



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΒΙΟΛΑΤΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΩΡΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**



**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**  
**ΓΡΥΣΠΟΛΑΚΗΣ ΙΩΑΚΕΙΜ**  
**ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ (επιβλέπων)**  
**ΤΣΑΓΚΑΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

## **ΕΠΙΤΕΛΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ**

Η εδαφική διάθεση των απορριμμάτων είναι μια αρκετά παλιά τεχνική, που έχει βελτιωθεί σημαντικά με το πέρασμα των χρόνων, ώστε να επιλύει το πρόβλημα του τεράστιου όγκου απορριμμάτων και ταυτόχρονα να προστατεύει σε ικανοποιητικό βαθμό το περιβάλλον (ως χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, **XYTA**). Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου χώρου απαιτεί γνώσεις υδρολογίας, χημείας, μαθηματικών, επιστήμης υλικών και κατασκευών. Στην πορεία διαμορφώθηκαν πολλές εναλλακτικές τεχνικές διαχείρισης των απορριμμάτων, αλλά η ταφή τους σε ελεγχόμενους χώρους αποτελεί ακόμη μια ιδιαίτερα δημοφιλή πρακτική, εξ αιτίας της απλότητας της, του μειωμένου κόστους, της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος και την ευκολία και αποδοτικότητα του συνδυασμού της με άλλες τεχνολογίες.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην δημιουργία ενός προγράμματος (**IBXYTA**), που να υπολογίζει την ανάπτυξη ενός χώρου εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων στον χρόνο, αξιοποιώντας τα υπάρχοντα τοπογραφικά δεδομένα της περιοχής και την εμπειρία στον τομέα αυτό. Σκοπός είναι η εξαγωγή μηνιαίων αποτελεσμάτων για την μεταβολή των χαρακτηριστικών μεταβλητών του συστήματος, όπως το ύψος των απορριμμάτων, η επιφάνεια του χώρου και ο όγκος των στρωματοποιημένων απορριμμάτων. Τα αποτελέσματα αυτά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε μοντέλα υπολογισμού διασταλαγμάτων ή αερίων για την πρόβλεψη και βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ενός ολοκληρωμένου συστήματος εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μια σύντομη περιγραφή της διαδικασίας επιλογής ενός τέτοιου χώρου και των παραμέτρων σχεδιασμού ενός ολοκληρωμένου συστήματος διάθεσης των απορριμμάτων, με επεξεργασία των παραγόμενων διασταλγμάτων και αερίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο της κατασκευής του κυρίου προγράμματος επίλυσης του αναπτύγματος ενός XYTA και οι περιορισμοί ή προσεγγίσεις, που συνεπάγεται η προσπάθεια μαθηματικής προσομοίωση του αναπτύγματος.

Ακολούθως, στο τρίτο κεφάλαιο, δίνονται η δομή και οι λειτουργίες του προγράμματος, μαζί με κάποιες πρόσθετες προσεγγίσεις σε ζώνες

ανομοιογενούς μεταβολής του αναπτύγματος ενός XYTA, οι οποίες δεν συμβαδίζουν με όσα αναλύθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Μερικά βασικά διαγράμματα ροής του προγράμματος παρατίθενται στο παράρτημα *I*.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επιχειρείται η προσομοίωση, βήμα προς βήμα, τεσσάρων υποθετικών χώρων εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων και γίνεται μια σύνοψη των δυνατοτήτων και προοπτικών του προγράμματος.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

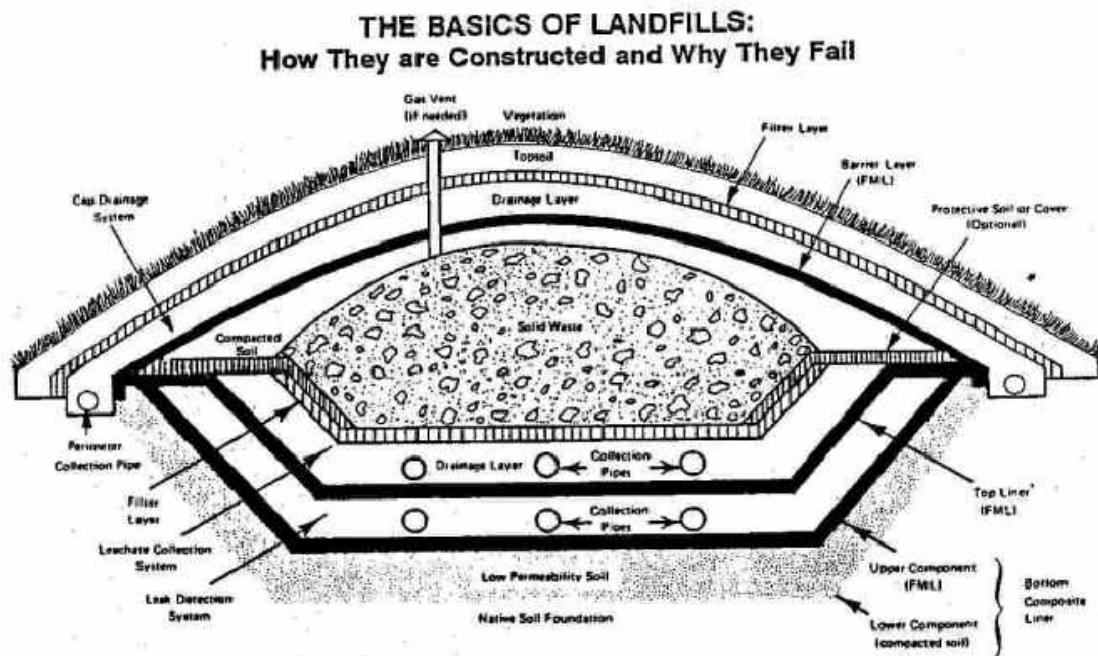
ΕΠΙΤΕΛΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ .....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΝΟΣ ΧΩΡΟΥ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ .....	6
1.1 Εισαγωγή .....	6
1.2 Κριτήρια επιλογής χώρου εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων .....	8
1.3 Σχεδιασμός ΧΥΤΑ .....	10
1.3.1 Αέριες εκπομπές .....	10
1.3.2 Διασταλάγματα .....	12
1.3.3 Στεγανοποίηση ΧΥΤΑ .....	14
1.4 Συστήματα ελέγχου .....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	16
2.1 Εισαγωγή .....	16
2.2 Εξισώσεις κεκλιμένων επιφανειών .....	18
2.2.1 Κεκλιμένα επίπεδα .....	18
2.2.1.1 Φυσικές επιφάνειες .....	23
2.2.1.2 Τεχνητές επιφάνειες/Αναβαθμίδες .....	25
2.2.2 Επιφάνεια ορθού κυκλικού κώνου .....	31
2.2.2.1 Μαθηματική Προσομοίωση .....	34
2.2.2.2 Φυσικές επιφάνειες .....	36
2.2.2.3 Τεχνητές Επιφάνειες/Αναβαθμίδες .....	38
2.2.3 Επιφάνεια ορθού ελλειπτικού κώνου .....	38
2.2.3.1 Μαθηματική Προσομοίωση .....	40
2.2.3.2 Φυσικές επιφάνειες .....	43
2.2.3.3 Τεχνητές Επιφάνειες/Αναβαθμίδες .....	45
2.2.4 Τεχνητές Επιφάνειες/Αναβαθμίδες-Εξαιρέσεις .....	45
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ .....	47
2.3.1 Εισαγωγή .....	47
2.3.1.1 Εμβαδόν ελεύθερης επιφανείας .....	47
2.3.1.2 Όγκος του χώρου .....	48
2.3.1.3 Συντεταγμένες ορίων κάθε επιφάνειας του χώρου .....	49
2.3.2 Τμήμα Ορθού Κυκλικού Κώνου .....	49
2.3.3 Τμήμα ελλειπτικού κώνου .....	51
2.3.4 Κεκλιμένα επίπεδα .....	53
2.3.5 Κεκλιμένα επίπεδα και εξωτερικές επιφάνειες κώνων .....	56
2.3.6 Τομές επιφανειών κώνων .....	61
2.3.7 Ολοκλήρωση μεθοδολογίας .....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «IBXYTA» .....	65
3.1 Εισαγωγή .....	65
3.2 Παράμετροι σχεδιασμού ενός ΧΥΤΑ .....	66
3.3 Δεδομένα εισόδου του προγράμματος .....	71
3.4 Περιγραφή του προγράμματος «IBXYTA» .....	74
3.4.1 Πρόγραμμα CRINPFL .....	75
3.4.2 Λειτουργίες του προγράμματος «οδηγού» .....	75
3.4.3 Εισαγωγή δεδομένων και αξιοποίησή τους .....	76

<b>3.4.4</b>	<b>Επίλυση XYTA.....</b>	<b>77</b>
<i>3.4.4.1</i>	<i>Υποπρόγραμμα BSZONE.....</i>	<i>78</i>
<i>3.4.4.2</i>	<i>Υποπρόγραμμα TRZONE.....</i>	<i>82</i>
<i>3.4.4.3</i>	<i>Υποπρόγραμμα CMZONE.....</i>	<i>84</i>
<b>3.4.5</b>	<b>Ενοποίηση διαμερισμάτων του XYTA.....</b>	<b>89</b>
<b>3.5</b>	<b>Αποτελέσματα του προγράμματος.....</b>	<b>91</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>		<b>92</b>
<b>4.1</b>	<b>Εφαρμογές του μοντέλου.....</b>	<b>92</b>
<b>4.2</b>	<b>Σύνοψη και συμπεράσματα.....</b>	<b>122</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>		<b>129</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΝΟΣ ΧΩΡΟΥ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

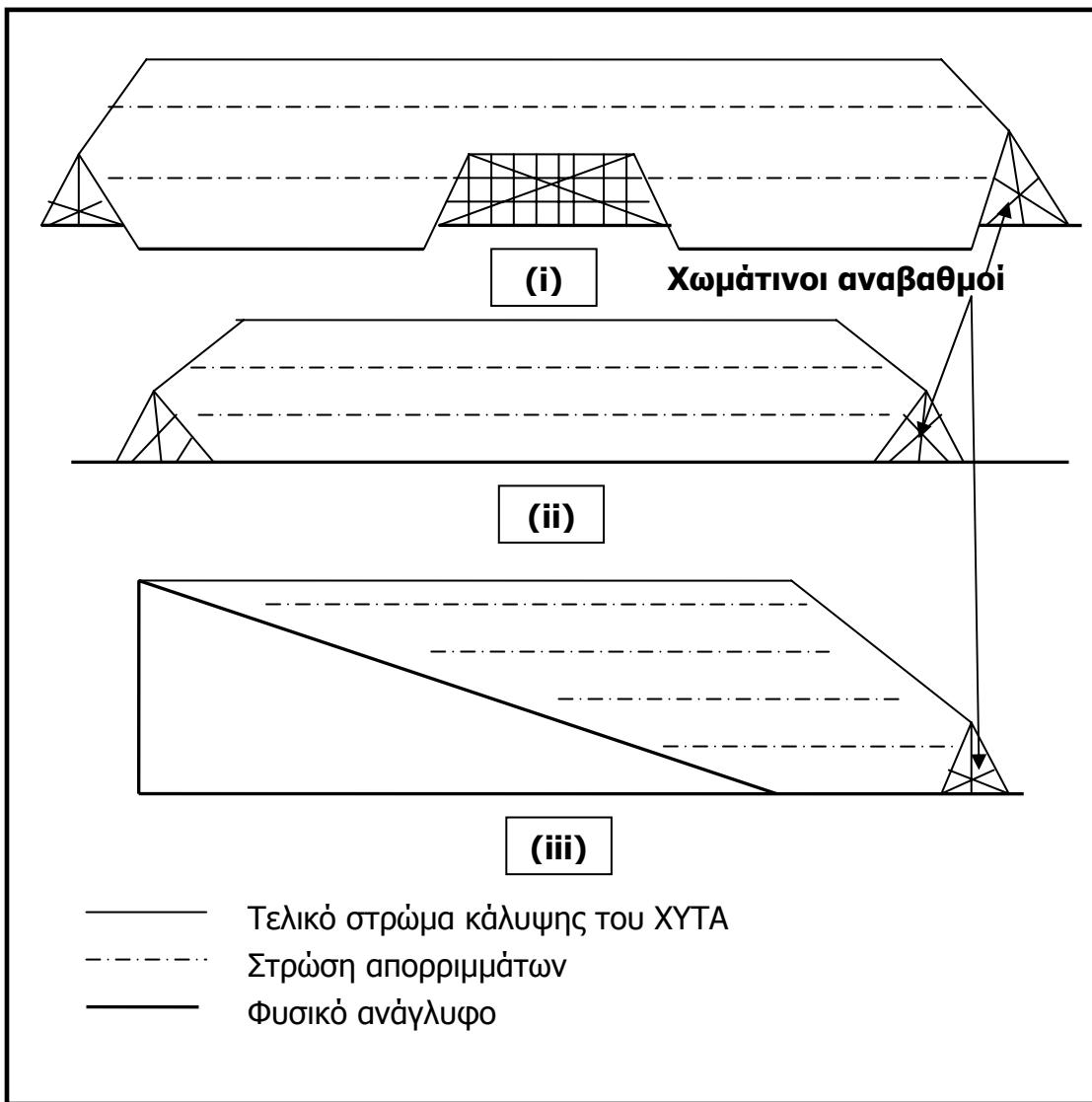
## 1.1 Εισαγωγή

Οι χώροι διάθεσης απορριμμάτων χωρίζεται σε δύο κύριες ομάδες. Σε χώρους διάθεσης επικίνδυνων και μη επικίνδυνων ή εναλλακτικά αστικών απορριμμάτων. Ο λόγος είναι τα διαφορετικά μέτρα πρόληψης και προστασίας του περιβάλλοντος, που υιοθετούνται σε κάθε περίπτωση, εξ αιτίας της φύσης των απορριμμάτων. Τα επικίνδυνα απορρίμματα απομονώνονται και τοποθετούνται σε ξεχωριστούς χώρους, ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο της μεταξύ τους αντίδρασης, με τις όποιες συνέπειες συνεπάγεται. Παράλληλα υπάρχουν και ειδικοί χώροι διάθεσης, όπως για θρυμματισμένα απορρίμματα, για παραγωγή της μέγιστης δυνατής ποσότητας αερίων και για τα υπολείμματα της διαδικασίας βιοαποικοδόμησης, όπου οι διαδικασίες ανάπτυξης του χώρου διαφοροποιούνται αρκετά. Ένα τυπικό διάγραμμα μιας ολοκληρωμένης εγκατάστασης XYTA δίνεται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1. 1 Τυπικό διάγραμμα ενός XYTA

Έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές διάθεσης, ειδικά για αστικά απορρίμματα. Μια ικανοποιητική ταξινόμηση δίνεται στο σχήμα 1.2, με διάθεση σε χώρο μετά από εκσκαφή, (i), ή χωρίς εκσκαφή με κατασκευή τεχνητών χωμάτινων αναβαθμών, (ii), και σε μια φυσική περιοχή, όπως χαράδρες, (iii).



**Σχήμα 1. 2 Ταξινόμηση διάφορων τύπων διάθεσης αστικών απορριμμάτων**

Ένας χώρος διάθεσης στερεών απορριμμάτων αντιμετωπίζεται ως ένας βιοχημικός αντιδραστήρας. Τα ρεύματα εισόδου είναι το νερό και τα απορρίμματα και τα ρεύματα εξόδου τα διασταλάγματα και οι αέριες εκπομπές. Η έρευνα στον τομέα της εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι τέτοιοι χώροι αποτελούν εστίες ρύπανσης του περιβάλλοντος, κυρίως από την εισροή των παραγόμενων διασταλαγμάτων σε επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα και σε ορισμένες περιπτώσεις από την εκπομπή

αέριων ρύπων, ανεξάρτητα από το βαθμό επικινδυνότητας των απορριμμάτων. Έτσι έχουν επιβληθεί περιορισμοί στην εγκατάσταση και λειτουργία ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και την ανθρώπινης υγείας κατ' επέκταση, οδηγώντας στην κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (XYTA).

Η ανάγκη τήρησης των περιβαλλοντικών ορίων συνεπάγεται την προσεκτική επιλογή μιας τοποθεσίας, την χρήση συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας των διασταλαγμάτων και αερίων, σε συνδυασμό με συστήματα παρακολούθησης και τεχνικές στεγανοποίησης του χώρου διάθεσης των απορριμμάτων. Αν στα προηγούμενα συνυπολογιστεί η συνήθως αρνητική αντιμετώπιση των κατοίκων και λοιπών φορέων μιας περιοχής προς το ενδεχόμενο δημιουργίας ενός τέτοιου χώρου, πλέον η εύρεση και κατασκευή ενός κατάλληλου χώρου γίνεται μια εξαιρετικά επίπονη διαδικασία.

Στις επόμενες ενότητες επιχειρείται η ολοκληρωμένη παρουσίαση των κριτηρίων επιλογής ενός χώρου, των παραμέτρων σχεδιασμού και των διαθέσιμων τεχνικών και τεχνολογιών, που εφαρμόζονται σε ένα XYTA.

## **1.2 Κριτήρια επιλογής χώρου εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων**

Ένας XYTA πρέπει να ικανοποιεί αρκετά κριτήρια γεωλογικής και τοπογραφικής φύσεως, ενώ πρέπει να είναι αποδεκτός από το κοινό. Άρα κρίνεται σκόπιμη η δημιουργία μιας λίστας με κατάλληλα μέρη, ορίζοντας την μέγιστη απόσταση μεταφοράς των απορριμμάτων και έπειτα εξετάζονται τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της περιοχής, όσον αφορά την τοποθεσία και την αντίδραση των κατοίκων ή λοιπών φορέων.

Ο τύπος και μέγεθος του XYTA, που πρόκειται να κατασκευαστεί, καθορίζεται από την σύσταση και τον εισερχόμενο όγκο των απορριμμάτων. Εν συνεχείᾳ υπολογίζονται ο τύπος και ο όγκος των παραγόμενων ρυπαντικών φορτίων και τα συμπληρωματικά συστήματα επεξεργασίας (αν απαιτούνται), ώστε να υπάρχει μια συνολική εικόνα της εγκατάστασης και των περιορισμών που συνεπάγεται, πριν την αναζήτηση πιθανών τοποθεσιών.

Στην αναζήτηση κατάλληλων χώρων διάθεσης απορριμμάτων χρησιμοποιούνται τοπογραφικοί χάρτες για την εκτίμηση των δυνατοτήτων, της γεωμορφολογίας και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε περιοχής και συχνά γεωλογικοί χάρτες, που αν και δεν περιορίζουν σημαντικά τους XYTA, εντούτοις μπορούν να υποδείξουν την πιο ασφαλή τοποθεσία. Οι οδικοί χάρτες δύναται να εξασφαλίσουν το κριτήριο της μέγιστης απόστασης μεταφοράς των απορριμμάτων και συμβάλλουν στην αξιολόγηση του υπάρχοντος οδικού δικτύου και των βελτιώσεων ή συμπληρωματικών έργων που απαιτούνται. Οι διάφορες χρήσεις γης και νερού είναι απαραίτητες, καθώς υπάρχουν περιορισμοί στην ελάχιστη απόσταση του χώρο διάθεσης απορριμμάτων από υδροφορείς, λίμνες, ποτάμια, πηγάδια άντλησης νερού, αυτοκινητόδρομους, πάρκα κτλ. Η αποτίμηση του κινδύνου πλημμύρας βοηθάει στην προστασία του χώρου και την αποτροπή ρύπανσης της γύρω περιοχής. Η ολοκλήρωση της περιγραφής του χώρου πραγματοποιείται με μερικές αεροφωτογραφίες, παρέχοντας στοιχεία που δεν έχουν επισημανθεί σε χάρτες ή έχουν μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου.

Η συνεκτίμηση των προηγούμενων δεδομένων με την αντίδραση του κοινού και την στάση των αρμόδιων υπηρεσιών καταλήγει στην επιλογή ενός ή δύο υποψηφίων τοποθεσιών. Η διαδικασία συνεχίζεται με την λεπτομερή περιγραφή κάθε τοποθεσίας με επί τόπου γεωτεχνικές αναλύσεις του υπεδάφους (γεωλογικά «καρότα»). Οι μηχανικές ιδιότητες του υπεδάφους δεν είναι πρωταρχικής σημασίας, όσο η οριζόντια και κατακόρυφη διαπερατότητα του, τα όρια Atterberg, η κατανομή του μεγέθους των κόκκων, ο τύπος και το πάχος κάθε στρώματος, το βάθος και ο τύπος του αδιαπέραστου στρώματος, η τιμή της υγρασίας και τον βαθμό κορεσμού των αργιλικών στρωμάτων. Τα δύο τελευταία στοιχεία επιτρέπουν τον ακριβή προσδιορισμό του υδροφορέα, αν υπάρχει. Τα γεωλογικά «καρότα» πρέπει να καλύπτουν όλη την έκταση του χώρου διάθεσης των απορριμμάτων, να έχουν προσεκτική διάταξη και να φτάνουν σε βάθος οχτώ, το λιγότερο, μέτρων κάτω από την βάση του XYTA ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά της περιοχής.

Τα προηγούμενα γεωτεχνικά στοιχεία συνδυάζονται με υδρολογικά δεδομένα της περιοχής και ενσωματώνονται σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, για την ολοκλήρωση της μεθοδολογίας εντοπισμού κατάλληλου χώρου για την διάθεση των απορριμμάτων.

## **1.3 Σχεδιασμός XYTA**

Ο σχεδιασμός ενός χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων περιλαμβάνει την στεγανοποίηση του χώρου, τα συστήματα συλλογής των παραγόμενων διασταλαγμάτων και αερίων και τα συστήματα επεξεργασίας τους, συνήθως σε γειτονικό χώρο. Η στεγανοποίηση του χώρου αναφέρεται τόσο στην βάση και στα πλαϊνά μέρη του XYTA, όσο και στο άνω μέρος του μετά το πέρας των εργασιών. Η συλλογή διασταλαγμάτων πραγματοποιείται, φυσικά, καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών από την βάση του XYTA, ενώ η συλλογή των αερίων δεν είναι πάντα απαραίτητη, ειδικά πριν το κλείσιμο του χώρου. Η επιλογή της τεχνικής στεγανοποίησης του χώρου και ο σχεδιασμός των συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας στηρίζεται στον όγκο των παραγόμενων ρυπαντικών φορτίων.

### **1.3.1 Αέριες εκπομπές**

Ένας μεγάλος αριθμός αερίων παράγεται από ένα χώρο διάθεσης απορριμμάτων, είτε αυτά είναι σε μεγάλες ποσότητες είτε σε μικρότερες (ιχνοστοιχεία). Τα κύρια αέρια προέρχονται από την αποικοδόμηση του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων. Τα ιχνοστοιχεία, παρόλο, που βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, συχνά είναι τοξικά και επικίνδυνα για την υγεία των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής. Στον πίνακα 1.1 δίνεται το ποσοστό των αερίων επί του συνολικού ξηρού όγκου.

<b>Ουσία</b>	<b>Ποσοστό</b>
Μεθάνιο	45-60
Διοξείδιο του άνθρακα	40-60
Άζωτο	2-5
Οξυγόνο	0.1-1
Αμμωνία	0.1-1
Υδρογόνο	0-0.2
Μονοξείδιο του άνθρακα	0-0.2
Ιχνοστοιχεία	0.01-0.6

**Πίνακας 1. 1 Συγκεντρώσεις κύριων αερίων ενός XYTA**

Η παραγωγή των αερίων μεταβάλλεται σε σχέση με τον χρόνο και από δειγματοληψίες προέκυψε ότι υπάρχουν πέντε σαφώς διακριτές φάσεις κατά την διάρκεια λειτουργίας του XYTA. Η πρώτη φάση είναι η φάση της αερόβιας βιοαποικοδόμησης του οργανικού κλάσματος των εισερχόμενων απορριμμάτων, που συνοδεύεται από σταδιακή μείωση του οξυγόνου και του αζώτου και δημιουργία διοξειδίου του άνθρακα. Στην δεύτερη φάση εξαντλείται το διαθέσιμο οξυγόνο, το άζωτο μειώνεται εκθετικά σε αντίθεση με το διοξείδιο του άνθρακα και εμφανίζεται το υδρογόνο. Στην τρίτη φάση αρχίζει να δημιουργείται μεθάνιο, ως αποτέλεσμα της αναερόβιας μικροβιακής δραστηριότητας. Το διοξείδιο του άνθρακα αποκτά μέγιστη τιμή και έπειτα σταδιακά μειώνεται. Στην τέταρτη φάση το μεθάνιο και το διοξείδιο του θείου σταθεροποιούνται και αποτελούν τα κύρια αέρια της φάσης. Η πέμπτη και τελευταία φάση είναι η φάση της ωρίμανσης, όπου το βιοαποικοδομήσιμο υλικό των απορριμμάτων εξαντλείται, οπότε οι συγκεντρώσεις μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται. Συμπερασματικά η εκπομπή των αερίων αποκτά ένα μέγιστο στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του χώρου και στη συνέχεια μειώνεται συνεχώς.

Η μετακίνηση των αερίων, σε κανονικές συνθήκες, γίνεται με μοριακή διάχυση, αλλά σε ένα ενεργό XYTA η εσωτερική πίεση είναι συνήθως μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής ενεργοποιείται ο μηχανισμός της συμμεταφοράς λόγω της διαφοράς πίεσης. Τα αέρια απορροφούνται σε στερεές ή υγρές μάζες (διασταλάγματα-υγρασία των απορριμμάτων) και μερικές φορές καταναλώνονται από τις αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται στον χώρο.

Οι μέθοδοι απομάκρυνσης των αερίων από τον συμπιεσμένο όγκο των απορριμμάτων, είτε αξιοποιούν την διαφορά πίεσης του όγκου των απορριμμάτων με την ατμόσφαιρα (παθητικά συστήματα), είτε εφαρμόζουν υποπίεση στον όγκο των απορριμμάτων (ενεργητικά συστήματα). Τα παθητικά συστήματα λειτουργούν ικανοποιητικά στην αρχή λειτουργίας του χώρου, επειδή η παραγωγή αερίων είναι σημαντική. Με την πάροδο του χρόνου η πίεση μειώνεται και η απομάκρυνση των αερίων γίνεται με χρήση ενεργητικών συστημάτων. Μερικά διαθέσιμα συστήματα συλλογής είναι :

### **Παθητικά Συστήματα Συλλογής**

- ✓ Κατακόρυφοι αεραγωγοί
- ✓ Τάφροι περιμετρικά του χώρου

- ✓ Τάφροι τύπου Slurry

### **Ενεργητικά Συστήματα Συλλογής**

- ✓ Πηγάδια άντλησης περιμετρικά του χώρου
- ✓ Τάφροι περιμετρικά του χώρου με σύστημα εξαγωγής του αέρα
- ✓ Οριζόντια πηγάδια ή τάφροι άντλησης αερίων

Κοινή πρακτική είναι η καύση των αερίων για την μείωση του ρυπαντικού τους φορτίου και την παραγωγή ενέργειας (Εικόνα 1).



**Εικόνα 1 Σύστημα συλλογής αερίων και επί τόπου επεξεργασία**

### **1.3.2 Διασταλάγματα**

Τα διασταλάγματα δημιουργούνται γενικά από την εισροή νερού ή άλλων υγρών στον χώρο διάθεσης των απορριμμάτων και από την συμπίεση του όγκου των απορριμμάτων εξ αιτίας του βάρος τους. Τα διασταλάγματα περιέχουν διάφορες διαλυμένες ή αιωρούμενες ουσίες και μια συνοπτική καταγραφή των τυπικών τους τιμών σε ένα νέο και ένα ώριμο XYTA δίνεται στον πίνακα 1.2.

<b>Παράμετρος, (mg/lt)</b>	<b>Νέος XYTA</b>	<b>Παλιός XYTA</b>
BOD <sub>5</sub>	10000	200
TOC	6000	160
COD	18000	400
TSS	500	100
Οργανικό άζωτο	200	30
Νιτρικά	25	7
Ολικός φώσφορος	30	7

Ορθοφωσφορικά	20	6
Αλκαλικότητα (ως CaCO <sub>3</sub> )	3000	600
pH	6	7
Ολική σκληρότητα (ως CaCO <sub>3</sub> )	3500	350
Ασβέστιο	1000	300
Μαγνήσιο	250	150
Χλώριο	500	300
Θειικά	300	30
Ολικός σίδηρος	60	20-200

**Πίνακας 1. 2 Τυπική σύσταση διασταλαγμάτων**

Ο υπολογισμός του όγκου των παραγόμενων διασταλαγμάτων μπορεί να εκτιμηθεί από ένα γενικό υδατικό ισοζύγιο. Τα μέρη που το απαρτίζουν είναι :

- ✓ Εισερχόμενος όγκος νερού από το άνω μέρος του XYTA, (συνολική εκτεθειμένη επιφάνεια)
- ✓ Υγρασία των απορριμμάτων που διατίθενται στον XYTA
- ✓ Εισερχόμενος όγκος νερού με το εδαφικό υλικό κάλυψης
- ✓ Εξερχόμενος όγκος διασταλαγμάτων
- ✓ Κατανάλωση νερού από αντιδράσεις
- ✓ Εξάτμιση νερού από τον χώρο διάθεσης των απορριμμάτων
- ✓ Λοιπές εισροές και εκροές κατά την διαδικασία στρωμάτωσης των απορριμμάτων, που συνήθως είναι αμελητέες

Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται μοντέλα σε συνδυασμό με υδατικά ισοζύγια και εμπειρικές εξισώσεις.

Η συλλογή των διασταλαγμάτων συνεπάγεται την στεγανοποίηση του χώρου, την ανάπτυξη ενός συστήματος αγωγών ή καναλιών απομάκρυνσης τους και την εγκατάσταση μονάδων συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας. Για την αποφυγή συσσώρευσης των διασταλαγμάτων στην βάση του χώρου, κατά την φάση προετοιμασίας του χώρου δίνεται μια μικρή κλίση στο επίπεδο της βάσης. Εναλλακτικά, για μεγαλύτερη απόδοση, όλη η επιφάνεια της βάσης χωρίζεται σε τμήματα που το ένα έχει αντίθετη κλίση (κατά πρόσημο) από το άλλο, οδηγώντας τα διασταλάγματα στο σύστημα των αγωγών και καναλιών απομάκρυνσης. Μια διαφορετική προσέγγιση στην συλλογή των διασταλαγμάτων είναι η τοποθέτηση πολλών αγωγών κάτω από ένα αργιλικό

στρώμα, όπου θα επιστρωθούν τα απορρίμματα. Έτσι καλύπτεται όλος ο χώρος διάθεσης των απορριμμάτων και η απομάκρυνση των διασταλαγμάτων είναι ταχύτερη. Η κλίση της βάσης βελτιώνει ακόμη περισσότερο την απόδοση του συστήματος. Ακολούθως τα διασταλάγματα συγκεντρώνονται σε κατάλληλους χώρους για επεξεργασία. Οι συνηθισμένες πρακτικές είναι τέσσερις.

- ✓ Επανακυκλοφορία των διασταλαγμάτων στον XYTA για την μείωση των ρυπαντικών φορτίων μέσω των βιοχημικών διεργασιών, που πραγματοποιούνται σε όλο εύρος του χώρου
- ✓ Εξάτμιση από στεγανοποιημένες λίμνες
- ✓ Επεξεργασία επί τόπου με αερόβιες, αναερόβιες και χημικές μεθόδους
- ✓ Μεταφορά σε γειτονικούς βιολογικούς καθαρισμούς

### 1.3.3 Στεγανοποίηση XYTA

Η στεγανοποίηση της βάσης και των πρανών ή τοιχίων του XYTA έχει σκοπό την αποφυγή της κατείσδυσης των διασταλαγμάτων στον υπόγειο υδροφορέα και την συλλογή τους από τα αντίστοιχα συστήματα. Η χρησιμοποιούμενη μόνωση πρέπει επιπλέον να είναι ανθεκτική σε θερμοκρασίας της τάξης των 70 °C, καθιζήσεις, διαβρώσεις, επιδράσεις μικροοργανισμών, να τοποθετείται απλά, να επιδιορθώνεται εύκολα και να μην κοστίζει υπερβολικά.

Τα είδη μόνωσης με την πιο συχνή εφαρμογή σε XYTA είναι από ορυκτά υλικά (αργιλικές μονώσεις) και τεχνητά υλικά (γεωμεμβράνες), όπως υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο, χλωριωμένο πολυαιθυλένιο και ελαστομερή. Επειδή καμία μόνωση δεν εξασφαλίζει την στεγανότητα του χώρου, τα δύο είδη μόνωσης συνδυάζονται και πολλές φορές επαναλαμβάνονται στην ζώνη στεγανοποίησης, για μεγαλύτερη ασφάλεια.

Σε κάθε περίπτωση η φυσική επιφάνεια καθαρίζεται, εξομαλύνεται και συμπιέζεται. Έπειτα τοποθετείται η αργιλική μόνωση με συμπίεση των αργιλικών υλικών και ακολουθεί η γεωμεμβράνη. Για λόγους προστασίας της γεωμεμβράνης από την ζώνη αποστράγγισης τοποθετούνται ίνες από πολυμερή υλικό (γεωύφασμα) και πάνω από αυτό μια ακόμα στρώση προστασίας από θραυστό υλικό μικρής διαμέτρου.

Η συλλογή μεγάλων όγκων ή επικίνδυνων διασταλαγμάτων και η έμφαση στην πρόληψη, επιβάλλει την χρήση περισσότερων σύνθετων μονώσεων με προσθήκη ανάλογου αριθμού συστημάτων απομάκρυνσης των διασταλαγμάτων. Έτσι χρησιμοποιούνται περισσότερες γεωμεμβράνες ή συμπιεσμένες ορυκτές μονώσεις, που αυξάνουν το κόστος, αλλά εξασφαλίζουν την καλή λειτουργία του χώρου.

Το τελικό στρώμα κάλυψης του άνω μέρους του XYTA πρέπει να ικανοποιεί όλες τις προηγούμενες προϋποθέσεις, να εμποδίζει την εισροή των βρόχινων νερών και να εγκλωβίζει τα αέρια. Το στρώμα αυτό διαιρείται σε πέντε ζώνες.

- ✓ Επιφανειακή ζώνη από χώμα κατάλληλο για φυτεύσεις
- ✓ Ζώνη προστασίας
- ✓ Ζώνη μόνωσης
- ✓ Ζώνη συλλογής βιοαερίου

Η ζώνη της μόνωσης αποτελείται από τα ίδια υλικά με την ζώνη της βάσης και ακολουθεί αντίστροφη διάταξη, ενώ δεν είναι πάντα απαραίτητη η κατασκευή μιας πιο σύνθετης μόνωσης.

## 1.4 Συστήματα ελέγχου

Η παρακολούθηση ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων αποσκοπεί στην επιβεβαίωση της ομαλής λειτουργίας του, όπως αυτή σχεδιάστηκε από τους μηχανικούς, και της τήρησης των περιβαλλοντικών και υγειονομικών περιορισμών. Η συμπεριφορά της εγκατάστασης και το δυναμικό επικινδυνότητας προσδιορίζεται από τα διασταλάγματα, τα αέρια, την δυνατή εξάπλωση τους στην ευρύτερη περιοχή και την ευστάθεια του χώρου.

Κατά κανόνα απαιτείται ο έλεγχος του ύψους του νερού μέσα στον χώρο διάθεσης των απορριμμάτων, των υπόγειων συστημάτων απομάκρυνσης των διασταλαγμάτων, της ενδεχόμενης ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα, της πίεσης και των συγκεντρώσεων των αερίων τόσο μέσα στον χώρο, όσο και έξω από αυτόν και της σταθερότητας και αποτελεσματικότητας της τελικής κάλυψης του χώρου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Η γεωμορφολογία της περιοχής είναι συνήθως αρκετά πολύπλοκη και δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθεί με απόλυτη ακρίβεια. Όμως οι εργασίες ομαλοποίησης τόσο των κεκλιμένων επιφανειών όσο και του επιπέδου της βάσης για την στεγανοποίηση αυτών, επιτρέπουν την χρήση προκαθορισμένων τύπων επιφάνειας για την περιγραφή του χώρου.

Η πιο απλή και συνήθης περιγραφή μιας περιοχής, στην οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί ένας XYTA, γίνεται με την χρήση τοπογραφικού χάρτη και γεωδαιτικών συντεταγμένων. Οι συντεταγμένες αναφέρονται σε δύο ομάδες σημείων, η μεν πρώτη προσδιορίζει την βάση και η δεύτερη τα όρια ανάπτυξης του XYTA. Τα όρια ανάπτυξης αντιπροσωπεύουν την μέγιστη διαθέσιμη επιφάνεια εναπόθεσης απορριμμάτων και προσδιορίζουν τα όρια της φυσικής ανάπτυξης του XYTA λόγω της γεωμορφολογίας της περιοχής.

Ο συνδυασμός των σημείων της βάσης και των ορίων ανάπτυξης του XYTA δίνει τις φυσικές, κεκλιμένες επιφάνειες μεταβολής του χώρου περιμετρικά αυτού. Η έλλειψη φυσικής στήριξης συνεπάγεται την ανάπτυξη επιφανειών με την κατασκευή αναβαθμίδων, είτε από το επίπεδο της βάσης, είτε από δεδομένο ύψος για την συνέχιση των εργασιών όταν τελικά επιτευχθούν τα όρια ανάπτυξης του XYTA, με συγκεκριμένη πάντα κλίση πρανών. Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται τρία είδη κεκλιμένων επιφανειών.

- ✓ Κεκλιμένα επίπεδα
- ✓ Τμήμα εξωτερικής επιφάνειας ορθού κυκλικού κώνου
- ✓ Τμήμα εξωτερικής επιφάνειας ενός τεταρτημορίου, ορθού, ελλειπτικού κώνου

Η χρήση του αναπτύγματος ορθού κυκλικού κώνου επιτρέπει την εισαγωγή μιας επιφάνειας με σταθερή κλίση, ενώ του ορθού ελλειπτικού κώνου την εισαγωγή μιας επιφάνειας με μεταβλητή κλίση. Για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι προτιμότερη η διαίρεση τέτοιων επιφανειών σε μικρότερα τμήματα. Αυτός είναι ο λόγος που ως επιφάνεια αναφοράς του ελλειπτικού κώνου θεωρείται το

τεταρτημόριο αυτού, μαζί βέβαια με την σχετική απλότητα υπολογισμών που συνεπιφέρει.

Πλέον η μεθοδολογία υπολογισμού του όγκου και των λοιπών γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός XYTA σε δεδομένο ύψος περιλαμβάνει την εξαγωγή των εξισώσεων των κεκλιμένων επιφανειών που ορίζουν τον χώρο και την σύνθεση των εξισώσεων μεταβολής των συντεταγμένων της ελεύθερης επιφάνειας, της έκτασης της ελεύθερης επιφάνειας και του όγκου από το επίπεδο αναφοράς, μέσω τριών βασικών απλουστεύσεων.

- ✓ Ο αριθμός των κεκλιμένων επιφανειών περιμετρικά του χώρου δεν μεταβάλλεται στο συγκεκριμένο υψομετρικό διάστημα.
- ✓ Οι εξισώσεις των κεκλιμένων επιφανειών περιμετρικά του χώρου δεν μεταβάλλονται στο συγκεκριμένο υψομετρικό διάστημα.
- ✓ Οι κεκλιμένες επιφάνειες δεν αλληλεπικαλύπτονται, αλλά θέτουν μεταξύ τους τα όρια ανάπτυξης κάθε μιας εξ αυτών.

Οι δύο πρώτες παραδοχές είναι ευνόητες και δεν απαιτούν κάποια ιδιαίτερη αιτιολόγηση. Όσον αφορά την τελευταία, η εισαγωγή της στην μεθοδολογία πραγματοποιείται για την περιγραφή κυρίως καμπύλων επιφανειών. Αν αυτές αλληλεπικαλύπτονται, τότε προκύπτουν εξαιρετικά πολύπλοκα σχήματα και τελικά παρατηρείται αδυναμία κοινής περιγραφής και τεχνικού προγραμματισμού του τρόπου μεταβολής τους.

## 2.2 Εξισώσεις κεκλιμένων επιφανειών

Ο χώρος εναπόθεσης απορριμμάτων ορίζεται περιμετρικά από έναν αριθμό κεκλιμένων επιφανειών. Η τελική μορφή των εξισώσεων κάθε επιφάνειας και η διερεύνηση κάθε συστήματος πραγματοποιείται με γνώμονα την συμβατότητα με την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται και την απλότητα της περιγραφής.

### 2.2.1 Κεκλιμένα επίπεδα

Έστω ένα επίπεδο που διέρχεται από το σημείο  $P_1(x_1, y_1, z_1)$  και είναι κάθετο σ' ένα μη μηδενικό διάνυσμα  $\vec{\eta} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$ , τότε ένα σημείο  $P(x, y, z)$  ανήκει στο επίπεδο αν το διάνυσμα  $\overrightarrow{P_1P}$  είναι κάθετο στο διάνυσμα  $\vec{\eta}$ . Τότε η γενική εξίσωση ενός επιπέδου είναι<sup>1</sup>:

$$aX + bY + cZ = d \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 1})$$

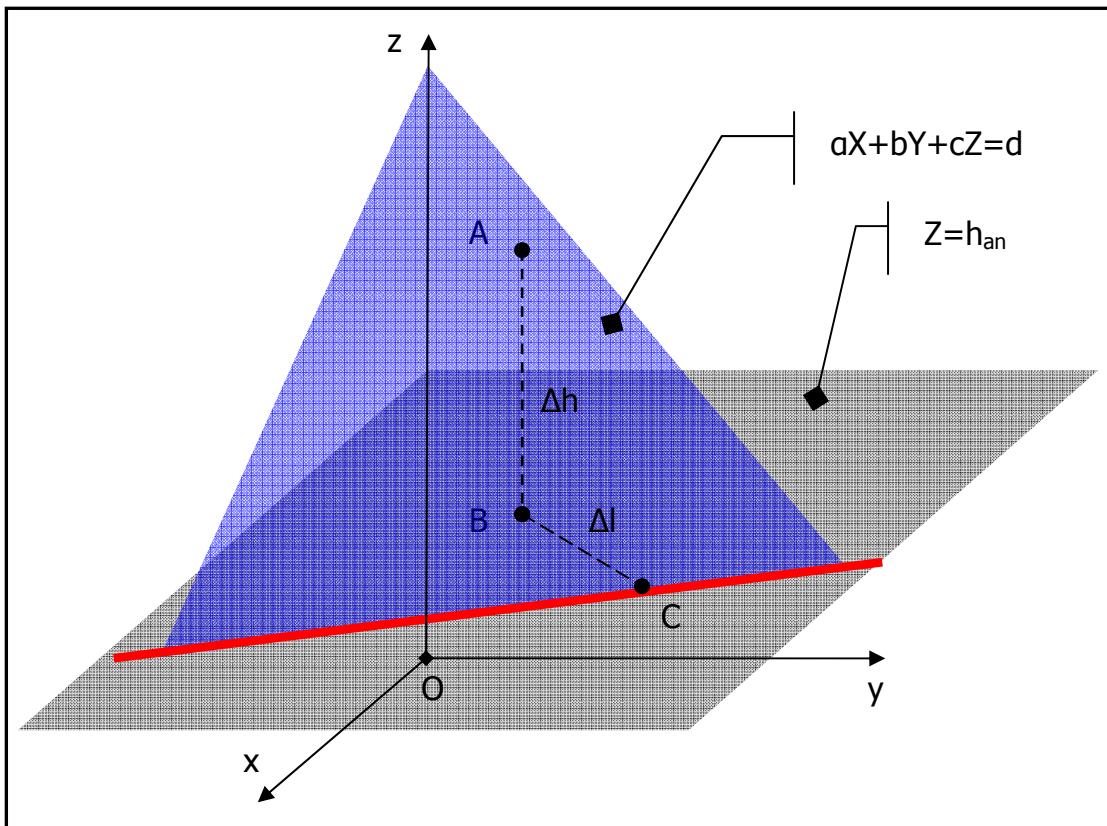
όπου  $a, b, c, d$  σταθερές

Αν  $a \neq 0$ , τότε η εξίσωση του επιπέδου γράφεται ως  $X + b'Y + c'Z = d'$ , όπου  $b' = \frac{b}{a}$ ,  $c' = \frac{c}{a}$  και  $d' = \frac{d}{a}$  ή ισοδύναμα  $a''X + Y + c''Z = d''$  και  $a'''X + b'''Y + Z = d'''$ .

Η υψημετρική κλίση ενός επιπέδου ( $k = \Delta h / \Delta l$ ) εξάγεται από την εξίσωση του επιπέδου  $aX + bY + cZ = d$ . Αρχικά ορίζουμε το επίπεδο αναφοράς, το οποίο είναι συνήθως οριζόντιο με εξίσωση  $Z = h_{an}$ . Έστω ένα σημείο του επιπέδου  $A(x_1, y_1, z_1)$ , τότε η απόσταση της προβολής του σημείου στο επίπεδο αναφοράς από την ευθεία της τομής του επιπέδου με το επίπεδο αναφοράς ισούται με  $\Delta l$ .

---

<sup>1</sup> Ιωακείμ Γρυσπολάκης, Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός II, Εξισώσεις Ευθειών και Επιπέδων σελ.20



**Σχήμα 2.2. 1 Τομή τυχαίου επιπέδου με επίπεδο παράλληλο του  $xy$  επιπέδου**

Η προβολή του σημείου  $A$  στο επίπεδο αναφοράς είναι ένα σημείο  $B$  με συντεταγμένες  $B(x_1, y_1, h_{an})$ . Η εξίσωση της ζητούμενης ευθείας βρίσκεται με αντικατάσταση του  $Z = h_{an}$  στην εξίσωση του επιπέδου. Οπότε η ευθεία  $\varepsilon_1$  της τομής του επιπέδου με το επίπεδο αναφοράς έχει εξίσωση  $aX + bY = d - ch_{an}$ .

Η απόσταση του σημείου  $B$  από την ευθεία  $\varepsilon_1$  υπολογίζεται μέσω διανυσμάτων. Έστω, λοιπόν, ένα διάνυσμα  $\vec{q} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ . Επειδή το διάνυσμα  $\vec{q}$  είναι κάθετο προς την ευθεία  $\varepsilon_1$ , τότε θα είναι παράλληλο προς το διάνυσμα  $\overrightarrow{BC}$  και συνεπώς θα ισχύει  $\vec{q} \cdot \overrightarrow{BC} = |\vec{q}| |\overrightarrow{BC}|$  ή  $\vec{q} \cdot \overrightarrow{BC} = -|\vec{q}| |\overrightarrow{BC}|$ . Άρα

$$|\vec{q} \cdot \overrightarrow{BC}| = |\vec{q}| |\overrightarrow{BC}| = \sqrt{1+a^2} |\overrightarrow{BC}| \Rightarrow |\overrightarrow{BC}| = \frac{|\vec{q} \cdot \overrightarrow{BC}|}{\sqrt{a^2+b^2}} \text{ ή } \Delta l = \frac{|ax_1 + by_1 + ch_{an} - d|}{\sqrt{a^2+b^2}}.$$

<sup>1</sup> Γρυσπολάκης Ι., Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός Ι, Η εξίσωση μιας ευθείας γραμμής, σελ.20

Γρυσπολάκης Ι., Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός ΙΙ, Εξισώσεις Ευθειών και Επιπέδων σελ.16

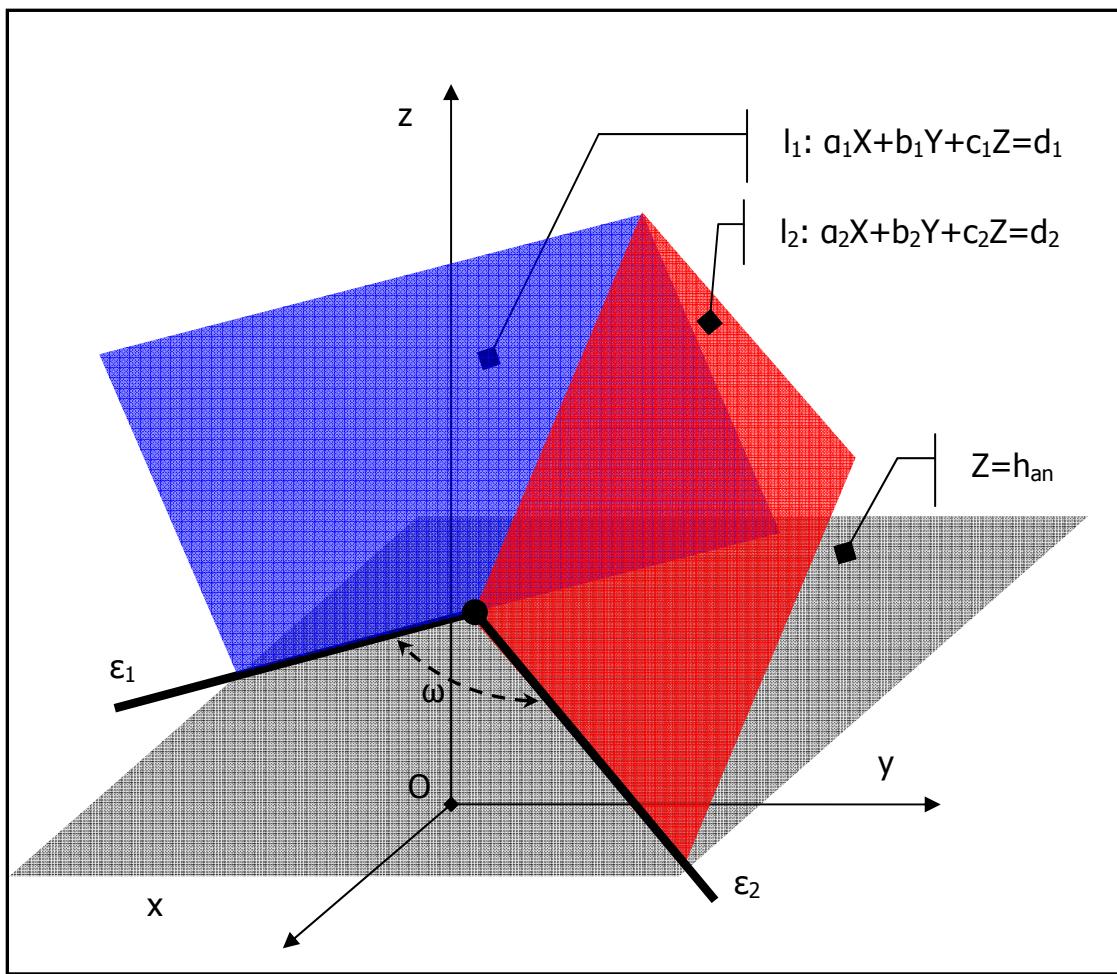
Αλλά ισχύει  $ax_1 + by_1 + cz_1 = d$ , οπότε

$$\Delta l = \frac{|ax_1 + by_1 + ch_{an} - d|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \Rightarrow \Delta l = \frac{|c(h_{an} - y_1)|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \text{ και } k = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{(y_1 - h_{an})\sqrt{a^2 + b^2}}{|c(h_{an} - y_1)|} \Rightarrow$$

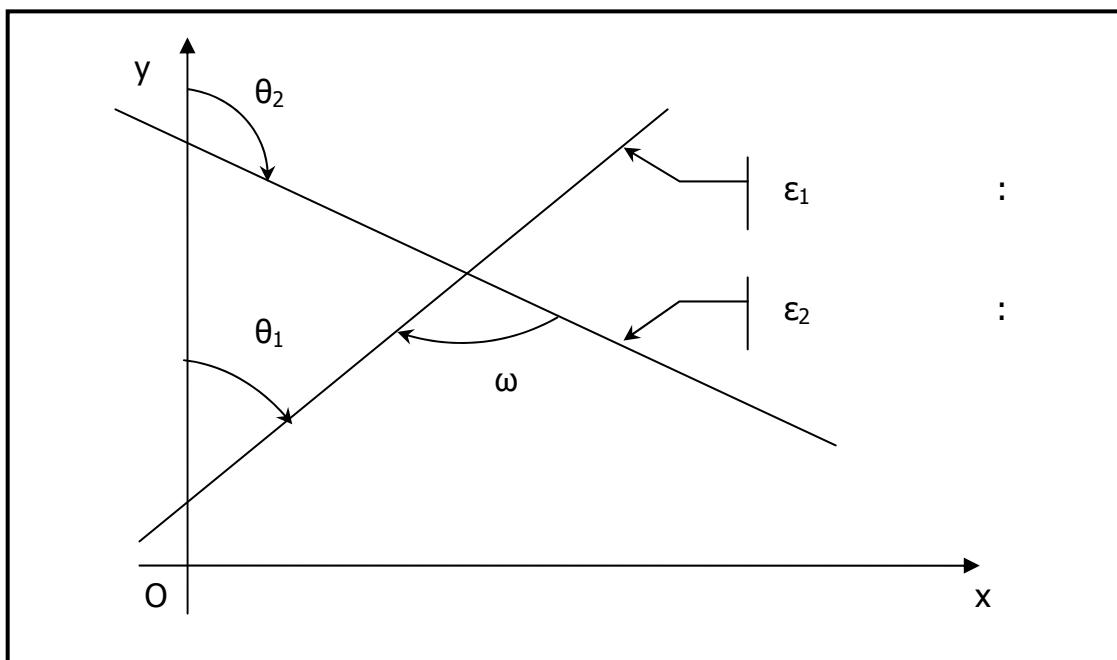
$$k = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{|c|} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 2})$$

Η κλίση δίνεται κατά απόλυτο τιμή από την προηγούμενη έκφραση και η εισαγωγή του θετικού ή του αρνητικού προσήμου γίνεται κατά σύμβαση. Το πρόσημό της ορίζεται ως θετικό όταν το επίπεδο επενεργεί στον χώρο αυξάνοντας την ελεύθερη επιφάνεια και αρνητικό στην αντίθετη περίπτωση. Προφανώς, θετική τιμή έχουν οι κλίσεις επιπέδων που χρησιμοποιούνται στην αποτύπωση της γεωμορφολογίας μιας περιοχής. Όταν όμως κατασκευάζονται αναβαθμίδες τότε η κλίση έχει αρνητική τιμή. Προσοχή απαιτείται στην περίπτωση της σύνδεσης δύο διαδοχικών διαμερισμάτων ενός XYTA, καθώς το δεύτερο διαμέρισμα συνδέεται με το πρώτο στην περιοχή των αναβαθμίδων, άρα η κλίση στο δεύτερο διαμέρισμα έχει θετική τιμή.

