

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΦΗΡΗΜΕΝΗΣ ΔΟΜΗΣ ΑΤΓ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΙΚΩΝ  
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ**

Αβρααμία Κοντού

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ**



**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Μάιος 2012**

# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ**

## **ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Υλοποίηση της Αφηρημένης Δομής ATG για την αναπαράσταση και την  
επεξεργασία Χρονικών Περιορισμών για Εφαρμογές Διάγνωσης στην Ιατρική**

**Αβρααμία Κοντού**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Δρ. Ελπίδα Κεραυνού – Παπαηλιού

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των  
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του  
Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2012

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, Δρ. Ελπίδα Κεραυνού – Παπαηλιού για την ευκαιρία που μου δόθηκε για την επίτευξη της μελέτης αυτής. Θα ήθελα ακόμη να την ευχαριστήσω για τη συνεχή βοήθεια και στήριξη που μου έχει προσφέρει κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής μου εργασίας. Η βαθιά της γνώση, καθώς και οι συμβουλές και η σωστή καθοδήγηση της ήταν καθοριστικές για την επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Οι γνώσεις που έχω αποκομίσει από τη συνεργασία μας είναι πολύτιμες.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω θερμά το φιλικό και οικογενειακό μου περιβάλλον που στάθηκε δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου, καθώς και για τη συνεχή στήριξη και την ηθική συμπαράστασή τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

# Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική (Artificial Intelligence in Medicine). Επικεντρώνεται στην αναπαράσταση και επεξεργασία των χρονικών περιορισμών σε εφαρμογές διάγνωσης στην Ιατρική με βάση την υλοποίηση της αφηρημένης δομής ATG (Abstract Temporal Graph). Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων συνεχίζει να προσελκύει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω των διάφορων ανοικτών ζητημάτων που αποτελούν πρόκληση. Μια τέτοια πρόκληση είναι η αναπαράσταση και ο συλλογισμός με χρόνο, κυρίως η αναπαράσταση και η επεξεργασία χρονικών περιορισμών.

Η ιατρική διάγνωση επικεντρώνεται γύρω από ασθένειες και το ιστορικό των υπό διάγνωση ασθενών. Τόσο τα μοντέλα των ασθενειών, όσο και τα ιστορικά των ασθενών αποτελούν δυναμικές καταστάσεις και ως εκ τούτου η έννοια του χρόνου έχει ιδιαίτερη σημασία. Τα μοντέλα των ασθενειών και των ιστορικών των ασθενών εμπλέκουν διάφορους χρονικούς περιορισμούς, με ποικίλες μορφές αβεβαιότητας καθώς επίσης πολλαπλές μονάδες χρόνου.

Αρχικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η εξέταση της προτεινόμενης αφηρημένης δομής «Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα» (Abstract Temporal Graph) για την αναπαράσταση χρονικών περιορισμών (temporal constraints) για ιατρικά διαγνωστικά προβλήματα. Επίσης, ένας άλλος στόχος ήταν η μελέτη των διάφορων συγκεκριμενοποιήσεων της αφηρημένης δομής ATG για την αναπαράσταση χρονικών περιορισμών που προκύπτουν σε διάφορες εφαρμογές ιατρικής διάγνωσης. Στην εργασία υλοποιήθηκε η αφηρημένη δομή ATG, καθώς και οι διάφορες βασικές λειτουργικότητες που παρουσιάζει όπως είναι ο χειρισμός πολλαπλών μονάδων χρόνου, η εξακρίβωση της συνέπειας ενός συνόλου χρονικών περιορισμών και η εξακρίβωση της ικανοποίησης ή όχι ενός δεδομένου χρονικού περιορισμού.

Ο τελικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η γραπτή παρουσίαση των αποτελεσμάτων, τόσο της βιβλιογραφικής μελέτης, όσο και της πειραματικής εργασίας αναφορικά με την υλοποίηση της αφηρημένης δομής ATG.

# Περιεχόμενα

|                                                   |               |
|---------------------------------------------------|---------------|
| <b>Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή.....</b>                 | <b>1</b>      |
| 1.1 Γενικά                                        | 1             |
| 1.2 Τεχνητή Νοημοσύνη                             | 1             |
| 1.3 Τεχνητή Νοημοσύνη στην Ιατρική                | 3             |
| 1.3.1 Mycin                                       | 4             |
| 1.3.2 Internist-1                                 | 6             |
| 1.3.3 MDX                                         | 7             |
| <br><b>Κεφάλαιο 2 – Χρονικές Έννοιες.....</b>     | <br><b>9</b>  |
| 2.1 Εισαγωγή                                      | 9             |
| 2.2 Αναπαράσταση Χρόνου                           | 9             |
| 2.3 Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου                      | 12            |
| 2.4 Χρονικοί Περιορισμοί                          | 12            |
| 2.5 Χρονικός Συλλογισμός                          | 13            |
| 2.6 Χρονική Αβεβαιότητα                           | 14            |
| 2.7 Χρονική Συνέπεια                              | 14            |
| <br><b>Κεφάλαιο 3 - Διάγνωση.....</b>             | <br><b>15</b> |
| 3.1 Εισαγωγή                                      | 15            |
| 3.2 Έννοιες της Διάγνωσης                         | 15            |
| 3.2.1 Ιατρική χρήση                               | 16            |
| 3.2.2 Τεχνολογική χρήση                           | 16            |
| 3.3 Κλινική Διάγνωση                              | 17            |
| 3.4 Διαγνωστικά συστήματα στην Ιατρική            | 18            |
| 3.4.1 Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης             | 21            |
| 3.4.1.1 Υποσύστημα Προεπεξεργασίας Δεδομένων      | 23            |
| 3.4.1.2 Υποσύστημα Ορισμού Περιοχών Ενδιαφέροντος | 24            |
| 3.4.1.3 Υποσύστημα Εξαγωγής και                   | 24            |
| Επιλογής Χαρακτηριστικών Μεγεθών                  |               |
| 3.4.1.4 Υποσύστημα Ταξινόμησης                    | 25            |

|                                                                                 |               |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Κεφάλαιο 4 – Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα.....</b>                              | <b>28</b>     |
| 4.1 Εισαγωγή                                                                    | 28            |
| 4.2 General Abstract Temporal Graph                                             | 29            |
| 4.3 Fully Connected Abstract Temporal Graph                                     | 30            |
| 4.4 Ordered Abstract Temporal Graph                                             | 31            |
| 4.5 Ελάχιστο Abstract Temporal Graph                                            | 32            |
| 4.6 Αλγόριθμοι Απλούστευσης ATG                                                 | 32            |
| 4.6.1 Minimize_full αλγόριθμος                                                  | 32            |
| 4.6.2 Minimize_ordered αλγόριθμος                                               | 34            |
| 4.6.3 Σύγκριση Αλγορίθμων Minimize_full - Minimize_ordered                      | 35            |
| 4.6.4 Έλεγχος Συνέπειας συνόλου περιορισμών                                     | 35            |
| 4.6.5 Έλεγχος Ικανοποίησης συνόλου περιορισμών                                  | 36            |
| <br><b>Κεφάλαιο 5 – Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα - Συγκεκριμενοποιήσεις.....</b>   | <br><b>37</b> |
| 5.1 Συγκεκριμενοποιήσεις Αφηρημένης Δομής ATG                                   | 38            |
| 5.1.1 Στιγμιαία Συμβάντα και Σχετικοί Περιορισμοί                               | 38            |
| 5.1.2 Στιγμιαία Συμβάντα και Απόλυτοι Περιορισμοί                               | 40            |
| 5.1.3 Καταστάσεις με διάρκεια και Σχετικοί Περιορισμοί                          | 41            |
| 5.1.4 Χρονικοί Περιορισμοί Αιτιολογικών Δικτύων<br>Παθοφυσιολογικών Καταστάσεων | 43            |
| 5.2 Υλοποίηση ATG - Στιγμιαία Συμβάντα και Σχετικοί Περιορισμοί                 | 45            |
| 5.2.1 Υποθέσεις Προγράμματος                                                    | 45            |
| 5.2.2 Επιπρόσθετες Πληροφορίες Προγράμματος                                     | 47            |
| 5.2.3 Μορφή Αρχείου                                                             | 49            |
| 5.2.4 Βασικά Βήματα Αλγορίθμου Προγράμματος                                     | 50            |
| 5.2.5 Παραδείγματα Εκτελέσεων                                                   | 56            |
| 5.2.5.1 Εκτέλεση 1                                                              | 56            |
| 5.2.5.2 Εκτέλεση 2                                                              | 58            |
| <br><b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματά .....</b>                                        | <br><b>62</b> |
| 6.1 Γενικά συμπεράσματα                                                         | 62            |
| 6.2 Εισηγήσεις για δυνατή επέκταση της εργασίας                                 | 63            |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>Βιβλιογραφία .....</b> | <b>65</b> |
|---------------------------|-----------|

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>Παράρτημα Α.....</b> | <b>A-1</b> |
|-------------------------|------------|

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

---

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1.1 Γενικά                         | 1 |
| 1.2 Τεχνητή Νοημοσύνη              | 1 |
| 1.3 Τεχνητή Νοημοσύνη στην Ιατρική | 3 |
| 1.3.1 Mycin                        | 4 |
| 1.3.2 Internist-1                  | 6 |
| 1.3.3 MDX                          | 7 |

---

### 1.1 Γενικά

Η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι ο κλάδος που μελετάει τον τρόπο με τον οποίο οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θα μπορούσαν να εκτελέσουν ενέργειες, τις οποίες προς το παρόν, οι άνθρωποι εκτελούν καλύτερα [21]. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια γενική εισαγωγή στο τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης και στη σχέση που υπάρχει μεταξύ των πεδίων της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Ιατρικής.

### 1.2 Τεχνητή Νοημοσύνη



**Σχήμα 1.1:** Αναπαράσταση Τεχνητής Νοημοσύνης

Ονομάζουμε το είδος μας homo-sapiens, δηλαδή άνθρωπος-σοφός, επειδή οι νοητικές μας ικανότητες είναι πολύ σημαντικές για μας. Για χιλιάδες χρόνια προσπαθούμε να

κατανοήσουμε το πως σκεφτόμαστε, δηλαδή το πως μια χούφτα ύλης μπορεί να αντιλαμβάνεται, να κατανοεί, να προβλέπει και να χειρίζεται ένα κόσμο πολύ μεγαλύτερο και πολύ πιο πολύπλοκο από τον ίδιο τον εαυτό της. Το πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης πηγαίνει ακόμα πιο πέρα, γιατί επιχειρεί όχι μόνο να κατανοήσει αλλά και να κατασκευάσει νοήμονες οντότητες [21].

Ο όρος Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) επιχειρεί να οριοθετήσει τον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με τη σχεδίαση ευφύων υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή συστημάτων που επιδεικνύουν χαρακτηριστικά που σχετίζουμε με τη νοημοσύνη στην ανθρώπινη συμπεριφορά. Μιμούνται δηλαδή στοιχεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς τα οποία υπονοούν έστω και στοιχειώδη ευφυΐα. Μερικά από τα στοιχεία αυτά είναι η μάθηση, η προσαρμοστικότητα, η εξαγωγή συμπερασμάτων, η κατανόηση από συμφραζόμενα, η επίλυση προβλημάτων, κλπ [4,21].

Η πρώτη μαθηματική περιγραφή τεχνητού νευρωνικού δικτύου, με πολύ περιορισμένες δυνατότητες επίλυσης αριθμητικών προβλημάτων, εμφανίστηκε κατά τη δεκαετία του 1940. Το 1950, ο μαθηματικός Alan Turing, πατέρας της θεωρίας υπολογισμού και προπάτορας της τεχνητής νοημοσύνης, πρότεινε τη δοκιμή Turing · μία απλή δοκιμασία που θα μπορούσε να εξακριβώσει αν μία μηχανή διαθέτει ευφυΐα. Έπειτα η τεχνητή νοημοσύνη θεμελιώθηκε τυπικά ως πεδίο στη συνάντηση ορισμένων επιφανών Αμερικανών επιστημόνων το 1956. Οι επιστήμονες αυτοί ήταν ο John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell και Herbert Simon [21]. Ο John McCarthy, όρισε τον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης ως «επιστήμη και μεθοδολογία της δημιουργίας νοούντων μηχανών» [4].

Σήμερα η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι μια από τις νεότερες επιστήμες. Αποτελεί σημείο τομής μεταξύ πολλών πεδίων όπως της επιστήμης υπολογιστών, της ψυχολογίας, της φιλοσοφίας, της νευρολογίας, της γλωσσολογίας και της επιστήμης μηχανικών, με στόχο τη σύνθεση ευφύους συμπεριφοράς, με στοιχεία συλλογιστικής μάθησης και προσαρμογής στο περιβάλλον, ενώ συνήθως εφαρμόζεται σε μηχανές ή υπολογιστές ειδικής κατασκευής. Με βάση τον επιθυμητό επιστημονικό στόχο, η Τεχνητή Νοημοσύνη κατηγοριοποιείται επιπλέον σε άλλου τύπου ευρείς τομείς, όπως είναι η επίλυση προβλημάτων, η μηχανική μάθηση, η ανακάλυψη γνώσης, τα συστήματα γνώσης, κλπ. Επίσης υπάρχει επικάλυψη με

συναφή επιστημονικά πεδία όπως η μηχανική όραση, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η ρομποτική, κλπ [4].

