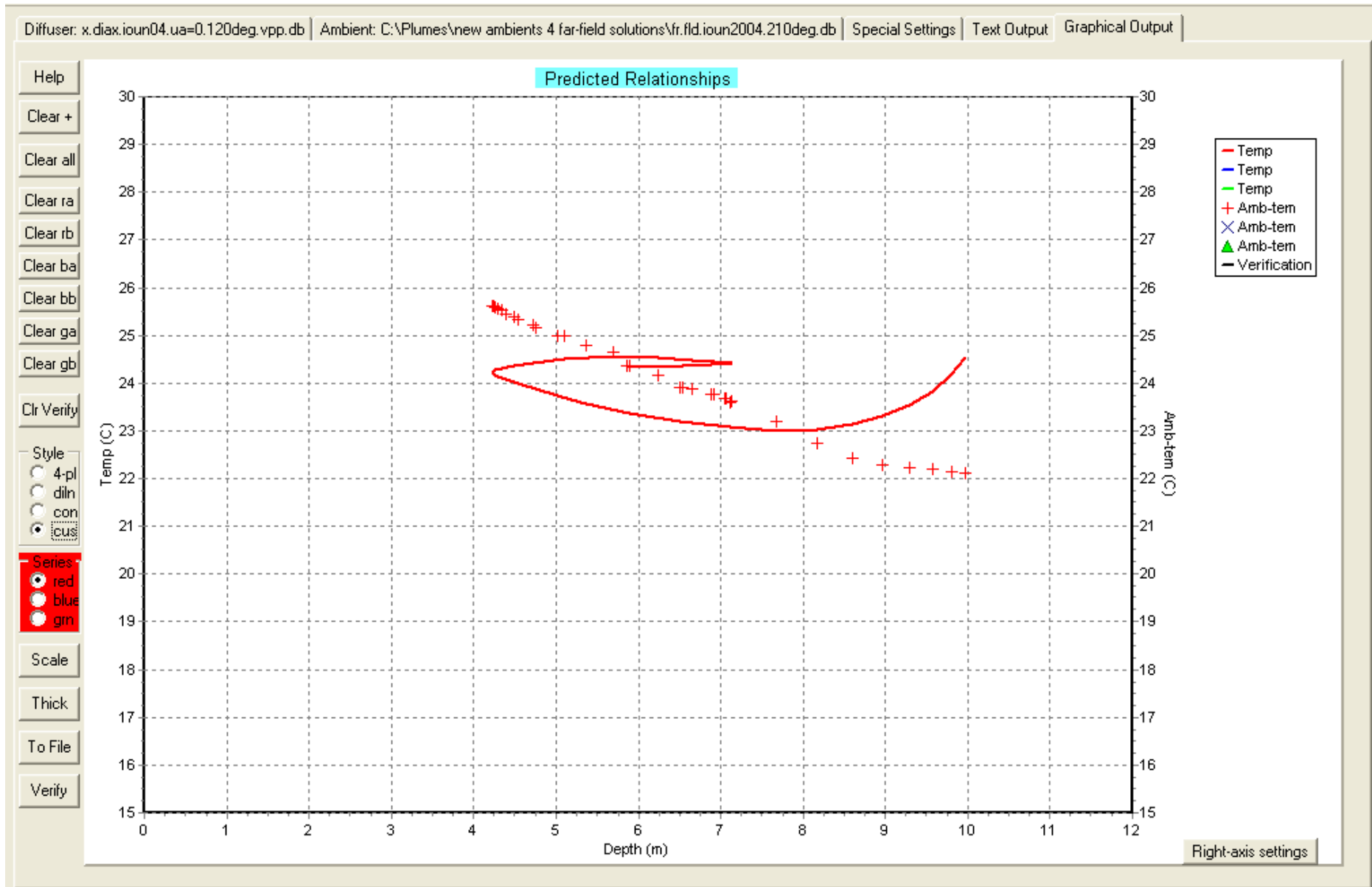


ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°





ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Ιούνιος 2004**

Βάθος εκροής 2m

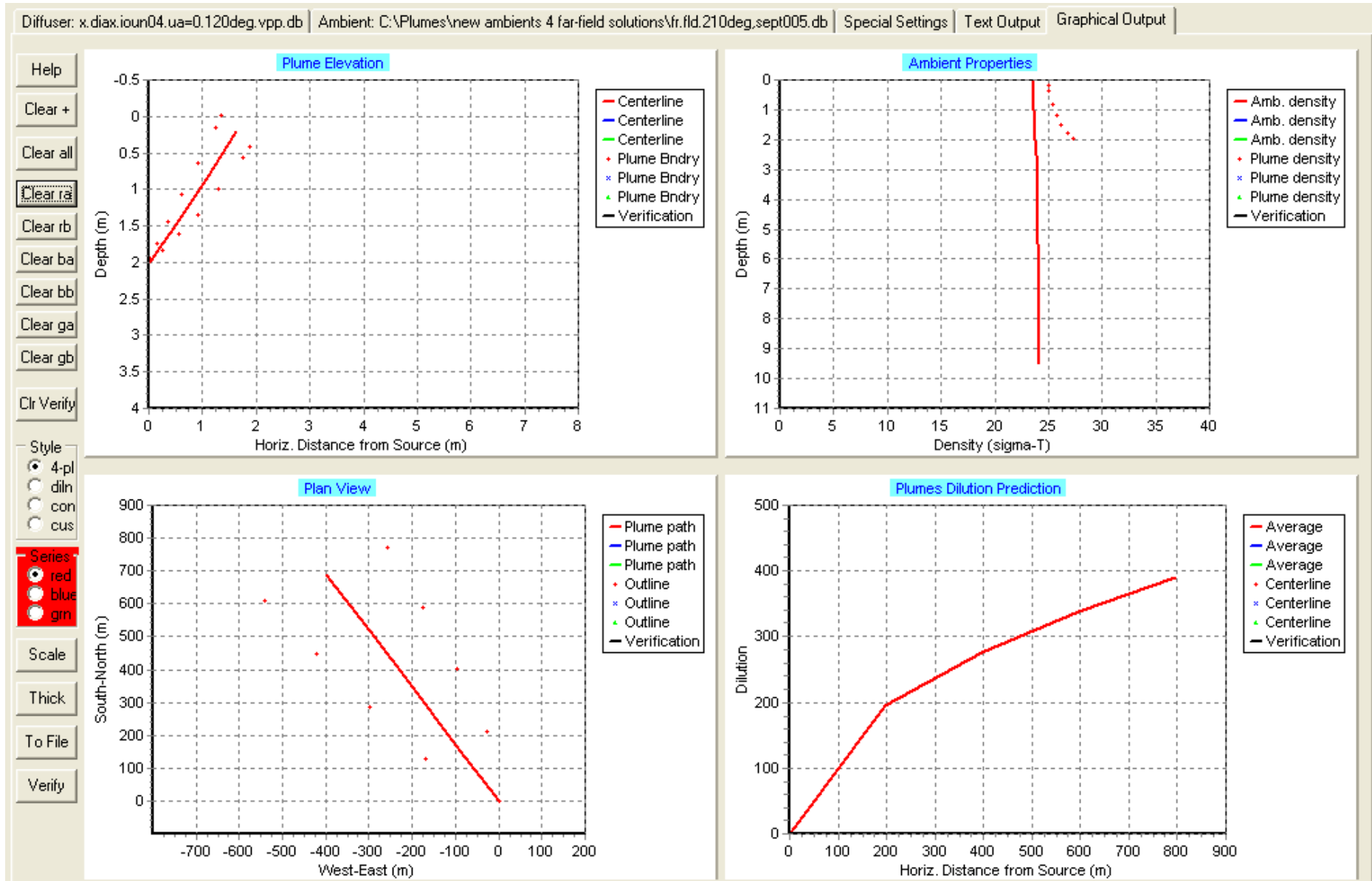
Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται το εξής φαινόμενο: επειδή έχει επιτευχθεί μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας του αποβαλλόμενου από το αντλούμενο, από βάθος 10m, νερό στους +2,5°C αλλά και λόγω της έντονης θερμοκρασιακής στρωμάτωσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, το εκρεόμενο νερό παρουσιάζει τελικά χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές του αποδέκτη για μικρά βάθη εκροής. Δηλαδή πετυχαίνουμε λόγω της ανάμιξης τη μετατροπή των 'θερμών' λυμάτων σε 'ψυχρά' σε σχέση με τη θάλασσα.

Βάθος εκροής 5m

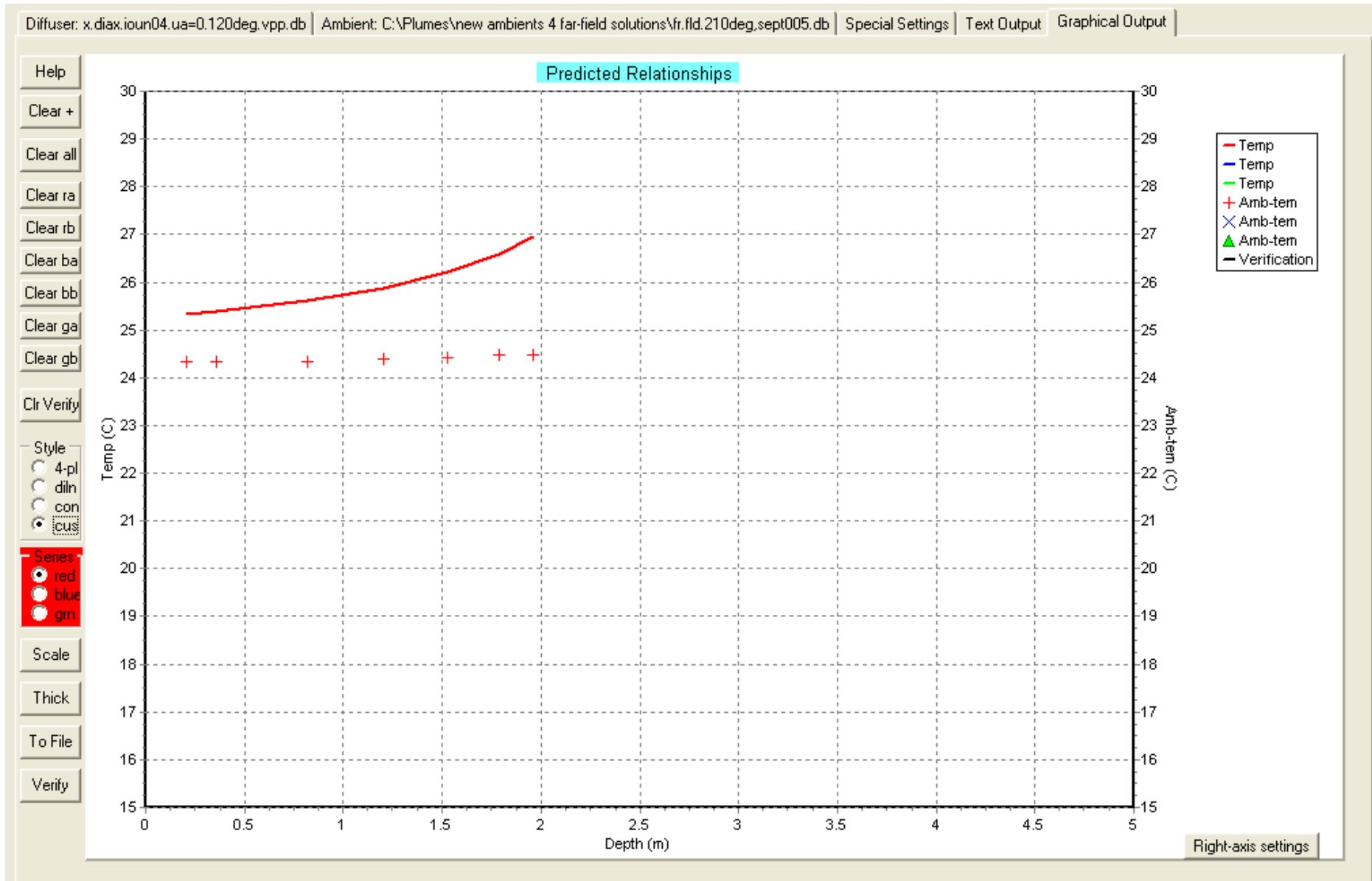
Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται το εξής φαινόμενο: επειδή έχει επιτευχθεί μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας του αποβαλλόμενου από το αντλούμενο, από βάθος 10m, νερό στους +2,5°C αλλά και λόγω της έντονης θερμοκρασιακής στρωμάτωσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, το αποβαλλόμενο νερό παρουσιάζει τελικά χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές του αποδέκτη για μικρά βάθη εκροής. Δηλαδή πετυχαίνουμε λόγω της ανάμιξης τη μετατροπή των 'θερμών' λυμάτων σε 'ψυχρά' σε σχέση με τη θάλασσα.

Βάθος εκροής 10m

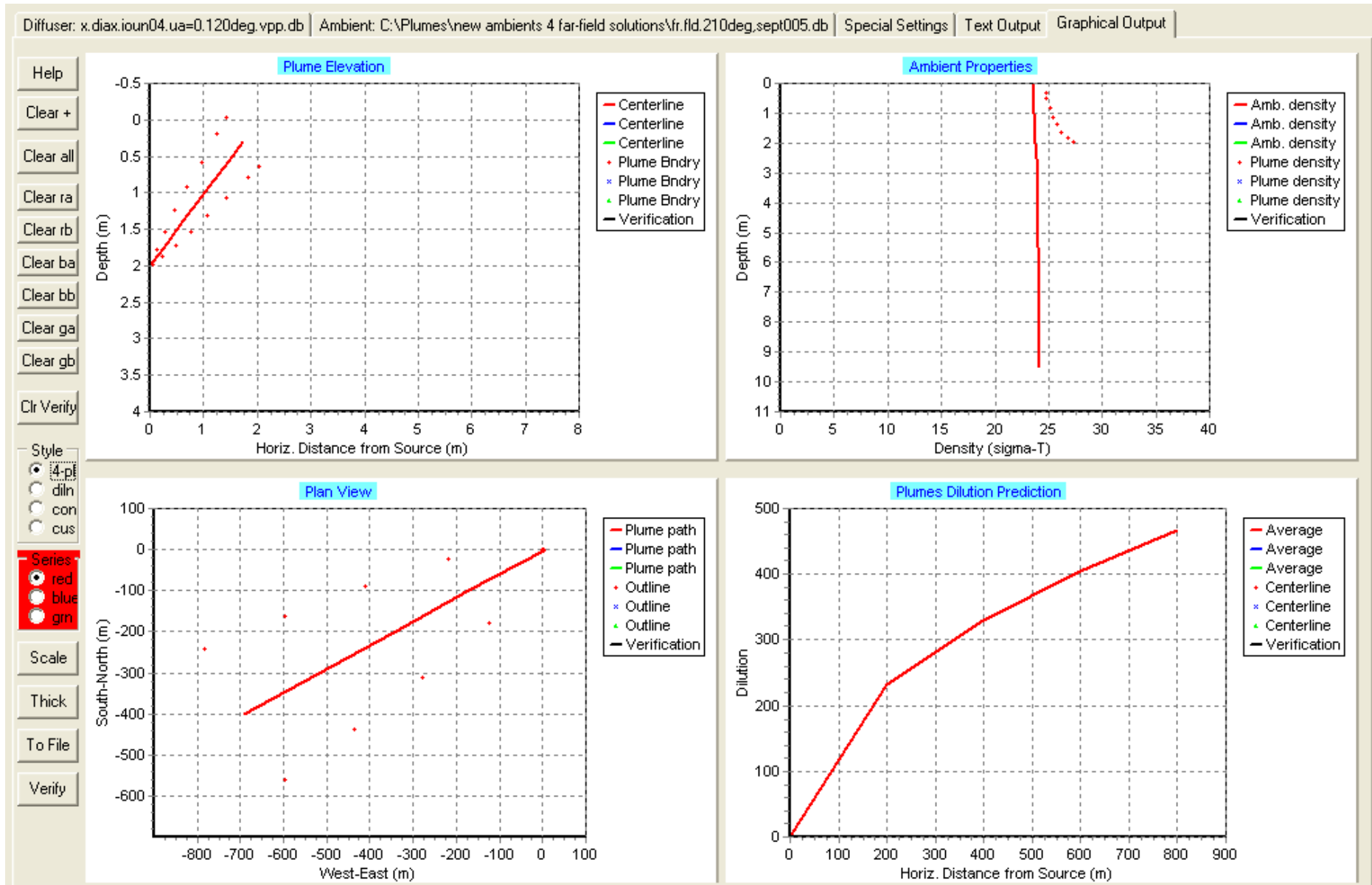
Στην περίπτωση των 10m βάθους εκροής έχουμε παγίδευση του πλουμίου στα 7-8m. Κατά την έξοδό του στο σημείο εκροής έχουμε θερμοκρασιακή διαφορά πάνω από 1,5°C όμως παρατηρείται ταχεία εξίσωση των θερμοκρασιών κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια. Γενικότερα σε όλα τα βάθη η θερμοκρασιακή διαφορά δεν ξεπερνάει τους 1,5°C.



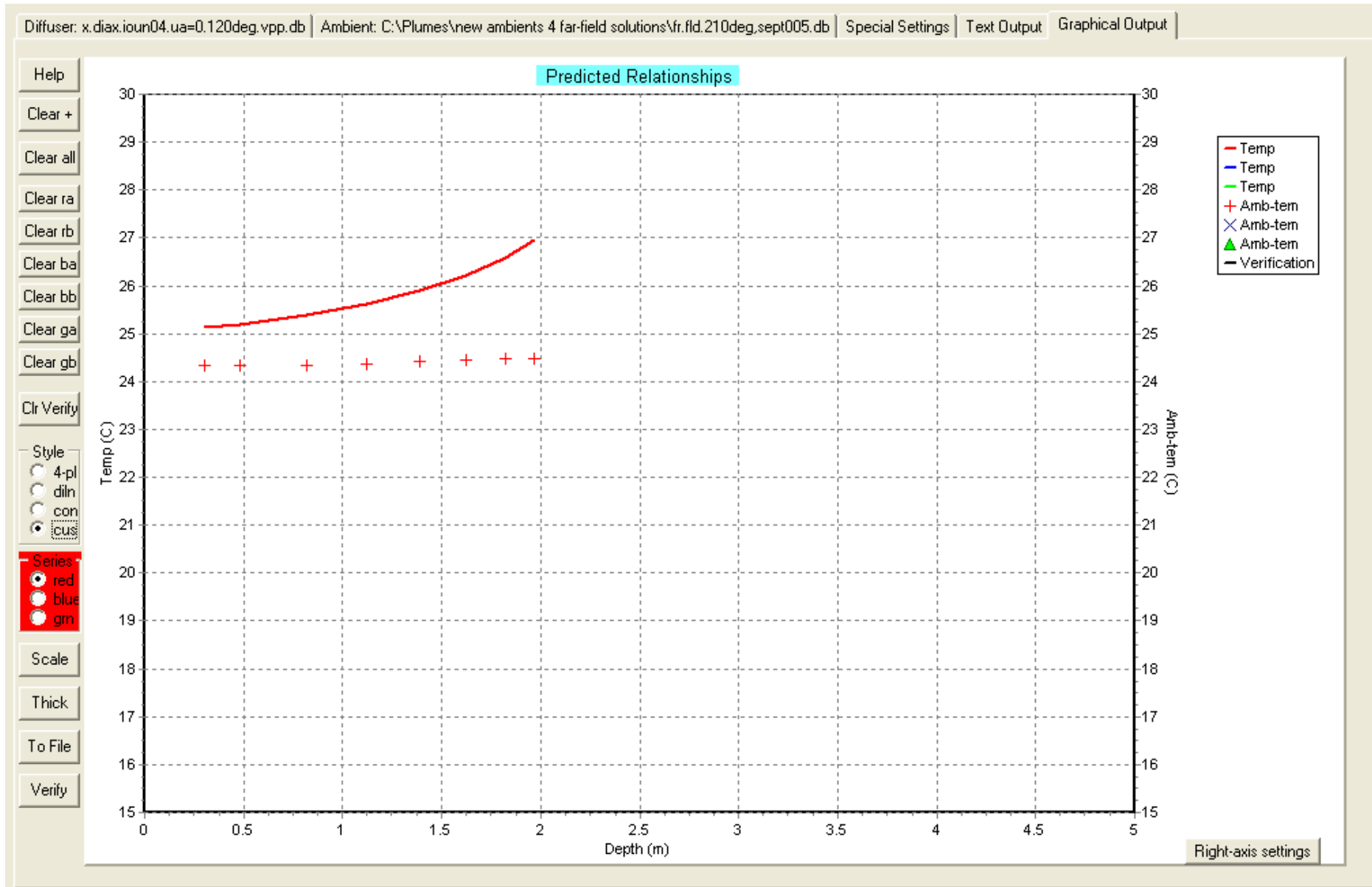
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



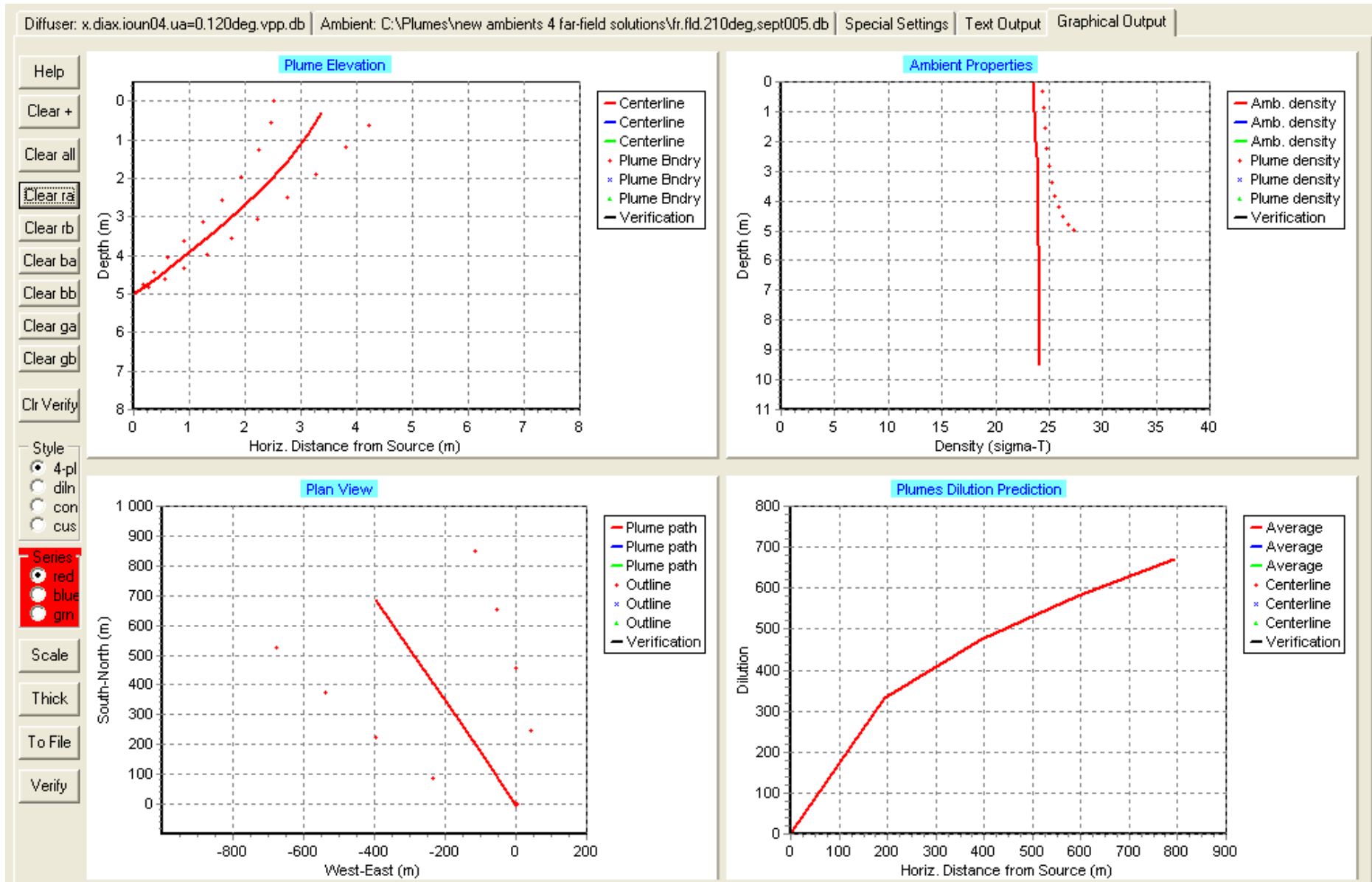
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°



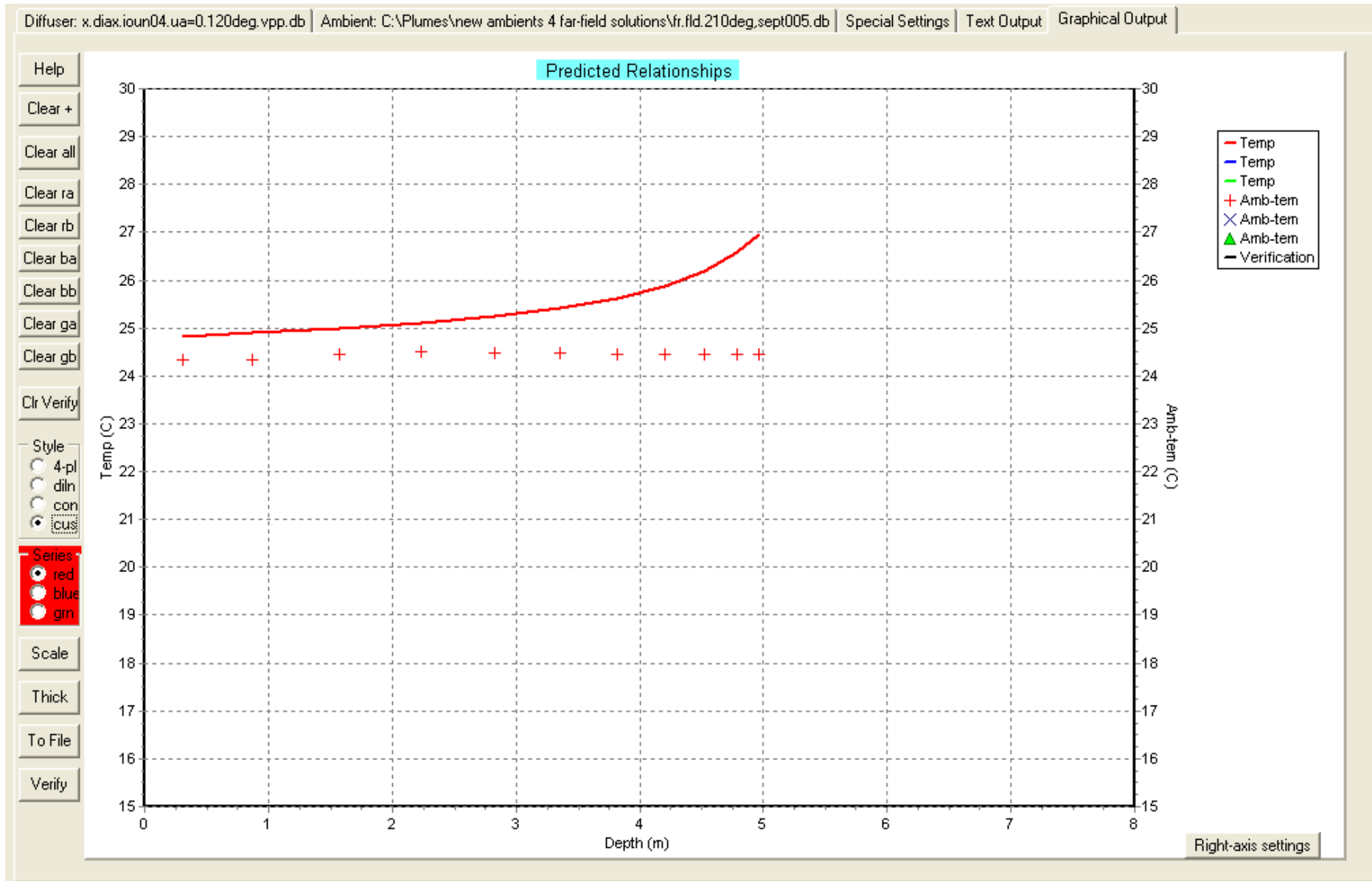
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



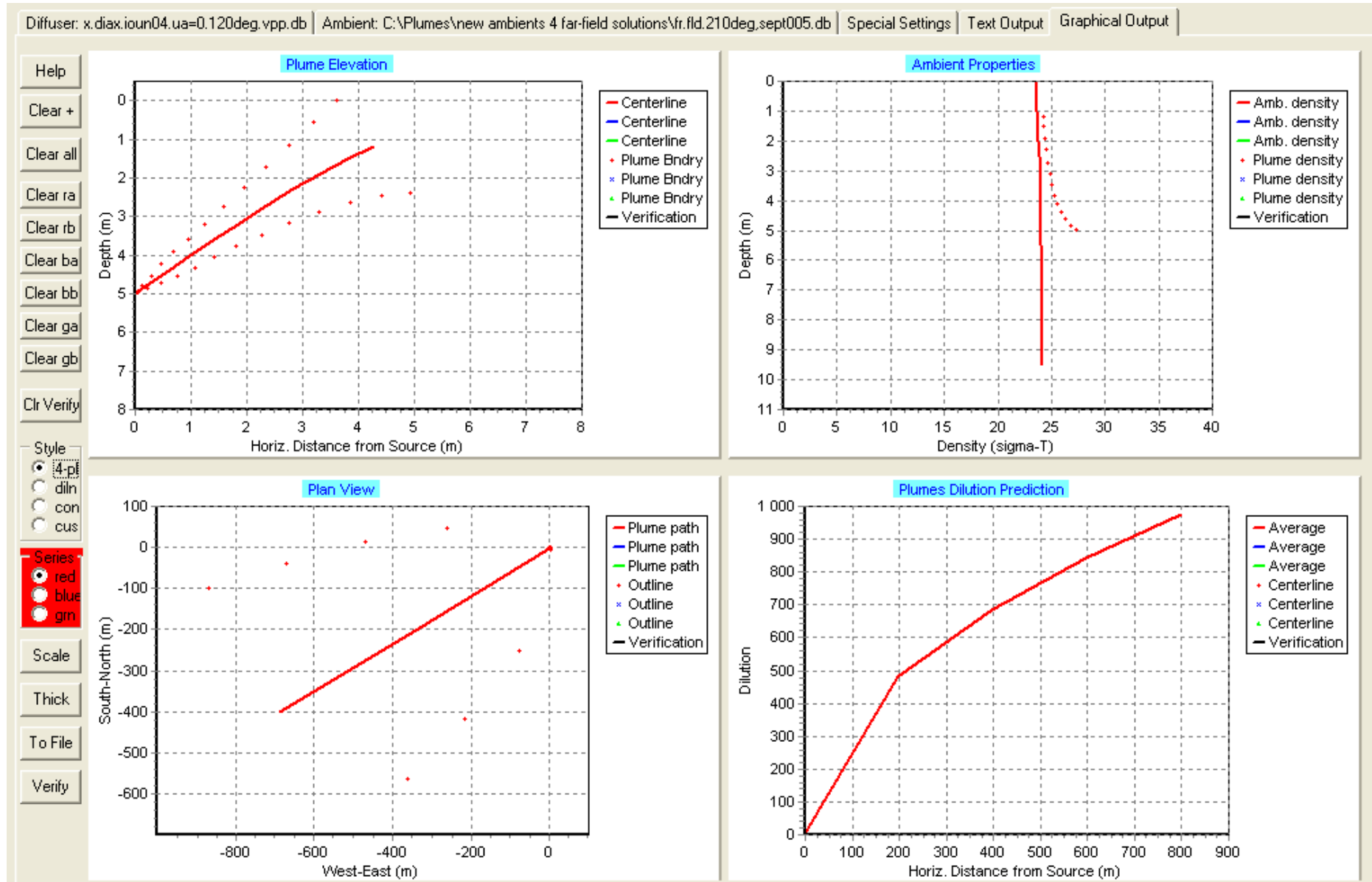
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



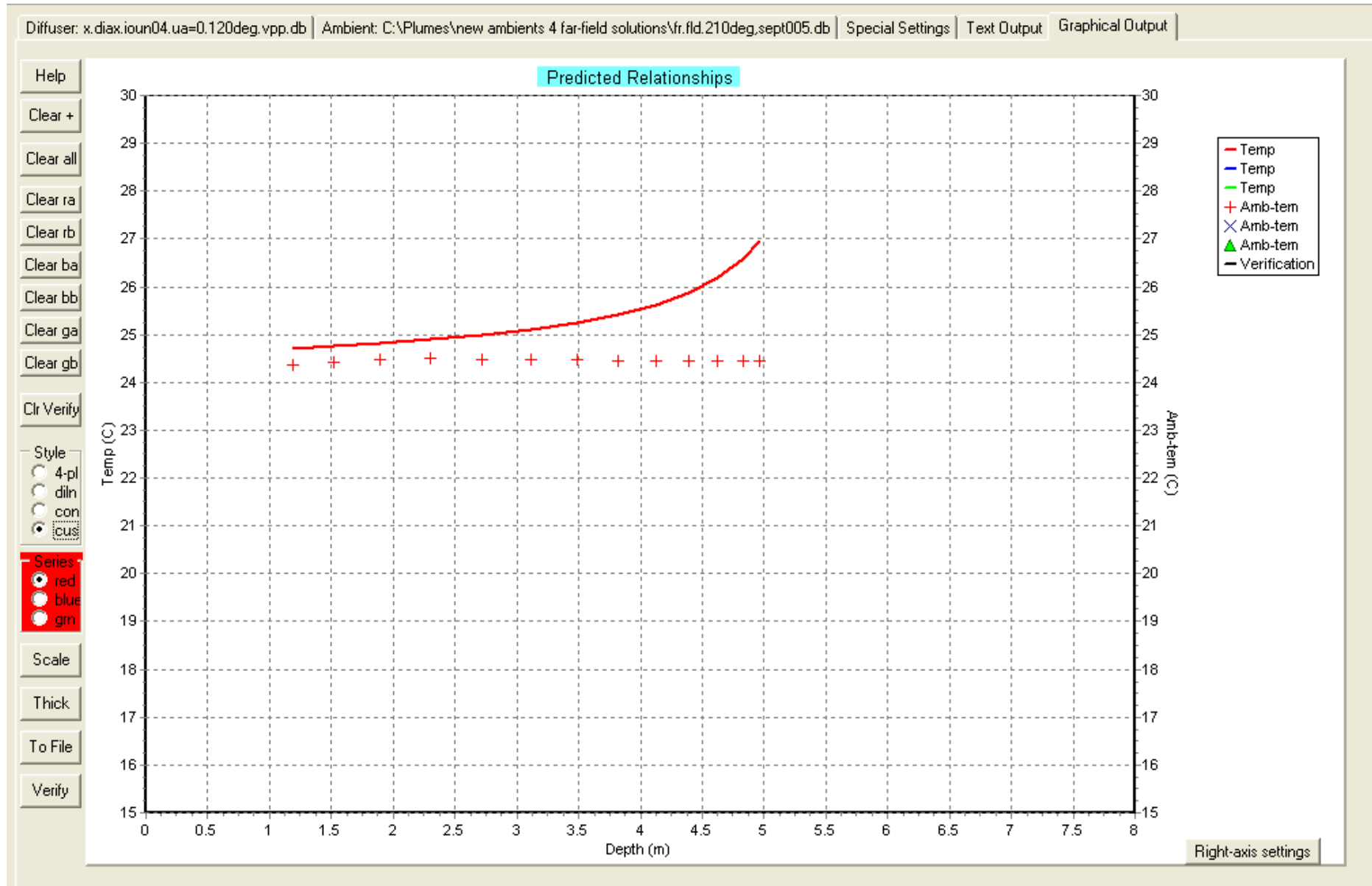
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