Η γωνία μεταξύ δύο επιπέδων  $l_1 : a_1X + b_1Y + c_1Z = d_1$  και  $l_2 : a_2X + b_2Y + c_2Z = d_2$  υπολογίζεται σε ένα οριζόντιο επίπεδο αναφοράς με εξίσωση της μορφής  $Z = h$ . Οι τομές των επιπέδων  $l_1, l_2$  με ένα οριζόντιο επίπεδο αναφοράς,  $Z = h_{an}$ , είναι ευθείες  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  και η γωνία που σχηματίζουν,  $\omega$  είναι η γωνία μεταξύ των επιπέδων σε σχέση με το συγκεκριμένο επίπεδο αναφοράς. Στο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων η γωνία μεταξύ δύο ευθειών  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ , με την σειρά που δίνονται, ορίζεται ως η γωνία που διαγράφει η  $\varepsilon_2$  δεξιόστροφα γύρω από το σημείο τομής τους μέχρι να συμπέσει με την  $\varepsilon_1$ .



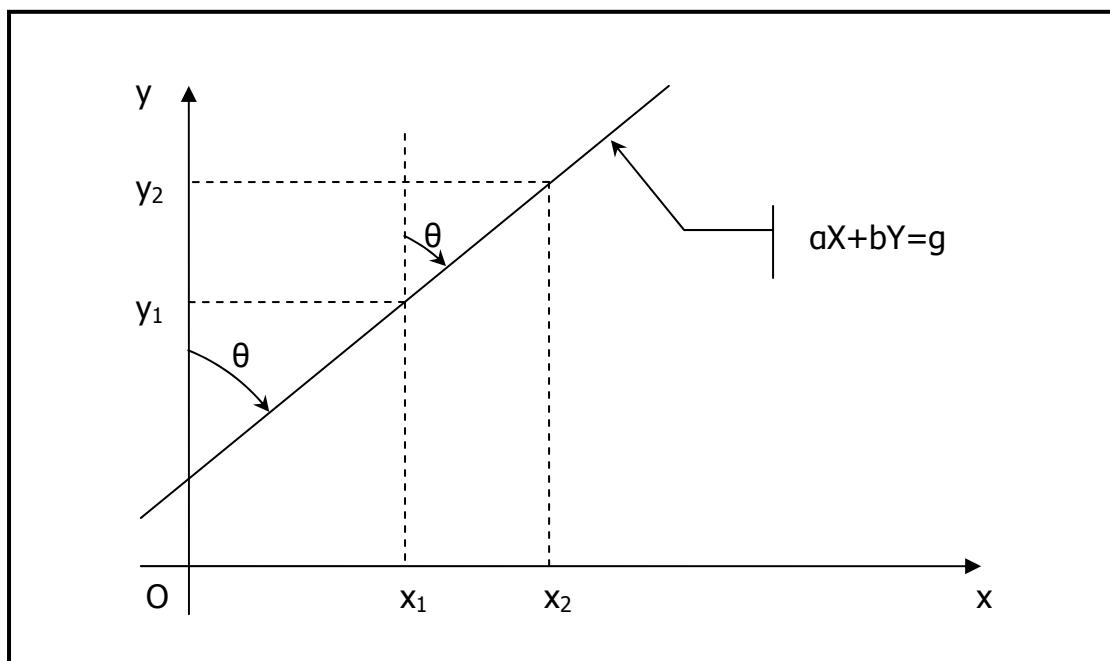
**Σχήμα 2.2. 2 Απεικόνιση της γωνίας δύο επιπέδων με οριζόντιο επίπεδο αναφοράς**



**Σχήμα 2.2. 3 Απεικόνιση της γωνίας δύο επιπέδων μέσω των τομών τους με το οριζόντιο επίπεδο αναφοράς**

Οι εξισώσεις των ζητουμένων ευθειών βρίσκονται με αντικατάσταση του  $Z = h_{an}$  στις εξισώσεις των επιπέδων  $l_1, l_2$ . Άρα οι αντίστοιχες εξισώσεις των ευθειών είναι  $\varepsilon_1 : a_1X + b_1Y = g_1$  και  $\varepsilon_2 : a_2X + b_2Y = g_2$ , όπου  $g_i = d_i - c_i h_{an}$ . Οι γωνίες  $\theta_1, \theta_2$  που επισημαίνονται στο σχήμα 2.2.3 είναι οι γωνίες διεύθυνσης των ευθειών.

Η γωνία διεύθυνσης μιας ευθείας στο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων ορίζεται ως η γωνία που διαγράφει ο άξονας  $yy'$  δεξιόστροφα γύρω από το σημείο τομής τους μέχρι να συμπέσει με την ευθεία (σχήμα 2.2.4).



**Σχήμα 2.2. 4 Απεικόνιση της γωνίας διεύθυνσης μιας ευθείας**

Η γωνία διεύθυνσης μιας ευθείας υπολογίζεται από δύο σημεία που ανήκουν στην ευθεία. Έστω δύο σημεία  $A(x_1, y_1)$ ,  $B(x_2, y_2)$  τότε η γωνία διεύθυνσης ισούται με  $\varepsilon\phi(\theta) = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$ <sup>1</sup>. Άλλα ισχύει  $ax_1 + by_1 = g$  και  $ax_2 + by_2 = g$ , άρα  $\varepsilon\phi(\theta) = -\frac{b}{a} = \lambda$ , όπου  $\lambda$  ο συντελεστής διεύθυνσης στο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων. Αν  $\lambda = -\frac{b}{a} = 0$ , ( $b=0$ ), η ευθεία είναι παράλληλη στον άξονα  $yy'$ , ενώ αν  $a=0$  η ευθεία είναι παράλληλη στον άξονα  $xx'$ .

<sup>1</sup> Γρυσπολάκης Ι., Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός Ι, Η κλίση μιας ευθείας γραμμής, σελ.14

Η γωνία μεταξύ των ευθειών στο σχήμα 2.2.3 σχετίζεται με τις γωνίες διεύθυνσης των ευθειών  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  σύμφωνα με τις σχέσεις  $\omega = \theta_1 - \theta_2$  ή  $\omega = 180 - (\theta_2 - \theta_1)$ , ανάλογα με τη σειρά που δίνονται οι ευθείες. Επομένως, αν  $\omega, \theta_1, \theta_2 \neq \pi/2$ , τότε :

$$\begin{aligned} \varepsilon\phi(\omega) &= \varepsilon\phi(\theta_1 - \theta_2) \quad \text{ή} \quad \varepsilon\phi(180 + \theta_1 - \theta_2) \\ \varepsilon\phi(\omega) &= \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{1 + \lambda_1 \lambda_2} \end{aligned} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 3})$$

Όταν  $\lambda_1 \lambda_2 = -1$ , τότε τα επίπεδα είναι κάθετα μεταξύ τους.

Η τελευταία σχέση αποδεικνύει το προφανές, ότι η γωνία μεταξύ των επιπέδων είναι σταθερή και ανεξάρτητη του ύψους του οριζόντιου επιπέδου αναφοράς. Αποτέλεσμα αυτού είναι το σχήμα της επιφάνειας που ορίζεται από τις τομές μιας σειράς κεκλιμένων επιπέδων με ένα οριζόντιο επίπεδο ( $Z = h$ ) να υπόκειται σε ισόμορφη μεγέθυνση ή σμίκρυνση με την μεταβολή του ύψους, ανάλογα με το πρόσημο της κλίσης κάθε επιπέδου.

### 2.2.1.1 Φυσικές επιφάνειες

Ο απλούστερος τρόπος περιγραφής ενός επίπεδου που αντιπροσωπεύει μια φυσική επιφάνεια μεταβολής του XYTA λόγω της γεωμορφολογίας της περιοχής γίνεται ορίζοντας τρία σημεία του στον χώρο. Από τον τοπογραφικό χάρτη επισημαίνονται τουλάχιστον ένα σημείο που προσδιορίζει την βάση (είναι δυνατόν κάποιο επίπεδο να τέμνεται με το επίπεδο της βάσης μόνο σε ένα σημείο) και δύο σημεία όρια ανάπτυξης του XYTA.

Έστω τρία σημεία  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$  και  $C(x_3, y_3, z_3)$  που ανήκουν στο επίπεδο  $aX + bY + cZ = d$ . Το σημείο  $A$  είναι σημείο της βάσης, ενώ τα σημεία  $B, C$  είναι όρια ανάπτυξης του XYTA. Τότε αν  $a \neq 0$  η εξίσωση ξαναγράφεται ως  $X + b'Y + c'Z = d'$  και με αντικατάσταση των σημείων στην εξίσωση του επιπέδου, σχηματίζεται το επόμενο σύστημα εξισώσεων.

$$x_1 + b'y_1 + c'z_1 = d'$$

$$x_2 + b'y_2 + c'z_2 = d'$$

$$x_3 + b'y_3 + c'z_3 = d'$$

Από την επίλυση του γραμμικού συστήματος, με σημείο αναφοράς το  $A$  για την αποφυγή διαιρεσης με το μηδέν όταν τα  $B, C$  βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο, προκύπτει

$$b' = -\frac{\frac{x_3 - x_1}{z_3 - z_1} - \frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}}{\frac{y_3 - y_1}{z_3 - z_1} - \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 4})$$

$$c' = -\left(\frac{x_3 - x_1}{z_3 - z_1} + b'\frac{y_3 - y_1}{z_3 - z_1}\right) \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 5})$$

$$d' = x_3 + b'y_3 + c'z_3 \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 6})$$

■ Αν η υπόθεση  $a \neq 0$  δεν ισχύει, τότε η εξίσωση του επιπέδου γίνεται  $bY + cZ = d$ . Σ' αυτή την περίπτωση η πραγματική λύση πρέπει να οδηγεί σε  $b \neq 0$ , διαφορετικά το επίπεδο έχει εξίσωση  $z = d'$  και αναπαριστά ένα επίπεδο παράλληλο στο  $x, y$  επίπεδο. Άρα το επίπεδο έχει, ισοδύναμα εξίσωση  $Y + c'Z = d'$ . Τα τρία σημεία  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$  και  $C(x_3, y_3, z_3)$ , που ανήκουν στο επίπεδο, ορίζουν ένα υπερκαθορισμένο σύστημα εξισώσεων

$$y_1 + c'z_1 = d'$$

$$y_2 + c'z_2 = d'$$

$$y_3 + c'z_3 = d'$$

Από την επίλυση του συστήματος, με σημείο αναφοράς το  $A$  για την αποφυγή διαιρεσης με το μηδέν όταν τα  $B, C$  βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο, προκύπτει

$$c' = -\frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1} \quad \text{&} \quad c' = -\frac{y_3 - y_1}{z_3 - z_1} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 7})$$

$$d' = y_3 + c'z_3 \quad \text{&} \quad d' = y_2 + c'z_2 \quad \text{&} \quad d' = y_1 + c'z_1$$

(Εξίσωση 2.2. 8)

Η διπτή λύση του συστήματος για την παράμετρο  $c'$  καθορίζει τη συνθήκη, για την οποία η παράμετρος  $a$  μηδενίζεται. Οπότε η συνθήκη αυτή είναι

$$\frac{y_3 - y_1}{z_3 - z_1} = \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}$$

(Εξίσωση 2.2. 9)

Σημειώνεται ότι στην προηγούμενη μεθοδολογία συμπεριλαμβάνεται η περίπτωση  $c = 0$  από τις ήδη υπάρχουσες εξισώσεις.

Τέλος στην κατηγορία των κεκλιμένων επιφανειών εντάσσεται επίσης το επίπεδο της βάσης του XYTA που ορίζεται συνήθως από περισσότερα των τριών σημείων σημεία που απαιτούνται για κάθε επίπεδο.

- Αν τα σημεία της βάσης βρίσκονται όλα στο ίδιο υψόμετρο,  $h_{an}$ , τότε ορίζεται ένα οριζόντιο επίπεδο με εξίσωση  $Z = h_{an}$  και μηδενική κλίση.
- Αν αντίθετα τα σημεία βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο, τότε επιλέγονται τρία σημεία της βάσης  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$  και  $C(x_3, y_3, z_3)$  έτσι ώστε ένα από τα σημεία να αποτελεί το σημείο αναφοράς, δηλαδή να βρίσκεται σε διαφορετικό υψόμετρο από τα άλλα δύο και εφαρμόζονται οι εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.6 .

### 2.2.1.2 Τεχνητές επιφάνειες/Αναβαθμίδες

Στην περίπτωση της κατασκευής αναβαθμίδων από το κεκλιμένο επίπεδο της βάσης υπάρχει μια σημαντική διαφοροποίηση. Το αρχικό επίπεδο που δημιουργείται μεταξύ δύο διαδοχικών αναβαθμίδων με υψομετρική διαφορά  $l_y$  μετατοπίζεται κατά την οριζόντια απόσταση αυτών  $l_x$ , ενώ οι αναβαθμίδες κατασκευάζονται με συγκεκριμένη κλίση πρανών. Από τον τοπογραφικό χάρτη είναι γνωστές οι συντεταγμένες δύο σημείων της βάσης με διαφορετικό, συνήθως, υψόμετρο που ανήκουν στο ζητούμενο επίπεδο. Βέβαια η υψομετρική διαφορά των σημείων συνεπάγεται ότι μετά την κατασκευή των αναβαθμίδων το σημείο με μεγαλύτερο υψόμετρο δεν θα ανήκει στις

αναβαθμίδες, εξ αιτίας της μετατόπισης του αρχικού επιπέδου κατά  $l_x$  μετά από κάθε αναβαθμίδα.

Έστω δύο σημεία  $A(x_1, y_1, z_1)$  και  $B(x_2, y_2, z_2)$  της βάσης του XYTA, που ανήκουν στο επίπεδο  $aX + bY + cZ = d$  και η κλίση αυτού  $k$ . Η κλίση του επιπέδου είναι διάφορη του μηδενός για την στήριξη των πρανών. Τότε από την εξίσωση 2.2.2 προκύπτει  $c \neq 0$ .

Αρχικά η εξίσωση του επιπέδου, επειδή  $c \neq 0$ , γράφεται ισοδύναμα ως  $a'X + b'Y + Z = d'$ , οπότε με αντικατάσταση των σημείων στην εξίσωση του επιπέδου σχηματίζεται το επόμενο σύστημα εξισώσεων.

$$a'x_1 + b'y_1 + z_1 = d'$$

$$a'x_2 + b'y_2 + z_2 = d'$$

$$k = \sqrt{a'^2 + b'^2}$$

Η επίλυσή του συστήματος των εξισώσεων, μετά από διαδοχικές αντικαταστάσεις, οδηγεί στη δευτεροβάθμια εξίσωση  $sa(b')^2 + sb(b') + sc = 0$ , και λύση

$$b' = \frac{-(sb) \pm \sqrt{(sb)^2 - 4(sa)(sc)}}{2(sa)} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 10})$$

$$a' = -\frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} - b' \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 11})$$

$$d' = a'x_1 + b'y_1 + z_1 \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 12})$$

όπου

$$sa = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 13})$$

$$sb = 2(y_2 - y_1)(z_2 - z_1) \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 14})$$

$$sc = (z_2 - z_1)^2 - k^2(x_2 - x_1)^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 15})$$

Η προηγούμενη λύση καλύπτει την περίπτωση  $b' = 0$  ή  $a' = 0$ , όταν τα σημεία έχουν διαφορετικές κατηγορίες.

- Αν τα δύο σημεία έχουν τις ίδιες τετμημένες και κατηγορίες αλλά διαφορετικές τεταγμένες τότε

$$a' = \pm k$$

(Εξίσωση 2.2. 16)

$$b' = 0$$

(Εξίσωση 2.2. 17)

$$d' = a'x_1 + z_1 \quad \text{ή} \quad d' = a'x_2 + z_2$$

(Εξίσωση 2.2. 18)

- Αν τα δύο σημεία έχουν τις ίδιες τεταγμένες και κατηγορίες αλλά διαφορετικές τετμημένες τότε

$$a' = 0$$

(Εξίσωση 2.2. 19)

$$b' = \pm k$$

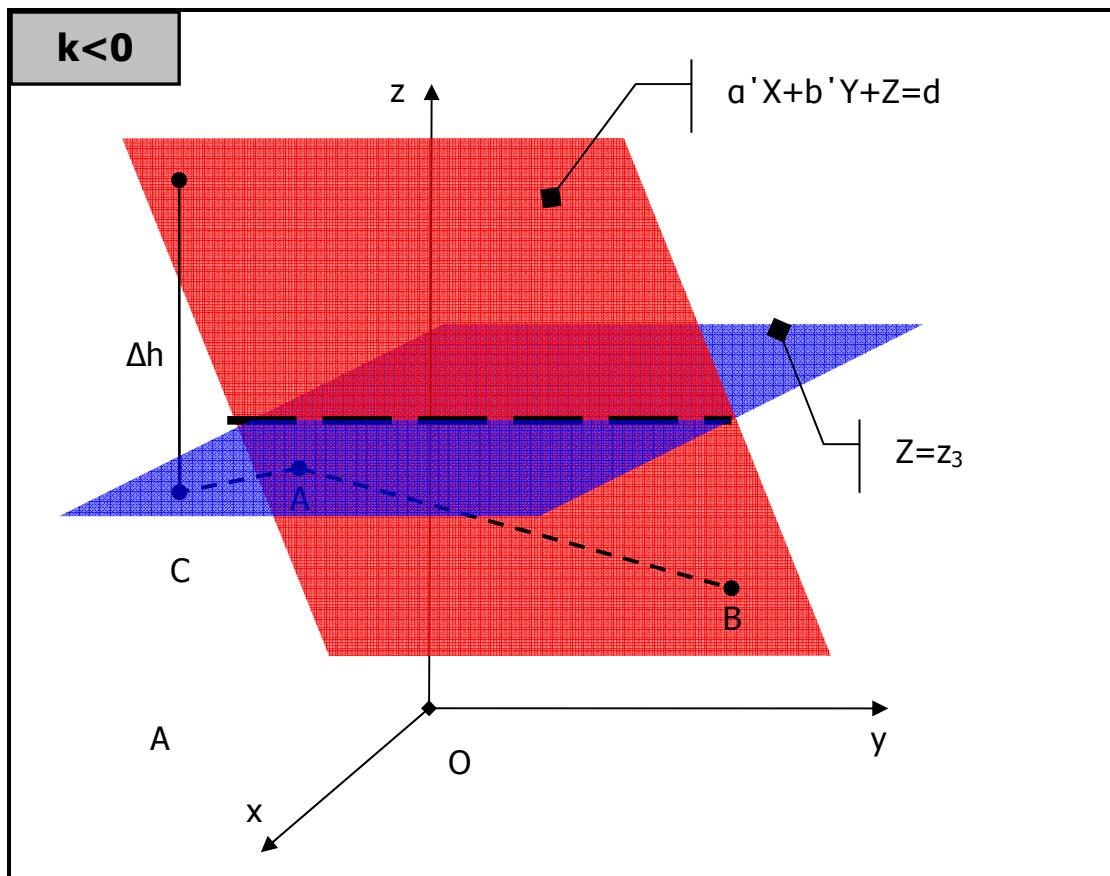
(Εξίσωση 2.2. 20)

$$d' = b'y_1 + z_1 \quad \text{ή} \quad d' = b'y_2 + z_2$$

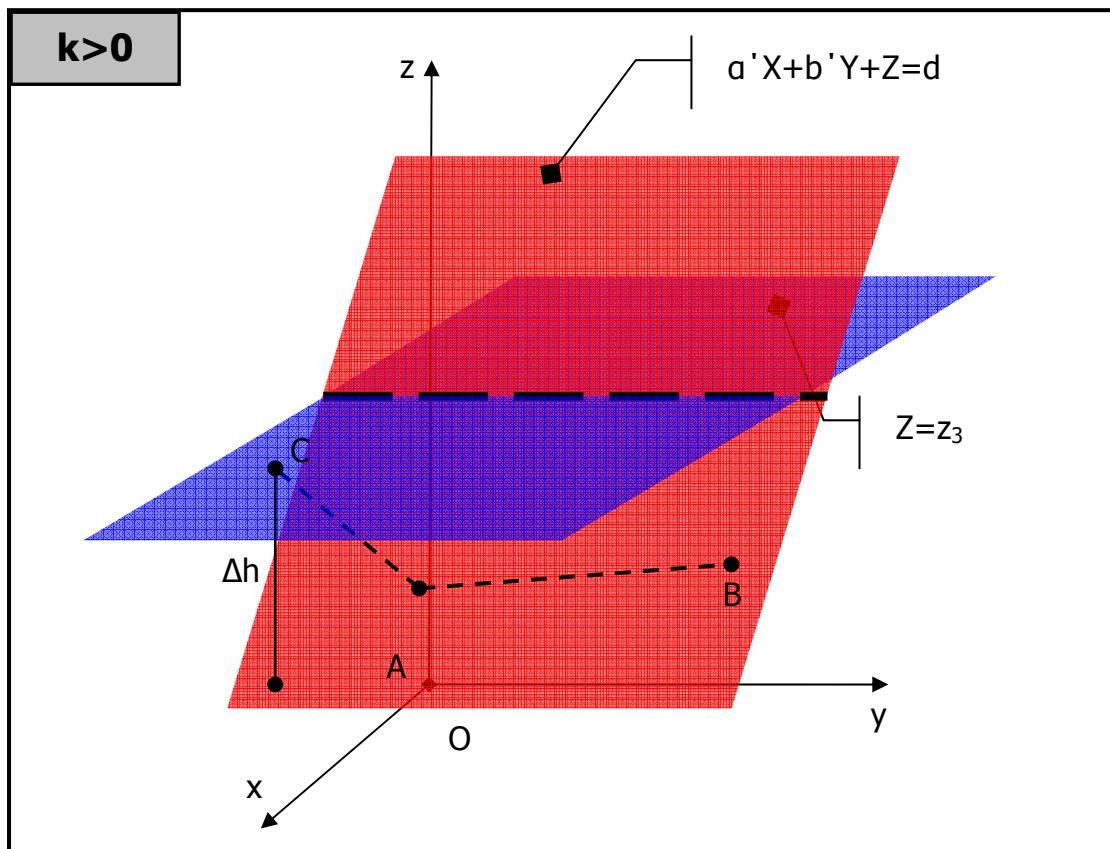
(Εξίσωση 2.2. 21)

Σε κάθε περίπτωση η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων δεν οδηγεί σε μία μοναδική λύση καθώς το πρόσημο της παραμέτρου  $b'$  και έπειτα της  $a'$  δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν με βεβαιότητα από τις υπάρχουσες εξισώσεις. Ο περιορισμός αυτός προκύπτει από την μορφή της εξίσωσης 2.2.2. Το πρόσημο της κλίσης δίνεται κατά σύμβαση και όχι από την εξίσωση του επιπέδου, άρα από δύο σημεία με συγκεκριμένη κλίση διέρχονται δύο επίπεδα με ίδιο κατά απόλυτο τιμή  $c$ , αλλά διαφορετικό πρόσημο και διαφορετικά  $a, b$ , όταν τα σημεία βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο.

'Ένα ασφαλής τρόπος εκτίμησης του προσήμου της παραμέτρου  $c'$  πραγματοποιείται μέσω της επιλογής ενός σημείου, το οποίο βρίσκεται εντός του αναπτύγματος του όγκου. 'Εστω, λοιπόν, ένα τέτοιο σημείο  $C(x_3, y_3, z_3)$ , τότε η παράμετρος  $a'$ , πρέπει να είναι τέτοια ώστε το σημείο  $C$  να ανήκει στο επίπεδο μετά από αύξηση ή μείωση της συντεταγμένης  $z_3$ , όταν το κατά σύμβαση πρόσημο της κλίσης είναι αρνητικό ή θετικό, αντίστοιχα. Στα σχήματα 2.2.5 και 2.2.6, παρουσιάζονται πιο αναλυτικά οι δύο περιπτώσεις.

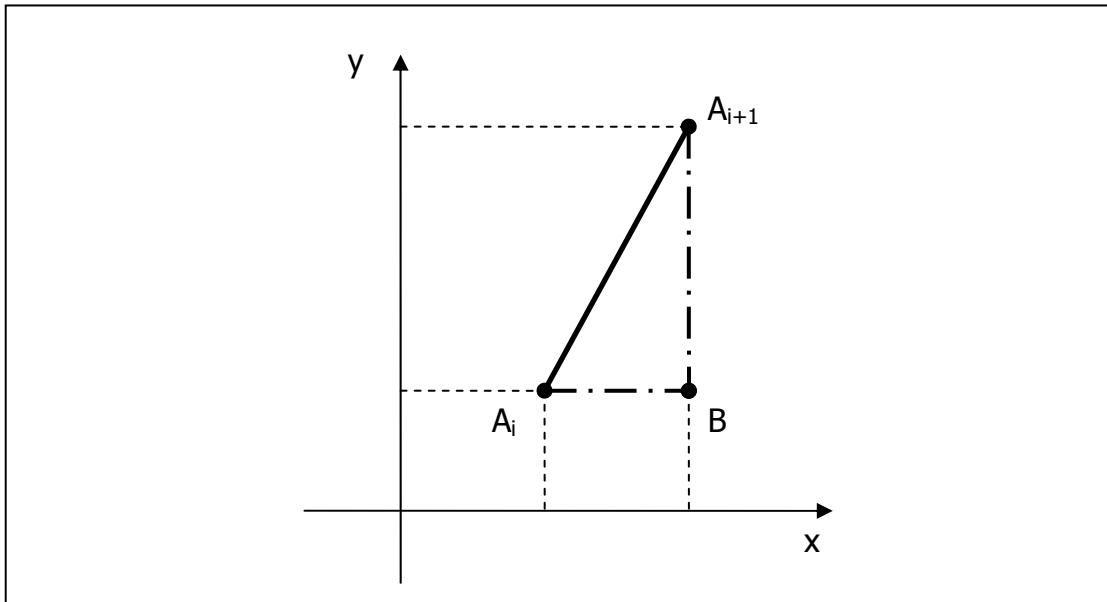


**Σχήμα 2.2. 5 Απεικόνιση της διαδικασίας ελέγχου των παραμέτρων ενός επιπέδου**



**Σχήμα 2.2. 6 Απεικόνιση της διαδικασίας ελέγχου των παραμέτρων ενός επιπέδου**

Η επιλογή ενός σημείου εσωτερικά του χώρου πραγματοποιείται συνδυάζοντας τα δύο υπάρχοντα σημεία της βάσης, παρόλο που τυχόν βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο (σχήμα 2.2.7 ).



**Σχήμα 2.2.7 Απεικόνιση της διαδικασίας εύρεσης του σημείου ελέγχου ενός επιπέδου**

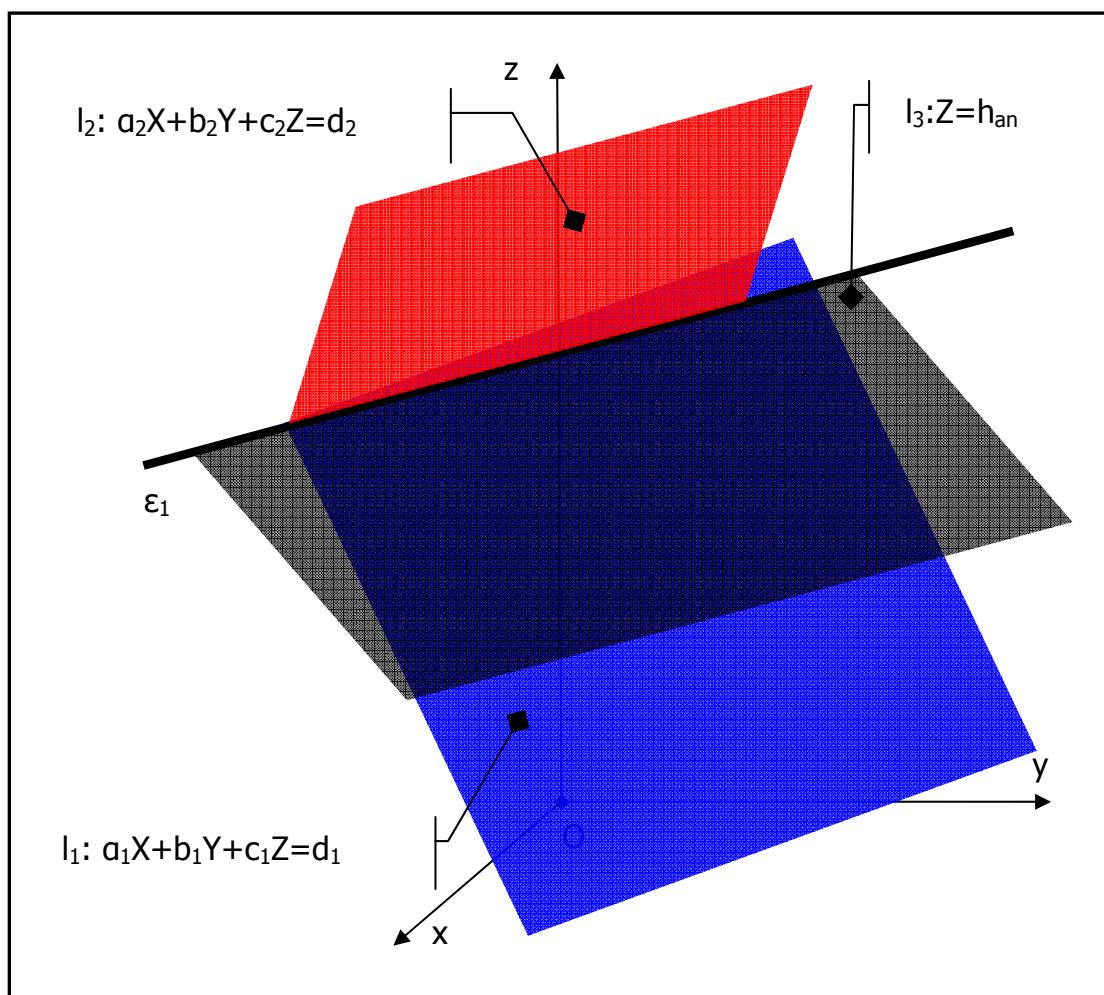
Η δεξιόστροφη φορά επισήμανσης των σημείων της βάσης ( $A_i, A_{i+1}$ ), επιτρέπει με ασφάλεια τον ορισμό ενός σημείου  $B$ , που βρίσκεται εσωτερικά του ογκομετρικού αναπτύγματος του χώρου, με συντεταγμένες  $x_b = x_{i+1}$  και  $y_b = y_i$ , αν ο λόγος των παραμέτρων  $\frac{b}{a}$  της υποθετικής εξίσωσης του επιπέδου είναι αρνητικός και  $x_b = x_i$  και  $y_b = y_{i+1}$ , αν ο λόγος  $\frac{b}{a}$  της είναι θετικός. Η ολοκλήρωση της μεθοδολογίας επισήμανσης του σημείου  $B$  επιτυγχάνεται ορίζοντας ότι το σημείο ανήκει στο επίπεδο της βάσης και άρα η κατηγορία του σημείου,  $z_b$ , βρίσκεται επιλύνοντας μια εξίσωση της μορφής :

$$z_b = \frac{ax_b + by_b - d}{c} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 22})$$

Τέλος αναβαθμίδες κατασκευάζονται όταν επιτευχθούν τα όρια ανάπτυξης του XYTA, λόγω έλλειψης φυσικής στήριξης του όγκου των απορριμμάτων.

Προφανώς τα δύο σημεία όρια ανάπτυξης του XYTA κάθε επιπέδου δεν έχουν το ίδιο υψόμετρο εξ αιτίας της φυσικής γεωμορφολογίας της περιοχής. Έτσι η προσέγγιση του τρόπου ανάπτυξης στην περιοχή αυτή είναι αρκετά πολύπλοκη και ενέχει κάποια υποκειμενικότητα.

Η θεώρηση της οριζόντιας στρωμάτωσης των απορριμμάτων και η διατήρηση του σχήματος της ελεύθερης επιφάνειας και του αριθμού των επιπέδων μεταβολής οδηγεί στην ακόλουθη απλοποίηση. Η κατασκευή του επιπέδου της αναβαθμίδας αρχίζει από το σημείο όριο του αρχικού επιπέδου με το μικρότερο υψόμετρο με μεταβολή της κλίσης του αρχικού επιπέδου, κατά πρόσημο και απόλυτο τιμή ταυτόχρονα. Η απλούστευση που παρουσιάζεται και στο σχήμα 2.2.8 ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, καθώς δεν γίνεται χρήση όλου του διαθέσιμου φυσικού αναγλύφου, που προσομοιάζει ένα επίπεδο, εξ αιτίας κυρίως της μη στεγανοποίησης όλου του εύρους του.



**Σχήμα 2.2.8 Απεικόνιση της κατασκευής αναβαθμίδων στα όρια ανάπτυξης του φυσικού επιπέδου**

Η παράμετρος  $b_1$  του επιπέδου  $l_1$  ισούται με τη παράμετρο  $b_2$  του επιπέδου  $l_2$ . Αυτό συμβαίνει γιατί αν το επίπεδο  $l_1$  έχει εξίσωση  $a_1X + b_1Y + c_1Z = d_1$  και το επίπεδο  $l_2$  έχει εξίσωση  $a_2X + b_2Y + c_2Z = d_2$ , τότε η ευθεία  $\varepsilon_1$ , ως τομή των επιπέδων  $l_1$  και  $l_3$  έχει εξίσωση  $a_1X + b_1Y = d_1 - c_1h_{an}$ , ενώ ως τομή των  $l_2$  και  $l_3$  έχει εξίσωση  $a_2X + b_2Y = d_2 - c_2h_{an}$ . Από την αντιστοιχία προκύπτει

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{b_2}{b_1} = \frac{d_2 - c_2h_{an}}{d_1 - c_1h_{an}}$$

Για λόγους απλότητας μπορεί να θεωρηθεί ότι :

$$a_2 = a_1$$

$$b_2 = b_1$$

$$d_2 - c_2h_{an} = d_1 - c_1h_{an}$$

Η παράμετρος  $c_2$  δίνεται κατά απόλυτη τιμή από την εξίσωση 2.2.2, αλλά το πρόσημό της μπορεί να προβλεφθεί και είναι αντίθετο από το πρόσημο της παραμέτρου  $c_1$ , ώστε να συμβαδίζει με την αλλαγή προσήμου της κλίσης από το επίπεδο  $l_1$  στο  $l_2$ . Πλέον η λύση που προκύπτει είναι

$$a_2 = a_1 \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 23})$$

$$b_2 = b_1 \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 24})$$

$$c_2 = -\text{sign}(c_1) \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{|k|} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 25})$$

$$d_2 = d_1 + (c_2 - c_1)h_{an} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 26})$$

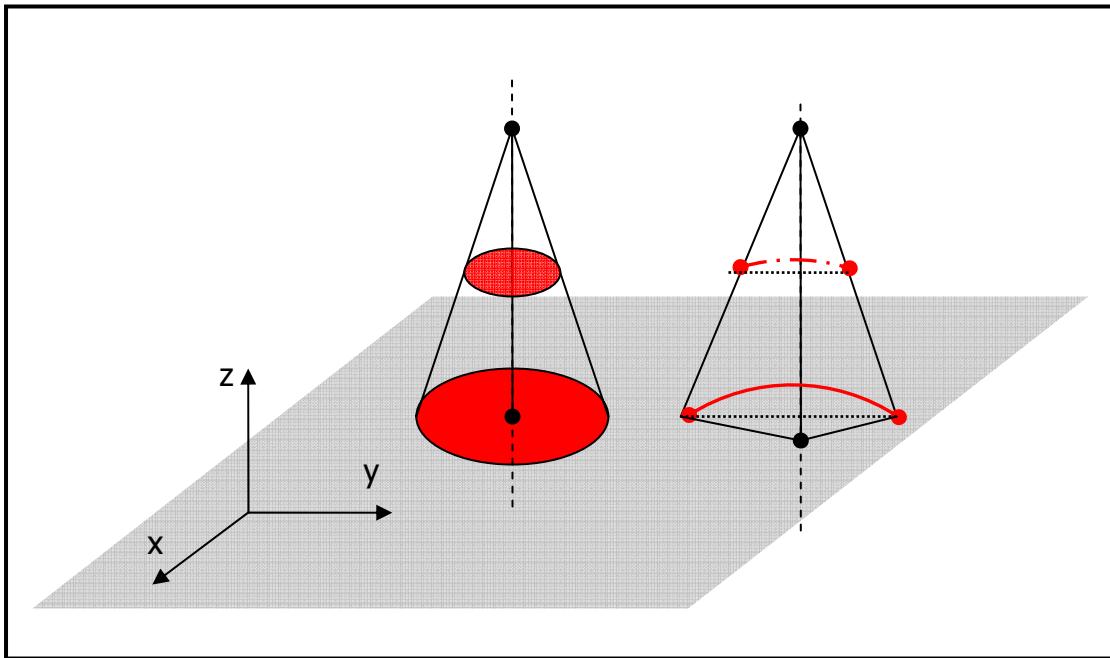
όπου  $\text{sign}(x)$  η συνάρτηση προσήμου της παραμέτρου  $x$ .

## 2.2.2 Επιφάνεια ορθού κυκλικού κώνου

Το σχήμα του συγκεκριμένου κώνου προέρχεται από την περιστροφή ενός ευθύγραμμου τμήματος με σταθερή κλίση γύρω από έναν άξονα, με ακρότατο

(κορυφή του κώνου) το σημείο τομής του ευθύγραμμου τμήματος με τον άξονα ή εναλλακτικά από την μετατόπιση μιας ευθείας με σταθερή κλίση κατά μήκος ενός κύκλου.

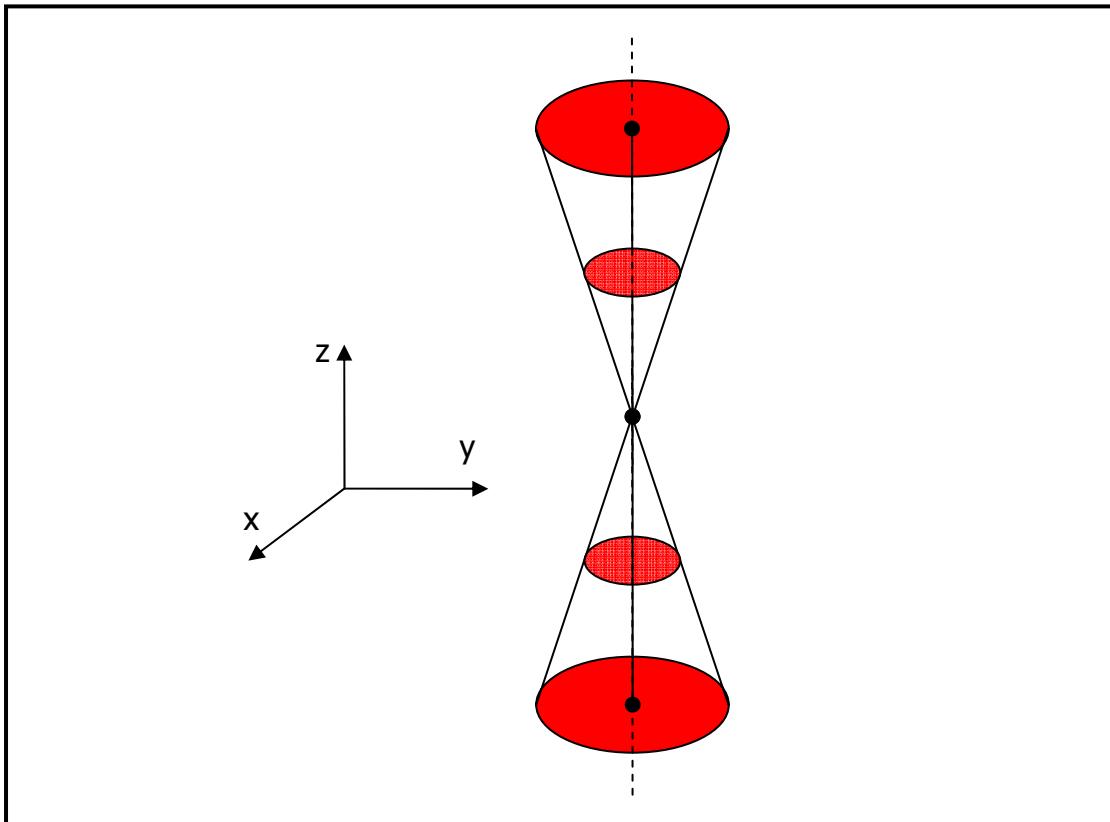
Εκ κατασκευής η τομή ενός επιπέδου, κάθετου στον άξονα περιστροφής, με τον κώνο που δημιουργήθηκε είναι κύκλος και το κέντρο του βρίσκεται επί του άξονος περιστροφής, στο σημείο τομής του άξονος και του κάθετου επιπέδου. Αν η περιστροφή της ευθείας δεν είναι πλήρης, τότε δημιουργούνται παράλληλοι κυκλικοί τομείς με ίδια, προφανώς, γωνία και κέντρο, αλλά διαφορετικές ακτίνες υπό την επίδραση της κλίσης της ευθείας σε σχέση με τον άξονα περιστροφής. Όμως τότε και οι χορδές είναι παράλληλες μεταξύ τους και ανήκουν στο ίδιο επίπεδο, γιατί οι εξισώσεις των προβολών τους στο επίπεδο αναφοράς έχουν ίδιο συντελεστή διεύθυνσης και η σταθερά των εξισώσεών τους μεταβάλλεται ομαλά (υπό την κλίση της ευθείας που περιστρέφεται και την γωνία περιστροφής).



**Σχήμα 2.2. 9 Περιγραφή δημιουργίας ορθού κυκλικού κώνου**

Έστω ένα ευθύγραμμο τμήμα με κλίση  $k$  που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα  $z = h_{an}$ , τότε οι τομές του κώνου με επίπεδα κάθετα στον άξονα περιστροφής είναι κύκλοι με γενική εξίσωση  $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$ , όπου  $a, b$  η τετμημένη και η τεταγμένη του κέντρου του κύκλου (ή του άξονος περιστροφής, ή της κορυφής του κώνου) και  $r$  η ακτίνα του κύκλου. Η συνάρτηση μεταβολής της ακτίνας κάθε κύκλου προέρχεται από την

μετατροπή, της υψημετρικής διαφοράς του επιπέδου του κύκλου με τη κορυφή του κώνου, σε ακτινική απόσταση μέσω της κλίσης της ευθείας και έχει μορφή  $r = \left| \frac{z - c}{k} \right|$  (για όλο το ανάπτυγμα της επιφάνειας, που ορίζεται από την εξίσωση  $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$ ), όπου  $c$  η κατηγμένη της κορυφής του κώνου. Πλέον με αντικατάσταση της εξίσωσης της ακτίνας στην εξίσωση του κύκλου, προκύπτει η εξίσωση της κωνικής επιφάνειας, άρα  $(x - a)^2 + (y - b)^2 = \left( \frac{z - c}{k} \right)^2$ , με  $a, b, c$  τις συντεταγμένες της κορυφής του κώνου και  $k$  την κλίση της ευθείας. Η εξίσωση είναι ίδια ανεξάρτητα από το κατά σύμβαση πρόσημο της κλίσης της ευθείας και κατ' επέκταση της επιφάνειας. Η αιτία βρίσκεται στην μορφή της εξίσωσης, που δόθηκε καθώς από αυτήν προκύπτουν δύο συμμετρικοί, αντεστραμμένοι μεταξύ τους κώνοι<sup>I</sup>.



**Σχήμα 2.2. 10 Γράφημα της εξίσωσης ορθού κυκλικού κώνου**

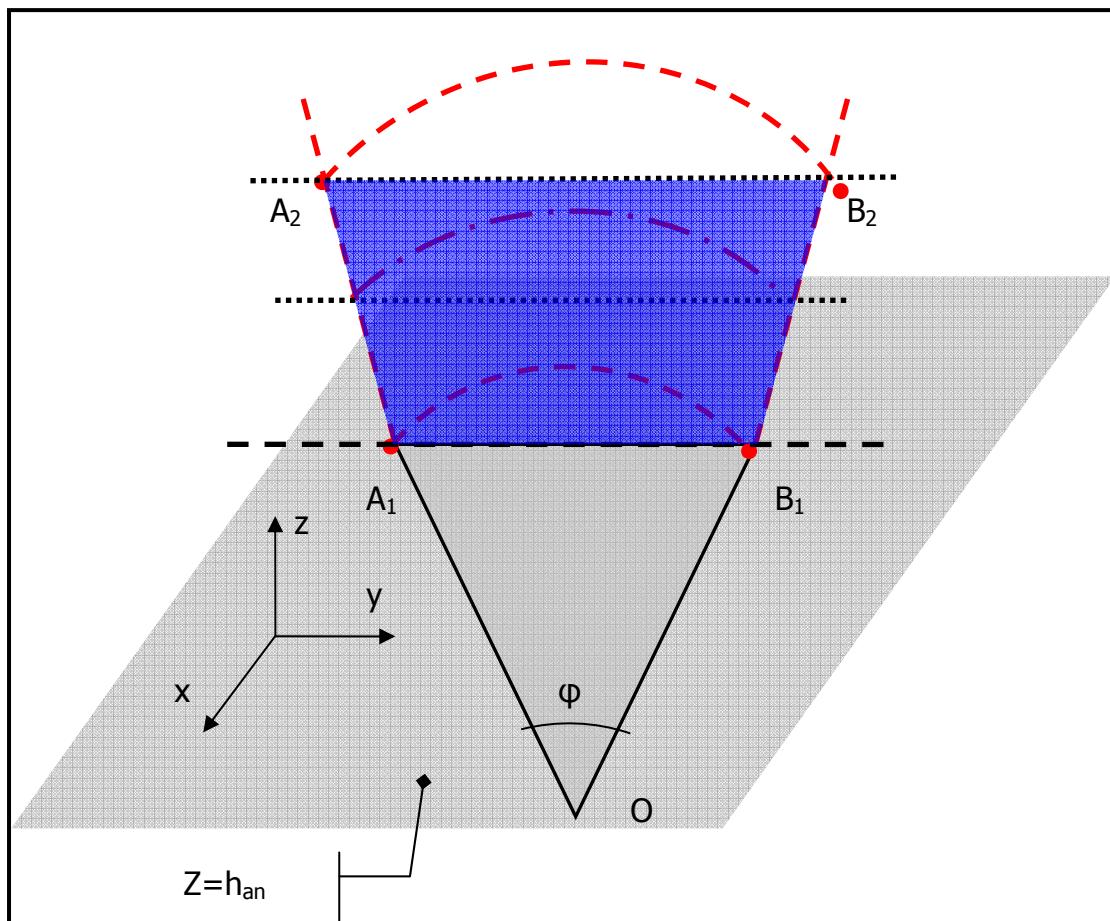
---

<sup>I</sup> Ιωακείμ Γρυσπολάκης, Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός II, Κύλινδροι, σελ 28

### 2.2.2.1 Μαθηματική Προσομοίωση

Η εξίσωση που περιγράφει τον ορθό κυκλικό κώνο είναι αρκετά περίπλοκη και το ενδιαφέρον εστιάζεται σε ένα τμήμα της εξωτερικής επιφάνειας, που αντιστοιχεί στο ανάπτυγμα μιας μη πλήρους περιστροφής του ευθύγραμμου τμήματος. Εναλλακτικά, λοιπόν, ο εντοπισμός των συντεταγμένων του καμπύλου τμήματος σε διάφορα ύψη γίνεται με την χρήση επιπέδων.

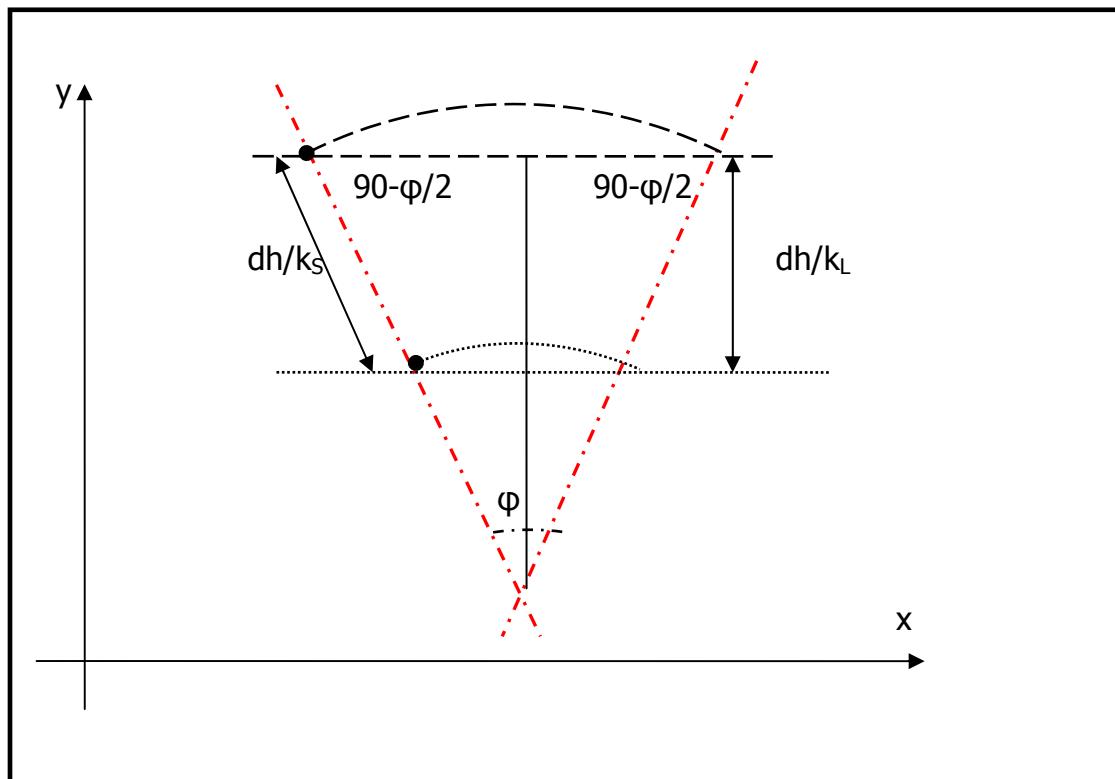
Πιο συγκεκριμένα, επειδή τα όρια κάθε επιφάνειας ορίζονται από τις τομές της επιφάνειας με τις δύο γειτονικές της, είναι χρήσιμο να οριστεί ένα κεκλιμένο ή μη, επίπεδο από τον γεωμετρικό τόπο των χορδών των κυκλικών τομέων που διαγράφονται από την τομή του κατακόρυφου κώνου με οριζόντια επίπεδα σε διάφορα υψόμετρα (Σχήμα 2.2.11). Σημειώνεται ότι το ίδιο επίπεδο προκύπτει για γωνίες  $\phi$  και  $360 - \phi$ , αλλά το ανάπτυγμα του όγκου είναι διαφορετικό.