Με το πέρασμα των χρόνων η Τεχνητή Νοημοσύνη θα εξακολουθεί να αποτελεί ανοιχτό πεδίο έρευνας γιατί έχει πολυεπιστημονικό χαρακτήρα και έτσι βοηθά στην ανάπτυξη διάφορων εφαρμογών. Ο ρόλος της είναι πολύ σημαντικός γιατί συντελεί στην εξέλιξη και καλύπτει μεγάλο φάσμα περιοχών.

### **1.3 Τεχνητή Νοημοσύνη στην Ιατρική**

Η πρώτη επαφή των δυο μεγάλων πεδίων της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Ιατρικής, ίσως να έγινε το 1976 όταν δημιουργήθηκε το πρώτο Ιατρικό Λογισμικό του πλανήτη. Ονομάστηκε BRAIN από τον νευρολόγο D.Filkenstein και χρησιμοποιήθηκε για την διαφορική Διάγνωση περίπλοκων Νευρολογικών Παθήσεων [9].

Ακολούθησε το πρόγραμμα MYCIN του Edward Hance Shortliffe στο Πανεπιστήμιο Stanford, USA, για τη διαφορική Διάγνωση Μικροβιακών λοιμώξεων. Το πρόγραμμα αυτό κατέδειξε μια πολύ πρακτική προσέγγιση στην ιατρική διάγνωση που βασίζεται σε κανόνες, ενώ λειτουργεί ακόμα και με παρουσία αβεβαιότητας [9,21].

Εκείνο όμως που προκάλεσε πολύ θόρυβο και αισιοδοξία ήταν το INTERNIST/CADUCEUS των ερευνητών Pople και Myers, στο Πανεπιστήμιο του Pittsburg, USA, το οποίο μπορούσε να επεξεργάζεται διαγνωστικά 4.000 συμπτώματα και παραμέτρους από 500 ασθένειες της γενικής παθολογίας. Έκτοτε, ουδείς γνωρίζει τι απέγιναν αυτά τα λογισμικά, και αν μετατράπηκαν σε μορφές κατάλληλες για να τρέχουν σε σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές [9].



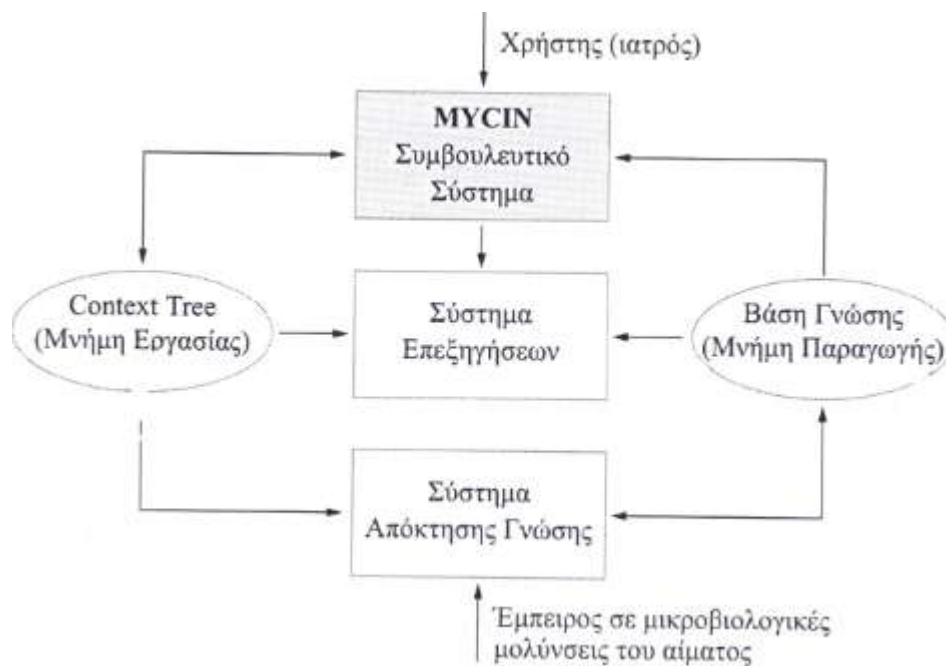
**Σχήμα 1.2:** Αναπαράσταση Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική

### 1.3.1 Mycin

Ο ερευνητής Edward Shortliffe [13] και οι συνεργάτες του κατάφεραν να αναπτύξουν το σύστημα MYCIN στο Πανεπιστήμιο του Stanford. Κίνητρο ήταν η ανάγκη για εμπειρία γιατί γίνονταν πολλά λάθη που είχαν μεγάλες τραγικές συνέπειες για τους ασθενείς. Ένα από τα συχνά λάθη ήταν η υπερβολική χρήση αντιβιοτικών που είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανθεκτικών μικροβιολογικών οργανισμών.

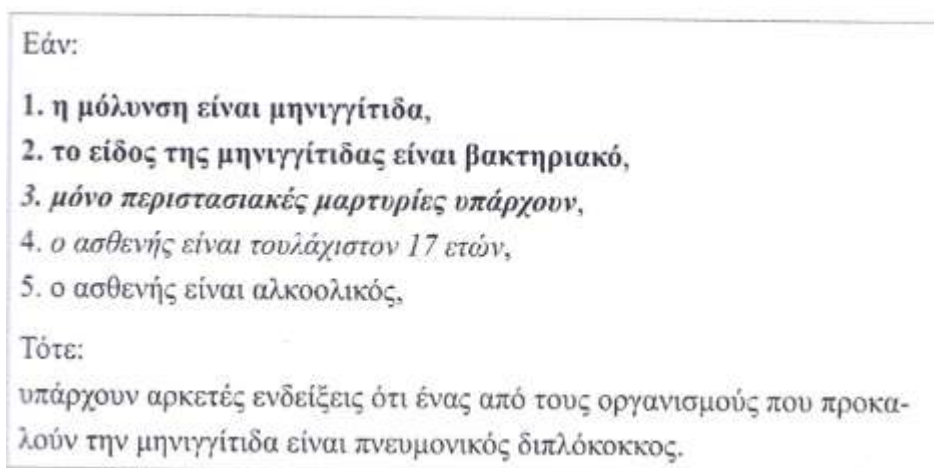
Επιπλέον, το σύστημα θα μπορούσε να λειτουργήσει και σαν σύμβουλος κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης σπουδαστών ιατρών. Κυρίως όμως θα δίδασκε και θα βοηθούσε μη έμπειρους ιατρούς κατά τη διάρκεια διάγνωσης και θεραπευτικής αγωγής μικροβιολογικών μολύνσεων του αίματος, όπως είναι η μηνιγγίτιδα. Αυτές οι μολύνσεις είναι πάρα πολύ επικίνδυνες και η θεραπευτική αγωγή πρέπει να γίνει πριν να περάσουν 48 ώρες. Ωστόσο αρχικά πρέπει να εξακριβωθεί η ταυτότητα των μικροβιολογικών οργανισμών. Έτσι, τόσο η διάγνωση όσο και η θεραπευτική αγωγή παρουσιάζουν αβεβαιότητα. Ο χειρισμός της αβεβαιότητας θα ήταν εφικτός με την ανάπτυξη κατάλληλου μοντέλου. Αυτό το μοντέλο υπάρχει και αποτελεί σημαντικό στοιχείο του συστήματος MYCIN.

Το MYCIN ανήκει στα έμπειρα συστήματα πρώτης γενεάς και η συμβολή του ήταν τεράστια σαν συμβουλευτικό σύστημα σε μεγάλο αριθμό δορυφορικών υποσυστημάτων, τα οποία παρέχουν επεξηγήσεις (πως, γιατί), συμβάλουν στην απόκτηση γνώσης (TEIRESIAS), τη διδασκαλία (GUIDON), κ.λπ. Πιο κάτω στο **Σχήμα 1.3** παρουσιάζεται το συμβουλευτικό σύστημα με την παροχή επεξηγήσεων και την απόκτηση γνώσης, το οποίο αποτελείται από τις αλυσίδες της διάγνωσης και της σύστασης για θεραπεία [13].



**Σχήμα 1.3:** MYCIN και Βοηθητικά Υποσυστήματα

Η δομή του MYCIN βασίζεται σε κανόνες, οι οποίοι αποτελούν μια γενική στρατηγική ελέγχου. Τα συμπεράσματα των κανόνων αντιπροσωπεύουν στόχους και τα προκείμενα προϋποθέσεις για την επίτευξη των στόχων. Υπάρχει συλλογισμός συμπερασματικής μορφής από πάνω προς τα κάτω, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.4**.



**Σχήμα 1.4:** Κανόνας MYCIN

### 1.3.2 Internist-1

Το σύστημα Internist-1 ανήκει στα έμπειρα συστήματα πρώτης γενεάς και αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Pittsburgh με στόχο την υποβοήθηση ιατρών στη διεξαγωγή διαφορικής διάγνωσης στον τομέα της γενικής παθολογίας [13]. Σε σχέση με διάφορα άλλα έμπειρα συστήματα, το Internist-1 έχει ενισχυμένη βάση γνώσης γιατί έχει τη δυνατότητα κάλυψης του 80% της γενικής παθολογίας. Περιέχει μεγάλη ποικιλία ασθενειών και κατηγορίες αυτών, όπως και συνδέσμους και ενδείξεις. Πιο κάτω στο **Σχήμα 1.5** φαίνονται οι σχέσεις ανάμεσα σε ασθένειες και ενδείξεις.



**Σχήμα 1.5:** Σχέσεις Ασθενειών και Ενδείξεων

Οι δυο σχέσεις «Διεγείρει» και «Εκδηλώνει» προβάλλουν το υποθετικό – συμπερασματικό σχήμα συλλογισμού. Η σχέση «Διεγείρει» συνδέεται με απαγωγικό συλλογισμό, ενώ η σχέση «Εκδηλώνει» με συμπερασματικό συλλογισμό.

Η αναπαράσταση μιας ασθένειας ή κατηγορίας ασθενειών μέσω ενός πλαισίου, προβάλλει τη γνώση, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.6**. Οι σχέσεις ανάμεσα στις ασθένειες βασίζονται στην έννοια του χρόνου, ο οποίος δεν μπορεί να αναπαρασταθεί ρητά και αυτό ήταν μια από τις μεγαλύτερες αδυναμίες του Internist-1 συστήματος.

- Υποκατηγορίες: .....
- Ενδείξεις:
  - ένδειξη-1 βαθμός-διέγερσης βαθμός-εκδήλωσης
  - .....
- Συμπληρωματικές σχέσεις με άλλες ασθένειες:
  - προδιάθεση-για:
    - ασθένεια βαθμός-διέγερσης βαθμός-εκδήλωσης
    - .....
  - προκαλεί:.....
  - συμπίπτει-με:.....
  - προηγείται:.....

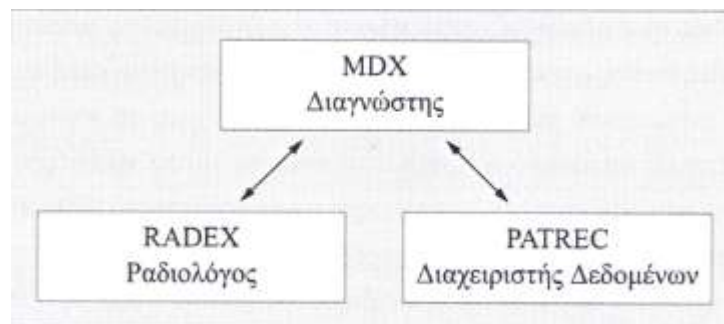
**Σχήμα 1.6:** Δομή Πλαισίου για Ασθένειες / Κατηγορίες Ασθενειών

### 1.3.3 MDX

Στο Πανεπιστήμιο του Ohio State αναπτύχθηκε το σύστημα MDX, με κύριους ερευνητές τους B. Chandrasekaran και S. Mittal [13]. Κύριος στόχος των ερευνητών ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος ικανού να κάνει επιτυχή διάγνωση του συνδρόμου του ήπατος, αλλιώς χολέσταση.

Το MDX ανήκει στη δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων, όπου στόχος αυτής της γενεάς ήταν η αποφυγή σημαντικών αδυναμιών, η ευελιξία επίλυσης προβλημάτων, η χρήση περισσότερων επεξηγήσεων και η επαναχρησιμοποίηση. Στη δεύτερη γενεά γίνεται επίσης χρήση πολλαπλών μοντέλων γνώσης και πετυχαίνεται υψηλή αφαιρετικότητα.

Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από τρεις μονάδες, οι οποίες λειτουργούν ξεχωριστά : το διαγνώστη, το διαχειριστή δεδομένων και το ραδιολόγο (βλέπε **Σχήμα 1.7**). Ο διαγνώστης αποτελεί την κύρια μονάδα, η οποία δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς τις δυο άλλες μονάδες. Ο δεύτερος ασχολείται με την αφαιρετικότητα των δεδομένων, ενώ ο τρίτος επεξεργάζεται δεδομένα σε μορφή εικόνων. Και οι τρεις μονάδες πρέπει να συνεργαστούν για την επίτευξη του στόχου.