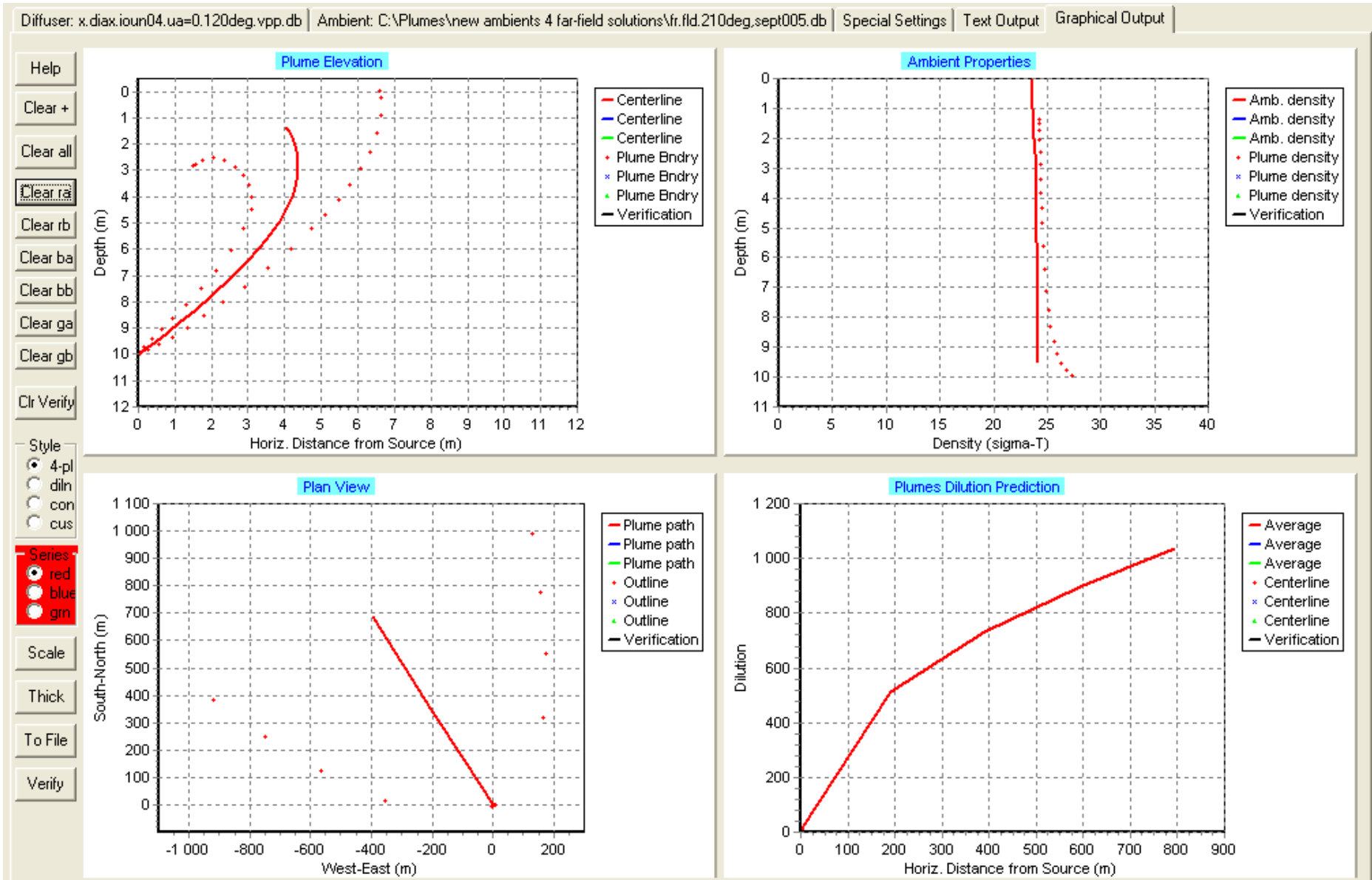
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΣΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



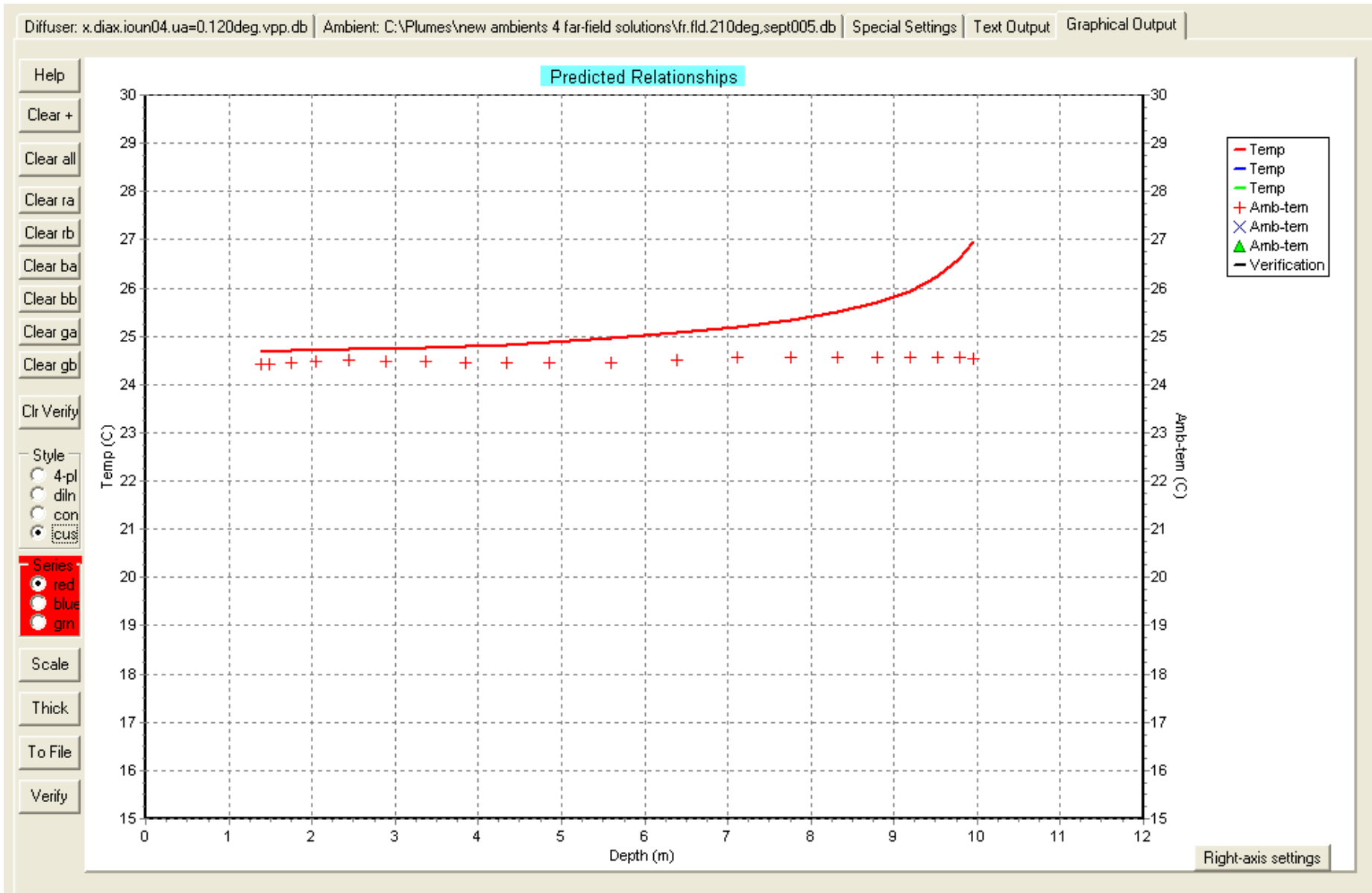
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



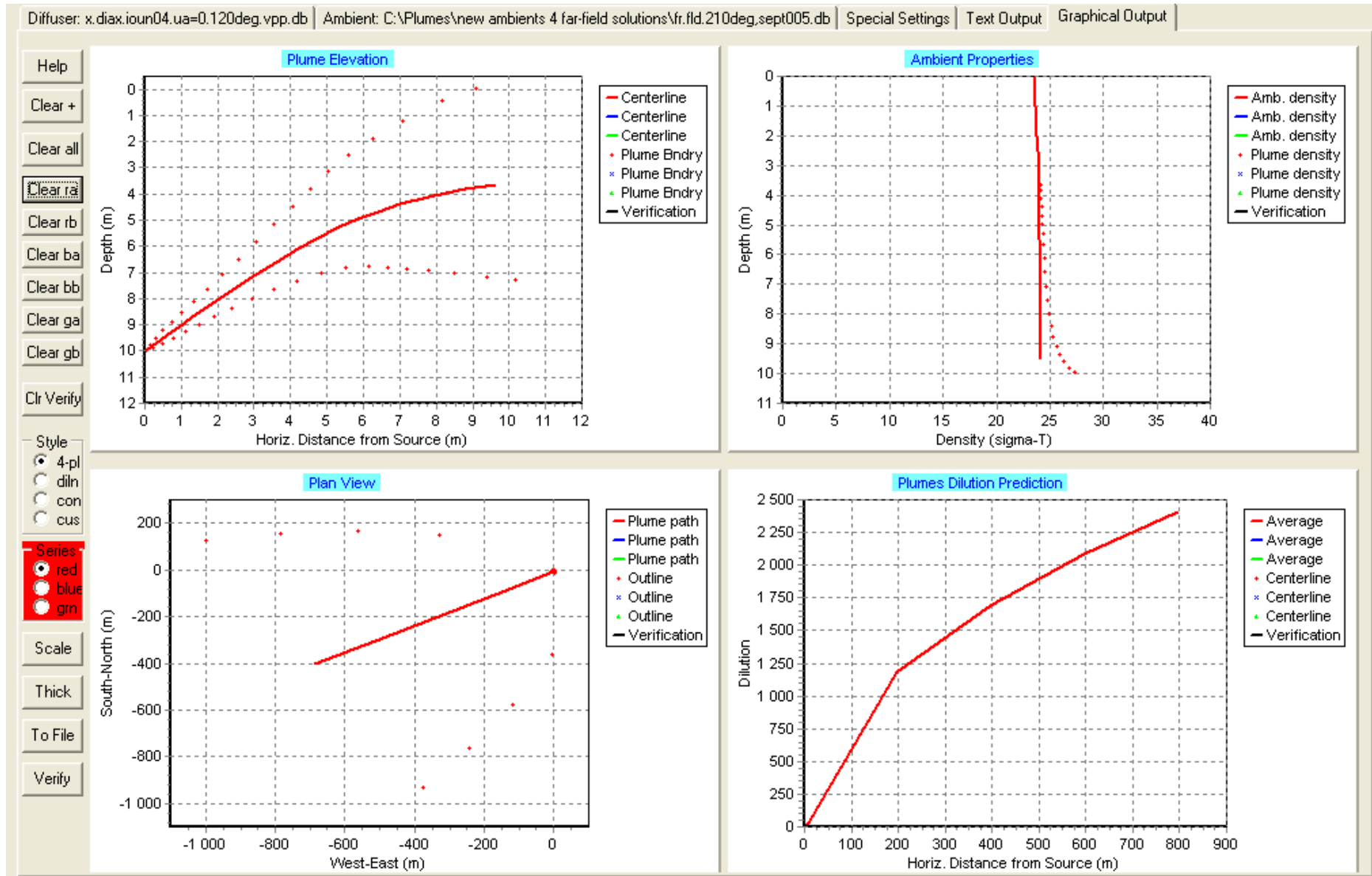
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



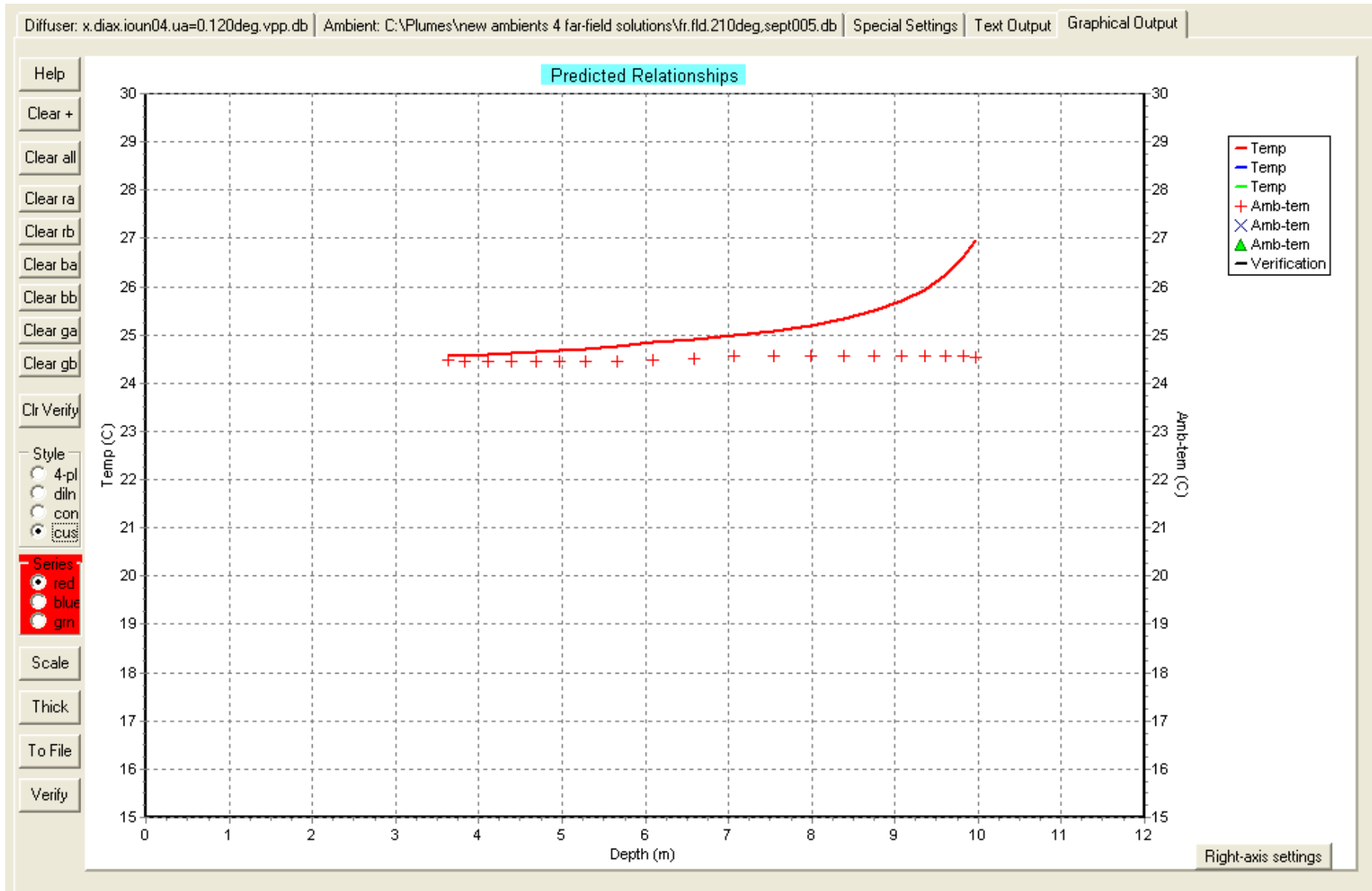
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°



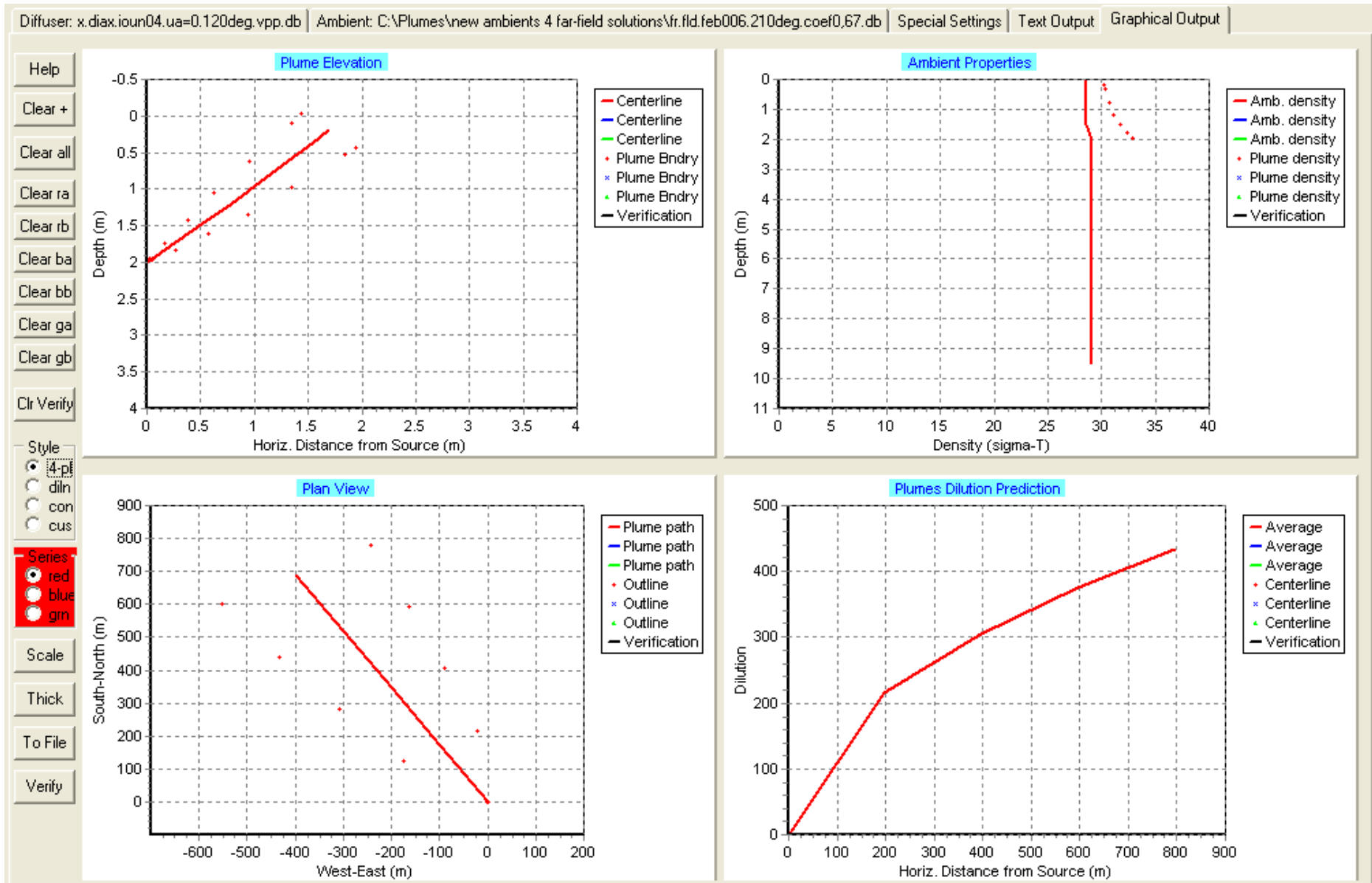
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Σεπτέμβριος 2004**

Βάθος εκροής 2m, 5m & 10m

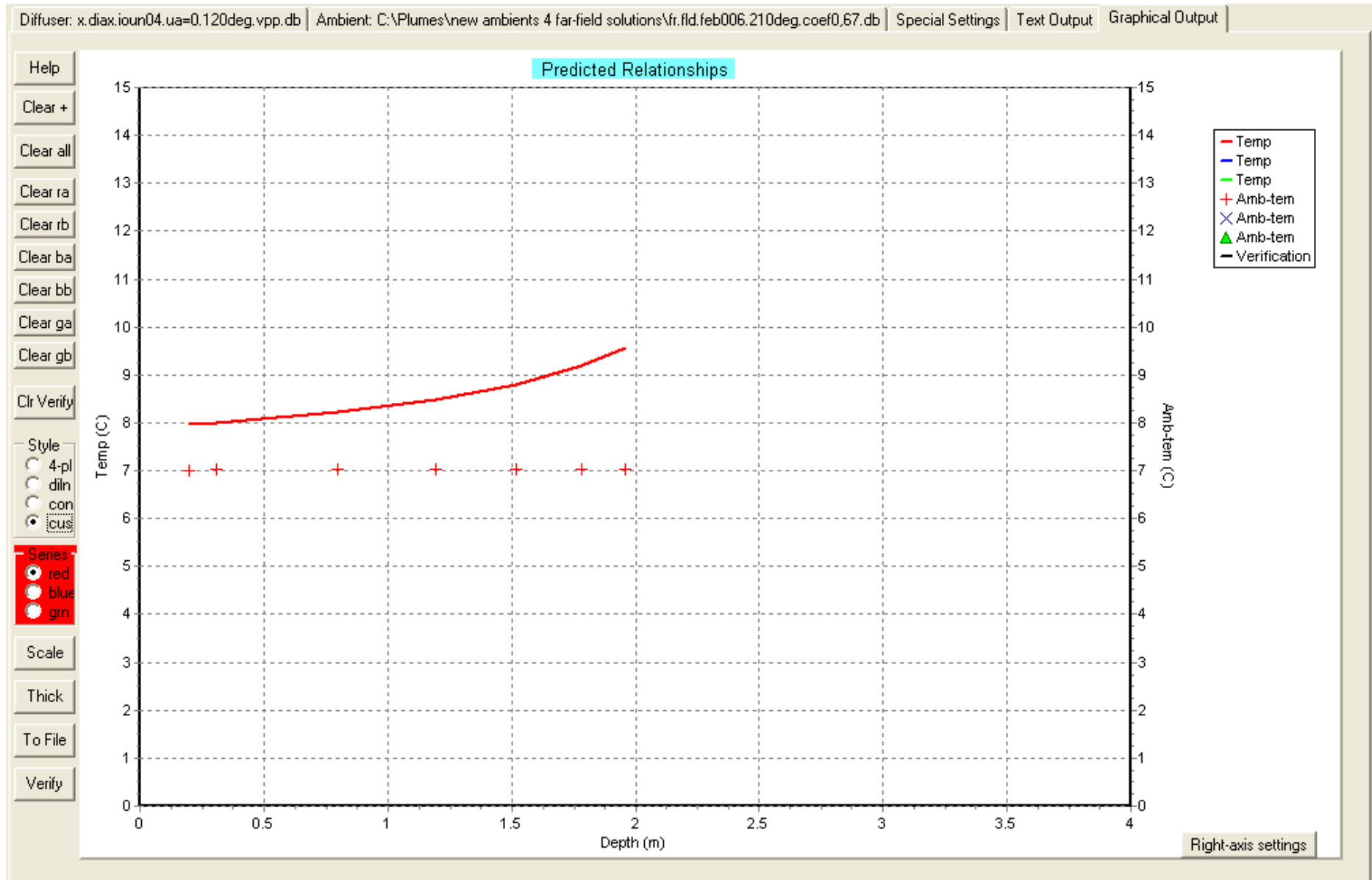
Γενικά για όλα τα βάθη εκροής παρατηρείται εκτόξευση του πλουμίου προς την επιφάνεια η οποία όμως ταυτόχρονα οδηγεί σε ταχεία εξίσωση των θερμοκρασιών πλουμίου-περιβάλλοντος. Λόγω δε μικρής διαφοράς στις τιμές αλατότητας και συνακόλουθα στις τιμές πυκνότητας, το πλούμιο εγκλωβίζεται σε παράλληλη πορεία με τον πυθμένα κοντά στην επιφάνεια.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005

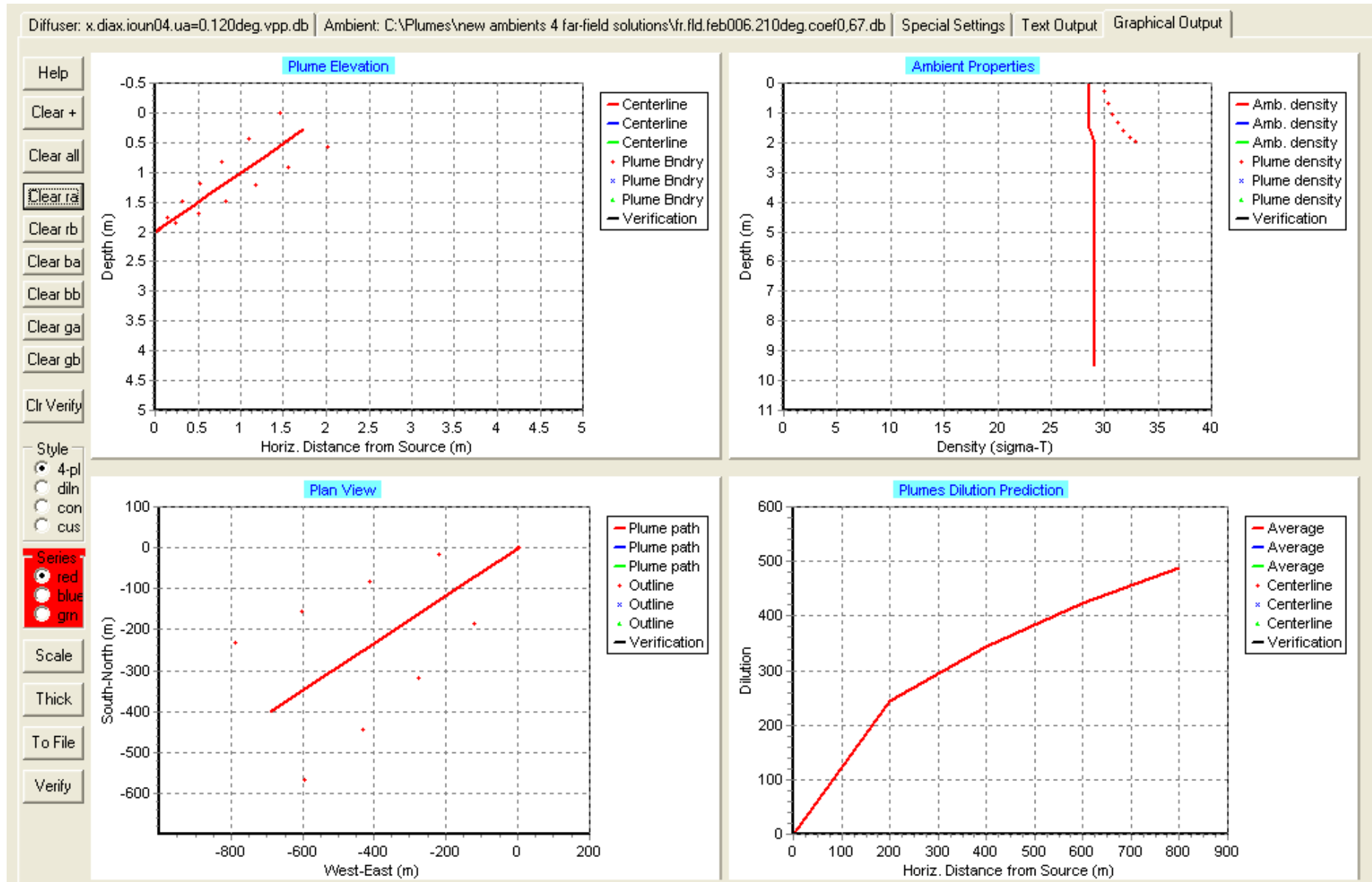


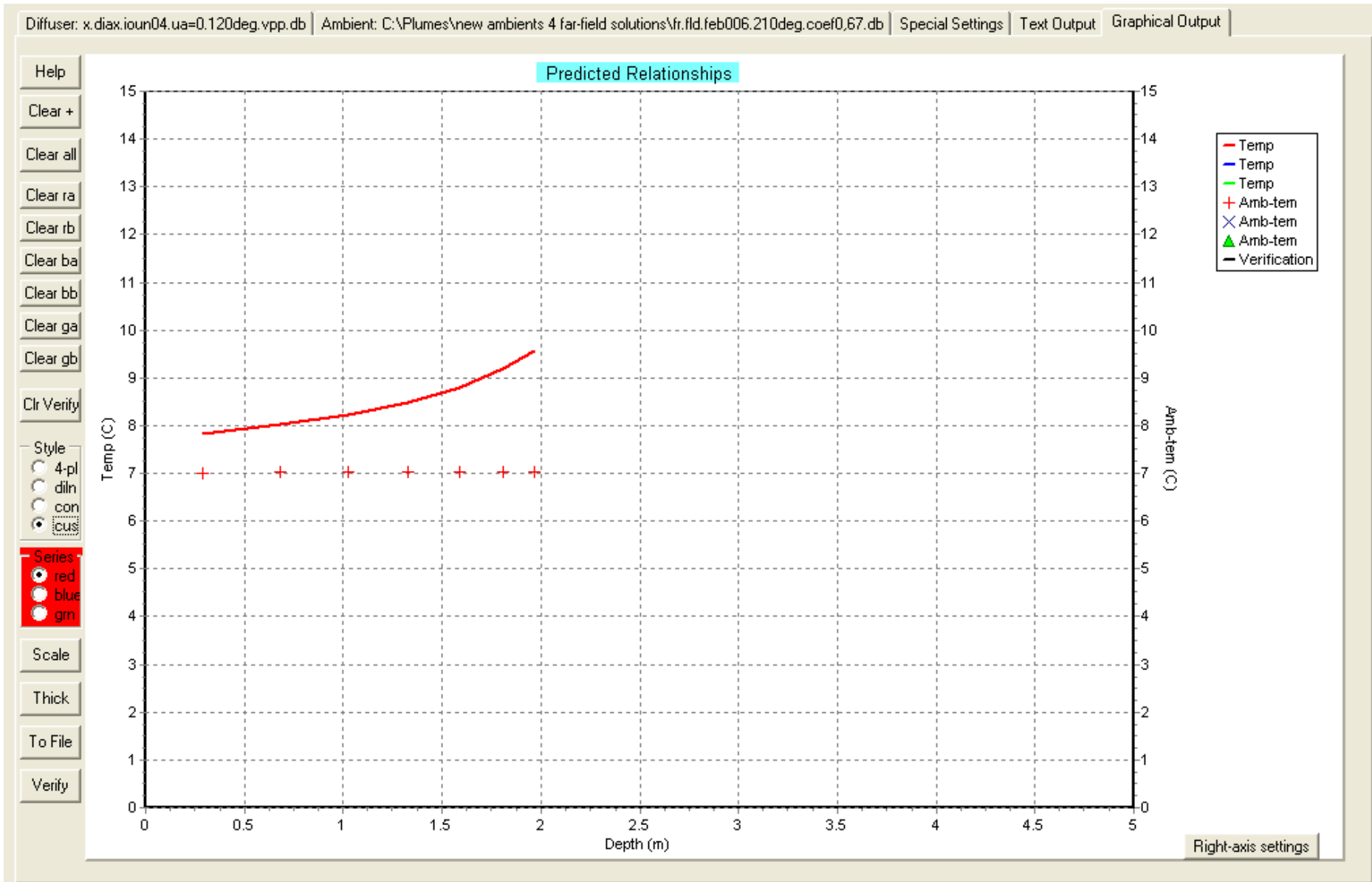
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 212°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005