**Σχήμα 2.2. 11 Απεικόνιση του χαρακτηριστικού επιπέδου του τμήματος της επιφάνειας ορθού, κυκλικού κώνου**

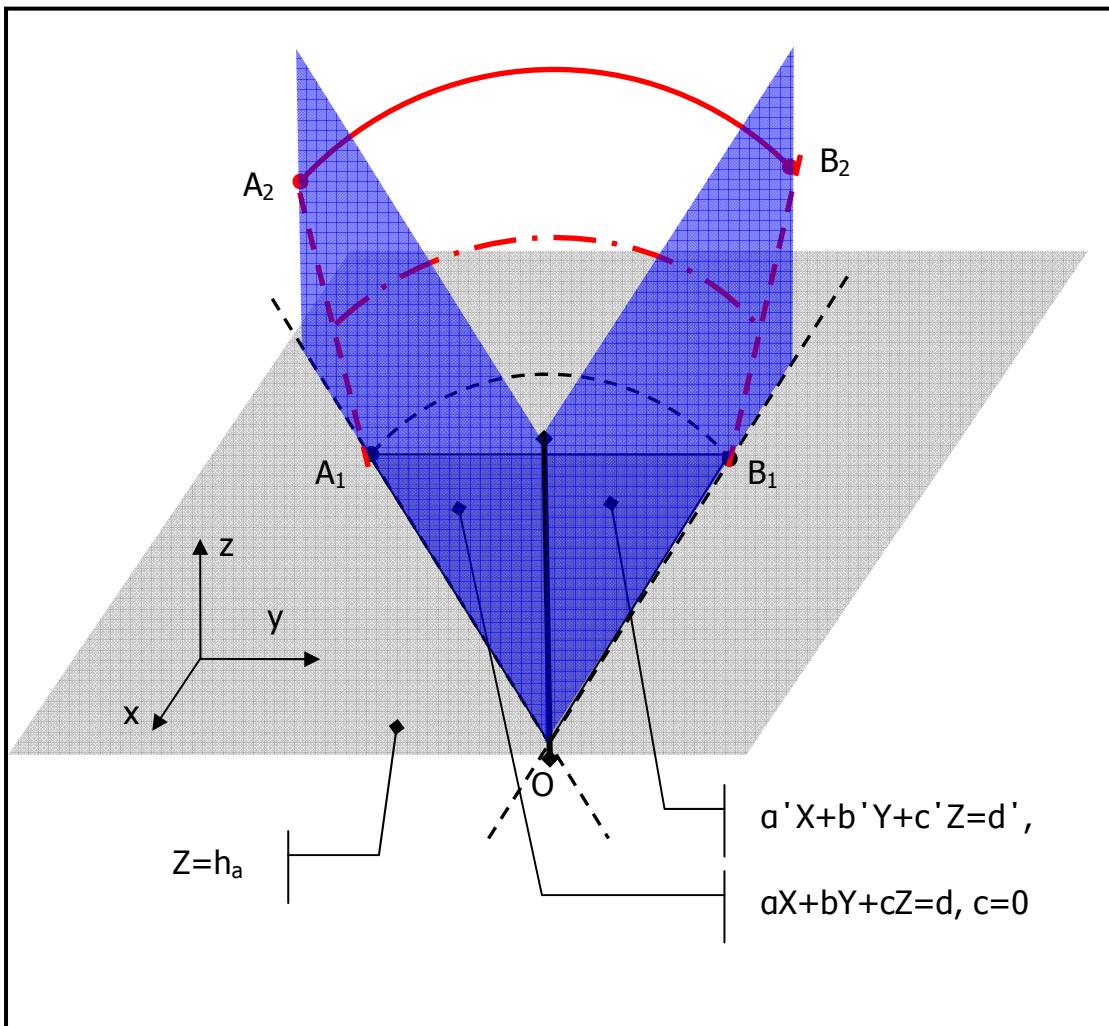
Από το σχήμα 2.2.12, των προβολών δύο κυκλικών τομέων του κώνου σε διαφορετικό υψόμετρο στο ίδιο παράλληλο επίπεδο, αποδεικνύεται ότι η κλίση του επιπέδου των χορδών των κυκλικών τομέων,  $k_L$ , συνδέεται με την κλίση της επιφάνειας του κώνου,  $k_s$ , μέσω της σχέσης 2.2.27.

$$\sin(90 - \frac{\phi}{2}) = \frac{k_s}{k_L} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 27})$$



**Σχήμα 2.2. 12 Απεικόνιση της διαφοράς κλίσης μεταξύ του τμήματος της επιφάνειας του ορθού κυκλικού κώνου και του επιπέδου των χορδών**

Επιπλέον ορίζονται δύο κατακόρυφα επίπεδα, που αντιστοιχούν στο γεωμετρικό τόπο των ακτίνων των κυκλικών τομέων που διαγράφονται από την τομή του κατακόρυφου κώνου με οριζόντια επίπεδα σε διάφορα υψόμετρα. Τα επίπεδα αυτά είναι κατακόρυφα, επειδή οι συντεταγμένες  $x, y$  του κέντρου κάθε κυκλικού τομέα είναι ίδιες μεταξύ τους, ως αποτέλεσμα της κατακόρυφης ανάπτυξης του κώνου (Σχήμα 2.2.13).



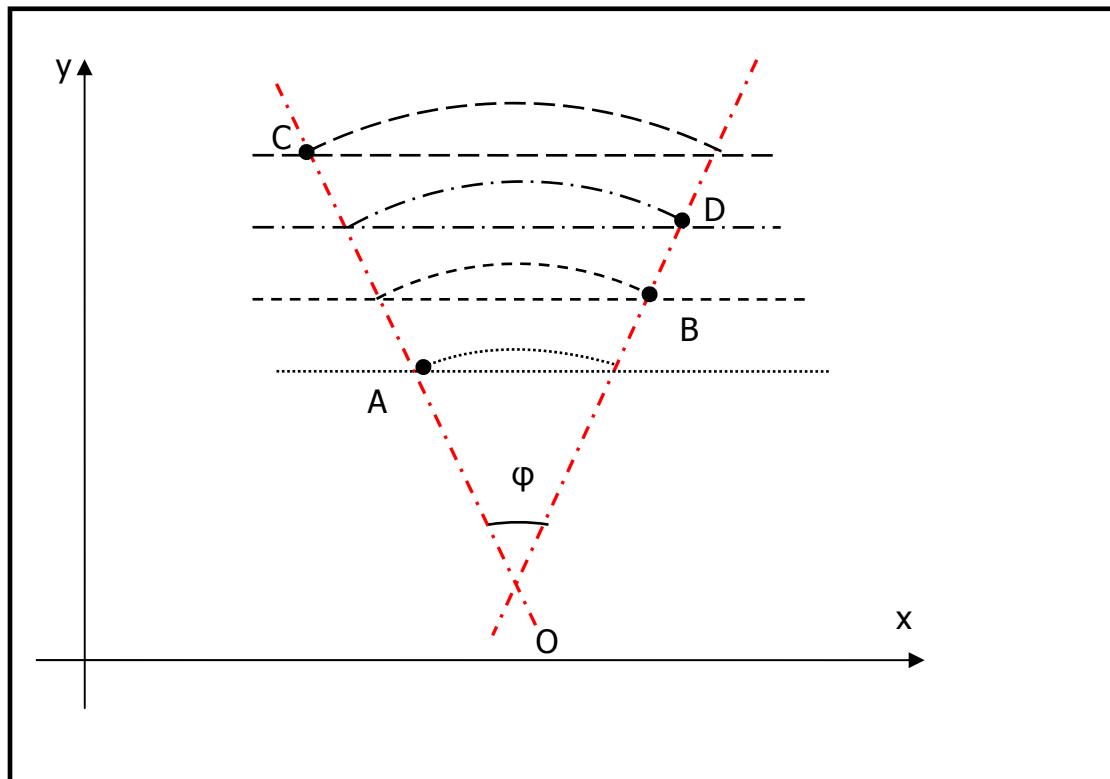
**Σχήμα 2.2. 13 Απεικόνιση των συμπληρωματικών, κατακόρυφων επιπέδων για την περιγραφή της επιφάνειας του τμήματος του ορθού κυκλικού κώνου**

Οι εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.21 χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των εξισώσεων των ζητουμένων επιπέδων και πλέον το ενδιαφέρον εστιάζεται στην εύρεση των λοιπών γεωμετρικών στοιχείων του αναπτύγματος, όπως της γωνίας του κυκλικού τομέα, των τιμών της ακτίνας σε διάφορα ύψη και των συντεταγμένων  $x, y$  του άξονος περιστροφής.

### **2.2.2.2 Φυσικές επιφάνειες**

Στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής επισημαίνονται δύο σημεία της κεκλιμένης επιφάνειας του κώνου στην βάση του XYTA  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$  και δύο σημεία που ανταποκρίνονται στα όρια φυσικής ανάπτυξης της επιφάνειας  $C(x_3, y_3, z_3)$ ,  $D(x_4, y_4, z_4)$ . Όλα τα σημεία,

σύμφωνα με την παραδοχή της ελεύθερης και ανεπηρέαστης ανάπτυξης των καμπύλων επιφανειών, ανήκουν στο επίπεδο που αντιπροσωπεύει το γεωμετρικό τόπο των χορδών των ομόκεντρων κυκλικών τομέων και οι δύο ευθείες, που ορίζονται από τις προβολές των τεσσάρων σημείων στο ίδιο επίπεδο αναφοράς, τέμνονται επί του άξονος περιστροφής.



**Σχήμα 2.2. 14 Απεικόνιση της μορφής των δεδομένων από τον τοπογραφικό χάρτη για τμήμα επιφάνειας ορθού κυκλικού κώνου και της δυνατότητας χρήσης τους**

Έστω η τυχαία διάταξη των σημείων  $A, B, C, D$  του σχήματος 2.14. Το σημείο τομής των ευθειών, στις οποίες ανήκουν τα σημεία  $A, C$  και  $D, B$  αντίστοιχα, είναι το κέντρο,  $O$ , του κυκλικού τομέα στο  $x, y$  επίπεδο (ή η τετμημένη και η τεταγμένη του άξονος περιστροφής και της κορυφής του κώνου). Επιπλέον η γωνία των δύο ευθειών είναι η γωνία του κυκλικού τομέα. Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.9 υπολογίζονται το κέντρο και η γωνία του κυκλικού τομέα και κατ' επέκταση ο άξονας περιστροφής και το εύρος του κώνου.

### **2.2.2.3 Τεχνητές Επιφάνειες/Αναβαθμίδες**

Στην κατασκευή αναβαθμίδων με επιφάνεια ορθού, κυκλικού κώνου επισημαίνονται, επί του τοπογραφικού χάρτη, δύο γνωστά σημεία της βάσης,  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$  και εφαρμόζεται συγκεκριμένη κλίση πρανών,  $k$ . Όμως τα δεδομένα αυτά δεν επαρκούν για τον προσδιορισμό των επιπέδων των χορδών και των ακτινών, επειδή σύμφωνα με την εξίσωση 2.2.27 υπάρχει πληθώρα συνδυασμών της γωνίας περιστροφής του κώνου με επίπεδα χορδών. Έτσι απαιτείται ο καθορισμός της γωνίας ή του άξονος περιστροφής. Ως δεδομένο θα θεωρούνται οι συντεταγμένες  $x, y$  του άξονος περιστροφής, γιατί κατά την μετάβαση από φυσικές σε τεχνητές επιφάνειες ο άξονας περιστροφής δεν μετατοπίζεται ή απουσία προηγούμενης όμοιας, φυσικής επιφάνειας, για λόγους κοινής περιγραφής της περιοχής.

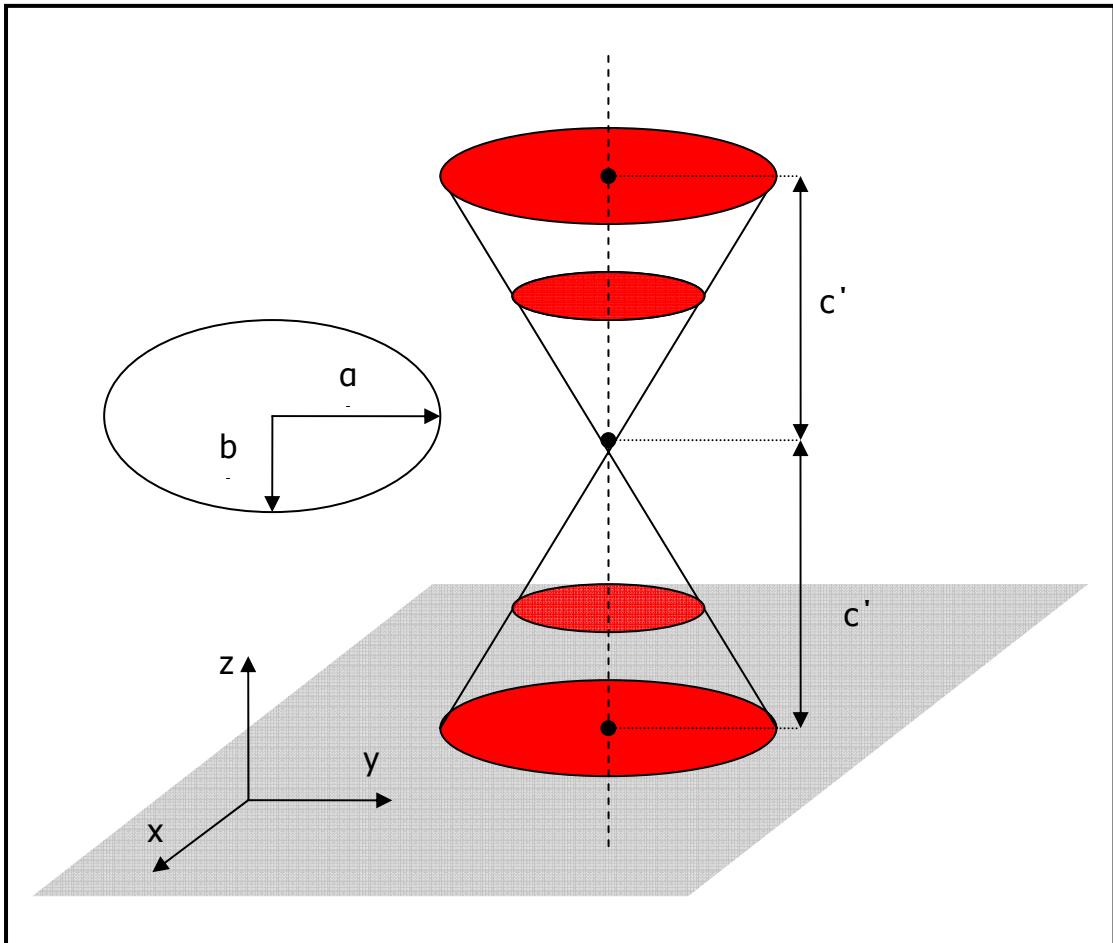
Πλέον από την εξίσωση 2.2.3 υπολογίζεται η γωνία περιστροφής ως γωνία που σχηματίζουν οι προβολές των σημείων  $A, B$  με τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής, σε ένα οριζόντιο επίπεδο αναφοράς. Ακολούθως από την εξίσωση 2.2.27 υπολογίζεται η κλίση του επιπέδου των χορδών και έπειτα από τις εξισώσεις 2.2.10 – 2.2.22 το επίπεδο των χορδών. Τα επίπεδα των ακτινών υπολογίζονται από τις εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.9 με δεδομένα τα σημεία  $A, B$  και τις  $x, y, z$  συντεταγμένες των κέντρων δύο νοητών κυκλικών τομέων, που διαφέρουν  $h$  μεταξύ τους επί του άξονος περιστροφής στον οποίο ανήκουν.

## **2.2.3 Επιφάνεια ορθού ελλειπτικού κώνου**

Το σχήμα του συγκεκριμένου κώνου παράγεται από την κίνηση ενός ευθύγραμμου τμήματος κατά μήκος έλλειψης (έλλειψη αναφοράς) με κορυφή το σημείο τομής του ευθυγράμμου τμήματος και του κατακόρυφου άξονος που διέρχεται από το κέντρο της έλλειψης. Επειδή η μετατόπιση γίνεται επί έλλειψης και υπάρχει ένα σταθερό σημείο η κλίση της επιφάνειας δεν είναι σταθερή.

Εκ κατασκευής η τομή ενός επιπέδου, κάθετου στον άξονα περιστροφής, με τον κώνο που δημιουργήθηκε είναι έλλειψη και το κέντρο της βρίσκεται επί του αξόνος περιστροφής, στο σημείο τομής του άξονος και του κάθετου επιπέδου. Αν η περιστροφή της ευθείας δεν είναι πλήρης, τότε δημιουργούνται παράλληλοι ελλειπτικοί τομείς με ίδια, προφανώς, γωνία και

κέντρο, αλλά διαφορετικούς ημιάξονες  $(a, b)$  υπό την επίδραση της ελλειπτικής περιστροφής της ευθείας σε σχέση με τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής.



**Σχήμα 2.2. 15 Ανάπτυξη ελλειπτικού κώνου**

Έστω ένας κατακόρυφος άξονας, που διέρχεται από το κέντρο της έλλειψης αναφοράς, τότε οι τομές του ορθού ελλειπτικού κώνου με επίπεδα κάθετα στον άξονα είναι ελλείψεις με γενική εξίσωση  $\frac{(x-a')^2}{a^2} + \frac{(y-b')^2}{b^2} = 1$ , όπου  $a', b'$  η τετμημένη και η τεταγμένη του κέντρου της έλλειψης (ή του άξονος περιστροφής) και  $a, b$  οι ημιάξονες της αρχικής έλλειψης (έλλειψη αναφοράς). Σημειώνεται ότι η κλίση της επιφάνειας του κώνου αλλάζει από σημείο σε σημείο και για τις ευθείες που ενώνουν τις κορυφές των διαδοχικών ελλείψεων ισχύει  $k_r = \frac{c'}{l_{r,0}}$ , όπου  $l_{r,0}$  η αρχική τιμή του  $a$  ή  $b$  στην έλλειψη αναφοράς (σχήμα 2.2.15). Η συνάρτηση μεταβολής των ημιαξόνων κάθε έλλειψης

προέρχεται από την μετατροπή, της υψομετρικής διαφοράς του επιπέδου της έλλειψης με τη κορυφή του κώνου, σε αξονική απόσταση μέσω της κλίσης της ευθείας στα δεδομένα σημεία και έχει μορφή  $l_r = k_r(z - c)$  ή  $l_r = l_{r,0} \frac{z - c}{c'}$ , όπου  $l_r = a$  ή  $b$ , και  $c$  η κατηγμένη της έλλειψης αναφοράς. Πλέον με αντικατάσταση της εξίσωσης των ημιαξόνων στην εξίσωση της έλλειψης, προκύπτει η εξίσωση της κωνικής επιφάνειας, άρα

$$\frac{(x - a')^2}{(a_0 \frac{z - c}{c'})^2} + \frac{(y - b')^2}{(b_0 \frac{z - c}{c'})^2} = 1^1.$$

Το μήκος των δύο ημιαξόνων  $a, b$  κάθε έλλειψης που παράγεται από την τομή του κατακόρυφου κώνου με οριζόντιο επίπεδο σε ύψος  $h$ , αλλάζει με τρόπο που να διατηρείται η αρχική αναλογία των μηκών. Δηλαδή

$$\frac{a}{b} = \frac{a_0 \frac{h - c}{c'}}{b_0 \frac{h - c}{c'}} = \frac{a_0}{b_0}$$

Αυτό σημαίνει ότι τα ευθύγραμμα τμήματα που ενώνουν διαδοχικά τις κορυφές των ελλείψεων ανήκουν στο ίδιο επίπεδο.

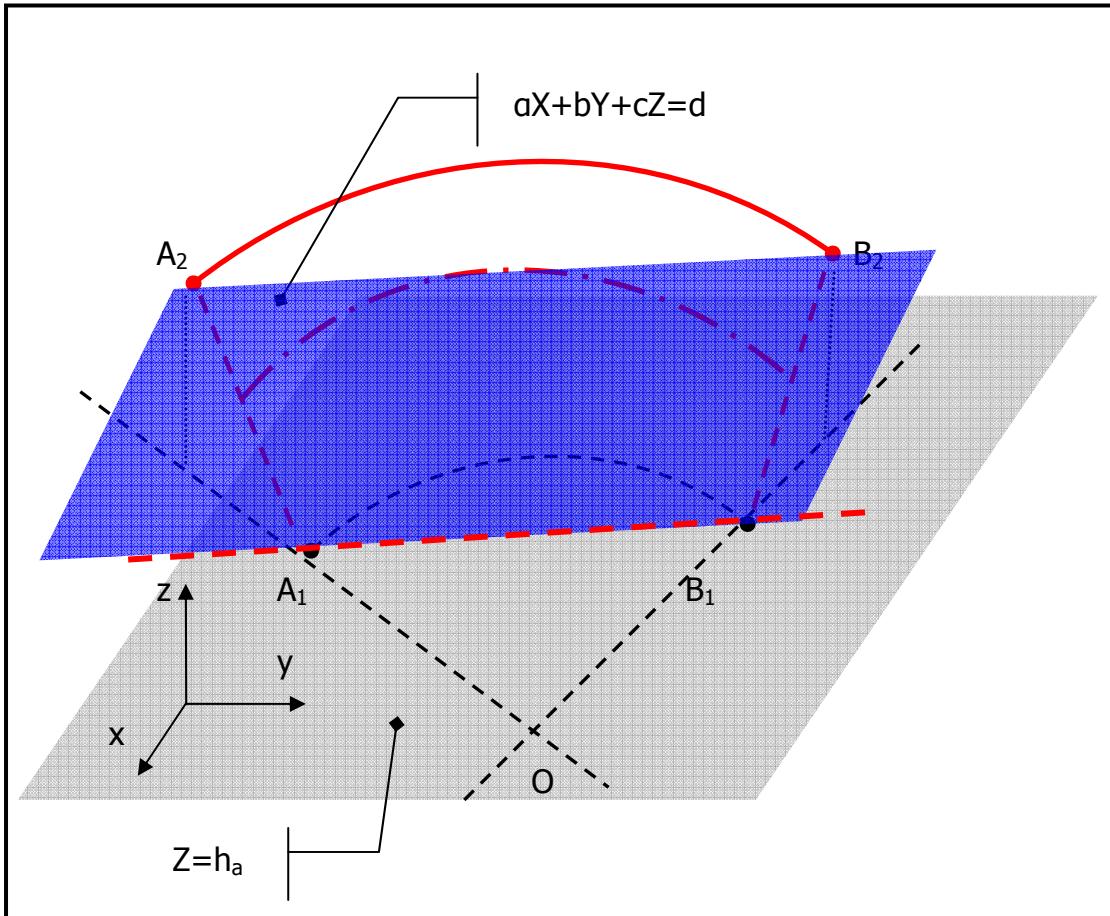
### 2.2.3.1 Μαθηματική Προσομοίωση

Η εξίσωση που περιγράφει τον ορθό ελλειπτικό κώνο είναι αρκετά περίπλοκη και το ενδιαφέρον εστιάζεται σε ένα τμήμα της εξωτερικής επιφάνειας, που αντιστοιχεί στο ανάπτυγμα από την μετατόπιση του ευθύγραμμου τμήματος επί ενός τεταρτημορίου της έλλειψης. Επιπλέον τα όρια της επιφάνειας ορίζονται από τις τομές της επιφάνειας με τις γειτονικές της, οπότε το σύστημα απλοποιείται με την χρήση επιπέδων.

Έτσι είναι χρήσιμο να οριστεί ένα κεκλιμένο ή μη, επίπεδο από τον γεωμετρικό τόπο των ευθύγραμμων τμημάτων που ενώνουν τις κορυφές του

<sup>1</sup> Ιωακείμ Γρυσπολάκης, Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός II, Επιφάνειες δευτέρου βαθμού, σελ 31

τεταρτημορίου κάθε έλλειψης που διαγράφεται από την τομή του κατακόρυφου κώνου με οριζόντια επίπεδα σε διάφορα υψόμετρα.

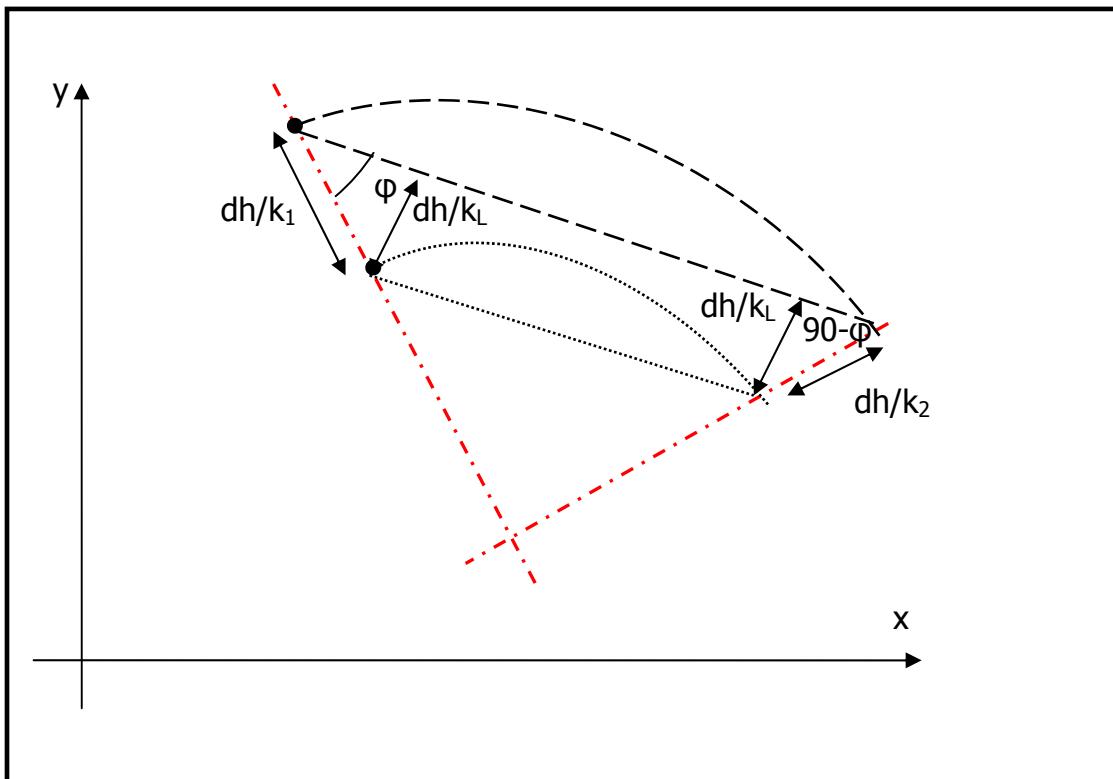


**Σχήμα 2.2. 16 Χαρακτηριστικό (κεκλιμένο) επίπεδο ελλειπτικού κώνου**

Από το σχήμα 2.2.17, των προβολών δύο ελλειπτικών τεταρτημορίων του κώνου σε διαφορετικό υψόμετρο στο ίδιο παράλληλο επίπεδο, αποδεικνύεται ότι η κλίση του επιπέδου,  $k_L$ , συνδέεται με την κλίση της επιφάνειας του κώνου στις κορυφές της έλλειψης μέσω των σχέσεων :

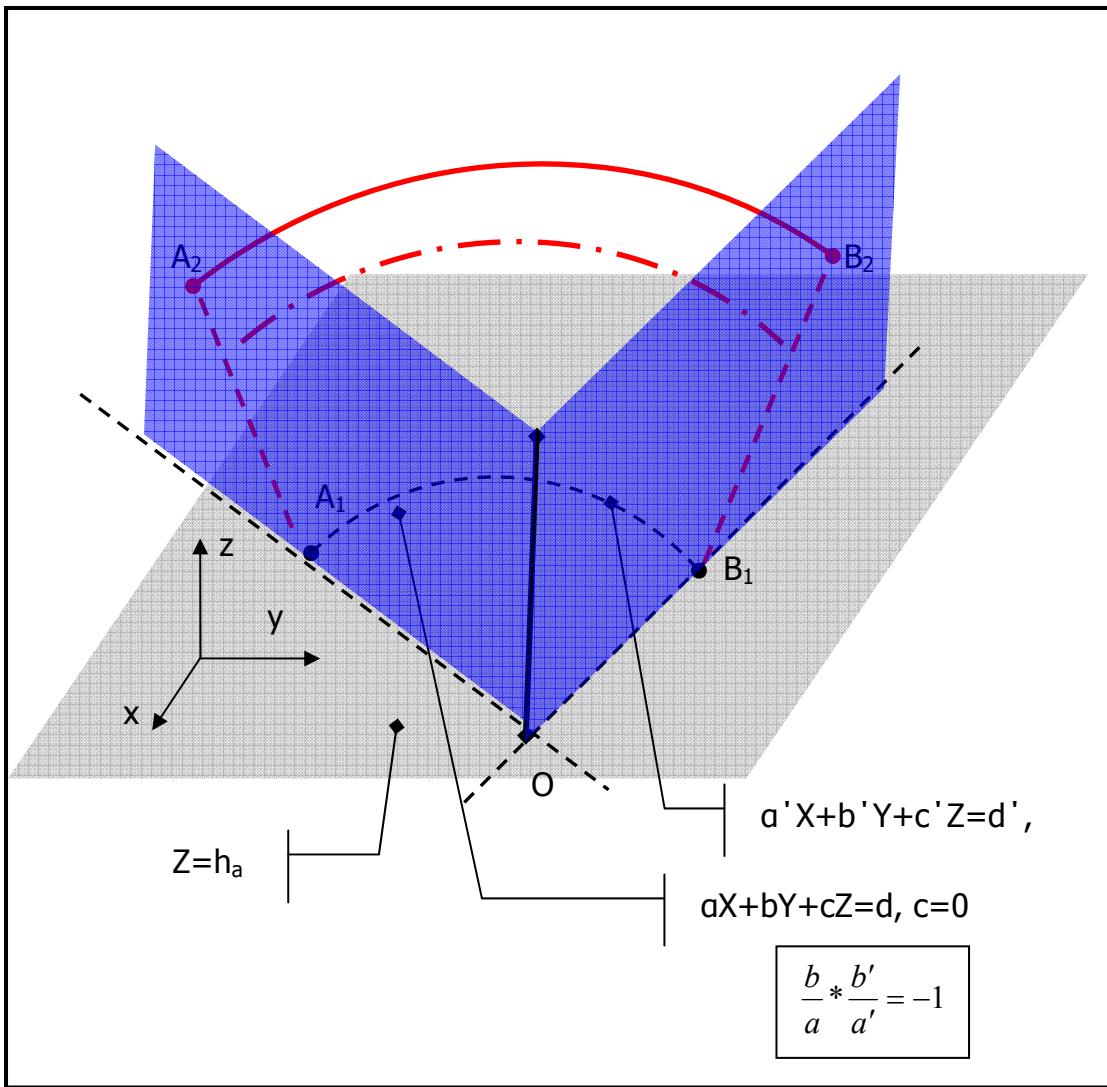
$$\sin(\phi) = \frac{dh/k_L}{dh/k_1} \quad \text{&} \quad \sin(\phi) = \frac{k_1}{k_L} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 28})$$

$$\sin(90 - \phi) = \frac{dh/k_L}{dh/k_2} \quad \text{&} \quad \cos(\phi) = \frac{k_2}{k_L} \quad (\text{Εξίσωση 2.2. 29})$$



**Σχήμα 2.2. 17 Απεικόνιση της διαφοράς κλίσης μεταξύ του τρήματος της επιφάνειας του ορθού ελλειπτικού κώνου και του επιπέδου των ευθύγραμμων τμημάτων των κορυφών της έλλειψης**

Συμπληρωματικά ορίζονται δύο κατακόρυφα επίπεδα, που αντιστοιχούν στο γεωμετρικό τόπο των ημιαξόνων των ελλειπτικών τεταρτημορίων που διαγράφονται από την τομή του κατακόρυφου κώνου με οριζόντια επίπεδα σε διάφορα υψόμετρα. Τα επίπεδα αυτά είναι κατακόρυφα, επειδή οι συντεταγμένες  $x, y$  του κέντρου κάθε ελλειπτικού τομέα είναι ίδιες μεταξύ τους, ως αποτέλεσμα της κατακόρυφης ανάπτυξης του κώνου.



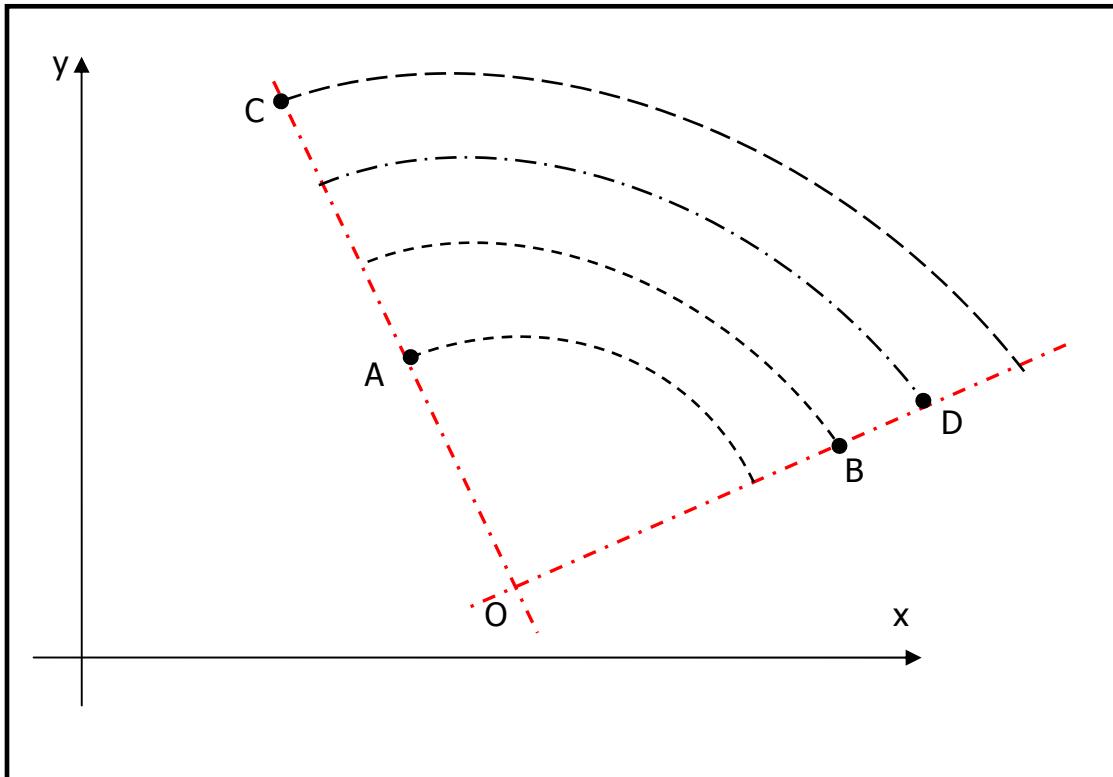
**Σχήμα 2.2. 18 Χαρακτηριστικά, κάθετα επίπεδα ελλειπτικού κώνου**

Οι εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.26 χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των εξισώσεων των ζητουμένων επιπέδων και πλέον το ενδιαφέρον εστιάζεται στην εύρεση των λοιπών γεωμετρικών στοιχείων του αναπτύγματος, όπως της γωνίας του κυκλικού τομέα, των τιμών της ακτίνας σε διάφορα ύψη και των συντεταγμένων  $x, y$  του άξονος περιστροφής. Σημειώνεται ότι η κλίση των επιπέδων μαθηματικά είναι μηδέν, αλλά για πρακτικούς λόγους θεωρείται ίση με το μηδέν.

### 2.2.3.2 Φυσικές επιφάνειες

Στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής επισημαίνονται δύο σημεία της κεκλιμένης επιφάνειας του κώνου στην βάση του XYTA  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,

$B(x_2, y_2, z_2)$  και δύο σημεία που ανταποκρίνονται στα όρια φυσικής ανάπτυξης της επιφάνειας  $C(x_3, y_3, z_3), D(x_4, y_4, z_4)$ . Όλα τα σημεία, σύμφωνα με την παραδοχή της ελεύθερης και ανεπηρέαστης ανάπτυξης των καμπύλων επιφανειών, ανήκουν στα χαρακτηριστικά επίπεδα του ελλειπτικού κώνου και οι δύο ευθείες, που ορίζονται από τις προβολές των τεσσάρων σημείων στο ίδιο επίπεδο αναφοράς, τέμνονται επί του άξονος περιστροφής.



**Σχήμα 2.2.19 Προβολική απεικόνιση πιθανής διάταξης συντεταγμένων φυσικής επιφάνειας ελλειπτικού κώνου**

Έστω η τυχαία διάταξη των σημείων  $A, B, C, D$  του σχήματος 2.2.19. Το σημείο τομής των ευθειών, στις οποίες ανήκουν τα σημεία  $A, C$  και  $D, B$  αντίστοιχα, είναι το κέντρο,  $O$ , του κυκλικού τομέα στο  $x, y$  επίπεδο (ή η τετμημένη και η τεταγμένη του άξονος περιστροφής). Επιπλέον η γωνία των δύο ευθειών είναι η γωνία του ελλειπτικού τομέα. Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.9 υπολογίζονται το κέντρο και η γωνία του ελλειπτικού τομέα και κατ' επέκταση ο άξονας περιστροφής και το εύρος του κώνου.

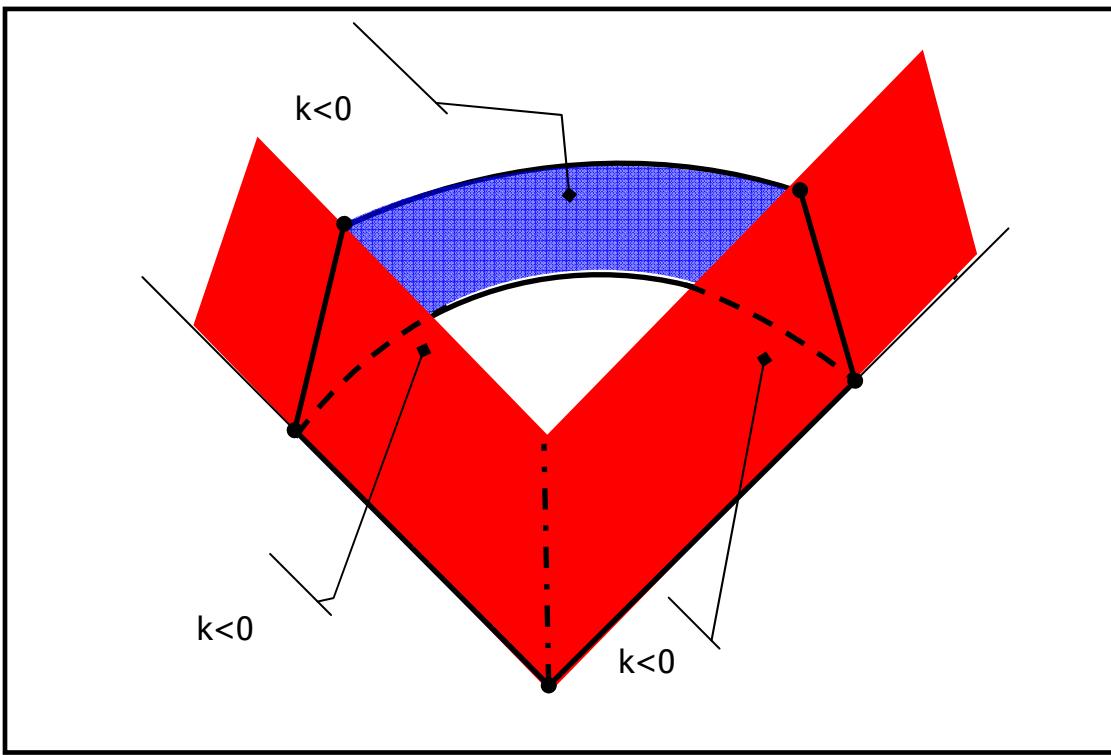
### **2.2.3.3 Τεχνητές Επιφάνειες/Αναβαθμίδες**

Στην κατασκευή αναβαθμίδων με επιφάνεια ορθού, ελλειπτικού κώνου επισημαίνονται, επί του τοπογραφικού χάρτη, δύο γνωστά σημεία της βάσης,  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$  και εφαρμόζεται συγκεκριμένη κλίση πρανών,  $k$ . Όμως τα δεδομένα αυτά δεν επαρκούν για τον προσδιορισμό των επιπέδων των ημιαξόνων, επειδή σύμφωνα με τις εξισώσεις 2.2.28 – 2.2.29 υπάρχει πληθώρα συνδυασμών των δύο κάθετων ημιαξόνων. Έτσι απαιτείται ο καθορισμός της του άξονος περιστροφής. Οι συντεταγμένες  $x, y$  του άξονος περιστροφής θεωρούνται δεδομένες, γιατί κατά την μετάβαση από φυσικές σε τεχνητές επιφάνειες ο άξονας περιστροφής δεν μετατοπίζεται ή απουσία προηγούμενης όμοιας, φυσικής επιφάνειας, επιλέγονται για λόγους κοινής περιγραφής της περιοχής.

Τα επίπεδα των ημιαξόνων υπολογίζονται από τις εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.9 με δεδομένα τα σημεία  $A, B$  και τις  $x, y, z$  συντεταγμένες των κέντρων δύο νοητών ελλειπτικών τεταρτημορίων, που διαφέρουν  $h$  μεταξύ τους επί του άξονος περιστροφής στον οποίο ανήκουν.

### **2.2.4 Τεχνητές Επιφάνειες/Αναβαθμίδες-Εξαιρέσεις**

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται σε κεκλιμένα επίπεδα που αναπτύσσονται επί της αξονοκεντρικής διεύθυνσης, πριν ή μετά από μια φυσική, καμπύλη κεκλιμένη επιφάνεια για την στήριξη των πρανών (Σχήμα 2.2.20).



**Σχήμα 2.2. 20 Κατασκευή τεχνητής («αρνητική» κλίση) επιφάνεια επί της αξονοκεντρικής διεύθυνσης της επιφάνειας κώνου**

Προφανώς τέτοια επίπεδα τέμνουν την καμπύλη επιφάνεια εσωτερικά αυτής και δεν ισχύει η υπόθεση της ανεπηρέαστης ανάπτυξης καμπύλων επιφανειών. Επιπλέον συχνά εμφανίζονται με μηδενικό αρχικό μήκος τομής με το επίπεδο της βάσης του XYTA και οι υπολογισμοί στην περιοχή τομής γίνονται προσεγγιστικά. Σε κάθε περίπτωση περιλαμβάνουν ένα σημείο της βάσης του XYTA, το αντίστοιχο σημείο-όριο ανάπτυξης της επιφάνειας, μετά από προβολή του στο ίδιο υψόμετρο και το σημείο τομής του άξονος περιστροφής της καμπύλης, φυσικής επιφάνειας με το επίπεδο της βάσης του XYTA, πάντα στο ίδιο υψόμετρο.

Πλέον οι εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.9 εφαρμόζονται για τον υπολογισμό των εξισώσεων των συγκεκριμένων επιφανειών.

## **2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ**

### **2.3.1 Εισαγωγή**

Το ανάπτυγμα ενός XYTA που χρειάζεται να υπολογιστεί κάθε φορά σε διαφορετικά υψόμετρα εξαρτάται άμεσα από το είδος των επιφανειών που ορίζουν περιμετρικά τον χώρο. Τα στοιχεία που απαιτούνται για την πλήρη περιγραφή του χώρου σε δεδομένο υψόμετρο είναι

- ✓ ο όγκος του χώρου
- ✓ το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας
- ✓ οι συντεταγμένες των ορίων κάθε επιφάνειας

Ο τρόπος που εξετάζεται η μεταβολή των τριών παραμέτρων του συστήματος είναι στην τομή δύο επιφανειών για κεκλιμένα επίπεδα, ενώ για επιφάνειες που αποτελούν τμήματα κώνων, επειδή εφαρμόζεται η απλοποίηση της ανεπηρέαστης ανάπτυξής τους, είναι μεμονωμένα στην επιφάνεια αυτή με μετέπειτα διερεύνηση του συστήματος για τομές με επίπεδα. Οι τομές μεταξύ επιφανειών κώνων δεν προκαλούν καμιά μεταβολή στο τρόπο μεταβολής λόγω της προαναφερθείσας απλοποίησης.

Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι η γεωμετρική συνέχεια του χώρου, η χρήση προκαθορισμένων σχημάτων για την περιγραφή της ελεύθερης επιφάνειας και η καθοριστική επίδραση της σταθερής κλίσης των επιπέδων ή επιφανειών που ορίζουν το ανάπτυγμα του χώρου οδηγούν σε ισόμορφες μεταβολές της αρχικής επιφανείας. Δηλαδή αν και τα μήκη των πλευρών είναι δυνατόν να μεταβάλλονται με διαφορετικό τρόπο, ωστόσο οι γωνίες του σχήματος της ελεύθερης επιφανείας δεν αλλάζουν διατηρώντας την μορφή της επιφάνειας της βάσης ή σε ορισμένες εξαιρέσεις της αμέσως επόμενης επιφάνειας που προέκυψε.

#### **2.3.1.1 Εμβαδόν ελεύθερης επιφανείας**

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να περιγραφτεί ο τρόπος μεταβολής της επιφάνειας συναρτήσει του ύψους. Μετά από διερεύνηση του συστήματος προέκυψε ότι για την απλούστερη και πιο σύντομη περιγραφή πρέπει να χρησιμοποιείται η αρχική επιφάνεια της βάσης μέσω της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο της

ελεύθερης επιφάνειας και έπειτα να υπολογίζονται οι αυξομειώσεις της ελεύθερης επιφάνειας, σε σχέση με την προβολή της επιφάνειας της βάσης, από τις κεκλιμένες επιφάνειες εξ αιτίας του ύψους.

### **2.3.1.2 Όγκος του χώρου**

Ο τρόπος που μεταβάλλεται η ελεύθερη επιφάνεια σε σχέση με το ύψος εξ αιτίας των κεκλιμένων επιφανειών οδηγεί έπειτα στην μαθηματική σχέση με την οποία υπολογίζεται ο όγκος του χώρου. Η γενική σχέση δίνεται από την εξίσωση 2.3.1<sup>I</sup>.

$$V(h) = \int_o^{h_1} E(h) dh \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 1})$$

όπου

$E(h)$  : το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας, που δίνεται συναρτήσει του ύψους

$h_1$  : το ύψος μέχρι το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε τον όγκο του δεδομένου χώρου

Η μεθοδολογία που ακολουθεί στις επόμενες ενότητες εστιάζεται στην κατασκευή της συνάρτησης του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας ως ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού σε σχέση με το ύψος :

$$E(h) = E_0 + S_1 h + S_2 h^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 2})$$

όπου

$h$  : το ύψος του χώρου, η μεταβλητή του συστήματος

$E_0$  : το εμβαδόν της προβολής της επιφάνειας της βάσης στο οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας

$S_1, S_2$  : σταθερές ανεξάρτητες του ύψους

---

<sup>I</sup>Ιωακείμ Γρυσπολάκης, Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός I, Εφαρμογές του ορισμένου ολοκληρώματος, σελ 156

Με εφαρμογή της εξίσωσης 2.3.2 βρίσκεται ο ζητούμενος όγκος από την επιφάνεια της βάσης μέχρι το δεδομένο ύψος  $h_1$ .

$$V = \int_0^{h_1} E(h) dh \Rightarrow V = \int_0^{h_1} (E_0 + S_1 h + S_2 h^2) dh \Rightarrow$$

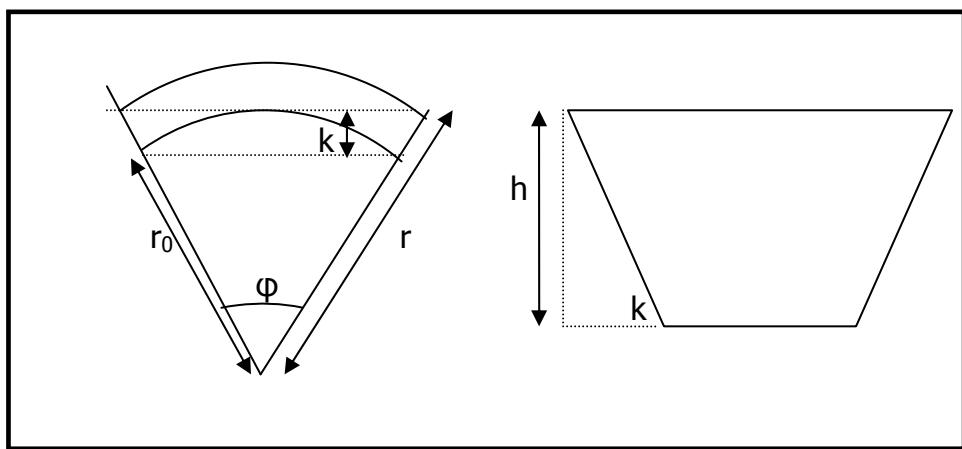
$$V = E_0 h_1 + S_1 \frac{h_1^2}{2} + S_2 \frac{h_1^3}{3} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 3})$$

### 2.3.1.3 Συντεταγμένες ορίων κάθε επιφάνειας του χώρου

Οι συντεταγμένες των ορίων κάθε κεκλιμένης επιφάνειας περιμετρικά του χώρου σε δεδομένο υψόμετρο δίνονται από την τομή των επιπέδων ή των χαρακτηριστικών επιπέδων για επιφάνειες κώνων, επιτρέποντας έτσι την εξαγωγή μιας κοινής επαναληπτικής σχέσης για τον προσδιορισμό τους.

### 2.3.2 Τμήμα Ορθού Κυκλικού Κώνου

Στην παρούσα μελέτη οι επιφάνειες που αποτελούν τμήματα κώνου θεωρείται ότι αναπτύσσονται χωρίς να αλληλεπικαλύπτονται με γειτονικές επιφάνειες. Στο πνεύμα αυτής της προσέγγισης το ανάπτυγμα του χώρου μέσω της προβολικής γεωμετρίας περιγράφεται στο ακόλουθο σχήμα.



**Σχήμα 2.3. 1 Προβολική ανάπτυξη του χώρου λόγω τμήματος της εξωτερικής επιφάνειας ορθού κυκλικού κώνου**

Το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας δίνεται από την σχέση :

$$E = \phi \pi r^2$$

όπου

$r$  η ακτίνα του κύκλου

$\phi$  η γωνία περιστροφής

Η μεταβολή λοιπόν της επιφάνειας από το ύψος προέρχεται από την μεταβολή της ακτίνας συναρτήσει του ύψους. Στην δεδομένη περίπτωση όπου σχηματίζεται ένα τρίμα ορθού κώνου υπό την επίδραση της σταθερής υψομετρικής κλίσης της περιοχής (για το κάτω μέρος του XYTA) ή της σταθερής κλίσης των πρανών (στα ανώτερη μέρη του XYTA), η ακτίνα, η επιφάνεια και τελικά ο όγκος μεταβάλλονται ως εξής :

$$k' = k \sin(90 - \frac{\phi}{2}) \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 4})$$

$$r = r_0 + \frac{h}{k'} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 5})$$

$$E(h) = \frac{\phi \pi r_0^2}{360} + \frac{2\phi \pi r_0}{360k'} h + \frac{\phi \pi}{360k'^2} h^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 6})$$

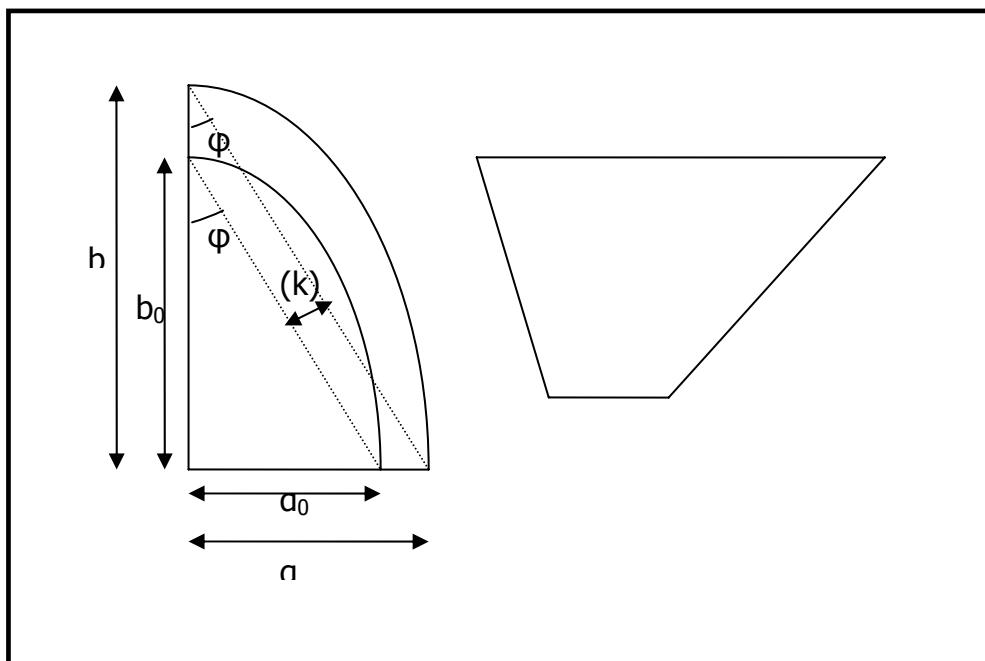
$$dV(h_1) = \frac{\phi \pi r_0^2 h_1}{360} + \frac{\phi \pi r_0}{360k'} h_1^2 + \frac{\phi \pi}{1080k'^2} h_1^3 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 7})$$

### **Παρατηρήσεις**

- Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για θετική κλίση, αλλά οι ίδιες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για αρνητικές κλίσεις.
- Ο όρος  $\frac{\phi \pi r_0^2}{360}$  στην εξίσωση 2.3.6 (του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας) αντιπροσωπεύει το εμβαδόν της προβολής της επιφάνειας της βάσης στο οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφανείας.
- Η χρήση της κλίσης του χαρακτηριστικού επιπέδου των χορδών σε ένα ορθό κυκλικό κώνο, επιτρέπει την ανεξαρτητοποίηση της μεταβολής της επιφάνειας από τις γειτονικές της και την καλύτερη προσέγγιση, βάση των δεδομένων πεδίου.