**Σχήμα 1.7:** MDX Μονάδες

# Κεφάλαιο 2

## Χρονικές Έννοιες

---

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 2.1 Εισαγωγή                 | 9  |
| 2.2 Αναπαράσταση Χρόνου      | 9  |
| 2.3 Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου | 12 |
| 2.4 Χρονικοί Περιορισμοί     | 12 |
| 2.5 Χρονικός Συλλογισμός     | 13 |
| 2.6 Χρονική Αβεβαιότητα      | 14 |
| 2.7 Χρονική Συνέπεια         | 14 |

---

### 2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον Πλάτωνα [17] ο χρόνος είναι η κινητή εικόνα της αιωνιότητας, γιατί περιλαμβάνει το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον. Δικαιολογεί τη γνώμη του υποστηρίζοντας ότι οι ημέρες και οι νύχτες δεν υπήρχαν πριν δημιουργηθεί ο ουρανός. Αυτά λοιπόν ονομάζει «μέρη του χρόνου».

### 2.2 Αναπαράσταση Χρόνου

Ο χρόνος θεωρείται ως μια θεμελιώδης ποσότητα όπως είναι η μάζα και ο χώρος. Χρησιμοποιείται ως μέσω μέτρησης και συνεπώς είναι ένα μέγεθος κύριας σημασίας για την ανθρωπότητα, και αυτό γιατί συντέλεσε κύριο ρόλο στην εξέλιξη του ανθρώπινου είδους. Επιστήμες, όπως η πληροφορική, τα μαθηματικά, η οικονομία, η ιστορία και πολλές άλλες στηρίχθηκαν στην έννοια του χρόνου. Έγινε προσπάθεια αναπαράστασης του χρόνου με κύριο σκοπό την ερμηνεία καταστάσεων, οι οποίες αρχικά ήταν ακατανόητες για τον ανθρώπινο νου. Με τη βοήθεια της χρονικής γνώσης και της χρονικής συλλογιστικής επιλύθηκαν μεγάλα προβλήματα κυρίως όσο αφορά τα ιατρικά θέματα.

Η αναπαράσταση του χρόνου από τη μια εφαρμογή στην άλλη διαφέρει. Για παράδειγμα, στην τεχνητή νοημοσύνη πρέπει να γίνεται χρήση μοντέλων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα καταγραφής των διάφορων αλλαγών κατά τη διάρκεια επίλυσης προβλημάτων. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα είναι οι κινήσεις ενός ρομπότ (βλέπε **Σχήμα 2.1**), οι οποίες πρέπει να καταγράφονται και να μοντελοποιούνται. Με αυτό τον τρόπο ο σχεδιασμός θα είναι πιο αποτελεσματικός και τυχόν προβλήματα, όπως οι συγκρούσεις και η αποφυγή επανάληψης θα πάνσουν να υπάρχουν.

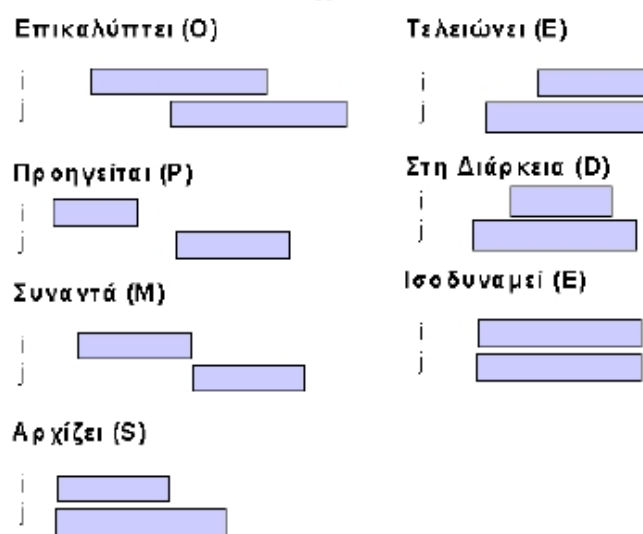


Στην Ιατρική η διάρκεια του χρόνου όσο αφορά διάφορα συμβάντα συμβάλει έμμεσα στην έγκαιρη ιατρική διάγνωση και θεραπεία οποιασδήποτε ασθένειας. Γι' αυτό το λόγο η καταγραφή χρονικών πλαισίων στα ιατρικά έγγραφα και αρχεία έχει μέγιστη σημασία. Στα επόμενα κεφάλαια, συγκεκριμένα στα κεφάλαια 3, 4 και 5, γίνεται περιγραφή ιατρικών συστημάτων διάγνωσης και αναφορά και εξέταση του Αφηρημένου Χρονικού Γράφου (ATG), όπου φαίνεται καθαρά πόσο κρίσιμος είναι ο ρόλος του χρόνου στον τομέα της Ιατρικής.

Όσο αφορά τις επιστήμες, οι οποίες ασχολούνται με τη γλώσσα, παρατηρείται η επεξεργασία των χρονικών πληροφοριών μέσα από προτάσεις. Έστω η πρόταση: "Πεινάω". Σε μια χρονική λογική, οι προτάσεις μπορούν να έχουν μια τιμή αληθείας που να διαφέρει ανάλογα με τη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα οι προτάσεις: "Πεινάω πάντα", "Τελικά θα πεινάσω", ή "Θα πεινάω μέχρι να φάω κάτι".

Μια άλλη προσέγγιση αναπαράστασης του χρόνου ασχολείται με τα διαστήματα. Η λογική χρονικών διαστημάτων διαχειρίζεται σχέσεις μεταξύ γεγονότων μέσα στο χρόνο (βλέπε **Σχήμα 2.2**). Αυτές οι σχέσεις εκφράζονται με τις λέξεις : επικαλύπτει (overlaps), προηγείται (precedes), συναντά (meets), αρχίζει (starts), τελειώνει (ends), στη διάρκεια (during), ισοδυναμεί (equals).

## Γραφική Αναπαράσταση Σχέσεων Χρονικών Διαστημάτων



**Σχήμα 2.2:** Γραφική Αναπαράσταση Σχέσεων Χρονικών Διαστημάτων

### 2.3 Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου

Στην Ιατρική, κατά τη διαδικασία της διάγνωσης μιας ασθένειας και κατά τη διαδικασία επίλυσης διαγνωστικών προβλημάτων, έχει μεγάλη σημασία η κατανομή του χρόνου, η οποία επηρεάζει την πρόγνωση καθώς και τη λειτουργία οποιουδήποτε ιατρικού συστήματος. Η σημασία του χρόνου είναι αφαιρετική, έτσι ώστε να αποφεύγονται περιττές λεπτομέρειες και να μην δημιουργούνται χάσματα πληροφοριών. Έτσι, η επεξεργασία και η αλληλεπίδραση πολλαπλών χρονικών μονάδων μέσω συλλογισμού ή αιτιών, οδηγεί αποτελεσματικά σε συσχετίσεις διαδικασιών, οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετική κατανομή χρόνου. Οι πολλαπλές μονάδες χρόνου συμβάλλουν σε μια πλούσια και πολυδιάστατη δομή στο χρόνο, αφού χρησιμοποιούνται σε μοντέλα χρόνου, τα οποία υποστηρίζουν πολλαπλές εννοιολογικές χρονικές σχέσεις. Γ' αυτό το λόγο μεγάλα ιατρικά συστήματα χρησιμοποιούν αντικείμενα χρόνου που το κάθε ένα έχει εναλλακτική σημασία, αφού χαρακτηρίζουν μια διαφορετική διαδικασία κάθε φορά. Ένα αντικείμενο χρόνου λοιπόν, λειτουργά ως ένα πλαίσιο αναπαράστασης ή μοντελοποίησης διαδικασιών και μπορεί να αναφέρεται σε ένα φαινόμενο ή σε μια επανάληψη τακτικής εμφάνισης συμπτωμάτων σε κάποιο ασθενή. Επιπλέον, κάθε χρονικό αντικείμενο μπορεί να χαρακτηριστεί ως δυναμικό ή σύνθετο, αφού μπορεί να αποτελείται από ποικιλία χρονικών περιορισμών.

### 2.4 Χρονικοί Περιορισμοί

Οι χρονικοί περιορισμοί είναι μικτοί τύποι που μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικές κατανομές χρόνου [2, 22, 18, 19]. Αναφέρονται στις χρονικές σχέσεις μεταξύ γεγονότων, αιτιών ή αποτελεσμάτων, σημειώνοντας την αρχή και το τέλος τους. Στην κλινική διάγνωση συσχετίζονται με τη διάρκεια ενεργειών, με καθυστερήσεις μεταξύ κάποιων ενεργειών και με επαναλήψεις ενεργειών. Σε κάποιες περιπτώσεις παράγονται χρονικοί περιορισμοί από την ιεραρχική αποσύνθεση των ενεργειών στα συστατικά τους και από την ελεγχόμενη ροή των ενεργειών. Η λειτουργία των χρονικών περιορισμών είναι πάρα πολύ σημαντική, καθώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την υποστήριξη και βοήθεια ιατρών και εκπαιδευτικού προσωπικού κατά τις διαδικασίες της διάγνωσης και της θεραπευτικής αγωγής ασθενειών.

Ο Αφηρημένος Χρονικός Γράφος (ATG), του οποίου ανάλυση γίνεται στα επόμενα κεφάλαια 4 και 5, αναπαριστά ποικιλία χρονικών περιορισμών που σχετίζονται με την κλινική διάγνωση [6]. Αυτή η αφηρημένη δομή, χειρίζεται τους διαφορετικούς τύπους περιορισμών μέσα σε ένα ενοποιημένο πλαίσιο αναλύοντας και διαφοροποιώντας τους.

## 2.5 Χρονικός Συλλογισμός

Η έννοια του χρονικού συλλογισμού είναι γενική και χρησιμοποιείται σε ποικιλία αλληλοεξαρτώμενων διεργασιών όπως είναι η διάγνωση, ο έλεγχος, η πρόβλεψη, η προβολή και ο προγραμματισμός [12].

Η προβολή είναι μια διαδικασία υπολογισμού των πιθανών επιπτώσεων ενός συνόλου συνθηκών ή ενεργειών, που περιγράφονται σαν ένα σύνολο σχέσεων του τύπου «αιτία - αποτέλεσμα». Η προβολή σχετίζεται με τη διαδικασία προγραμματισμού (πχ. κατάσταση ασθενή μετά τη χορήγηση κάποιου φαρμάκου). Η πρόβλεψη αφορά την πρόβλεψη συγκεκριμένων μελλοντικών τιμών για ποικιλία παραμέτρων, με βάση ένα διάνυμα παλιών και ενεργών υπολογιζόμενων χρονικών τιμών. Ο προγραμματισμός, αφορά την ακολουθία ενεργειών σε μια από τις καταστάσεις του στόχου. Η επίτευξη μιας κατάστασης στόχου μπορεί να εξαρτάται από τη σωστή προβολή των ενεργειών. Η ερμηνεία εμπλέκει την αφαιρετικότητα και το συλλογισμό που αφορά παλαιά και τωρινά δεδομένα και όχι μελλοντικά. Γίνεται υπολογισμός επιπτώσεων που προκύπτουν από γεγονότα αιτίας – αποτελέσματος.

Η μοντελοποίηση του χρόνου και η μοντελοποίηση των περιστατικών έχουν σχέση με το χρονικό συλλογισμό. Η μοντελοποίηση περιστατικών αφορά ενέργειες, συμβάντα, γεγονότα, κ.λπ., ενώ η μοντελοποίηση χρόνου συσχετίζεται με την ενσωμάτωση της έννοιας του χρόνου στα περιστατικά. Ο χρόνος πρέπει να μοντελοποιείται ρητά έτσι ώστε να επιτρέπει την ακριβή διατύπωση και αξιολόγηση των διαγνωστικών λύσεων και την υποστήριξη αποφάσεων. Μια θεραπεία γίνεται ορθά και αποτελεσματικά όταν ακολουθούνται βήματα με ακριβή σειρά και συχνότητα και για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η ουσία του απαγωγικού συλλογισμού είναι ο σχηματισμός σημαντικών λύσεων και η αξιολόγησή τους.

## 2.6 Χρονική Αβεβαιότητα

Χρονική αβεβαιότητα υπάρχει όταν δεν υπάρχει ακρίβεια στο χρόνο ανάμεσα στα δεδομένα και την ιατρική γνώση. Για παράδειγμα το ιστορικό ενός ασθενή μπορεί να περιέχει τα διάφορα δεδομένα των συμπτωμάτων που παρουσίαζε με λάθος σειρά χρόνου. Έτσι δεν υπάρχει χρονολογική ακρίβεια και συνεπάγεται ότι είναι φανερή η ύπαρξη χρονικής αβεβαιότητας.

## 2.7 Χρονική Συνέπεια

Η χρονική συνέπεια υπολογίζεται με βάση τις αναμενόμενες και πραγματικές χρονικές αποστάσεις μεταξύ ζευγαριών γεγονότων που υπάρχουν στα δεδομένα ενός ασθενή, και θεωρείται ως μια διαγνωστική επεξήγηση [15].

Για κάθε ζεύγος γεγονότων υπολογίζεται το ύψος της διατομής του δεδομένου ζευγαριού διαστημάτων. Η χρονική συνέπεια είναι το ελάχιστο μεταξύ των υψών. Όταν οι πραγματικές και οι αναμενόμενες χρονικές αποστάσεις κάθε ζευγαριού από σχετικά γεγονότα αντιστοιχούν σε μια χαρακτηριστική τιμή, τότε έχει τιμή 1. Διαφορετικά, όταν για τουλάχιστον ένα ζευγάρι από σχετικά γεγονότα οι πραγματικές και αναμενόμενες χρονικές αποστάσεις δεν αντιστοιχούν ακόμα και σε μια μόνο πιθανή τιμή, τότε έχει τιμή 0.