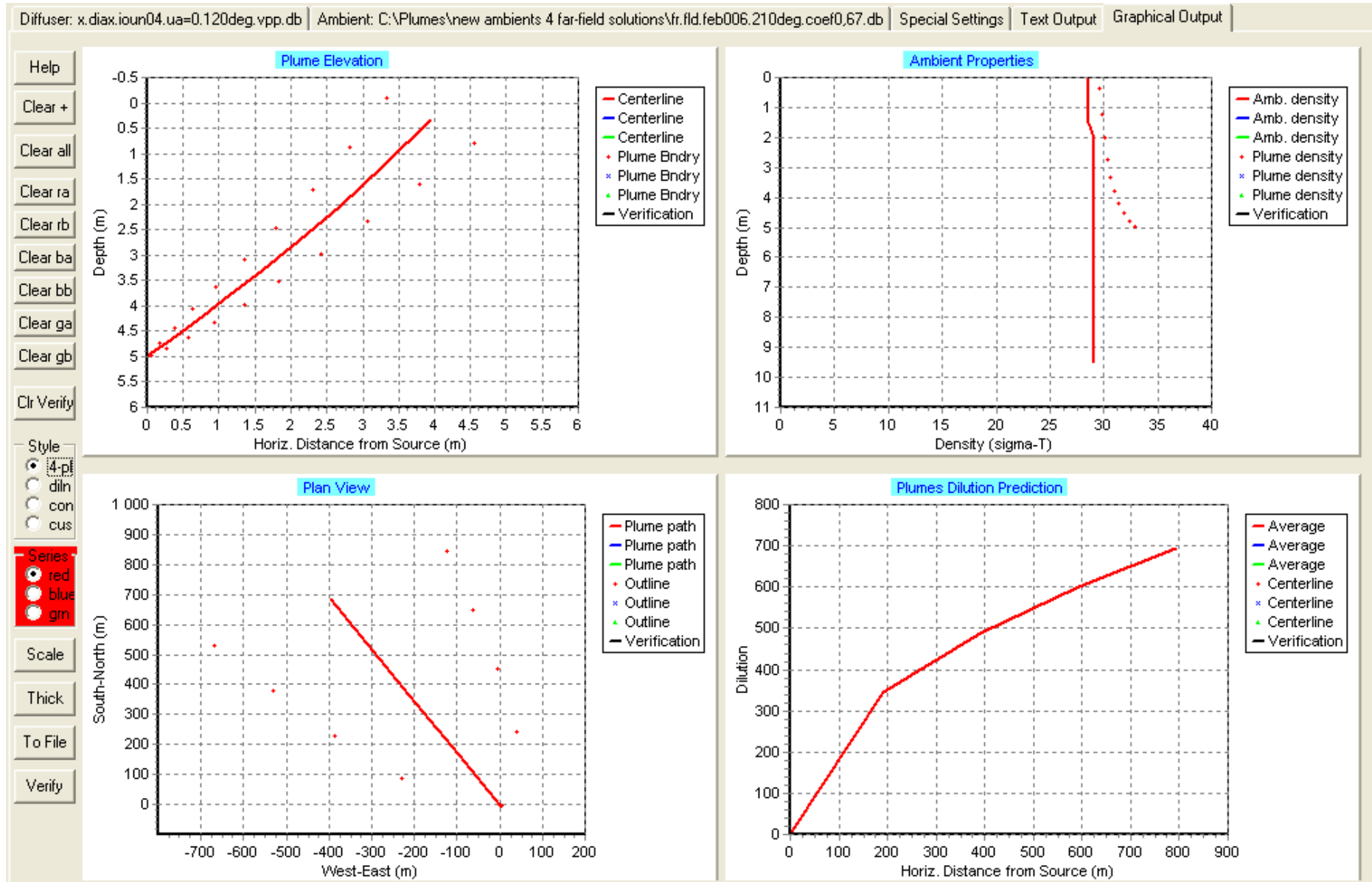


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

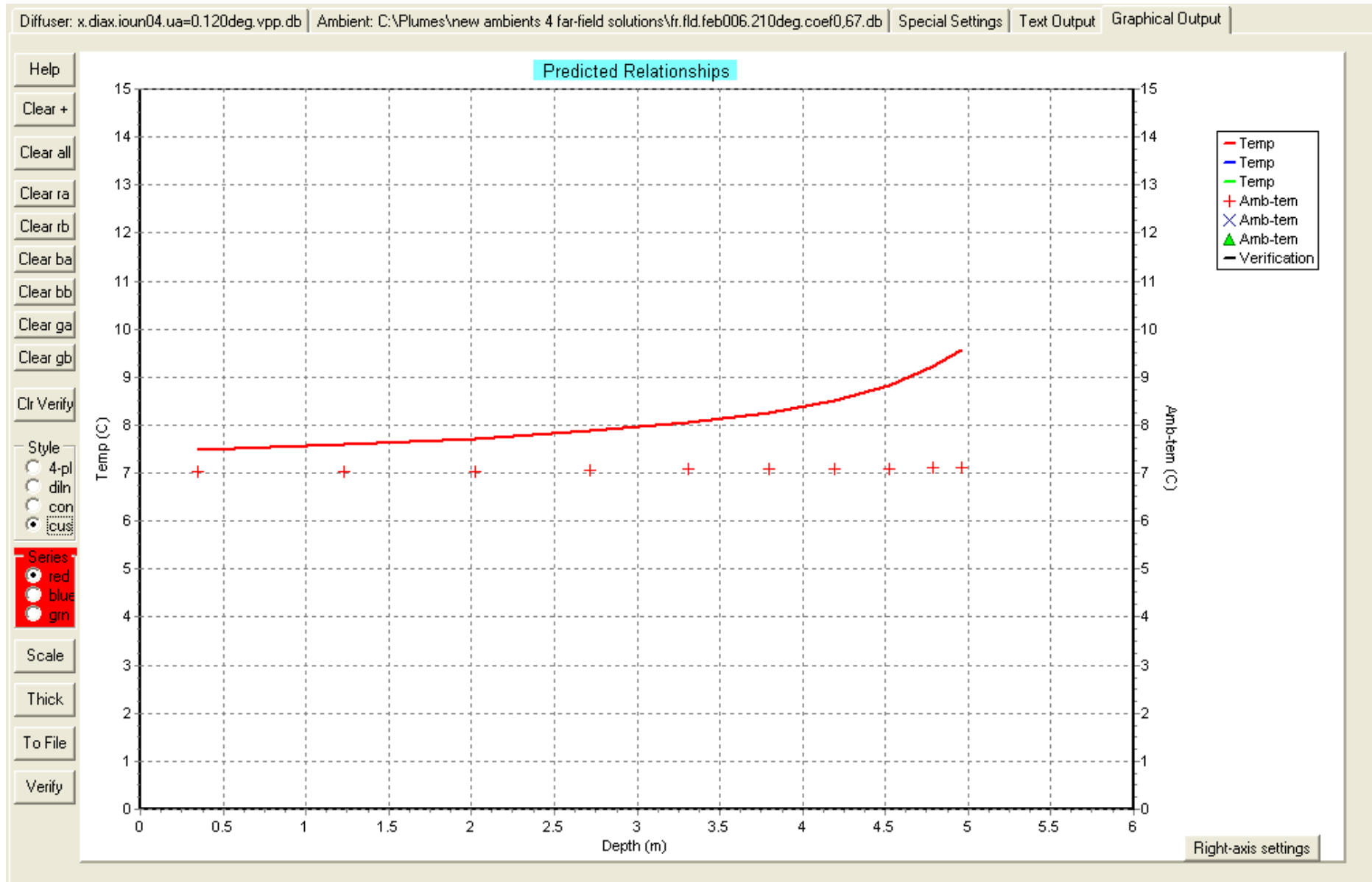




ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΣΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

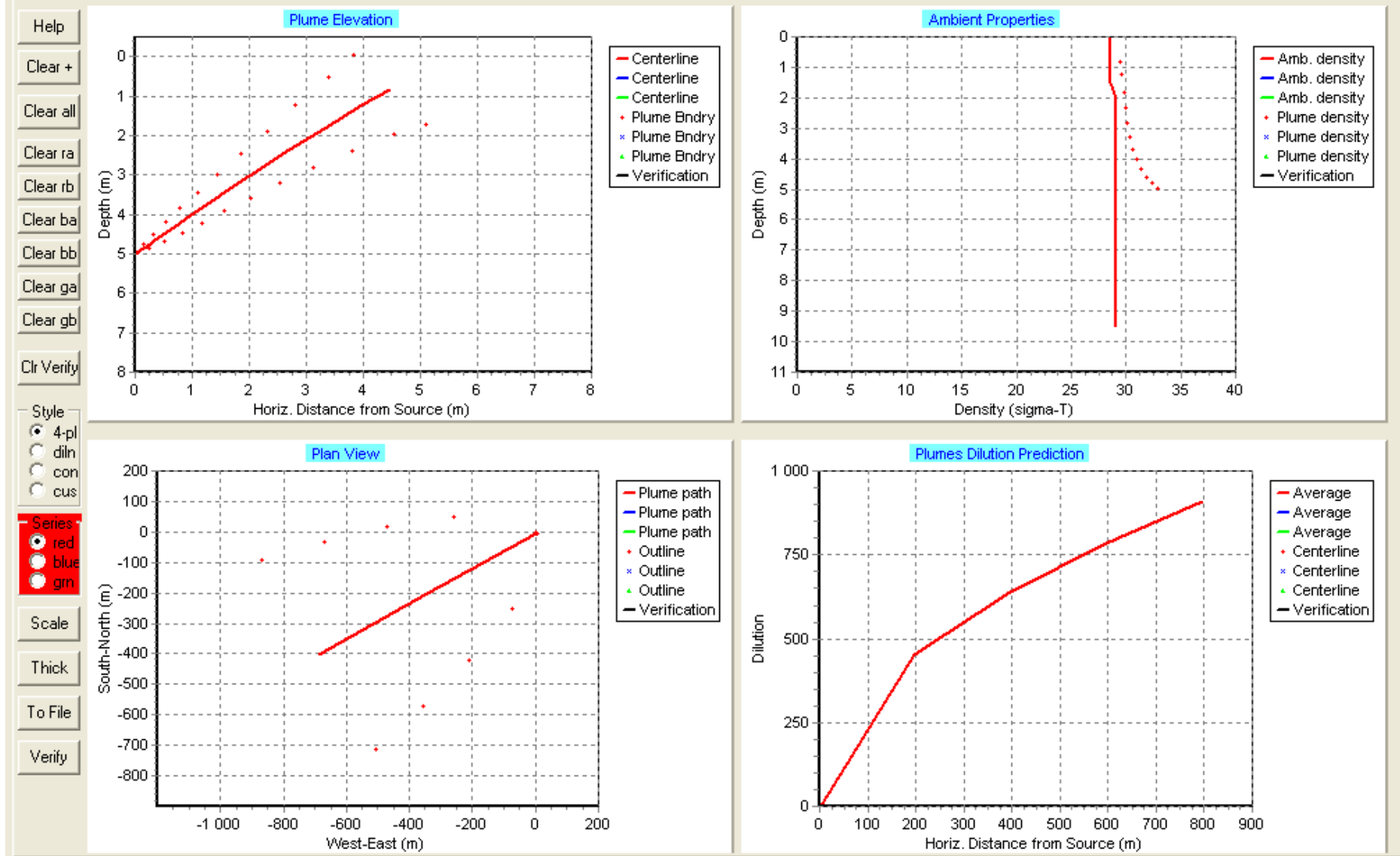


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

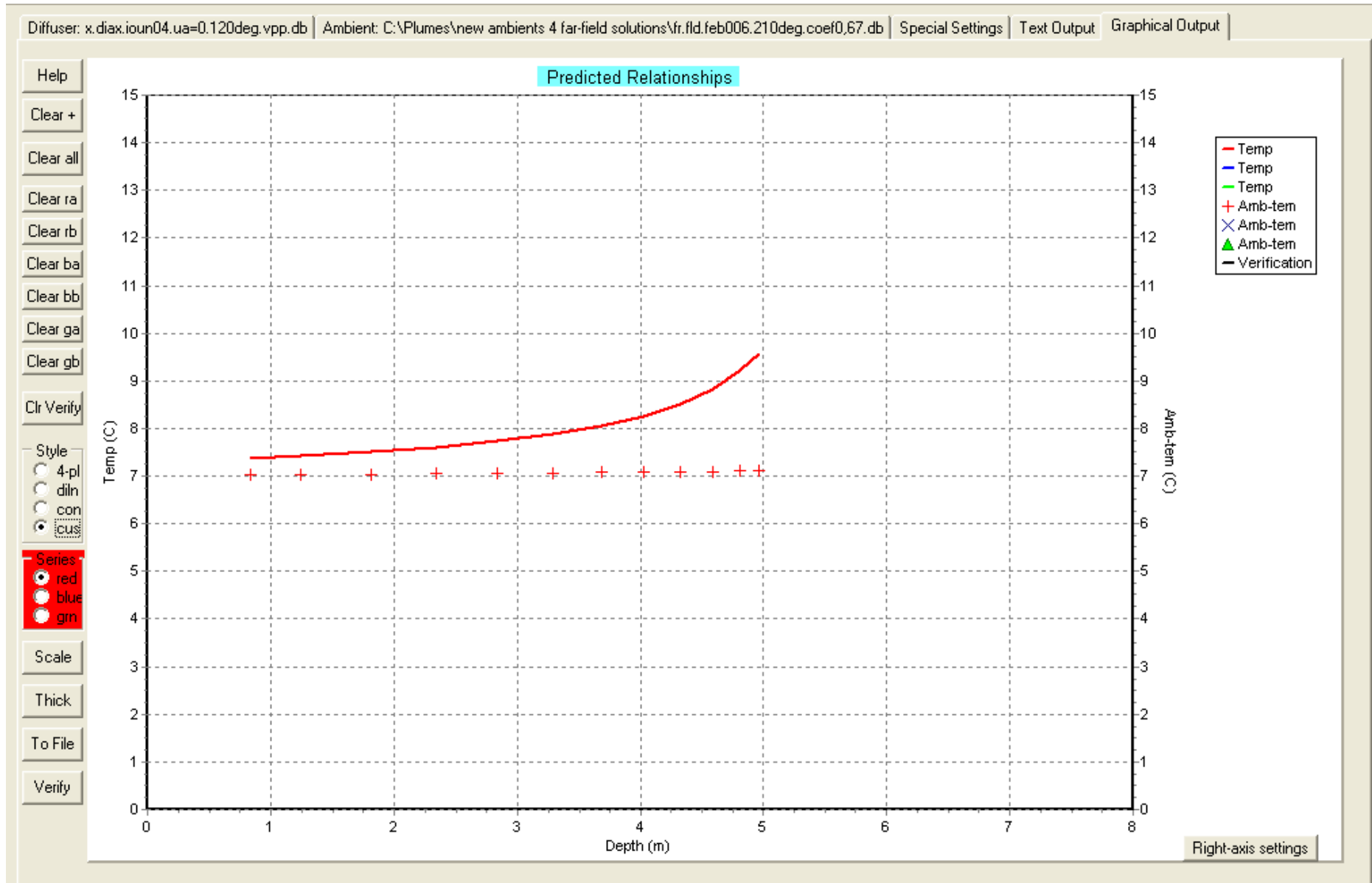


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

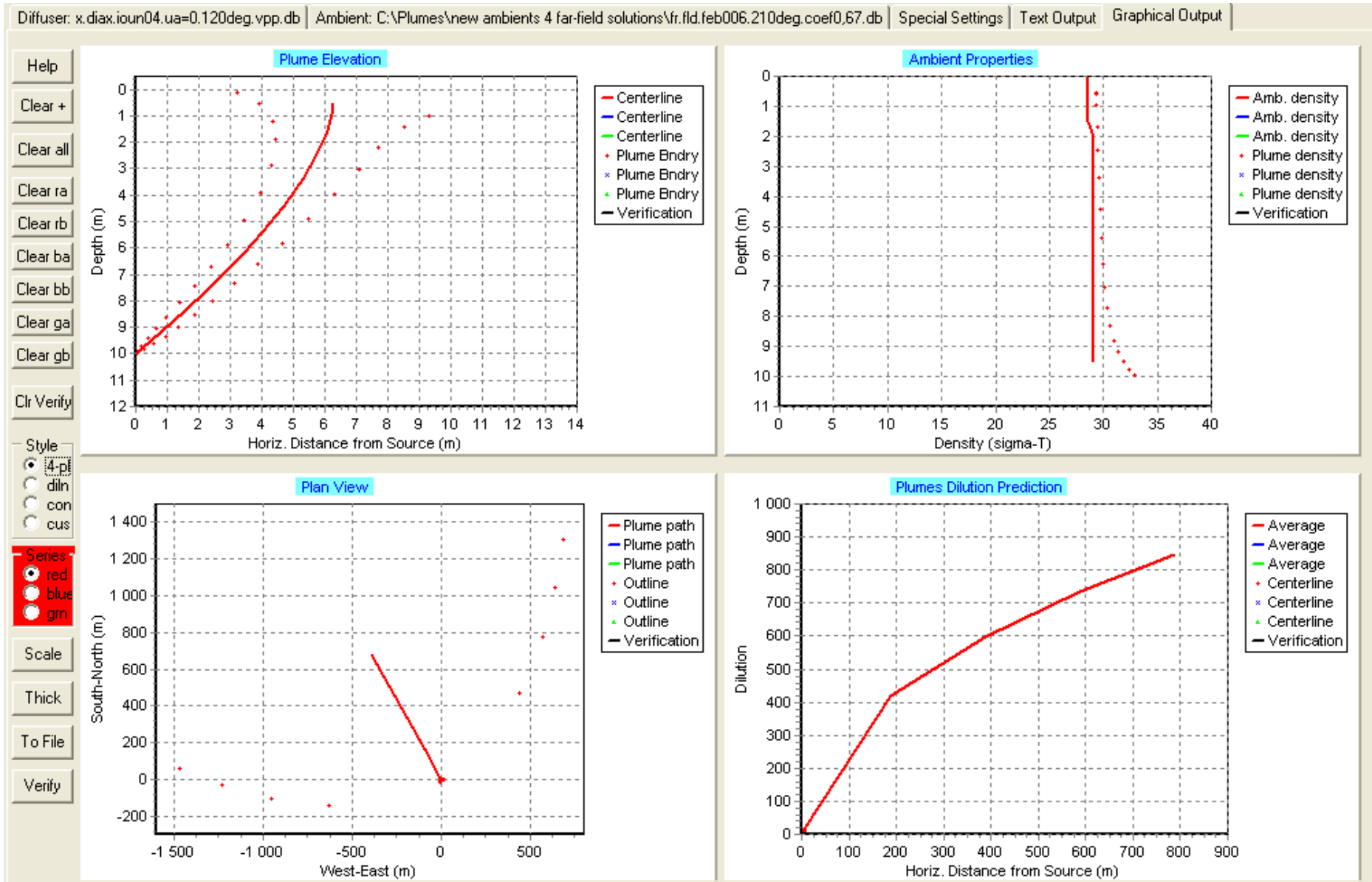
Diffuser: x.diax.ioun04.ua=0.120deg.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\new ambients 4 far-field solutions\fr.fld.feb006.210deg.coef0,67.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output



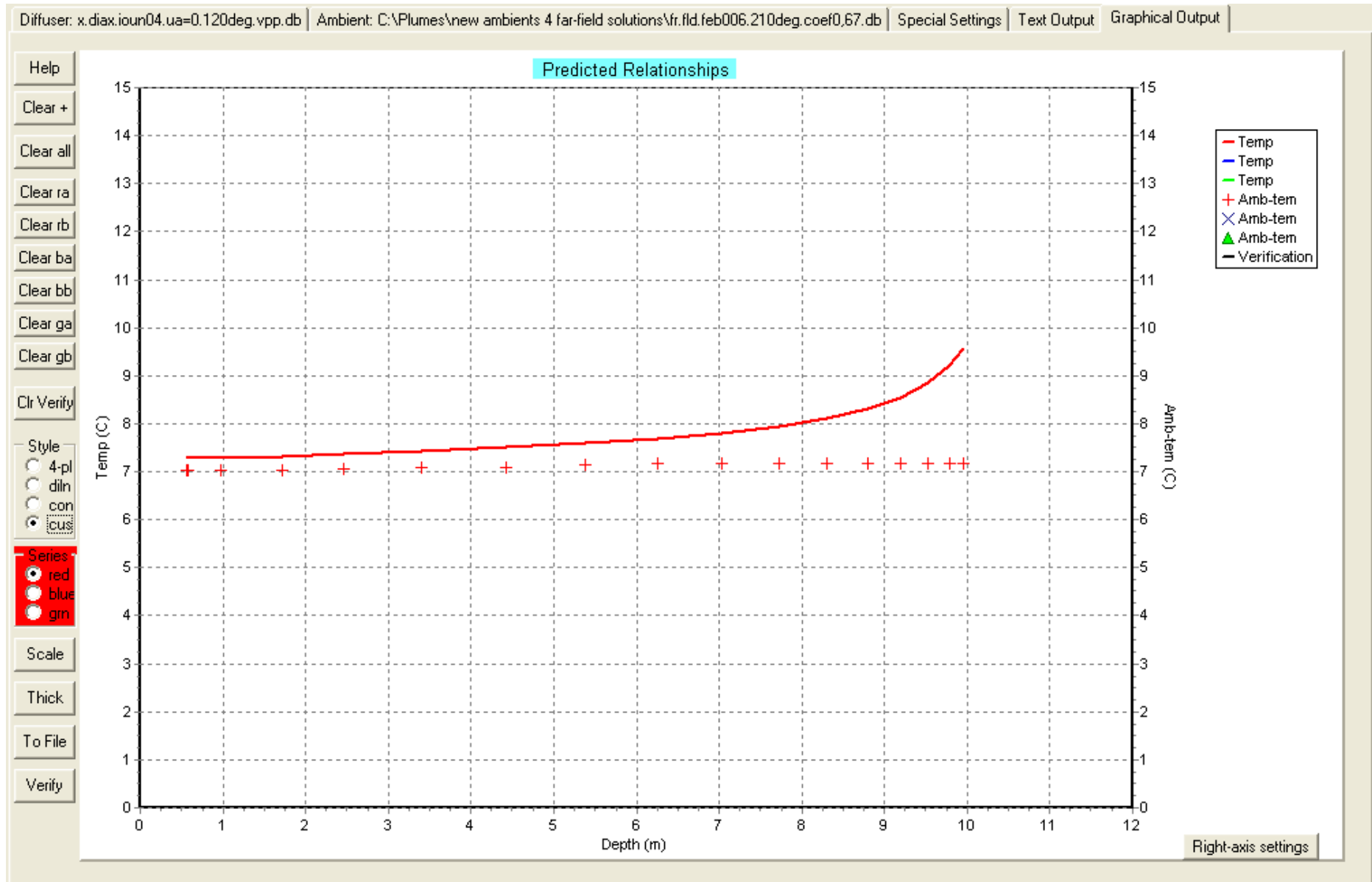
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



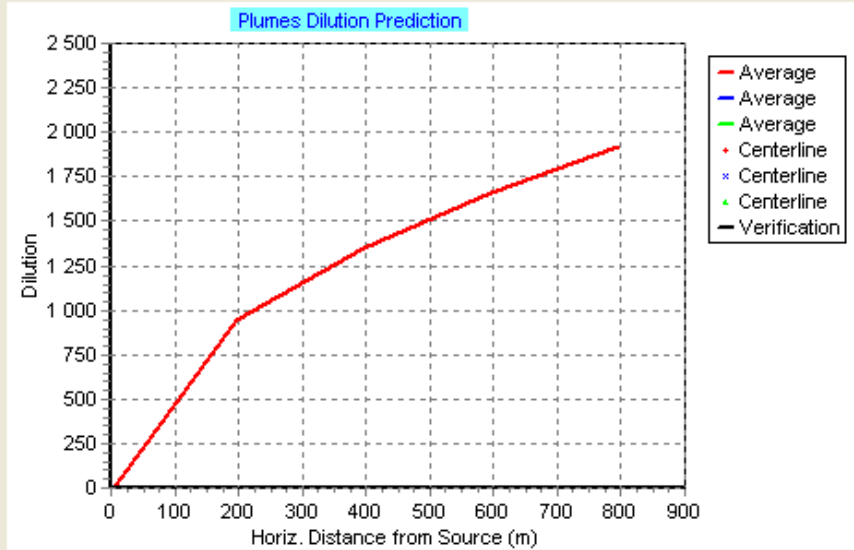
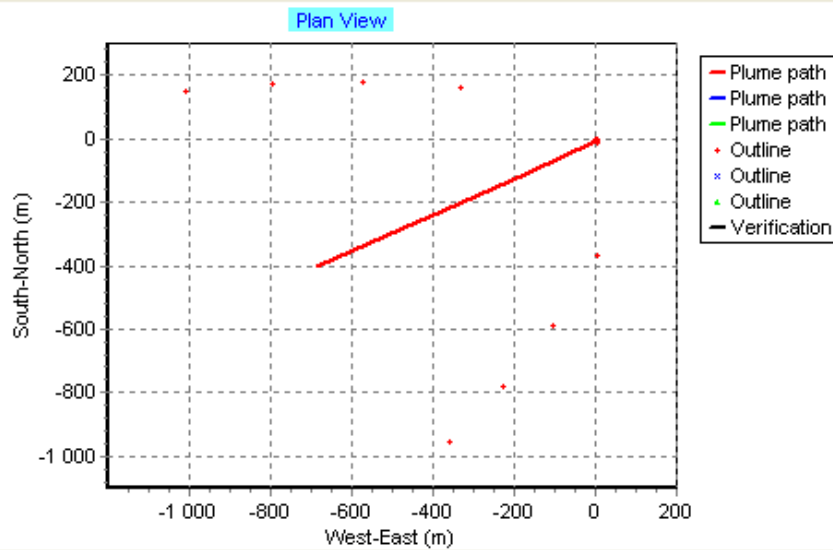
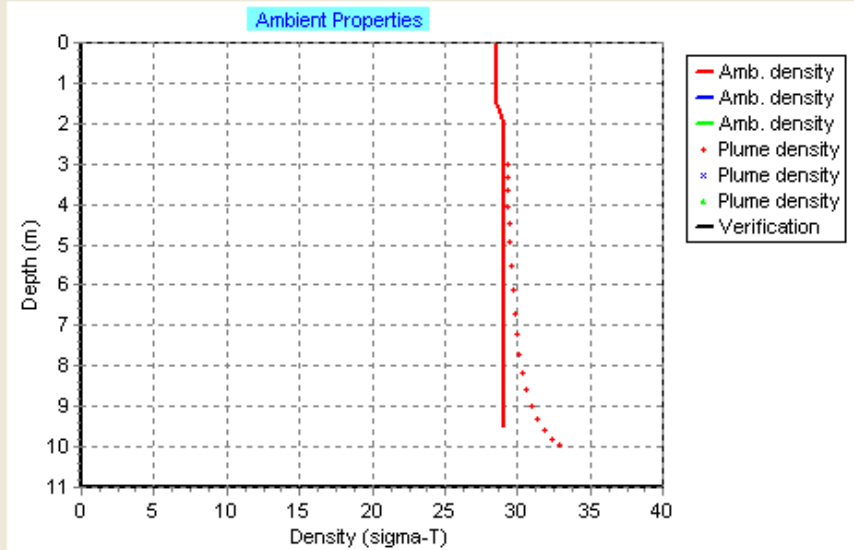
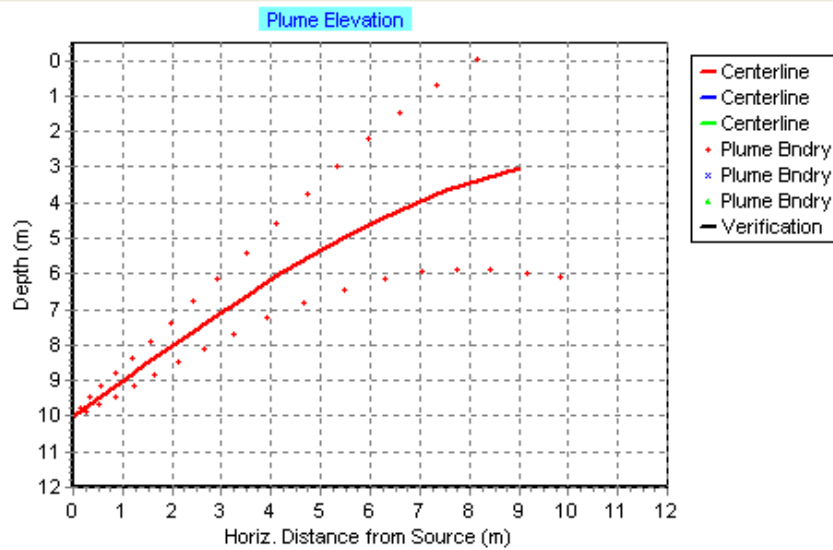
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

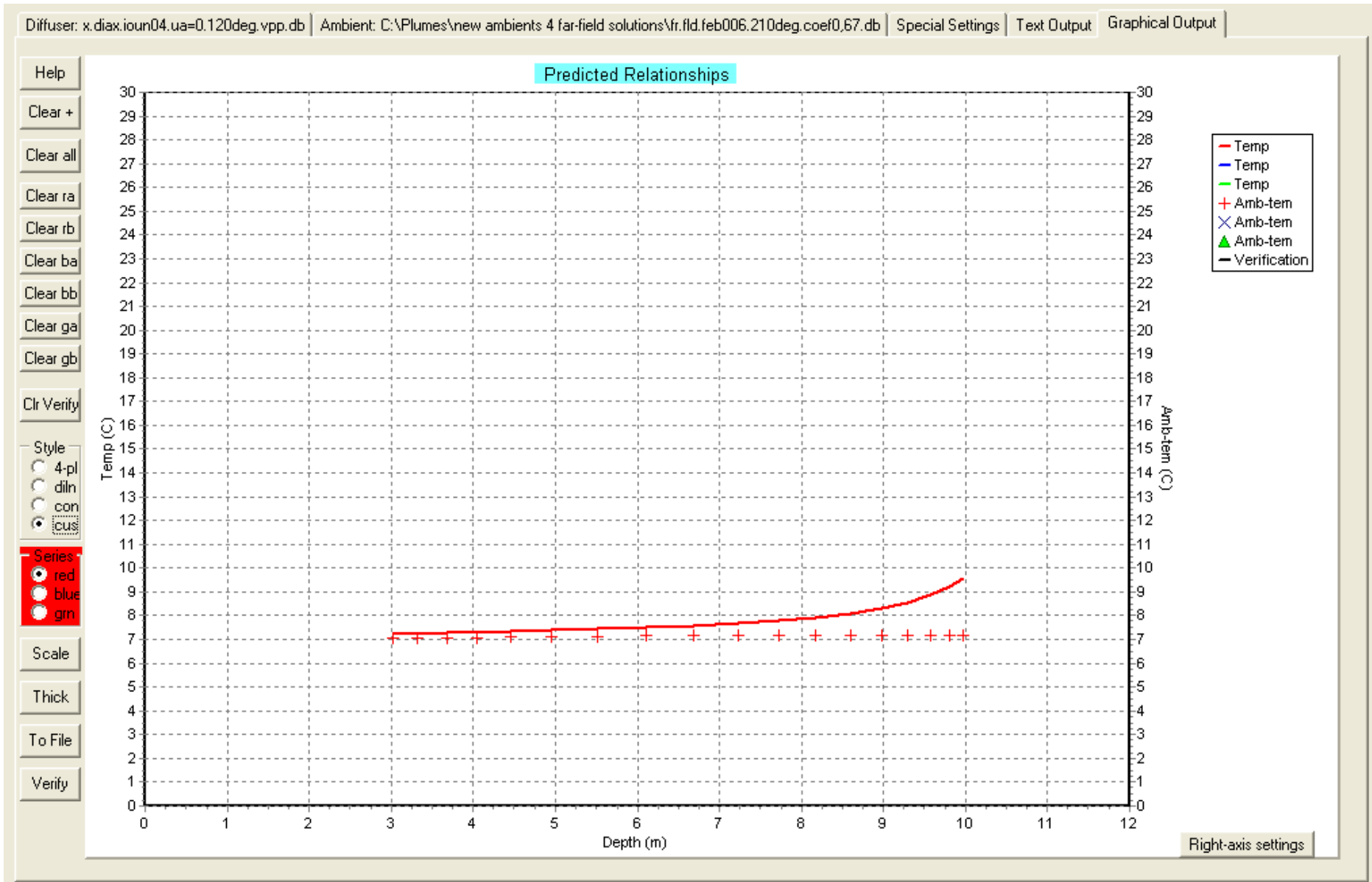
Diffuser: x.diax.ioun04.ua=0.120deg.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\new ambients 4 far-field solutions\fr.fld.feb006.210deg.coef0,67.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

- Help
- Clear +
- Clear all
- Clear ra
- Clear rb
- Clear ba
- Clear bb
- Clear ga
- Clear gb
- Clr Verify
- Style
- 4-pl
- diln
- con
- cus
- Series
- red
- blue
- gm
- Scale
- Thick
- To File
- Verify



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Φεβρουάριος 2005**

Βάθος εκροής 2m, 5m & 10m

Γενικά για όλα τα βάθη εκροής παρατηρείται εκτόξευση του πλουμίου προς την επιφάνεια η οποία όμως ταυτόχρονα οδηγεί σε ταχεία εξίσωση των θερμοκρασιών πλουμίου-περιβάλλοντος. Λόγω δε μικρής διαφοράς στις τιμές αλατότητας και συνακόλουθα στις τιμές πυκνότητας, το πλούμιο εγκλωβίζεται σε παράλληλη πορεία με τον πυθμένα κοντά στην επιφάνεια.

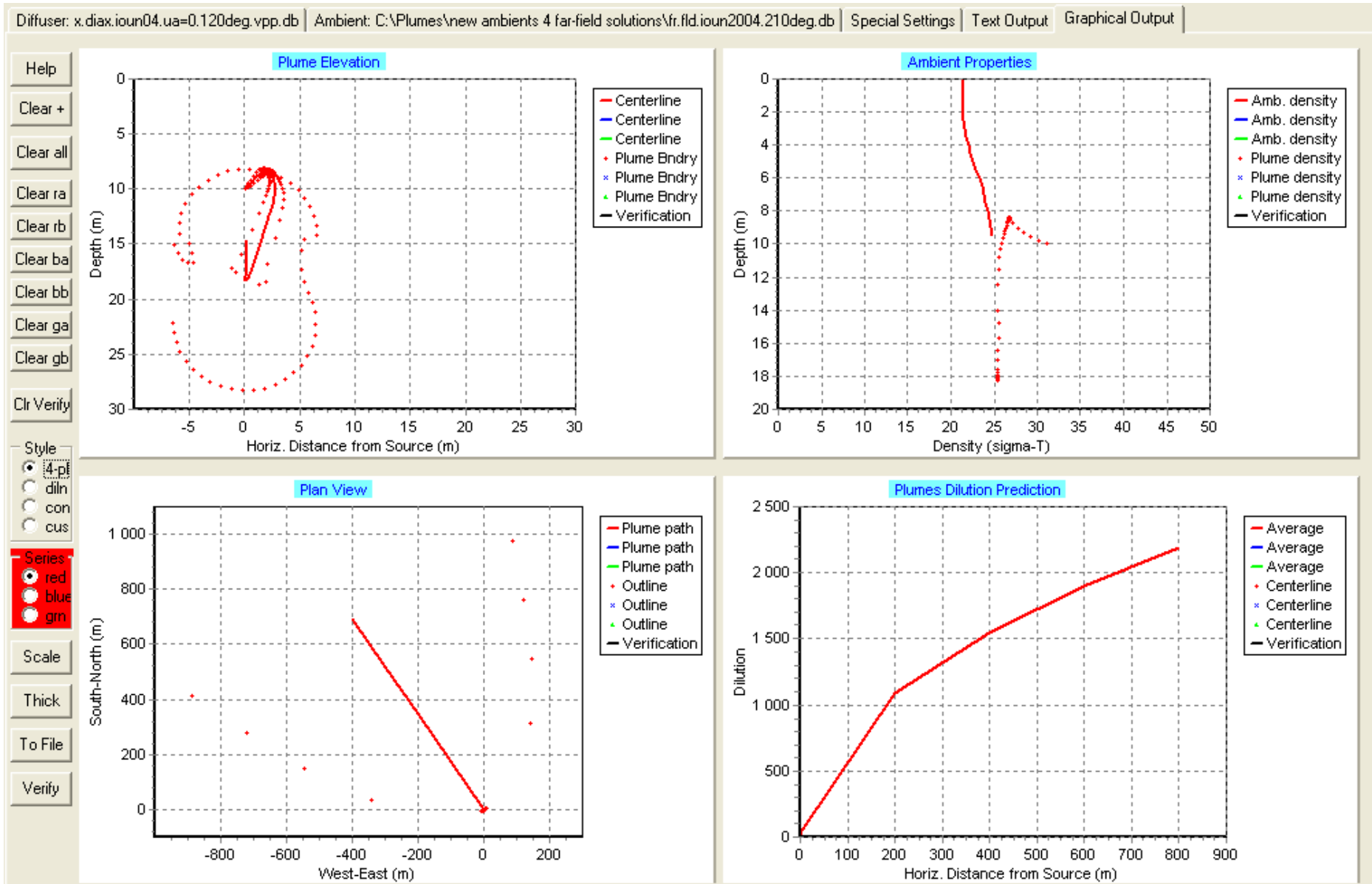
4^η ΛΥΣΗ: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

(για την επίτευξη μικρών ταχυτήτων εξόδου και καλύτερης αρχικής ανάμιξης)

- Αριθμός αγωγών $N=4$
- Παροχές $Q_1= Q_2= Q_3= Q_4=0,125 \text{ m}^3/\text{s}$
όπου $Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4=Q=0,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Διάμετρος αγωγού $D=0,5814 \text{ m}$
- Ανύψωση σημείου εξόδου $0,20 \text{ m}$
- Κλίση ανυψωμένου τμήματος εξόδου 45°
- Οριζόντια γωνία 300°

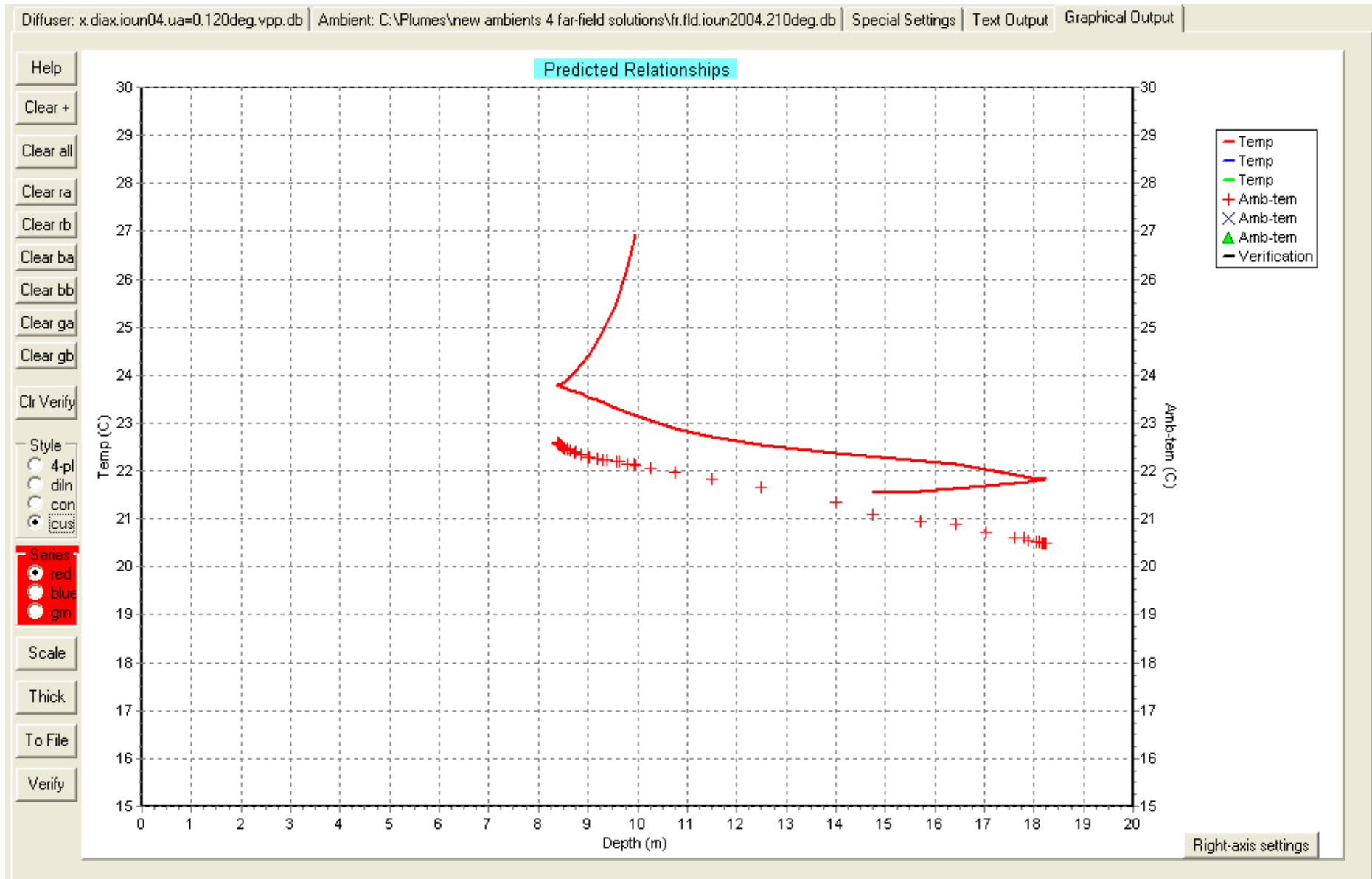
Σε αυτή την περίπτωση μελετάται η χρήση διάταξης πολλαπλών αγωγών εκροής παροχής Q_i όπου $\Sigma Q_i=Q=0,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ (παροχή προβλεπόμενη από την προμελέτη). Σκοπός του κατακερματισμού της συνολικής παροχής εκροής είναι η επίτευξη μικρότερων ταχυτήτων εξόδου με επακόλουθη καλύτερη αρχική ανάμιξη κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια. Από την άλλη, καθώς το πλούμιο έχει υψηλή τιμή αλατότητας και άρα πυκνότητα μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος, δεν πρέπει οι ταχύτητες εξόδου να είναι πολύ μικρές γιατί είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα παρατηρηθεί καταβύθισή του και εγκλωβισμός του στον πυθμένα. Αν αυτό το φαινόμενο δε συνοδεύεται από ταυτόχρονη εξίσωση των θερμοκρασιών, είναι πολύ πιθανή η εμφάνιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Συνεπώς η λύση αυτή κρίνεται κατάλληλη μόνο εφόσον έχουμε πολύ γρήγορη εξισορρόπηση θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ πλουμίου και περιβάλλοντος.