### 2.3.3 Τμήμα ελλειπτικού κώνου

Στην παρούσα μελέτη οι επιφάνειες που αποτελούν τμήματα κώνου θεωρείται ότι αναπτύσσονται χωρίς να αλληλεπικαλύπτονται με γειτονικές επιφάνειες. Στο πνεύμα αυτής της προσέγγισης το ανάπτυγμα του χώρου μέσω της προβολικής γεωμετρίας περιγράφεται στο ακόλουθο σχήμα.



**Σχήμα 2.3. 2 Προβολική ανάπτυξη του χώρου λόγω τμήματος της εξωτερικής επιφάνειας ελλειπτικού κώνου**

Η εξίσωση της έλλειψης δίνεται από την σχέση  $\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1$ . Το εμβαδόν ενός τεταρτημορίου μιας έλλειψης βρίσκεται αν επιλυθεί η προηγούμενη εξίσωση ως προς  $y$  και ολοκληρωθεί από μηδέν έως  $a$ , δηλαδή :

$$y = \left( b^2 - \frac{b^2}{a^2} x^2 \right)^{0.5} \quad \text{και} \quad E = \int_0^a \left( b^2 - \frac{b^2}{a^2} x^2 \right)^{0.5} dx$$

Η επίλυση του ολοκληρώματος γίνεται με την μέθοδο της αντικαταστάσεως. Έτσι θέτουμε  $X = a \sin(\theta)$ . Η αλλαγή μεταβλητής που πραγματοποιήθηκε επιβάλλει την αλλαγή των ορίων και του διαφορικού της ολοκλήρωσης.

$$x = a \sin(\theta) \begin{cases} \gamma \alpha, x = 0 \Rightarrow \sin(\theta) = 0 \Rightarrow \theta = 0 \\ \gamma \alpha, x = a \Rightarrow \sin(\theta) = 1 \Rightarrow \theta = \pi/2 \\ dx = a \cos(\theta) d\theta \end{cases}$$

Πλέον το ολοκλήρωμα γίνεται :

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} ab(\cos(\theta))^2 d\theta, \text{ αλλά } (\cos(\theta))^2 = \frac{\cos(2\theta) + 1}{2}, \text{ άρα}$$

$$E = \int_0^{\pi/2} ab[\cos(\theta)]^2 d\theta = \frac{ab}{2} \int_0^{\pi/2} [\cos(2\theta) + 1] d\theta \Rightarrow$$

$$E = \frac{\pi ab}{4} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 8})$$

Η εξάρτηση λοιπόν της ελεύθερης επιφάνειας από το ύψος προέρχεται από την εξάρτηση των παραμέτρων  $a$  και  $b$  από το ύψος. Η μελέτη του συγκεκριμένου συστήματος γίνεται υπό μεταβλητή υψομετρική κλίση της περιοχής, αλλά με υψομετρική σταθερή κλίση του επιπέδου των ευθυγράμμων τμημάτων που συνδέουν τις κορυφές του τεταρτημορίου της έλλειψης ( $k$ )<sup>1</sup>. Η αρχική τιμή των παραμέτρων  $a, b$  και τελικά ο όγκος μεταβάλλεται ως εξής :

$$a = a_0 + \frac{h}{k \sin(\phi)} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 9})$$

$$b = b_0 + \frac{h}{k \cos(\phi)} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 10})$$

$$E(h) = \frac{\pi a_0 b_0}{4} + \frac{\pi}{4k} \left( \frac{a_0}{\cos(\phi)} + \frac{b_0}{\sin(\phi)} \right) h + \frac{\pi}{8 \sin(2\phi) k^2} h^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 11})$$

$$dV(h_1) = \frac{\pi a_0 b_0}{4} h_1 + \frac{\pi}{8k} \left( \frac{a_0}{\cos(\phi)} + \frac{b_0}{\sin(\phi)} \right) h_1^2 + \frac{\pi}{24k^2 \sin(2\phi)} h_1^3 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 12})$$

---

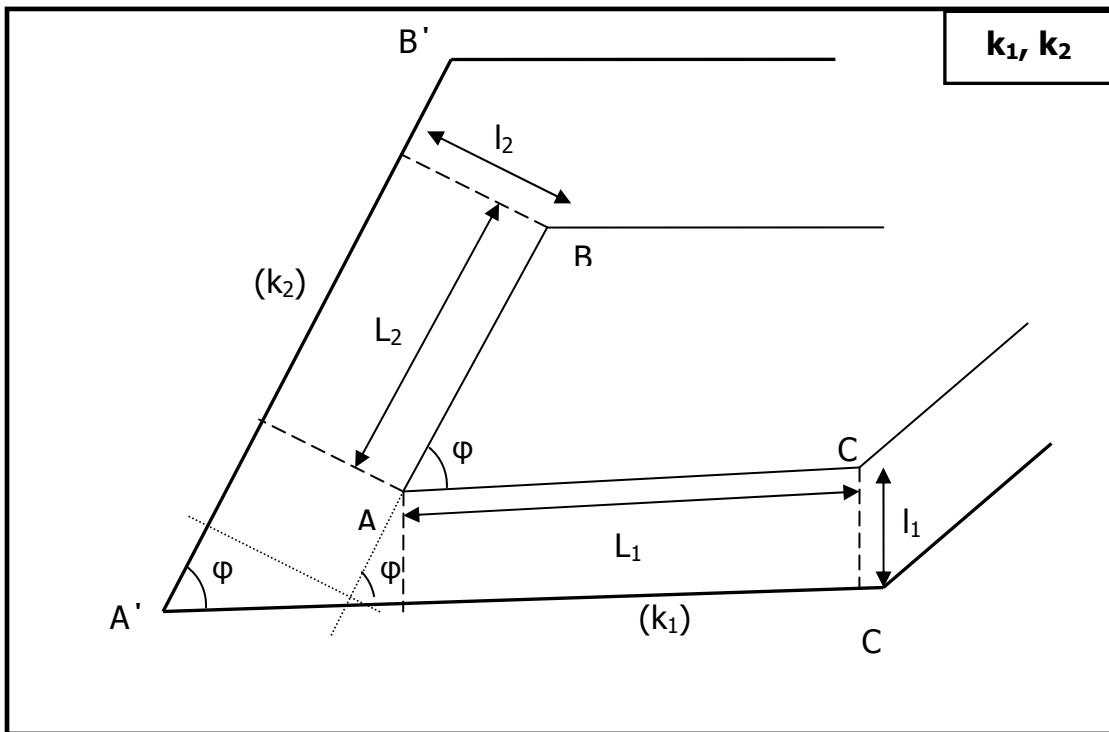
<sup>1</sup> Κεφάλαιο 2<sup>o</sup>, Εξισώσεις κεκλιμένων επιφανειών, Τμήμα επιφάνειας ελλειπτικού κώνου, Μαθηματική προσομοίωση

## **Παρατηρήσεις**

- Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για θετικές κλίσεις, αλλά οι ίδιες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για αρνητικές κλίσεις, αν εισαχθούν με το πρόσημό τους.
- Ο όρος  $\frac{\pi a_0 b_0}{4}$  στην εξίσωση 2.3.11 (του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας) αντιπροσωπεύει το εμβαδόν της προβολής της επιφάνειας της βάσης στο οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφανείας.
- Η χρήση της κλίσης του χαρακτηριστικού επιπέδου των ευθύγραμμων τμημάτων που ενώνουν τις κορυφές του τεταρτημορίου της έλλειψης σε ένα ορθό ελλειπτικό κώνο, επιτρέπει την ανεξαρτητοποίηση της μεταβολής της επιφάνειας από τις γειτονικές της και την καλύτερη προσέγγιση, βάση των δεδομένων πεδίου.

### **2.3.4 Κεκλιμένα επίπεδα**

Έστω ότι με  $A, B, C$  Ασυμβολίζεται η τομή των δύο κεκλιμένων επιπέδων με το οριζόντιο επίπεδο της βάσης και με  $A', B', C'$  η τομή τους με το οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας. Οι πολυγωνικές γραμμές  $AB - AC$ ,  $A'B' - A'B'$  σχηματίζουν την ίδια γωνία φ, που ισούται με την γωνία μεταξύ των δύο κεκλιμένων επιπέδων επί του ίδιου οριζόντιου επιπέδου αναφοράς (Σχήμα).



**Σχήμα 2.3. 3 Προβολική απεικόνιση της μεταβολής της επιφάνειας στην τομή των επιπέδων**

Αν από το σημείο  $A$  άγουμε τις κάθετες ( $l_i$ ) προς τα ευθύγραμμα τμήματα  $A'B'$  και  $A'C'$ , τότε το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$E = E_0 + L_1 l_1 + L_2 l_2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\tan(\phi)} l_1^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\tan(\phi)} l_2^2 + \frac{1}{\sin(\phi)} l_1 l_2$$

Η συσχέτιση των κάθετων τμημάτων,  $l_i$ , με το ύψος γίνεται μέσω της κλίσης των κεκλιμένων επιπέδων, ενώ η γωνία φ διατηρείται προφανώς σταθερή :

$$l_1 = \frac{h}{k_1} \quad \text{και} \quad l_2 = \frac{h}{k_2}$$

Πλέον το συνολικό εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας δίνεται από την σχέση:

$$E(h) = E_0 + \left( \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} \right) h + \left[ \frac{1}{2} \frac{1}{k_1^2 \tan(\phi)} + \frac{1}{2} \frac{1}{k_2^2 \tan(\phi)} + \frac{1}{k_1 k_2 \sin(\phi)} \right] h^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 13})$$

$$E(h) = E_0 h + \frac{1}{2} \left( \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} \right) h^2 + \\ + \frac{1}{3} \left[ \frac{1}{2} \frac{1}{k_1^2 \tan(\phi)} + \frac{1}{2} \frac{1}{k_2^2 \tan(\phi)} + \frac{1}{k_1 k_2 \sin(\phi)} \right] h^3$$

(Εξίσωση 2.3. 14)

Τα μήκη των ευθυγράμμων τμημάτων  $A'B'$  και  $A'C'$  υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$L'_1 = L_1 + l_1 \frac{1}{\tan(\phi)} + l_2 \frac{1}{\sin(\phi)}$$

(Εξίσωση 2.3. 15)

$$L'_2 = L_2 + l_2 \frac{1}{\tan(\phi)} + l_1 \frac{1}{\sin(\phi)}$$

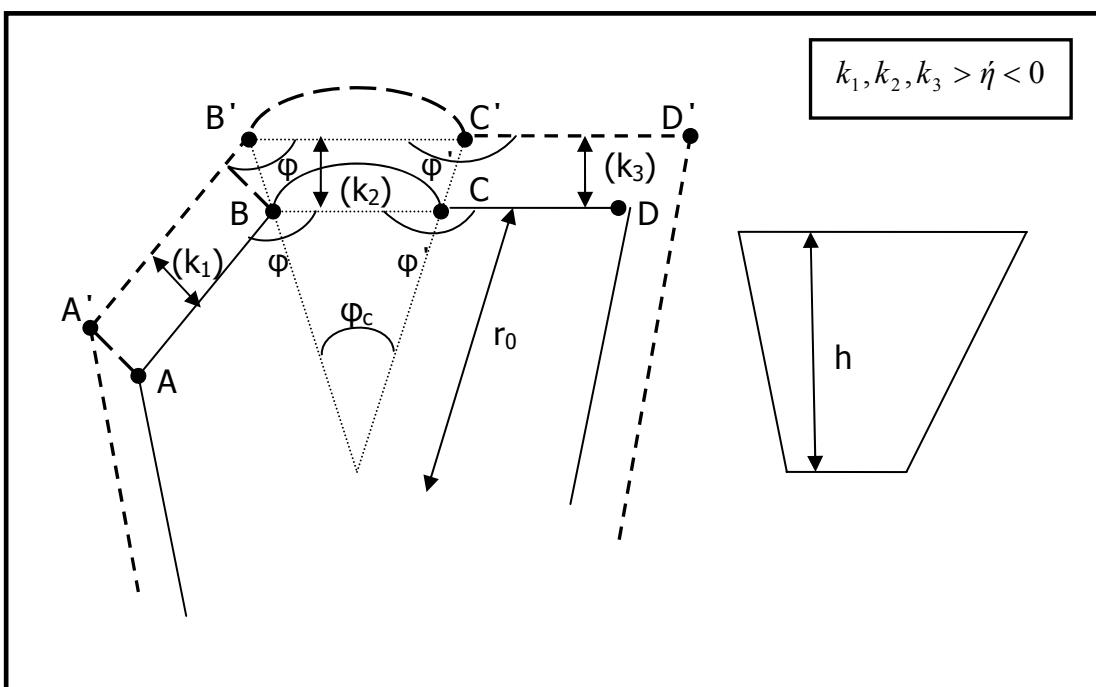
(Εξίσωση 2.3. 16)

### Παρατηρήσεις

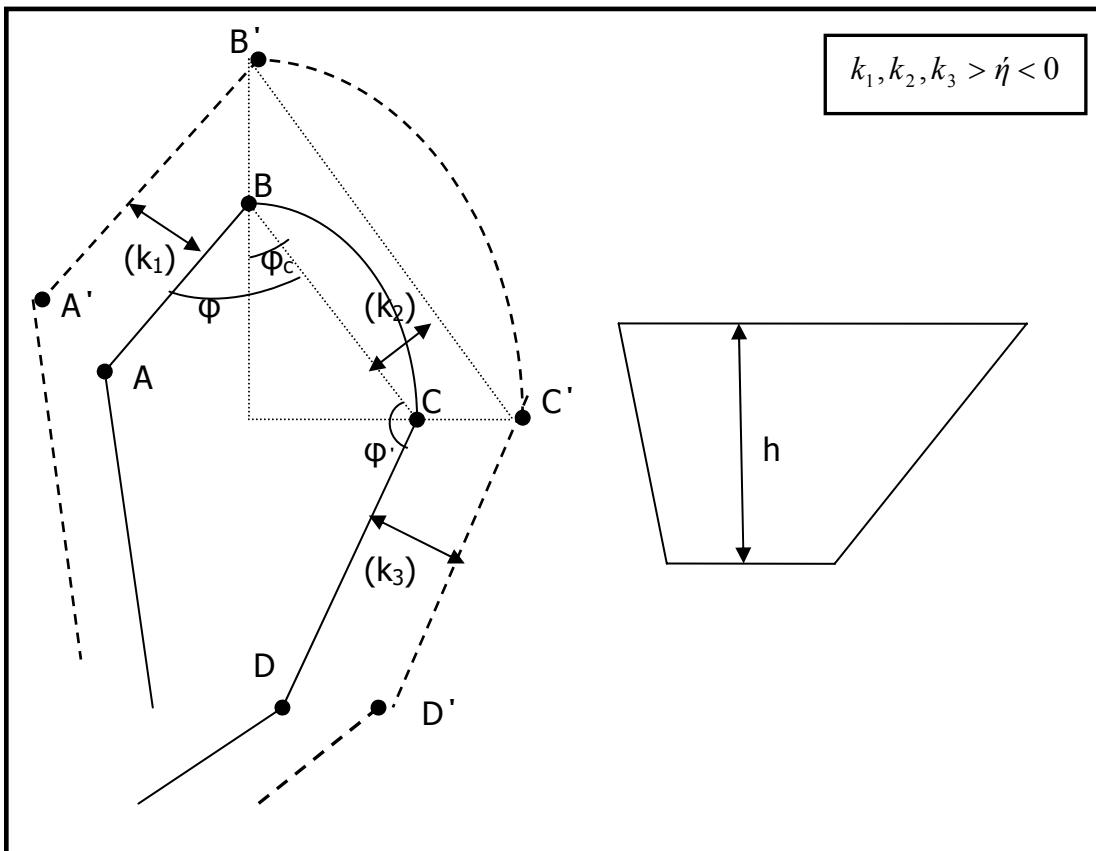
- Όταν οι κλίσεις των πλευρών έχουν αρνητική τιμή, όπως συμβαίνει στο ανώτερο τμήμα του XYTA για την στήριξη των πρανών, δεν παρουσιάζεται κάποια ανωμαλία στις προηγούμενες μαθηματικές εκφράσεις, αν οι παράμετροι των κλίσεων ( $k$ ) εισαχθούν στην εξίσωση με το πρόσημό τους.
- Η γωνία μεταξύ δύο επιπέδων μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 0 και  $360^\circ$ , γιατί οι αλλαγές που επιφέρει ρυθμίζονται απευθείας από την εφαπτομένη και το ημίτονο της γωνίας που χρησιμοποιείται στην μαθηματική έκφραση.
- Ο όρος  $E_0$  στην εξίσωση 2.3.13 (του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας) αντιπροσωπεύει το εμβαδόν της προβολής της επιφάνειας της βάσης στο οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφανείας.

### 2.3.5 Κεκλιμένα επίπεδα και εξωτερικές επιφάνειες κώνων

Έστω μια επιφάνεια κώνου που γειτνιάζει δεξιά και αριστερά με κεκλιμένα επίπεδα (με ίδια κατά πρόσημο κλίση) και με  $A, B, C, D$  συμβολίζεται η τομή των κεκλιμένων επιφανειών με το οριζόντιο επίπεδο της βάσης, ενώ με  $A', B', C', D'$  η τομή τους με το οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας (Σχήματα 2.3.4 και 2.3.5). Οι πολυγωνικές γραμμές  $AB - BC - CD$ ,  $A'B' - B'C' - C'D'$  σχηματίζουν τις ίδιες γωνίες  $\phi, \phi'$ , που ισούνται με την γωνία μεταξύ των κεκλιμένων επιφανειών σε οριζόντιο επίπεδο αναφοράς.



**Σχήμα 2.3.4 Προβολική απεικόνιση της τομής ενός κεκλιμένου επιπέδου και εξωτερικής επιφάνειας κυκλικού κώνου**



### **Σχήμα 2.3. 5 Προβολική απεικόνιση της τομής ενός κεκλιμένου επιπέδου και εξωτερικής επιφάνειας ελλειπτικού κώνου**

Η ιδιομορφία της συγκεκριμένης περίπτωσης εντοπίζεται στην περιοχή της τομής των κεκλιμένων επιπέδων με τις επιφάνειες κώνων και έγκειται στη προσέγγιση ότι οι επιφάνειες κώνων αναπτύσσονται χωρίς να επηρεάζονται από τα γειτονικά επίπεδα, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στα σχήματα 2.3.4 και 2.3.5.

Η μεταβολή του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας και έπειτα του όγκου σε ύψος  $h_1$ , ακριβώς στην τομή των κεκλιμένων επιπέδων με τις επιφάνειες κώνων, λόγω της αλληλεπίδρασής τους δίνεται από τις επόμενες σχέσεις :

*Τουμή κεκλιμένων επιπέδων με επιφάνεια ορθού κυκλικού κώνου*

$$E(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{k_1^2 \tan(\phi + \phi_c / 2 - 90)} h^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{k_3^2 \tan(\phi' + \phi_c / 2 - 90)} h^2 \quad (\text{Εξισωση 2.3. 17})$$

$$dV(h_1) = \frac{1}{6} \frac{1}{k_1^2 \tan(\phi + \phi_c / 2 - 90)} h_1^3 + \frac{1}{6} \frac{1}{k_2^2 \tan(\phi' + \phi_c / 2 - 90)} h_1^3 \quad (\text{Εξισωση 2.3. 18})$$

*Τομή κεκλιμένων επιπέδων με επιφάνεια ορθού ελλειπτικού κώνου*

$$E(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{k_1^2 \tan(\phi - \phi_c)} h^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{k_3^2 \tan(\phi' - \phi_c + 90)} h^2 \quad (\text{Εξισωση 2.3. 19})$$

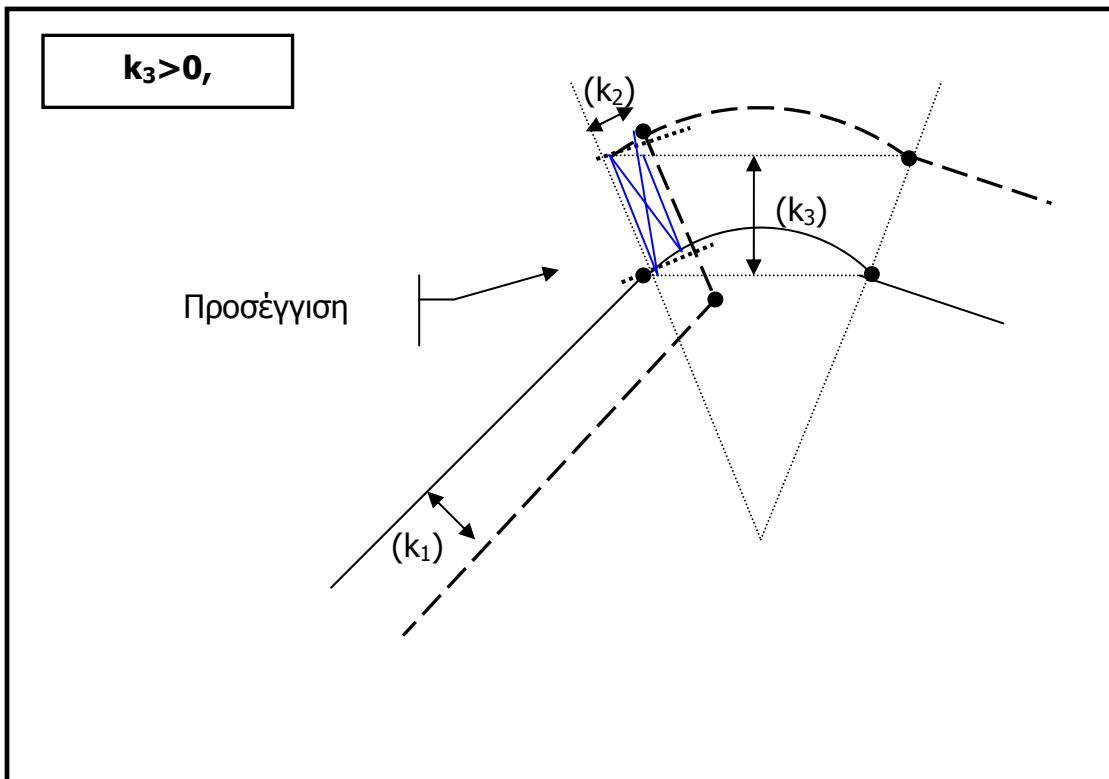
$$dV(h_1) = \frac{1}{6} \frac{1}{k_1^2 \tan(\phi - \phi_c)} h_1^3 + \frac{1}{6} \frac{1}{k_3^2 \tan(\phi' - \phi_c + 90)} h_1^3 \quad (\text{Εξισωση 2.3. 20})$$

### **Παρατηρήσεις**

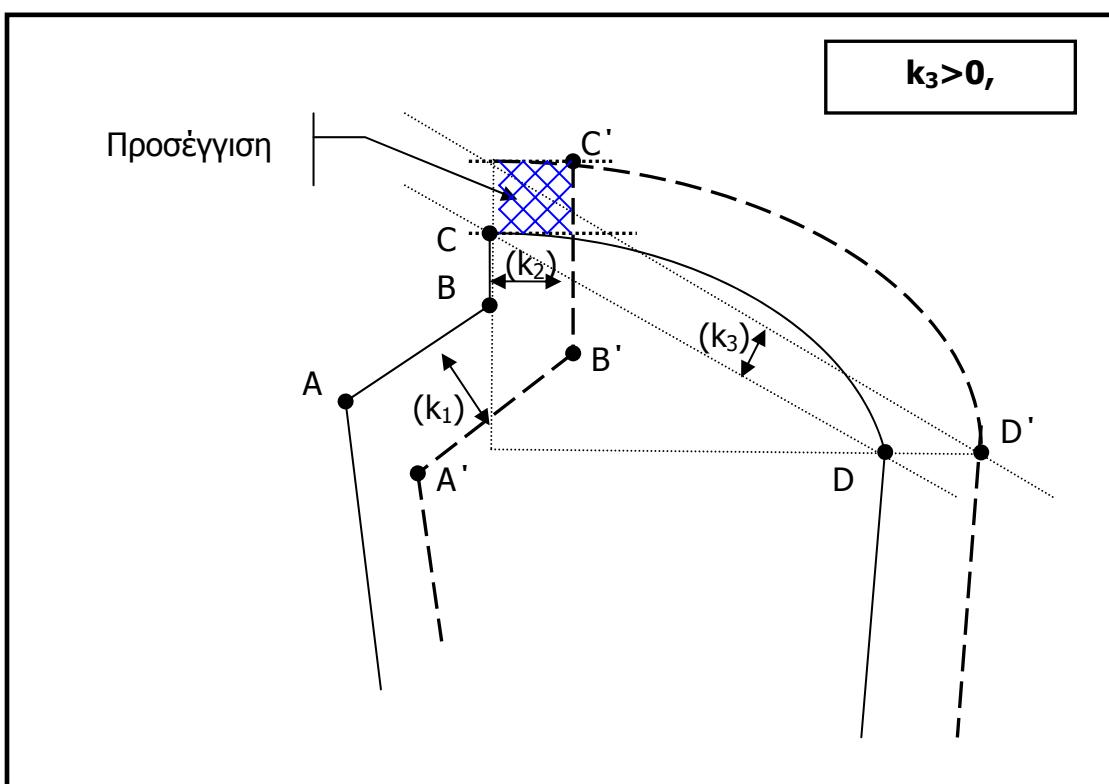
- Επειδή στα επίπεδα το μήκος της προβολής της τομής του επιπέδου με το επίπεδο της βάσης στο οριζόντιο επίπεδο αναφοράς πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα  $\frac{h}{k}$ , η μεταβολή της ελεύθερης επιφάνειας και του όγκου που περιγράφεται από τις εξισώσεις 2.3.17 – 2.3.20 είναι κοινή για αρνητικές και θετικές κλίσεις των επιφανειών.
- Η συνάρτηση της εφαπτομένης ρυθμίζει αυτόματα το πρόσημο της μεταβολής, όταν οι γωνίες που εισάγονται είναι μεγαλύτερες των  $180^\circ$ .

### **Εξαιρέσεις**

Η προηγούμενη μεθοδολογία αναπτύχθηκε για επιφάνειες που μεταβάλλονται υπό την επίδραση ίδιας κατά πρόσημο, αλλά διαφορετικής κατά απόλυτη τιμή, κλίσης. Όμως, ενδεχομένως, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα γειτονικά επίπεδα μιας επιφάνειας κώνου έχουν αρνητική κλίση για την στήριξη των πρανών. Η μέγιστη αξιοποίηση της διαθέσιμης επιφάνειας πραγματοποιείται όταν συμπληρωματικά κεκλιμένα επίπεδα αναπτύσσονται επί της αξονοκεντρικής διεύθυνσης της επιφάνειας κώνου (Σχήματα 2.3.6 και 2.3.7).



**Σχήμα 2.3. 6 Προβολική απεικόνιση της μεταβολής της ελεύθερης επιφάνειας στην τομή κεκλιμένου επιπέδου και επιφάνειας ορθού κυκλικού κώνου**



**Σχήμα 2.3. 7 Προβολική απεικόνιση της μεταβολής της ελεύθερης επιφάνειας στην τομή κεκλιμένου επιπέδου και επιφάνειας ορθού ελλειπτικού κώνου**

Στα σχήματα 2.3.6 και 2.3.7 επισημαίνεται η προσέγγιση που πρέπει να εφαρμοστεί για το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας. Έτσι, χωρίς σημαντικό σφάλμα, η γραμμοσκιασμένη επιφάνεια (μπλε) είναι ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Το μήκος του είναι ίσο με  $\frac{h}{k_2}$ , ενώ το πλάτος εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας κώνου. Πλέον οι σχέσεις που δίνουν την μεταβολή του εμβαδού στην περιοχή της τομής είναι :

*Τομή κεκλιμένου επιπέδων με επιφάνεια ορθού κυκλικού κώνου*

$$\text{Πλάτος} = \frac{h}{k_3 \sin(90 - \phi/2)} \quad (\text{δηλαδή κατά προσέγγιση η μεταβολή του μήκους της ακτίνας})$$

$$E(h) = \frac{1}{k_2 k_3 \sin(90 - \phi/2)} h^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 21})$$

$$dV(h_1) = \frac{1}{3} \frac{1}{k_2 k_3 \sin(90 - \phi/2)} h_1^3 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 22})$$

*Τομή κεκλιμένου επιπέδων με επιφάνεια ορθού ελλειπτικού κώνου*

$$\text{Πλάτος} = \frac{h}{k_3 \sin(\phi)} \quad (\text{δηλαδή κατά προσέγγιση η μεταβολή του μήκους του ημιάξονα})$$

$$E(h) = \frac{1}{k_2 k_3 \sin(\phi)} h^2 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 23})$$

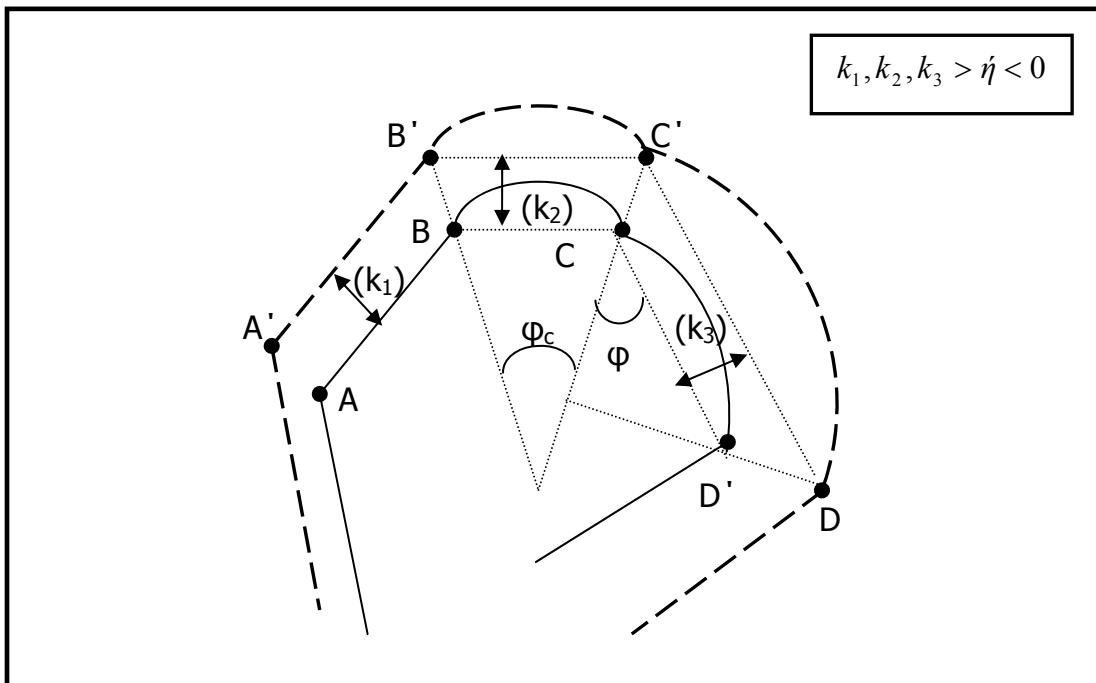
$$dV(h_1) = \frac{1}{3} \frac{1}{k_2 k_3 \sin(\phi)} h_1^3 \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 24})$$

### **Παρατηρήσεις**

- Επειδή  $k_2 < 0$  και  $k_3 > 0$ , οι εξισώσεις 2.3.21 – 2.3.24 έχουν αρνητική τιμή.

### 2.3.6 Τομές επιφανειών κώνων

Οι επιφάνειες κώνων θεωρείται ότι αναπτύσσονται χωρίς να αλληλεπικαλύπτονται (Σχήμα 2.3.8) απλώς μπορούν να αθροιιστούν οι εξισώσεις κάθε είδους και να προκύψει μια συνολική έκφραση.



**Σχήμα 2.3.8 Προβολική απεικόνιση τομής δύο επιφανειών κώνων**

### Παρατηρήσεις

- Μια απλοποίηση που εφαρμόζεται είναι ότι οι κλίσεις των γειτονικών επιφανειών κώνων έχουν ίδια κατά πρόσημο κλίση, διαφορετικά δεν υπάρχει γεωμετρική συνέχεια των επιφανειών. Δηλαδή ανάμεσά τους παρεμβάλλονται κάποια επίπεδα που ρυθμίζουν τον τρόπο μεταβολής και πρέπει να αποτελούν δεδομένα εισόδου, ενώ περιγράφονται στις εξαιρέσεις τις ενότητας 2.3.5.

### 2.3.7 Ολοκλήρωση μεθοδολογίας

Το ανάπτυγμα του χώρου ορίζεται περιμετρικά από έναν αριθμό κεκλιμένων επιφανειών. Κάθε είδος επιφάνειας μεταβάλλει κατά διαφορετικό τρόπο το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας και του όγκου σε ορισμένο ύψος.

Αθροίζοντας τις μεταβολές προκύπτουν οι παράγοντες  $S1, S2$  των εξισώσεων 2.3.2 και 2.3.3 της ελεύθερης επιφάνειας και του όγκου, αντίστοιχα.

Η εύρεση των ορίων κάθε επιφάνειας σε δεδομένο ύψος βρίσκεται από την τομή των επιπέδων ή των χαρακτηριστικών επιπέδων. Τα χαρακτηριστικά επίπεδα για επιφάνειες κώνων είναι τα επίπεδα που αντιστοιχούν στο γεωμετρικό τόπο των ευθύγραμμων τμημάτων που ενώνουν τις κορυφές του σχήματος της τομής του ορθού κώνου με οριζόντιο επίπεδο (κύκλος ή έλλειψη).

Η εξίσωση ενός επιπέδου είναι  $aX + bY + cZ = d$ . Σε δεδομένο ύψος,  $h_1$ , οι συντεταγμένες της τομής μεταξύ δύο επιπέδων λύνεται από ένα σύστημα της μορφής :

$$a_1X + b_1Y + c_1h_1 = d_1$$

$$a_2X + b_2Y + c_2h_1 = d_2$$

◆ Αν  $a_1 \neq 0$ , τότε :

$$Y = \frac{[d_2 - \frac{d_1}{a_1} - (c_2 - \frac{c_1}{a_1})h_1]}{b_2 - \frac{b_1}{a_1}} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 25})$$

$$X = \frac{d_1 - b_1Y - c_1h_1}{a_1} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 26})$$

◆ Αν  $a_1 = 0$ , τότε :

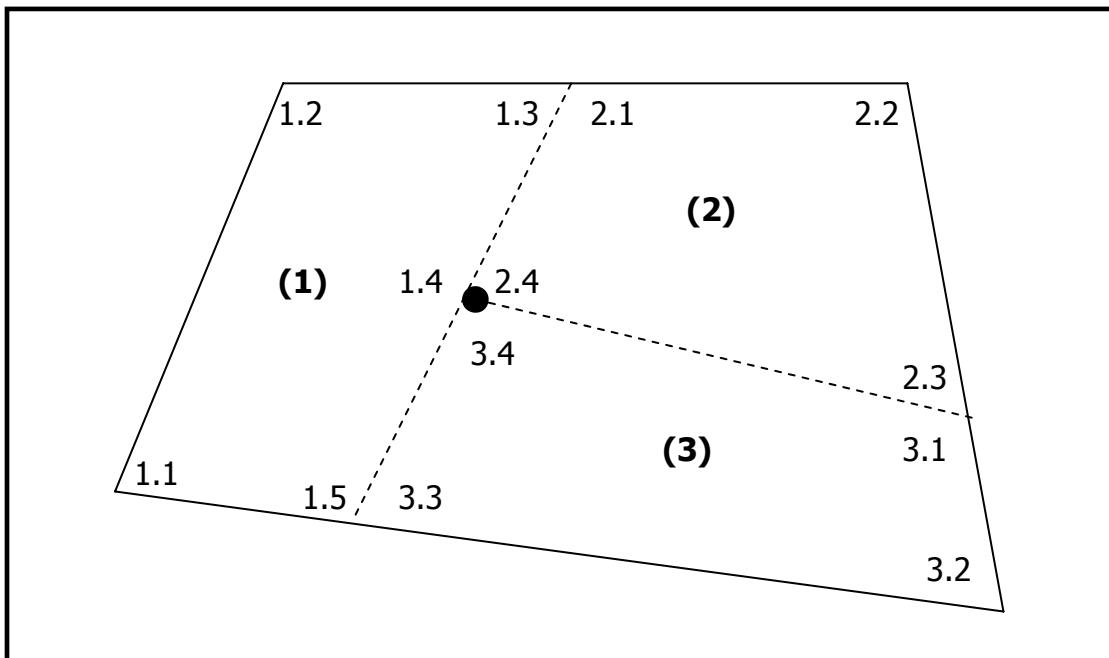
$$Y = \frac{d_1 - c_1h_1}{b_1} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 27})$$

$$X = \frac{d_2 - b_2Y - c_2h_1}{a_2} \quad (\text{Εξίσωση 2.3. 28})$$

Οι εξισώσεις 2.3.24 – 2.3.27 εφαρμόζονται κυκλικά για όλες τις επιφάνειες και έτσι υπολογίζονται οι συντεταγμένες των ορίων κάθε επιφάνειας.

## Παρατηρήσεις

- Επειδή οι επιφάνειες και τα επίπεδα περιμετρικά του χώρου δεν είναι δυνατόν να είναι οριζόντια, δηλαδή να έχουν εξίσωση της μορφής  $Z = d$ , τότε αν  $a = 0$  κατά λογική αναγκαιότητα  $b \neq 0$ .
- Δύο που τέμνονται κατά μήκος μιας γραμμής έχουν διαφορετικές εξίσωσεις που αποτρέπουν τον μηδενισμό της παραμέτρου  $b_2 - \frac{b_1}{a_1}$  στην εξίσωση 2.3.24 ή της παραμέτρου  $a_2$  στην εξίσωση 2.3.27.
- Τα επίπεδα των τεχνητών επιφανειών όταν κατασκευάζονται αναβαθμίδες μετατοπίζονται κατά μια οριζόντια απόσταση,  $l_x$ , μετά την ολοκλήρωση μιας αναβαθμίδας. Αυτό συνεπάγεται την μεταβολή της παραμέτρου  $d$  στην εξίσωση των επιπέδων κατά μια ποσότητα  $d' = -c(l_x k)$ , ανά αναβαθμίδα.
- Αν το χαρακτηριστικό επίπεδο μιας επιφάνειας κώνου έχει κοινή εξίσωση με ένα γειτονικό της επίπεδο, τότε δεν υπάρχει τομή και παρατηρείται αδυναμία επίλυσης του συστήματος. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με μικρή μεταβολή των παραμέτρων των εξίσωσεων. Άλλωστε η προσπάθεια περιγραφής του χώρου με επιφάνειες κώνων είναι μια προσέγγιση και στο πνεύμα αυτό κρίνεται αποδεκτή μια τέτοια ενέργεια.
- Ένα παρόμοιο σύστημα προκύπτει όταν ορίζεται ένα ενδιάμεσο σημείο στο επίπεδο από την τομή δύο διαμερισμάτων (Σχήμα 2.2.21, σημείο 1.4). Το σημείο 1.4 πρέπει να συμπεριληφθεί στα δεδομένα εισόδου για το διαμέρισμα 1, αλλά οι συντεταγμένες του συναρτήσει του ύψους δεν μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια, επειδή εξαρτώνται από την τομή των διαμερισμάτων 2 και 3.



**Σχήμα 2.2. 21 Κάτοψη βάσης XYTA. Διαμερίσματα XYTA και τα αντίστοιχα όρια τους.**

Παρόλα αυτά η ακριβής γνώση των συντεταγμένων δεν είναι απαραίτητη σε αυτή την περίπτωση, καθώς δεν επηρεάζει τους υπολογισμούς επίλυσης του κάθε διαμερίσματος. Επιπλέον οι συντεταγμένες του είναι δυνατόν να αντικατασταθούν από τις συντεταγμένες του σημείου 2.4, που υπολογίζονται με ακρίβεια. Ήτοι σε τέτοιες περιπτώσεις το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με μικρή μεταβολή των παραμέτρων των εξισώσεων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «ΙΒΧΥΤΑ»

### 3.1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα «**ΙΒΧΥΤΑ**» κατασκευάστηκε για την προσέγγιση του τρόπου ανάπτυξης ενός χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (XYTA), βάση εμπειρικών δεδομένων και του μαθηματικού υπόβαθρου που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2. Ο κώδικας του προγράμματος είναι γραμμένος στην γλώσσα προγραμματισμού *Visual Fortran 90* και περιλαμβάνει έναν αριθμό υποπρογραμμάτων, γραμμένα σε μορφή υπορουτίνας (subroutines), ενώ η μεταφορά δεδομένων ή η αποθήκευση των ζητουμένων στην διάρκεια εκτέλεσης των υπολογισμών, πραγματοποιείται με το πολύ ευέλικτο εργαλείο των modules<sup>1</sup>.

Η τελική μορφή του κώδικα ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τους τέσσερις βασικούς κανόνες του δομημένου προγραμματισμού.

- I. Ελάχιστος δυνατός αποθηκευτικός χώρος**
- II. Ορισμός και χρήση του απαραίτητου, μόνο, αριθμού μεταβλητών**
- III. Ελαχιστοποίηση πράξεων και ελέγχων**
- IV. Διακριτή δομή και λειτουργία του προγράμματος**

Οι υπολογισμοί εστιάζονται στην μηνιαία εύρεση του ύψους των στρωματοποιημένων απορριμμάτων, του αντίστοιχου όγκου, της ελεύθερης επιφάνειας εργασίας, της πρόσθετης επιφάνειας των τεχνητών επιφανειών/αναβαθμίδων και των συντεταγμένων της ελεύθερης επιφάνειας εργασίας στον XYTA, που προκύπτουν από την μηνιαία διάθεση των απορριμμάτων. Παράλληλα επισημαίνονται τα μεγέθη αυτά με την ολοκλήρωση κάθε αναβαθμίδας μιας ζώνης ή μιας ζώνης σε ένα διαμέρισμα του XYTA.

Αρχικά είναι σκόπιμο να αναφερθούν οι παράμετροι σχεδιασμού ενός XYTA, ο τρόπος λειτουργίας τους και η προσέγγιση της ανάπτυξης, που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα μελέτη και οδήγησαν στον καθορισμό των δεδομένων εισόδου, την τελική δομή του προγράμματος και την φύση των δεδομένων εξόδου. Όσα αναφέρονται στις επόμενες ενότητες έχουν

<sup>1</sup> Michael Metcalf and John Reid, Fortran 90/95 explained, Program Units and procedures, page 81.

παρουσιαστεί αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 1 και απλά επαναλαμβάνονται ή επαναπροσδιορίζονται για τις ανάγκες της κατασκευής του προγράμματος. Έπειτα παρουσιάζονται οι πράξεις ή έλεγχοι που διεξάγονται στην διάρκεια της εκτέλεσής του και μερικά γενικά διαγράμματα ροής του προγράμματος στο παράρτημα I.

## 3.2 Παράμετροι σχεδιασμού ενός XYTA

Ένας XYTA συνήθως αποτελείται από ένα ή περισσότερα διαμερίσματα, όταν η διαθέσιμη επιφάνεια απόθεσης των απορριμάτων είναι αρκετά μεγάλη. Η διαμερισματοποίηση είναι απαραίτητη, καθώς η διάθεση απορριμάτων σε όλο το εύρος της διαθέσιμης επιφάνειας συνεπάγεται μεγάλο όγκο διασταλαγμάτων, τεράστιο αρχικό κόστος στεγανοποίησης του χώρου και αδυναμία ελέγχου της εγκατάστασης.

Σε πρώτο στάδιο οι επιφάνειες του χώρου του διαμερίσματος, όπου πρόκειται να διατεθούν τα απορρίμματα, ομαλοποιούνται για την τοποθέτηση των υλικών στεγανοποίησης και την εγκατάσταση των συστημάτων συλλογής των διασταλαγμάτων. Σε δεύτερο στάδιο αρχίζει η διάθεση των απορριμάτων στον χώρο. Ο όγκος των απορριμάτων συχνά αυξάνει με την πάροδο του χρόνου ως αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού ή των βιομηχανικών, τουριστικών κτλ δραστηριοτήτων στην ευρύτερη περιοχή που εξυπηρετεί ο XYTA. Τα απορρίμματα συμπιέζονται για να μειωθεί ο όγκος που καταλαμβάνουν, σε ποσοστό ανάλογα με την σύστασή τους, αλλά κυρίως με την ένταση και τον χρόνο εφαρμογής των διαδικασιών συμπίεσης.

Η ύπαρξη φυσικών γεωλογικών σχηματισμών προσφέρει την απαιτούμενη στήριξη για την συνέχιση της στρωμάτωσης των απορριμάτων. Η απουσία τους ή η αξιοποίηση του διαθέσιμου ύψους αντιμετωπίζεται με την κατασκευή αναβαθμίδων με συγκεκριμένη κλίση (προφανώς με «αρνητική» τιμή). Μετά από ορισμένο ύψος το επίπεδο της αναβαθμίδας, που προέκυψε από την στρωμάτωση, μετατοπίζεται προς τα εσωτερικά του χώρου κατά μια απόσταση, για την κατασκευή της επόμενης αναβαθμίδας. Η κλίση του επίπεδου που σχηματίζεται συχνά είναι κοινή για όλες τις αναβαθμίδες, αλλά υπάρχουν περιπτώσεις όπου ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετεί κάθε ομάδα αναβαθμίδων εφαρμόζονται και διαφορετικές κλίσεις. Παράδειγμα αποτελεί η διαφορετική κλίση σε εξωτερικές και εσωτερικές αναβαθμίδες του XYTA ή η διαφορετική κλίση σε εξωτερικές αναβαθμίδες για την ομαλή ένταξη

του χώρου με την υπάρχουσα γεωμορφολογία. Οι αναβαθμίδες μειώνουν με πολύ γρήγορο ρυθμό την διαθέσιμη ελεύθερη επιφάνεια για την απόθεση απορριμμάτων, εξ αιτίας της οριζόντιας απόστασης τους, αλλά αυξάνουν την συνολική εκτεθειμένη επιφάνεια εξ αιτίας της κλίσης του επιπέδου τους.

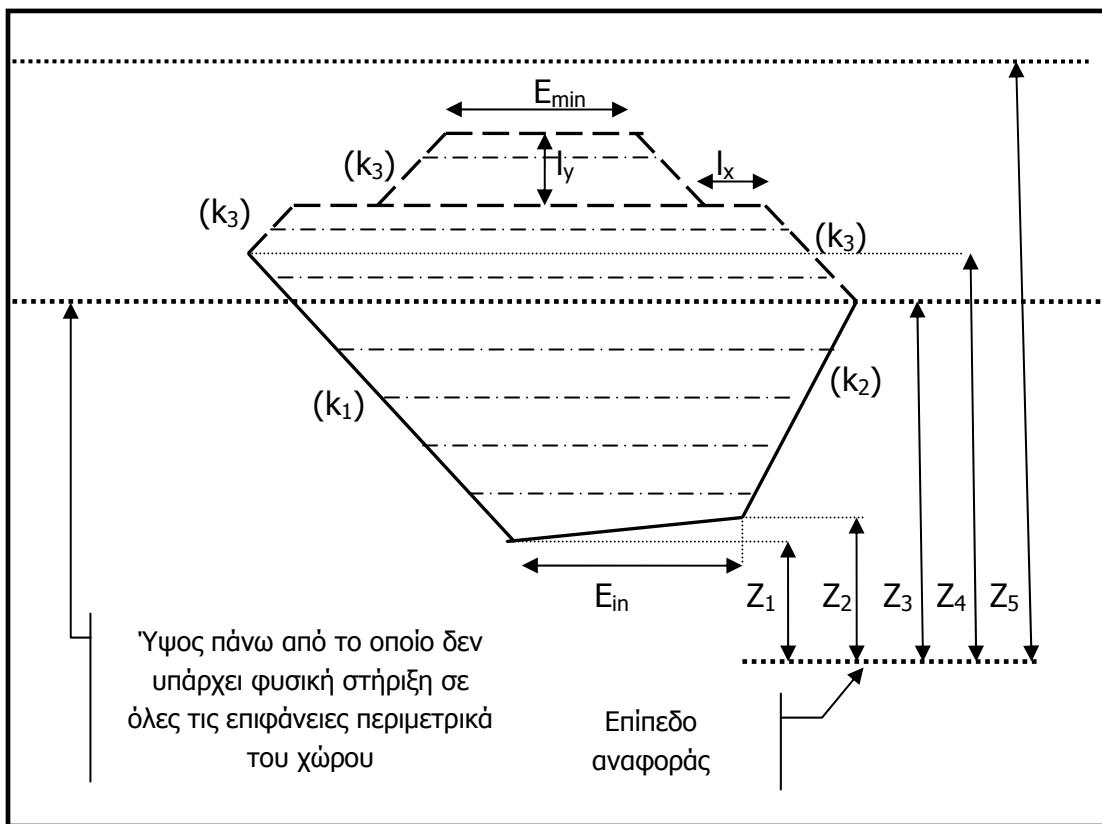
Η ολοκλήρωση των εργασιών σε ένα διαμέρισμα πραγματοποιείται όταν επιτευχθεί ένα από τα ακόλουθα κριτήρια.

- ✓ Μέγιστο ύψος ανάπτυξης
- ✓ Ελάχιστη, διαθέσιμη επιφάνεια εργασιών (ελεύθερη επιφάνεια XYTA)

Τα δύο κριτήρια εφαρμόζονται ξεχωριστά για κάθε διαμέρισμα ή συνδυασμό τους, αν αυτά ενοποιηθούν. Ένα επιπλέον κριτήριο είναι ο μέγιστος χρόνος λειτουργίας του XYTA λόγω των χρηματοδοτήσεων ή συμβάσεων που έχουν υπογραφτεί για το έργο. Όμως η χρησιμότητά του σε ένα πρόγραμμα υπολογισμού του διαθέσιμου όγκου της περιοχής και της ανάπτυξης του XYTA στον χρόνο, είναι περιορισμένη γιατί αποτελεί καθολικό κριτήριο ολοκλήρωσης των εργασιών και δεν επιτρέπει την συνολική εκτίμηση των δυνατοτήτων του χώρου. Εξ άλλου το μέγεθός του καθορίζεται από πολλές άλλες μεταβλητές και σαφώς δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί με ακρίβεια εκ των προτέρων, ενώ είναι δυνατόν να μεταβληθεί στην διάρκεια λειτουργίας του XYTA.