Όταν  $0 < \text{χρονική απόσταση} < 1$ , σημαίνει ότι για τουλάχιστον ένα ζευγάρι από σχετικά γεγονότα η αντιστοιχία ήταν για μια πιθανή τιμή. Ωστόσο στη περίπτωση που δεν υπάρχουν κοινά γεγονότα ανάμεσα σε ένα μοντέλο μιας ασθένειας και των πληροφοριών ενός ασθενή, η χρονική συνέπεια είναι απεριόριστη ή είναι 1.

Γενικά, χρονική συνέπεια υπάρχει όταν, η πραγματική διάρκεια μιας εκδήλωσης δεν διαφέρει από την αναμενόμενη διάρκεια της σε μια δεδομένη ασθένεια.

# Κεφάλαιο 3

## Διάγνωση

---

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Εισαγωγή                                                     | 15 |
| 3.2 Έννοιες της Διάγνωσης                                        | 15 |
| 3.2.1 Ιατρική χρήση                                              | 16 |
| 3.2.2 Τεχνολογική χρήση                                          | 16 |
| 3.3 Κλινική Διάγνωση                                             | 17 |
| 3.4 Διαγνωστικά συστήματα στην Ιατρική                           | 18 |
| 3.4.1 Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης                            | 21 |
| 3.4.1.1 Υποσύστημα Προεπεξεργασίας Δεδομένων                     | 23 |
| 3.4.1.2 Υποσύστημα Ορισμού Περιοχών Ενδιαφέροντος                | 24 |
| 3.4.1.3 Υποσύστημα Εξαγωγής και Επιλογής Χαρακτηριστικών Μεγεθών | 24 |
| 3.4.1.4 Υποσύστημα Ταξινόμησης                                   | 25 |

---

### 3.1 Εισαγωγή

Η λέξη «διάγνωση» προέρχεται μέσω των λατινικών από την ελληνική λέξη «διάγιγνῶσκειν», που σημαίνει να διακρίνει [16]. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι δυο διαφορετικές έννοιες της λέξης «διάγνωση» σε σχέση με το ευρύ πεδίο της Ιατρικής και της επιστήμης της Πληροφορικής και Τεχνολογίας. Γίνεται επιπλέον αναφορά στην κλινική διάγνωση καθώς και στα διαγνωστικά συστήματα στην Ιατρική που με τη πάροδο των χρόνων αναπτύσσονται ολοένα και περισσότερο.

### 3.2 Έννοιες της Διάγνωσης

Η λέξη «διάγνωση» μπορεί να οριστεί με διάφορες έννοιες σύμφωνα με πάρα πολλούς ερευνητές και επιστήμονες του χώρου. Γενικά όμως ο όρος «διάγνωση» σημαίνει διευκρίνιση, διαφοροποίηση ή προσδιορισμός και αυτή είναι και η κύρια σημασία του.

### 3.2.1 Ιατρική χρήση

Στον τομέα της Ιατρικής, η διάγνωση είναι μια ρευστή διαδικασία στην οποία ο γιατρός αποκρίνεται στις διάφορες πληροφορίες που συγκεντρώνονται από τον ασθενή, από μια φυσική εξέταση του ασθενή, και από τις ιατρικές δοκιμές που εκτελούνται επάνω στον ασθενή. Η διαδικασία της διάγνωσης αρχίζει όταν συμβουλευέται ο ασθενής το γιατρό και παρουσιάζει ένα σύνολο συμπτωμάτων.

Ο όρος «διάγνωση» λοιπόν, στην ιατρική του χρήση, αναφέρεται στον εντοπισμό μιας διαταραχής από τα συμπτώματά της, με στόχο να επιλεγεί η κατάλληλη αγωγή που θα εξαφανίσει τα συμπτώματα και θα καταπολεμήσει αποτελεσματικά την αιτία που τα γεννά. Καταλήγουμε στο ότι διάγνωση είναι η διαδικασία ταυτοποίησης μιας αρρώστιας μέσω των συμπτωμάτων της [7].

### 3.2.2 Τεχνολογική χρήση

Η διάγνωση μέσα από την Τεχνητή Νοημοσύνη ενδιαφέρεται για την ανάπτυξη των αλγορίθμων και των τεχνικών που είναι σε θέση να καθορίσουν εάν η συμπεριφορά ενός συστήματος είναι ορθή. Στο ευρύ πεδίο της επιστήμης της Πληροφορικής και Τεχνολογίας, λοιπόν, η διάγνωση έχει διαφορετική σημασία και σχετίζεται άμεσα με την αποτελεσματικότητα, την αποδοτικότητα και τη συνέπεια που πρέπει να υπάρχει στο σύστημα.

Σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιαστής ή αυτός που χρησιμοποιεί το υπό διάγνωση σύστημα ταυτίζεται με το γιατρό, ο οποίος εξετάζει τον ανθρώπινο οργανισμό για τον εντοπισμό διάφορων συμπτωμάτων. Αντίστοιχα ο σχεδιαστής προσπαθεί να ανακαλύψει τυχόν σφάλματα που είναι πιθανό να υπάρχουν στο σύστημα και που θα έχουν ως συνέπεια τη μη ορθή και αναμενόμενη λειτουργία του. Η εύρεση των σφαλμάτων είναι επιτυχής, εφόσον ο σχεδιαστής ή ο χρήστης του υπό διάγνωση συστήματος είναι γνώστης του σχεδιασμού και της δομής του συστήματος.

Επιπλέον, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή και παρατηρητικότητα, έτσι ώστε να εντοπισθούν οι πιθανές μελλοντικές δυσλειτουργίες που μπορεί να παρουσιαστούν στο

σύστημα. Λέγεται ότι είναι γνωστός ο τρόπος που δομούνται και εργάζονται λειτουργικά τα συστατικά μέρη ενός συστήματος αλλά είναι άγνωστο το πώς εμφανίζονται και εκδηλώνονται οι δυσλειτουργίες. Μέσα όμως από τη συμπεριφορά του συστήματος προκύπτουν παρατηρήσεις, οι οποίες δημιουργούνται λόγω των διάφορων στοιχείων και συμπτωμάτων που εντοπίζει ο χειριστής του συστήματος και που τον βοηθούν να βγάλει τα δικά του συμπεράσματά.

Εάν το σύστημα δεν λειτουργεί σωστά, υπάρχουν επιπλέον αλγόριθμοι που είναι σε θέση να καθορίσουν, όσο το δυνατόν ακριβέστερα, το ποιο μέρος του συστήματος αποτυγχάνει, και ποιο είναι το είδος του ελαττώματος που αντιμετωπίζει το σύστημα τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο υπολογισμός είναι βασισμένος σε παρατηρήσεις, οι οποίες παρέχουν τις πληροφορίες για την τρέχουσα συμπεριφορά του συστήματος.

Η έκφραση «διάγνωση» λοιπόν, ως ένας υποτομέας της Τεχνητής Νοημοσύνης και της επιστήμης της Πληροφορικής, αναφέρεται στον τρόπο υπολογισμού ύπαρξης δυσλειτουργίας στο σύστημα και ως επακόλουθο προσδιορίζει κατά πόσο ένα σύστημα δυσλειτουργεί ή όχι.

### **3.3 Κλινική Διάγνωση**

Μέσα από τη μελέτη των συμπτωμάτων κάποιας ασθένειας μπορεί να γίνει κλινική διάγνωση, η οποία συσχετίζεται έμμεσα με το στοιχείο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια της κλινικής διάγνωσης, για την επιτυχή επίλυση προβλημάτων, λαμβάνονται σοβαρά υπόψη παράγοντες όπως είναι ο χρόνος, οι αιτίες που αφορούν την εμφάνιση της συγκεκριμένης ασθένειας και οι προσπάθειες θεραπείας που έγιναν ή θα πραγματοποιηθούν στο πολύ κοντινό μέλλον. Ωστόσο, κατά την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων, ο κυρίαρχος ρόλος διακατέχεται από τον παράγοντα του χρόνου.

Οι χρονικοί περιορισμοί και οι απαιτήσεις που παρουσιάζονται ποικίλουν κατά τη διάρκεια του έργου της κλινικής διάγνωσης. Κάποιες φορές υπάρχει χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων και κάποιες άλλες φορές επικρατεί η ανάγκη για σύνθετες μορφές μετρικών και σχετικών περιορισμών. Γενικά, η επεξεργασία πολλαπλών μονάδων χρόνου απαιτεί μεγάλη

προσοχή γιατί δεν παύει να υπάρχει και το ζήτημα της επανάληψης, όπως και τα πολλά σύνθετα περιστατικά [14].

Επιπρόσθετα, είναι πολύ σημαντικό να γίνει ορθός συλλογισμός, έτσι ώστε να σχηματιστούν οι κατάλληλες υποθέσεις και να επακολουθήσει η ικανοποιητική αξιολόγηση τους. Επιπλέον με βάση τον ορθό συλλογισμό που διατυπώθηκε θα είναι εύκολο να επακολουθήσει και η επίλυση των διάφορων προβλημάτων που προτίθενται να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια διαδικασίας της κλινικής διάγνωσης. Στην ουσία η κλινική διάγνωση είναι μια διαδικασία σύνθετου συλλογισμού με την οποία μπορούμε να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματά με βάση τις υποθέσεις και τη παρατήρηση εξέλιξης της ασθένειας ανάλογα πάντα με τους παράγοντες που αναφέρθηκαν πιο πάνω [5].

### **3.4 Διαγνωστικά συστήματα στην Ιατρική**

Κατά τη περίοδο των σαράντα και πλέον τελευταίων χρόνων έχουν επιτευχθεί αξιόλογες ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη αποδοτικών και ικανών μεθόδων για την αντιμετώπιση πολύπλοκων προβλημάτων, όπως αυτά που σχετίζονται με την ιατρική διάγνωση. Κατά κάποιο τρόπο κάθε σύστημα πληροφορικής το οποίο σχετίζεται με τη διαχείριση και επεξεργασία ορισμένων ιατρικών δεδομένων και πληροφοριών ή με την αναπαραγωγή της ιατρικής γνώσης, μπορεί να θεωρηθεί και να ειπωθεί ότι συμβάλει άμεσα στην κλινική διάγνωση.

Διάφοροι ερευνητές και επιστήμονες, κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του ογδόντα και ενενήντα, επισήμαναν και γενικά διαπίστωσαν ότι το μέλλον του πεδίου των εφαρμογών της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική θα κριθεί από τη δημιουργία και ανάπτυξη λειτουργικών και ολοκληρωμένων συστημάτων πληροφορικής στον τομέα της Υγείας. Με αυτές τις εξελιγμένες υποδομές, θα επιτραπεί η σύνδεση των χρηστών, οι τυποποιημένες καταχωρήσεις στοιχείων και θα ανταλλάσσονται αποτελεσματικά τα διάφορα ψηφιακά δεδομένα. Επιπρόσθετα, θα συγχωνεύονται κατάλληλα και παράλληλα τα διάφορα δεδομένα και πληροφορίες που θα διαχειριζόμαστε κατά τη λειτουργία των συγκεκριμένων βάσεων γνώσεων και δεδομένων. Θα υπάρχει άμεση πρόσβαση πληροφόρησης και γενικότερα θα αναμένεται, τα σύγχρονα αυτά συστήματα πληροφορικής να συντελέσουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της κατάλληλης εκμετάλλευσης των διάφορων και άπειρων

πληροφοριών που είναι αποθηκευμένες, με τελικό στόχο να μπορεί να γίνει μια πλήρης και ολοκληρωμένη ενημέρωση των χρηστών ενός συστήματος υγείας.

Ο Edward Shortliffe [8] ανέφερε ότι υπάρχουν τρεις βασικές και κύριες μορφές συστημάτων Πληροφορικής, που μπορούν να εφοδιάσουν με αποτελεσματική βοήθεια τη διαδικασία της διάγνωσης:

1. Συστήματα πληροφορικής απλής διαχείρισης δεδομένων.
2. Συστήματα που έχουν σκοπό τους να αποσπάσουν την προσοχή του χρήστη σε κάποια σημεία κατά την διάρκεια της διαδικασίας της διάγνωσης.
3. Συμβουλευτικά συστήματα πληροφορικής τα οποία βασίζονται σε πληροφορίες που έχουν σχέση με συγκεκριμένους ασθενείς.

Μέσα από έρευνα και συνεχή μελέτη, επιστήμονες της Τεχνητής Νοημοσύνης έκαναν επισκοπήσεις και ταξινομήσεις των πολλών και διάφορων εργαλείων και μεθοδολογιών που προσφέρονται στο ευρύ πεδίο της Πληροφορικής με κύριο στόχο να βοηθήσουν την κλινική ιατρική διάγνωση [8]. Έτσι επεξεργάστηκαν και ανάλυσαν τις διάφορες εναλλακτικές τεχνικές και ξεχώρισαν τις εξής κατηγορίες συστημάτων:

1. λογισμικό υπεύθυνο στο να αναλύει βάσεις πληροφοριών
2. λογισμικό που χρησιμοποιεί κλινικούς αλγόριθμους
3. λογισμικό που χρησιμοποιεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα
4. λογισμικό στατιστικής αναγνώρισης προτύπων
5. λογισμικό που χρησιμοποιεί τον κανόνα του Bayes
6. λογισμικό λήψης αποφάσεων
7. λογισμικό που χρησιμοποιεί μεγάλο αριθμό προσεγγίσεων, που χαρακτηρίζονται ως συμβολικές και λογικές

Παρατηρήθηκε ότι τα στοιχεία, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν και να διαφοροποιήσουν μηχανισμούς συλλογισμού είναι:

- οι σχέσεις ανάμεσα στα συμπτώματα και τους ασθενείς

- οι πιθανότητες που εκτιμήθηκαν ήδη
- η κύρια αιτία ή οι αιτίες δημιουργίας μιας ασθένειας
- οι προσωρινές σχέσεις και συσχετίσεις που είναι πιθανό να υπάρχουν και οι οποίες συσχετίζονται με το χρόνο και τη λειτουργία τους
- τα κοινά στοιχεία, τα οποία παρουσιάζονται όμοια και έτσι υπάρχει ένας βαθμός δυσκολίας για διάκρισή τους
- η περιοχή στο σώμα του ασθενή, όπου παρουσιάζονται τα συμπτώματα και φαίνεται έντονα η παρουσία της ασθένειας
- και τέλος η κλινική πρακτική.