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

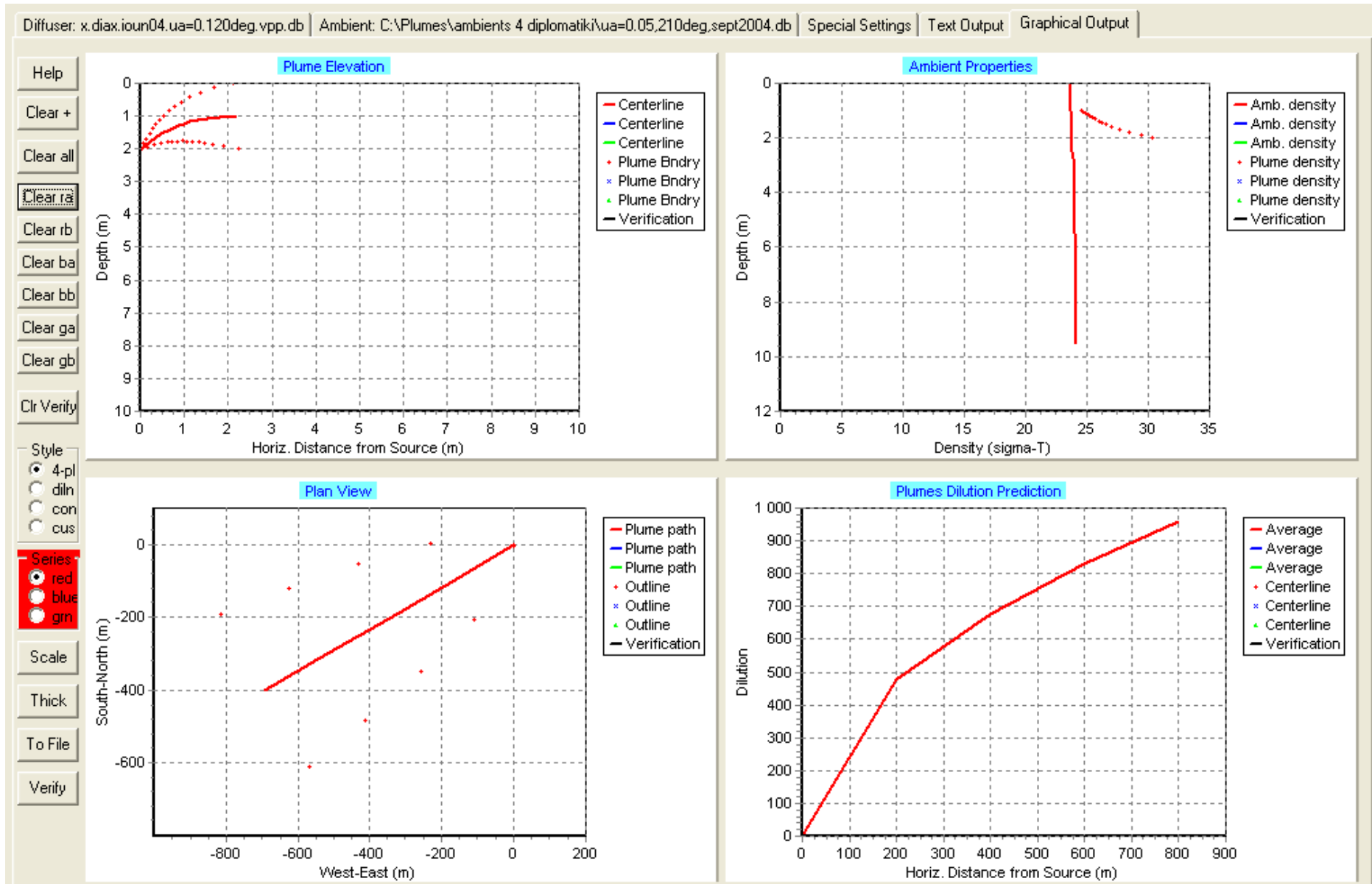


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

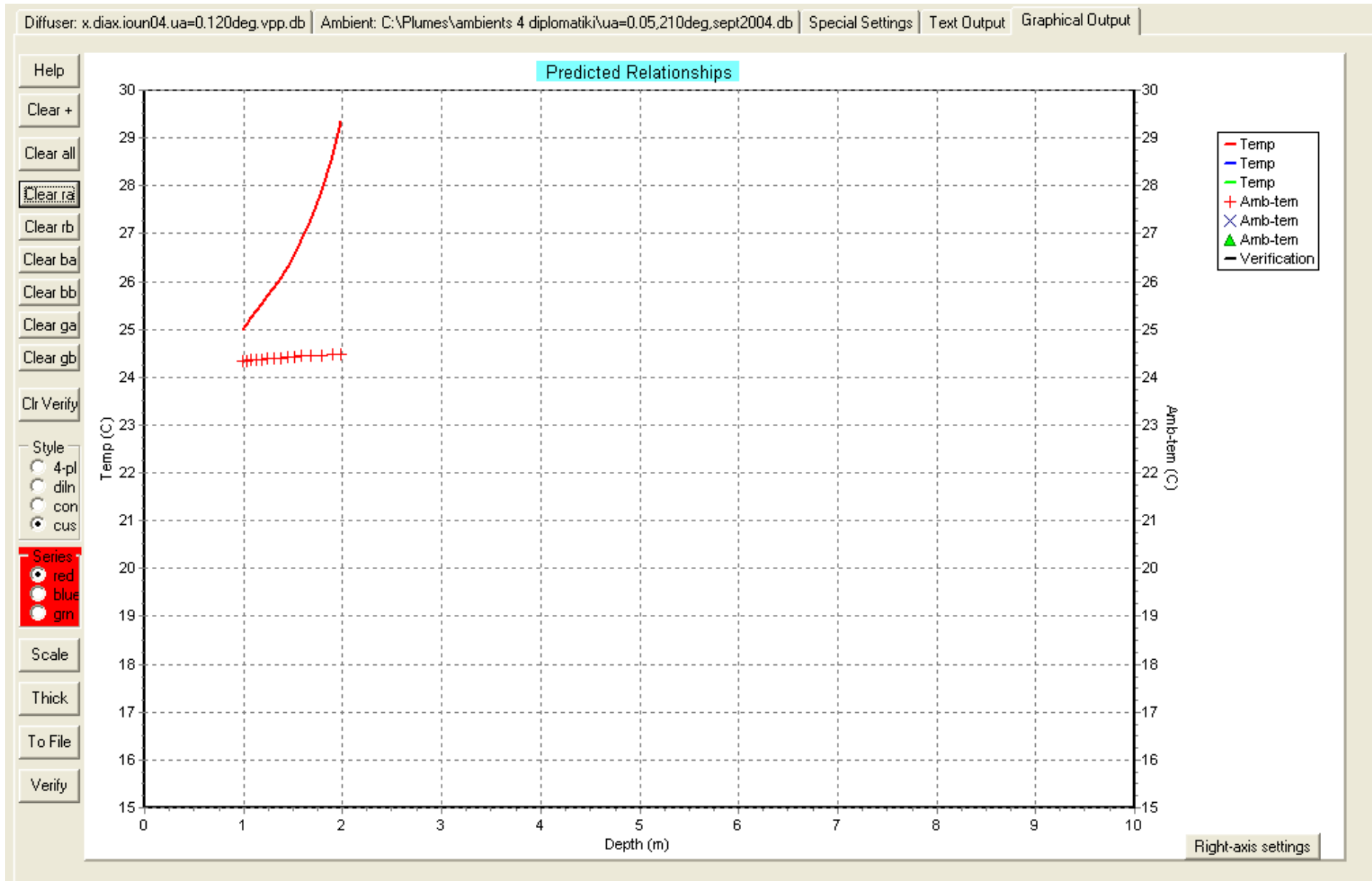
- **Μήνας Ιούνιος 2004**

Βάθος εκροής 2m, 5m & 10m

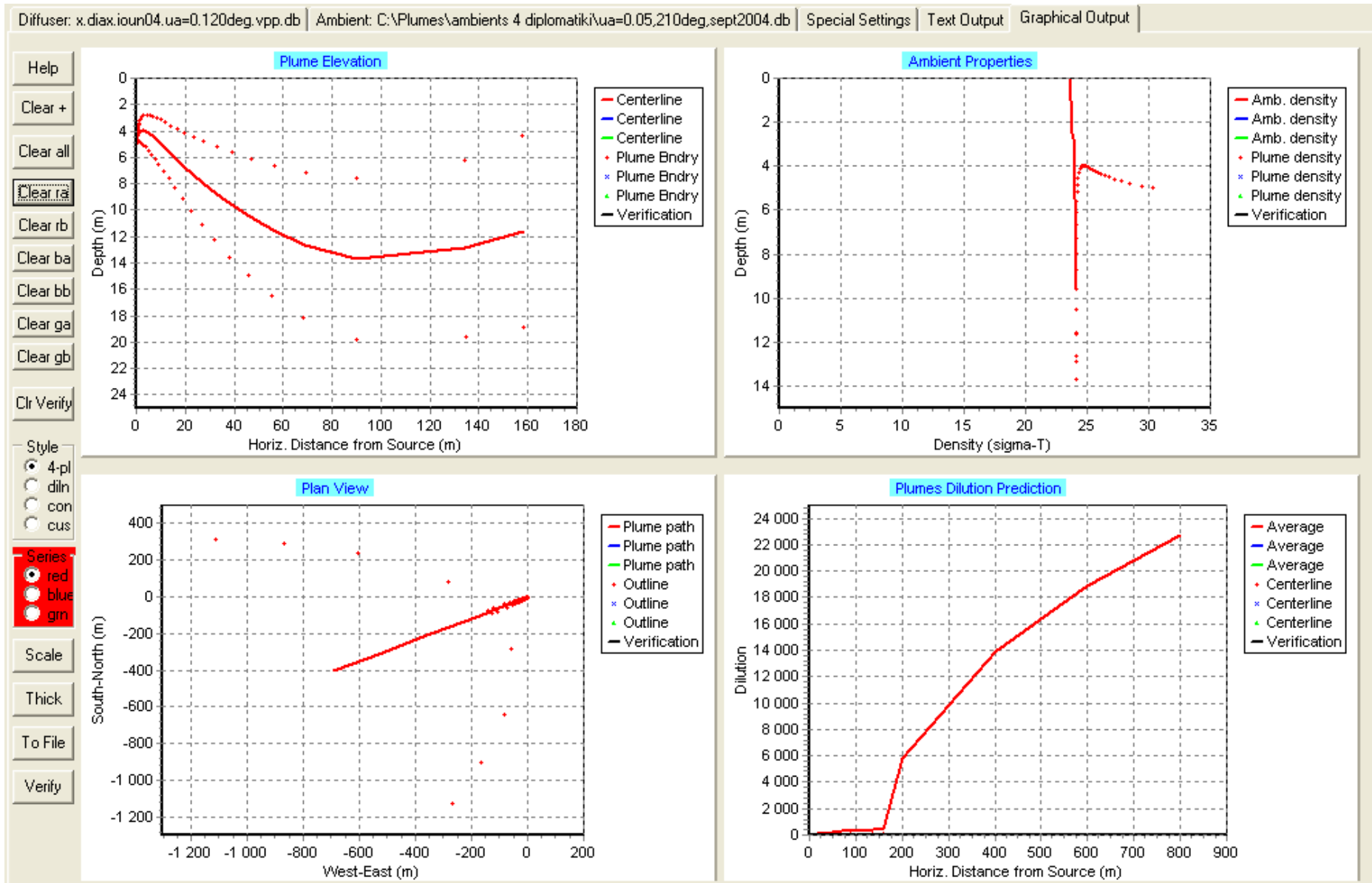
Γενικότερα παρατηρείται γρήγορη καταβύθιση του πλουμίου προς τον πυθμένα λόγω μικρής ταχύτητας εκροής (περιορισμός της εκτόξευσης του πλουμίου προς την επιφάνεια) και μεγάλης τιμής πυκνότητας (μεγάλο βάρος πλουμίου). Παρ'όλα αυτά οι διαφορές θερμοκρασιών κατά την καταβύθιση δεν υπερβαίνουν τους $1,5^{\circ}\text{C}$.



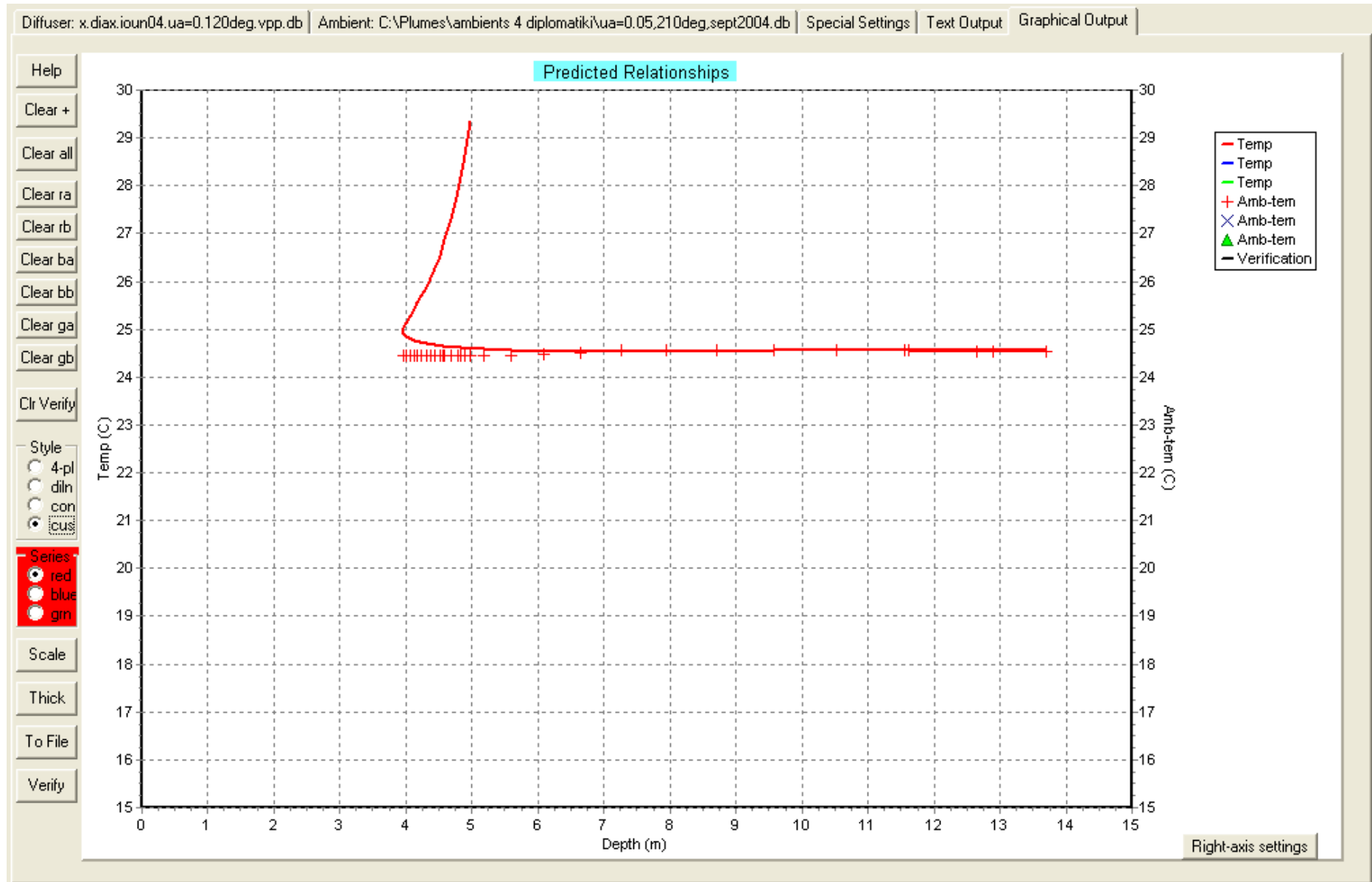
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



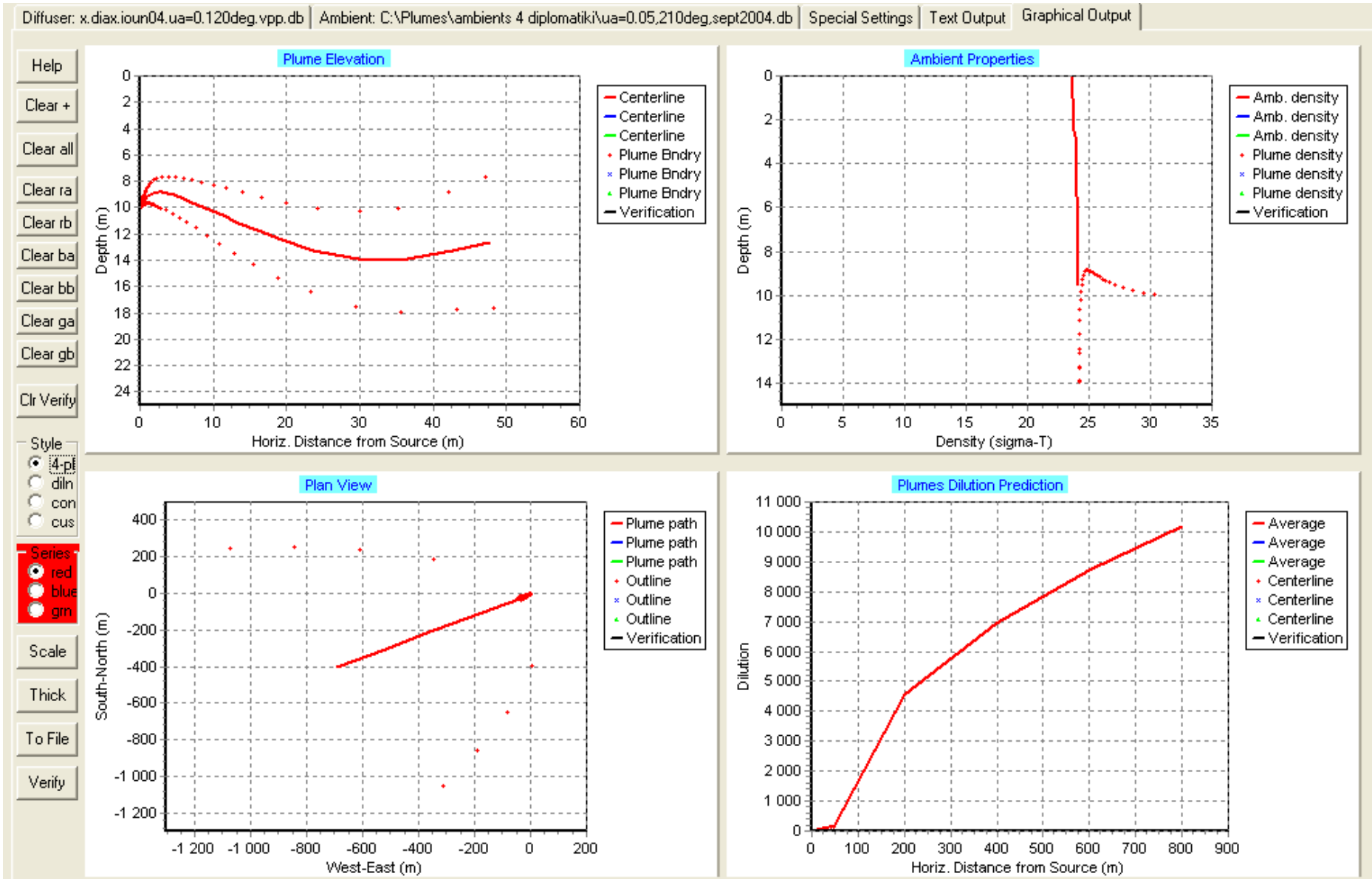
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 2m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



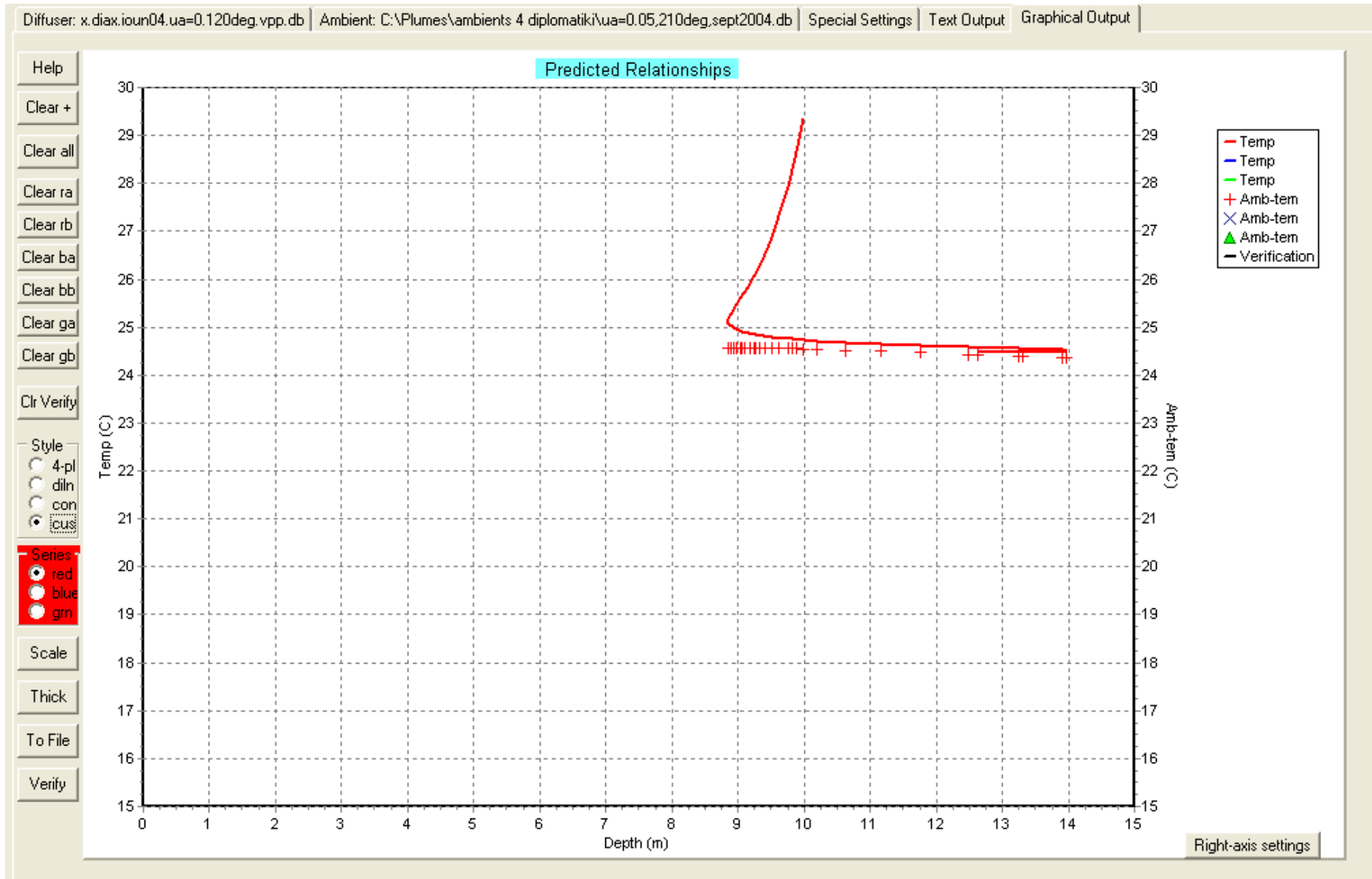
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



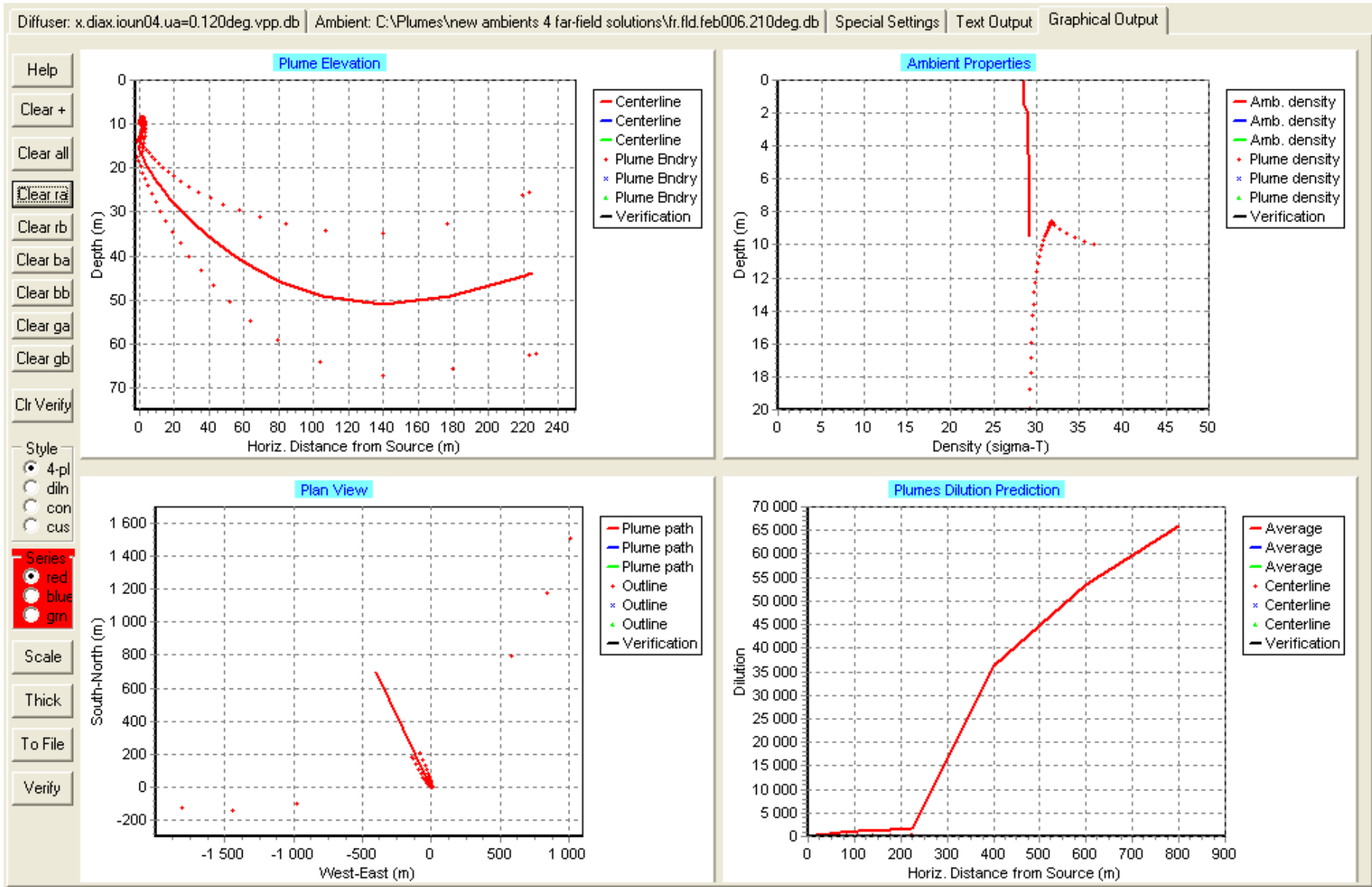
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

- **Μήνας Σεπτέμβριος 2004**

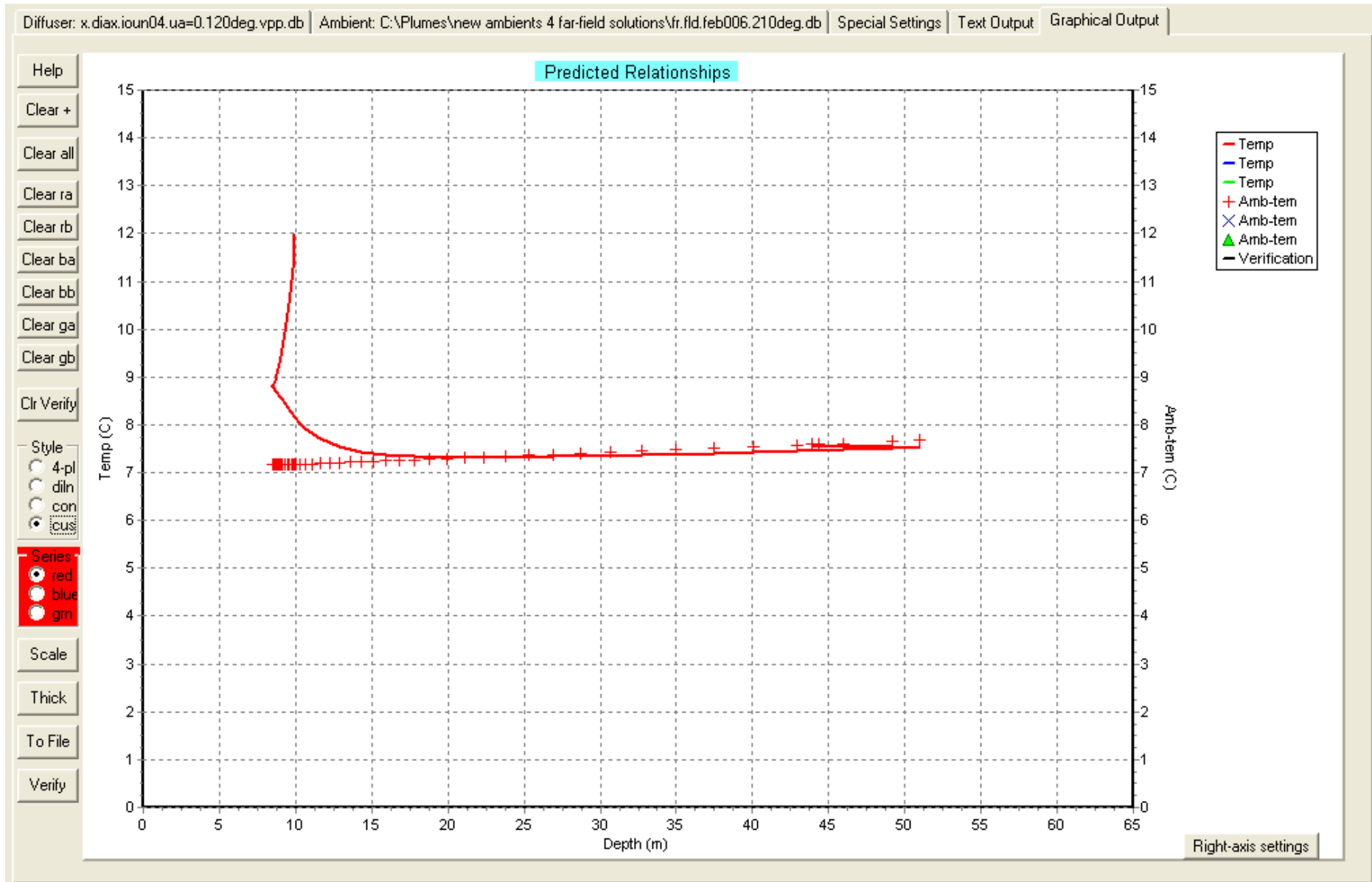
Βάθος εκροής 2m, 5m & 10m

Γενικότερα παρατηρείται γρήγορη καταβύθιση του πλουμίου προς τον πυθμένα λόγω μικρής ταχύτητας εκροής (περιορισμός της εκτόξευσης του πλουμίου προς την επιφάνεια) και μεγάλης τιμής πυκνότητας (μεγάλο βάρος πλουμίου). Όσο αφορά τη θερμοκρασία του πλουμίου, γρήγορα εξισώνεται με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος παράλληλα με την καταβύθισή του.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

- **Μήνας Φεβρουάριος 2005**

Βάθος εκροής 10m

Γενικότερα παρατηρείται γρήγορη καταβύθιση του πλουμίου προς τον πυθμένα λόγω μικρής ταχύτητας εκροής (περιορισμός της εκτόξευσης του πλουμίου προς την επιφάνεια) και μεγάλης τιμής πυκνότητας (μεγάλο βάρος πλουμίου). Όσο αφορά τη θερμοκρασία του πλουμίου, γρήγορα εξισώνεται με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος παράλληλα με την καταβύθισή του.