Μετά την αποπεράτωση των εργασιών σε ένα διαμέρισμα υπάρχουν δύο ενδεχόμενα. Αν τα κριτήριο του μεγίστου ύψους έχει επιτευχθεί, τότε αυτό στεγανοποιείται και απομονώνεται από τα υπόλοιπα. Παράλληλα τα απορρίμματα διατίθενται σε επόμενο διαμέρισμα. Διαφορετικά εάν έχει επιτευχθεί το κριτήριο της ελάχιστης επιφάνειας, τότε το διαμέρισμα αυτό μπορεί να ενοποιηθεί με το γειτονικό του, όταν το ύψος των απορριμμάτων αποκτήσει ίδια τιμή και οι εργασίες στρωμάτωσης των απορριμμάτων εκτελούνται από κοινού στα δύο διαμερίσματα. Το κλείσιμο του XYTA υλοποιείται όταν ικανοποιηθεί ένα από τα δύο κριτήρια για το ενοποιημένο σύνολο των διαμερισμάτων του XYTA.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα ο επιλεγμένος χώρος για την εγκατάσταση XYTA με ένα διαμέρισμα έχει συνήθως την ακόλουθη γενική μορφή :



**Σχήμα 3. 1 Σχεδιάγραμμα της ανάπτυξης ενός XYTA με ένα διαμέρισμα**

όπου

$E_{in}$  : η προβολή της επιφάνεια βάσης του XYTA σε οριζόντιο επίπεδο αναφοράς

$E_{min}$  : η ελάχιστη, τελική ελεύθερη επιφάνεια του XYTA

$k_1, k_2$  : η κλίση των πρανών (πλαγιάς, όπως αυτή ορίζεται από το ανάγλυφο) στο κάτω μέρος του XYTA

$k_3$  : η κλίση των αναβαθμίδων στο άνω μέρος του XYTA

$l_x$  : οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών αναβαθμίδων

$l_y$  : κατακόρυφη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών αναβαθμίδων

$Z_1$  : ελάχιστο ύψος της βάσης του XYTA

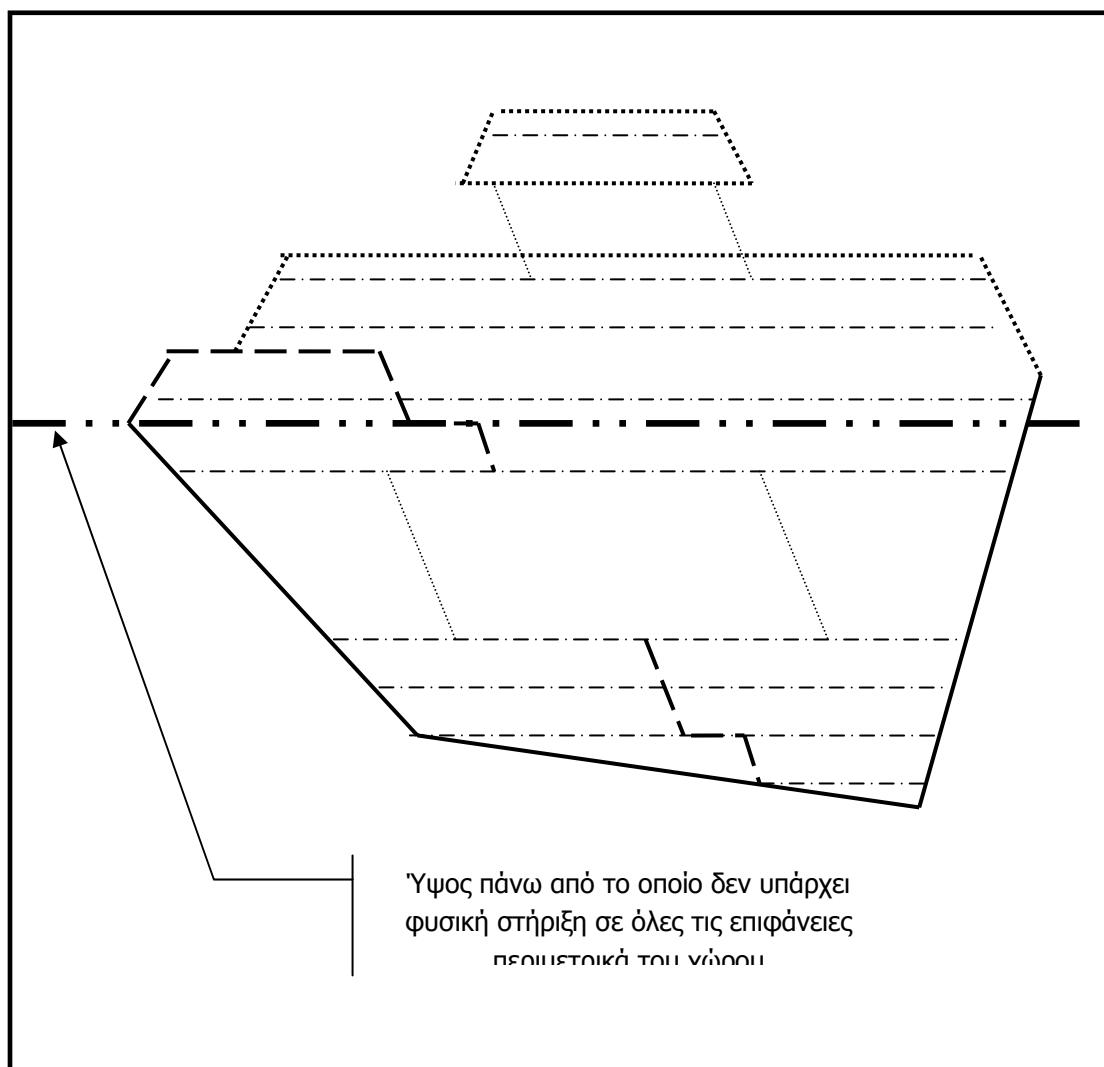
$Z_2$  : ελάχιστο ύψος της βάσης του XYTA

$Z_3$  : ελάχιστο ύψος της φυσικής ανάπτυξης του XYTA

$Z_4$  : μέγιστο ύψος της φυσικής ανάπτυξης του XYTA

$Z_5$  : μέγιστο ύψος ανάπτυξης του XYTA

Ο επιλεγμένος χώρος για την εγκατάσταση μεγάλης έκτασης XYTA, περισσοτέρων διαμερισμάτων έχει συνήθως την ακόλουθη γενική μορφή :



**Σχήμα 3. 2 Σχεδιάγραμμα ανάπτυξης ενός XYTA με δύο διαμερίσματα**

Οι παράμετροι που ορίστηκαν στο σχήμα 3.1 περιγράφουν κάθε διαμέρισμα του XYTA στο σχήμα 3.2.

Σε κάθε περίπτωση τα υψόμετρα  $Z_1$  έως  $Z_5$  ορίζουν τέσσερις διαφορετικές ζώνες μεταβολής του XYTA.

- ✓ Ζώνη της βάσης
- ✓ Ζώνη θετικών ή θετικών και αρνητικών κλίσεων
- ✓ Μεταβατική ζώνη
- ✓ Ζώνη αρνητικών κλίσεων

### **Ζώνη της βάσης**

Η ζώνη αυτή προσδιορίζεται από τα υψόμετρα  $Z_1$  και  $Z_2$ , όταν το επίπεδο της βάσης παρουσιάζει κάποια κλίση (συνήθως μικρότερη του 10%). Το χαρακτηριστικό της είναι ότι οι κεκλιμένες επιφάνειες του χώρου αναπτύσσονται από κάποιο υψόμετρο μεταξύ  $Z_1$  και  $Z_2$ . Το κεκλιμένο επίπεδο της βάσης τέμνει κάθε επιφάνεια κατά μια γωνία, το οποίο καθιστά δύσκολη την πραγματοποίηση υπολογισμών στην περιοχή αυτή και έτσι χρησιμοποιούνται απλοποιήσεις που προσφέρουν ικανοποιητική ακρίβεια δεδομένου της μικρής κλίσης και έκτασης της. Ανάλογα με την γεωμορφολογία της περιοχής, είναι πιθανό η ζώνη της βάσης να μην εμφανίζεται.

### **Μεταβατική ζώνη**

Η ζώνη αυτή προσδιορίζεται από τα υψόμετρα  $Z_3$  και  $Z_4$ . Το χαρακτηριστικό της είναι η μετάβαση από φυσικές σε τεχνητές επιφάνειες (κατασκευή αναβαθμίδων, αρνητική κλίση). Προφανώς οι προϋπάρχουσες τεχνητές επιφάνειες δεν μεταβάλλονται. Η σκιαγράφηση των φυσικών ορίων του XYTA σε ένα τοπογραφικό χάρτη, πραγματοποιείται ακολουθώντας κάποιες ισούψεις της περιοχής, που συνεπάγεται την μικρή έκταση της ζώνης. Παρόλα αυτά κάθε φυσική επιφάνεια είναι δυνατόν να παρουσιάζει διαφορετικό υψομετρικό όριο, το οποίο καθιστά δύσκολη την πραγματοποίηση υπολογισμών στην περιοχή αυτή και έτσι χρησιμοποιούνται απλοποιήσεις που προσφέρουν ικανοποιητική ακρίβεια δεδομένου της μικρής της έκτασης. Ανάλογα με την γεωμορφολογία της περιοχής, είναι πιθανό η μεταβατική ζώνη να μην εμφανίζεται.

### **Ζώνη θετικών ή θετικών και αρνητικών κλίσεων**

Η ζώνη αυτή προσδιορίζεται από τα υψόμετρα  $Z_2$  και  $Z_3$ . Αποτελεί την πρώτη κύρια ζώνη μεταβολής του XYTA, μέσα στην οποία ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των κεκλιμένων επιφανειών περιμετρικά του χώρου θεωρούνται αμετάβλητα, ενώ οι κεκλιμένες επιφάνειες περιμετρικά του χώρου έχουν θετική τιμή (φυσικές επιφάνειες) ή αρνητική τιμή (τεχνητές επιφάνειες/αναβαθμίδες). Είναι πιθανό να εμφανίζεται μια επιπλέον ζώνη θετικών και αρνητικών κλίσεων μετά την μεταβατική ζώνη, εξ αιτίας της διαμερισματοποίησης του XYTA, όπου οι θετικές κλίσεις να παρουσιάζονται από την κατασκευή αναβαθμίδων σε γειτονικό διαμέρισμα. Τότε το ύψος της είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των στρωματοποιημένων απορριμμάτων

σε δύο γειτονικά διαμερίσματα, πάνω από την μεταβατική ζώνη. Αν το ύψος των απορριμμάτων στο πρώτο διαμέρισμα έχει την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, αποτελεί την τελευταία ζώνη ανάπτυξης του διαμερίσματος.

### **Ζώνη αρνητικών κλίσεων**

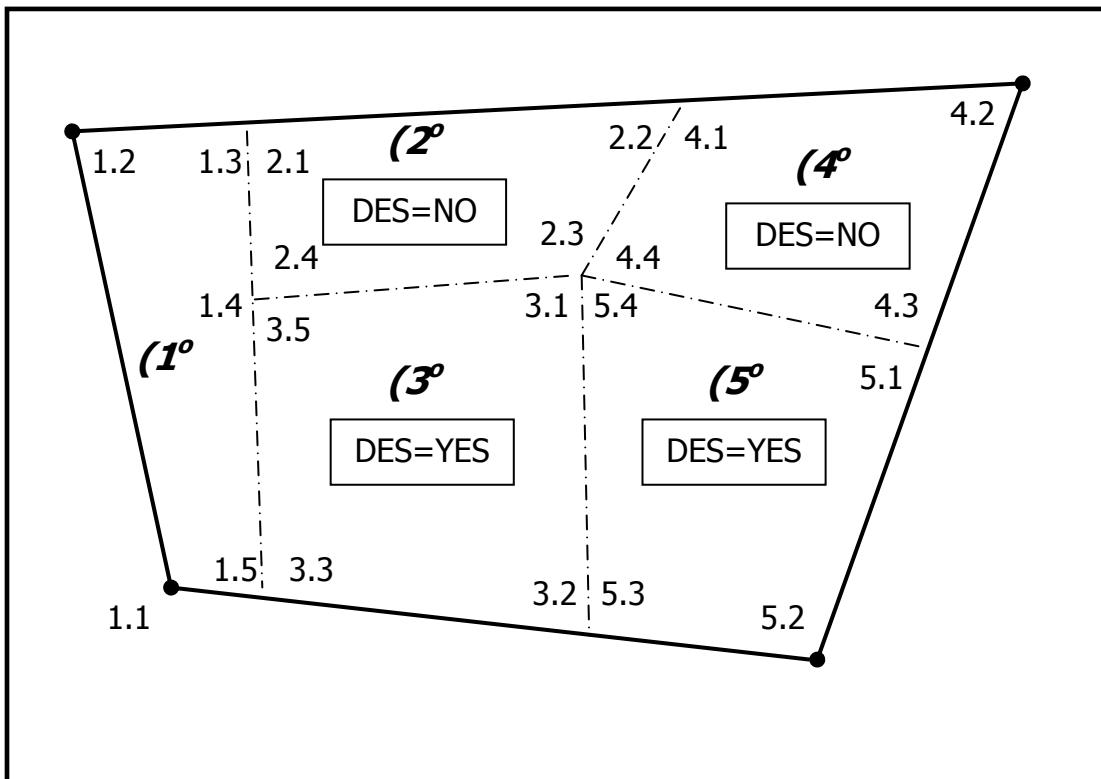
Η ζώνη αυτή προσδιορίζεται από τα υψόμετρα  $Z_4$  και  $Z_5$ . Αποτελεί την δεύτερη κύρια ζώνη μεταβολής του XYTA, μέσα στην οποία ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των κεκλιμένων επιφανειών περιμετρικά του χώρου θεωρούνται αμετάβλητα, ενώ οι κεκλιμένες επιφάνειες περιμετρικά του χώρου έχουν αρνητική τιμή (τεχνητές επιφάνειες/αναβαθμίδες). Είναι το τελευταίο τμήμα του κάθε διαμερίσματος ή των ενοποιημένων διαμερισμάτων και η ολοκλήρωσή του εξαρτάται από τα κριτήρια της ελάχιστης διαθέσιμης επιφάνειας εργασιών και του μέγιστου επιτρεπτού ύψους ανάπτυξης. Αν το μέγιστο επιτρεπτό ύψος ανάπτυξης έχει επιτευχθεί σε προηγούμενα διαμερίσματα, τότε δεν εμφανίζεται ούτε στο παρόν, ούτε στα επόμενα διαμερίσματα.

## **3.3 Δεδομένα εισόδου του προγράμματος**

Η ανάλυση που προηγήθηκε στην ενότητα 3.2 και στο κεφάλαιο 2 καταδεικνύουν τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζεται να συγκεντρωθούν για την πλήρη περιγραφή ενός XYTA.

- 1.** Όγκος εισερχόμενων απορριμμάτων (**dV**), σε χίλια κυβικά μέτρα ανά μήνα (**1000 m<sup>3</sup>/month**).
- 2.** Ποσοστό αύξησης του όγκου των απορριμμάτων (**pg**).
- 3.** Ποσοστό συμπίεσης του όγκου των απορριμμάτων (**pc**), επί του αρχικού όγκου των απορριμμάτων.
- 4.** Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια εργασίας (**E<sub>m</sub>**), σε τετραγωνικά μέτρα (**m<sup>2</sup>**).
- 5.** Μέγιστο επιτρεπτό ύψος ανάπτυξης (**Z<sub>m</sub>**), σε μέτρα (**m**).
- 6.** Οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση δύο διαδοχικών αναβαθμίδων (**I<sub>x</sub>**, **I<sub>y</sub>**), σε μέτρα (**m**).
- 7.** Αριθμός διαμερισμάτων του XYTA (**NC**).
- 8.** Αριθμός επιφανειών περιμετρικά του χώρου κάθε διαμερίσματος (**NSU**).
- 9.** Συντεταγμένες ορίων της βάσης κάθε διαμερίσματος (**(X,Y,Z)<sub>b</sub>**), σε μέτρα (**m**).

- 10.** Συντεταγμένες φυσικών ορίων ανάπτυξης κάθε διαμερίσματος (**(X,Y,Z)<sub>b</sub>**), σε μέτρα (**m**).
- 11.** Είδος επιφανειών περιμετρικά του χώρου κάθε διαμερίσματος (**TP**). Οι δυνατές επιλογές είναι κεκλιμένο επίπεδο (**OBFL**), επιφάνεια ορθού κυκλικού κώνου (**OBCS**), επιφάνεια ορθού ελλειπτικού κώνου (**OBQES**) και κεκλιμένα επίπεδα που κατασκευάζονται επί της αξονοκεντρικής διεύθυνσης επιφάνειας κώνων (**OCFL**).
- 12.** Συντεταγμένες άξονος περιστροφής για επιφάνειες κώνων (**(X,Y)<sub>a</sub>**), που κατασκευάζονται από το επίπεδο της βάσης με αρνητική κλίση, σε μέτρα (**m**).
- 13.** Κλίση κάθε επιφάνειας, όταν αυτή θα αναπτύσσεται τεχνητά με την μέθοδο των αναβαθμίδων (**k<sub>u</sub>**).
- 14.** Φύση της στήριξης που παρέχεται από μια επιφάνεια (**ST**). Οι δυνατές επιλογές είναι τεχνητή (**TECH**) και φυσική (**NATU**).
- 15.** Μητρώο κόμβων, για την ενοποίηση των διαμερισμάτων (**CJ**). Σε κάθε σημείο/όριο μιας επιφάνειας αντιστοιχίζετε το μηδέν, αν το σημείο δεν αποτελεί κόμβο δύο ή περισσοτέρων διαμερισμάτων ή σε αντίθετη περίπτωση η ακέραια τιμή του κόμβου.
- 16.** Δυνατότητα κοινής ανάπτυξης κάθε διαμερίσματος με τα προηγούμενα, βάση της τμηματοποίησης του XYTA (**DES**). Οι δυνατές επιλογές είναι η υλοποίησή της (**YES**) ή μη (**NO**). Συνήθως ο τρόπος διαίρεσης των διαμερισμάτων επιτρέπει την κοινή ανάπτυξη, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που κάτι τέτοιο καθίσταται αδύνατο (Σχήμα 3.3).



**Σχήμα 3. 3 Κάτωφη ενός XYTA πέντε διαμερισμάτων. Δυνατότητα ενοποιημένης ανάπτυξης διαμερισμάτων και αρίθμηση διαμερισμάτων και ορίων της επιφάνειας κάθε διαμερίσματος.**

Οι πρώτες εφτά παράμετροι απαρτίζουν ένα κοινό σύνολο δεδομένων για όλα τα διαμερίσματα του XYTA, ενώ οι υπόλοιπες αφορούν κάθε διαμέρισμα ξεχωριστά. Υπό αυτή την έννοια είναι δυνατή η δημιουργία αντίστοιχων ομάδων δεδομένων. Όλα τα δεδομένα εγγράφονται σε ένα αρχείο με συγκεκριμένη μορφή μέσω του προγράμματος. Ένα παράδειγμα αρχείου εισόδου δίνεται στο τέταρτο κεφάλαιο, όπου επιχειρείται η προσομοίωση ενός υποθετικού χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

### **Παρατηρήσεις**

➤ Όταν αναπτύσσονται τεχνητής φύσεως αναβαθμίδες η κλίση τους εισάγεται με την παράμετρο  $k_u$ . Παράδειγμα είναι η κατασκευή αναβαθμίδων από το επίπεδο της βάσης, αλλά και η συνένωση δύο διαμερισμάτων. Στην πρώτη περίπτωση η κλίση της κοινής επιφάνειας έχει αρνητική τιμή και στην δεύτερη θετική (για το δεύτερο διαμέρισμα).

➤ Η εισαγωγή και κατ' επέκταση η αρίθμηση των διαμερισμάτων του XYTA πρέπει να γίνεται με συνεχή τρόπο, περιγράφοντας την συνέχιση των εργασιών στο γειτονικό διαμέρισμα (Σχήμα 3.3).

- Η εισαγωγή και κατ' επέκταση η αρίθμηση των σημείων της επιφάνειας κάθε διαμερίσματος γίνεται δεξιόστροφα. Η αρίθμηση στο πρώτο διαμέρισμα αρχίζει από σημείο, το οποίο δεν είναι κόμβος με κάποιο άλλο διαμέρισμα. Επιπλέον η αρχή της αρίθμησης στα υπόλοιπα διαμερίσματα πρέπει να είναι από τον πρώτο κοινό κόμβο, που απαντάται κατά τον δεξιόστροφο έλεγχο από το προηγούμενο διαμέρισμα ή το σύνολο των ενοποιημένων διαμερισμάτων (Σχήμα 3.3).
- Οι επιφάνειες ορθών κυκλικών κώνων είναι προτιμότερο να εισάγονται ανά τμήματα με μέγιστη γωνία περιστροφής τις  $90^\circ$ , για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.
- Πλήρης ορθοί κυκλικοί ή ελλειπτικοί κώνοι εισάγονται με τέσσερα διαφορετικά τμήματα, ένα ανά τεταρτημόριο του κώνου, με την ίδια διαδικασία.

### 3.4 Περιγραφή του προγράμματος «IBXYTA»

Το πρόγραμμα «**IBXYTA**» απαρτίζεται από ένα πρόγραμμα «οδηγό», που ορίζει ποιες ενέργειες ή υπολογισμοί χρειάζεται να γίνουν για την επίλυση του XYTA και από ένα έξι συνολικά, κύρια, υποπρογράμματα (**CRINPFL**, **STARTUP**, **BSZONE**, **CMZONE**, **TRZONE**, **CONJ**) στα οποία μεταφέρεται ο έλεγχος από το πρόγραμμα «οδηγό» ανάλογα με την φάση των υπολογισμών.

- ◆ **CRINPFL** : Δημιουργία αρχείου εισόδου
- ◆ **STARTUP** : Ανάγνωση δεδομένων από το αρχείο εισόδου και αξιοποίηση τους
- ◆ **BSZONE** : Επίλυση της ζώνης της βάσης
- ◆ **CMZONE** : Επίλυση ζωνών σταθερού τρόπου μεταβολής
- ◆ **TRZONE** : Επίλυση της μεταβατικής ζώνης
- ◆ **CONJ** : Ενοποίηση των διαμερισμάτων του XYTA

Στην αρχή της εκτέλεσης του προγράμματος εισάγονται το όνομα του αρχείου με τα δεδομένα εισόδου και τα ονόματα των δύο αρχείων, στα οποία εγγράφονται τα αποτελέσματα. Έπειτα καλούνται επαναληπτικά για κάθε διαμέρισμα τα πέντε υποπρογράμματα που εκτελούν τους υπολογισμούς. Ουσιαστικά το υποπρόγραμμα **CRINPFL** είναι ανεξάρτητο από την όλη διαδικασία επίλυσης του XYTA και εξετάζεται χωριστά από το υπόλοιπο πρόγραμμα.

### **3.4.1 Πρόγραμμα CRINPFL**

Το πρόγραμμα καλείται μόνο για την δημιουργία ενός νέου αρχείου εισόδου, (όταν για όνομα του αρχείου εισόδου δίνεται ο κωδικός **NEW**) με τα ομαδοποιημένα δεδομένα της ενότητας 3.2. Η εγγραφή των δεδομένων πραγματοποιείται με κατάλληλη μορφή και διάταξη, που να απλοποιεί την διαδικασία ανάγνωσής τους σε επόμενη φάση. Η δημιουργία του αρχείου εισόδου εξυπηρετεί τρεις βασικούς σκοπούς.

- ✓ Αποθήκευση του σεναρίου
- ✓ Ομαδοποιημένη καταγραφή των δεδομένων
- ✓ Εύκολη τροποποίηση των παραμέτρων και παραγωγή μελοντικών αρχείων εισόδου

### **3.4.2 Λειτουργίες του προγράμματος «οδηγού»**

Επειδή κάθε ζώνη του XYTA παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και διαφορετικές δυσκολίες στην προσέγγιση του τρόπου ανάπτυξή της, επιβάλλεται η διάρθρωση διαφορετικών υποπρογραμμάτων για την εκτέλεση των υπολογισμών σε όλο το εύρος του XYTA. Το πρόγραμμα **IBXYTA** καλεί επαναληπτικά για κάθε διαμέρισμα του XYTA πέντε υποπρογράμματα για να επιτελέσει τέσσερις σημαντικές λειτουργίες.

- ✓ Ανάγνωση δεδομένων και αξιοποίησή τους
- ✓ Επίλυση κάθε ζώνης
- ✓ Σύνδεση των ζωνών ενός διαμερίσματος
- ✓ Ενοποίηση του διαμερίσματος με τα προηγούμενα

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων κάθε διαμερίσματος και την αξιοποίηση τους, καλούνται με την σειρά τα υποπρογράμματα που επιλύουν κάθε ζώνη του XYTA. Ο μόνος ενδιάμεσος έλεγχος, είναι μέσω μιας μεταβλητής που εξετάζει την πορεία ανάπτυξης του διαμερίσματος (**PROC**) και αποτελεί δεδομένο εισόδου και εξόδου στα υποπρογράμματα, των υπερκείμενων της βάσης, ζωνών μεταβολής. Οι δυνατές επιλογές της μεταβλητής είναι τρεις.

## **1. CONTI**

Αντιπροσωπεύει την αρχική τιμή της μεταβλητής **PROC**, στην αρχή των υπολογισμών κάθε διαμερίσματος. Δηλώνει ότι η προηγούμενη ζώνη του διαμερίσματος ολοκληρώθηκε κανονικά και πρέπει να κληθεί το υποπρόγραμμα που επιλύει την επόμενη ζώνη.

## **2. STOP**

Σε όλες τις ζώνες του διαμερίσματος πραγματοποιούνται οι έλεγχοι της ελάχιστης επιφάνειας εργασιών και του μέγιστου επιτρεπτού ύψους. Όποιος από τους δύο περιορισμούς ικανοποιηθεί πρώτα συνεπάγεται αυτόματα την διακοπή των εργασιών στο παρόν διαμέρισμα ή στο σύνολο των ενοποιημένων διαμερισμάτων του XYTA. Η πιθανότητα αυτή αποδίδεται με την τιμή **STOP**. Σε μια τέτοια περίπτωση τα στοιχεία του διαμερίσματος ή των ενοποιημένων διαμερισμάτων αποθηκεύονται, για να την ενοποίηση του επόμενου διαμερίσματος με το ή τα προηγούμενα διαμερίσματα του XYTA.

## **3. UNITE**

Όταν μια ζώνη ενός διαμερίσματος δεν ολοκληρωθεί, επειδή ισχύει ο περιορισμός της ελαχίστης επιφάνειας εργασιών στο παρόν διαμέρισμα, αλλά υπάρχει ένα διαθέσιμο ύψος εργασιών, τότε το επόμενο διαμέρισμα είναι δυνατόν να συνενωθεί με αυτό στο ύψος όπου σταμάτησαν οι εργασίες. Η εντολή συνένωσης μεταφέρεται από την τιμή **UNITE**. Σημειώνεται ότι η συνένωση πραγματοποιείται ανεξάρτητα από την δυνατότητα ταυτόχρονης ανάπτυξης των διαμερισμάτων που αποδίδεται με την μεταβλητή **DES** των δεδομένων εισόδου.

Η συνέχιση των εργασιών εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή της **DES** και ανάλογα τροποποιεί την τιμή της **PROC** σε **CONTI** ή **STOP**. Διαφορετικά προκύπτει ένα λογικό σφάλμα, γιατί η επιφάνεια του ή των προηγούμενων διαμερισμάτων έχει ένα σχήμα που δεν επιτρέπει την εκτέλεση εργασιών στο νέο σύνολο διαμερισμάτων, παρόλο που η συνολική διαθέσιμη επιφάνεια έχει αυξηθεί.

### **3.4.3 Εισαγωγή δεδομένων και αξιοποίησή τους**

Η απαίτηση της χρήσης όσο το δυνατόν μικρότερης μνήμης για την αποθήκευση των δεδομένων επιβάλλει την τμηματική ανάγνωσή τους από το

αρχείο εισόδου, ανά διαμέρισμα. Προφανώς η ομάδα των παραμέτρων με καθολική εφαρμογή σε όλα τα διαμερίσματα του XYTA εισάγεται μια φορά στην αρχή και έπειτα διατηρείται μέσα στον αποθηκευτικό χώρο (των modules). Αυτές οι ενέργειες εκτελούνται από το υποπρόγραμμα **STARTUP**.

Στην συνέχεια το **STARTUP** παράγει έναν αριθμό από απαραίτητα στοιχεία εισόδου των υποπρογραμμάτων που επιλύουν κάθε ζώνη. Αυτά είναι :

- i. Οι παράμετροι  $a, b, c, d$  των κεκλιμένων επιπέδων περιμετρικά του χώρου ή των χαρακτηριστικών επιπέδων για επιφάνειες κώνων
- ii. Η κλίση κάθε επιπέδου
- iii. Η γωνία μεταξύ δύο επιπέδων σε οριζόντιο επίπεδο αναφοράς
- iv. Συμπληρωματικά στοιχεία επιφανειών κώνων
  - ✓  $x, y$  συντεταγμένες του άξονος περιστροφής (για φυσικές επιφάνειες)
  - ✓ η γωνία περιστροφής για ορθό κυκλικό κώνο
  - ✓ ο λόγος των ημιαξόνων σε ορθό ελλειπτικό κώνο

Οι παράμετροι  $a, b, c, d$  των επιπέδων υπολογίζονται, σύμφωνα με την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2, από τις εξισώσεις 2.2.4 – 2.2.22. Η γωνία μεταξύ δύο επιπέδων σε οριζόντιο επίπεδο αναφοράς εκτιμάται από την εξίσωση 2.2.3. Η κλίση ενός επιπέδου αν προσομοιάζει μια φυσική επιφάνεια υπολογίζεται από την εξίσωση 2.2.2, ενώ για τεχνητή επιφάνεια/αναβαθμίδες έχει την αντίστοιχη τιμή από τα δεδομένα εισόδου. Τα συμπληρωματικά στοιχεία επιφανειών κώνων υπολογίζονται με την κατάλληλη προσαρμογή των προηγούμενων εξισώσεων.

### 3.4.4 Επίλυση XYTA

Οι ζώνες της βάσης και η μεταβατική ζώνη κάθε διαμερίσματος παρουσιάζουν μεγάλη πολυπλοκότητα και εξ αιτίας της μικρής του έκτασης επιλύονται από τα υποπρογράμματα **BSZONE** και **TRZONE** μετά από απλοποιήσεις. Ωστόσο είναι εφικτή η κοινή αντιμετώπιση της ζώνης των θετικών ή θετικών και αρνητικών κλίσεων με την ζώνη των αρνητικών κλίσεων με το υποπρόγραμμα **CMZONE**, γιατί ισχύουν ίδιας φύσεως περιορισμοί και η επίλυση του συστήματος περιλαμβάνει πανομοιότυπες πράξεις ή ελέγχους.

### **3.4.4.1 Υποπρόγραμμα BSZONE**

Σε πρώτη φάση υπολογίζεται η εξίσωση του κεκλιμένου επιπέδου της βάσης με την εφαρμογή των εξισώσεων 2.2.4 – 2.2.9, ενώ η αρχική επιφάνεια είναι ίση με μηδέν. Η επίλυση της ζώνης απαιτεί κάποια προσέγγιση στον τρόπο ανάπτυξης της. Δεδομένο είναι ότι μετά την ολοκλήρωση της ζώνης έχει προκύψει μια οριζόντια επιφάνεια,  $E_s$ , που ορίζεται περιμετρικά από την τομή των κεκλιμένων επιφανειών στο χαρακτηριστικό ύψος  $Z_2$  της ζώνης (μέγιστο υψόμετρο του επιπέδου). Αυτή η επιφάνεια μπορεί να διανεμηθεί με γραμμικό τρόπο στην ζώνη, βάση της μέγιστης υψομετρικής διαφοράς. Δηλαδή σχηματίζεται μια συνάρτηση εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας, συναρτήσει του ύψους, που έχει μορφή :

$$E(h) = \frac{E_f}{Z_2 - Z_1} h \quad (\text{Εξίσωση 3. 1})$$

Η ολοκλήρωση της συνάρτησης της ελεύθερης επιφανείας μέχρι ένα ύψος  $h_1$ , μέσα στην ζώνη της βάσης, δίνει τον διαθέσιμο όγκο μέχρι το ύψος αυτό.

$$dV(h_1) = \frac{E_f}{2(Z_2 - Z_1)} h_1^2 \quad (\text{Εξίσωση 3. 2})$$

Οι εξισώσεις 3.1 και 3.2 είναι η προσέγγιση που υιοθετείται στην ζώνη της βάσης. Με γνωστό τον όγκο των απορριμμάτων ( $V_f$ ), που έχουν εισέλθει στον XYΤΑ εκτιμάται το ύψος τους και το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας εργασίας. Έπειτα η τιμή του ύψους συγκρίνεται με τα ύψη των σημείων της βάσης για να βρεθούν τα επίπεδα που μαζί με το επίπεδο της βάσης ορίζουν το περίγραμμα της ελεύθερης επιφάνειας. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι τον χρόνο πλήρωσης του όγκου της ζώνης ( $V_s$ ), που εκτιμάται βάση του μηνιαίου εισερχόμενου όγκου απορριμμάτων ( $dV$ ), το ποσοστό συμπίεσης ( $pc$ ) και το ποσοστό αύξησης τους ( $pg$ ), από την εξίσωση 3.4 (αν το ποσοστό αύξησης είναι μηδέν) και την εξίσωση 3.5.

$$V_s = \frac{E_s}{2}(Z_2 - Z_1) \quad (\text{Εξίσωση 3. 3})$$

$$t = \frac{1}{1-pc} \frac{V_s}{dV}, \quad pg = 0 \quad (\text{Εξίσωση 3. 4})$$

$$t = \frac{\log\left(\frac{pg}{1-pc} \frac{V_s}{dV}\right) + 1}{\log(pg+1)}, \quad pg \neq 0 \quad (\text{Εξίσωση 3. 5})$$

$$dV = dV(1+pg)(1-pc) \quad (\text{Εξίσωση 3. 6})$$

$$V_f = V_f + dV \quad (\text{Εξίσωση 3. 7})$$

Επίσης στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη η τυχόν κατασκευή τεχνητών επιφανειών/αναβαθμίδων και το αντίκτυπο που έχουν στις εξισώσεις των επιπέδων και των συντεταγμένων των ορίων της ελεύθερης επιφάνειας. Ο αριθμός των αναβαθμίδων υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε επιφάνεια, επειδή δεν εμφανίζονται όλες από το ίδιο υψόμετρο. Η εύρεση των συντεταγμένων πραγματοποιείται υποθέτοντας ένα γραμμικό τρόπο μεταβολής τους συναρτήσει του ύψους, κάτι που ισχύει γενικά για φυσικές επιφάνειες εξ αιτίας της συνεχής τομής των επιπέδων μεταξύ τους, αλλά όχι για τεχνητές επιφάνειες, όπου το επίπεδο της αναβαθμίδας διαρκώς μετατοπίζεται. Παρόλα αυτά η όλη προσέγγιση του χώρου γίνεται με ικανοποιητική ακρίβεια, καθώς ο υπολογισμός του ύψους γίνεται με μια αντίστοιχη παραδοχή, άρα η χρήση των τομών των εξισώσεων θα οδηγούσε σε πιο μεγάλα σφάλματα.

Η πρόσθετη επιφάνεια των τεχνητών επιφανειών βρίσκεται κατ' εκτίμηση από τις συντεταγμένες των επιφανειών στην βάση του XYTA και τις συντεταγμένες τους στο άνω υψομετρικό όριο της ζώνης, γιατί είναι αρκετά πολύπλοκη η εξέταση της πρόσθετης επιφάνειας ανά αναβαθμίδα της κάθε επιφάνειας (Σχήμα 3.4).

Πραγματική πρόσθετη επιφάνεια  
τεχνητών επιφανειών/αναβαθμίδων



Προσέγγιση της πρόσθετης  
επιφάνειας τεχνητών

**Σχήμα 3.4 Σύγκριση πραγματικής και προσεγγιστικής πρόσθετης επιφάνειας  
τεχνητών επιφανειών/αναβαθμίδων**

Άρα αφού υπολογιστούν τα μήκη της τομής του κεκλιμένου επιπέδου με το επίπεδο της βάσης και το οριζόντιο επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας, χρησιμοποιείται ο τύπος του 'Ηρωνα' (Εξίσωση 3.8)

$$E = \sqrt{t(t-a)(t-b)(t-c)} \quad (\text{Εξίσωση 3.8})$$

$$t = \frac{a+b+c}{2}$$

όπου  $a, b, c$  οι πλευρές του τριγώνου

Έπειτα η επιφάνεια διανέμεται με γραμμικό τρόπο συναρτήσει του ύψους σε όλη την ζώνη και χωρίζεται σε κεκλιμένη και οριζόντια επιφάνεια της αναβαθμίδας με εφαρμογή μιας χονδρικής αναλογίας μεταξύ τους (εξίσωση 3.9)

$$\frac{E_{ob}}{E_{fl}} = 1.2 \frac{ly}{lx} \quad (\text{Εξίσωση 3.9})$$

όπου

$E_{ob}$  η κεκλιμένη επιφάνεια της αναβαθμίδας

$E_f$  η οριζόντια επιφάνεια των αναβαθμίδων

$Ix$  η οριζόντια απόσταση δύο διαδοχικών αναβαθμίδων

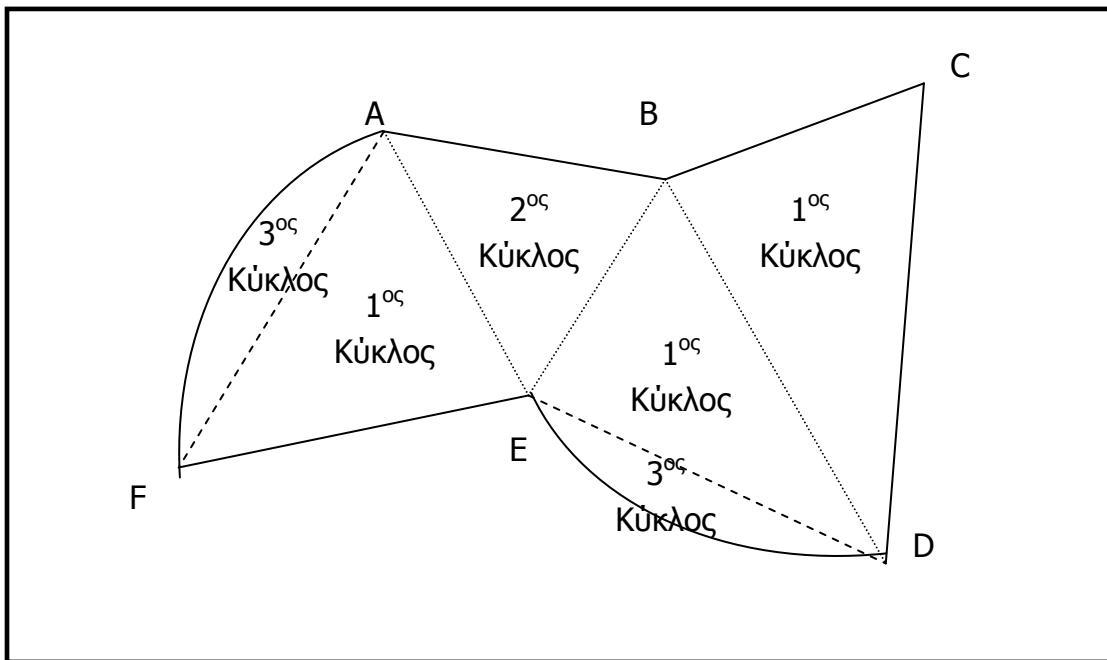
$Iy$  η κατακόρυφη απόσταση δύο διαδοχικών αναβαθμίδων

## **Παρατηρήσεις**

➤ Ο υπολογισμός του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας μετά την ολοκλήρωση της ζώνης της βάσης πραγματοποιείται με την επισήμανση των ορίων κάθε μιας επιφάνειας και τον τριγωνισμό της, ώστε να εφαρμοστεί επαναληπτικά η σχέση :

$$E = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} \quad (\text{Εξίσωση 3. 10})$$

Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται αφορούν την ύπαρξη γωνιών μεταξύ των επιπέδων μεγαλύτερες των  $180^\circ$  που δημιουργούν προβλήματα στην επαναληπτική σχέση. Η αντιμετώπισή τους επιτυγχάνεται με την μεταφορά των υπολογισμών στα σημεία τομής των επιπέδων που παρουσιάζουν γωνίες μεγαλύτερες των  $180^\circ$  μέχρι την ολοκλήρωση του κύκλου. Στην συνέχεια ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος υπολογισμών μεταξύ των σημείων που έχουν γωνίες μεγαλύτερες των  $180^\circ$  και η διαδικασία ολοκληρώνεται με ένα τρίτο κύκλο που εκτιμάται η επίδραση των επιφανειών κώνων (Σχήμα 3.5).



**Σχήμα 3. 5 Παράδειγμα επιτυχούς τριγωνισμού επιφάνειας**

- Επειδή η ζώνη έχει μικρή έκταση δεν απαιτούνται οι έλεγχοι της ελάχιστης επιφάνειας εργασίας και του μέγιστου ύψους ανάπτυξης. Άλλωστε δεν έχουν νόημα σε αυτή την φάση.
- Αν το επίπεδο της βάσης δεν είναι κεκλιμένο, ο μόνος υπολογισμός που εκτελείται είναι η εύρεση του εμβαδού της επιφάνειας.

#### **3.4.4.2 Υποπρόγραμμα TRZONE**

Σε περίπτωση που εμφανίζεται η μεταβατική ζώνη οι εξισώσεις των κεκλιμένων επιπέδων που ορίζουν τον χώρο σταδιακά μεταβάλλονται αλλάζοντας από θετική σε αρνητική κλίση, ενώ υπάρχει μια αρχική οριζόντια επιφάνεια,  $E_b$ . Η επίλυση της ζώνης απαιτεί κάποια προσέγγιση στον τρόπο ανάπτυξης της. Δεδομένο είναι ότι μετά την ολοκλήρωση της ζώνης έχει προκύψει μια νέα οριζόντια επιφάνεια,  $E_s$ , που ορίζεται περιμετρικά από την τομή των κεκλιμένων επιφανειών στο χαρακτηριστικό ύψος  $Z_4$  της ζώνης (μέγιστο υψόμετρο της ζώνης). Η διαφορά των δύο επιφανειών μπορεί να διανεμηθεί με γραμμικό τρόπο στην ζώνη, βάση της μέγιστης υψομετρικής διαφοράς. Δηλαδή σχηματίζεται μια συνάρτηση εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας, συναρτήσει του ύψους, που έχει μορφή :

$$E(h) = E_b + \frac{E_s - E_b}{Z_4 - Z_3} h \quad (\text{Εξίσωση 3. 11})$$

Η ολοκλήρωση της συνάρτησης της ελεύθερης επιφανείας μέχρι ένα ύψος  $h_1$ , μέσα στην ζώνη της βάσης, δίνει τον διαθέσιμο όγκο μέχρι το ύψος αυτό.

$$dV(h_1) = E_b h_1 + \frac{E_s - E_b}{2(Z_4 - Z_3)} h_1^2 \quad (\text{Εξίσωση 3. 12})$$

Οι εξισώσεις 3.11 και 3.12 είναι η προσέγγιση που υιοθετείται στην μεταβατική ζώνη. Με γνωστό τον όγκο των απορριμμάτων που έχουν εισέλθει στον XYTA εκτιμάται το ύψος τους και το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας εργασίας. Έπειτα η τιμή του ύψους συγκρίνεται με τα ύψη των σημείων της βάσης για να βρεθούν οι σωστές εξισώσεις των επιπέδων, των οποίων οι τομές ορίζουν το περίγραμμα της ελεύθερης επιφάνειας. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι τον χρόνο πλήρωσης του όγκου της ζώνης ( $V_s$ ), που εκτιμάται βάση του μηνιαίου εισερχόμενου όγκου απορριμμάτων ( $dV$ ), το ποσοστό συμπίεσης ( $pc$ ) και το ποσοστό αύξησης τους ( $pg$ ), από την εξίσωση 3.14 (αν το ποσοστό αύξησης είναι μηδέν) και την εξίσωση 3.15.

$$V_s = E_b (Z_4 - Z_3) + \frac{E_b - E_s}{2} (Z_4 - Z_3) \quad (\text{Εξίσωση 3. 13})$$

$$t = \frac{1}{1 - pc} \frac{V_s}{dV}, \quad pg = 0 \quad (\text{Εξίσωση 3. 14})$$

$$t = \frac{\log\left(\frac{pg}{1 - pc} \frac{V_s}{dV}\right) + 1}{\log(pg + 1)}, \quad pg \neq 0 \quad (\text{Εξίσωση 3. 15})$$

$$dV = dV(1 + pg)(1 - pc) \quad (\text{Εξίσωση 3. 16})$$

$$V_f = V_f + dV \quad (\text{Εξίσωση 3. 17})$$

Επίσης στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη η τυχόν κατασκευή τεχνητών επιφανειών/αναβαθμίδων και το αντίκτυπο που έχουν στις εξισώσεις των επιπέδων και των συντεταγμένων των ορίων της ελεύθερης επιφάνειας. Ο αριθμός των αναβαθμίδων υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε επιφάνεια, επειδή

δεν μετασχηματίζονται όλες στο ίδιο υψόμετρο. Η εύρεση των συντεταγμένων πραγματοποιείται υποθέτοντας ένα γραμμικό τρόπο μεταβολής, κάτι που ισχύει γενικά για φυσικές επιφάνειες εξ αιτίας της τομής των επιπέδων μεταξύ τους, αλλά όχι για τεχνητές επιφάνειες, όπου το επίπεδο της αναβαθμίδας διαρκώς μετατοπίζεται. Παρόλα αυτά η όλη προσέγγιση του χώρου γίνεται με ικανοποιητική ακρίβεια, καθώς ο υπολογισμός του ύψους γίνεται με μια αντίστοιχη παραδοχή, άρα η χρήση των τομών των εξισώσεων θα οδηγούσε σε πιο μεγάλα σφάλματα.

Η πρόσθετη επιφάνεια των τεχνητών επιφανειών βρίσκεται κατ' εκτίμηση από τις συντεταγμένες των επιφανειών στην βάση της μεταβατικής ζώνης και τις συντεταγμένες τους στο άνω υψομετρικό όριο της ζώνης με την ίδια ακριβώς μεθοδολογία που αναλύθηκε στην ζώνη της βάσης (Σχήμα 3.4, Εξισώσεις 3.8 και 3.9).

Στο τέλος του υποπρογράμματος πραγματοποιούνται οι έλεγχοι που καθορίζουν την πορεία των εργασιών στο XYTA (μεταβλητή **PROC**).

### **Παρατηρήσεις**

- Αν η μεταβατική ζώνη δεν υφίσταται, τότε οι μόνες πράξεις που εκτελούνται είναι της αλλαγής από θετικές σε αρνητικές κλίσεις και του αντίκτυπού τους στις εξισώσεις των κεκλιμένων επιφανειών.
- Η ελεύθερη επιφάνεια στο άνω όριο της μεταβατικής ζώνης υπολογίζεται με την ίδια διαδικασία που αναλύθηκε στην ζώνη της βάσης (Σχήμα 3.5, Εξισώση 3.7 ).
- Η προσομοίωση της μεταβατικής ζώνης περιλαμβάνει τον έλεγχο του μέγιστου επιτρεπτού ύψους και παρέχει την δυνατότητα συνένωσης των διαμερισμάτων σε κάποιο ενδιάμεσο ύψος.

#### ***3.4.4.3 Υποπρόγραμμα CMZONE***

Είναι το υποπρόγραμμα επίλυσης των ζωνών του XYTA με σταθερό τρόπο ανάπτυξης, όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στην ενότητα 2.3 και προσφέρει την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Εφαρμόζεται για οποιοδήποτε συνδυασμό επιφανειών περιμετρικά του χώρου, για αρνητικές ή θετικές κλίσεις, για μια ζώνη ενός διαμερίσματος του XYTA ή το ενοποιημένο σύνολο των

διαμερισμάτων και ενσωματώνει τα κριτήρια διακοπής των εργασιών (μέγιστο υψόμετρο και ελάχιστη επιφάνεια).

Πιο αναλυτικά, εξετάζεται ο τύπος κάθε επιφάνειας και σχηματίζονται οι παράγοντες  $S_1$  και  $S_2$  των εξισώσεων 2.3.2 και 2.3.3, που επιλύουν την ζώνη, με άθροιση της μεταβολής που επιφέρει η κάθε επιφάνεια (εξισώσεις 2.3.6 – 2.3.7, 2.3.11 – 2.3.12, 2.3.13 – 2.1.14, 2.3.17 – 2.3.24). Παράλληλα σχηματίζονται δύο ίδιας φύσεως αθροίσματα,  $SS_1$  και  $SS_2$ , για την περιγραφή της μεταβολής της επιφάνειας ανά αναβαθμίδα, που τυχόν κατασκευάζεται, ώστε να υπολογιστεί ο αριθμός των αναβαθμίδων βάση του κριτηρίου της ελάχιστης επιφάνειας εργασίας. Η διαφορά των παραμέτρων  $S_1$ ,  $S_2$  και  $SS_1$ ,  $SS_2$  είναι ότι οι παράγοντες που αθροιστικά δίνουν τα  $S_1$  και  $S_2$  πολλαπλασιάζονται προηγουμένως με ένα παράγοντα,  $l_{xy}$ , που αποδίδει την κατασκευή ή όχι των αναβαθμίδων σε κάθε επιφάνεια. Η παράμετρος  $l_{xy}$  παίρνει τιμές σύμφωνα με τις εξισώσεις 3.19 – 3.19.

### Κατασκευή αναβαθμίδων/Τεχνητές επιφάνειες

$$l_{xy} = \left( \frac{l_y}{k} + l_x \right) sign(k) \quad (\text{Εξίσωση 3. 18})$$

όπου

$l_y$  η κατακόρυφη απόσταση δύο διαδοχικών αναβαθμίδων

$l_x$  η οριζόντια απόσταση δύο διαδοχικών αναβαθμίδων

$k$  η κλίση της επιφάνειας

$sign(x)$  η συνάρτηση που επιστρέφει το πρόσημο της παραμέτρου  $x$

### Φυσικές επιφάνειες

$$l_{xy} = l_y \quad (\text{Εξίσωση 3. 19})$$

Ο αριθμός των αναβαθμίδων υπολογίζεται από την δευτεροβάθμια εξίσωση  $SS_2(ns)^2 + SS_1(ns) + E_b - E_m = 0$ , αν ισχύει  $SS_1 < 0$  ώστε να είναι δυνατή η μείωση της αρχικής ελεύθερης επιφάνειας από  $E_b$  στην οριακή της τιμή  $E_m$ . Η λύση της εξίσωσης μπορεί να είναι μόνο θετικός αριθμός και μετά από διερεύνηση η λύση της δίνεται από την σχέση 3.20.

$$ns = \frac{-SS_1 - \sqrt{SS_1^2 - 4SS_2(E_b - E_m)}}{2SS_2} \quad (\text{Εξίσωση 3. 20})$$

Πλέον ο αριθμός των αναβαθμίδων που προέκυψε συγκρίνεται με τον αριθμό των αναβαθμίδων εφαρμόζοντας το κριτήριο του διαθέσιμου ύψους της ζώνης, για να οριστεί ο αριθμός των αναβαθμίδων και τελικά το δυνατό ύψος της ζώνης.