Δηλαδή δίνεται περισσότερη έμφαση και προσοχή στη μορφή των δεδομένων που θα βασιστεί η διάγνωση, αλλά επίσης και στις διάφορες ιδιαιτερότητες κάθε ασθένειας.

Ο μηχανισμός της συνεπαγωγής του γιατρού και η ποικιλία των δεδομένων που χρησιμοποιεί ο ίδιος ο γιατρός για να υπολογίσει και να καταλήξει στα δικά του συμπεράσματά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ιατρική γνώση. Αυτή η γνώση, η οποία είναι απαραίτητη και απαιτητική για τη μετέπειτα υλοποίηση διαγνωστικών συστημάτων, πρέπει να εισάγεται και να αναπαριστάται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με διάφορους τρόπους και στη συνέχεια να αξιοποιείται κατάλληλα από το λογισμικό. Γενικότερα, για την ανάπτυξη συστημάτων που υποστηρίζουν τη διάγνωση, θα είναι καλό να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την αποτύπωση του τρόπου σκέψης στο υπολογιστικό σύστημα, ειδικά κατά τη λήψη κάποιας σχετικής ή συγκεκριμένης απόφασης, η οποία στηρίχθηκε και βασίστηκε σε κάποια δεδομένα που ήταν διαθέσιμα.

Η ανάπτυξη και δημιουργία ενός συστήματος που υποστηρίζει αποφάσεις σχετικές με την ιατρική, έχει βάσεις και χωρίζεται σε διαφορετικές αλληλοεξαρτώμενες φάσεις σύμφωνα με τον κλασικό τρόπο μεθοδολογίας ανάπτυξης έργων Πληροφορικής. Πιο συγκεκριμένα ακολουθεί και τηρεί τον κύκλο ζωής λογισμικού, που χαρακτηρίζεται και τονίζεται από τον τομέα της «Τεχνολογίας Λογισμικού» της Πληροφορικής. Συνοπτικά, η ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης διάγνωσης, θεωρείται επιτυχής με τη μετέπειτα αποτελεσματική ολοκλήρωση και των τεσσάρων βασικών σταδίων υλοποίησης, που φαίνονται πιο κάτω:

## 1. Ανάλυση Συστήματος

2. Σχεδιασμός Συστήματος
3. Υλοποίηση Συστήματος
4. Έλεγχος Συστήματος

Κατά την κλινική διάγνωση, είναι πολύ χρήσιμο να χρησιμοποιούνται υπολογιστικά συστήματα για να υποστηριχθεί μια κλινική απόφαση στην πράξη. Η προσφορά των διάφορων συστημάτων πληροφορικής είναι αρκετά σημαντική γιατί βοηθούν κατά τη διάρκεια των φάσεων της διαγνωστικής διαδικασίας. Πιο πολύ βοηθούν όταν η γνώση που διακατέχεται στις διάφορες φάσεις έχει αντικειμενικό χαρακτήρα και μπορεί να δομηθεί χωρίς καμία δυσκολία.

### **3.3.1 Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης**

Ο γιατρός κατά τη διάρκεια διάγνωσης μιας ασθένειας στηρίζεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, στο ιστορικό και την κλινική εικόνα του ασθενούς. Εξάγει τα συμπεράσματά του, είτε από τις οπτικές εξετάσεις που περιλαμβάνονται στις απεικονιστικές εξετάσεις στα διαφανοσκόπια, είτε ακόμη και μέσω οθονών ενός υπολογιστικού συστήματος, καθώς και στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εργαστηριακές εξετάσεις. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις, ο γιατρός δυσκολεύεται να επιβεβαιώσει τη διάγνωση γιατί απαιτεί μεγάλα ποσοστά εξειδίκευσης και εμπειρίας, και επιπρόσθετα είναι πιθανό να υπάρχει η απαίτηση εφαρμογής διάφορων τρόπων μεθοδολογίας (βιοψία).

Το πιο πάνω θεωρείται κατανοητό, αν σκεφτούμε την περίπτωση που γίνεται διάγνωση στηριζόμενη στα αποτελέσματα των απεικονιστικών εξετάσεων (αξονικές και μαγνητικές τομογραφίες, υπερηχοτομογραφίες κ.λπ.), όπου είναι πολύ εύκολο να εξαχθεί στο τέλος μια εσφαλμένη διάγνωση λόγω του ότι είτε επικαλύπτονται ύποπτες παθολογικές οντότητες εξαιτίας διάφορων ανατομικών δομών, είτε εξαιτίας της ύπαρξης πολλών εικόνων, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως χαμηλής ποιότητας εικόνες. Μπορεί να υπάρχει θόρυβος ή έντονη αντίθεση μεταξύ των γειτονικών δομών ή ακόμη μπορεί να υπάρχουν όμοια χαρακτηριστικά στη παρουσία τόσο των παθολογικών, όσο και των φυσιολογικών δομών.

Τα Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης (ΣΥΔ) ενισχύουν τις δυνατότητες διάγνωσης των γιατρών και βοηθούν στην επίλυση αμέτρητων διαγνωστικών προβλημάτων. Επιπρόσθετα

συμβάλλουν στη μείωση του χρόνου, ο οποίος απαιτείται για την εξαγωγή μιας ορθής διάγνωσης.

Τα πρώτα συστήματα που υποστήριζαν τη διάγνωση έκαναν την εμφάνιση τους στις αρχές της δεκαετίας του πενήντα και βασίζονταν σε διάφορους κανόνες παραγωγής και σε ποικιλία πλαισίων, στα οποία περιλαμβανόταν ένας μεγάλος αριθμός αποφάσεων. Στη πορεία είχαμε την ανάπτυξη πολύ πιο πολύπλοκων συστημάτων, όπως τα φημισμένα συστήματα του «μαύρου-πίνακα» (blackboard systems), που κύριο στόχο είχαν την εξαγωγή της απόφασης. Στη συνέχεια ακολούθησαν μοντέλα που βασίστηκαν στον κανόνα του Bayes και στα τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΝΔ).

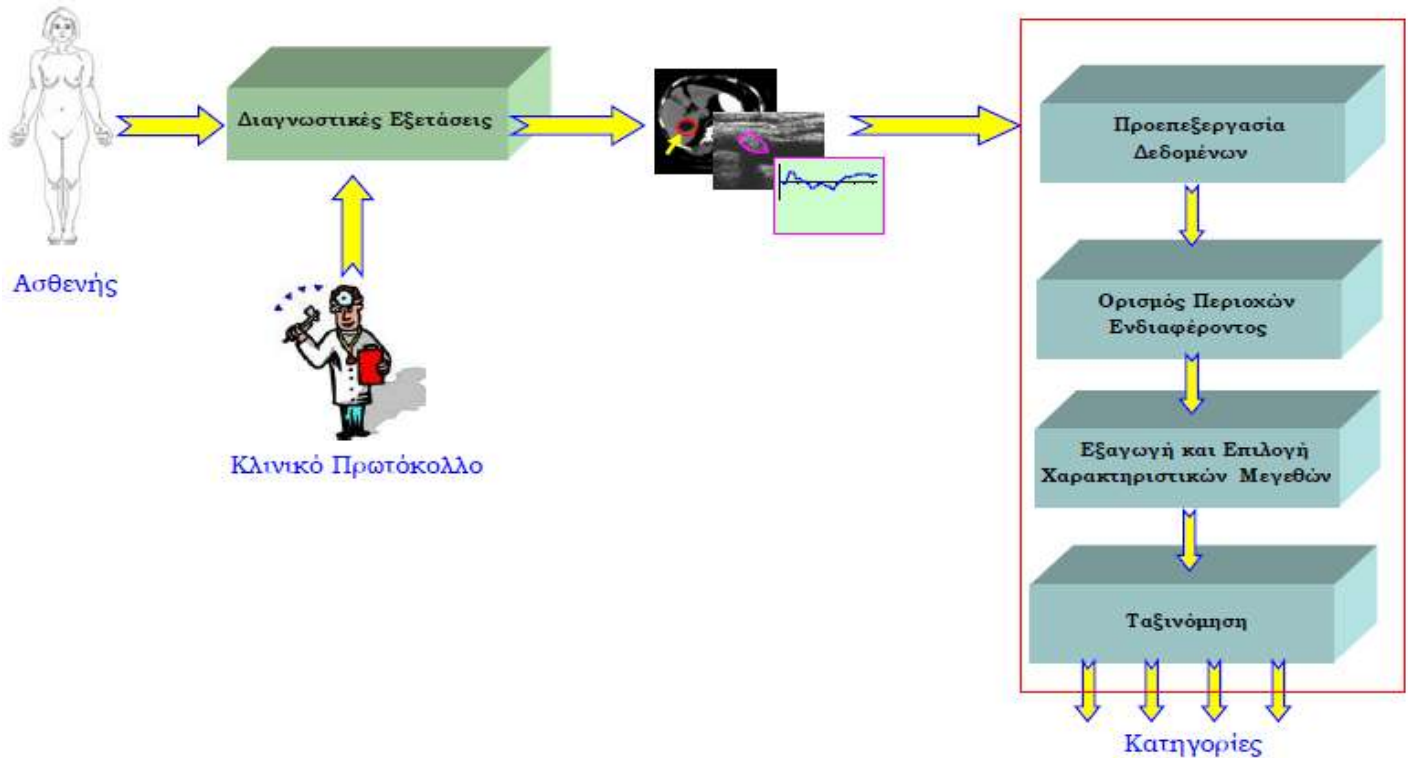
Τα τελευταία χρόνια έχει προκύψει η ανάπτυξη διάφορων ανεξάρτητων Συστημάτων Υποστήριξης Διάγνωσης με στόχο την αντιμετώπιση μέρους της μεγάλης πλειάδας των διαγνωστικών προβλημάτων. Τα πιο πολλά από αυτά σχετίζονται με βιοσήματα, για παράδειγμα τα ηλεκτροκαρδιογραφήματα (ΗΚΓ), τα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα (ΗΕΓ), κ.λπ., ή σε εικόνες που προέρχονται από συστήματα που κάνουν χρήση της απεικόνισης, όπως οι ακτινογραφίες, η μαγνητική, ή και η αξονική, οι διάφορες τομογραφίες ή οι υπερηχοτομογραφίες.

Τα Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης αποσκοπούν τόσο στο να βελτιώσουν την ικανότητα του να ανιχνεύονται αμέτρητα παθολογικά ευρήματα κατά την εκπόνηση ιατρικών εξετάσεων, όσο και στο να υπάρχει υποβοήθηση όταν αξιολογούνται παθολογικά ευρήματα κατά τη διαδικασία διάγνωσης. Συνοπτικά, ένα Σύστημα Υποστήριξης Διάγνωσης έχει τη δομή που παρουσιάζεται στο ακόλουθο **Σχήμα 3.1**.

Συγκεκριμένα, αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα :

1. το υποσύστημα που είναι υπεύθυνο για την προεπεξεργασία των διάφορων δεδομένων
2. το υποσύστημα που κύριο στόχο έχει τον προσδιορισμό περιοχών που τείνουν να παρουσιάζουν ενδιαφέρον

3. το υποσύστημα που είναι υπεύθυνο για την εξαγωγή και επιλογή ποικιλίας από χαρακτηριστικά μεγέθη και
4. το υποσύστημα που κύριο μέλημα του είναι η ταξινόμηση



**Σχήμα 3.1:** Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης

### 3.3.1.1 Υποσύστημα Προεπεξεργασίας Δεδομένων

Το Υποσύστημα Προεπεξεργασίας Δεδομένων στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας όσο αφορά τα δεδομένα, με το να εφαρμόζονται οι κατάλληλες διαδικασίες για την συγκράτηση του θορύβου (για παράδειγμα μέσω εφαρμογής φίλτρων είτε μέσης τιμής είτε ενδιάμεσης τιμής).

Επιπρόσθετα, η βελτίωση της ποιότητας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της επαναδειγματοληψίας (γραμμικής παρεμβολής) και με το να ενισχυθεί η αντίθεση, η οποία

παρουσιάζεται (εξισορρόπηση ιστογραμμάτων, χρήση μετασχηματισμών κ.λπ.) σε διάφορες περιπτώσεις εικόνων.