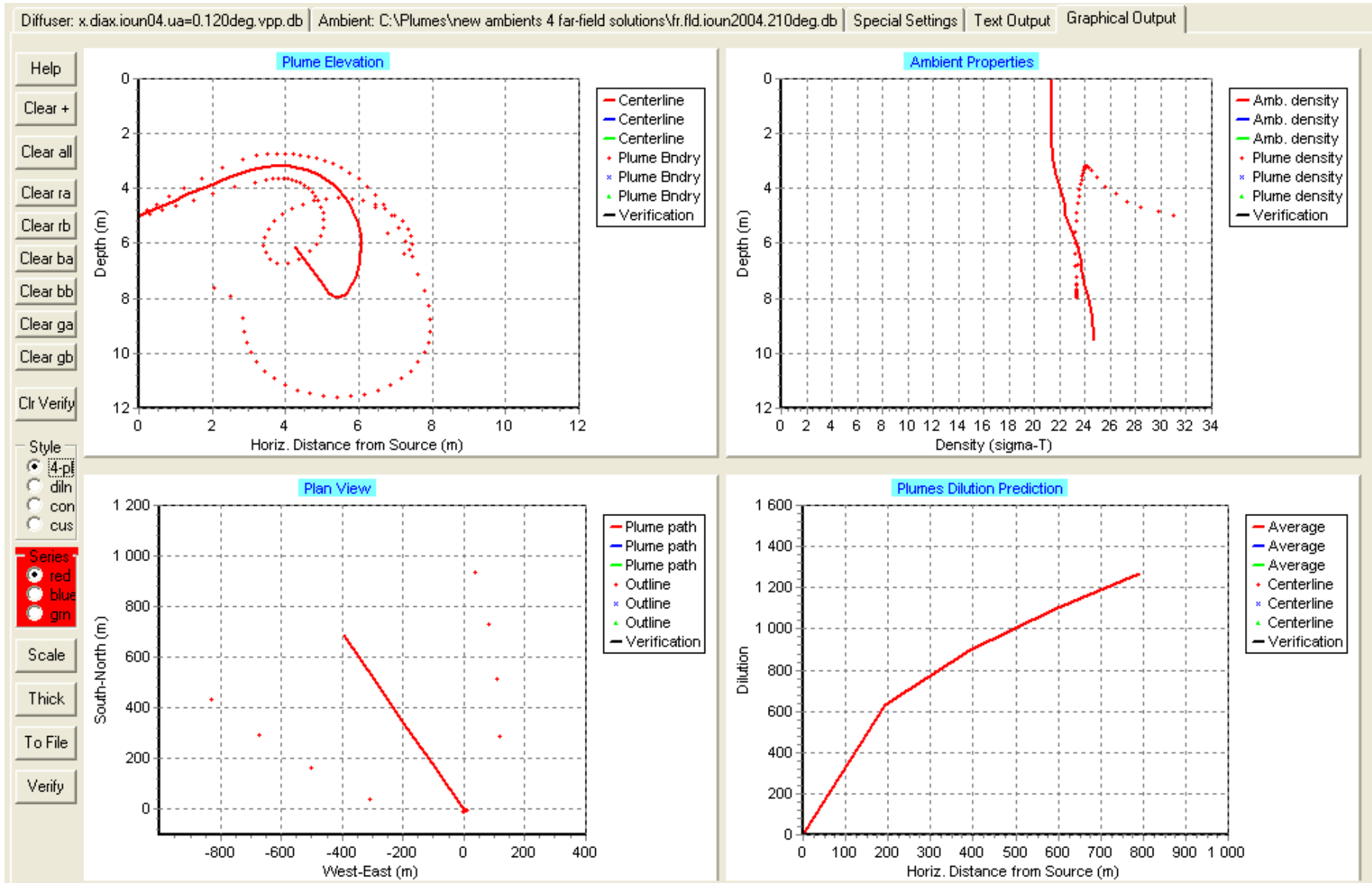
5^η ΛΥΣΗ: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΚΡΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΕΚΡΟΗΣ (για την επίτευξη οριζοντιοποίησης της πορείας του πλουμίου στον αποδέκτη)

- Παροχή (εξετάζεται η αλλαγή κλίσης συνδυαστικά για όλες τις περιπτώσεις παροχών)
- Διάμετρος αγωγού $D=0,5814$ m
- Ανύψωση σημείου εξόδου 0,20 m
- Κλίση ανυψωμένου τμήματος εξόδου 30°
- Οριζόντια γωνία 300°

Ακολουθώντας τη λογική της προηγούμενης λύσης, μεταβάλλουμε τη γωνία κλίσης του ανυψωμένου άκρου του αγωγού εκροής, με σκοπό τον περιορισμό της εκτόξευσης του πλουμίου προς την επιφάνεια και την επίτευξη πιο ομαλής πορείας του στο θαλάσσιο περιβάλλον ώστε να δημιουργηθούν προϋποθέσεις καλύτερης ανάμιξης. Συγκεκριμένα μειώνουμε τη γωνία ανύψωσης του ακροφύσιου του αγωγού από 45° σε 30° διατηρώντας ίδιες ταχύτητες εκροής με αυτές της προμελέτης και περιμένουμε μια σχετική οριζοντιοποίηση της πορείας του πλουμίου στον θαλάσσιο αποδέκτη.

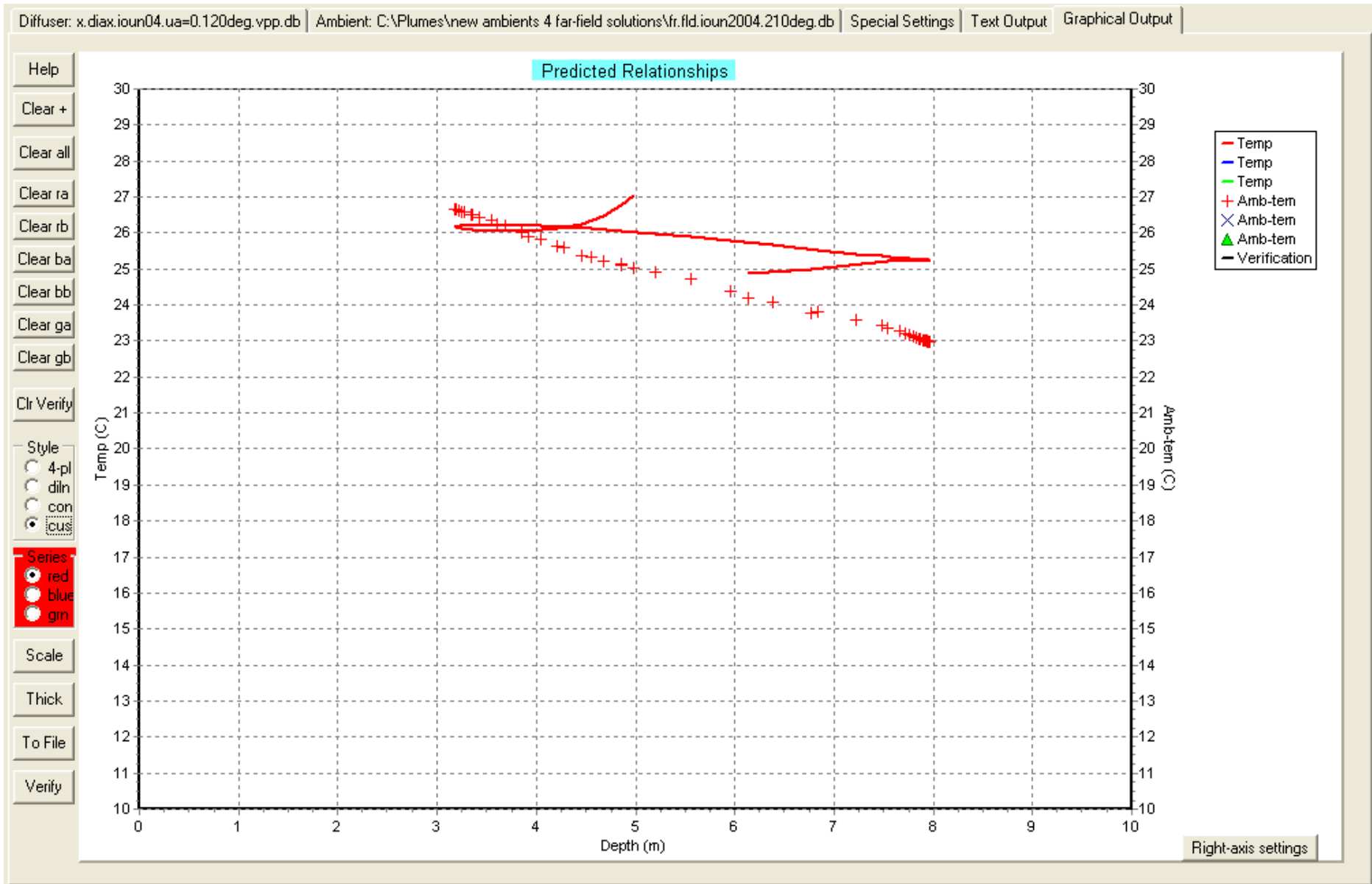
Από την άλλη, καθώς το πλούμιο έχει υψηλή τιμή αλατότητας και άρα πυκνότητα μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος, υπάρχει το ενδεχόμενο της γρήγορης καταβύθισης του πλουμίου προς τον πυθμένα χωρίς την αντίστοιχη εξίσωση των θερμοκρασιών τους.

Συνεπώς πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο η επιδιωκόμενη οριζοντιοποίηση της πορείας του πλουμίου στον θαλάσσιο αποδέκτη συμβάλει στην καλύτερη διασπορά του ή μπορεί να έχει τα αντίθετα αποτελέσματα, την πρόκληση δηλαδή ανεπιθύμητης γρήγορης βύθισης ή εγκλωβισμού του πλουμίου στον αποδέκτη χωρίς ταυτόχρονη εξισορρόπηση των θερμοκρασιακών διαφορών τους.



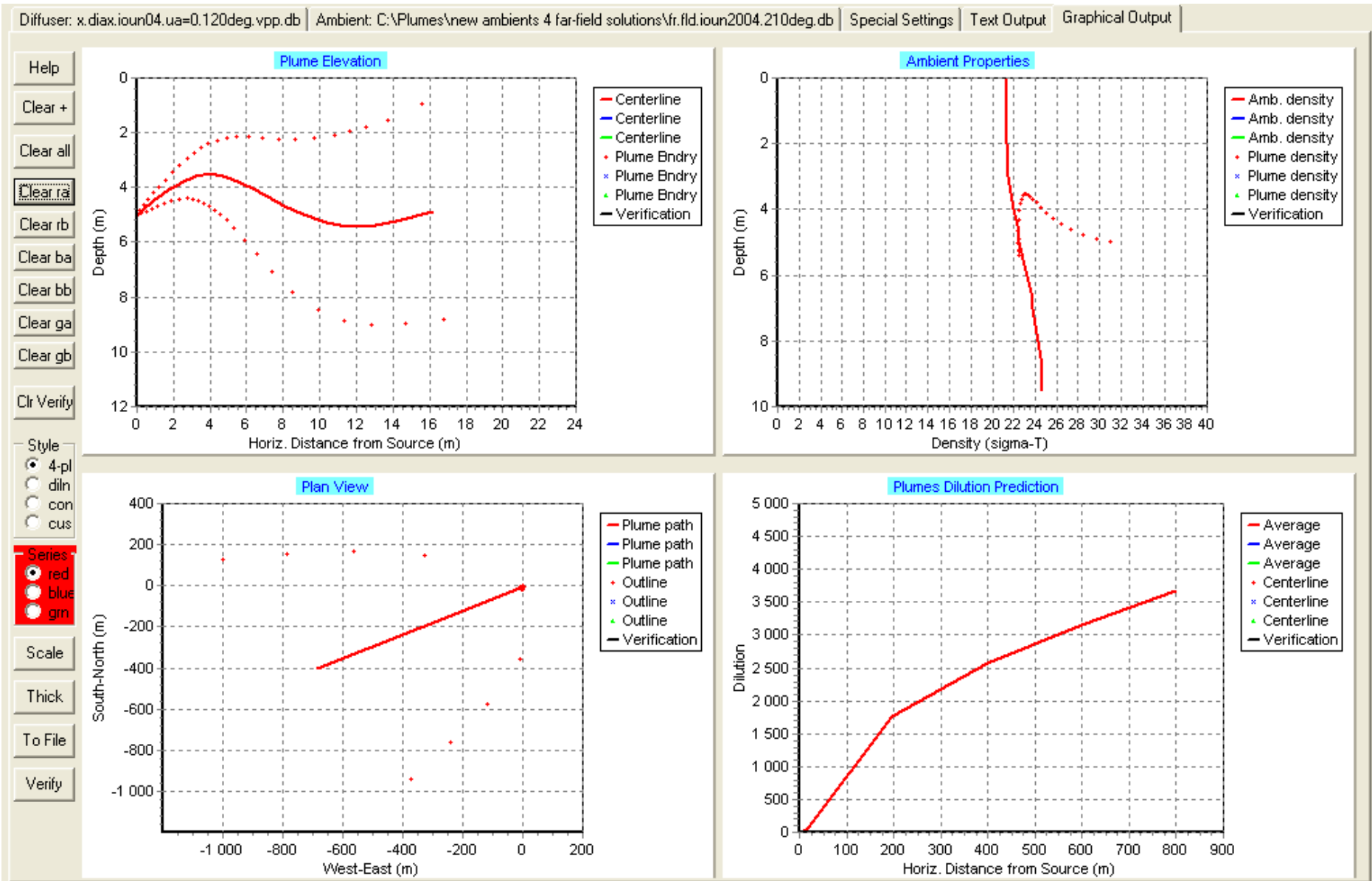
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



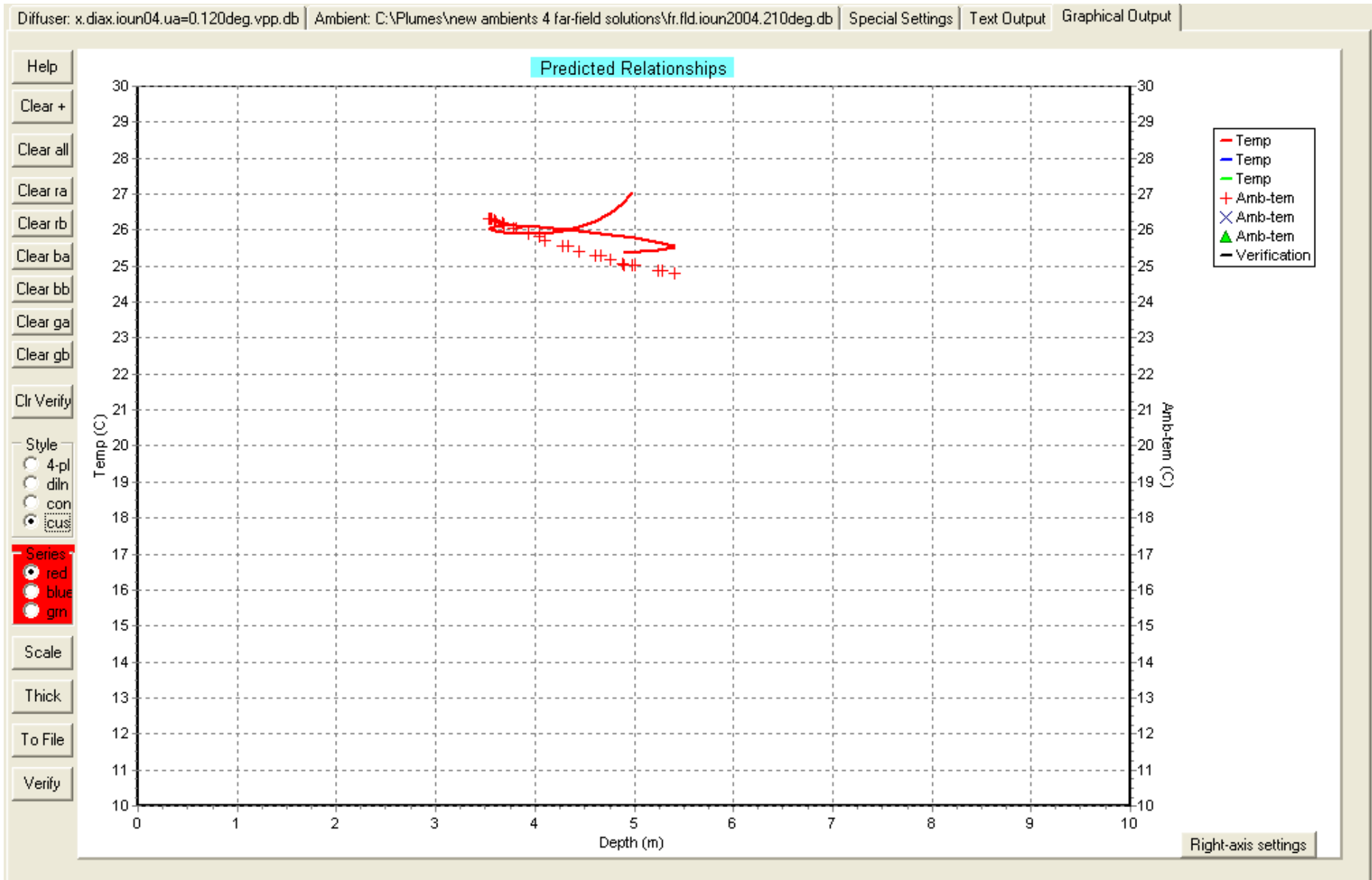
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

IOYNIOΣ 2004

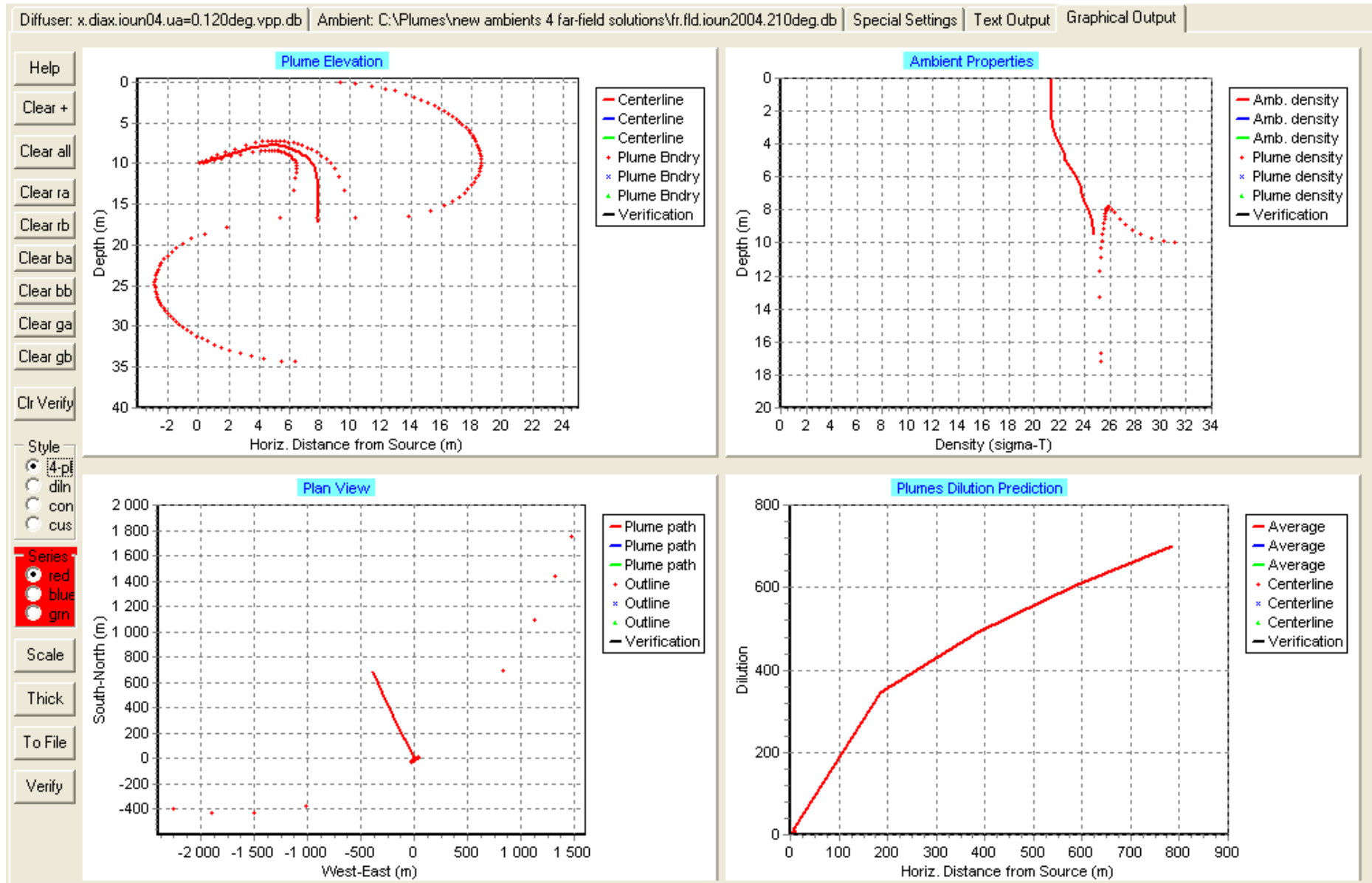


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

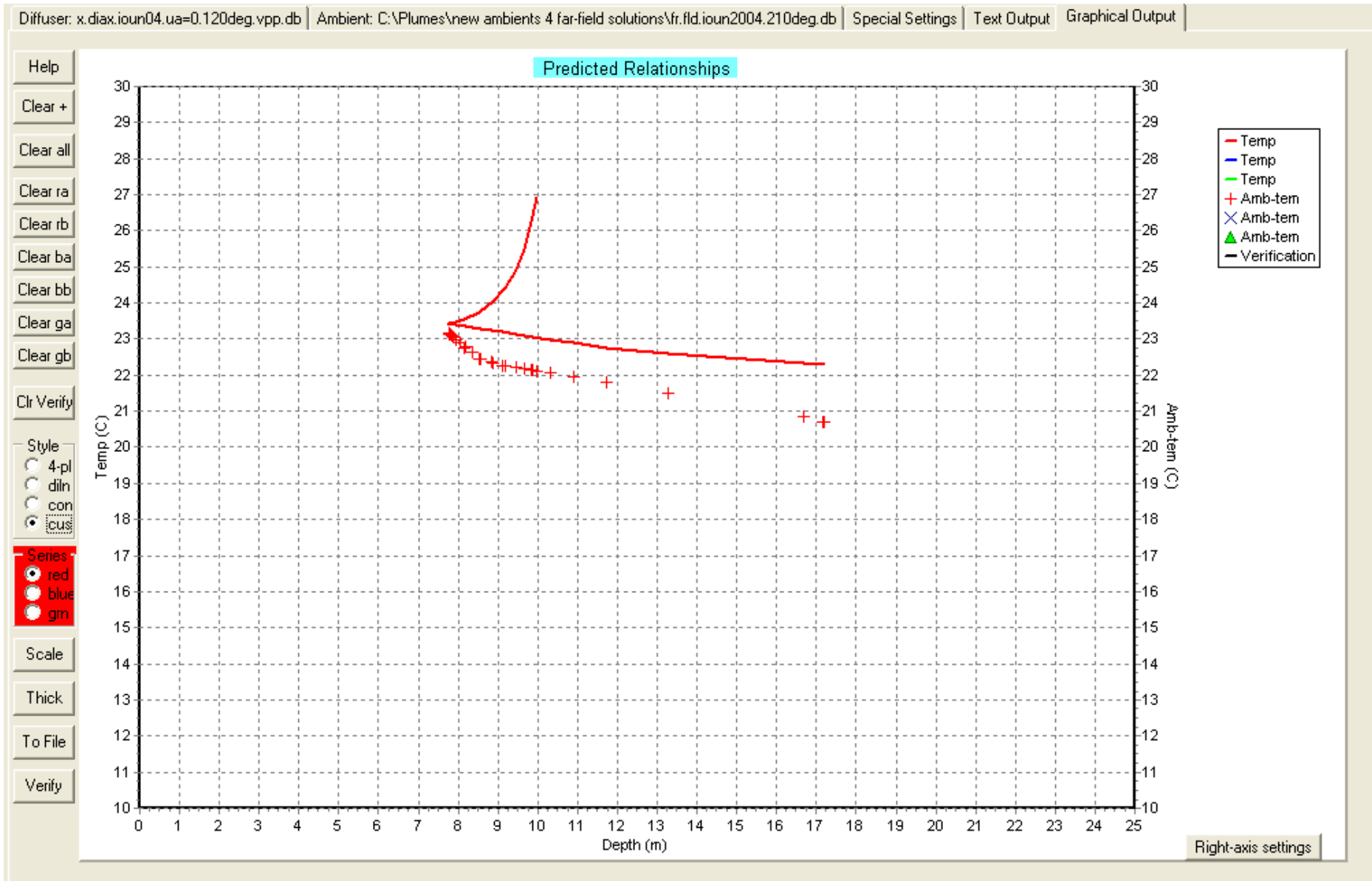


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



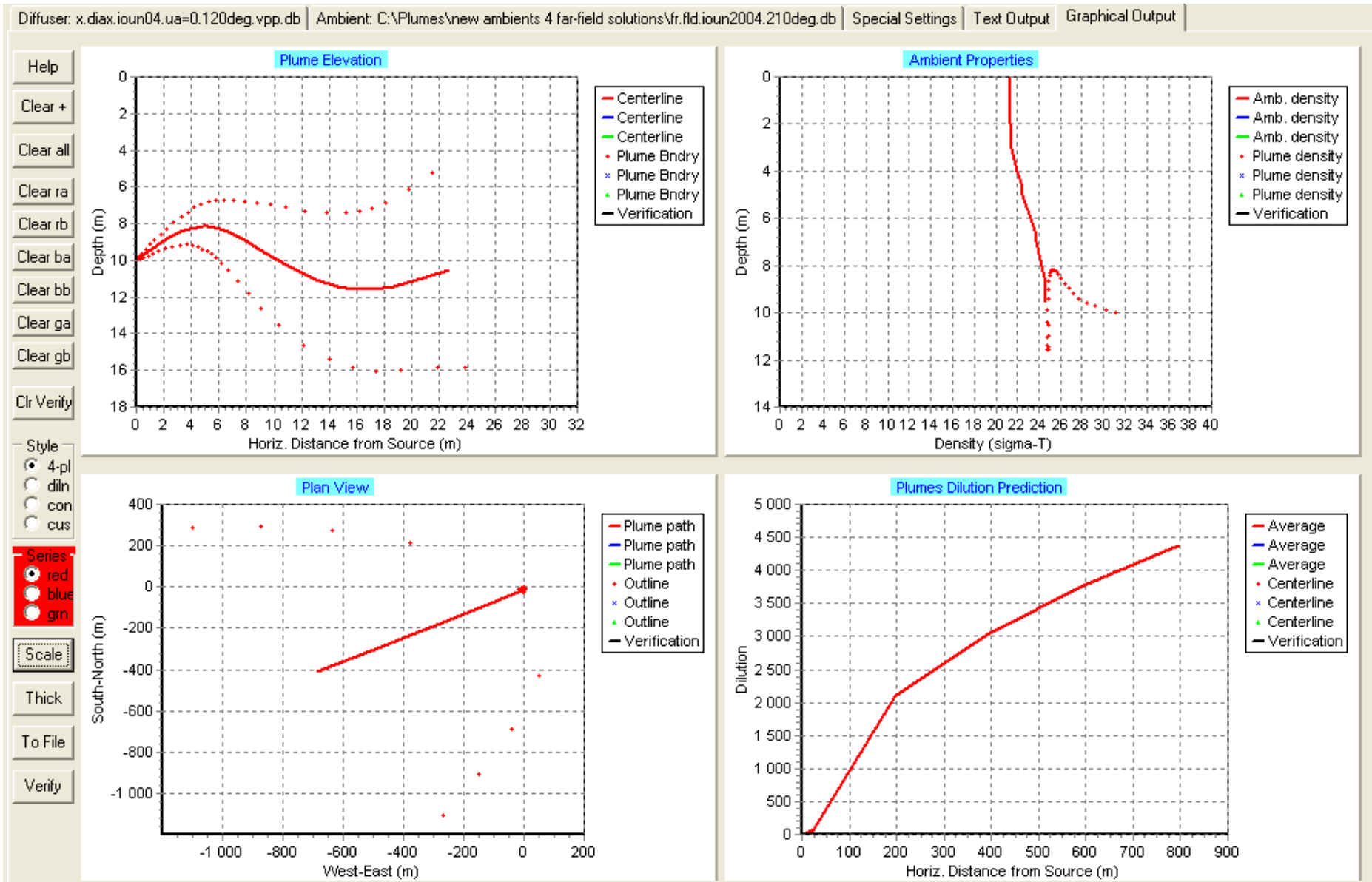
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



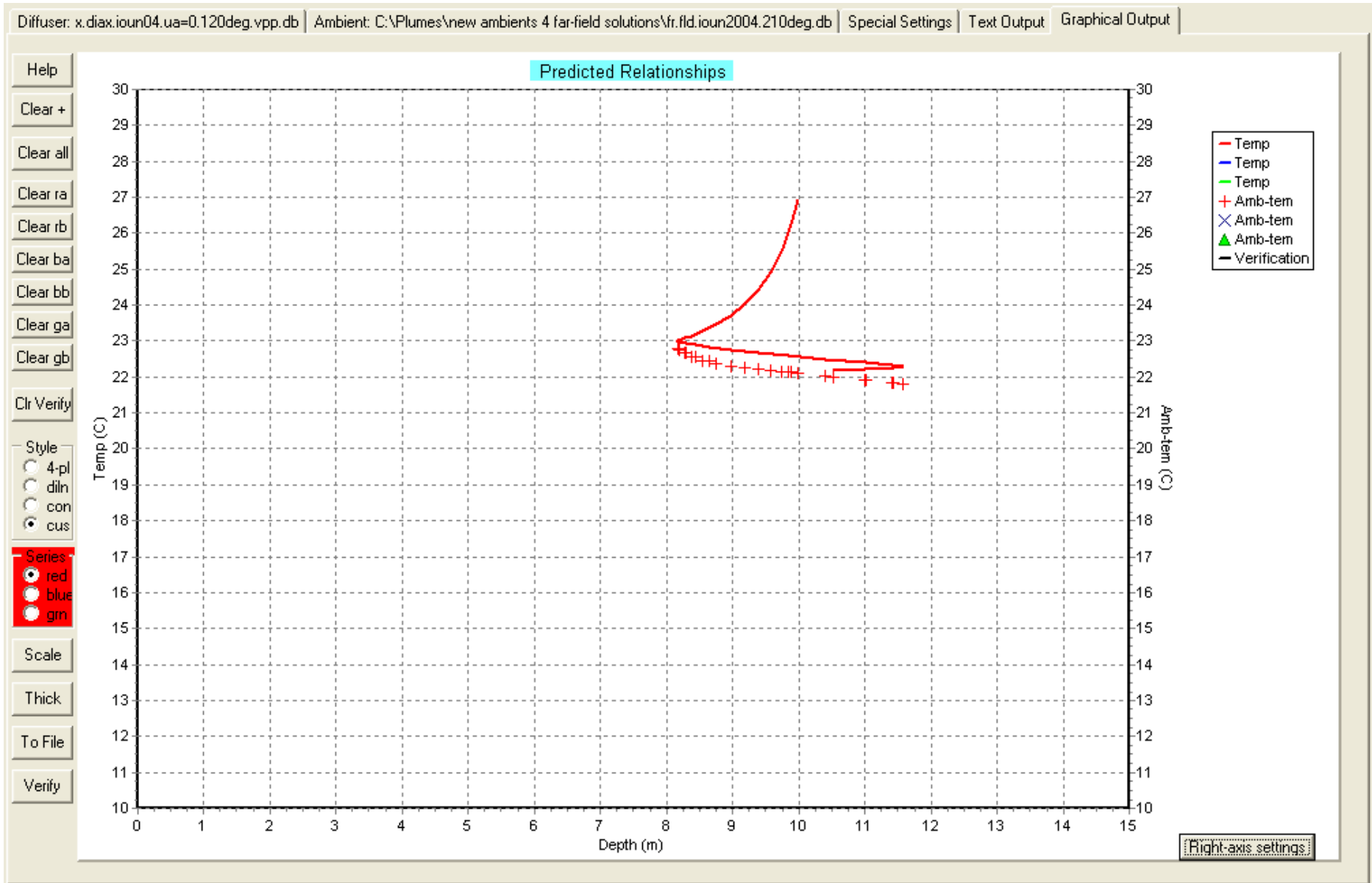
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