Η κατασκευή αναβαθμίδων επηρεάζει, επίσης, τον παράγοντα  $S_1$  λόγω της οριζόντιας απόστασης τους (οριζόντια μεταφορά του επιπέδου της επιφάνειας κατά  $l_x$ ), προκαλώντας ασυνέχειες στην ομαλή μεταβολή της ζώνης. Παρόλα αυτά είναι δυνατός ο αυτοματοποιημένος μετασχηματισμός του παράγοντα  $S_1$  ανά αναβαθμό, βάση της αρχικής του τιμής και του τρόπου που αλλάζει εξ αιτίας των αναβαθμίδων, ανά επιφάνεια. Η τελευταία παράμετρος είναι ένα άθροισμα που συμβολίζεται με  $Se$  και κατασκευάζεται παράλληλα των υπόλοιπων αθροισμάτων βάση των εξισώσεων 2.3.6 – 2.3.7, 2.3.11 – 2.3.12, 2.3.13 – 2.1.14, 2.3.17 – 2.3.24, παράγοντας την επαναληπτική σχέση 3.21.

$$S_1 = S_1 + Se \quad (\text{Εξίσωση 3. 21})$$

Στην συνέχεια εκτιμάται ο διαθέσιμος όγκος της αναβαθμίδας, που πρόκειται να κατασκευαστεί ( $V_s$ , εξίσωση 3.22) και ο χρόνος πλήρωσής της ( $t_s$ ), βάση του μηνιαίου εισερχόμενου όγκου απορριμμάτων ( $dV$ ), το ποσοστό συμπίεσης ( $pc$ ) και το ποσοστό αύξησης τους ( $pg$ ) (εξισώσεις 3.23 – 3.24). Για τον χρόνο πλήρωσης υπολογίζονται κάθε μήνα ο συνολικός όγκος των απορριμμάτων ( $V_f$ , εξίσωση 3.20), το ύψος των απορριμμάτων ( $h_1$ , εξίσωση 3.21), η ελεύθερη επιφάνεια ( $E_f$ , εξίσωση 3.22) και οι συντεταγμένες των ορίων της (εξισώσεις 2.3.25 – 2.28) και η πρόσθετη επιφάνεια των αναβαθμίδων ( $E_p$ ). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις αναβαθμίδες της ζώνης.

$$V_s = E_b l_y + \frac{S_1}{2} l_y^2 + \frac{S_2}{3} l_y^3 \quad (\text{Εξίσωση 3. 22})$$

$$t_s = \frac{1}{1-pc} \frac{V_s}{dV}, \text{ αν } pg = 0 \quad (\text{Εξίσωση 3. 23})$$

$$t_s = \frac{\log\left(\frac{pg}{1-pc}\right) \frac{V_s}{dV} + 1}{\log(pg+1)}, \text{ αν } pg \neq 0 \quad (\text{Εξίσωση 3. 24})$$

$$dV = dV(1+pg)(1-pc) \quad (\text{Εξίσωση 3. 25})$$

$$V_f = V_f + dV \quad (\text{Εξίσωση 3. 26})$$

$$dV = E_f h_1 + \frac{S_1}{2} h_1^2 + \frac{S_2}{3} h_1^3 \quad (\text{Εξίσωση 3. 27})$$

$$E_f = E_f + S_1 h_1 + S_2 h_1^2 \quad (\text{Εξίσωση 3. 28})$$

Στο τέλος του υποπρογράμματος πραγματοποιούνται οι έλεγχοι που καθορίζουν την πορεία των εργασιών στο XYTA (μεταβλητή **PROC**).

### **Παρατηρήσεις**

- Αν δεν προβλέπεται η κατασκευή αναβαθμίδων, τότε όλη η ζώνη αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο τμήμα και επιλύεται από τον ίδιο αλγόριθμο.
- Η εξίσωση 3.22 επιλύεται ως προς το ύψος των απορριμμάτων,  $h_1$ , χρησιμοποιώντας την επαναληπτική μέθοδο του Νεύτωνα (Newton-Raphson)<sup>I</sup>:

$$h_{n+1} = h_n - \frac{f(h_n)}{f'(h_n)}$$

όπου

$$f(h) = E_f h + \frac{S_1}{2} h^2 + \frac{S_2}{3} h^3 - dV$$

$$f'(h) = E_f + S_1 h + S_2 h^2$$

- Η πρόσθετη κεκλιμένη επιφάνεια βρίσκεται μετά από τριγωνισμό της επιφάνειας και εφαρμογή του τύπου του Ήρωνα, αφού είναι γνωστά τα σημεία της αναβαθμίδας και οι υπολογισμοί εκτελούνται ανά αναβαθμίδα (Σχήμα 3.6)

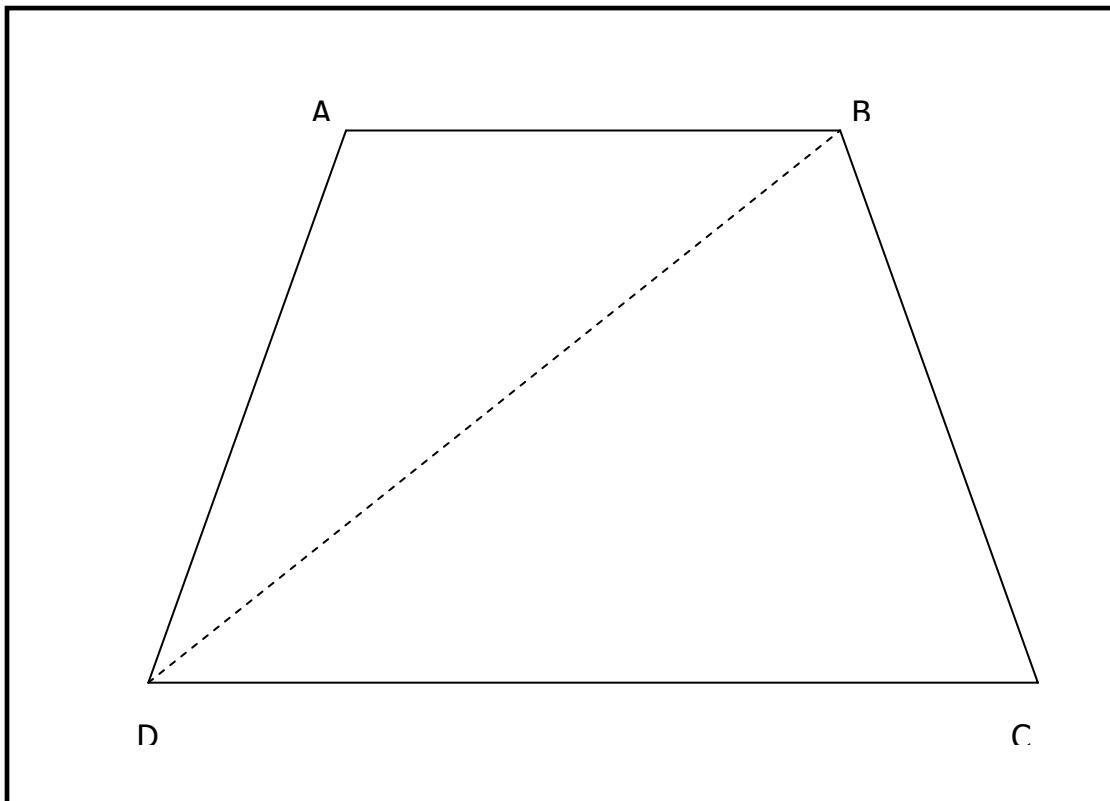
---

<sup>I</sup> Γ.Δ. Ακρίβης και Β.Α. Δουγάλης, Εισαγωγή στην αριθμητική ανάλυση, Επίλυση μη γραμμικών εξισώσεων, σελ 49

$$E = \sqrt{t(t-a)(t-b)(t-c)}$$

$$t = \frac{a+b+c}{2}$$

όπου  $a, b, c$  οι πλευρές των τριγώνων  $(ABD)$  και  $(BDC)$  του σχήματος 3.6.



**Σχήμα 3. 6 Πρόσοψη αναβαθμίδας και τριγωνισμός της επιφάνειάς της**

➤ Η παράμετρος  $E_b$  αντιπροσωπεύει την επιφάνεια στην αρχή της αναβαθμίδας ή ζώνης. Όταν ενώνονται δύο ζώνες έχει την τιμή της παραμέτρου  $E_f$  από την προηγούμενη ζώνη, ενώ όταν κατασκευάζονται αναβαθμίδες αλλάζει σύμφωνα με την εξίσωση 3.28 .

$$E_b = E_b + SS_1 + SS_2$$

**(Εξίσωση 3. 29)**

Η ελεύθερη επιφάνεια στο τέλος της αναβαθμίδας ( $E_s$ ) δίνεται από την εξίσωση 3.29 .

$$E_s = E_b + S_1 l_y + S_2 l_y^2$$

**(Εξίσωση 3. 30)**

➤ Με την ολοκλήρωση μιας αναβαθμίδας τα επίπεδα των επιφανειών μεταφέρονται οριζόντια κατά  $l_x$ , άρα οι παράμετροι  $d$  των εξισώσεών τους αλλάζουν σύμφωνα με την εξίσωση 3.30.

$$d' = d - c(kl_x)$$

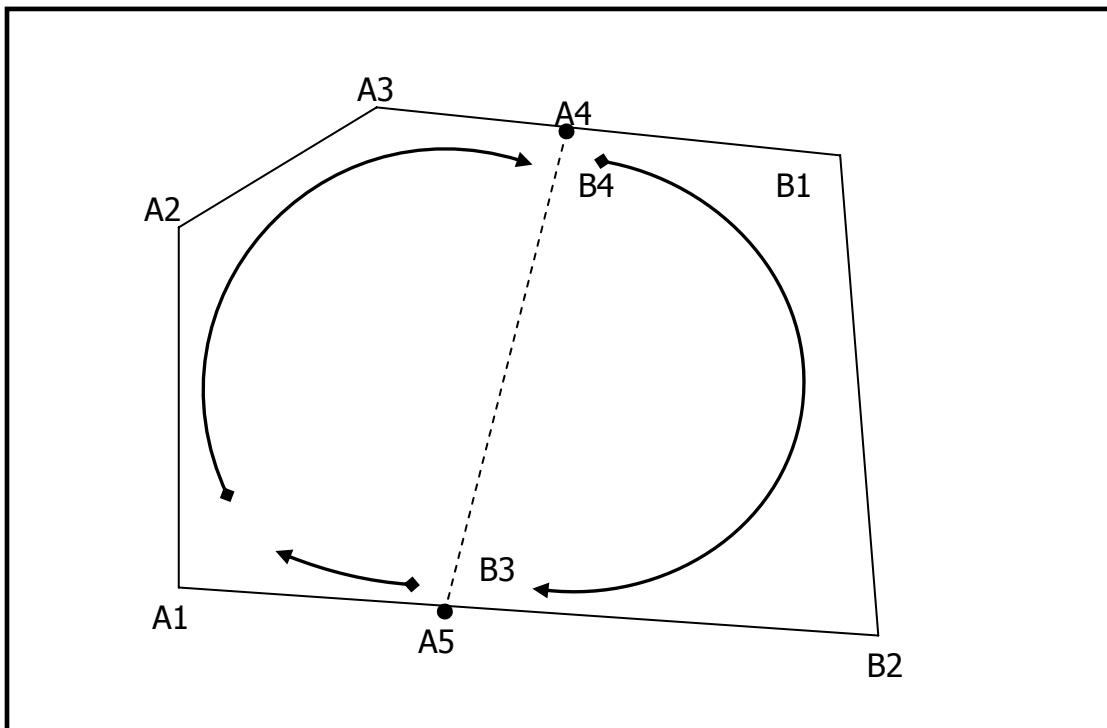
(Εξίσωση 3. 31)

Έτσι είναι δυνατή η απευθείας εύρεση των συντεταγμένων όλων των σημείων που ορίζουν την ελεύθερη επιφάνεια στην επόμενη αναβαθμίδα μέσω των τομών των επιπέδων σε δεδομένο υψόμετρο.

### 3.4.5 Ενοποίηση διαμερισμάτων του XYTA

Η ενοποίηση των διαμερισμάτων ενός XYTA, όταν το ύψος των απορριμμάτων γίνει ίσο με το ύψος των απορριμμάτων στο ή στα προηγούμενα διαμερίσματα, επιτελείται από το υποπρόγραμμα **CONJ**. Για να πραγματοποιηθεί η ένωση, το μητρώο των κόμβων που κατασκευάζεται για κάθε διαμέρισμα ή το συνολικό μητρώο μιας ομάδας διαμερισμάτων συγκρίνεται με το μητρώο του παρόν διαμερίσματος.

Πιο αναλυτικά σε κάθε σημείο της ελεύθερης επιφάνειας έχει αντιστοιχηθεί ο αριθμός του κόμβου δύο διαμερισμάτων ή το μηδέν αν το σημείο δεν αποτελεί κόμβο. Αν ένα σημείο δεν αποτελεί κόμβο τότε η επιφάνεια που ακολουθεί είναι επιφάνεια του ενοποιημένου συνόλου. Διαφορετικά είναι κοινή για τα δύο διαμερίσματα και δεν προσδιορίζει το κοινό ανάπτυγμα των διαμερισμάτων. Έτσι είναι δυνατή η δεξιόστροφη σύγκριση σημείο προς σημείο ενός διαμερίσματος με ένα άλλο μέχρι να βρεθεί ο κοινός κόμβος. Στην διάρκεια του ελέγχου γίνεται καταμέτρηση του αριθμού των επιφανειών και αποθηκεύονται τα στοιχεία τους. Έπειτα ο έλεγχος μεταφέρεται στο επόμενο διαμέρισμα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι την εύρεση του δεύτερου κοινού κόμβου (Σχήμα 3.7). Τότε ο έλεγχος επιστρέφει στο πρώτο διαμέρισμα για την προσάρτηση των υπόλοιπων επιφανειών στο ενοποιημένο διαμέρισμα. Παράλληλα ορίζονται τα νέα όρια της ζώνης.



**Σχήμα 3. 7 Παράδειγμα της διαδικασίας ενοποίησης δύο διαμερισμάτων**

Μετά το πέρας της διαδικασίας εκτελείται ένας τελευταίος έλεγχος, που αφορά την δυνατότητα ανάπτυξης του νέου διαμερίσματος λόγω της γεωμετρίας του. Αυτό αποτελεί δεδομένο κάθε διαμερίσματος και εισάγεται με την μεταβλητή **DES**. Αν δεν είναι δυνατή η ενοποιημένη ανάπτυξη, τότε η παράμετρος **PROC** παίρνει τιμή **STOP** και αποθηκεύεται η παρούσα κατάσταση. Σε αντίθετη περίπτωση, η παράμετρος **PROC** παίρνει τιμή **CONTI** και επιλύεται η νέα ζώνη.

### **Παρατηρήσεις**

- Ο μόνος περιορισμός της διαδικασίας ενοποίησης είναι στην αρίθμηση των ορίων της επιφάνειας κάθε διαμερίσματος, καθώς η αρχή της πρέπει να είναι σημείο, από όπου δεν ακολουθεί κοινή επιφάνεια μεταξύ των διαμερισμάτων που πρόκειται να ενοποιηθούν.
- Αν η γωνία μεταξύ δύο επιπέδων που ενώνονται σε κάποιο κόμβο των διαμερισμάτων γίνει  $180^{\circ}$ , τότε περιγράφουν την ίδια επιφάνεια και έχουν την ίδια εξίσωση επιπέδου.
- Μετά την ενοποίηση των διαμερισμάτων οι τεχνητές επιφάνειες με θετική κλίση, εξ αιτίας της σύνδεσης με αναβαθμίδες προηγούμενου διαμερίσματος,

απαλείφονται και μόνο οι τεχνητές επιφάνειες με αρνητική κλίση διατηρούνται.

### 3.5 Αποτελέσματα του προγράμματος

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εγγράφονται σε δύο διαφορετικά αρχεία, κατά την διάρκεια επίλυσης κάθε ζώνης. Το πρώτο αρχείο όλα περιλαμβάνει τα μηνιαία γεωμετρικά στοιχεία ανάπτυξης, πλην των συντεταγμένων της ελεύθερης επιφάνειας του XYTA, που δίνονται στο δεύτερο αρχείο σε ζεύγη  $x, y$  συντεταγμένων συναρτήσει του χρόνου και του ύψους. Αναλυτικά τα αποτελέσματα εκφράζονται τις ακόλουθες, βασικές παραμέτρους.

- 1.** Χρόνος (**t**), σε μήνες (**mo**).
- 2.** Υψόμετρο των στρωματοποιημένων απορριμμάτων στο παρόν διαμέρισμα του XYTA (**h**), σε μέτρα (**m**).
- 3.** Εμβαδόν επιφάνειας εργασίας στο παρόν διαμέρισμα του XYTA (**E**), σε χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα (**1000 m<sup>3</sup>**). Συμπίπτει με την ελεύθερη επιφάνεια του διαμερίσματος του XYTA.
- 4.** Συνολικό εμβαδόν της κεκλιμένης επιφάνειας των τεχνητών επιφανειών/αναβαθμίδων (**E<sub>ob</sub>**), σε χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα (**1000 m<sup>3</sup>**).
- 5.** Συνολικό εμβαδόν της οριζόντιας επιφάνειας των τεχνητών επιφανειών/αναβαθμίδων και της οριζόντιας επιφάνειας εργασίας των προηγούμενων διαμερισμάτων του XYTA (**E<sub>fl</sub>**), σε χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα (**1000 m<sup>3</sup>**).
- 6.** Συνολικός όγκος των στρωματοποιημένων απορριμμάτων (**V**), σε χιλιάδες κυβικά μέτρα (**1000 m<sup>3</sup>**).
- 7.** Συντεταγμένες των ορίων της ελεύθερης επιφάνειας του διαμερίσματος ενός XYTA (**x,y**), σε μέτρα (**m**).

Στα αρχεία με τα αποτελέσματα, δεξιά των τιμών, σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν τοποθετηθεί ζεύγη από αστεράκια για να περιγράψουν την ολοκλήρωση μιας ζώνης ή μιας αναβαθμίδας της ζώνης ενός διαμερίσματος του XYTA. Επειδή στην ζώνη της βάσης και στην μεταβατική ζώνη έχουν εφαρμοστεί γραμμικές προσεγγίσεις, η εύρεση των στοιχείων ανάπτυξης ενός XYTA ανά αναβαθμίδα δεν έχει κανένα πρακτικό ενδιαφέρον και έτσι παραλείπεται.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Το πρόγραμμα «**IBXYTA**» βελτιώθηκε σταδιακά μέσω πληθώρας προσομοιώσεων, που κατέδειξαν τα αδύνατα σημεία του και οδήγησαν στην τελική μορφή των δεδομένων εισόδου, των προσεγγίσεων που εφαρμόστηκαν και της συνολικής διάθρωσης του προγράμματος. Στην συνέχεια παρουσιάζεται τέσσερις αρκετά ενδιαφέρουσες προσομοιώσεις υποθετικών XYTA και παρατίθενται μέρος των αποτελεσμάτων τους.

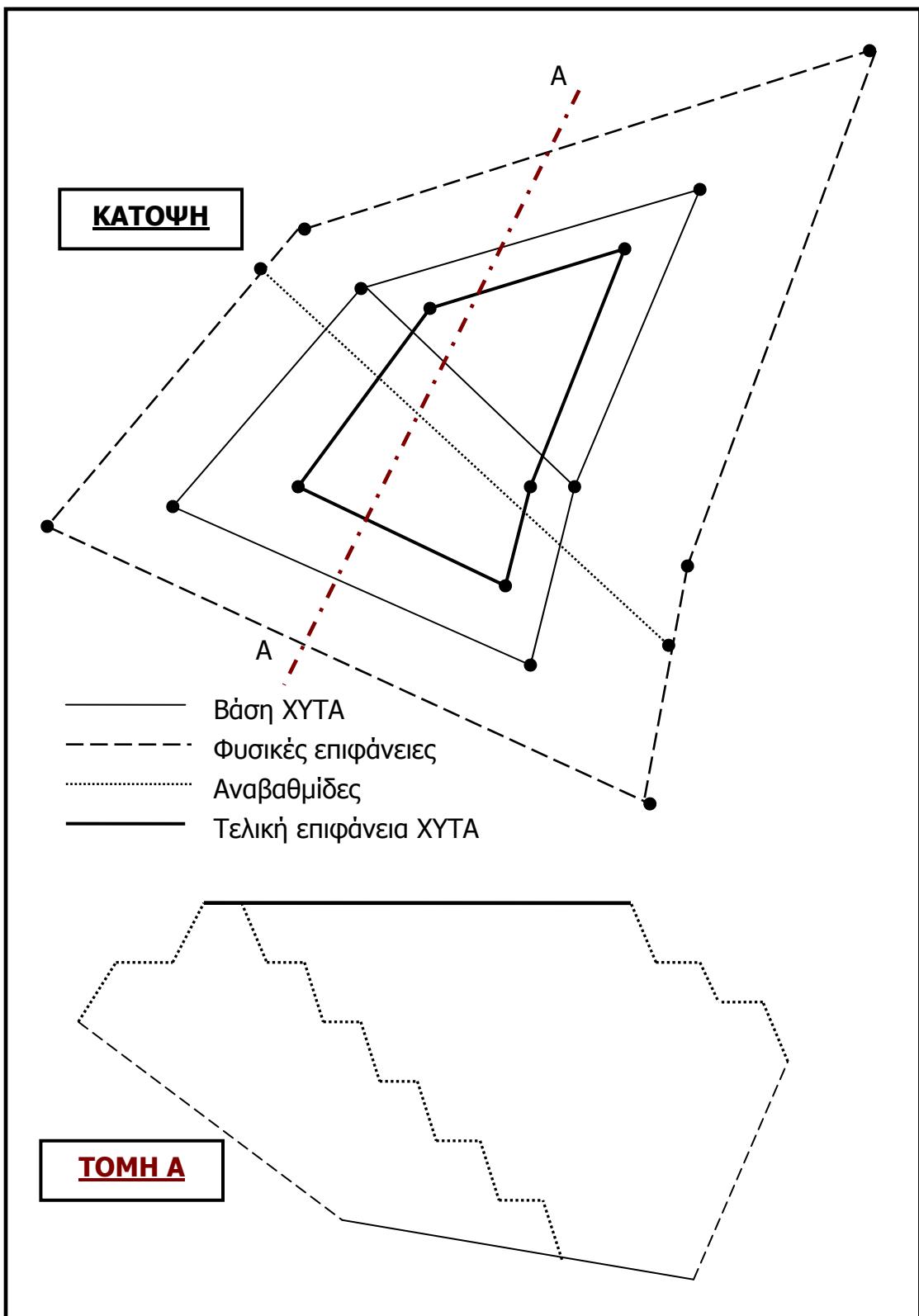
Στην πρώτη εφαρμογή προσομοιώνεται ένας χώρος διάθεσης απορριμμάτων με δύο διαμερίσματα και σαφώς καθορισμένες τις ζώνες της βάσης, της σταθερής μεταβολής και της μεταβατικής ζώνης. Στην δεύτερη εφαρμογή χρησιμοποιείται ένας χώρος δύο διαμερισμάτων και εισάγονται οι επιφάνειες κώνων ως κύριες επιφάνειες μεταβολής. Στην τρίτη εφαρμογή επιλύεται ένας XYTA, που αναπτύσσεται μόνο με κατασκευή αναβαθμίδων και συνδυάζεται με επιφάνειες κώνων. Στην τέταρτη και τελευταία εφαρμογή αναλύεται μια πιο σύνθετη περίπτωση, ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων τριών διαμερισμάτων.

Επισημαίνεται ότι εφαρμογές και οι τιμές των δεδομένων εισόδου έχουν επιλεχθεί κατάλληλα, ώστε να γίνουν αντιληπτή η απλότητα δημιουργίας ενός αρχείου εισόδου του προγράμματος **IBXYTA**, οι συνολικές δυνατότητες του προγράμματος και η εύκολη κατανόηση και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.

### **4.1 Εφαρμογές του μοντέλου**

#### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1**

Έστω ένας υποθετικός χώρος όπου πρόκειται να διατεθούν απορρίμματα, με ανάπτυξη που περιγράφεται γενικά από το σχήμα 4.1.

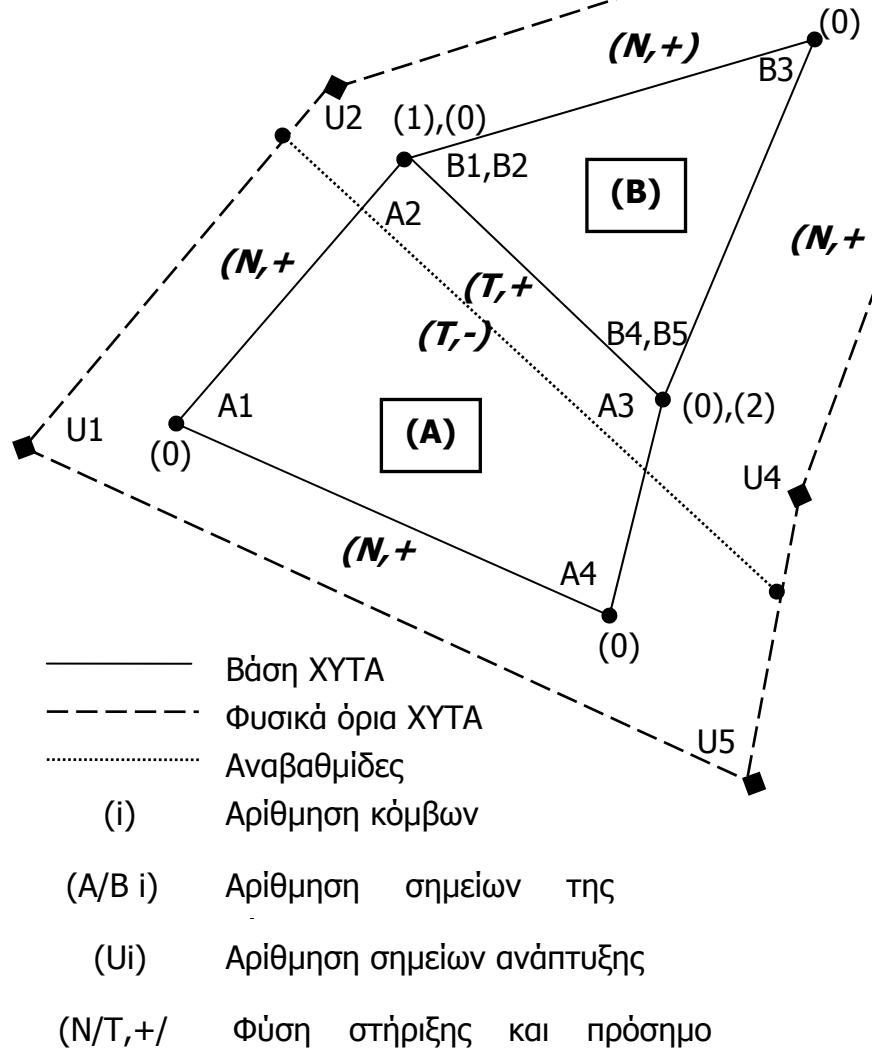


**Σχήμα 4. 1** Κάτοψη και πρόσωψη του θεωρητικού αναπτύγματος ενός χώρου, όπου πρόκειται να διατεθούν απορρίμματα.

Στο σχήμα 4.1 περιγράφεται η πιο συνηθισμένη περίπτωση, όπου ο XYTA αναπτύσσεται σε ένα χώρο με σύνθετη γεωμορφολογία, χωρίς να περιορίζεται από τα φυσικά υψομετρικά όρια της περιοχής. Ο XYTA αποτελείται από δύο διαμερίσματα με τέσσερα και πέντε κεκλιμένα επίπεδα μεταβολής αντίστοιχα. Ο μηνιαίος όγκος απορριμμάτων είναι περίπου  $150000 \text{ m}^3 / month$  με ποσοστό αύξησης 0.01%, ενώ το ποσοστό συμπίεσης του όγκου των απορριμμάτων εκτιμάται γύρω στο 34%. Το μέγιστο υψόμετρο είναι τα 400 m και η ελάχιστη επιφάνεια εργασίας τα 50 m<sup>2</sup>. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο αναβαθμίδων είναι 1 m και η κατακόρυφη 3 m. Η κλίση των τεχνητών επιφανειών θεωρείται ίση με τρία προς ένα για όλα τα κεκλιμένα επίπεδα.

Η αριθμηση των σημείων και των κόμβων του χώρου δίνεται στο σχήμα 4.2, όπου σημειώνονται επιπλέον η φύση κάθε επιφάνειας και το πρόσημο της κλίσης της. Τα στοιχεία αυτά είναι τα αρχικά δεδομένα εισόδου του προγράμματος και τροποποιούνται κατάλληλα κατά την διάρκεια των υπολογισμών.

## ΚΑΤΟΨΗ



**Σχήμα 4. 2 Κάτοψη χώρου**

Επισημαίνεται ότι στο διαμέρισμα  $B$  τα επίπεδα μεταβολής είναι πέντε, γιατί υπάρχουν δύο επιπλέον επίπεδα με μηδενικό αρχικό μήκος επί της βάσης ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των διαμερισμάτων  $A$  και  $B$  του XYTA. Η αντιστοιχία των σημείων της βάσης με τον αριθμό του κόμβου δίνεται στον πίνακα 4.1.

A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5
0	1	2	0	1	0	0	0	2

**Πίνακας 4. 1 Συνολικό μητρώο κόμβων του XYTA**

Η διαδικασία συνεχίζεται με την αντιστοίχηση των σημείων της βάσης με τα σημεία-όρια ανάπτυξης των φυσικών επιφανειών του χώρου, περιμετρικά κάθε διαμερίσματος. Οι φυσικές επιφάνειες απαιτούν δύο σημεία-όρια ανάπτυξης του χώρου και ένα σημείο της βάσης, ενώ οι τεχνητές επιφάνειες δύο σημεία της βάσης. Άρα η αντιστοίχηση που επιτυγχάνεται δίνεται στον πίνακα 4.2.

A1	U1	B5
A2	U2	B1
A3	U3	B2
(-)	U4	B3
A4	U4	B4

**Πίνακας 4.2 Αντιστοίχηση σημείων βάσης με όρια ανάπτυξης**

Αν στα δεδομένα εισόδου προστεθούν οι συντεταγμένες των σημείων της βάσης και των ορίων φυσικής ανάπτυξης του χώρου, τότε κατασκευάζεται το αρχείο με τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος **IBXYTA**, που παραθέτεται ακολούθως.

```
***** BLOCK OF COMMON INPUT DATA *****

Number of independent compartments at the landfill      NC, (-) | 2          (I 2)
Uncompressed volume of wastes per month             dV, (10^3 m3/month) | 150.000   (F10. 3)
Growth percentage of the volume of wastes         pg, (%) | 0.010     (F6. 3)
Compression percentage of the volume of wastes    pc, (%) | 34.000    (F6. 3)
Maximum height (m) above the surface of the sea   zu, (m) | 400.000   (F8. 3)
Minimum free (upper) surface at the XYTA           Em, (m2) | 50.000    (F12. 3)
Horizontal distance between two sequential steps   lx, (m) | 1.000     (F6. 3)
Vertical distance between two sequential steps      ly, (m) | 3.000     (F6. 3)
```

\*\*\*\*\* GEOMETRICAL DATA FOR EACH COMPARTMENT \*\*\*\*\*

Legend for the array with the geometrical data of the current compartment

Coordinates of the base points-limits	(X, Y, Z)b, (m)	(3F12. 3)
Coordinates of the development points-limits	(X, Y, Z)u, (m)	(3F12. 3)
Coordinates of the pivot for the curved		
oblique surfaces	(X, Y)a, (m)	(3F12. 3)
Node number of each point for the conjunction record	CJ, (-)	(I 2)
Type of each oblique surface	TP, (-)	(A4)
Type of support applied by each oblique surface	ST, (-)	(A4)
Technical slope of each oblique surface	ku, (-)	(F6. 3)

\*\*\*\*\* COMPARTMENT 1 \*\*\*\*\*

Number of surfaces round the area of the landfill	NSU, (-)	4	(I 2)
Uniting decision for the current compartment	DES, (-)	NO	(A3)

	(X, Y, Z)b		(X, Y, Z)u		CJ	TP	ST	ku	
152.000	187.000	300.000	35.000	175.000	350.000	0	OBFL	NATU	-3.000
240.000	270.000	305.000	162.000	310.000	355.000	0	OBFL	NATU	-3.000
375.000	270.000	303.000	410.000	310.000	348.000	1	OBFL	TECH	-3.000
320.000	85.000	298.000	297.000	25.000	349.000	2	OBFL	NATU	-3.000

\*\*\*\*\* COMPARTMENT 2 \*\*\*\*\*

Number of surfaces round the area of the landfill	NSU, (-)	5	(I 2)
Uniting decision for the current compartment	DES, (-)	YES	(A3)

	(X, Y, Z)b			(X, Y, Z)u			CJ	TP	ST	ku
	375.000	270.000	303.000	162.000	310.000	355.000	1	OBFL	NATU	-3.000
	375.000	270.000	303.000	410.000	310.000	348.000	0	OBFL	NATU	-3.000
	460.000	137.000	299.500	521.000	117.000	357.000	0	OBFL	NATU	-3.000
	320.000	85.000	298.000	297.000	25.000	349.000	0	OBFL	NATU	-3.000
	320.000	85.000	298.000	35.000	175.000	350.000	2	OBFL	TECH	3.000

### Πίνακας 4. 3 Αρχείο εισόδου εγαρμογής (1)

Επειδή ο όγκος των αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλος, παρουσιάζεται ένα μόνο μέρος τους. Υπενθυμίζεται ότι τα δύο αστεράκια δεξιά των τιμών δηλώνουν την ολοκλήρωση μιας ζώνης ή της αναβαθμίδας μιας ζώνης.

```
*****
***** LANDFILL DEVELOPMENT DATA *****
*****
t : total working time in the landfill, in months (mo)
h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)
E : current disposal surface in the landfill, in thousand square meters (10^3 m2)
Eob : total, non disposal, exposed, oblique surface in the landfill, in thousand square meters (10^3 m2)
EfI : total, non disposal, exposed, flat surface in the landfill, in thousand square meters (10^3 m2)
V : total volume of the disposed compressed wastes in the labdfill, in thousand cubic meters (10^3 m3)
```

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, (10^3 m2)	Eob, (10^3 m2)	EfI, (10^3 m2)	V, (10^3 m3)
**	0.852	305.000	24.102	0.881	0.245	84.357
**	1	305.604	24.420	1.006	0.245	99.000
**	1.607	308.000	25.705	1.510	0.245	159.055
**	1.607	308.000	25.503	1.510	0.447	159.055
**	15.762	347.000	47.568	11.379	3.327	1561.633
**	15.762	347.000	47.290	11.379	3.605	1561.633
**	16	347.496	47.656	11.524	3.605	1585.189
**	16.243	348.000	48.029	11.673	3.605	1609.292
**	17	349.572	47.455	12.622	3.869	1684.347
**	18	351.679	46.685	13.893	4.222	1783.516
**	30.894	385.000	30.128	41.434	12.047	3063.053
**	30.894	385.000	29.408	41.434	12.767	3063.053
**	31	385.359	29.322	41.705	12.767	3073.608
**	31.771	388.000	28.696	43.685	12.767	3150.206
**	31.771	388.000	27.993	43.685	13.470	3150.206
**	32	388.814	27.804	44.283	13.470	3172.915
**	34.867	400.000	23.317	52.135	15.474	3457.688
**	34.867	400.000	22.683	52.135	16.108	3457.688

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, (10^3 m2)	Eob, (10^3 m2)	EfI, (10^3 m2)	V, (10^3 m3)
	35	301.166	8.345	51.809	38.700	3470.897
**	35.199	303.000	13.179	51.619	38.648	3490.636
**	35.612	306.000	14.204	50.982	38.648	3531.700
**	35.612	306.000	14.408	50.982	38.443	3531.700
**	42.971	339.000	31.133	42.837	35.838	4263.057
**	43	339.093	31.180	42.811	35.838	4265.952
**	43.933	342.000	32.676	41.993	35.838	4358.762
**	43.933	342.000	32.946	41.993	35.568	4358.762
**	44	342.201	33.050	41.936	35.568	4365.378
**	56	376.557	32.348	47.068	36.981	5559.273
**	56.468	378.000	32.217	47.482	36.981	5605.841
**	56.468	378.000	31.944	47.482	37.254	5605.841
**	57	379.663	31.793	47.962	37.254	5658.829
**	57.426	381.000	31.670	48.348	37.254	5701.264
**	57.426	381.000	31.396	48.348	37.529	5701.264
**	58	382.825	31.228	48.878	37.529	5758.395
**	63	399.627	27.970	53.851	39.214	6256.374
**	63.105	400.000	27.935	53.963	39.214	6266.793

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

**Πίνακας 4. 4 Αποτελέσματα εφαρμογής (1). Γενικές παράμετροι ανάπτυξης του χώρου**

***** ***** LANDFILL FREE SURFACE COORDINATES ***** *****					
t : total working time in the landfill, in months (mo)	h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)	X/Y-COORDINATES : coordinates of the limmits of the free surface, in meters (m)	t, (mo)	X-COORDINATES, (m)	h, (m)
----- ----- ----- -----					
<b>DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL</b>					
**   t, (mo) : 0.852   X-coord , (m) : 148.485   238.337   372.727   315.324					
**   h, (m) : 305.000   Y-coord , (m) : 181.064   268.384   271.684   84.531					
t, (mo) : 1   X-coord , (m) : 146.962   237.416   372.677   314.894					
h, (m) : 305.604   Y-coord , (m) : 180.983   268.887   272.208   83.817					
**   t, (mo) : 9.292   X-coord , (m) : 80.394   197.115   362.068   289.011					
**   h, (m) : 332.000   Y-coord , (m) : 177.426   290.857   294.907   56.719					
**   t, (mo) : 9.292   X-coord , (m) : 80.394   197.115   361.014   288.123					
**   h, (m) : 332.000   Y-coord , (m) : 177.426   290.857   294.881   57.233					
t, (mo) : 10   X-coord , (m) : 75.824   194.349   360.865   286.834					
h, (m) : 333.812   Y-coord , (m) : 177.182   292.365   296.453   55.091					
**   t, (mo) : 20.905   X-coord , (m) : 43.052   167.563   347.155   268.652					
**   h, (m) : 358.000   Y-coord , (m) : 177.712   298.713   303.122   47.179					
**   t, (mo) : 27.995   X-coord , (m) : 64.431   172.972   329.436   261.016					
**   h, (m) : 376.000   Y-coord , (m) : 180.361   285.842   289.683   66.616					
t, (mo) : 28   X-coord , (m) : 64.439   172.974   329.429   261.013					
h, (m) : 376.015   Y-coord , (m) : 180.362   285.837   289.678   66.624					
**   h, (m) : 400.000   Y-coord , (m) : 183.418   270.991   274.177   89.044					
**   t, (mo) : 34.867   X-coord , (m) : 90.744   179.629   307.627   251.618					
**   h, (m) : 400.000   Y-coord , (m) : 183.621   270.001   273.143   90.539					

END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

317.315   t, (mo) : 35   X-coord , (m) : 375.000   375.000   460.048   318.572
h, (m) : 301.166   Y-coord , (m) : 270.000   270.000   139.639   81.275
82.002   **   t, (mo) : 35.199   X-coord , (m) : 373.946   391.777   460.100   317.745
315.759   **   h, (m) : 303.000   Y-coord , (m) : 269.974   270.412   142.545   79.118
80.266
305.357   t, (mo) : 37   X-coord , (m) : 369.832   396.449   473.110   312.542
h, (m) : 314.536   Y-coord , (m) : 279.907   280.561   137.087   65.546
69.699   **   t, (mo) : 37.084   X-coord , (m) : 369.794   396.637   473.633   312.333
305.046   **   h, (m) : 315.000   Y-coord , (m) : 280.310   280.969   136.868   65.000
69.212
258.972   t, (mo) : 58   X-coord , (m) : 323.608   396.626   480.515   301.161
h, (m) : 382.825   Y-coord , (m) : 285.264   287.057   130.057   50.145
74.530
252.867   **   t, (mo) : 62.824   X-coord , (m) : 309.445   390.479   466.089   301.773
90.062   **   h, (m) : 400.000   Y-coord , (m) : 274.521   276.511   135.006   61.794
252.279   **   t, (mo) : 62.824   X-coord , (m) : 308.081   389.887   464.700   301.832
91.557   **   h, (m) : 400.000   Y-coord , (m) : 273.488   275.496   135.482   62.915

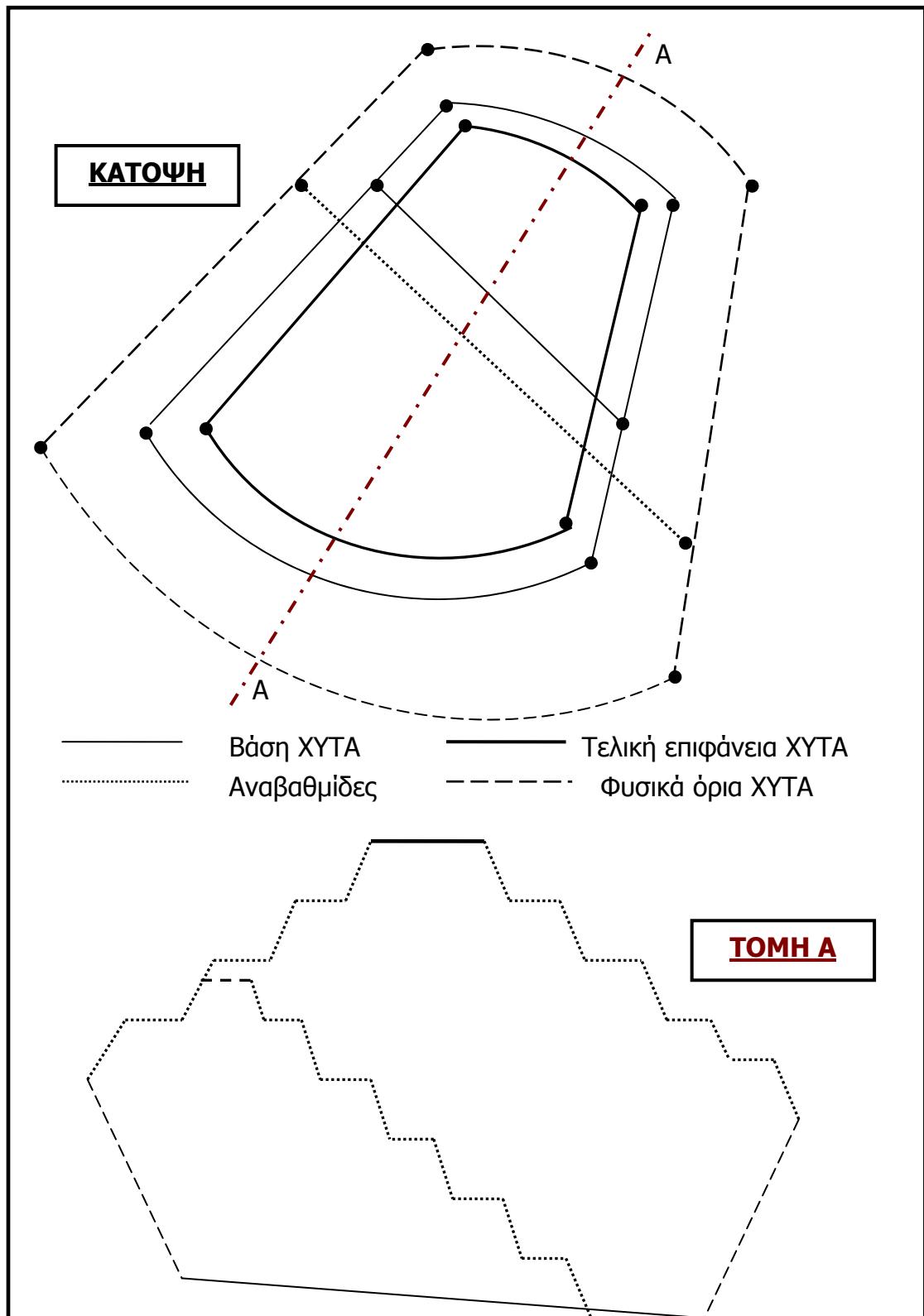
END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

**Πίνακας 4. 5 Αποτελέσματα εφαρμογής (1). Συντεταγμένες ορίων ελεύθερης επιφάνειας**

Το υψομετρικό όριο των 400 m επιτυγχάνεται πριν η επιφάνεια εργασίας φτάσει την ελάχιστη τιμή της, οπότε η διάθεση των απορριμμάτων αναστέλλεται πριν τα δύο διαμερίσματα ενοποιηθούν.

## **ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2**

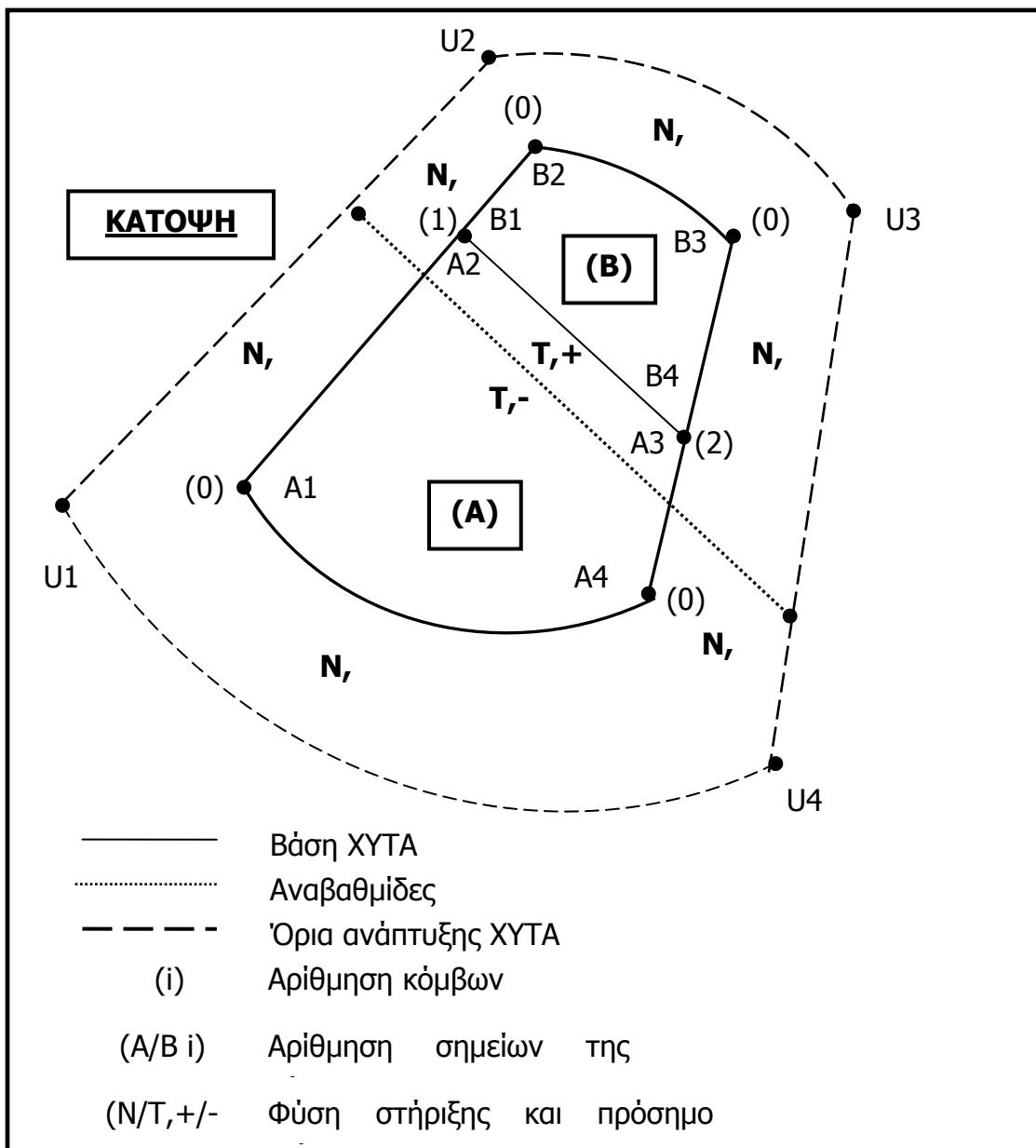
Έστω ένας υποθετικός χώρος όπου πρόκειται να διατεθούν απορρίμματα, με ανάπτυξη που περιγράφεται γενικά από το σχήμα 4.3.



**Σχήμα 4. 3 Κάτοψη και πρόσοψη του θεωρητικού αναπτύγματος ενός χώρου, όπου πρόκειται να διατεθούν απορρίμματα.**

Στο σχήμα 4.3 περιγράφεται, πάλι, ένας κοινός χώρος εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων. Ο XYTA αποτελείται από δύο διαμερίσματα, με τρία κεκλιμένα επίπεδα μεταβολής και μια επιπλέον κεκλιμένη επιφάνεια το καθένα, που προσομοιώνονται με εξωτερική επιφάνεια ορθού ελλειπτικού κώνου για το πρώτο διαμέρισμα και κυκλικού κώνου για το δεύτερο. Ο μηνιαίος όγκος απορριμμάτων είναι περίπου  $150000 \text{ m}^3 / month$  με ποσοστό αύξησης 0.01%, ενώ το ποσοστό συμπίεσης του όγκου των απορριμμάτων εκτιμάται γύρω στο 34%. Το μέγιστο υψόμετρο είναι τα 550 m, (αφαιρώντας ουσιαστικά τον υψομετρικό περιορισμό) και η ελάχιστη επιφάνεια εργασίας τα 50 m<sup>2</sup>. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο αναβαθμίδων είναι 1 m και η κατακόρυφη 3 m. Η κλίση των τεχνητών επιφανειών θεωρείται ίση με τρία προς ένα για όλα τα κεκλιμένα επίπεδα.

Η αριθμηση των σημείων και των κόμβων του XYTA δίνεται στο σχήμα 4.6, όπου σημειώνονται επιπλέον η φύση κάθε επιφάνειας και το πρόσημο της κλίσης της. Τα στοιχεία αυτά είναι τα αρχικά δεδομένα εισόδου του προγράμματος και τροποποιούνται κατάλληλα κατά την διάρκεια των υπολογισμών.



**Σχήμα 4. 4 Κάτοψη χώρου**

Επισημαίνεται ότι στα διαμερίσματα  $A$  και  $B$  τα επίπεδα μεταβολής είναι τέσσερα και τρία αντίστοιχα, επειδή τα επίπεδα τους είναι κοινά. Η αντιστοιχία των σημείων της βάσης με τον αριθμό του κόμβου δίνεται στον πίνακα 4.6.

A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
0	1	2	0	1	0	0	2

**Πίνακας 4. 6 Συνολικό μητρώο κόμβων του XYTA**

Η διαδικασία συνεχίζεται με την αντιστοίχηση των σημείων της βάσης με τα σημεία-όρια ανάπτυξης των φυσικών επιφανειών του χώρου, περιμετρικά κάθε διαμερίσματος. Οι φυσικές επιφάνειες απαιτούν δύο σημεία/όρια ανάπτυξης του χώρου και ένα σημείο της βάσης, ενώ οι τεχνητές επιφάνειες δύο σημεία της βάσης. Άρα η αντιστοίχηση που επιτυγχάνεται δίνεται στον πίνακα 4.7.