#### **3.3.1.2 Υποσύστημα Ορισμού Περιοχών Ενδιαφέροντος**

Το Υποσύστημα Ορισμού Περιοχών Ενδιαφέροντος, τις περισσότερες φορές κάνει αναφορά στη διαδικασία εντοπισμού πιθανών ευρημάτων που έχουν άμεση σχέση με την παθολογία. Ουσιαστικά, όσο αφορά τα βιοσήματα πραγματοποιείται εντοπισμός των τμημάτων του καταγεγραμμένου σήματος που είναι προφανές ότι έχουν σχέση με πιθανή παθολογία.

Αντιθέτως στην περίπτωση που έχουμε να επεξεργαστούμε ιατρικές εικόνες, γίνεται εντοπισμός περιοχών που είναι προφανές ότι παρουσιάζουν βλάβες (για παράδειγμα όγκο). Ο ορισμός που αφορά τις περιοχές ενδιαφέροντος έχει την ικανότητα να διεξαχθεί με τη χρησιμοποίηση μεθοδολογιών που χαρακτηρίζονται ως ημιαυτόματες. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης μπορεί να ορίσει την περιοχή που θεωρεί ως παθολογική. Ακόμη ένας τρόπος διεξαγωγής των περιοχών ενδιαφέροντος μπορεί να γίνει με τη χρήση αυτόματων μεθοδολογιών, με τις οποίες γίνεται εντοπισμός των περιοχών με τη βοήθεια χρήσης των κατάλληλων τεχνικών της ψηφιακής επεξεργασίας που είτε αφορούν σήματα είτε εικόνες.

#### **3.3.1.3 Υποσύστημα Εξαγωγής και Επιλογής Χαρακτηριστικών Μεγεθών**

Η χρησιμοποίηση του όρου «χαρακτηριστικά μεγέθη» έχει σκοπό την υποδήλωση ενός συνόλου (διάνυσμα) από ποσοτικούς δείκτες, στους οποίους γίνεται εξαγωγή μετά από την κατάλληλη επεξεργασία μεγάλης ποσότητας δεδομένων που αφορούν τον ασθενή (απεικονιστικές και άλλες εργαστηριακές εξετάσεις, ιστορικό ασθενή, βιοσήματα: έξοδοι βιολογικών διεργασιών σε κάθε ζωντανό οργανισμό που μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικά, όπως η εκπόλωση μιας νευρικής ή μυϊκής κυτταρικής μεμβράνης, είτε μηχανικά, όπως η πίεση αίματος στο κυκλοφορικό σύστημα, είτε χημικά, όπως οι πιέσεις των αερίων αίματος PO<sub>2</sub> και PCO<sub>2</sub>). Κύριος σκοπός είναι η αξιόπιστη διαχώριση ανάμεσα στις παθολογικές και στις φυσιολογικές οντότητες και ο χαρακτηρισμός μιας οντότητας, που χαρακτηρίζεται ως παθολογική (για παράδειγμα η ύπαρξη καλοήθου ή κακοήθου όγκου).

Ωστόσο τα διάφορα χαρακτηριστικά αυτά είναι πιθανό να δημιουργούνται λόγω των μετασχηματισμών που έχουν τα καταγεγραμμένα βιοσήματα ή λόγω των χαρακτηριστικών, τα οποία έχουν σχέση με τη μέση χρωματική πυκνότητα ή την υφή των εικόνων, ή λόγω των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Αρκετές φορές, θεωρείται απαραίτητο να μειωθεί η διάσταση του διανύσματος, το οποίο περιέχει τα χαρακτηριστικά που έχουν προκληθεί από τα δεδομένα του ασθενή. Με το να επιλέγουμε τα πιο εύρωστα χαρακτηριστικά οδηγούμαστε στη μεγιστοποίηση της ακρίβειας ταξινόμησης και επιπλέον στην ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας του συστήματος.

Το να εξετάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των διάφορων χαρακτηριστικών μεγεθών, απαγορεύεται υπολογιστικά, έστω και αν έχουμε ένα μικρό πλήθος χαρακτηριστικών. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί ευρετικές μέθοδοι αναζήτησης, έτσι ώστε να επιλέγονται τα πιο εύρωστα χαρακτηριστικά. Στόχος των ευρετικών μεθόδων είναι η εξισορρόπηση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Αυτό επιτυγχάνεται όταν υπάρχει ακρίβεια στη ταξινόμηση.

Συχνά, για την ορθή επιλογή διανύσματος σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά μεγέθη ακολουθούνται οι εξής διαδικασίες:

1. Διαδικασία που στόχο έχει την παραγωγή ενός υποψηφίου υποσυνόλου που αποτελείται από χαρακτηριστικά μεγέθη.
2. Διαδικασία που εκτελεί αποτίμηση για να ελέγξει για το πόσο κατάλληλο είναι το υποψήφιο υποσύνολο με βάση κάποια συνάρτηση (συνάρτηση αποτίμησης).
3. Τερματισμός διαδικασίας ύστερα από ικανοποίηση προεπιλεγμένου κριτηρίου.
4. Διαδικασία που σκοπό έχει την επιβεβαίωση εγκυρότητας του επιλεγμένου υποσυνόλου χαρακτηριστικών μεγεθών.

#### **3.3.1.4 Υποσύστημα Ταξινόμησης**

Το Υποσύστημα Ταξινόμησης έχει σαν κύριο ρόλο να παίρνει αποφάσεις για την κατάλληλη τοποθέτηση των διάφορων ανεξάρτητων χαρακτηριστικών διανυσματικών

μεγεθών που εμφανίζονται στην είσοδό του. Έχει την ευθύνη κατάταξής τους στην ορθή κατηγορία-κλάση, αφού πρώτα επιλέξει μια από τις κατηγορίες που ανήκουν στο προκαθορισμένο πλήθος κατηγοριών-κλάσεων ενδιαφέροντός. Η ανάπτυξη και υλοποίηση του υποσυστήματος ταξινόμησης μπορεί να στηριχθεί είτε στη χρησιμοποίηση μεθόδων εκμάθησης με επίβλεψη (supervised training) είτε στη χρησιμοποίηση μεθόδων εκμάθησης χωρίς επίβλεψη (unsupervised training).

Κατά την εκμάθηση με επίβλεψη, ένα σύνολο από χαρακτηριστικά διανύσματα θεωρείται ως σύνολο εκπαίδευσης. Έτσι θεωρείται κάθε διάνυσμα του οποίου είναι από την αρχή γνωστή η κατηγορία στην οποία ανήκει. Για την εκπαίδευση του ταξινομητή γίνεται χρήση των διανυσμάτων του συνόλου εκπαίδευσης. Στη συνέχεια ο ταξινομητής μπορεί να κατατάξει αποτελεσματικά κάθε νέο χαρακτηριστικό διάνυσμα σε μία από τις υπόλοιπες διαθέσιμες κατηγορίες. Οι ταξινομητές με επίβλεψη που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των Συστημάτων Υποστήριξης Διάγνωσης είναι ταξινομητές που στηρίζονται στον κανόνα του Bayes, στους ταξινομητές πλησιέστερου γείτονα, σε δέντρα αποφάσεων και στα Νευρωνικά Δίκτυα. Όσον αφορά τους ταξινομητές που βασίζονται στον κανόνα του Bayes, όλα τα χαρακτηριστικά ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία αν έχουν από πριν την πιο μεγάλη υπολογισμένη πιθανότητα. Στην περίπτωση των ταξινομητών πλησιέστερου γείτονα, τα χαρακτηριστικά ταξινομούνται και χωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με το πόσο σχετική είναι η ομοιότητά τους. Αντιθέτως στα δέντρα αποφάσεων, η ταξινόμηση είναι το αποτέλεσμα της επιλογής από μια σειρά εναλλακτικών λογικών βημάτων που αναπαρίστανται με τη μορφή κόμβων και κλάδων.

Μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους ταξινόμησης με επίβλεψη έχει σαν βάση τη χρήση τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων. Τα Νευρωνικά Δίκτυα εκφράζουν τη προσομοίωση του τρόπου με τον οποίο το νευρικό σύστημα επεξεργάζεται πλήθος δεδομένων, στοιχείων και πληροφοριών. Γενικά χρησιμοποιούνται σε προβλήματα, στα οποία δεν μπορεί να γίνει περιγραφή είτε με κανόνες είτε με μαθηματικούς τύπους.

Η εκμάθηση χωρίς επίβλεψη μπορεί να αναφερθεί και ως ομαδοποίηση (clustering). Κατά τη διαδικασία αυτή, υπάρχει κάποιο σύνολο χαρακτηριστικών διανυσμάτων που είναι διαθέσιμο, για τα οποία όμως δεν είναι γνωστό αρχικά σε ποια κατηγορία ανήκουν. Όταν συμβαίνει αυτό, τότε τα διανύσματα κατατάσσονται αυτόματα στις κατηγορίες

ενδιαφέροντος κατά τη δόμηση του ταξινομητή. Έπειτα, όπως και πιο πάνω, κάθε καινούριο χαρακτηριστικό διάνυσμα κατατάσσεται σε μία από τις κατηγορίες. Μερικοί χαρακτηριστικοί ταξινομητές χωρίς επίβλεψη που χρησιμοποιούνται κατά την ανάπτυξη Συστημάτων Υποστήριξης Διάγνωσης είναι οι ταξινομητές c-μέσων, τα Νευρωνικά Δίκτυα που σχετίζονται με την αυτοδιοργάνωση χάρτη, οι ταξινομητές ασαφών c-μέσων (fuzzy c-means), η ιεραρχική ομαδοποίηση, η ομαδοποίηση με χρήση γενετικών αλγορίθμων κ.λπ.

# Κεφάλαιο 4

## Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα (Abstract Temporal Graph)

---

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Εισαγωγή                                               | 28 |
| 4.2 General Abstract Temporal Graph                        | 29 |
| 4.3 Fully Connected Abstract Temporal Graph                | 30 |
| 4.4 Ordered Abstract Temporal Graph                        | 31 |
| 4.5 Ελάχιστο Abstract Temporal Graph                       | 32 |
| 4.6 Αλγόριθμοι Απλούστευσης ATG                            | 32 |
| 4.6.1 Minimize_full αλγόριθμος                             | 32 |
| 4.6.2 Minimize_ordered αλγόριθμος                          | 34 |
| 4.6.3 Σύγκριση Αλγορίθμων Minimize_full - Minimize_ordered | 35 |
| 4.6.4 Έλεγχος συνέπειας συνόλου περιορισμών                | 35 |
| 4.6.5 Έλεγχος ικανοποίησης συνόλου περιορισμών             | 36 |

---

### 4.1 Εισαγωγή

Τα διάφορα δίκτυα περιορισμών έχουν κινήσει το ενδιαφέρον, εδώ και πολλά χρόνια και συσχετίστηκαν με την υλοποίηση και τη μελέτη διάφορων συνεπών και αποδοτικών αλγορίθμων. Διάφοροι μελετητές και άτομα που προσπάθησαν να εμπλακούν με αυτούς τους περιορισμούς ανακάλυψαν ότι για τους αποδοτικούς αλγόριθμους χρειάζονται πάρα πολλοί πολύπλοκοι υπολογισμοί, οι οποίοι αναπαριστούν και προβάλλουν τους διάφορους περιορισμούς.

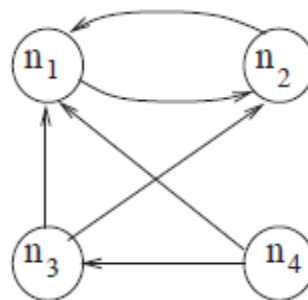
Σε ιατρικές εργασίες, όπως η κλινική διάγνωση, κάποιος πρέπει να αντιμετωπίσει πιο σύνθετες μορφές χρονικών περιορισμών. Και αυτό γιατί υπάρχει ασάφεια που προκύπτει σε διάφορους κλινικούς τομείς, η οποία δεν μπορεί εύκολα να αντιμετωπιστεί και να μοντελοποιηθεί. Απαιτούνται διάφοροι βαθμοί τυπικότητας και οι χρονικοί περιορισμοί θα μπορούσαν να είναι διάφοροι μικτοί τύποι.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην αφηρημένη δομή ATG ( Abstract Temporal Graph), δηλαδή το Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση χρονικών περιορισμών σε σχέση με την ιατρική διάγνωση και τα προβλήματα που προκύπτουν. Προβάλλει τους διάφορους τύπους περιορισμών και παρουσιάζει την ανάλυση και διαφορά ανάμεσα στη μεγάλη ποικιλία περιορισμών που υπάρχουν.

Με την προβολή των χρονικών περιορισμών με ένα πιο αφηρημένο και ολοκληρωμένο τρόπο είναι δυνατό να ληφθούν, και να προσαρμοστούν κατάλληλοι, γνωστοί αλγόριθμοι που χαρακτηρίζονται ως συνεπίς. Ωστόσο υπάρχουν μερικά προβλήματα που αφορούν τον έλεγχο της συνέπειας ενός συνόλου περιορισμών και την απόφαση για την ικανοποίηση ορισμένων περιορισμών σε σχέση με ένα σύνολο περιορισμών, που υποτίθεται ότι είναι συμβατά μεταξύ τους. Το πρώτο πρόβλημα αφορά την επικύρωση της χρονικής συνέπειας του συνόλου γνώσεων (π.χ. το μοντέλο κάποιας διαταραχής), ή ενός συνόλου δεδομένων (π.χ. τα δεδομένα για κάποιο ασθενή). Το δεύτερο πρόβλημα αφορά την αξιολόγηση χρονικής συνέπειας κάποιας υπόθεσης εναντίον των αποδεικτικών στοιχείων.