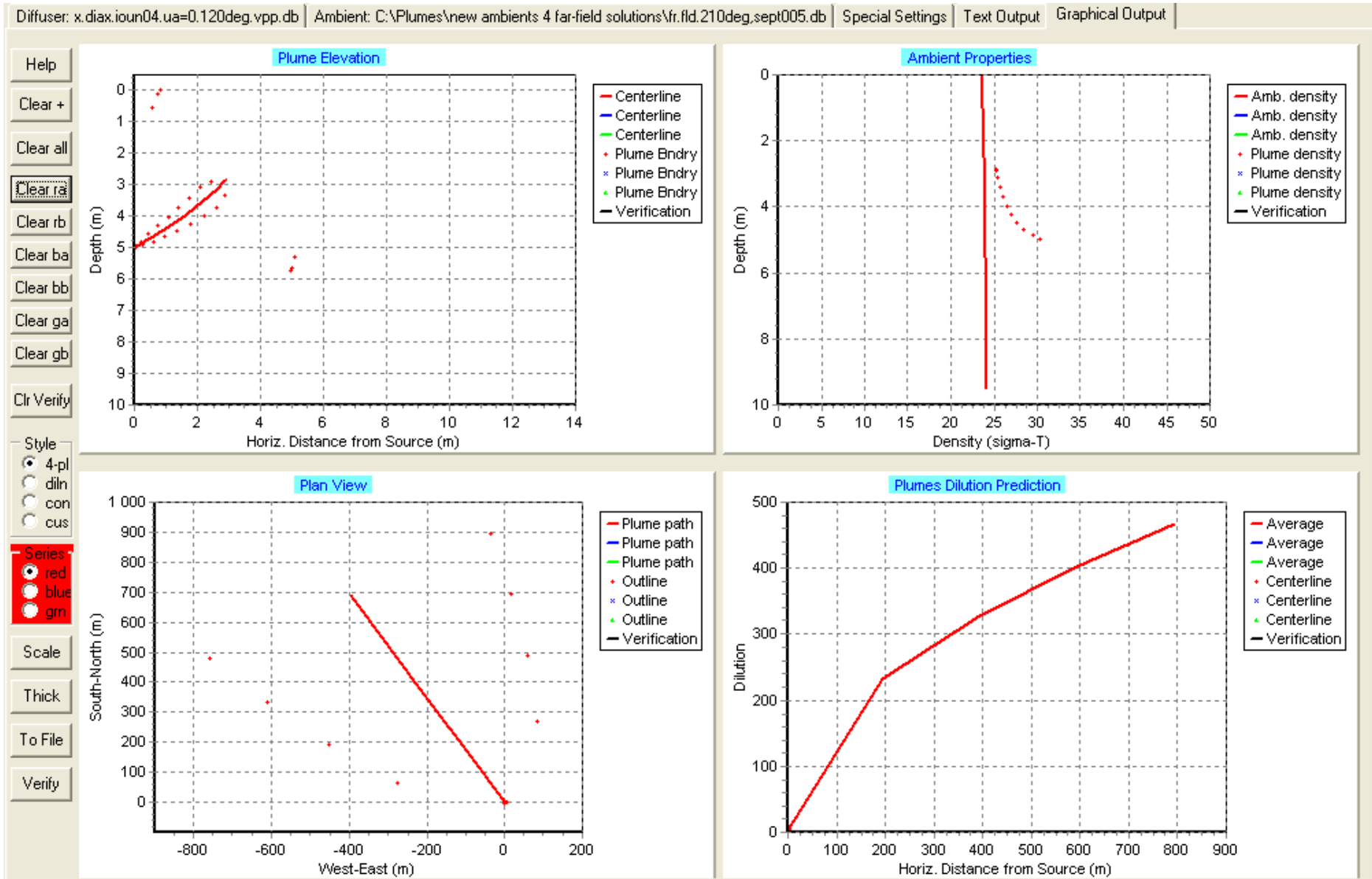


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

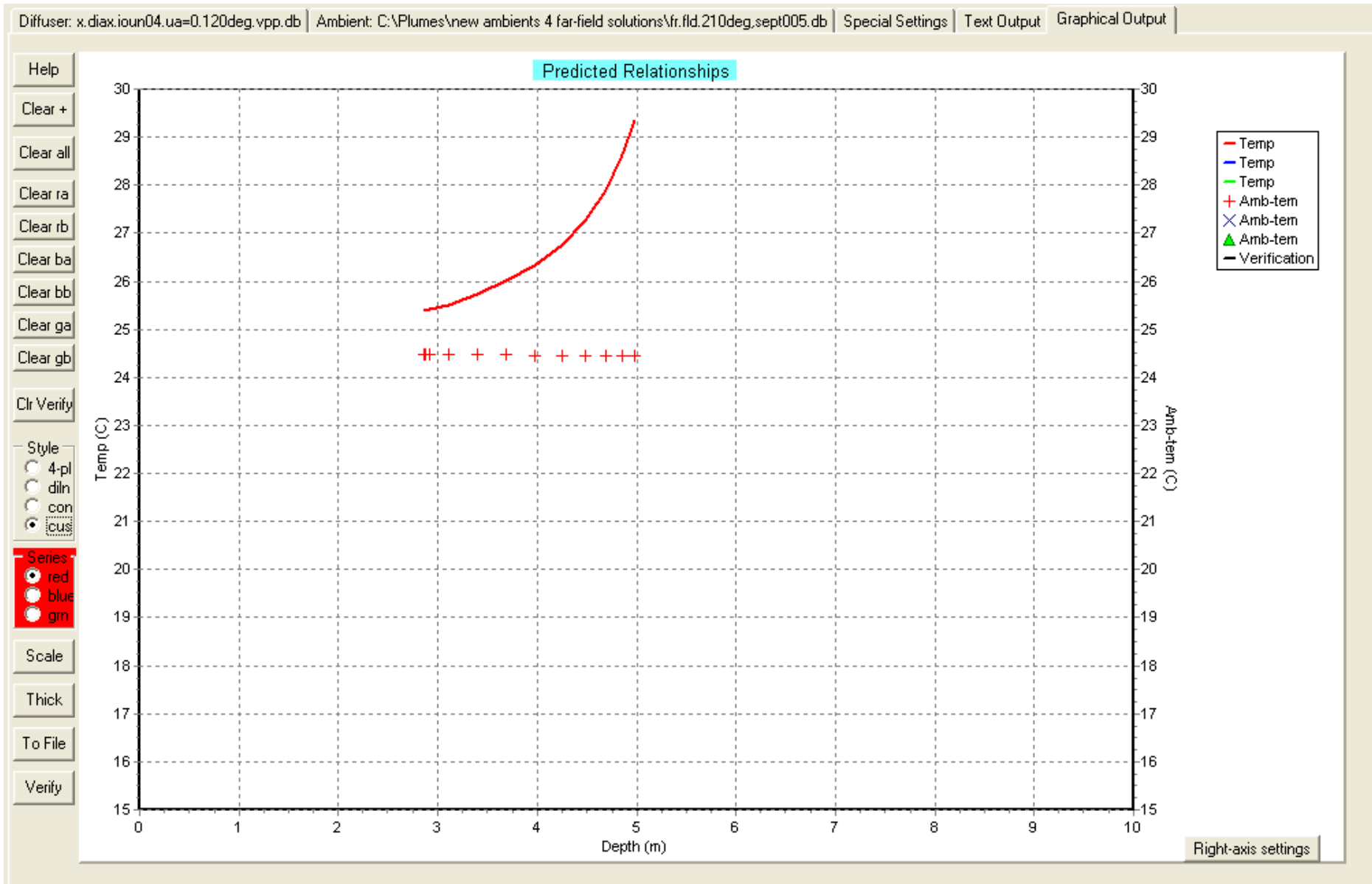
ΙΟΥΝΙΟΣ 2004



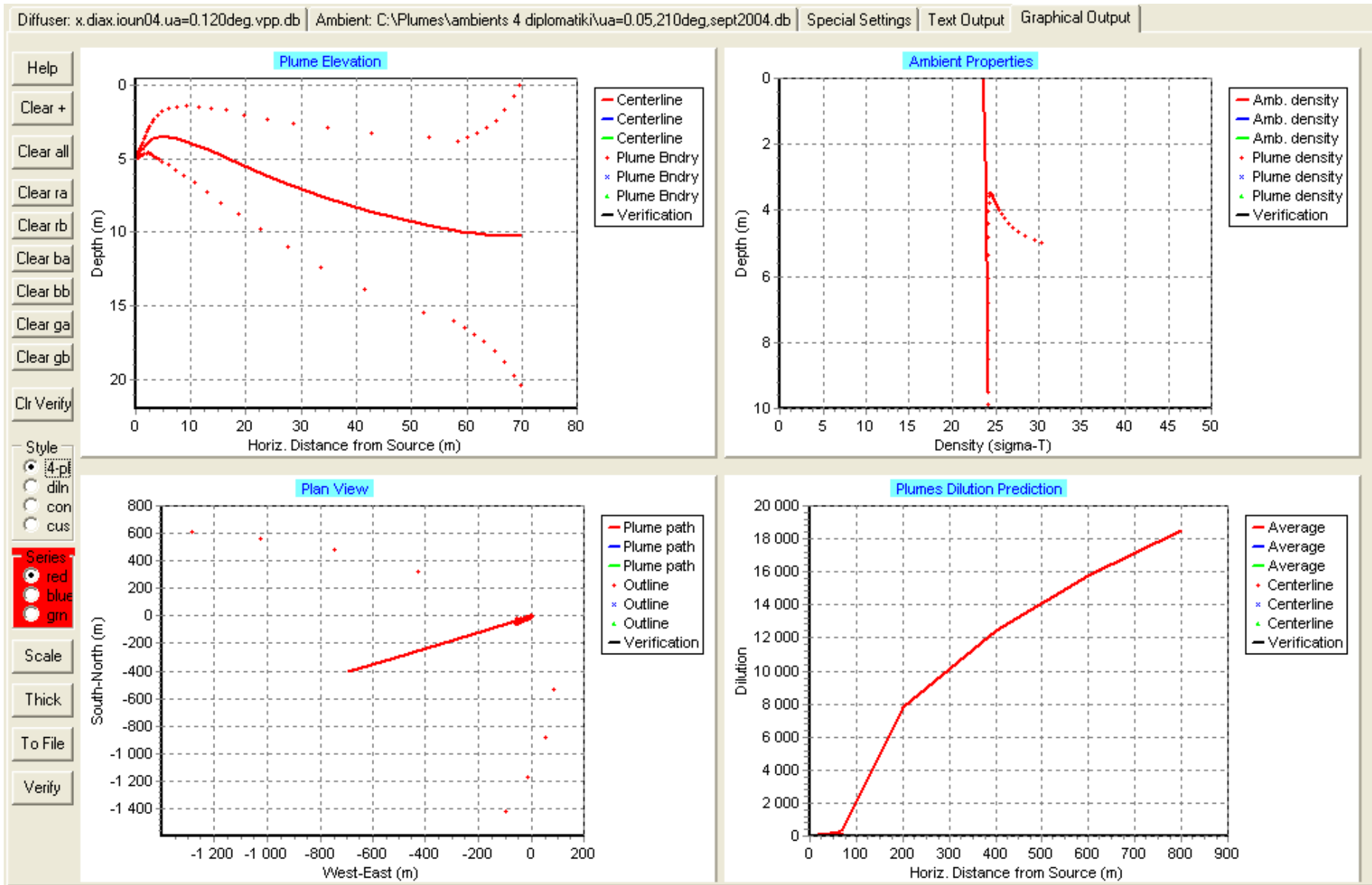
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°



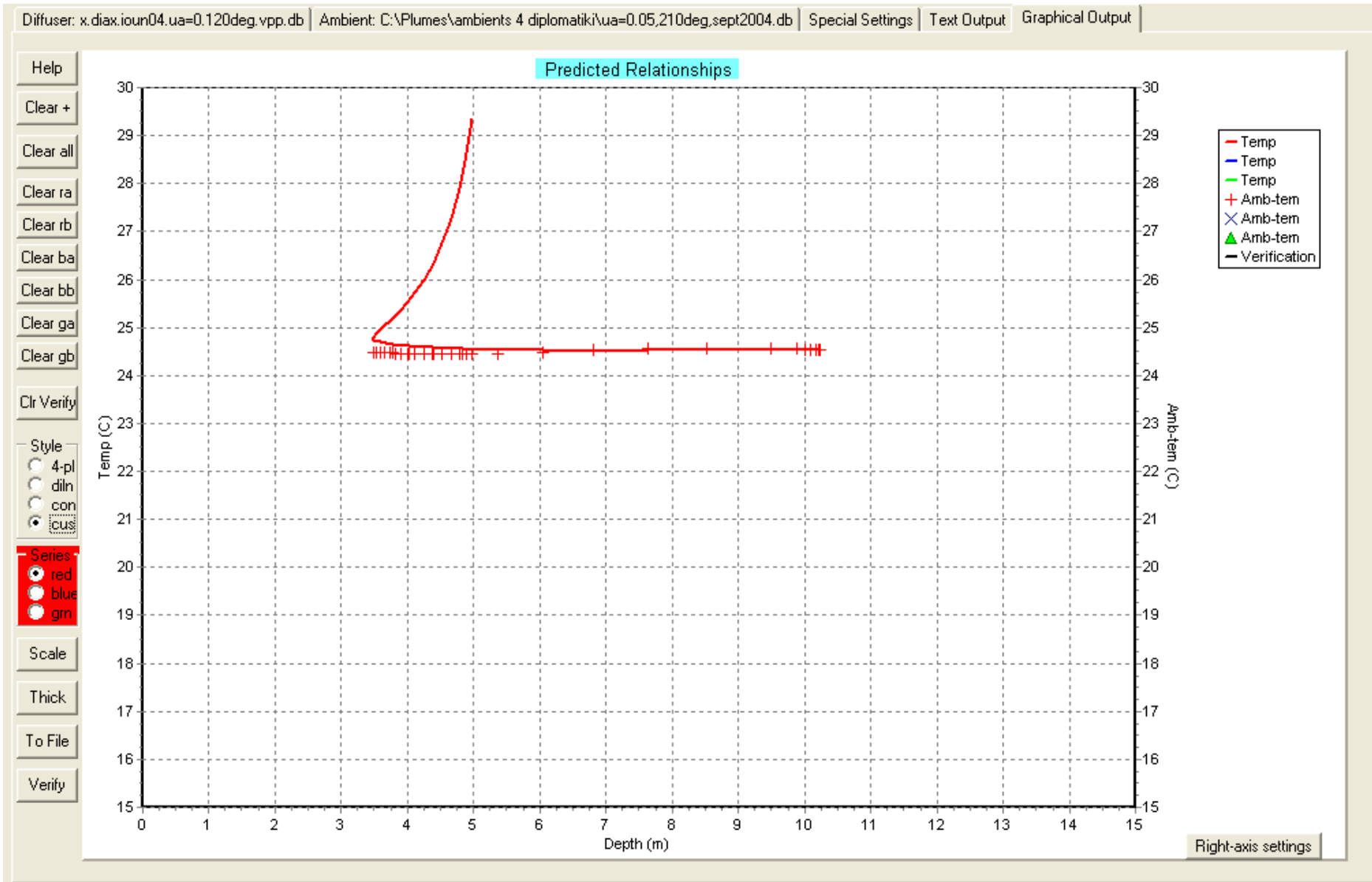
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



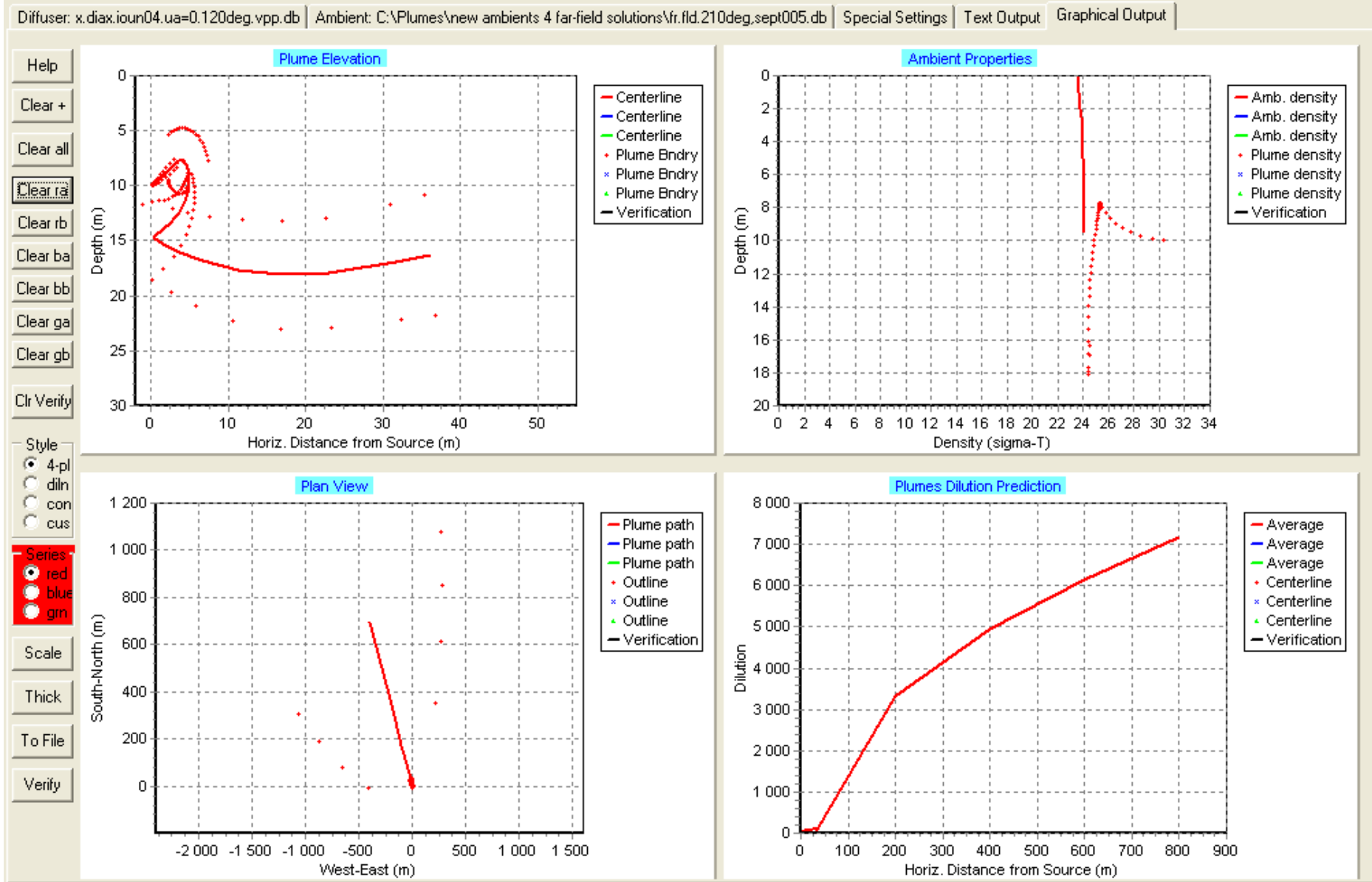
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΕΥΜΑΤΟΣ 120°

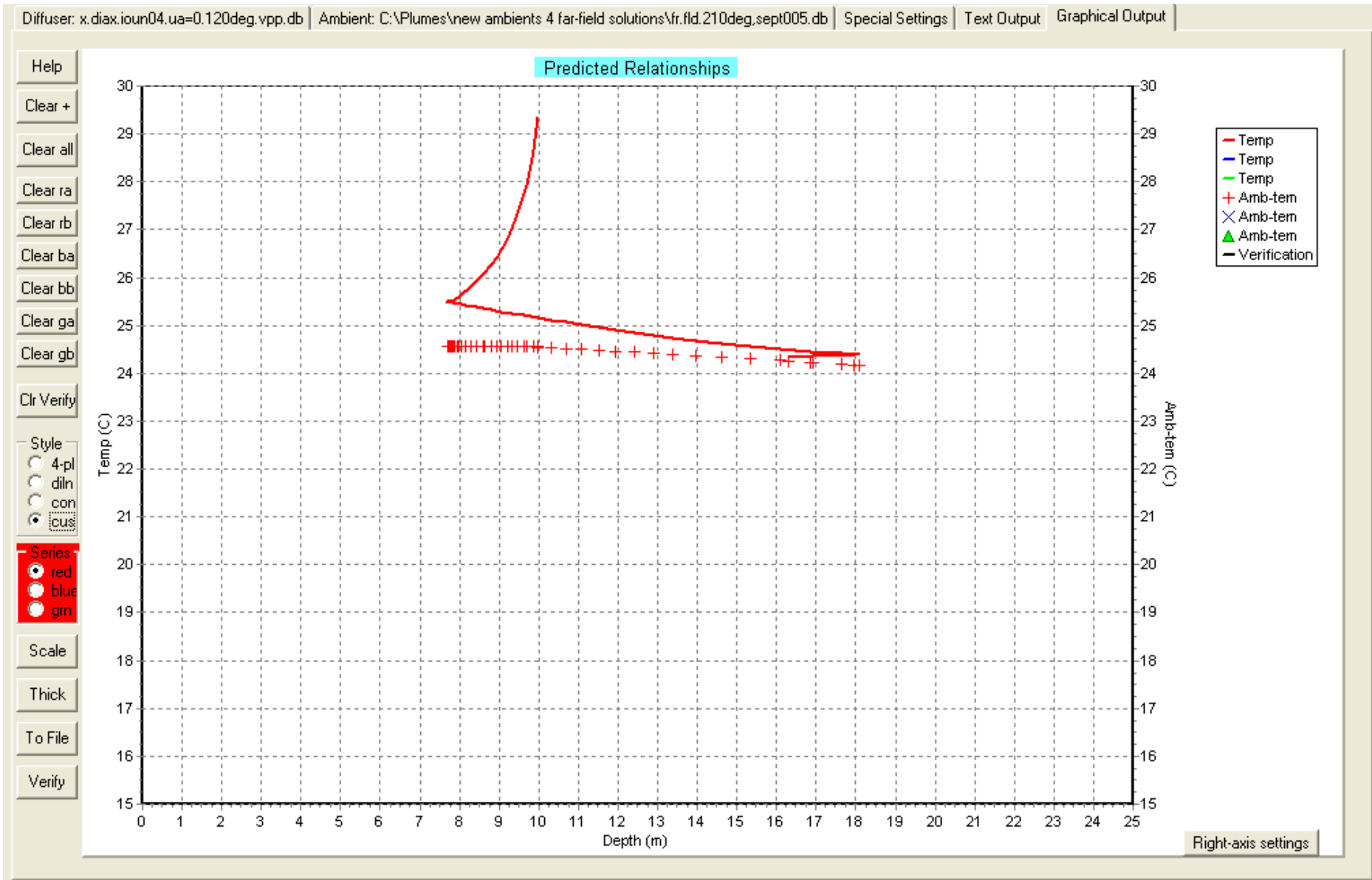


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

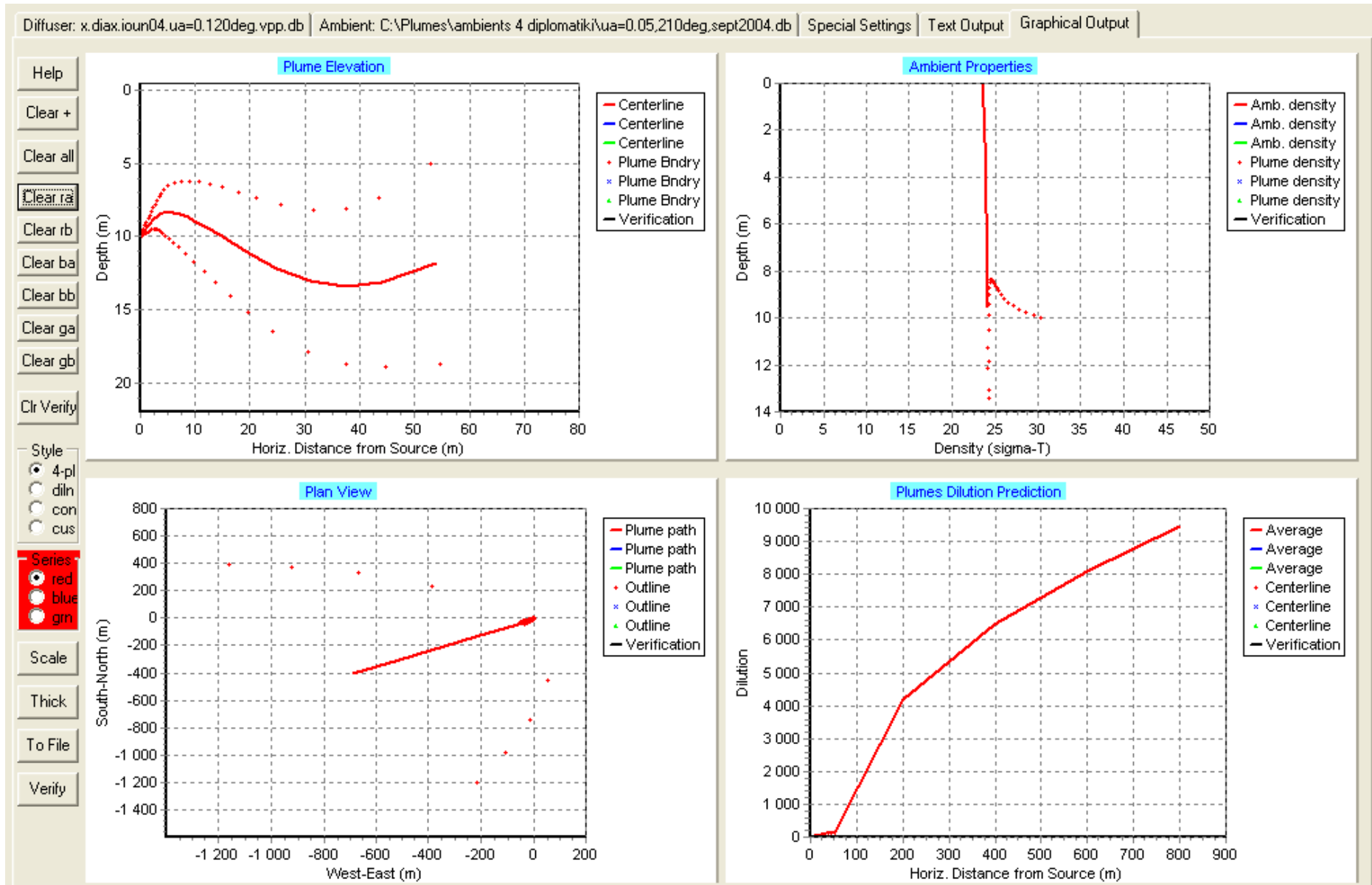


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

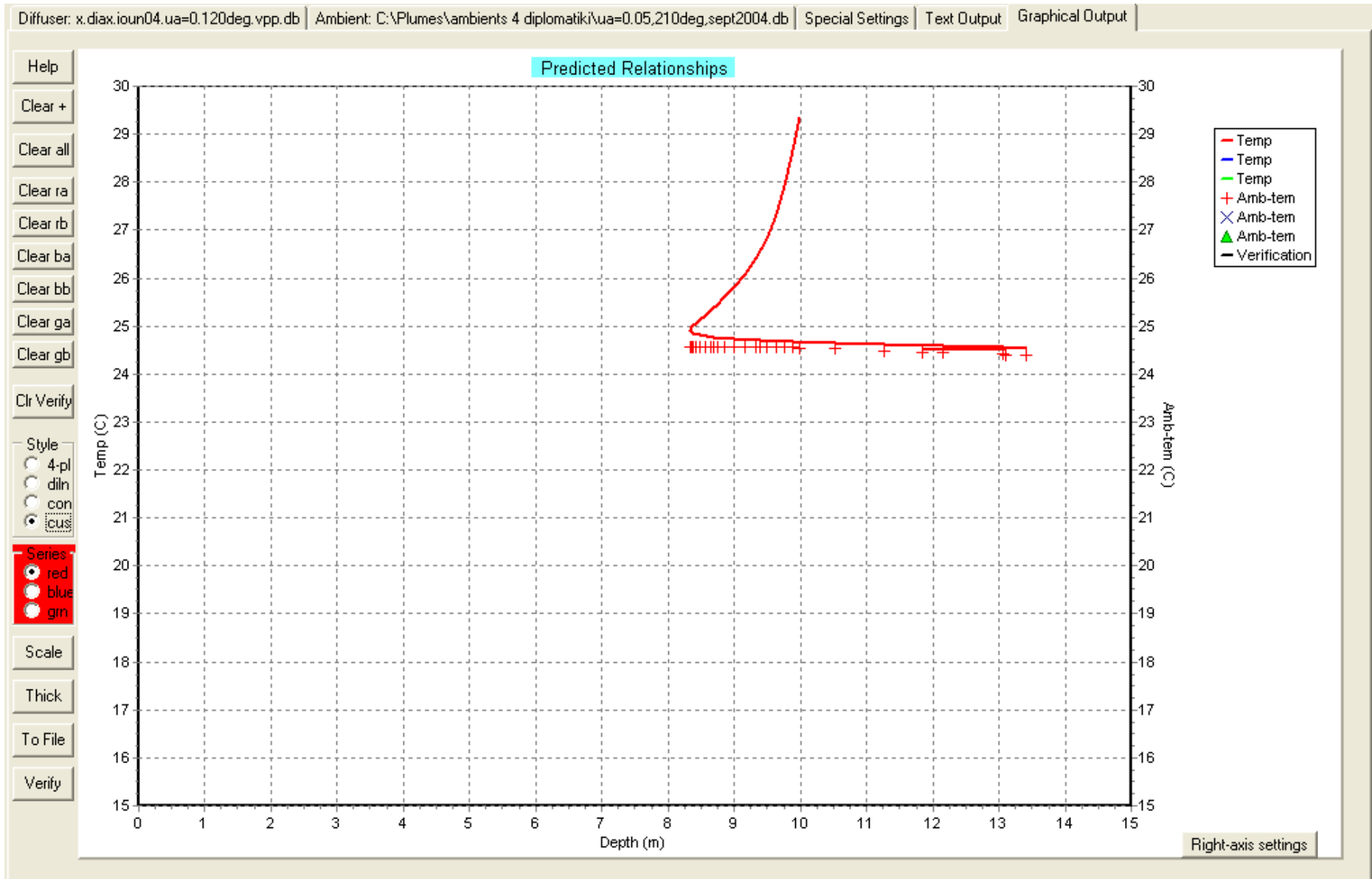




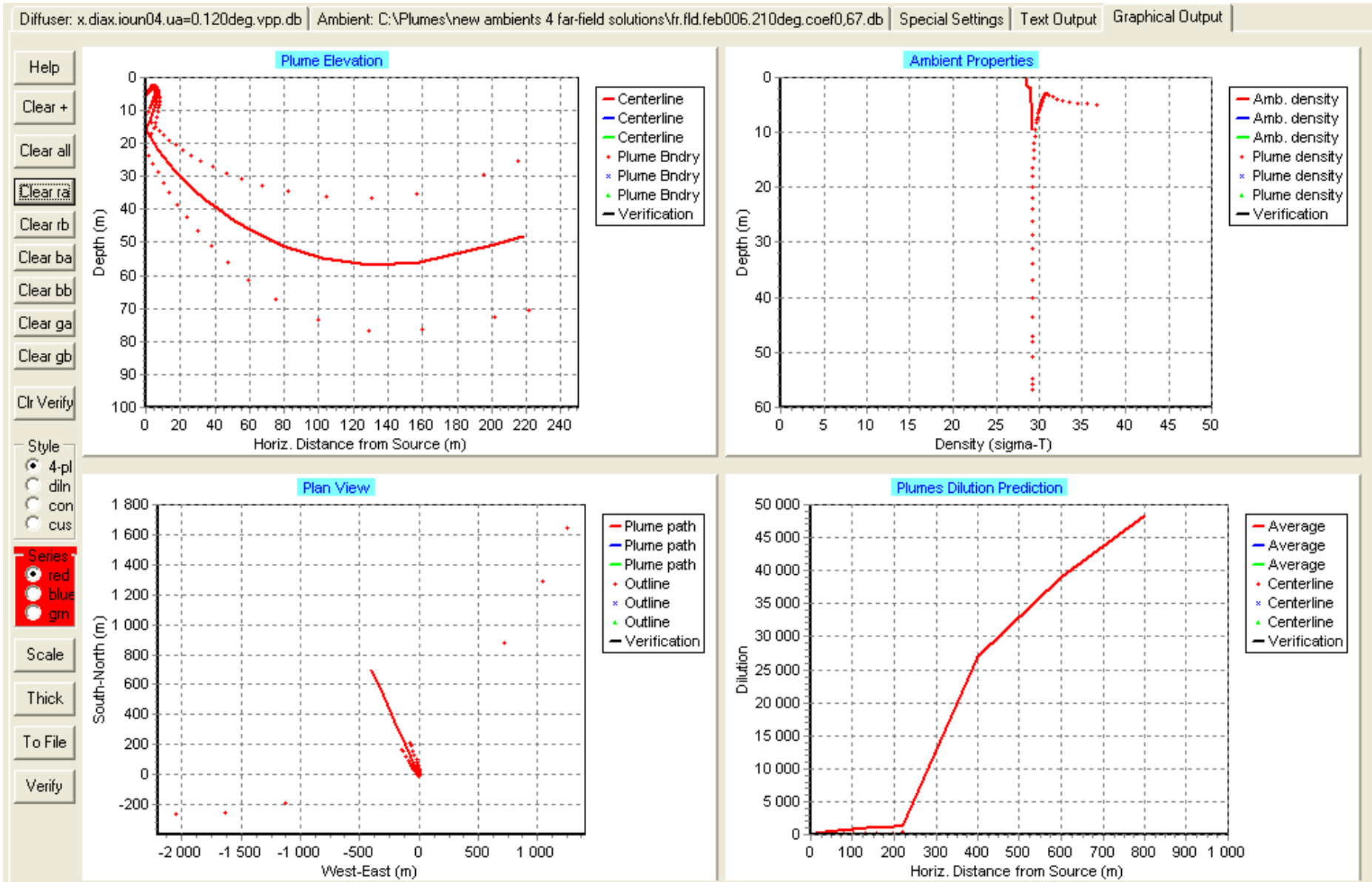
ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