A1	U1	B1
A2	U2	B2
A3	U3	B2
A4	U4	B4

**Πίνακας 4.7 Αντιστοίχηση σημείων βάσης με όρια ανάπτυξης**

Αν στα δεδομένα εισόδου προστεθούν οι συντεγμένες των σημείων της βάσης και των ορίων φυσικής ανάπτυξης του χώρου, τότε κατασκευάζεται το αρχείο με τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος **IBXYTA**, που παραθέτεται ακολούθως.

```
***** BLOCK OF COMMON INPUT DATA *****

Number of independent compartments at the landfill | NC, (-) | 2 | (I 2)
Uncompressed volume of wastes per month | dV, (10^3 m3/month) | 150.000 | (F10. 3)
Growth percentage of the volume of wastes | pg, (%) | 0.010 | (F6. 3)
Compression percentage of the volume of wastes | pc, (%) | 34.000 | (F6. 3)
Maximum height (m) above the surface of the sea | zu, (m) | 550.000 | (F8. 3)
Minimum free (upper) surface at the X-YTA | Em, (m2) | 50.000 | (F12. 3)
Horizontal distance between two sequential steps | lx, (m) | 1.000 | (F5. 3)
Vertical distance between two sequential steps | ly, (m) | 3.000 | (F5. 3)

***** GEOMETRICAL DATA FOR EACH COMPARTMENT *****

Legend for the array with the geometrical data of the current compartment
-----
Coordinates of the base points-limits | (X, Y, Z)b, (m) | (3F12. 3)
Coordinates of the development points-limits | (X, Y, Z)u, (m) | (3F12. 3)
Coordinates of the pivot for the curved oblique surfaces | (X, Y)a, (m) | (3F12. 3)
Node number of each point for the conjunction record | CJ, (-) | (I 2)
Type of each oblique surface | TP, (-) | (A4)
Type of support applied by each oblique surface | ST, (-) | (A4)
Technical slope of each oblique surface | ku, (-) | (F6. 3)

***** COMPARTMENT 1 *****

Number of surfaces round the area of the landfill | NSU, (-) | 4 | (I 2)
Uniting decision for the current compartment | DES, (-) | YES | (A3)

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (X, Y, Z)b | | | | (X, Y, Z)u | | | | CJ | | TP | | ST | | ku | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 131.000 | 135.000 | 300.000 | 65.000 | 82.000 | 354.000 | 0 | OBOES | NATU | -3.000 |
| 225.000 | 292.000 | 298.000 | 195.000 | 345.000 | 364.000 | 0 | OBFL | NATU | -3.000 |
| 333.000 | 300.000 | 297.000 | 451.000 | 362.000 | 359.000 | 1 | OBFL | TECH | -3.000 |
| 389.000 | 115.000 | 296.000 | 500.000 | 55.000 | 360.000 | 2 | OBFL | NATU | -3.000 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

***** COMPARTMENT 2 *****

Number of surfaces round the area of the landfill | NSU, (-) | 4 | (I 2)
Uniting decision for the current compartment | DES, (-) | YES | (A3)
```

	(X, Y, Z)b		(X, Y, Z)u		CJ	TP	ST	ku		
	323.000	300.000	297.000	195.000	345.000	364.000	1	OBFL	NATU	-3.000
	427.000	305.000	296.000	451.000	362.000	359.000	0	OBCS	NATU	-3.000
	461.000	105.000	295.000	500.000	55.000	360.000	0	OBFL	NATU	-3.000
	389.000	115.000	296.000	65.000	82.000	354.000	2	OBFL	TECH	3.000

#### Πίνακας 4.8 Αρχείο εισόδου της εφαρμογής (2)

Επειδή ο όγκος των αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλος, παρουσιάζεται ένα μόνο μέρος τους. Υπενθυμίζεται ότι τα δύο αστεράκια δεξιά των τιμών δηλώνουν την ολοκλήρωση μιας ζώνης ή της αναβαθμίδας μιας ζώνης.

```
*****
***** LANDFILL DEVELOPMENT DATA *****
*****
```

t : total working time in the landfill, in months (mo)  
h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)  
E : current disposal surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
Eob : total, non disposal, exposed, oblique surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
Efl : total, non disposal, exposed, flat surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
V : total volume of the disposed compressed wastes in the labdfill, in thousand cubic meters ( $10^3$  m<sup>3</sup>)

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Eob, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Efl, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	V, ( $10^3$ m <sup>3</sup> )
**	0.658	300.000	32.555	0.611	0.170	65.110
**	1	301.033	33.055	0.816	0.170	99.000
**	1.666	303.000	33.999	1.212	0.170	164.946
**	1.666	303.000	33.806	1.212	0.363	164.946
	2	303.971	34.271	1.411	0.363	198.010
**	16	338.219	45.986	9.597	4.021	1585.189
**	16.363	339.000	46.313	9.810	4.021	1621.212
**	16.363	339.000	45.841	9.810	4.493	1621.212
	17	340.369	46.415	10.187	4.493	1684.347
**	31.665	370.000	47.113	26.593	11.143	3139.601
	32	370.709	46.877	27.240	11.143	3172.915
	33	372.844	46.167	29.177	11.143	3272.232
**	33.073	373.000	46.115	29.318	11.143	3279.441
**	33.073	373.000	45.094	29.318	12.163	3279.441
**	48	423.755	13.937	67.088	28.454	4763.184
**	48.034	424.000	13.874	67.233	28.454	4766.595
**	48.034	424.000	12.858	67.233	29.469	4766.595
**	49.575	448.000	0.056	79.591	36.573	4919.855

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Eob, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Efl, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	V, ( $10^3$ m <sup>3</sup> )
**	49.776	297.000	20.044	79.509	36.606	4939.900
**	49.816	300.000	20.687	78.887	36.606	5001.004
**	49.816	300.000	20.887	78.887	36.407	5001.004
	50	300.874	21.071	78.702	36.407	5019.342
**	64	351.996	32.743	65.501	32.226	6413.194
**	64.660	354.000	32.907	64.887	32.226	6478.981
**	64.660	354.000	33.200	64.887	31.933	6478.981
	65	354.990	35.167	64.940	31.948	6512.830
	66	357.627	40.405	65.082	31.988	6612.476
	67	359.960	45.038	65.207	32.022	6712.131
	68	362.074	49.238	65.321	32.054	6811.796
**	68.988	364.000	53.063	65.424	32.083	6910.295
	69	364.022	53.063	65.432	32.083	6911.472
	70	365.901	53.035	66.101	32.083	7011.158
	102	431.513	41.126	89.774	38.039	10206.360
**	102.610	433.000	40.879	90.318	38.039	10267.349
**	102.610	433.000	40.374	90.318	38.544	10267.349
	103	433.969	40.209	90.672	38.544	10306.375
	108	447.161	35.538	95.513	40.769	10806.600
**	108.297	448.000	35.370	95.821	40.769	10836.354
**	108.297	448.000	34.763	95.821	41.376	10836.354

\*\*\*\*\*  
 CONJUNCTION OF THIS COMPARTMENT WITH ITS PREVIOUS COMPARTMENT/S. COMMON DEVELOPMENT  
 \*\*\*\*\*

DISPOSAL AT THE CONJOINED COMPARTMENT/S

	t, (mo)	h, (m)	E, (10^3 m2)	Eob, (10^3 m2)	Efl, (10^3 m2)	V, (10^3 m3)	
**	109	450. 033	34. 349	111. 185	41. 320	10906. 675	
**	109. 331	451. 000	34. 126	114. 492	41. 320	10939. 771	
**	109. 331	451. 000	33. 432	114. 492	42. 014	10939. 771	
	110	453. 018	32. 968	116. 895	42. 014	11006. 760	
**	117. 331	481. 000	19. 060	188. 017	49. 569	11740. 770	
**	117. 892	484. 000	18. 389	200. 099	49. 569	11796. 945	
**	117. 892	484. 000	17. 573	200. 099	50. 386	11796. 945	
	118	484. 620	17. 435	202. 751	50. 386	11807. 800	
**	118. 408	487. 000	16. 904	213. 111	50. 386	11848. 660	
**	118. 408	487. 000	16. 076	213. 111	51. 214	11848. 660	
**	120. 902	511. 000	4. 686	350. 593	57. 318	12098. 498	
**	120. 902	511. 000	3. 769	350. 593	58. 235	12098. 498	
	121	513. 849	3. 150	370. 870	58. 235	12108. 355	
**	121. 005	514. 000	3. 117	371. 954	58. 235	12108. 829	
**	121. 005	514. 000	2. 190	371. 954	59. 163	12108. 829	
**	121. 061	517. 000	1. 539	394. 244	59. 163	12114. 423	
**	121. 061	517. 000	0. 601	394. 244	60. 101	12114. 423	
**	121. 069	519. 549	0. 050	413. 948	60. 101	12115. 253	

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

#### Πίνακας 4. 9 Αποτελέσματα εφαρμογής (2). Γενικά στοιχεία ανάπτυξης του χώρου

\*\*\*\*\*  
 LANDFILL FREE SURFACE COORDINATES \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

t : total working time in the landfill, in months (mo)  
 h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)  
 X/Y-COORDINATES : coordinates of the limits of the free surface, in meters (m)

t, (mo)	X-COORDINATES, (m)
h, (m)	Y-COORDINATES, (m)

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

**   t, (mo) :	0. 658	X-coord, (m) :	140. 165	224. 034	330. 221	384. 182	
**   h, (m) :	300. 000	Y-coord, (m) :	134. 563	293. 498	302. 297	122. 916	
t, (mo) :	1	X-coord, (m) :	138. 727	223. 565	329. 614	384. 145	
h, (m) :	301. 033	Y-coord, (m) :	133. 557	294. 330	303. 117	121. 844	
**   t, (mo) :	1. 666	X-coord, (m) :	135. 989	222. 673	328. 460	384. 075	
**   h, (m) :	303. 000	Y-coord, (m) :	131. 642	295. 912	304. 678	119. 802	
**   t, (mo) :	8. 464	X-coord, (m) :	110. 934	214. 507	310. 765	376. 014	
**   h, (m) :	321. 000	Y-coord, (m) :	114. 122	310. 397	318. 373	101. 470	
t, (mo) :	9	X-coord, (m) :	109. 124	213. 917	310. 002	375. 967	
h, (m) :	322. 301	Y-coord, (m) :	112. 856	311. 444	319. 405	100. 120	
**   t, (mo) :	9. 711	X-coord, (m) :	106. 758	213. 146	309. 004	375. 906	
**   h, (m) :	324. 000	Y-coord, (m) :	111. 201	312. 811	320. 754	98. 356	
**   t, (mo) :	16. 363	X-coord, (m) :	85. 879	206. 341	294. 088	369. 012	
**   h, (m) :	339. 000	Y-coord, (m) :	96. 601	324. 882	332. 153	83. 088	
t, (mo) :	17	X-coord, (m) :	83. 974	205. 720	293. 285	368. 963	
h, (m) :	340. 369	Y-coord, (m) :	95. 268	325. 984	333. 239	81. 667	
**   t, (mo) :	17. 769	X-coord, (m) :	81. 703	204. 981	292. 328	368. 905	
**   h, (m) :	342. 000	Y-coord, (m) :	93. 681	327. 296	334. 534	79. 973	
**   t, (mo) :	31. 665	X-coord, (m) :	81. 722	206. 033	272. 706	349. 073	
**   h, (m) :	370. 000	Y-coord, (m) :	91. 547	327. 122	332. 647	78. 787	
t, (mo) :	32	X-coord, (m) :	82. 104	206. 181	272. 535	348. 750	
h, (m) :	370. 709	Y-coord, (m) :	91. 765	326. 898	332. 395	79. 039	
t, (mo) :	33	X-coord, (m) :	83. 256	206. 629	272. 020	347. 779	
h, (m) :	372. 844	Y-coord, (m) :	92. 423	326. 221	331. 639	79. 798	
**   t, (mo) :	40. 256	X-coord, (m) :	102. 759	214. 206	263. 290	331. 327	
**   h, (m) :	391. 000	Y-coord, (m) :	103. 558	314. 755	318. 822	92. 649	
**   t, (mo) :	45. 987	X-coord, (m) :	125. 414	223. 007	253. 149	312. 217	
**   h, (m) :	412. 000	Y-coord, (m) :	116. 492	301. 436	303. 934	107. 577	
**   t, (mo) :	49. 563	X-coord, (m) :	162. 633	237. 467	236. 488	280. 821	
**   h, (m) :	445. 000	Y-coord, (m) :	137. 742	279. 555	279. 474	132. 102	
**   t, (mo) :	49. 575	X-coord, (m) :	164. 251	238. 095	235. 764	279. 456	
**   h, (m) :	448. 000	Y-coord, (m) :	138. 666	278. 604	278. 411	133. 168	

END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

**   t, (m) : 49.776   X-coord , (m) : 323.967   430.167   461.084   388.947
**   h, (m) : 297.000   Y-coord , (m) : 297.274   306.137   110.521   114.152
**   t, (m) : 55.588   X-coord , (m) : 298.324   439.239   477.762   378.874
**   h, (m) : 324.000   Y-coord , (m) : 318.704   330.465   86.726   91.705
**   t, (m) : 55.588   X-coord , (m) : 297.294   439.239   477.762   377.794
**   h, (m) : 324.000   Y-coord , (m) : 318.618   330.465   86.726   91.759
t, (m) : 56   X-coord , (m) : 296.320   439.747   478.696   377.714
h, (m) : 325.512   Y-coord , (m) : 319.857   331.827   85.394   90.478
t, (m) : 65   X-coord , (m) : 266.952   449.264   496.163   364.497
h, (m) : 354.990   Y-coord , (m) : 342.442   357.657   60.922   67.551
**   t, (m) : 78.486   X-coord , (m) : 253.015   439.483   481.993   340.404
**   h, (m) : 382.000   Y-coord , (m) : 331.763   347.325   78.363   85.491
**   t, (m) : 91.989   X-coord , (m) : 240.005   423.472   459.572   313.003
**   h, (m) : 409.000   Y-coord , (m) : 311.611   326.922   98.516   105.894
t, (m) : 92   X-coord , (m) : 240.000   423.466   459.563   312.992
h, (m) : 409.022   Y-coord , (m) : 311.603   326.914   98.524   105.902
**   t, (m) : 103.813   X-coord , (m) : 228.365   409.147   439.511   288.486
**   h, (m) : 436.000   Y-coord , (m) : 293.580   308.668   116.547   124.150
**   t, (m) : 103.813   X-coord , (m) : 227.680   408.304   438.331   287.044
**   h, (m) : 436.000   Y-coord , (m) : 292.520   307.594   117.608   125.224
t, (m) : 104   X-coord , (m) : 227.571   408.170   438.144   286.816
h, (m) : 436.476   Y-coord , (m) : 292.352   307.424   117.776   125.394
**   t, (m) : 108.297   X-coord , (m) : 222.887   402.405   430.071   276.949
**   h, (m) : 448.000   Y-coord , (m) : 285.095   300.077   125.033   132.741
**   t, (m) : 108.297   X-coord , (m) : 222.202   401.562   428.891   275.507
**   h, (m) : 448.000   Y-coord , (m) : 284.035   299.004   126.093   133.815

\*\*\*\*\*  
CONJUNCTION OF THIS COMPARTMENT WITH ITS PREVIOUS COMPARTMENT/S. COMMON DEVELOPMENT  
\*\*\*\*\*

DISPOSAL AT THE CONJOINED COMPARTMENT/S

**   t, (m) : 110.322   X-coord , (m) : 251.013   240.610   420.951   371.786
424.171   304.323
**   h, (m) : 454.000   Y-coord , (m) : 294.512   274.799   289.741   461.779
130.336   136.369
t, (m) : 111   X-coord , (m) : 254.546   241.057   424.058   366.492
423.332   309.446
h, (m) : 456.133   Y-coord , (m) : 299.684   274.122   289.285   490.718
131.090   136.823
**   t, (m) : 113.045   X-coord , (m) : 280.821   244.382   447.163   327.121
417.091   347.548
**   h, (m) : 463.000   Y-coord , (m) : 338.143   269.091   285.893   705.943
136.700   140.201
**   t, (m) : 113.868   X-coord , (m) : 285.789   245.011   451.532   319.677
415.911   354.752
**   h, (m) : 466.000   Y-coord , (m) : 345.415   268.139   285.251   746.637
137.761   140.839
**   t, (m) : 117.331   X-coord , (m) : 335.468   251.298   495.219   245.236
404.110   426.792
**   h, (m) : 481.000   Y-coord , (m) : 418.134   258.626   278.837   1153.576
148.367   147.225
**   t, (m) : 119.687   X-coord , (m) : 385.148   257.584   538.906   170.795
392.310   498.833
**   h, (m) : 496.000   Y-coord , (m) : 490.852   249.113   272.422   1560.515
158.974   153.611
**   t, (m) : 119.687   X-coord , (m) : 390.116   258.213   543.275   163.351
391.130   506.037
**   h, (m) : 496.000   Y-coord , (m) : 498.123   248.161   271.781   1601.209
160.035   154.250
t, (m) : 120   X-coord , (m) : 394.749   258.799   547.349   156.409
390.029   512.755
h, (m) : 498.798   Y-coord , (m) : 504.905   247.274   271.183   1639.157
161.024   154.846
**   t, (m) : 121.061   X-coord , (m) : 459.668   267.014   604.437   59.134
374.609   606.893
**   h, (m) : 517.000   Y-coord , (m) : 599.929   234.842   262.800   2170.924
174.884   163.190
**   t, (m) : 121.069   X-coord , (m) : 463.890   267.549   608.150   52.807
373.606   613.016
**   h, (m) : 519.549   Y-coord , (m) : 606.109   234.034   262.255   2205.507
175.785   163.733

END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

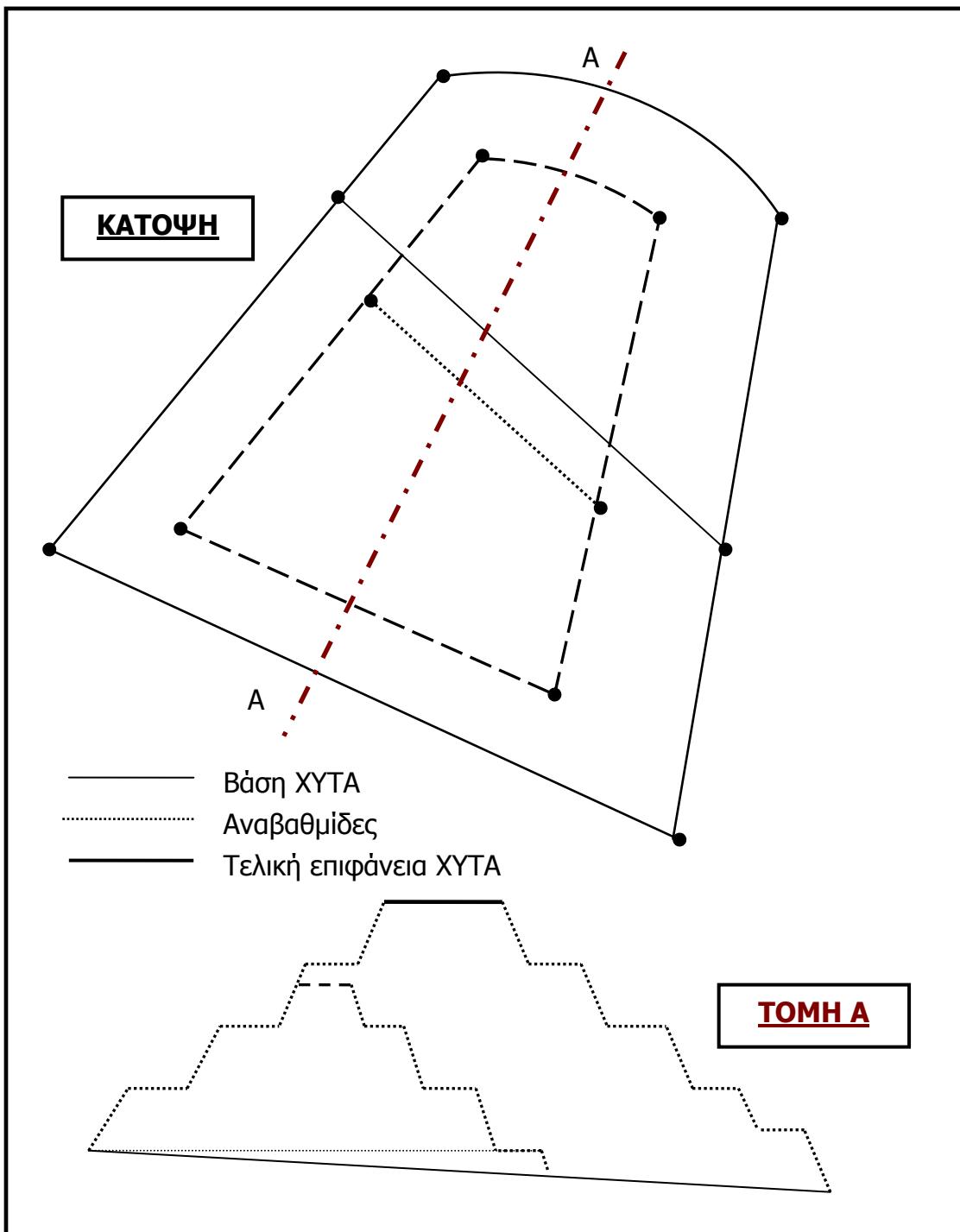
**Πίνακας 4. 10 Αποτελέσματα εφαρμογής (2). Συντεταγμένες ορίων της ελεύθερης επιφάνειας**

Οι εργασίες στο πρώτο διαμέρισμα του χώρου οδηγούν τελικά στην ελαχιστοποίηση του εμβαδού της διαθέσιμης επιφάνειας και οι εργασίες συνεχίζονται στο δεύτερο διαμέρισμα. Όταν το ύψος των απορριμμάτων στο δεύτερο διαμέρισμα γίνει ίσο με το ύψος των απορριμμάτων στο πρώτο διαμέρισμα, τότε τα διαμερίσματα ενοποιούνται και οι εργασίες συνεχίζονται από κοινού.

Η χρήση επιφανειών κώνων βελτιώνει την ακρίβεια στην προσέγγιση του τρόπου ανάπτυξης ενός χώρου, χωρίς να συνεπάγεται καμία σημαντική αύξηση των δεδομένων εισόδου. Προβλήματα προκύπτουν εξ αιτίας της μη σύγκλισης και γεωμετρικής συνεχείας του χώρου, ως αποτέλεσμα της χρήσης συντεταγμένων στην περιγραφή της σύνθετης γεωμορφολογίας μιας περιοχής.

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ 3**

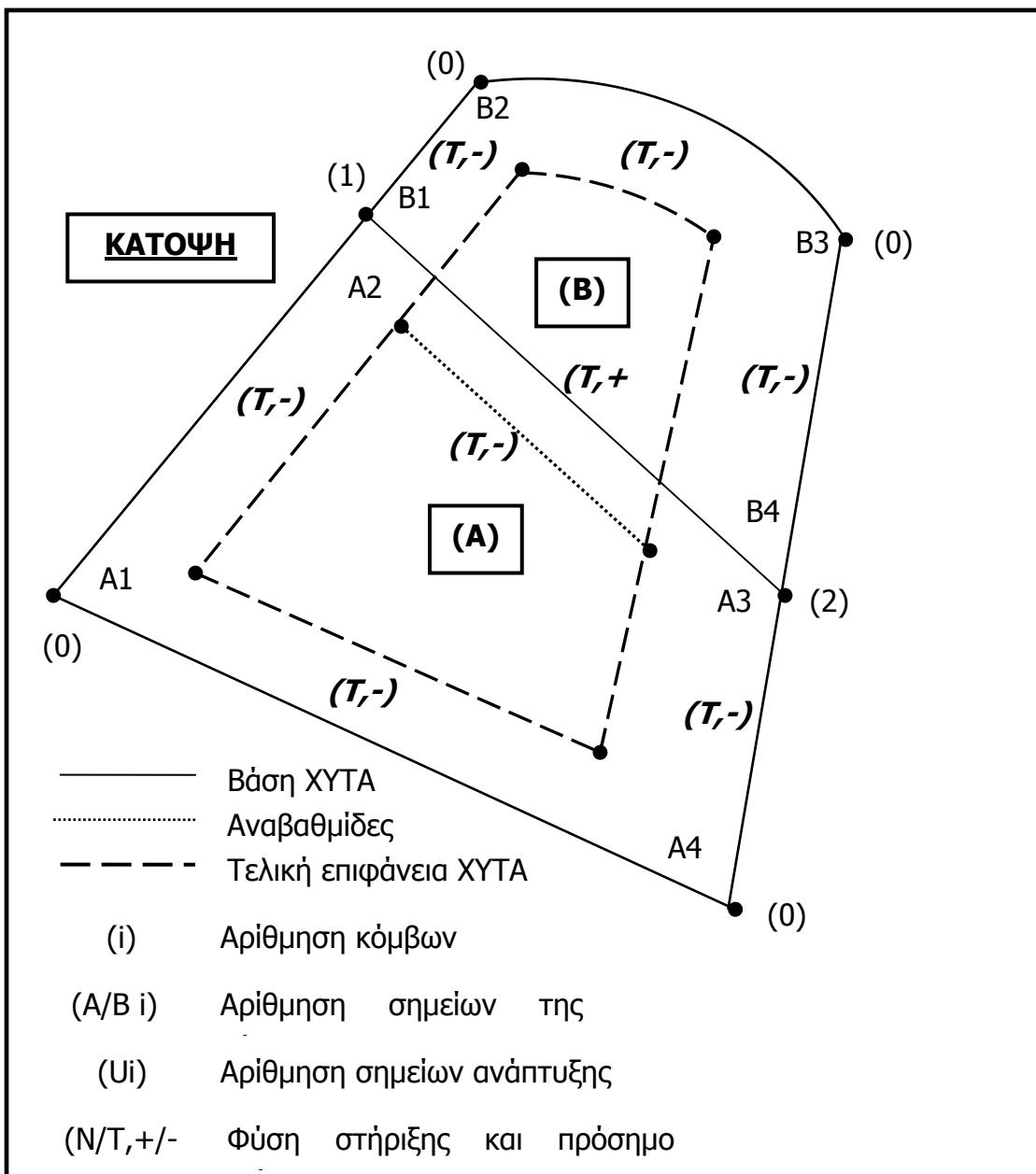
Έστω ένας υποθετικός χώρος όπου πρόκειται να διατεθούν απορρίμματα, με ανάπτυξη που περιγράφεται γενικά από το σχήμα 4.5.



**Σχήμα 4. 5 Κάτοψη και πρόσωψη του θεωρητικού αναπτύγματος ενός χώρου, όπου πρόκειται να διατεθούν απορρίμματα.**

Στο σχήμα 4.5 περιγράφεται η ένας χώρος εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων, όπου η ανάπτυξη του πραγματοποιείται με αναβαθμίδες, απουσία διαθέσιμου φυσικού ανάγλυφου για την στήριξη του όγκου των απορριμμάτων. Ο XYTA αποτελείται από δύο διαμερίσματα, με τέσσερα κεκλιμένα επίπεδα μεταβολής το πρώτο και τρία το δεύτερο, ενώ έχει επιλεχθεί η κατασκευή μιας επιπλέον κεκλιμένης επιφάνειας, που προσομοιώνεται με εξωτερική επιφάνεια ορθού κυκλικού κώνου. Ο μηνιαίος όγκος απορριμμάτων είναι περίπου  $10000 m^3 / month$  με ποσοστό αύξησης  $0.01\%$ , ενώ το ποσοστό συμπίεσης του όγκου των απορριμμάτων εκτιμάται γύρω στο  $34\%$ . Το μέγιστο υψόμετρο είναι τα  $340 m$  και η ελάχιστη επιφάνεια εργασίας τα  $50 m^2$ . Η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο αναβαθμίδων είναι  $1 m$  και η κατακόρυφη  $3 m$ . Η κλίση των τεχνητών επιφανειών θεωρείται ίση με τρία προς ένα για όλα τα κεκλιμένα επίπεδα.

Η αριθμηση των σημείων και των κόμβων του χώρου δίνεται στο σχήμα 4.6, όπου σημειώνονται επιπλέον η φύση κάθε επιφάνειας και το πρόσημο της κλίσης της. Τα στοιχεία αυτά είναι τα αρχικά δεδομένα εισόδου του προγράμματος και τροποποιούνται κατάλληλα κατά την διάρκεια των υπολογισμών.



**Σχήμα 4. 6 Κάτοψη χώρου**

Επισημαίνεται ότι στα διαμερίσματα  $A$  και  $B$  τα επίπεδα μεταβολής είναι τέσσερα και τρία αντίστοιχα, επειδή τα επίπεδα τους είναι κοινά. Η αντιστοιχία των σημείων της βάσης με τον αριθμό του κόμβου δίνεται στον πίνακα 4.11.

A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
0	1	2	0	1	0	0	2

**Πίνακας 4. 11 Συνολικό μητρώο κόμβων του XYTA**

Σημεία-όρια ανάπτυξης των φυσικών επιφανειών του XYTA, περιμετρικά κάθε διαμερίσματος, δεν υπάρχουν άρα δεν γίνεται καμία αντιστοίχηση και οι συντεταγμένες τους εισάγονται με μηδενικά. Η τεχνητή κατασκευή μιας επιφάνειας κώνου συνεπάγεται την γνώση των συντεταγμένων του άξονος περιστροφής του κώνου, οι οποίες εισάγονται στο πρόγραμμα.

Αν στα δεδομένα εισόδου προστεθούν οι συντεταγμένες των σημείων της βάσης και των ορίων φυσικής ανάπτυξης του XYTA, τότε κατασκευάζεται το αρχείο με τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος **IBXYTA**, που παραθέτεται ακολούθως.

***** BLOCK OF COMMON INPUT DATA *****						
Number of independent compartments at the landfill	NC, (-)	2				(I 2)
Uncompressed volume of wastes per month	dV, (10^3 m3/month)	10.000				(F10. 3)
Growth percentage of the volume of wastes	pg, (%)	0.010				(F6. 3)
Compression percentage of the volume of wastes	pc, (%)	34.000				(F6. 3)
Maximun height (m) above the surface of the sea	zu, (m)	340.000				(F8. 3)
Minimun free (upper) surface at the XYTA	Em, (m2)	50.000				(F12. 3)
Horizontal distance between two sequential steps	lx, (m)	1.000				(F5. 3)
Vertical distance between two sequential steps	ly, (m)	3.000				(F5. 3)

***** GEOMETRICAL DATA FOR EACH COMPARTMENT *****						
<i>Legend for the array with the geometrical data of the current compartment</i>						
Coordinates of the base points-limits	(X, Y, Z)b, (m)					(3F12. 3)
Coordinates of the development points-limits	(X, Y, Z)u, (m)					(3F12. 3)
Coordinates of the pivot for the curved						
oblique surfaces	(X, Y)a, (m)					(3F12. 3)
Node number of each point for the conjunction record	CJ, (-)					(I 2)
Type of each oblique surface	TP, (-)					(A4)
Type of support applied by each oblique surface	ST, (-)					(A4)
Technical slope of each oblique surface	ku, (-)					(F6. 3)

***** COMPARTMENT 1 *****						
<i>Number of surfaces round the area of the landfill</i>						
Uni ting decision for the current compartment	NSU, (-)	4				(I 2)
	DES, (-)	NO				(A3)
	(X, Y, Z)b		(X, Y, Z)u		CJ	TP
538.000   485.000   210.000   0.000   0.000   0   OBFL						TECH   -3.000
685.000   505.000   195.000   0.000   0.000   1   OBFL						TECH   -3.000
741.000   362.000   190.000   0.000   0.000   2   OBFL						TECH   -3.000
621.000   351.000   194.000   0.000   0.000   0   OBFL						TECH   -3.000

***** COMPARTMENT 2 *****						
<i>Number of surfaces round the area of the landfill</i>						
Uni ting decision for the current compartment	NSU, (-)	4				(I 2)
	DES, (-)	YES				(A3)
	(X, Y, Z)b		(X, Y, Z)u		CJ	TP
538.000   485.000   200.000   0.000   0.000   1   OBFL						TECH   -3.000
812.000   520.000   210.000   0.000   0.000   0   OBCS						TECH   -3.000
965.000   361.000   205.000   0.000   0.000   0   OBFL						TECH   -3.000
741.000   362.000   190.000   0.000   0.000   2   OBFL						TECH   3.000
	(X, Y)a					
	-   *-----*   *-----*   -					
	757.000		412.000			

**Πίνακας 4. 12 Αρχείου εισόδου εφαρμογής (3)**

Επειδή ο όγκος των αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλος, παρουσιάζεται ένα μόνο μέρος τους. Υπενθυμίζεται ότι τα δύο αστεράκια δεξιά των τιμών δηλώνουν την ολοκλήρωση μιας ζώνης ή της αναβαθμίδας μιας ζώνης.

\*\*\*\*\*
LANDFILL DEVELOPMENT DATA \*\*\*\*  
\*\*\*\*\*  
t : total working time in the landfill, in months (mo)  
h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)  
E : current disposal surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
Eob : total, non disposal, exposed, oblique surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
Efl : total, non disposal, exposed, flat surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
V : total volume of the disposed compressed wastes in the labdfill, in thousand cubic meters ( $10^3$  m<sup>3</sup>)

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Eob, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Efl, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	V, ( $10^3$ m <sup>3</sup> )	
	1	194. 283	3. 082	1. 460	0. 406	6. 600	
	2	196. 058	4. 358	2. 065	0. 574	13. 201	
	3	197. 419	5. 338	2. 529	0. 703	19. 802	
**	20	209. 165	13. 788	6. 533	1. 815	132. 125	
	21	209. 639	14. 129	6. 694	1. 860	138. 739	
	21. 779	210. 000	14. 389	6. 818	1. 894	143. 890	
	22	210. 102	14. 372	6. 871	1. 894	145. 353	
	23	210. 563	14. 295	7. 115	1. 894	151. 967	
	24	211. 027	14. 218	7. 359	1. 894	158. 582	
**	68	240. 252	6. 072	20. 148	5. 995	450. 307	
	69	241. 358	5. 952	20. 528	5. 995	456. 952	
	70	242. 486	5. 831	20. 911	5. 995	463. 598	
	70. 449	243. 000	5. 776	21. 084	5. 995	466. 583	
	70. 449	243. 000	5. 461	21. 084	6. 310	466. 583	
	71	243. 675	5. 392	21. 304	6. 310	470. 244	
**	85	280. 330	0. 460	29. 226	8. 736	563. 363	
	85. 109	282. 000	0. 407	29. 396	8. 736	564. 087	
	85. 109	282. 000	0. 317	29. 396	8. 826	564. 087	
	85. 233	285. 000	0. 236	29. 652	8. 826	564. 915	
	85. 233	285. 000	0. 164	29. 652	8. 898	564. 915	
	85. 293	288. 000	0. 101	29. 852	8. 898	565. 310	

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Eob, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Efl, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	V, ( $10^3$ m <sup>3</sup> )	
	86	192. 219	4. 244	30. 121	9. 073	570. 019	
	87	193. 448	6. 593	30. 269	9. 114	576. 676	
	124	206. 432	31. 419	31. 839	9. 550	823. 454	
	125	206. 644	31. 823	31. 865	9. 557	830. 136	
	126	206. 852	32. 222	31. 890	9. 564	836. 819	
	127	207. 058	32. 616	31. 915	9. 571	843. 503	
**	141	209. 722	37. 708	32. 237	9. 661	937. 145	
	142	209. 898	38. 046	32. 258	9. 667	943. 838	
	142. 579	210. 000	38. 241	32. 271	9. 670	947. 717	
	143	210. 074	38. 232	32. 314	9. 670	950. 533	
	144	210. 249	38. 212	32. 416	9. 670	957. 228	
	199	220. 195	35. 805	38. 306	10. 821	1326. 489	
	200	220. 383	35. 779	38. 419	10. 821	1333. 221	
	201	220. 571	35. 753	38. 532	10. 821	1339. 954	
**	224	224. 981	34. 709	41. 194	11. 241	1495. 007	
	224. 097	225. 000	34. 706	41. 205	11. 241	1495. 663	
	224. 097	225. 000	34. 267	41. 205	11. 680	1495. 663	
	225	225. 178	34. 240	41. 314	11. 680	1501. 756	
	226	225. 375	34. 211	41. 434	11. 680	1508. 506	
**	332. 248	249. 000	26. 564	56. 228	15. 275	2229. 556	
	332. 248	249. 000	25. 977	56. 228	15. 863	2229. 556	
	333	249. 198	25. 938	56. 355	15. 863	2234. 689	
	334	249. 461	25. 886	56. 526	15. 863	2241. 513	
	335	249. 725	25. 833	56. 696	15. 863	2248. 337	
	336	249. 989	25. 781	56. 867	15. 863	2255. 162	
	410	274. 612	14. 910	73. 246	21. 233	2762. 098	

	411	275.075	14.795	73.563	21.233	2768.975	
**	412	275.541	14.679	73.882	21.233	2775.852	
**	412.975	276.000	14.564	74.197	21.233	2782.559	
	413	276.012	13.809	74.197	21.988	2782.559	
	414	276.513	13.679	74.205	21.988	2782.729	
	415	277.018	13.551	74.550	21.988	2789.607	
	416	277.528	13.421	75.249	21.988	2796.486	
	417	278.043	13.290	75.604	21.988	2803.366	
	418	278.564	13.157	75.962	21.988	2810.246	
						2817.127	
	430	286.163	8.768	81.207	24.364	2899.753	
	431	286.958	8.550	81.746	24.364	2906.643	
**	432	287.775	8.326	82.299	24.364	2913.534	
**	432.271	288.000	8.265	82.451	24.364	2915.400	
**	432.271	288.000	7.435	82.451	25.194	2915.400	

\*\*\*\*\*  
CONJUNCTION OF THIS COMPARTMENT WITH ITS PREVIOUS COMPARTMENT/S. COMMON DEVELOPMENT  
\*\*\*\*\*

#### DISPOSAL AT THE CONJOINED COMPARTMENT/S

	t, (mo)	h, (m)	E, (10^3 m2)	Eob, (10^3 m2)	Efl, (10^3 m2)	V, (10^3 m3)	
	433	288.673	7.402	83.331	25.093	2920.425	
	434	289.616	7.215	83.827	25.093	2927.317	
	435	290.584	7.024	84.356	25.093	2934.210	
**	435.421	291.000	6.942	84.586	25.093	2937.115	
**	435.421	291.000	6.357	84.586	25.678	2937.115	
**	443.830	306.000	0.983	91.413	28.344	2995.102	
**	444	307.345	0.762	91.973	28.344	2996.275	
**	444.150	309.000	0.493	92.659	28.344	2997.313	

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

### Πίνακας 4. 13 Αποτελέσματα εφαρμογής (3). Γενικές παράμετροι ανάπτυξης του XYTA

\*\*\*\*\*  
LANDFILL FREE SURFACE COORDINATES \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

t : total working time in the landfill, in months (mo)  
h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)  
X/Y-COORDINATES : coordinates of the limits of the free surface, in meters (m)

t, (mo)	X-COORDINATES, (m)
h, (m)	Y-COORDINATES, (m)

#### DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

t, (mo) :	1	X-coord, (m) :	538.000	685.000	737.212	621.080	
h, (m) :	194.283	Y-coord, (m) :	485.000	505.000	364.338	351.210	
t, (mo) :	39	X-coord, (m) :	555.314	674.113	716.511	627.934	
h, (m) :	218.619	Y-coord, (m) :	476.840	488.941	377.114	368.005	
**   t, (mo) :	39.691	X-coord, (m) :	555.537	674.029	716.334	627.997	
**   h, (m) :	219.000	Y-coord, (m) :	476.735	488.805	377.223	368.139	
**   t, (mo) :	39.691	X-coord, (m) :	557.291	673.366	714.938	628.495	
**   h, (m) :	219.000	Y-coord, (m) :	475.908	487.732	378.085	369.195	
**   t, (mo) :	82.963	X-coord, (m) :	611.655	652.821	671.657	643.910	
**   h, (m) :	267.000	Y-coord, (m) :	450.285	454.479	404.798	401.944	
**   t, (mo) :	82.963	X-coord, (m) :	613.408	652.158	670.261	644.408	
**   h, (m) :	267.000	Y-coord, (m) :	449.459	453.406	405.659	403.001	
t, (mo) :	83	X-coord, (m) :	613.498	652.124	670.189	644.433	
h, (m) :	267.153	Y-coord, (m) :	449.417	453.351	405.703	403.055	
**   t, (mo) :	85.293	X-coord, (m) :	636.206	643.542	652.110	650.872	
**   h, (m) :	288.000	Y-coord, (m) :	438.714	439.461	416.861	416.734	

END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

#### DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

t, (mo) :	86	X-coord, (m) :	538.000	812.000	965.000	735.881	
h, (m) :	192.219	Y-coord, (m) :	485.000	520.000	361.000	363.543	
t, (mo) :	87	X-coord, (m) :	538.000	812.000	965.000	733.046	
h, (m) :	193.448	Y-coord, (m) :	485.000	520.000	361.000	364.398	
t, (mo) :	120	X-coord, (m) :	534.650	812.000	963.746	705.111	
h, (m) :	205.559	Y-coord, (m) :	480.976	520.000	361.890	372.819	
t, (mo) :	121	X-coord, (m) :	534.515	812.000	963.245	704.597	
h, (m) :	205.781	Y-coord, (m) :	480.815	520.000	362.246	372.974	

	t, (mo) :	122	X-coord , (m) :	534. 383		812. 000		962. 751		704. 090	
	h, (m) :	206. 001	Y-coord , (m) :	480. 656		520. 000		362. 596		373. 127	
	t, (mo) :	243	X-coord , (m) :	529. 256		808. 766		924. 522		650. 229	
	h, (m) :	228. 768	Y-coord , (m) :	465. 005		504. 142		382. 014		389. 364	
	t, (mo) :	244	X-coord , (m) :	529. 241		808. 741		924. 360		649. 982	
	h, (m) :	228. 971	Y-coord , (m) :	464. 934		504. 070		382. 087		389. 438	
**	t, (mo) :	320. 432	X-coord , (m) :	526. 875		804. 775		898. 880		611. 097	
**	h, (m) :	246. 000	Y-coord , (m) :	453. 823		492. 735		393. 449		401. 160	
**	t, (mo) :	320. 432	X-coord , (m) :	526. 653		804. 404		896. 493		607. 455	
**	h, (m) :	246. 000	Y-coord , (m) :	452. 782		491. 673		394. 514		402. 258	
	t, (mo) :	321	X-coord , (m) :	526. 642		804. 386		896. 380		607. 282	
	h, (m) :	246. 143	Y-coord , (m) :	452. 732		491. 622		394. 564		402. 310	
	t, (mo) :	393	X-coord , (m) :	523. 508		799. 133		862. 628		555. 774	
	h, (m) :	267. 570	Y-coord , (m) :	438. 013		476. 607		409. 616		417. 838	
	t, (mo) :	394	X-coord , (m) :	523. 479		799. 086		862. 325		555. 311	
	h, (m) :	267. 951	Y-coord , (m) :	437. 881		476. 472		409. 751		417. 977	
**	t, (mo) :	432. 271	X-coord , (m) :	520. 668		794. 375		832. 056		509. 118	
**	h, (m) :	288. 000	Y-coord , (m) :	424. 681		463. 005		423. 250		431. 902	
**	t, (mo) :	432. 271	X-coord , (m) :	520. 446		794. 003		829. 669		505. 476	
**	h, (m) :	288. 000	Y-coord , (m) :	423. 640		461. 944		424. 314		433. 000	

\*\*\*\*\*  
CONJUNCTION OF THIS COMPARTMENT WITH ITS PREVIOUS COMPARTMENT/S. COMMON DEVELOPMENT  
\*\*\*\*\*

#### DISPOSAL AT THE CONJOINED COMPARTMENT/S

	t, (mo) :	433	X-coord , (m) :	636. 599		606. 498		793. 920		829. 134	
746. 295	h, (m) :	650. 984									
	t, (mo) :	288. 673	Y-coord , (m) :	438. 529		435. 462		461. 705		424. 553	
426. 772	h, (m) :	416. 971									
	t, (mo) :	434	X-coord , (m) :	637. 151		606. 535		793. 803		828. 384	
746. 283	h, (m) :	651. 140									
	t, (mo) :	289. 616	Y-coord , (m) :	438. 269		435. 150		461. 372		424. 887	
427. 087	h, (m) :	417. 303									
	t, (mo) :	440	X-coord , (m) :	644. 796		607. 059		792. 184		817. 980	
746. 117	h, (m) :	653. 308									
	t, (mo) :	296. 694	Y-coord , (m) :	434. 665		430. 821		456. 743		429. 527	
431. 453	h, (m) :	421. 909									
**	t, (mo) :	440. 207	X-coord , (m) :	644. 975		607. 071		792. 146		817. 736	
746. 113	h, (m) :	653. 359									
**	t, (mo) :	297. 000	Y-coord , (m) :	434. 581		430. 720		456. 635		429. 636	
431. 555	h, (m) :	422. 016									
**	t, (mo) :	440. 207	X-coord , (m) :	646. 728		607. 191		791. 775		815. 350	
746. 076	h, (m) :	653. 856									
**	t, (mo) :	297. 000	Y-coord , (m) :	433. 755		429. 727		455. 573		430. 700	
432. 556	h, (m) :	423. 073									
	t, (mo) :	441	X-coord , (m) :	647. 532		607. 246		791. 604		814. 256	
746. 058	h, (m) :	654. 084									
	t, (mo) :	298. 374	Y-coord , (m) :	433. 376		429. 272		455. 087		431. 187	
433. 015	h, (m) :	423. 556									
**	t, (mo) :	444. 150	X-coord , (m) :	659. 004		608. 031		789. 174		798. 643	
745. 810	h, (m) :	657. 337									
**	t, (mo) :	309. 000	Y-coord , (m) :	427. 969		422. 777		448. 141		438. 150	
439. 566	h, (m) :	430. 467									

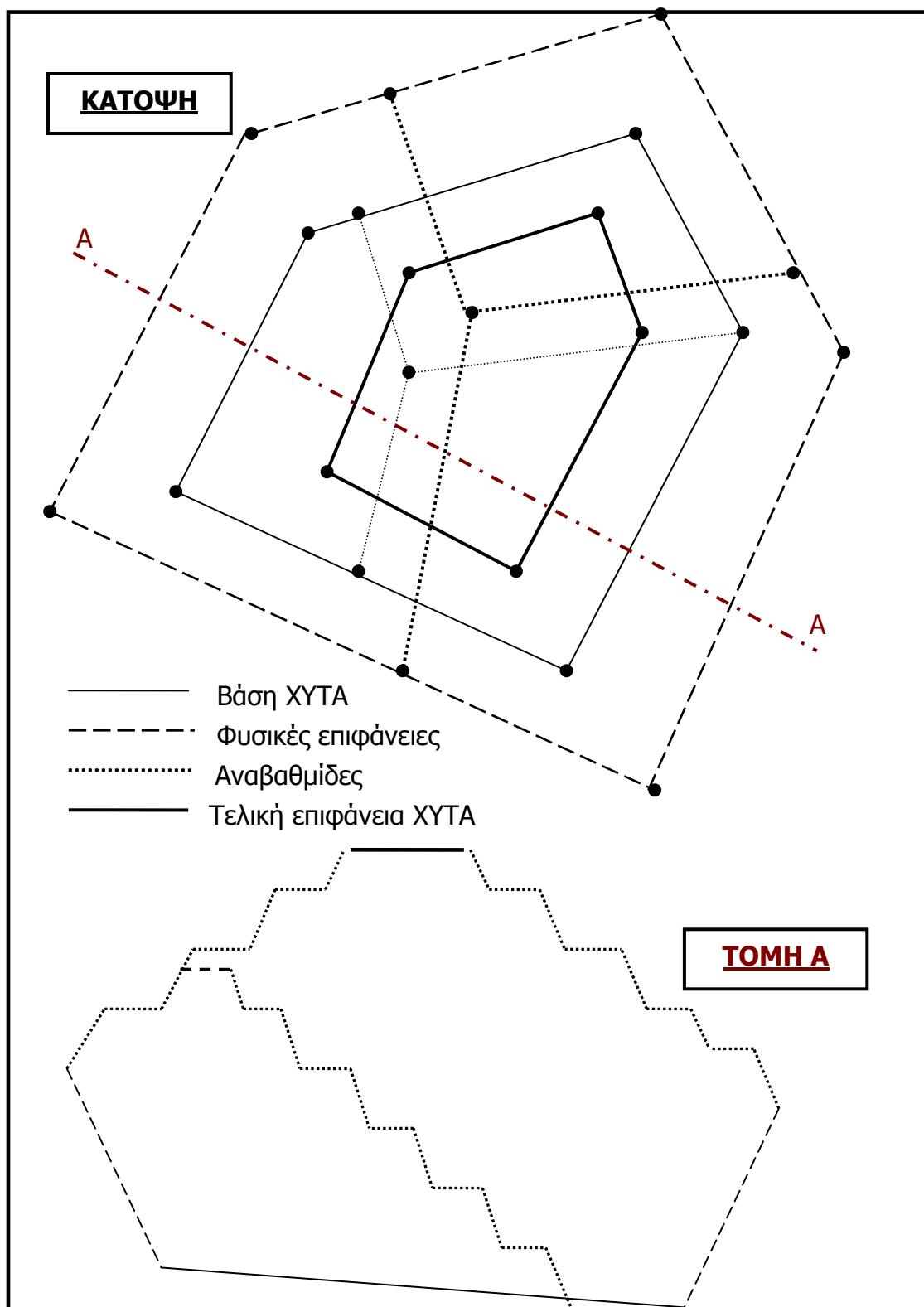
END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

#### Πίνακας 4. 14 Αποτελέσματα εφαρμογής (3). Συντεταγμένες ελεύθερης επιφάνειας

Το πρόγραμμα αναγνωρίζει την κατασκευή αναβαθμίδων, που οδηγεί σε ταχεία μείωση του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας εργασίας και συνεχίζει την διάθεση των απορριμμάτων στο δεύτερο διαμέρισμα. Στο δεύτερο διαμέρισμα η κατασκευή αναβαθμίδων μειώνει την διαθέσιμη επιφάνεια εργασίας, αλλά τελικά το ύψος των απορριμμάτων γίνεται ίσο με το αντίστοιχο ύψος στο πρώτο διαμέρισμα, οπότε τα διαμερίσματα ενοποιούνται. Έπειτα η διάθεση των απορριμμάτων συνεχίζεται από κοινού στα δύο διαμερίσματα, μέχρι η επιφάνεια εργασίας να λάβει την ελάχιστη τιμή της.

#### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ 4**

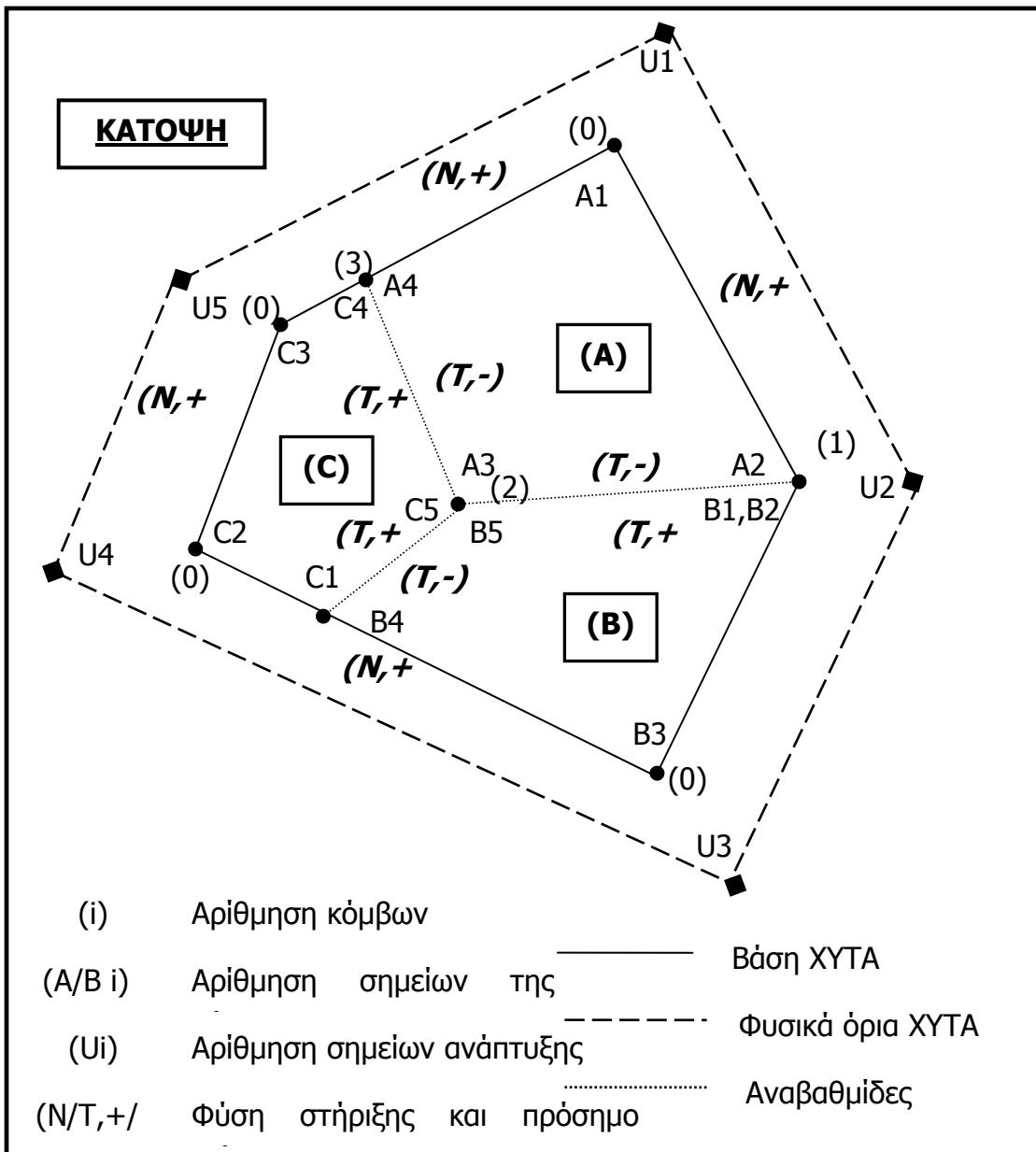
Έστω ένας υποθετικός χώρος, τριών διαμερισμάτων διάθεσης απορριμμάτων, με ανάπτυξη που περιγράφεται γενικά από το σχήμα 4.7.



**Σχήμα 4.7 Κάτοψη και πρόσοψη του θεωρητικού αναπτύγματος ενός χώρου, όπου πρόκειται να διατεθούν απορρίμματα.**

Στο σχήμα 4.7 περιγράφεται ένας συνηθισμένος XYTA, που αναπτύσσεται σε ένα χώρο με σύνθετη γεωμορφολογία, χωρίς να περιορίζεται από τα φυσικά υψημετρικά όρια της περιοχής. Ο XYTA αποτελείται από τρία διαμερίσματα με τέσσερα, πέντε και πέντε κεκλιμένα επίπεδα μεταβολής αντίστοιχα. Ο μηνιαίος όγκος απορριμμάτων είναι περίπου  $50000 m^3/month$  με ποσοστό αύξησης 0.01%, ενώ το ποσοστό συμπίεσης του όγκου των απορριμμάτων εκτιμάται γύρω στο 34%. Το μέγιστο υψόμετρο είναι τα 400 m και η ελάχιστη επιφάνεια εργασίας τα 50 m<sup>2</sup>. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο αναβαθμίδων είναι 1 m και η κατακόρυφη 3 m. Η κλίση των τεχνητών επιφανειών θεωρείται ίση με τρία προς ένα για όλα τα κεκλιμένα επίπεδα.