#### 4.2 General Abstract Temporal Graph

Η αφηρημένη δομή ATG (Abstract Temporal Graph), δηλαδή το Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα, είναι ένα κατευθυνόμενο γράφημα του οποίου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν χρονικές οντότητες (γεγονότα, συμβάντα, κλπ.) και τα τόξα τους φέρουν τους πιθανούς χρονικούς περιορισμούς μεταξύ των δοσμένων ζευγών από κόμβους [6].



(a) General ATG

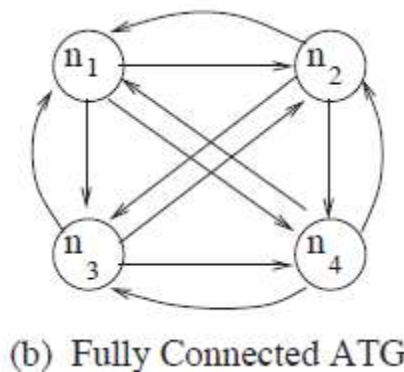
**Σχήμα 4.1:** Πρώτη Περίπτωση ATG – General ATG

Επιπλέον, μπορούμε να πούμε ότι η αφηρημένη δομή ATG είναι ένα γράφημα που αποτελείται από πεπερασμένο σύνολο κόμβων, που δηλώνουν χρονικές οντότητες του ίδιου τύπου, και πεπερασμένο σύνολο από τόξα (βλέπε **Σχήμα 4.1**).

Η ATG έχει λειτουργίες πρόσβασης «match» και «propagate» (διάδοση) για την επεξεργασία των διαζευκτικών περιορισμών. Η λειτουργία πρόσβασης «match» επιστρέφει τα κοινά στοιχεία μεταξύ των δύο διαζευκτικών περιορισμών. Με άλλα λόγια τη τομή τους. Εάν η συνάρτηση επιστρέφει το κενό σύνολο, δηλώνει την πλήρη αναντιστοιχία μεταξύ των περιορισμών των επιχειρημάτων και έτσι σηματοδοτείται μια σύγκρουση. Από την άλλη η λειτουργία πρόσβασης «propagate» επιστρέφει τη μεταβατικότητα των περιορισμών των επιχειρημάτων της που αντίστοιχα αντιπροσωπεύουν τα ζεύγη (διαζευκτικά) περιορισμών μεταξύ τριών (κανονικά διακριτών) χρονικών οντοτήτων [6].

### 4.3 Fully Connected Abstract Temporal Graph

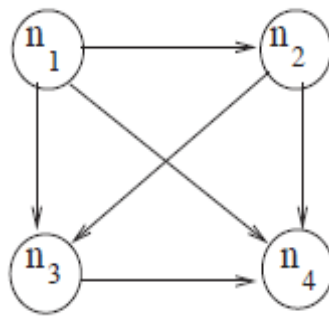
Ένα πλήρες συνδεδεμένο ATG (βλέπε **Σχήμα 4.2**) είναι το ATG στο οποίο τα  $i, j$  κάθε ζεύγους κόμβων  $n_i$  και  $n_j$ , είναι συνδεδεμένα και στις δύο κατευθύνσεις και κάθε σύνδεση χαρακτηρίζεται από ολόκληρο το σύνολο των περιορισμών. Οποιαδήποτε ATG μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε ένα πλήρως συνδεδεμένο ATG, απλά με την προσθήκη σχετικών τόξων και την επισήμανση τους με C. Μη συνδεδεμένοι κόμβοι σε μια ATG μπορούν πάντα να συνδεθούν με τόξα όπου οι ετικέτες έχουν τιμή C. Ωστόσο, αντίστροφα τόξα είναι περιττά, αφού οι ετικέτες τους μπορούν να ληφθούν άμεσα από τους ομολόγους τους. Ως εκ τούτου, αντίστροφα τόξα μπορεί να διαγραφούν και η διαγραφή αποφασίζεται με βάση τη διάταξη των κόμβων [6].



**Σχήμα 4.2:** Δεύτερη Περίπτωση ATG - Fully Connected ATG

#### 4.4 Ordered Abstract Temporal Graph

Ένα διατεταγμένο ATG (βλέπε **Σχήμα 4.3**) είναι το ATG όπου οι κόμβοι του  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ , σχηματίζουν μια διατεταγμένη τοπολογία και για κάθε ζευγάρι κόμβων  $m_i, m_j$  όπου  $i < j$  (δηλαδή το πρώτο προηγείται του τελευταίου), υπάρχει μια σύνδεση. Ζεύγη  $m_i, m_j$  όπου  $i \geq j$ , δεν συνδέονται. Τα  $n-1$  τόξα που συνδέουν τους κόμβους, τα οποία είναι διαδοχικά ανάλογα με την τοπολογία, αναφέρονται ως βασικά τόξα επειδή το καθένα από αυτά αποτελεί το μοναδικό μονοπάτι μεταξύ των δοθέντων ζευγών των κόμβων [6].



(c) Ordered ATG

**Σχήμα 4.3:** Τρίτη Περίπτωση ATG - Ordered ATG

Αν ένας από τους κόμβους σε ένα διατεταγμένο ATG δηλώνει χρήση τη συγκεκριμένη στιγμή, κατά πάσα πιθανότητα αυτός ο κόμβος θα πρέπει είτε να είναι ο πρώτος ή ο τελευταίος στην επιλεγμένη τοπολογική διάταξη των κόμβων, έτσι ώστε είτε να δείχνει προς όλους τους άλλους κόμβους ή όλοι οι άλλοι κόμβοι να καταλήγουν σε αυτόν.

Μια ATG μπορεί να μετατραπεί σε μια διατεταγμένη ATG, με την προσθήκη συνδέσεων που λείπουν προς την προδιαγεγραμμένη κατεύθυνση και τη διαγραφή τυχόν συνδέσεων που είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ένα πλήρως συνδεδεμένο ATG μπορεί να μειωθεί στη διατεταγμένη εκδοχή με τη διαγραφή των αντίστροφων τόξων ανάλογα με την επιλεγόμενη διάταξη των κόμβων της.

## 4.5 Ελάχιστο Abstract Temporal Graph

Μια ελάχιστη ATG είναι ένα ταξινομημένο ATG, του οποίου τα τόξα έχουν ετικέτες που δεν μπορούν να μειωθούν περαιτέρω. Εάν όλοι οι κόμβοι είναι χρονικά χωρίς περιορισμούς, η ATG εκφυλίζεται στην ακραία περίπτωση της πλήρους χρονικής άγνοιας. Παρομοίως, αν κάποιο τόξο σε μια ελάχιστη ATG έχει ετικέτα με {}, τότε θα πραγματοποιηθεί σύγκρουση, αφού όλες οι δυνατές χρονικές σχέσεις μεταξύ των δοθέντων ζευγών των χρονικών οντοτήτων θα έχουν καταρριφθεί [6].

## 4.6 Αλγόριθμοι Απλούστευσης ATG

Ξεκινώντας από ένα γενικό ATG, ο στόχος είναι να μετατραπεί σε απλούστερη μορφή από τον πολλαπλασιασμό και την ανταποδοτικότητα των περιορισμών. Υπάρχουν μερικοί αλγόριθμοι για αυτό το σκοπό, όπως είναι ο `minimize_full` και ο `minimize_ordered`.

### 4.6.1 Minimize\_full αλγόριθμος

Ο `minimize_full` αλγόριθμος (βλέπε **Σχήμα 4.4**) επεκτείνει το γενικό ATG στην αρχική του έκδοση (συμπεριλαμβανομένου των αυτό-συσχετιζόμενων τόξων, καθώς η παρουσία τους απλοποιεί την έκφραση του αλγορίθμου). Στη συνέχεια πραγματοποιεί τη διάδοση και την αντιστοιχία των περιορισμών και, τέλος, διαγράφει τα αντίστροφα και αυτό-συσχετιζόμενα τόξα για την απόκτηση του διατεταγμένου ATG, με ελάχιστους περιορισμούς. Ο αλγόριθμος είναι μια προσαρμογή του γνωστού Floyd-Warshall αλγορίθμου [6].

```

minimize full
(* add connections *)
  for i = 1 to m do
    for j = 1 to m do
      if i = j
        then add a self-referencing arc at node mi
        with label set to {self_ref}
      else if there is an arc from node mi to node mj
        then do nothing
      else if there is an arc from node mj to node mi
        then add an arc from mi to mj with label set to  $tc_{ji}^{-1}$ 
      else add an arc from node mi to node mj with label set to  $C$ 
(* propagate constraints *)
repeat
  for k = 1 to m do
    for i = 1 to m do
      for j = 1 to m do
        (* critical step *)
         $tc_{ij} \leftarrow \text{match}(tc_{ij}, \text{propagate}(tc_{ik}, tc_{kj}))$ 
        if  $tc_{ij} = \{\}$ 
          a conflict is raised until no arc label is reduced(* i.e. nothing changes *)
(* remove self-referencing and inverse arcs *)
for i = 1 to m do
  for j = i to m do
    if i = j remove self-referencing arc at node ni
    else do
       $tc_{ij} \leftarrow \text{match}(tc_{ij}, tc_{ji}^{-1})$ 
      if  $tc_{ij} = \{\}$  a conflict is raised
      else delete arc from mj to mi

```

**Σχήμα 4.4:** Ψευδοκώδικας - minimize\_full αλγόριθμος

Το κρίσιμο βήμα του αλγορίθμου είναι ο συνδυασμός των διεργασιών propagate και match σε σχέση με τις τριπλές των κόμβων, που ονομάζονται  $\text{match}(tc_{ij}, \text{propagate}(tc_{ik}, tc_{kj}))$ , το οποίο εκτελείται  $m^3$  φορές, όπου  $m$  είναι ο αριθμός των κόμβων, σε κάθε γύρο του εκτελεσμένου κύκλου. Ο αριθμός των εκτελέσεων του κρίσιμου βήματος μπορεί να μειωθεί αν γίνονται οι ελαχιστοποιήσεις στους περιορισμούς, όχι σε σχέση με το fully connected ATG, αλλά σε σχέση με το διατεταγμένο ATG. Εφαρμόζοντας τις ελαχιστοποιήσεις στο fully connected ATG, κατά κάποιο τρόπο νικά το σκοπό του να έχουμε διάταξη(διατεταγμένο ATG), το οποίο δεν είναι μόνο για τη μείωση πολυπλοκότητας του χώρου (μειώνοντας τον αριθμό των τόξων), αλλά επίσης για να μειωθεί η ταχύτητα εκτέλεσης της διαδικασίας της ελαχιστοποίησης.

#### 4.6.2 Minimize\_ordered αλγόριθμος

Ο δεύτερος αλγόριθμος, ο minimize\_ordered (βλέπε **Σχήμα 4.5**), πρώτα μετατρέπει το γενικό ATG στη διατεταγμένη του μορφή και έπειτα κάνει την ελαχιστοποίηση διαδίδοντας και αντιστοιχώντας περιορισμούς σε σχέση με τις τριπλές των διακριτών κόμβων. Σε αυτό το αλγόριθμο το κρίσιμο βήμα εκτελείται  $(m^3-3m^2+2m)/6$  φορές, σε κάθε γύρο του επαναλαμβανόμενου κύκλου [6].

```
minimize ordered
  let n1,n2, ...,nm be the specified ordering of the nodes
  (* covert to ordered form *)
  for i = 1 to (m-1) do
    for j = i+1 to m do
      if nodes ni and nj are unconnected
        then add an arc from ni to nj with label set to C
      else if there is only an arc from ni to nj
        then do nothing
      else if there is only an arc from nj to ni
        then add an arc from ni to nj with label set to (tcji)-1
        and delete the arc from nj to ni
      else do (* there is a bidirectional connection *)
        tcij <- match(tcij, (tcji)-1)
        if tcij = {} a conflict is raised
        else delete arc from nj to ni
    (* propagate constraints *)
  repeat
    (* repeat for every intermediate node in the ordering *)
    for k = 2 to (m-1) do
      (* repeat for every incoming arc to node nk *)
      for i = 1 to (k-1) do
        (* repeat for every outgoing arc from node nk *)
        for j = (k+1) to m do
          (* critical step *)

          tcij <- match(tcij, propagate(tcik,tckj))
        until no arc label is reduced (* i.e. nothing changes *)
```

**Σχήμα 4.5:** Ψευδοκώδικας - minimize\_ordered αλγόριθμος

#### 4.6.3 Σύγκριση Αλγορίθμων `Minimize_full` - `Minimize_ordered`

Παρόλο που οι δυο αλγόριθμοι έχουν την ίδια πολυπλοκότητα  $O(rm^3)$ , όπου  $r$  είναι οι φορές που ο επαναλαμβανόμενος κύκλος εκτελείται, σε πραγματικούς όρους το κρίσιμο βήμα θα εκτελεστεί σημαντικά λιγότερες φορές στον δεύτερο αλγόριθμο, υποθέτοντας ότι το  $m$  είναι της τάξης των δεκάδων παρά των εκατοντάδων. Παρόλα αυτά υπάρχει σημείο αιτίας (caution). Στο πλήρες συνδεδεμένο ATG, υπάρχουν τουλάχιστον δυο διακριτά μονοπάτια ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι κόμβων και η διάδοση είναι αμφίδρομη. Στο διατεταγμένο ATG, η διάδοση είναι μη αμφίδρομη και οι ετικέτες των βασικών τόξων μένουν αμετάβλητες κάτω από αυτή τη διάδοση (το βασικό τόξο αποτελεί το μοναδικό μονοπάτι στο δεδομένο ζευγάρι κόμβων). Τα βασικά τόξα επηρεάζουν (εκτός το τελευταίο στη σειρά), αλλά δεν επηρεάζονται από τη διάδοση. Έτσι, αν ένα βασικό τόξο έχει ετικέτα  $C$ , πριν από την εκτέλεση της διαδικασίας ελαχιστοποίησης, θα συνεχίσει να έχει αυτή την ετικέτα μέχρι το τέλος. Με άλλα λόγια αυτό το τόξο παραμένει έτσι και δεν αλλάζει. Έτσι, τα αποτελέσματα των δυο αλγορίθμων δεν είναι ισοδύναμα, αφού ο πρώτος κάνει μια ολοκληρωτική ελαχιστοποίηση που δεν κάνει απαραίτητα ο δεύτερος αλγόριθμος, εκτός αν για αρχή οι ετικέτες των βασικών τόξων δίνονται σε απλούστερη μορφή.