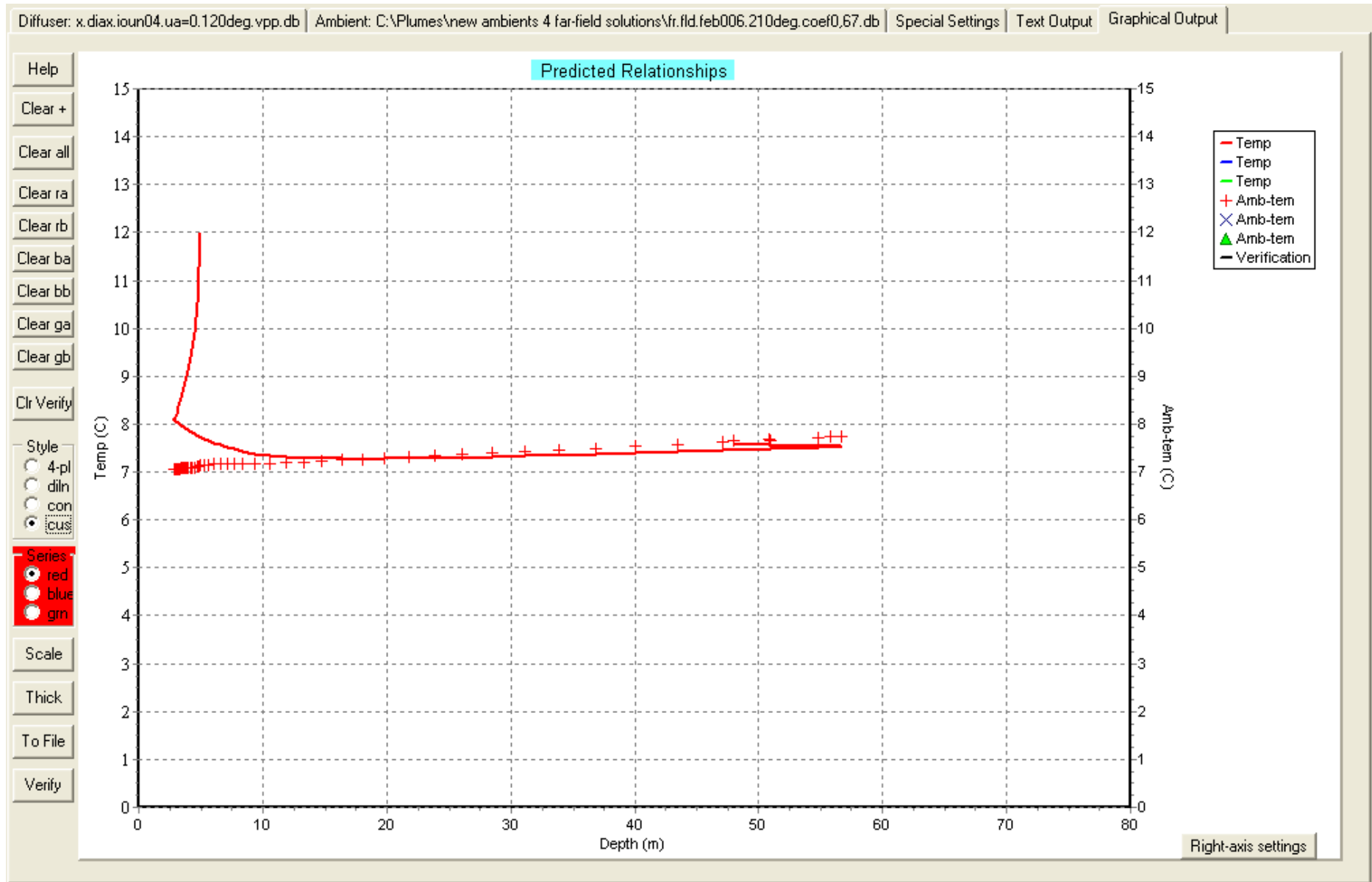


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

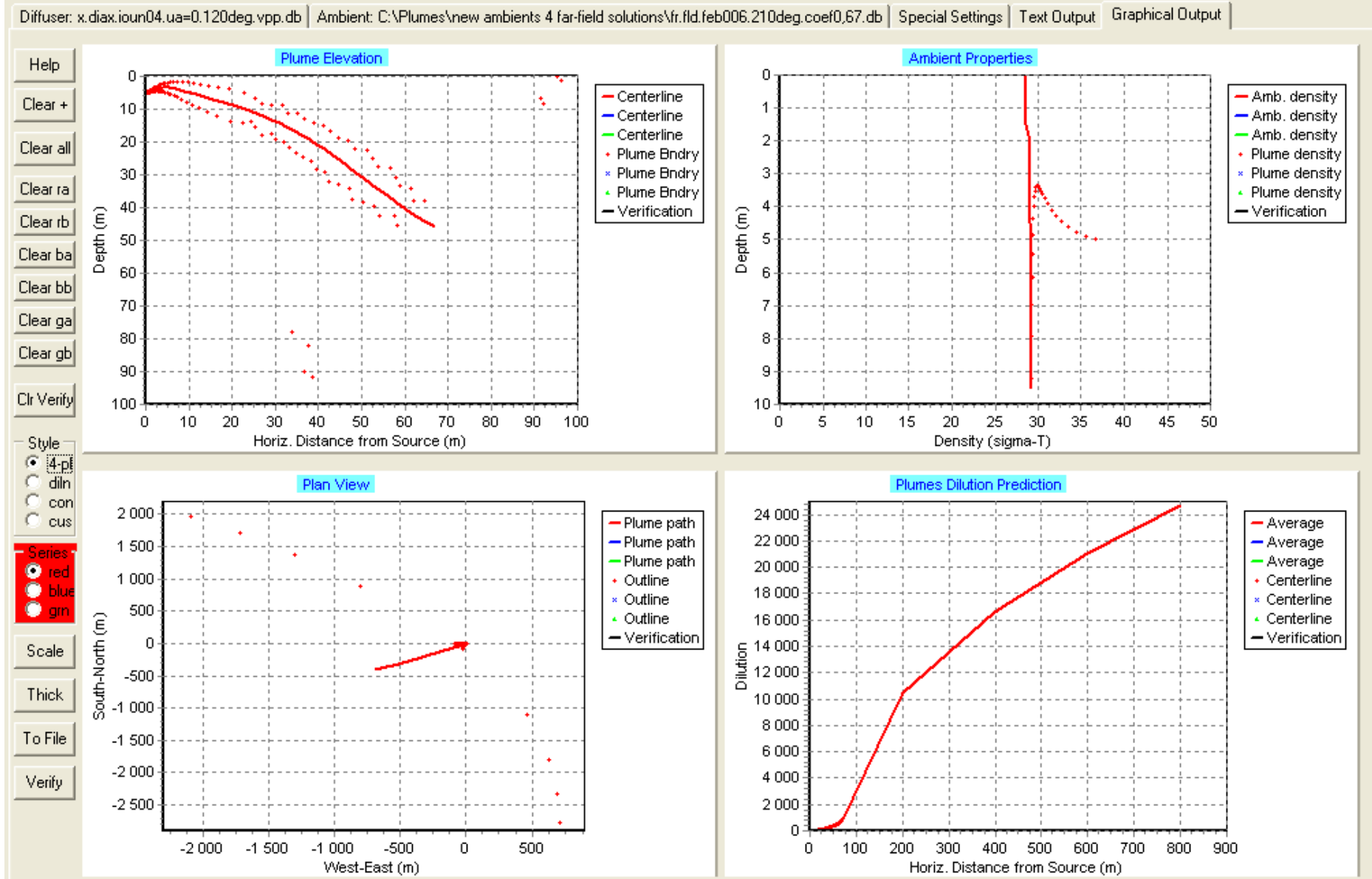


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

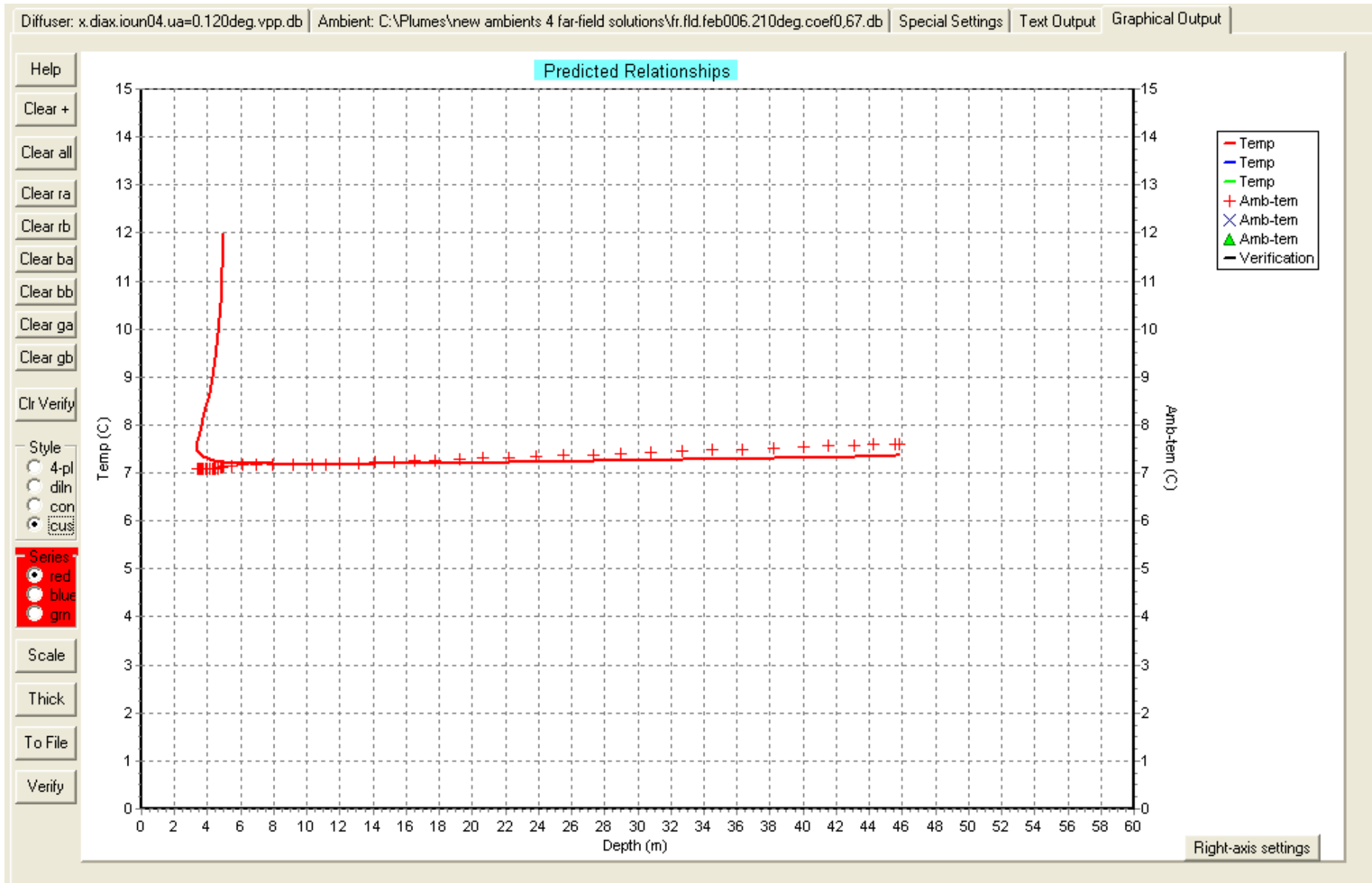
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

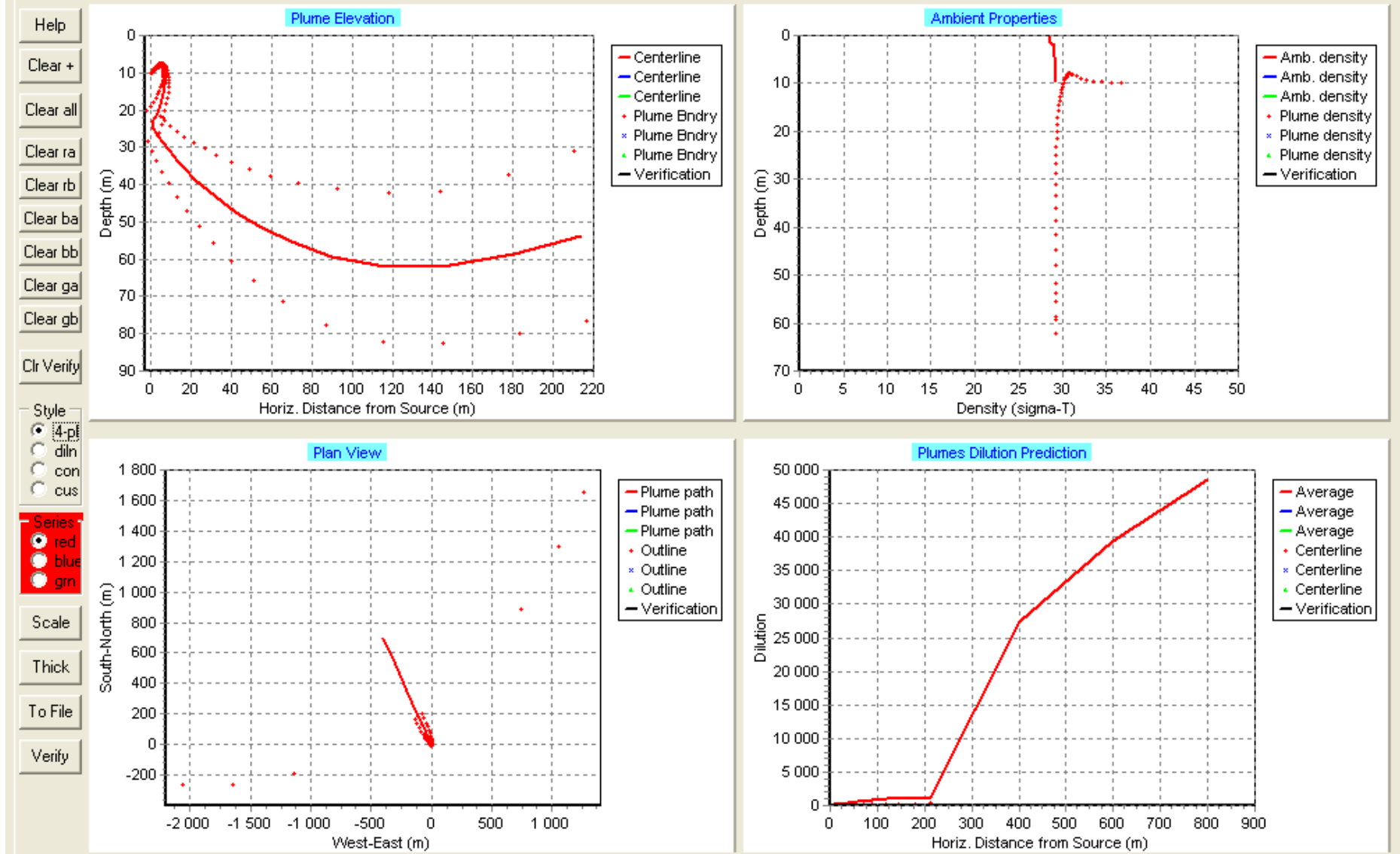


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

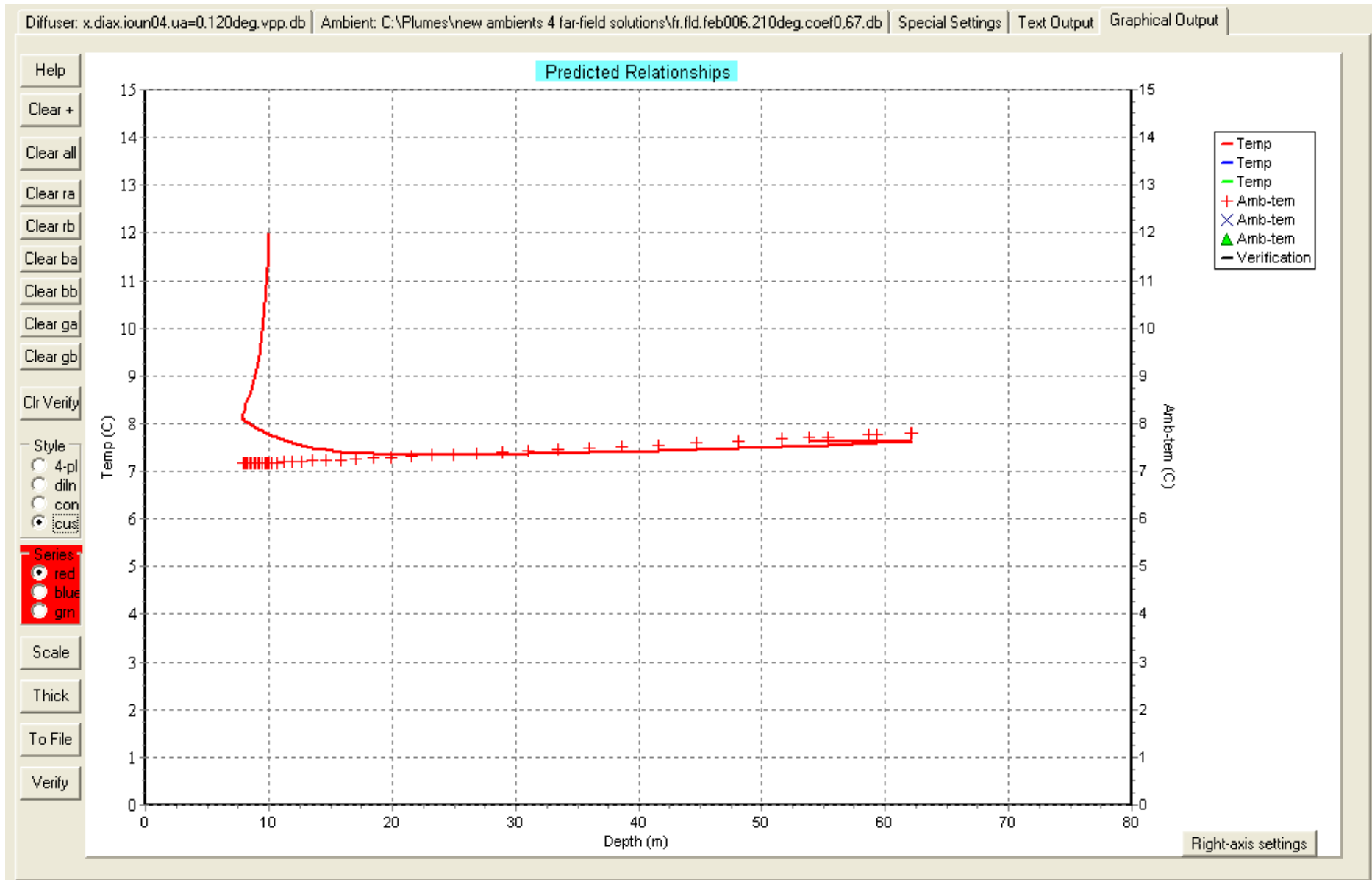


ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 5m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

Diffuser: x.diax.ioun04.ua=0.120deg.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\new ambients 4 far-field solutions\fr.fld.feb006.210deg.coef0.67.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

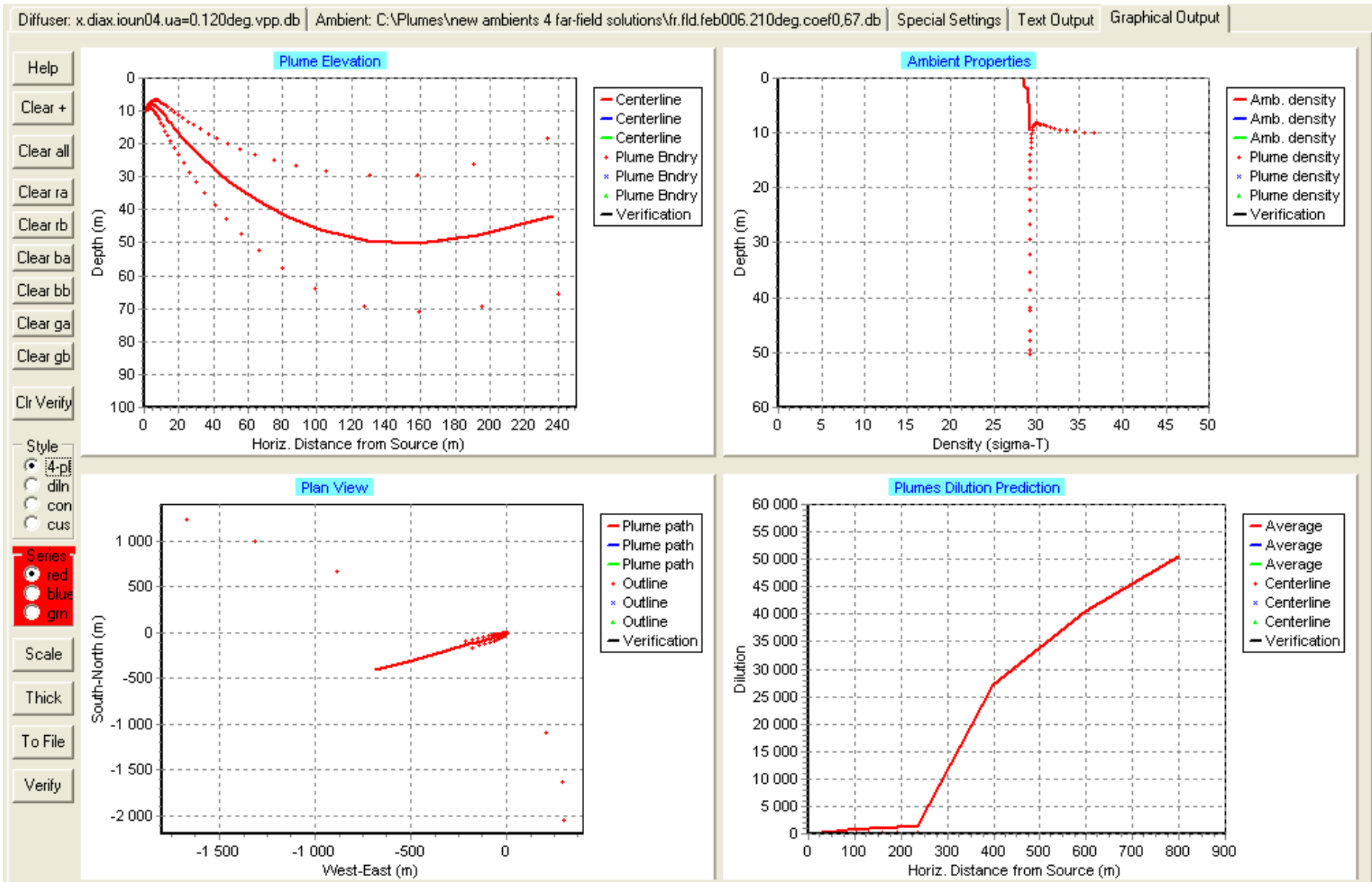


ΒΑΘΟΣ ΕΚΠΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°



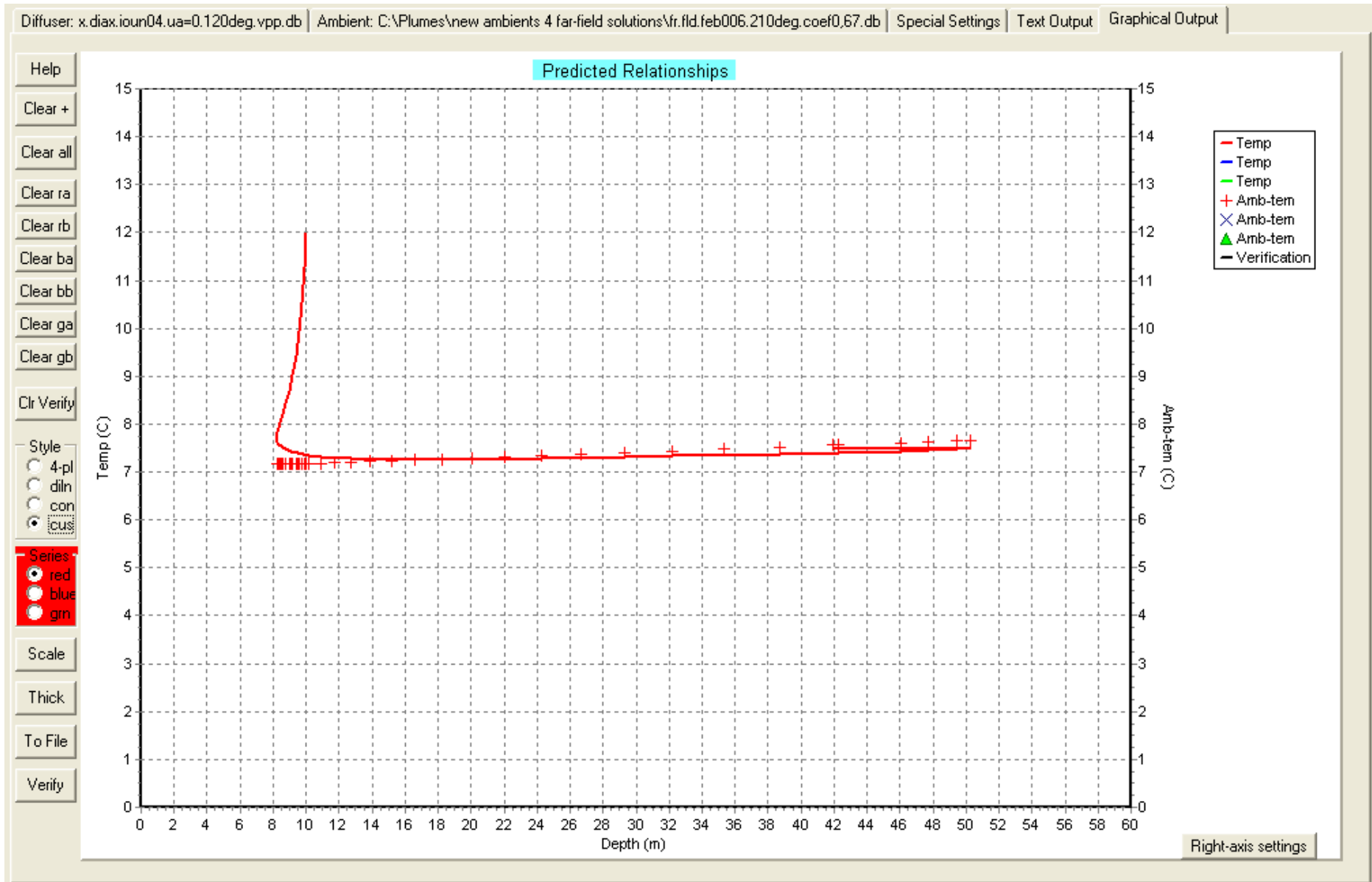
ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 120°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΑΘΟΣ ΕΚΡΟΗΣ 10m – ΓΩΝΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΡΕΥΜΑΤΟΣ 210°

5^η ΕΠΙΛΥΣΗ

Για κάθε μήνα καθώς και για όλα τα βάθη εκροής παρατηρούμε ότι το πλούμιο σε γενικές γραμμές ακολουθεί ομαλή πορεία μέσα στο θαλάσσιο αποδέκτη η οποία εντέλει οδηγεί σε καταβύθισή του και εγκλωβισμό στον πυθμένα ή σε κάποιο βάθος κοντά σε αυτόν. Όμως για ακόμα μια φορά λίγο πριν ή λίγο μετά την έναρξη της βύθισης οι θερμοκρασιακές τιμές πλουμίου-θάλασσας είτε συγκλίνουν τόσο ώστε η διαφορά τους να μην ξεπερνά τους $1,5^{\circ}\text{C}$ είτε εξισώνονται πλήρως.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κλείνοντας την προσπάθεια ανάλυσης και περιγραφής της διασποράς θερμικού πλουμίου στο θαλάσσιο περιβάλλον και των σχετικών με αυτή περιβαλλοντικών επιπτώσεων καταλήγουμε συνολικά στα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Γενικά παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του πλουμίου για κάθε επίλυση, και για τα διάφορα βάθη εκροής, γρήγορα εξισώνεται με αυτή του θαλάσσιου αποδέκτη. Όμως στην περίπτωση βάθους εκροής 2m, λόγω της εκτόξευσης του πλουμίου έχουμε εμφάνιση πίδακα αποβαλλόμενου νερού ακόμα και πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, γεγονός αισθητικά απαράδεκτο. Το γεγονός αυτό αντιμετωπίζεται με την 2^η, 4^η και 5^η επίλυση οι οποίες πετυχαίνουν περιορισμό της εκτόξευσης του πλουμίου.

Επίσης οι μεγάλες τιμές στην αλατότητα του πλουμίου οδηγούν τις πιο πολλές φορές τη μάζα θερμού νερού σε καταβύθιση και εγκλωβισμό του στον πυθμένα. Για την περίπτωση της εκροής σε βάθος 2m, το παραπάνω είναι σίγουρο ότι θα παρατηρηθεί και η γύρω περιοχή από το σημείο εκροής κατακλύζεται από θερμές υδάτινες μάζες έστω με 1 έως 1.5°C διαφορά θερμοκρασίας.

Αυτές είναι πολύ πιθανό λόγω ρευμάτων να φτάσουν πριν την πλήρη εξίσωση των θερμοκρασιών στις πολύ κοντινές ανατολικές και βορειοανατολικές ακτές του κόλπου.

Το φαινόμενο παύει να είναι τόσο έντονο με την τοποθέτηση του αγωγού στα 5 ή 10m λόγω καλύτερης διασποράς του πλουμίου από άποψη χώρου και της αντίστοιχης εξίσωσης των θερμοκρασιακών διαφορών πολλά μέτρα πριν την προσέγγισή του στις κοντινές ακτές.

Οπότε συνολικά προτείνεται η αποφυγή της τοποθέτησης του αγωγού σε βάθος 2m καθώς μεγιστοποιούνται οι πιθανότητες εμφάνισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη.

2. Η επίλυση η οποία δίνει τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα, όσον αφορά στη διασπορά του πλουμίου, είναι η 3^η (χρήση αγωγού ανάμιξης) καθώς οι τιμές πυκνότητας και θερμοκρασίας του πλουμίου βρίσκονται πιο κοντά και εξισώνονται γρηγορότερα με αυτές του περιβάλλοντος, σε τέτοιο σημείο που για το μήνα Ιούνιο το νερό εκροής στα βάθη των 2 και 5m βρίσκεται σε ελαφρώς χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος κοντά στην επιφάνεια.

Η 2^η επίλυση (με χρήση διαχυτήρα) δίνει ελαφρά καλύτερα αποτελέσματα από την 1^η, αλλά χωρίς σημαντικές διαφορές που να δικαιολογούν την απαίτηση χρήσης διαχυτήρα αντί για αγωγό με ελεύθερο άκρο.

Η 4^η (χρήση πολλαπλών αγωγών) και η 5^η επίλυση (μείωση της κλίσης ανύψωσης του άκρου του αγωγού) οδηγούν σε ομαλότερη και πιο οριζοντιοποιημένη πορεία του πλουμίου στον αποδέκτη, όμως λόγω μεγάλων τιμών αλατότητας άρα και πυκνότητας συνήθως έχουμε εγκλωβισμό της θερμής μάζας στον πυθμένα. Οι θερμοκρασιακές διαφορές δε ξεπερνούν τον 1 με 1.5°C αλλά το κατά πόσο επηρεάζονται οι βενθικοί κυρίως οργανισμοί χρίζει περαιτέρω έρευνας.

Συνολικά, με βάση τα κριτήρια βέλτιστης διασποράς πλουμίου και αποφυγής περιβαλλοντικών επιπτώσεων, προτείνεται η τοποθέτηση του αγωγού στα 5 ή 10m, και η χρήση αγωγού με ελεύθερο άκρο με πιθανή τοποθέτηση αγωγού ανάμιξης πριν την εκροή του θερμού νερού στο περιβάλλον.

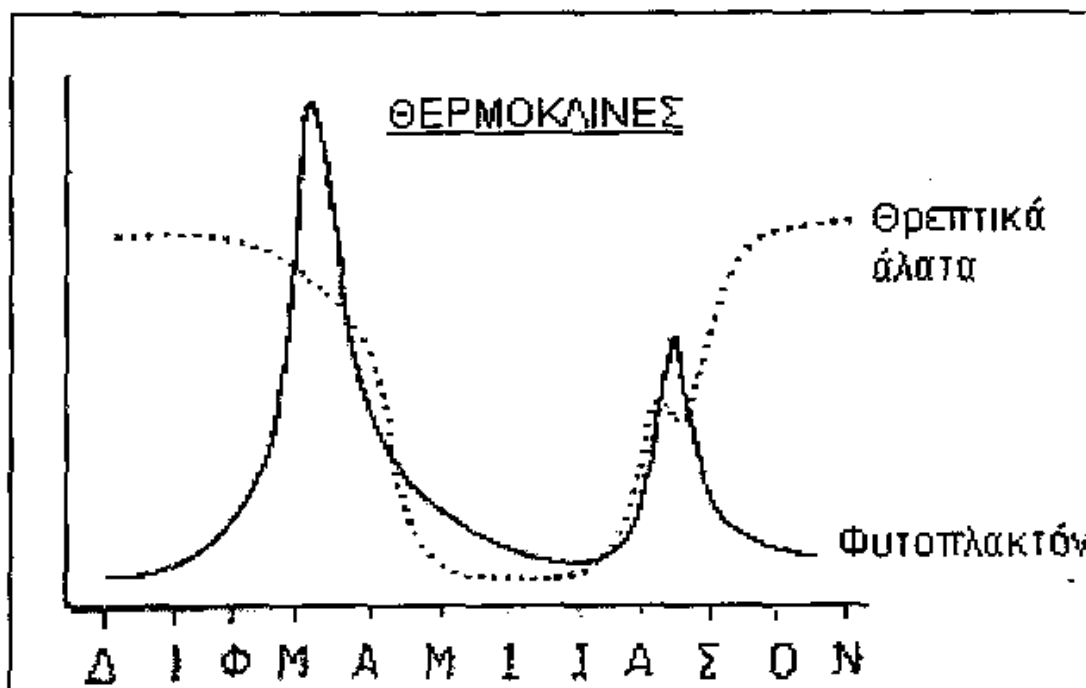
3. Γενικά παρατηρείται ταχεία εξισορρόπηση των θερμοκρασιακών διαφορών πλουμίου-περιβάλλοντος χωρίς όμως αντίστοιχη γρήγορη εξίσωση των τιμών της αλατότητας. Καθώς αναφερόμαστε σε μικρά βάθη (επιφανειακά στρώματα νερού, 0 έως 15m) η πυκνότητα του νερού εξαρτάται πρωτίστως από την τιμή της αλατότητας και όχι από αυτή της θερμοκρασίας.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αποβαλλόμενο νερό να έχει μεγάλες τιμές πυκνότητας, άρα μεγάλο βάρος και να καταβυθίζεται ή ακόμα και να εγκλωβίζεται στον πυθμένα. Μπορεί συνολικά να εξασφαλίζεται μια σχετική εξισορρόπηση των θερμοκρασιακών διαφορών πλουμίου-περιβάλλοντος, όμως μένει να εξεταστεί από βιολογική άποψη κατά πόσο οι υψηλές τιμές αλατότητας επηρεάζουν το οικοσύστημά του πυθμένα όσο αφορά τα βενθικά είδη, τα οποία αδυνατούν να μετακινηθούν, τη δημιουργία των θρεπτικών και του φυτοπλαγκτόν.

Τα παραπάνω είδη είναι ήδη επιβαρημένα λόγω της εμφάνισης του εποχιακού θερμοκλινούς τους μήνες Μάρτιο και Αύγουστο-Σεπτέμβριο (μήνες που έχουν επιλεχθεί και προς εξέταση) το οποίο προκαλεί εκρήξεις παραγωγικότητας (Εικόνα 28). Η περαιτέρω επιβάρυνσή τους λόγω πιθανών αυξημένων τιμών θερμοκρασίας ή αλατότητας μπορεί να προκαλέσει έντονα οικολογικά προβλήματα.

Συμπληρωματικά πρέπει να αναφερθεί ότι τα ωκεανογραφικά δεδομένα περιγραφής του περιβάλλοντος χώρου έχουν συλλεχθεί από το σταθμό υδρογραφικών μετρήσεων TP01 ο οποίος βρίσκεται

σε απόσταση 1860m νότια από το σημείο εκροής του αγωγού (για βάθος εκροής $d=10\text{m}$) και είναι ο πλησιέστερος σταθμός στην περιοχή μελέτης. Η σχετικά μεγάλη απόσταση προφανώς δημιουργεί μια πιθανότητα αποκλίσεων στις τιμές των δεδομένων και των αποτελεσμάτων, για αυτό για μια πιο έγκυρη εκτίμηση των αποτελεσμάτων πρέπει να έχει προηγηθεί καλύτερη αποτίμηση των φυσικών χαρακτηριστικών του χώρου εξόδου του αποβαλλόμενου θερμού νερού με επιτόπου μετρήσεις.



Εικόνα 28: Οικολογικές επιπτώσεις εποχιακού θερμοκλινούς (Πηγή: Barnes and Hughes, 1988)

4. Τέλος, για κάθε επίλυση και για βάθος εκροής 2m το πρόγραμμα σταματά να δίνει αποτελέσματα όσον αφορά την πορεία, τη θερμοκρασία και την πυκνότητα του πλουμίου, όταν αυτό φτάσει στην επιφάνεια (πρώτη μέγιστη ανύψωση – first maximum rise) παρόλο που έχει επιλεγεί στο tab των ειδικών ρυθμίσεων η προβολή αποτελεσμάτων μέχρι και τη δεύτερη ανάδυση ή καταβύθιση (second rise or fall). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εκτόξευση με υψηλή ταχύτητα στην αρχή της εκροής μετατρέπει το πλούμιο σε φλέβα η οποία ξεπερνά την επιφάνεια της θάλασσας (εμφάνιση πίδακα). Πρόκειται δηλαδή για μια περίπτωση η οποία δεν προβλέπεται για επίλυση από κάποιο πρότυπο του Visual Plumes και ειδικότερα από το επιλεγμένο μοντέλο επίλυσης UM3.