Η αριθμηση των σημείων και των κόμβων του χώρου δίνεται στο σχήμα 4.8, όπου σημειώνονται επιπλέον η φύση κάθε επιφάνειας και το πρόσημο της κλίσης της. Τα στοιχεία αυτά είναι τα αρχικά δεδομένα εισόδου του προγράμματος και τροποποιούνται κατάλληλα κατά την διάρκεια των υπολογισμών.



**Σχήμα 4. 8 Κάτοψη χώρου**

Επειδή η κλίση των αναβαθμίδων εσωτερικά του χώρου διάθεσης των απορριμμάτων δεν αναμένεται να διαφέρει σημαντικά, η περιγραφή του χώρου απλοποιείται με την υπόθεση της τομής των επιπέδων εσωτερικών αναβαθμίδων στο ίδιο σημείο. Η απλοποίηση αυτή επιτρέπει την μείωση των κεκλιμένων επιφανειών, που εισάγονται στο πρόγραμμα, χωρίς μεγάλο αντίκτυπο στα αποτελέσματα.

Επισημαίνεται ότι στο διαμέρισμα  $B$  τα επίπεδα μεταβολής είναι πέντε, γιατί υπάρχει ένα επιπλέον επίπεδο με μηδενικό αρχικό μήκος επί της βάσης ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των διαμερισμάτων  $A$  και  $B$  του XYTA. Η

αντιστοιχία των σημείων της βάσης με τον αριθμό του κόμβου δίνεται στον πίνακα 4.15 .

A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
0	1	2	3	1	0	0	4	2	4	0	0	3	2

**Πίνακας 4. 15 Μητρώο κόμβων**

Η διαδικασία συνεχίζεται με την αντιστοίχηση των σημείων της βάσης με τα σημεία/όρια ανάπτυξης των φυσικών επιφανειών του χώρου, περιμετρικά κάθε διαμερίσματος. Οι φυσικές επιφάνειες απαιτούν δύο σημεία-όρια ανάπτυξης του χώρου και ένα σημείο της βάσης, ενώ οι τεχνητές επιφάνειες δύο σημεία της βάσης. Άρα η αντιστοίχηση που επιτυγχάνεται δίνεται στον πίνακα 4.16 .

A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
U1	U2	(-)	U5	U1	U2	U3	U4	(-)	U3	U4	U5	U1	(-)

**Πίνακας 4. 16 Αντιστοιχία σημείων βάσης και ορίων ανάπτυξης**

Αν στα δεδομένα εισόδου προστεθούν οι συντεταγμένες των σημείων της βάσης και των ορίων φυσικής ανάπτυξης του χώρου, τότε κατασκευάζεται το αρχείο με τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος **IBXYTA**, που παραθέτεται ακολούθως.

***** BLOCK OF COMMON INPUT DATA *****		
Number of independent compartments at the landfill	NC, (-)	3 (I 2) (F10. 3)
Uncompressed volume of wastes per month	dV, (10^3 m3/month)	50.000 (F6. 3)
Growth percentage of the volume of wastes	pg, (%)	0.010 (F6. 3)
Compression percentage of the volume of wastes	pc, (%)	34.000 (F6. 3)
Maxi mun height (m) above the surface of the sea	zu, (m)	350.000 (F8. 3)
Min mun free (upper) surface at the XYTA	Em, (m2)	50.000 (F12. 3)
Horizontal distance between two sequential steps	lx, (m)	1.000 (F5. 3)
Vertical distance between two sequential steps	ly, (m)	3.000 (F5. 3)

\*\*\*\*\* GEOMETRICAL DATA FOR EACH COMPARTMENT \*\*\*\*\*

Legend for the array with the geometrical data of the current compartment

Coordinates of the base points-limits	(X, Y, Z)b, (m)	(3F12. 3)
Coordinates of the development points-limits	(X, Y, Z)u, (m)	(3F12. 3)
Coordinates of the pivot for the curved oblique surfaces	(X, Y)a, (m)	(3F12. 3)
Node number of each point for the conjunction record	CJ, (-)	(I 2)
Type of each oblique surface	TP, (-)	(A4)
Type of support applied by each oblique surface	ST, (-)	(A4)
Technical slope of each oblique surface	ku, (-)	(F6. 3)

\*\*\*\*\* COMPARTMENT 1 \*\*\*\*\*

Number of surfaces round the area of the landfill	NSU, (-)	4 (I 2) (A3)
Uniting decision for the current compartment	DES, (-)	YES

| (X, Y, Z)b | (X, Y, Z)u | CJ | TP | ST | ku |

--|-----\*--|-----\*--|-----\*--|-----\*--|-----\*--|-----\*--|-----\*--|-----\*

400.000	200.000	150.000	490.000	190.000	220.000	0	OBFL	NATU	-3.000
269.000	127.000	152.000	270.000	60.000	218.000	1	OBFL	TECH	-3.000
230.000	262.000	154.000	0.000	0.000	0.000	2	OBFL	TECH	-3.000
340.000	300.000	151.000	360.000	400.000	216.000	3	OBFL	NATU	-3.000

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\* COMPARTMENT 2 \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

Number of surfaces round the area of the landfill  
Uniting decision for the current compartment

NSU, (-) | 5  
DES, (-) | NO (I 2)  
(A3)

	(X, Y, Z)b			(X, Y, Z)u		CJ	TP	ST	ku
269.000	127.000	152.000	490.000	190.000	220.000	1	OBFL	NATU	-3.000
269.000	127.000	152.000	270.000	60.000	218.000	0	OBFL	NATU	-3.000
115.000	170.000	158.000	21.000	139.000	217.000	0	OBFL	NATU	-3.000
150.000	272.000	156.000	98.000	400.000	219.000	4	OBFL	TECH	-3.000
230.000	262.000	154.000	0.000	0.000	0.000	2	OBFL	TECH	3.000

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\* COMPARTMENT 3 \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

Number of surfaces round the area of the landfill  
Uniting decision for the current compartment

NSU, (-) | 4  
DES, (-) | YES (I 2)  
(A3)

	(X, Y, Z)b			(X, Y, Z)u		CJ	TP	ST	ku
150.000	272.000	156.000	21.000	139.000	220.000	4	OBFL	NATU	-3.000
175.000	360.000	153.000	98.000	400.000	217.000	0	OBFL	NATU	-3.000
300.000	360.000	150.000	360.000	400.000	219.000	0	OBFL	NATU	-3.000
340.000	300.000	151.000	490.000	190.000	220.000	3	OBFL	TECH	3.000
230.000	262.000	154.000	0.000	0.000	0.000	3	OBFL	TECH	3.000

#### Πίνακας 4. 17 Αρχείο εισόδου εφαρμογής (4)

Επειδή ο όγκος των αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλος, παρουσιάζεται ένα μόνο μέρος τους. Υπενθυμίζεται ότι τα δύο αστεράκια δεξιά των τιμών δηλώνουν την ολοκλήρωση μιας ζώνης ή της αναβαθμίδας μιας ζώνης.

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\* LANDFILL DEVELOPMENT DATA \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

t : total working time in the landfill, in months (mo)  
h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)  
E : current disposal surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
Eob : total, non disposal, exposed, oblique surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
Efl : total, non disposal, exposed, flat surface in the landfill, in thousand square meters ( $10^3$  m<sup>2</sup>)  
V : total volume of the disposed compressed wastes in the labdfill, in thousand cubic meters ( $10^3$  m<sup>3</sup>)

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Eob, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	Efl, ( $10^3$ m <sup>2</sup> )	V, ( $10^3$ m <sup>3</sup> )	
**	1. 034	153. 934	16. 778	0. 329	0. 091	33. 000	
**	1. 034	154. 000	17. 061	0. 335	0. 093	34. 122	
**	2	155. 852	17. 361	0. 850	0. 093	66. 003	
**	27	199. 420	20. 498	13. 659	4. 280	892. 159	
**	28	201. 024	20. 776	14. 155	4. 280	925. 248	
**	28. 616	202. 000	20. 947	14. 459	4. 280	945. 619	
**	28. 616	202. 000	20. 652	14. 459	4. 575	945. 619	
**	29	202. 614	20. 759	14. 649	4. 575	958. 341	
**	30	204. 198	21. 035	15. 143	4. 575	991. 437	
**	30. 511	205. 000	21. 175	15. 394	4. 575	1008. 358	
**	30. 511	205. 000	20. 879	15. 394	4. 872	1008. 358	
**	31	205. 772	21. 014	15. 635	4. 872	1024. 536	
**	52	243. 702	12. 726	33. 854	9. 960	1720. 383	
**	52. 114	244. 000	12. 680	33. 999	9. 960	1724. 164	
**	52. 114	244. 000	12. 222	33. 999	10. 419	1724. 164	
**	61. 960	304. 000	0. 677	52. 721	16. 043	2050. 926	
**	61. 960	304. 000	0. 543	52. 721	16. 177	2050. 926	
**	62	306. 734	0. 429	53. 084	16. 177	2052. 253	
**	62. 003	307. 000	0. 418	53. 118	16. 177	2052. 365	
**	62. 003	307. 000	0. 300	53. 118	16. 294	2052. 365	
**	62. 026	310. 000	0. 191	53. 468	16. 294	2053. 101	

**	62. 026	310. 000	0. 090	53. 468	16. 395	2053. 101	
**	62. 028	311. 257	0. 050	53. 604	16. 395	2053. 188	

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, (10^3 m2)	Eob, (10^3 m2)	Efl, (10^3 m2)	V, (10^3 m3)	
**	63	157. 136	12. 565	53. 221	16. 339	2085. 458	
**	63. 354	158. 000	14. 678	53. 156	16. 321	2097. 222	
**	64	159. 438	15. 149	53. 079	16. 321	2118. 667	
**	64. 725	161. 000	15. 665	52. 998	16. 321	2142. 731	
**	64. 725	161. 000	15. 711	52. 998	16. 275	2142. 731	
	65	161. 579	15. 903	52. 972	16. 275	2151. 878	
	66	163. 623	16. 586	52. 883	16. 275	2185. 094	
	94	203. 002	30. 849	53. 606	16. 527	3116. 469	
	95	204. 074	31. 280	53. 692	16. 527	3149. 780	
	96	205. 132	31. 707	53. 778	16. 527	3183. 095	
**	96. 831	206. 000	32. 060	53. 851	16. 527	3210. 772	
**	96. 831	206. 000	31. 978	53. 851	16. 609	3210. 772	
	97	206. 176	32. 049	53. 866	16. 609	3216. 414	
	144	258. 386	21. 427	79. 022	24. 011	4786. 139	
**	144. 392	259. 000	21. 310	79. 393	24. 011	4799. 264	
**	144. 392	259. 000	20. 736	79. 393	24. 585	4799. 264	
	145	259. 986	20. 547	79. 989	24. 585	4819. 617	
	146	261. 628	20. 233	80. 984	24. 585	4853. 099	
**	146. 224	262. 000	20. 161	81. 210	24. 585	4860. 610	
**	146. 224	262. 000	19. 586	81. 210	25. 160	4860. 610	
	147	263. 335	19. 329	82. 021	25. 160	4886. 584	
**	147. 953	265. 000	19. 009	83. 034	25. 160	4918. 503	
**	147. 953	265. 000	18. 431	83. 034	25. 738	4918. 503	
	148	265. 085	18. 415	83. 086	25. 738	4920. 073	
	161	305. 712	2. 679	107. 614	33. 448	5355. 730	
**	161. 098	307. 000	2. 418	108. 332	33. 448	5359. 014	
**	161. 098	307. 000	1. 810	108. 332	34. 056	5359. 014	
**	161. 233	310. 000	1. 201	109. 987	34. 056	5363. 530	
**	161. 233	310. 000	0. 590	109. 987	34. 667	5363. 530	
**	161. 250	311. 257	0. 334	110. 679	34. 667	5364. 111	

\*\*\*\*\*  
CONJUNCTION OF THIS COMPARTMENT WITH ITS PREVIOUS COMPARTMENT/S. STOP OF DEVELOPMENT  
\*\*\*\*\*

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 3 OF THE LANDFILL

	t, (mo)	h, (m)	E, (10^3 m2)	Eob, (10^3 m2)	Efl, (10^3 m2)	V, (10^3 m3)	
**	162	154. 738	10. 618	110. 266	34. 886	5389. 266	
**	162. 453	156. 000	13. 446	110. 156	34. 856	5404. 450	
	163	157. 341	13. 924	109. 866	34. 856	5422. 805	
**	203. 279	207. 000	43. 141	94. 955	30. 331	6776. 518	
**	203. 279	207. 000	43. 504	94. 955	29. 969	6776. 518	
	204	207. 556	43. 858	94. 741	29. 969	6800. 792	
	205	208. 319	44. 348	94. 447	29. 969	6834. 473	
	255	242. 693	47. 834	96. 431	30. 416	8522. 780	
	256	243. 402	47. 785	96. 586	30. 416	8556. 632	
**	256. 844	244. 000	47. 743	96. 717	30. 416	8585. 216	
**	256. 844	244. 000	47. 536	96. 717	30. 624	8585. 216	
	257	244. 111	47. 528	96. 741	30. 624	8590. 488	
	258	244. 824	47. 479	96. 897	30. 624	8624. 347	
	259	245. 537	47. 429	97. 053	30. 624	8658. 209	
	291	269. 243	44. 129	102. 240	32. 284	9743. 597	
	292	270. 013	44. 075	102. 408	32. 284	9777. 571	
	293	270. 785	44. 022	102. 577	32. 284	9811. 549	
**	293. 279	271. 000	44. 007	102. 624	32. 284	9821. 032	
**	293. 279	271. 000	43. 800	102. 624	32. 491	9821. 032	
**	319. 481	292. 000	40. 899	107. 211	33. 942	10712. 537	
	320	292. 433	40. 869	107. 306	33. 942	10730. 235	
	321	293. 267	40. 811	107. 488	33. 942	10764. 308	
	338	307. 825	38. 772	110. 664	34. 977	11344. 071	
	339	308. 707	38. 711	110. 856	34. 977	11378. 205	
	340	309. 589	38. 650	111. 049	34. 977	11412. 343	
**	340. 465	310. 000	38. 622	111. 138	34. 977	11428. 219	
**	340. 465	310. 000	38. 415	111. 138	35. 184	11428. 219	
	341	310. 476	38. 382	111. 242	35. 184	11446. 484	
**	341. 877	311. 257	38. 328	111. 412	35. 184	11476. 437	

\*\*\*\*\*  
CONJUNCTION OF THIS COMPARTMENT WITH ITS PREVIOUS COMPARTMENT/S. COMMON DEVELOPMENT  
\*\*\*\*\*

DISPOSAL AT THE CONJOINED COMPARTMENT/S

	t, (mo)	h, (m)	E, (10^3 m2)	Eob, (10^3 m2)	Efl, (10^3 m2)	V, (10^3 m3)	
	342	311. 365	38. 681	112. 137	34. 799	11480. 629	
	343	312. 251	38. 426	112. 883	34. 799	11514. 777	
	375	350. 643	19. 233	142. 488	44. 438	12609. 320	
**	376	352. 442	18. 861	143. 696	44. 438	12643. 581	
**	376. 447	353. 257	18. 694	144. 240	44. 438	12658. 884	
**	376. 447	353. 257	18. 084	144. 240	45. 048	12658. 884	
	377	354. 311	17. 872	144. 935	45. 048	12677. 845	
	378	356. 250	17. 485	146. 204	45. 048	12712. 113	
**	378. 003	356. 257	17. 483	146. 209	45. 048	12712. 232	
**	378. 003	356. 257	16. 892	146. 209	45. 639	12712. 232	
	379	358. 303	16. 494	147. 523	45. 639	12746. 384	
**	379. 457	359. 257	16. 310	148. 133	45. 639	12762. 033	
**	379. 457	359. 257	15. 738	148. 133	46. 212	12762. 033	
	380	360. 449	15. 513	148. 882	46. 212	12780. 659	
**	380. 809	362. 257	15. 175	150. 013	46. 212	12808. 399	
**	380. 809	362. 257	14. 621	150. 013	46. 765	12808. 399	
	391	403. 633	3. 280	171. 845	52. 255	13157. 905	
**	391. 059	404. 257	3. 219	172. 126	52. 255	13159. 932	
**	391. 059	404. 257	2. 928	172. 126	52. 546	13159. 932	
**	391. 303	407. 257	2. 646	173. 455	52. 546	13168. 290	
**	391. 872	422. 257	0. 347	179. 622	53. 719	13187. 843	
**	391. 872	422. 257	0. 169	179. 622	53. 897	13187. 843	
**	391. 879	424. 352	0. 050	180. 419	53. 897	13188. 072	

END OF DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 3 OF THE LANDFILL

#### Πίνακας 4. 18 Αποτελέσματα εφαρμογής (4). Γενικές παράμετροι ανάπτυξης του χώρου

\*\*\*\*\*  
LANDFILL FREE SURFACE COORDINATES \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

t : total working time in the landfill, in months (mo)  
h : current elevation of the compressed volume of wastes, in meters (m)  
X/Y-COORDINATES : coordinates of the limits of the free surface, in meters (m)

t, (mo)	X-COORDINATES, (m)
h, (m)	Y-COORDINATES, (m)

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

**   t, (mo) :	0. 658	X-coord, (m) :	140. 165	224. 034	330. 221	384. 182	
**   h, (m) :	300. 000	Y-coord, (m) :	134. 563	293. 498	302. 297	122. 916	
t, (mo) :	1	X-coord, (m) :	138. 727	223. 565	329. 614	384. 145	
h, (m) :	301. 033	Y-coord, (m) :	133. 557	294. 330	303. 117	121. 844	
**   t, (mo) :	1. 666	X-coord, (m) :	135. 989	222. 673	328. 460	384. 075	
**   h, (m) :	303. 000	Y-coord, (m) :	131. 642	295. 912	304. 678	119. 802	
**   t, (mo) :	8. 464	X-coord, (m) :	110. 934	214. 507	310. 765	376. 014	
**   h, (m) :	321. 000	Y-coord, (m) :	114. 122	310. 397	318. 373	101. 470	
t, (mo) :	9	X-coord, (m) :	109. 124	213. 917	310. 002	375. 967	
h, (m) :	322. 301	Y-coord, (m) :	112. 856	311. 444	319. 405	100. 120	
**   t, (mo) :	9. 711	X-coord, (m) :	106. 758	213. 146	309. 004	375. 906	
**   h, (m) :	324. 000	Y-coord, (m) :	111. 201	312. 811	320. 754	98. 356	
**   t, (mo) :	45. 987	X-coord, (m) :	125. 414	223. 007	253. 149	312. 217	
**   h, (m) :	412. 000	Y-coord, (m) :	116. 492	301. 436	303. 934	107. 577	
**   t, (mo) :	49. 563	X-coord, (m) :	162. 633	237. 467	236. 488	280. 821	
**   h, (m) :	445. 000	Y-coord, (m) :	137. 742	279. 555	279. 474	132. 102	
**   t, (mo) :	49. 575	X-coord, (m) :	164. 251	238. 095	235. 764	279. 456	
**   h, (m) :	448. 000	Y-coord, (m) :	138. 666	278. 604	278. 411	133. 168	

END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 1 OF THE LANDFILL

DISPOSAL OF WASTES AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

**   t, (mo) :	49. 776	X-coord, (m) :	323. 967	430. 167	461. 084	388. 947	
**   h, (m) :	297. 000	Y-coord, (m) :	297. 274	306. 137	110. 521	114. 152	
**   t, (mo) :	55. 588	X-coord, (m) :	298. 324	439. 239	477. 762	378. 874	
**   h, (m) :	324. 000	Y-coord, (m) :	318. 704	330. 465	86. 726	91. 705	
**   t, (mo) :	55. 588	X-coord, (m) :	297. 294	439. 239	477. 762	377. 794	
**   h, (m) :	324. 000	Y-coord, (m) :	318. 618	330. 465	86. 726	91. 759	
t, (mo) :	56	X-coord, (m) :	296. 320	439. 747	478. 696	377. 714	
h, (m) :	325. 512	Y-coord, (m) :	319. 857	331. 827	85. 394	90. 478	

**	t, (m) :	78. 486	X-coord , (m) :	253. 015		439. 483		481. 993		340. 404	
**	h, (m) :	382. 000	Y-coord , (m) :	331. 763		347. 325		78. 363		85. 491	
**	t, (m) :	91. 989	X-coord , (m) :	240. 005		423. 472		459. 572		313. 003	
**	h, (m) :	409. 000	Y-coord , (m) :	311. 611		326. 922		98. 516		105. 894	
t, (m) :	92	X-coord , (m) :	240. 000		423. 466		459. 563		312. 992		
h, (m) :	409. 022	Y-coord , (m) :	311. 603		326. 914		98. 524		105. 902		
**	t, (m) :	103. 813	X-coord , (m) :	228. 365		409. 147		439. 511		288. 486	
**	h, (m) :	436. 000	Y-coord , (m) :	293. 580		308. 668		116. 547		124. 150	
**	t, (m) :	103. 813	X-coord , (m) :	227. 680		408. 304		438. 331		287. 044	
**	h, (m) :	436. 000	Y-coord , (m) :	292. 520		307. 594		117. 608		125. 224	
t, (m) :	104	X-coord , (m) :	227. 571		408. 170		438. 144		286. 816		
h, (m) :	436. 476	Y-coord , (m) :	292. 352		307. 424		117. 776		125. 394		
**	t, (m) :	108. 297	X-coord , (m) :	222. 887		402. 405		430. 071		276. 949	
**	h, (m) :	448. 000	Y-coord , (m) :	285. 095		300. 077		125. 033		132. 741	
**	t, (m) :	108. 297	X-coord , (m) :	222. 202		401. 562		428. 891		275. 507	
**	h, (m) :	448. 000	Y-coord , (m) :	284. 035		299. 004		126. 093		133. 815	

\*\*\*\*\*  
CONJUNCTION OF THIS COMPARTMENT WITH ITS PREVIOUS COMPARTMENT/S. COMMON DEVELOPMENT  
\*\*\*\*\*

#### DISPOSAL AT THE CONJOINED COMPARTMENT/S

**	t, (m) :	110. 322	X-coord , (m) :	251. 013		240. 610		420. 951		371. 786	
424. 171		304. 323									
**	h, (m) :	454. 000	Y-coord , (m) :	294. 512		274. 799		289. 741		461. 779	
130. 336		136. 369									
t, (m) :	111	X-coord , (m) :	254. 546		241. 057		424. 058		366. 492		
423. 332		309. 446									
h, (m) :	456. 133	Y-coord , (m) :	299. 684		274. 122		289. 285		490. 718		
131. 090		136. 823									
**	t, (m) :	117. 331	X-coord , (m) :	335. 468		251. 298		495. 219		245. 236	
404. 110		426. 792									
**	h, (m) :	481. 000	Y-coord , (m) :	418. 134		258. 626		278. 837		1153. 576	
148. 367		147. 225									
**	t, (m) :	119. 687	X-coord , (m) :	385. 148		257. 584		538. 906		170. 795	
392. 310		498. 833									
**	h, (m) :	496. 000	Y-coord , (m) :	490. 852		249. 113		272. 422		1560. 515	
158. 974		153. 611									
**	t, (m) :	119. 687	X-coord , (m) :	390. 116		258. 213		543. 275		163. 351	
391. 130		506. 037									
**	h, (m) :	496. 000	Y-coord , (m) :	498. 123		248. 161		271. 781		1601. 209	
160. 035		154. 250									
t, (m) :	120	X-coord , (m) :	394. 749		258. 799		547. 349		156. 409		
390. 029		512. 755									
h, (m) :	498. 798	Y-coord , (m) :	504. 905		247. 274		271. 183		1639. 157		
161. 024		154. 846									
**	t, (m) :	121. 061	X-coord , (m) :	459. 668		267. 014		604. 437		59. 134	
374. 609		606. 893									
**	h, (m) :	517. 000	Y-coord , (m) :	599. 929		234. 842		262. 800		2170. 924	
174. 884		163. 190									
**	t, (m) :	121. 069	X-coord , (m) :	463. 890		267. 549		608. 150		52. 807	
373. 606		613. 016									
**	h, (m) :	519. 549	Y-coord , (m) :	606. 109		234. 034		262. 255		2205. 507	
175. 785		163. 733									

END OF WASTES DISPOSAL AT THE COMPARTMENT 2 OF THE LANDFILL

#### Πίνακας 4. 19 Αποτελέσματα εφαρμογής (4). Συντεταγμένες σημείων ελεύθερης επιφάνειας

Η διάθεση των απορριμμάτων στο πρώτο διαμέρισμα αναστέλλεται, επειδή η επιφάνεια εργασίας αποκτάει την ελάχιστη επιτρεπτή τιμή και συνεχίζεται στο δεύτερο. Όταν το ύψος των απορριμμάτων στο δεύτερο διαμέρισμα γίνει ίσο με το αντίστοιχο ύψος στο πρώτο διαμέρισμα, τα διαμερίσματα ενοποιούνται. Άλλα επειδή δεν είναι δυνατή η κοινή ανάπτυξή τους, λόγω της γεωμετρίας της ελεύθερης επιφάνειας, η διάθεση των απορριμμάτων γίνεται στο τρίτο διαμέρισμα. Η κοινή ανάπτυξη επιτυγχάνεται μετά την προσθήκη του τρίτου διαμερίσματος.

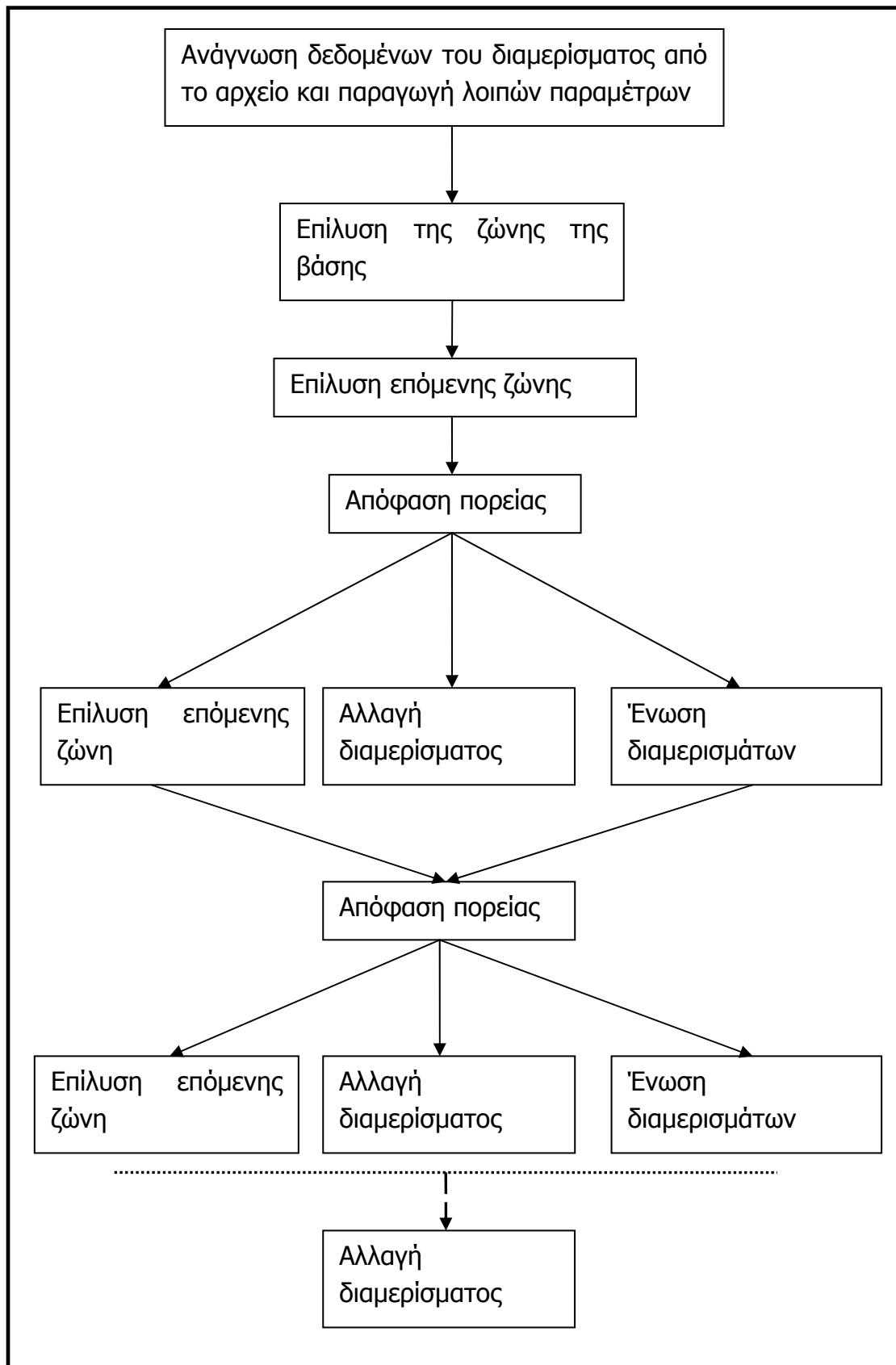
## 4.2 Σύνοψη και συμπεράσματα

Το πρόγραμμα **IBXYTA** στηρίζεται σε απόλυτα ρεαλιστικές προσεγγίσεις και επικεντρώνεται στα κύρια στοιχεία, που χαρακτηρίζουν ένα χώρο εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων. Επιπλέον η προσεκτική επιλογή των δεδομένων εισόδου, ο μικρός όγκος, η απλότητά και η ευκολία συλλογής τους από τοπογραφικές εργασίες πεδίου, το καθιστούν ένα ιδιαίτερα πρακτικό και αποδοτικό εργαλείο για τον σχεδιασμό και την πρόβλεψη της ανάπτυξης του χώρου.

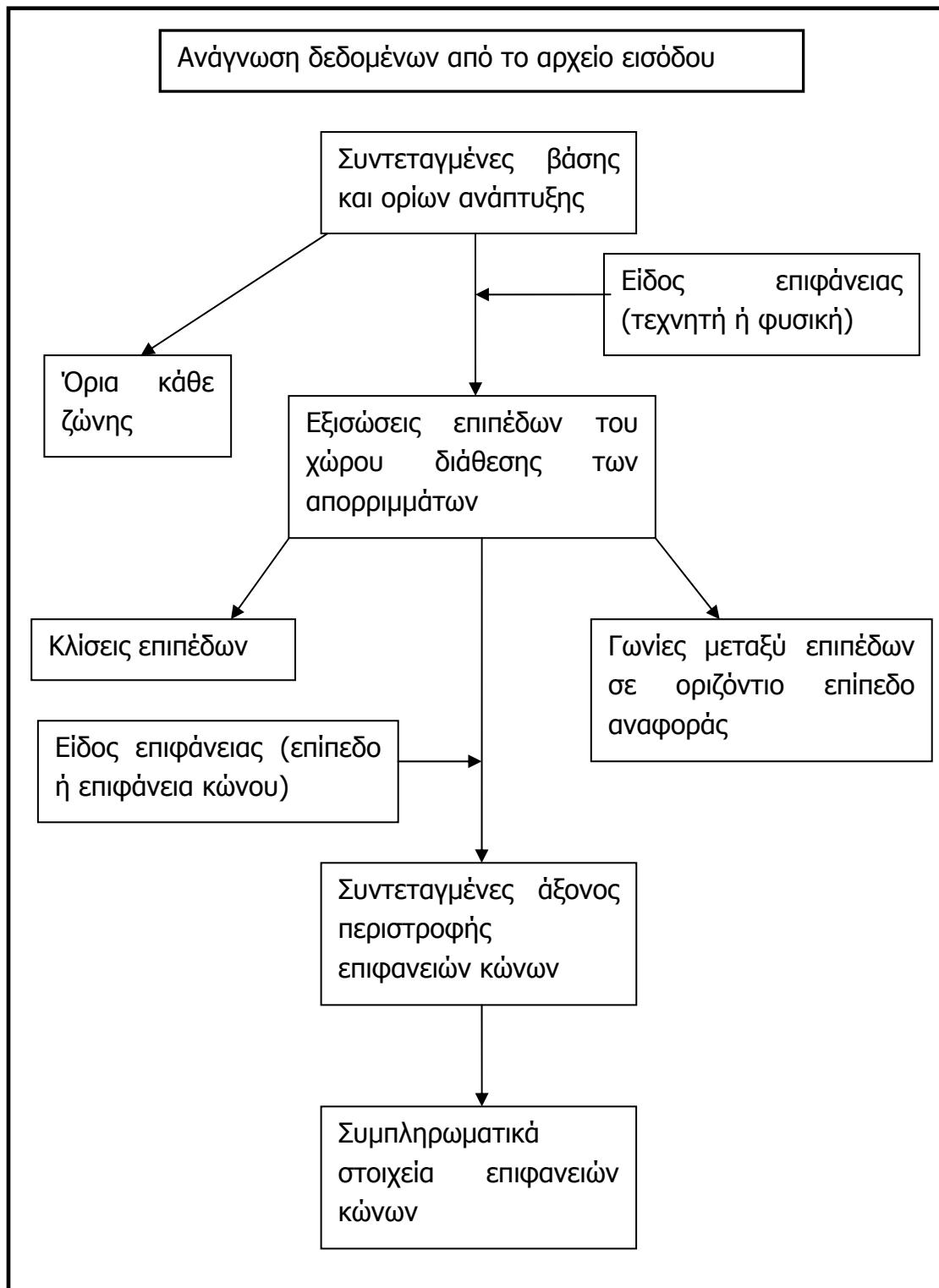
Τα αποτελέσματα εξάγονται σε εύκολα αντιληπτή μορφή και αποδίδουν πλήρως τον τρόπο ανάπτυξης ενός τέτοιου χώρου. Ο βαθμός της ακρίβειας των αποτελεσμάτων που επιτυγχάνεται, είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη καλή περιγραφή του χώρου και για αυτό τον λόγο έχει απλοποιηθεί κατά το μέγιστο δυνατό η μορφή των δεδομένων εισόδου. Όμως, πιο σύνθετες καταστάσεις, απαιτούν την προσεκτική εισαγωγή των δεδομένων του πεδίου σύμφωνα με τις παρατηρήσεις της ενότητας 3.3 .

Από τις εφαρμογές που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή ενός βιοηθητικού προγράμματος με σκοπό το «φιλτράρισμα» των συντεταγμένων για την εξασφάλιση της γεωμετρικής συνέχειας και σύγκλισης των κεκλιμένων επιφανειών περιμετρικά του χώρου. Επιπλέον, η δομή του προγράμματος επιτρέπει την περαιτέρω εξέλιξη του, με την βελτίωση της ακρίβειας στη ζώνη της βάσης και στη μεταβατική ζώνη και την εισαγωγή πρόσθετων τύπων κεκλιμένων επιφανειών ή ζωνών μεταβολής, εξ αιτίας της μεταβλητής γεωμορφολογίας μιας περιοχής ή της εδαφικής επιστρωσης (αν υπάρχουν) σε ενδιάμεσα ύψη στον χώρο διάθεσης των απορριμμάτων. Επίσης είναι δυνατή η ομαλή διασύνδεσή του με μηχανισμούς πρόβλεψης του όγκου των παραγόμενων διασταλαγμάτων ή αερίων και τον οικονομοτεχνικό σχεδιασμό των αντίστοιχων συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας τους, ώστε να προκύψει ένα ολοκληρωμένο σχεδιαστικό πρόγραμμα ικανό να βελτιστοποιήσει και να αξιοποιήσει στο έπακρο τις δυνατότητες ενός χώρου εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων. Τέλος συνεχίζεται η διαδικασία βελτίωσης του ήδη υπάρχοντα κώδικα και επαναπροσδιορίζεται από νέα δεδομένα και μηχανισμούς, που είναι επιθυμητό να συνδυαστούν με το πρόγραμμα **IBXYTA**.

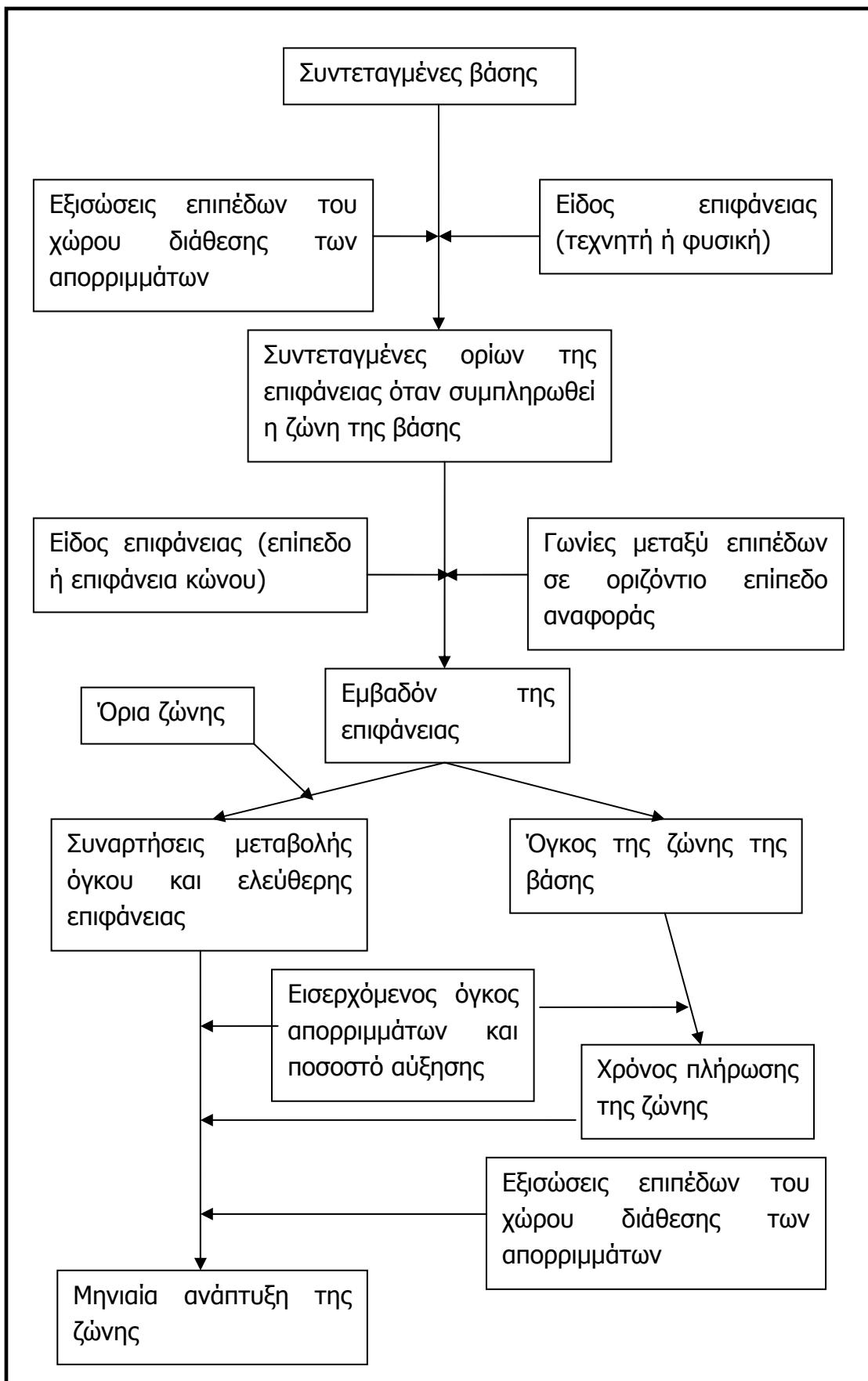
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**



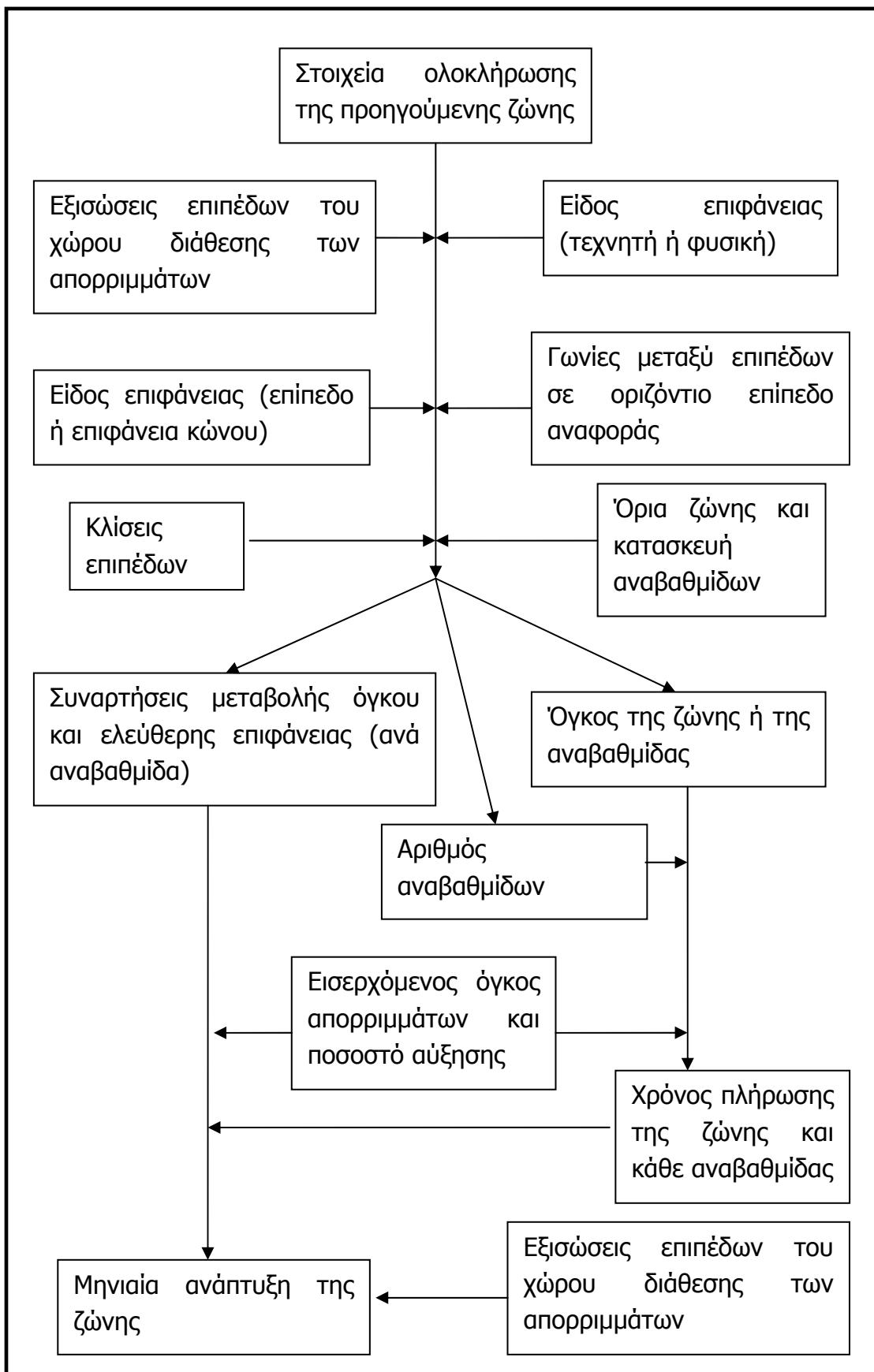
**Διάγραμμα ροής 1. Γενικό διάγραμμα ροής του προγράμματος ανά διαμερισμάτων**



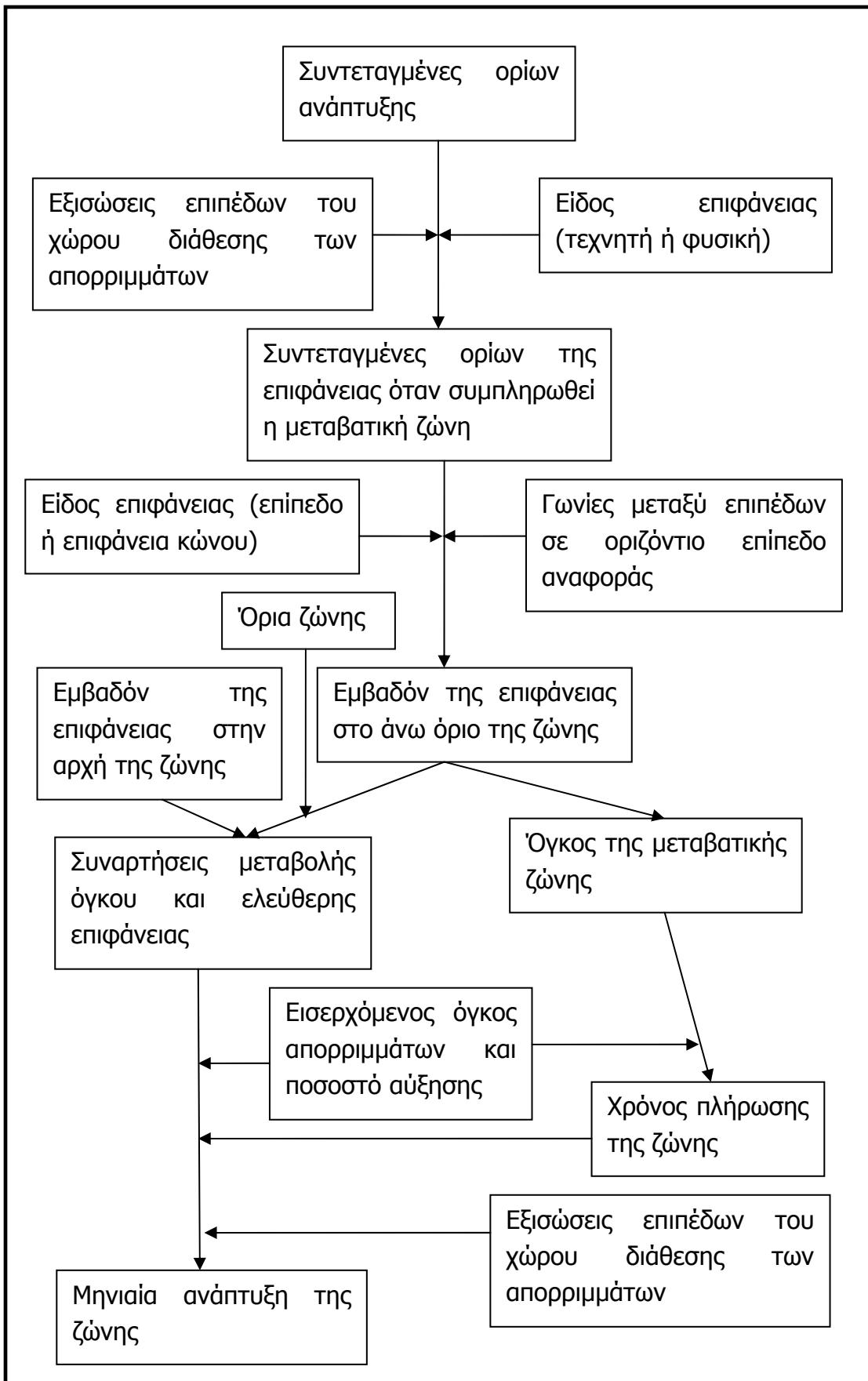
**Διάγραμμα ροής 2. Υποπρόγραμμα STARTUP**



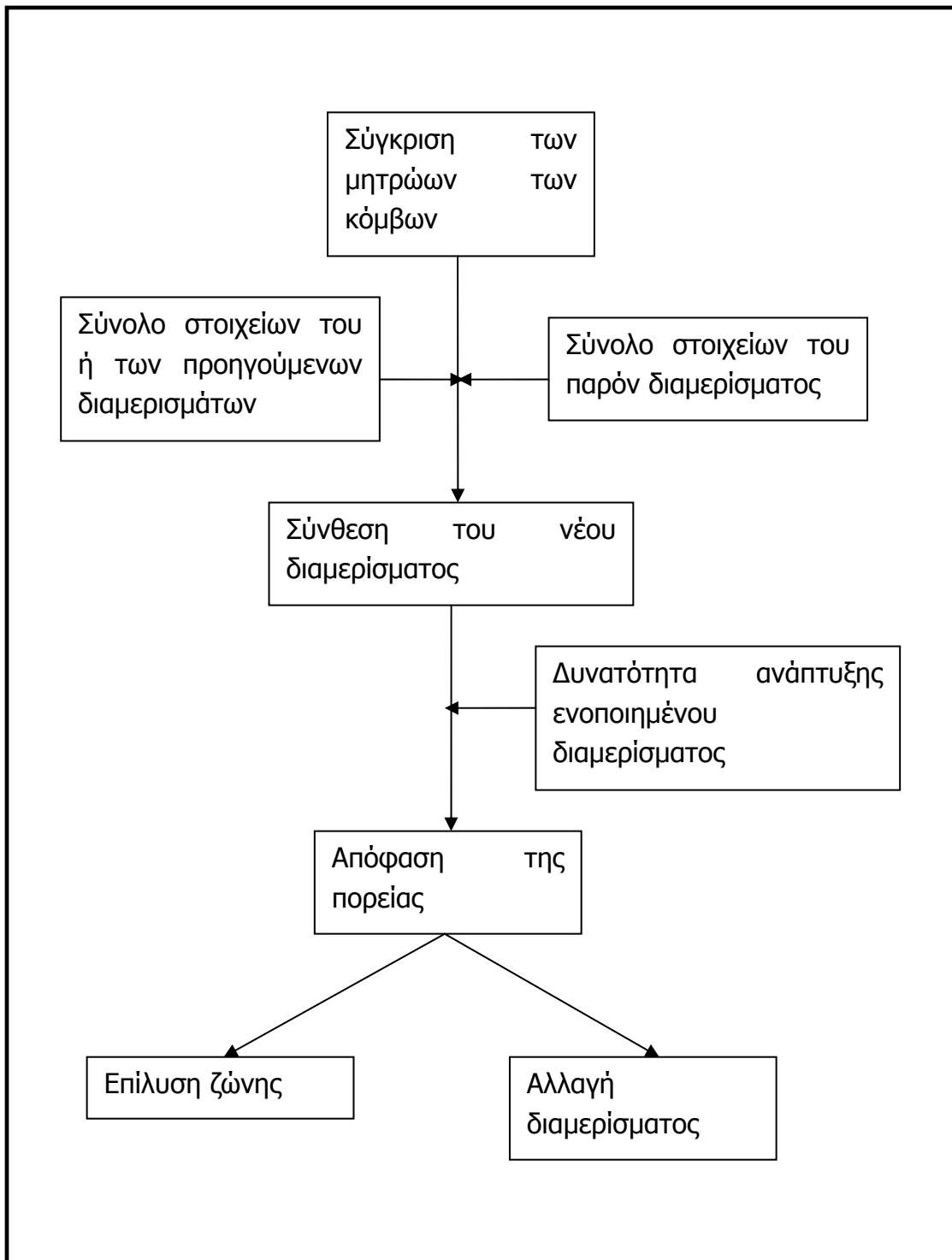
Διάγραμμα ροής 3. Υποπρόγραμμα BSZONE



**Διάγραμμα ροής 4. Υποπρόγραμμα CMZONE**



Διάγραμμα ροής 5. Υποπρόγραμμα TRZONE



Διάγραμμα ροής 6. Υποπρόγραμμα CONJ

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1].** Γρυσπολάκης Ι., "Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός I"
- [2].** Γρυσπολάκης Ι., "Διαφορικός και Ολοκληρωτικός Λογισμός II",  
Μακεδονικές Εκδόσεις
- [3].** Ακρίβης Δ. Γ., Δουγάλης Α. Β. "Εισαγωγή στην Αριθμητική Ανάλυση",  
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- [4].** Σκορδίλης Α., "Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων  
Αποβλήτων", Εκδόσεις ΙΩΝ
- [5].** Bagcbi A., "Design, Construction, & Monitoring of Sanitary Landfill",  
Wiley-Interscience Publication
- [6].** Tcobanoglous G., Theisen H., Vigil A. S., "Integrated Solid Waste  
Management", McGraw-Hill International Publications
- [7].** Sharma D. H., "Waste Containment Systems, Waste Stabilization and  
Landfills", Whiley-Interscience Publications
- [8].** Metcalf M., Reid J., "Fortran 90/95 Explained", Oxford Science  
Publications