Γενικά το πρόγραμμα συμπεριφέρεται ικανοποιητικά αναφορικά με την έκδοση αποτελεσμάτων σε μορφή διαγραμμάτων. Το μόνο προβληματικό διάγραμμα που παρουσιάστηκε είναι αυτό των θερμοκρασιών σε σχέση με το βάθος για το μήνα Φεβρουάριο 2005, 1^η επίλυση σε βάθος εκροής 5m (σελ. 106), όπου η θερμοκρασία του πλουμίου μετά την εξίσωση με αυτή του περιβάλλοντος εκτοξεύεται σε παράλογα ψηλές τιμές. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πιθανό λάθος εισαγωγής δεδομένων ή σε κάποιο προσωρινό πρόβλημα επεξεργασίας του προγράμματος.

Αυτό αποδεικνύει ότι η χρήση ειδικευμένου λογισμικού και γενικότερα υπολογιστικών προγραμμάτων σε καμία περίπτωση δεν αντικαθιστά το φυσικό ρόλο του επιστήμονα μηχανικού ο οποίος οφείλει πάντοτε να επεξεργάζεται τα αποτελέσματα των προγραμμάτων με κριτική διάθεση. Η χρήση προγραμμάτων Η/Υ δεν αποτελεί πανάκεια όσον αφορά την επίλυση των προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο μηχανικός, παρά μόνο η ορθολογική χρήση τους συνδυασμένη με συσσωρευμένη γνώση και εμπειρία οδηγούν σε ασφαλή συμπεράσματα.

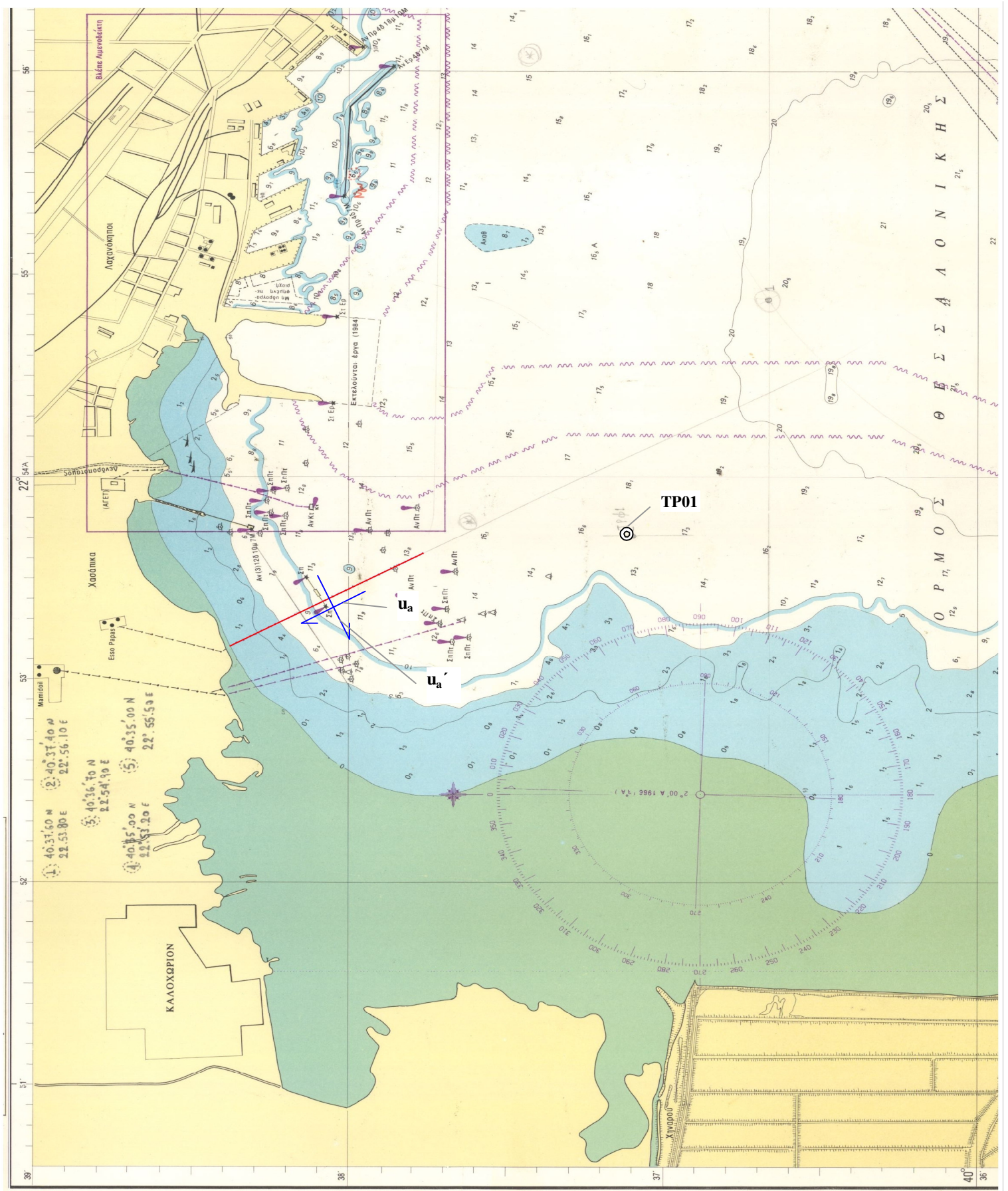
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Χριστόφορου Γ. Κουτίτα. Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα
- Ιωάννης Κρεστενίτης, 2000. Παράκτια Τεχνικά Έργα, Τεύχος 'Α.
- Αθανάσιος Ι. Θεοδώρου, 1997. Γενική Ωκεανογραφία..
- Μωραΐτου-Αποστολοπούλου Μαρία, 1993. Μαθήματα Υδροβιολογίας. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελίδες 15-22.
- Τσιούρης Σωτήριος Ε., 1999. Θέματα Προστασίας Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Γαρταγάνης, σελίδες 185-187.
- Φυτιάνος Κώστας, 1996. Η ρύπανση των θαλασσών. University Studio, Β' Έκδοση, σελίδες 219-222.
- Ι. Δημητρίου, 1994. Περιβαλλοντική Υδραυλική. ΕΜΠ.
- Bamber R. N. & J. F. Spencer, 1984. The Benthos of a coastal power station 'thermal' discharge canal. *Journal of the Marine biological Association of the United Kingdom*.
- Barnett P. R. O., 1971. Some changes in intertidal sand communitites due to thermal pollution. *Proceedings of the Royal Society (B)*.
- Fischer, List, Koh, Imberger, Brooks, 1979. Mixing in Inlands and Coastal Waters. Academic Press.
- Huizinga HW. & GL. McLaughlin, 1990. Thermal ecology of *Naegleria fowleri* from a power plant cooling reservoir. *Applied Environmental Microbiology*.
- Jonckheere JF., 1981. Pathogenic and nonpathogenic *Acanthamoeba* spp. In thermally polluted discharges and surface waters. *J Protozool*.
- Lardicci C., F. Rossi & Maltagliati F., 1999. Detection of thermal pollution: Variability of benthic communities at two different spatial scales in an area influenced by a coastal power station. *Marine Pollution Buleltin*.
- Markowski S., 1959. The cooling water of power stations: a new factor in the environment of marine and freshwater invertebrates. *Journal of Animal Ecology*.
- Pilati DA., 1976. Cold Shock: biological implications and a method for approximating transient environmental temperatures in the near-field region of a thermal discharge. *Sci Total Environ*.
- Suzdaleva AL., 2001. Development of opportunistic microorganisms in the area of disposal of heated waters from atomic power stations. *Gig Sanit*.

- Verlaque M., G. Giraud & Boudouresque C. F., 1981. Effects of a thermal power plant on the Mediterranean marine phytoplankton: the area of high frequency temperature changes. *Botanica Marina*.
- Akar P.J. and G.H. Jirka, July 1990. CORMIX2: An expert system for hydrodynamic mixing zone analysis of conventional and toxic multiport diffuser discharges. EPA/600/3-91/073, ERL, Office of Research and Development, USEPA, Athens, GA 30613.
- Albertson, M.L., Y.B. Dai, R.A. Jensen, and H. Rouse, 1948. Diffusion of submerged jets. Transactions of the American Society of Civil Engineers, pp 1571-1596.
- Baker, E.T., J.W. Lavelle, R.A. Feely, G.J. Massoth, and S.L. Walker, 1989. Episodic venting of hydrothermal fluids from the Juan de Fuca Ridge. Journal of Geophysical Research.
- Baumgartner, D., W. Frick, P. Roberts. 1994. Dilution Models for Effluent Discharges (3rd Ed). EPA/600/R-94/086, U.S. Environmental Protection Agency, Pacific Ecosystems Branch, Newport, Oregon.
- Carhart, R.A., A.J. Policastro, S. Ziemer, S. Haake, and W. Dunn, 1981. Studies of mathematical models for characterizing plume and drift behavior from cooling towers, Vol. 2: mathematical model for single-source (single-tower) cooling tower plume dispersion. Electric Power Research Institute, CS-1683, Vol. 2, Research Project 906-01.
- Carhart, R.A., A.J. Policastro and S. Ziemer, 1982. Evaluation of mathematical models for natural-draft cooling-tower plume dispersion. Atmospheric Environment, Vol 16, pp. 67-83.
- Davis, L.R., 1999. Fundamentals of Environmental Discharge Modeling. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Davis, L.R. and E. Hsiao, 1991. An experimental/analytical investigation of buoyant jets in shallow water. Oregon State University, Corvallis OR.
- Frick, W.E., C.G. Fox, and D.J. Baumgartner, 1991. Plume definition in regions of strong bending. Proceedings of the International Symposium of Environmental Hydraulics (December 16-18, 1991).
- Frick, W.E., C.A. Bodeen, D.J. Baumgartner, and C.G. Fox, 1990. Empirical energy transfer function for dynamically collapsing plumes. Proceedings of International Conference on Physical Modeling of Transport and Dispersion, MIT, (August 7-10, 1990).
- Frick, W.E., 1984. Non-empirical closure of the plume equations. Atmospheric Environment, Vol. 18, No. 4, pp. 653-662.

- Frick, W.E., 1981. A theory and users' guide for the plume model MERGE, revised, Tetra Tech Inc., Environmental Research Laboratory, Corvallis, OR.
- Hault D.P., J.A. Fay, and L.J. Forney, 1969. A theory of plume rise compared with field observations. J. of Air Pollution Control Association, Vol 19, pp. 585-589.
- Lee, J.H.W. and V. Cheung, 1990. Generalized Lagrangian model for buoyant jets in current. ASCE J. of Environmental Engineering, Vol. 116, No. 6, pp. 1085-1106.
- Winiarski, L.D. and W.E. Frick, 1976. Cooling tower plume model. USEPA Ecological Research Series, EPA-600/3-76-100, USEPA, Corvallis, Oregon.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



ΕΙΚΟΝΑ ΑΓΩΓΟΥ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
(ΤΜΗΜΑ ΧΑΡΤΗ ΟΡΜΟΥ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Δεδομένα Θερμοκρασίας, Πυκνότητας, Αλατότητας σε σχέση με το βάθος όπως τα κατέγραψε ο πλησιέστερος στην ακτή σταθμός ωκεανογραφικών μετρήσεων στην εξεταζόμενη περιοχή του όρμου Θεσσαλονίκης :

ΙΟΥΝΙΟΣ 2004			
Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m ³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
27,0334	1021,3563	1,75	33,1956
27,0665	1021,3415	2	33,1884
27,0694	1021,3623	2,25	33,2158
27,0554	1021,4015	2,5	33,2605
27,0095	1021,4432	2,75	33,2952
26,8342	1021,5058	3	33,3033
26,6003	1021,5918	3,25	33,3182
26,3728	1021,6963	3,5	33,3608
26,1286	1021,8357	3,75	33,4433
25,8402	1022,0062	4	33,5496
25,576	1022,162	4,25	33,6468
25,3649	1022,2863	4,5	33,7245
25,1704	1022,3979	4,75	33,7922
25,0123	1022,4993	5	33,8617
24,9047	1022,6359	5,25	33,9981
24,7451	1022,8327	5,5	34,1935
24,5374	1023,0625	5,75	34,4136
24,3083	1023,2943	6	34,6279
24,1026	1023,4811	6,25	34,7926
23,9509	1023,6015	6,5	34,8908
23,8277	1023,6965	6,75	34,9668
23,7119	1023,7802	7	35,0309
23,5841	1023,8653	7,25	35,0922
23,412	1023,9748	7,5	35,1689
23,1845	1024,1174	7,75	35,2682
22,9342	1024,2756	8	35,3799
22,6877	1024,4231	8,25	35,4794
22,4805	1024,5313	8,5	35,5425

22,3412	1024,6045	8,75	35,5853
22,2848	1024,6445	9	35,6156
22,2443	1024,6779	9,25	35,6429
22,2101	1024,708	9,5	35,6684
22,1754	1024,7363	9,75	35,6912
22,1298	1024,767	10	35,7133
22,0674	1024,8053	10,25	35,7391
21,9861	1024,8542	10,5	35,7719
21,8915	1024,9095	10,75	35,8082
21,7902	1024,9617	11	35,8382
21,6956	1025,0121	11,25	35,8682
21,6062	1025,0613	11,5	35,8987
21,5225	1025,1061	11,75	35,9255
21,4312	1025,1476	12	35,9454
21,3166	1025,1943	12,25	35,9635
21,1931	1025,2486	12,5	35,9888
21,0884	1025,301	12,75	36,0183
21,0159	1025,3386	13	36,0403
20,9525	1025,3695	13,25	36,0567
20,9016	1025,3946	13,5	36,0698
20,8705	1025,4118	13,75	36,0798
20,8536	1025,4248	14	36,0895
20,8446	1025,4336	14,25	36,0964
20,8382	1025,4409	14,5	36,1022
20,8297	1025,4483	14,75	36,1076
20,7997	1025,4666	15	36,1194
20,7491	1025,4926	15,25	36,1339
20,7001	1025,5179	15,5	36,1483
20,6707	1025,5311	15,75	36,1536
20,6523	1025,5391	16	36,1562
20,6385	1025,5459	16,25	36,1587
20,6167	1025,5588	16,5	36,1664
20,5513	1025,5913	16,75	36,1845
20,4309	1025,6477	17	36,2145

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2004

Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m ³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
23,8733	1024,2504	1,5	35,746
23,8699	1024,1956	1,75	35,6709
23,8681	1024,1873	2	35,6578
23,8706	1024,1752	2,25	35,6413
23,8645	1024,1659	2,5	35,6254
23,8371	1024,1883	2,75	35,6426
23,8032	1024,216	3	35,6646
23,7608	1024,2528	3,25	35,6952
23,6905	1024,3099	3,5	35,7418
23,5999	1024,3708	3,75	35,7855
23,489	1024,4267	4	35,8149
23,3291	1024,5	4,25	35,8484
23,1786	1024,5668	4,5	35,8773
23,0429	1024,6183	4,75	35,8916
22,9399	1024,6541	5	35,8981
22,8345	1024,6854	5,25	35,8978
22,6654	1024,7671	5,5	35,94
22,4539	1024,9061	5,75	36,0419
22,2624	1025,0279	6	36,1289
22,0871	1025,123	6,25	36,1872
21,9141	1025,2107	6,5	36,237
21,7386	1025,3238	6,75	36,3196
21,6074	1025,4046	7	36,3761
21,4571	1025,48	7,25	36,4187
21,2761	1025,5686	7,5	36,4678
21,0863	1025,6566	7,75	36,5132
20,8972	1025,7425	8	36,5564
20,6906	1025,8346	8,25	36,6019
20,4814	1025,9247	8,5	36,6442
20,3083	1026,0133	8,75	36,6977
20,1982	1026,0859	9	36,7526
20,1157	1026,1437	9,25	36,7982
20,0535	1026,1826	9,5	36,8258
19,9789	1026,221	9,75	36,8486
19,8784	1026,2621	10	36,866
19,7257	1026,3307	10,25	36,9014
19,5912	1026,3965	10,5	36,9396
19,4999	1026,4432	10,75	36,9678
19,4452	1026,474	11	36,988
19,4247	1026,487	11,25	36,9964
19,4065	1026,497	11,5	37,0018

19,3867	1026,5085	11,75	37,0088
19,3462	1026,5256	12	37,0158
19,2793	1026,5497	12,25	37,023
19,1522	1026,5903	12,5	37,0314
19,0629	1026,6405	12,75	37,0653
19,0093	1026,6815	13	37,0994
18,9867	1026,7051	13,25	37,1211
18,9733	1026,7191	13,5	37,1334
18,959	1026,7269	13,75	37,1374
18,9059	1026,7499	14	37,148
18,8388	1026,7816	14,25	37,1653
18,7518	1026,8362	14,5	37,2061
18,6928	1026,8706	14,75	37,2298
18,6216	1026,9056	15	37,2503
18,5366	1026,947	15,25	37,2746
18,394	1027,0175	15,5	37,3178
18,2479	1027,1076	15,75	37,3856
18,1471	1027,1652	16	37,4261
18,072	1027,211	16,25	37,4598
18,0075	1027,2413	16,5	37,4767
17,9503	1027,2754	16,75	37,5009
17,9025	1027,2965	17	37,5115
17,852	1027,3238	17,25	37,5292
17,7921	1027,3579	17,5	37,5528
17,7368	1027,3923	17,75	37,5782
17,7077	1027,4124	18	37,5935
17,6756	1027,434	18,25	37,6099
17,6542	1027,4471	18,5	37,6185
17,6337	1027,4571	18,75	37,6235
17,5953	1027,4691	19	37,6254
17,5244	1027,4929	19,25	37,6321
17,3982	1027,5534	19,5	37,6689
17,2999	1027,6189	19,75	37,7213
17,2348	1027,6625	20	37,7559

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2004			
Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
24,3413	1023,603	1,25	35,0764
24,4245	1023,7418	1,5	35,2913
24,4727	1023,7384	1,75	35,3045

24,4902	1023,762	2	35,3412
24,4953	1023,7885	2,25	35,3768
24,4952	1023,808	2,5	35,4012
24,4922	1023,8847	2,75	35,4998
24,4892	1023,9426	3	35,5736
24,4869	1023,9533	3,25	35,5855
24,4767	1023,9593	3,5	35,588
24,4609	1023,9719	3,75	35,5969
24,4522	1023,9844	4	35,6085
24,4479	1023,9926	4,25	35,6162
24,4441	1023,999	4,5	35,6216
24,4403	1024,0055	4,75	35,6274
24,4379	1024,0126	5	35,6344
24,4351	1024,0231	5,25	35,6457
24,4345	1024,0365	5,5	35,6617
24,4436	1024,0548	5,75	35,6881
24,4681	1024,0671	6	35,7127
24,4939	1024,0729	6,25	35,7291
24,5106	1024,085	6,5	35,7505
24,5266	1024,09	6,75	35,7619
24,5479	1024,0873	7	35,7654
24,5609	1024,0905	7,25	35,7733
24,571	1024,0935	7,5	35,78
24,5735	1024,0992	7,75	35,7869
24,577	1024,1007	8	35,7889
24,5759	1024,1026	8,25	35,7896
24,5751	1024,1031	8,5	35,7884
24,574	1024,1038	8,75	35,7876
24,5734	1024,1048	9	35,7872
24,5717	1024,107	9,25	35,7879
24,5692	1024,1103	9,5	35,7899
24,5616	1024,1209	9,75	35,7994
24,5523	1024,1321	10	35,8091
24,5374	1024,1504	10,25	35,8259
24,5138	1024,1741	10,5	35,8465
24,4503	1024,2118	10,75	35,8695
24,3321	1024,2796	11	35,9108
24,2493	1024,3328	11,25	35,9468
24,1965	1024,3608	11,5	35,9615
24,1262	1024,38	11,75	35,9576
24,0332	1024,4208	12	35,9734
23,9799	1024,455	12,25	35,9962
23,9296	1024,5002	12,5	36,0347
23,8789	1024,532	12,75	36,0553
23,8157	1024,5674	13	36,076

23,7264	1024,6113	13,25	36,0975
23,6529	1024,6566	13,5	36,1273
23,612	1024,6848	13,75	36,1471
23,5869	1024,7047	14	36,1622
23,568	1024,7192	14,25	36,1726
23,5472	1024,7315	14,5	36,1792
23,5229	1024,7447	14,75	36,1858
23,5064	1024,7578	15	36,1951
23,4947	1024,7675	15,25	36,202
23,4846	1024,7736	15,5	36,2047
23,4656	1024,7799	15,75	36,2042
23,4091	1024,7997	16	36,207
23,3094	1024,8491	16,25	36,2323
23,2584	1024,884	16,5	36,2571
23,2281	1024,8911	16,75	36,2534

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2004			
Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
21,2649	1024,9165	1	35,6443
21,2757	1024,9029	1,25	35,6291
21,2713	1024,9389	1,5	35,6734
21,2635	1024,9963	1,75	35,7446
21,2584	1025,0507	2	35,8127
21,2623	1025,0969	2,25	35,8734
21,2732	1025,1118	2,5	35,8954
21,283	1025,1164	2,75	35,9036
21,2861	1025,124	3	35,9133
21,2861	1025,1323	3,25	35,9228
21,2851	1025,1389	3,5	35,9297
21,2833	1025,1448	3,75	35,9353
21,2816	1025,1493	4	35,9392
21,2802	1025,1536	4,25	35,9428
21,2786	1025,1569	4,5	35,9452
21,2792	1025,1599	4,75	35,9479
21,2798	1025,1617	5	35,9491
21,2804	1025,1635	5,25	35,9501
21,2819	1025,1642	5,5	35,9502
21,2815	1025,1667	5,75	35,9519

21,282	1025,1682	6	35,9526
21,2832	1025,1684	6,25	35,9519
21,2854	1025,1671	6,5	35,9495
21,2824	1025,1693	6,75	35,9499
21,2771	1025,1748	7	35,9538
21,2776	1025,1757	7,25	35,9537
21,2779	1025,176	7,5	35,9529
21,28	1025,1771	7,75	35,9535
21,2823	1025,1778	8	35,9538
21,284	1025,178	8,25	35,9533
21,2858	1025,1779	8,5	35,9524
21,2869	1025,1784	8,75	35,952
21,2871	1025,1793	9	35,9519
21,2873	1025,1806	9,25	35,9521
21,2876	1025,181	9,5	35,9514
21,2867	1025,1825	9,75	35,9516
21,2854	1025,1846	10	35,9524
21,2858	1025,1851	10,25	35,9518
21,2843	1025,1865	10,5	35,9516
21,2847	1025,1867	10,75	35,9505
21,2841	1025,1878	11	35,9504
21,2851	1025,1885	11,25	35,9503
21,2852	1025,1901	11,5	35,951
21,2858	1025,1909	11,75	35,9507
21,285	1025,1915	12	35,9499
21,2838	1025,1925	12,25	35,9494
21,283	1025,1942	12,5	35,9498
21,2841	1025,1948	12,75	35,9496
21,2847	1025,1955	13	35,9493
21,2834	1025,1977	13,25	35,9503
21,2825	1025,199	13,5	35,9502
21,2834	1025,1985	13,75	35,9484
21,2828	1025,1994	14	35,9479
21,2821	1025,2016	14,25	35,9491
21,2822	1025,2026	14,5	35,9491
21,2824	1025,2029	14,75	35,948
21,2822	1025,2039	15	35,9479
21,2802	1025,2058	15,25	35,9483
21,2737	1025,2066	15,5	35,9454

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004

Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
17,7587	1026,0473	1	35,9282
17,7699	1026,0373	1,25	35,9174
17,7711	1026,0382	1,5	35,9174
17,77	1026,0397	1,75	35,9178
17,7712	1026,0428	2	35,9206
17,7735	1026,0432	2,25	35,9205
17,7727	1026,044	2,5	35,9198
17,7745	1026,0455	2,75	35,9209
17,7757	1026,0471	3	35,9219
17,7771	1026,0475	3,25	35,9214
17,7766	1026,0485	3,5	35,9212
17,7758	1026,0496	3,75	35,9209
17,7756	1026,0511	4	35,9214
17,7769	1026,0519	4,25	35,9213
17,7768	1026,0519	4,5	35,9198
17,7759	1026,0525	4,75	35,9189
17,7757	1026,0538	5	35,9192
17,7754	1026,0564	5,25	35,921
17,7752	1026,0579	5,5	35,9215
17,7751	1026,0588	5,75	35,9211
17,7753	1026,0588	6	35,9197
17,7751	1026,0591	6,25	35,9186
17,774	1026,0588	6,5	35,9164
17,7715	1026,0604	6,75	35,9164
17,7719	1026,0636	7	35,9191
17,7738	1026,0651	7,25	35,9203
17,7748	1026,0669	7,5	35,9215
17,7757	1026,0686	7,75	35,9226
17,7775	1026,0689	8	35,9221
17,779	1026,0698	8,25	35,9223
17,7776	1026,0733	8,5	35,925
17,7777	1026,0746	8,75	35,9253
17,7772	1026,0758	9	35,9253
17,7766	1026,0776	9,25	35,9259
17,7765	1026,0789	9,5	35,9261
17,7766	1026,0794	9,75	35,9255
17,7775	1026,0793	10	35,9241
17,7771	1026,0807	10,25	35,9244
17,7768	1026,0821	10,5	35,9247
17,7759	1026,0831	10,75	35,9242
17,7744	1026,0838	11	35,9232

17,7723	1026,0854	11,25	35,9232
17,7708	1026,0869	11,5	35,9232
17,7689	1026,0891	11,75	35,9241
17,7682	1026,0904	12	35,9241
17,7683	1026,0909	12,25	35,9233
17,7683	1026,0917	12,5	35,923
17,7678	1026,0938	12,75	35,9242
17,768	1026,0951	13	35,9244
17,7675	1026,0965	13,25	35,9247
17,7666	1026,0976	13,5	35,9244
17,7658	1026,0992	13,75	35,9247
17,7658	1026,1002	14	35,9246
17,766	1026,1019	14,25	35,9255
17,7673	1026,1026	14,5	35,9253
17,7678	1026,1037	14,75	35,9254
17,7684	1026,1045	15	35,9252
17,7701	1026,1045	15,25	35,9244
17,7698	1026,1059	15,5	35,9247
17,7697	1026,1071	15,75	35,9247
17,7705	1026,1072	16	35,9237
17,7708	1026,1082	16,25	35,9237
17,7711	1026,1097	16,5	35,9243
17,773	1026,1116	16,75	35,9259
17,775	1026,1139	17	35,9282

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2004			
Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
13,5682	1027,3542	1	36,3857
13,574	1027,3455	1,25	36,3746
13,5728	1027,3501	1,5	36,3786
13,574	1027,397	1,75	36,4382
13,5763	1027,4642	2	36,5241
13,5789	1027,6207	2,25	36,7254
13,5817	1027,6447	2,5	36,7557
13,5811	1027,6513	2,75	36,7626
13,586	1027,6541	3	36,7661
13,5922	1027,6528	3,25	36,7647
13,5947	1027,6511	3,5	36,7617
13,5955	1027,6505	3,75	36,7596
13,5956	1027,652	4	36,7603

13,5948	1027,6569	4,25	36,765
13,5974	1027,6604	4,5	36,7687
13,6009	1027,6643	4,75	36,7734
13,6035	1027,6633	5	36,7713
13,6034	1027,6623	5,25	36,7684
13,6034	1027,6664	5,5	36,7722
13,6041	1027,6718	5,75	36,7781
13,6065	1027,6759	6	36,7826
13,6052	1027,683	6,25	36,7899
13,6062	1027,6839	6,5	36,7899
13,6121	1027,6772	6,75	36,7813
13,6107	1027,6771	7	36,7794
13,611	1027,6772	7,25	36,7782
13,6128	1027,6759	7,5	36,7756
13,6133	1027,6793	7,75	36,7786
13,6137	1027,6796	8	36,7777
13,613	1027,6833	8,25	36,7808
13,6122	1027,6849	8,5	36,7813
13,6119	1027,6853	8,75	36,7803
13,6117	1027,6866	9	36,7804
13,6126	1027,6871	9,25	36,7799
13,6134	1027,6869	9,5	36,7783
13,6131	1027,6869	9,75	36,7769
13,6108	1027,6905	10	36,7794
13,6106	1027,6919	10,25	36,7798
13,6106	1027,692	10,5	36,7784
13,6114	1027,6904	10,75	36,7751
13,6109	1027,6925	11	36,7763
13,6121	1027,6914	11,25	36,7737
13,6117	1027,6915	11,5	36,7724
13,6127	1027,6932	11,75	36,7733
13,6136	1027,6965	12	36,7764
13,6134	1027,698	12,25	36,7769
13,6138	1027,6993	12,5	36,7772
13,6154	1027,7	12,75	36,777
13,616	1027,6999	13	36,7756
13,6173	1027,7019	13,25	36,7772
13,6223	1027,7001	13,5	36,7747
13,6262	1027,6958	13,75	36,7688
13,6272	1027,6938	14	36,7651
13,6267	1027,6928	14,25	36,7622
13,6268	1027,6855	14,5	36,7513
13,6288	1027,6775	14,75	36,7401

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005			
Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m ³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
6,999	1028,502	0,25	36,3726
7,0241	1028,52	0,5	36,3981
7,0321	1028,527	0,75	36,4076
7,0344	1028,508	1	36,3823
7,0315	1028,549	1,25	36,4316
7,0314	1028,595	1,5	36,4886
7,0321	1028,789	1,75	36,7342
7,036	1029,022	2	37,0284
7,046	1029,091	2,25	37,1158
7,0527	1029,1	2,5	37,1281
7,0584	1029,109	2,75	37,1379
7,0653	1029,111	3	37,1412
7,0689	1029,112	3,25	37,1415
7,0762	1029,114	3,5	37,1445
7,08	1029,115	3,75	37,1449
7,0814	1029,117	4	37,1463
7,084	1029,118	4,25	37,1466
7,0882	1029,12	4,5	37,1484
7,1056	1029,13	4,75	37,1623
7,1313	1029,134	5	37,1713
7,1279	1029,128	5,25	37,1615
7,1355	1029,142	5,5	37,1793
7,1562	1029,14	5,75	37,1784
7,1664	1029,133	6	37,1701
7,1666	1029,136	6,25	37,172
7,1651	1029,139	6,5	37,1744
7,1647	1029,14	6,75	37,1741
7,1642	1029,14	7	37,1729
7,1625	1029,143	7,25	37,1745
7,1624	1029,144	7,5	37,1749
7,1633	1029,145	7,75	37,1742
7,1633	1029,147	8	37,175
7,1641	1029,148	8,25	37,1758
7,1686	1029,151	8,5	37,1794
7,1745	1029,15	8,75	37,1778
7,1717	1029,147	9	37,1716
7,1685	1029,152	9,25	37,1754
7,1675	1029,155	9,5	37,1777
7,1685	1029,156	9,75	37,1778
7,1713	1029,156	10	37,1767

7,1757	1029,16	10,25	37,1811
7,1832	1029,163	10,5	37,1856
7,1941	1029,165	10,75	37,1885
7,2025	1029,161	11	37,1837
7,205	1029,159	11,25	37,1794
7,204	1029,158	11,5	37,1764
7,2005	1029,159	11,75	37,1756
7,1971	1029,16	12	37,1752
7,1936	1029,164	12,25	37,1778
7,1934	1029,167	12,5	37,1807
7,1958	1029,169	12,75	37,182
7,1988	1029,173	13	37,1858
7,2055	1029,172	13,25	37,1848
7,2115	1029,173	13,5	37,1859
7,2139	1029,176	13,75	37,1888
7,2169	1029,178	14	37,1897
7,2164	1029,176	14,25	37,1864
7,2182	1029,18	14,5	37,1897

ΜΑΡΤΙΟΣ 2005			
Θερμοκρασία T (°C)	Πυκνότητα D (kg/m ³)	Βάθος (m)	Αλατότητα (psu)
11,1926	1028,203	0,75	36,8738
11,1446	1028,21	1	36,8688
11,1094	1028,204	1,25	36,852
11,0708	1028,208	1,5	36,8466
11,0355	1028,232	1,75	36,8674
10,9944	1028,261	2	36,8929
10,9337	1028,295	2,25	36,9213
10,8805	1028,328	2,5	36,9494
10,8544	1028,351	2,75	36,9708
10,8447	1028,365	3	36,9852
10,8419	1028,375	3,25	36,9957
10,8373	1028,384	3,5	37,0044
10,8309	1028,392	3,75	37,0119
10,8126	1028,398	4	37,014
10,7706	1028,416	4,25	37,0263
10,7378	1028,443	4,5	37,0515
10,7166	1028,462	4,75	37,0699
10,6935	1028,484	5	37,0902
10,676	1028,507	5,25	37,115
10,6713	1028,524	5,5	37,1342

10,6741	1028,53	5,75	37,1412
10,6692	1028,537	6	37,1472
10,6657	1028,541	6,25	37,1499
10,6636	1028,545	6,5	37,1532
10,6625	1028,546	6,75	37,1525
10,6425	1028,547	7	37,1473
10,59	1028,568	7,25	37,1609
10,5722	1028,582	7,5	37,1738
10,5546	1028,605	7,75	37,1969
10,5428	1028,628	8	37,2224
10,5448	1028,637	8,25	37,2326
10,5434	1028,639	8,5	37,2336
10,5265	1028,639	8,75	37,2287
10,4999	1028,646	9	37,2292
10,4629	1028,652	9,25	37,228
10,4324	1028,668	9,5	37,2396
10,4308	1028,694	9,75	37,2708
10,4434	1028,694	10	37,2719
10,424	1028,672	10,25	37,2388
10,3683	1028,681	10,5	37,2351
10,3411	1028,706	10,75	37,26
10,331	1028,709	11	37,2603
10,309	1028,696	11,25	37,2371
10,2687	1028,718	11,5	37,2538
10,246	1028,739	11,75	37,2746
10,2468	1028,748	12	37,2841
10,2541	1028,766	12,25	37,3083
10,2642	1028,79	12,5	37,3398
10,2715	1028,807	12,75	37,3615
10,2716	1028,819	13	37,3753
10,2562	1028,832	13,25	37,387
10,2158	1028,856	13,5	37,4075
10,1629	1028,885	13,75	37,4303
10,1093	1028,917	14	37,4573
10,0528	1028,93	14,25	37,4608
9,9757	1028,962	14,5	37,4817
9,9236	1028,999	14,75	37,5163
9,9035	1029,015	15	37,5314
9,9001	1029,017	15,25	37,5312
9,9039	1029,015	15,5	37,5286
9,8963	1029,029	15,75	37,5431

Με γαλάζιο χρώμα σημειώνονται τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε βάθος 10 m το οποίο είναι το βάθος άντλησης του θαλάσσιου νερού που θα χρησιμοποιηθεί ως μέσο ψύξης.