#### 4.6.4 Έλεγχος συνέπειας συνόλου περιορισμών

Ο έλεγχος συνέπειας ενός συνόλου περιορισμών γίνεται με τους αλγόριθμους που αναφέρθηκαν πιο πάνω, το `minimize_full` ή το `minimize_ordered` [6]. Αν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης αυτών των αλγορίθμων, η συνάρτηση `match` επιστρέψει ένα κενό σύνολο που υποδηλώνει μια πλήρη αναντιστοιχία, τότε έχουμε σύγκρουση. Πλήρης αναντιστοιχία σημαίνει ότι διαζευκτικός περιορισμός που αφορά δυο χρονικές οντότητες, που προέρχεται από κάποια διαδρομή του ATG, είναι σε πλήρη διαφωνία με το περιορισμό για το ίδιο ζεύγος οντοτήτων, που προέρχεται από άλλη διαδρομή του ATG. Με άλλα λόγια όλες οι πιθανές χρονικές σχέσεις ανάμεσα στις δυο οντότητες έχουν κατατριφθεί. Οι αλγόριθμοι ελαχιστοποίησης ανιχνεύουν την παρουσία της ασυνέπειας αλλά δεν μας ξεκαθαρίζουν ποιοι περιορισμοί την προκαλούν. Μπορούμε να σκιαγραφήσουμε ένα αλγόριθμο για τον καθορισμό των πιθανών αιτίων της ασυνέπειας. Έτσι, θα μπορούμε να αναγνωρίσουμε τα ελάχιστα σύνολα των ετικετών των τόξων από τα οποία προκαλείται σύγκρουση.

#### **4.6.5 Έλεγχος ικανοποίησης συνόλου περιορισμών**

Η απόφαση ικανοποίησης κάποιων περιορισμών σε σχέση με ένα σύνολο περιορισμών, τα οποία υποθέτουμε ότι είναι αμοιβαία συνεπείς, βασίζεται στην υπόθεση ότι το ερώτημα περιορισμός και το ATG, που αναπαριστά το σύνολο των περιορισμών, είναι στην ίδια μορφή. Για παράδειγμα οι χρονικές οντότητες έχουν τον ίδιο τύπο και το πεδίο των περιορισμών είναι το ίδιο. Στις περισσότερες εφαρμογές αυτού του προβλήματος, το ερώτημα περιορισμός περιγράφει ένα σημείο αναφοράς σχετικά με κάποιο ασθενή και το ATG αναπαριστά το μοντέλο κάποιας διαταραχής [6].

# Κεφάλαιο 5

## Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα - Συγκεκριμενοποιήσεις

---

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 Συγκεκριμενοποιήσεις Αφηρημένης Δομής ATG                    | 37 |
| 5.1.1 Στιγμαιαία Συμβάντα και Σχετικοί Περιορισμοί               | 38 |
| 5.1.2 Στιγμαιαία Συμβάντα και Απόλυτοι Περιορισμοί               | 40 |
| 5.1.3 Καταστάσεις με διάρκεια και Σχετικοί Περιορισμοί           | 41 |
| 5.1.4 Χρονικοί Περιορισμοί Αιτιολογικών Δικτύων                  | 43 |
| Παθοφυσιολογικών Καταστάσεων                                     |    |
| 5.2 Υλοποίηση ATG - Στιγμαιαία Συμβάντα και Σχετικοί Περιορισμοί | 45 |
| 5.2.1 Υποθέσεις Προγράμματος                                     | 45 |
| 5.2.2 Επιπρόσθετες Πληροφορίες Προγράμματος                      | 47 |
| 5.2.3 Μορφή Αρχείου                                              | 49 |
| 5.2.4 Βασικά Βήματα Αλγορίθμου Προγράμματος                      | 50 |
| 5.2.5 Παραδείγματα Εκτελέσεων                                    | 56 |
| 5.2.5.1 Εκτέλεση 1                                               | 56 |
| 5.2.5.2 Εκτέλεση 2                                               | 58 |

---

### 5.1 Συγκεκριμενοποιήσεις Αφηρημένης Δομής ATG

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε περαιτέρω τους χρονικούς περιορισμούς, οι οποίοι προκύπτουν κατά τη κλινική διάγνωση [6]. Πιο συγκεκριμένα θα αναφερθούμε στο Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα ATG, το οποίο μελετήσαμε, και στις περιπτώσεις των συγκεκριμενοποιήσεων δομής που παρουσιάζει. Οι ειδικές περιπτώσεις της δομής ATG είναι :

- a) Οι προσωρινές καταστάσεις είναι στιγμιαία συμβάντα και οι περιορισμοί είναι σχετικοί
- b) Οι προσωρινές καταστάσεις είναι στιγμιαία συμβάντα και οι περιορισμοί είναι απόλυτοι
- c) Οι προσωρινές καταστάσεις έχουν διάρκεια και οι περιορισμοί είναι σχετικοί
- d) Χρονικοί Περιορισμοί σε Αιτιολογικά Δίκτυα Παθοφυσιολογικών Καταστάσεων

#### 5.1.1 Στιγμιαία Συμβάντα και Σχετικοί Περιορισμοί

Η πρώτη περίπτωση δομής του ATG χαρακτηρίζεται από στιγμιαία γεγονότα και σχετικούς (relative) περιορισμούς [6]. Για παράδειγμα ο τομέας των σχετικών χρονικών σχέσεων είναι  $C = \{<,=,>\}$ , αλλιώς {before, equal, after} ή {πριν, τώρα, μετά}. Οι σχέσεις  $<,=,>$  ορίζονται αντίστοιχα από διαζευκτικούς περιορισμούς ως  $\{=,>\}$ ,  $\{<,>\}$  και  $\{<,=\}$ . Οι αντίστροφες των  $<,=,>$  είναι αντίστοιχα  $>,=,<$  και η σταθερά self\_ref καθορίζεται με τη τιμή =.

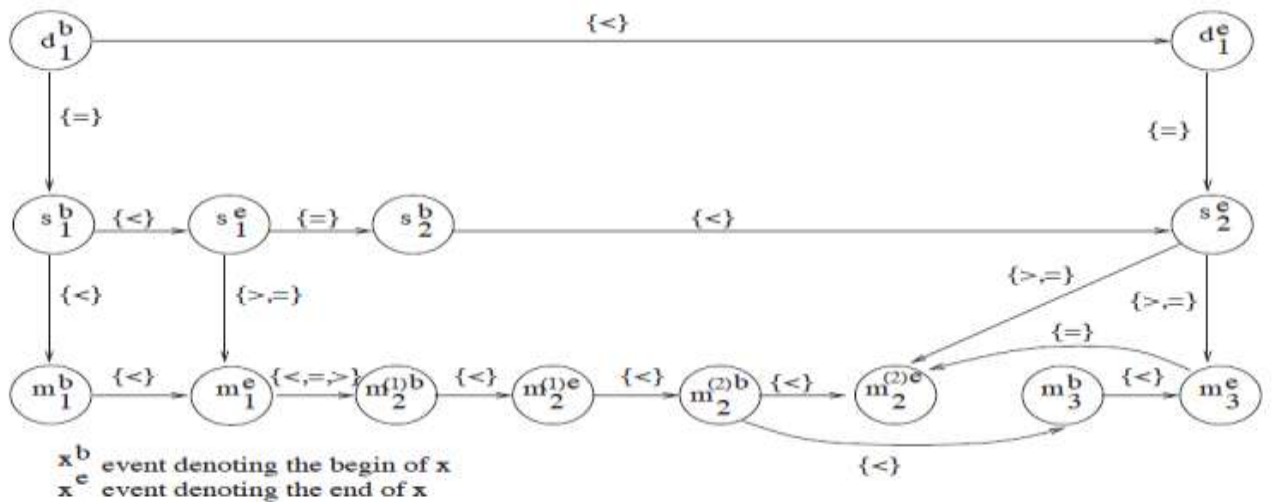
Η μεταβατικότητα ανάμεσα στα γεγονότα συμβαίνει με βάση το πίνακα που φαίνεται πιο κάτω (βλέπε **Πίνακα 5.1**). Όπως είναι επακόλουθο γίνεται απλοποίηση των σχέσεων και έτσι πετυχαίνεται απλοποίηση των χρονικών περιορισμών. Όλα είναι ντετερμινιστικά, εκτός όταν υπάρχει ένα γεγονός  $ni$ , το οποίο βρίσκεται μετά από ένα άλλο γεγονός  $nk$ , όπου το  $nk$  βρίσκεται πριν από ένα άλλο γεγονός  $nj$  και αντίστροφα.

|          |          |          |   |       |
|----------|----------|----------|---|-------|
|          |          | $c_{ik}$ |   |       |
| $c_{kj}$ | $c_{ij}$ | <        | = | >     |
|          | <        | <        | < | <,,=> |
|          | =        | <        | = | >     |
|          | >        | <,,=>    | > | >     |

**Fig. 6.19** Transitivity Table for Relative Temporal Relations between Instantaneous Events

### Πίνακας 5.1: Μεταβατικός Πίνακας Σχέσεων

Η πρώτη περίπτωση είναι η απλούστερη συγκεκριμενοποίηση της δομής του ATG γιατί αποτελείται από ένα τομέα περιορισμών με σύνολο στοιχείων ίσο με τρία. Επίσης, όπως λέχθηκε πιο πάνω, ο πίνακας μεταβατικότητας (βλέπε **Πίνακα 5.1**) είναι κατά πολύ ντετερμινιστικός. Ως παράδειγμα, στο **Σχήμα 5.1** φαίνεται η πρώτη περίπτωση συγκεκριμενοποίησης της δομής του ATG. Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν στιγμιαία γεγονότα που σηματοδοτούν την έναρξη ή τον τερματισμό κάποιας διαταραχής.



**Fig. 6.20** Case I ATG for disorder  $d_1$

### Σχήμα 5.1: Case I ATG for disorder $d_1$

Παρά την απλότητά της, η δομή αυτή είναι επαρκώς εκφραστική για τις ανάγκες των διάφορων προβλημάτων, όχι μόνο στην κλινική διάγνωση, αφού έχει ερευνηθεί και από πάρα πολλούς άλλους ερευνητές [1].

### 5.1.2 Στιγμιαία Συμβάντα και Απόλυτοι Περιορισμοί

Οι χρονικές οντότητες είναι και πάλι στιγμιαία γεγονότα, αλλά ο τομέας των περιορισμών εκφράζεται με μετρικό τρόπο, με βάση τις χρονικές αποστάσεις. Οι αποστάσεις εκφράζονται διακριτά ανάλογα με ένα συγκεκριμένο βαθμό όπως είναι οι μέρες. Για παράδειγμα, ο τομέας των σχετικών χρονικών σχέσεων είναι  $C = \{-\infty, \dots, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, \dots, +\infty\}$ , όπου ένας αρνητικός αριθμός συμβολίζει τις επόμενες μέρες, ένας θετικός αριθμός συμβολίζει τις προηγούμενες μέρες και ο αριθμός 0 συμβολίζει την ισότητα. Ως εκ τούτου το  $C$  είναι ένα άπειρο σύνολο. Η ύπαρξη ορίων, για παράδειγμα μέγιστος αριθμός προηγούμενων ημερών και μέγιστος αριθμός επόμενων ημερών, μετατρέπει το  $C$  σε ένα πεπερασμένο σύνολο. Επιπρόσθετα, η σταθερά `self_ref` καθορίζεται με τη τιμή 0 [6a].

Η μεταβατικότητα ανάμεσα στα γεγονότα είναι δυνατό να γίνει με τη πρόσθεση τους και η αντιστροφή τους πετυχαίνεται με την αλλαγή πρόσημου. Λόγω της πρόσθεσης, στη δεύτερη περίπτωση συγκεκριμενοποίησης της δομής ATG, δεν προκύπτει συχνά αβεβαιότητα. Αντιθέτως, με σχετικούς περιορισμούς, όπως στη πρώτη και τρίτη περίπτωση, η μεταβατικότητα πετυχαίνεται με τη χρήση και βοήθεια ενός μεταβατικού πίνακα. Ωστόσο είναι πολύ πιθανό να προκύψει αβεβαιότητα.

Οι απόλυτοι περιορισμοί μπορούν να εκφραστούν με πάρα πολλούς τρόπους. Ένας τρόπος είναι η χρησιμοποίηση πραγματικών αριθμών στο  $C$ . Ωστόσο δεν θα υπάρχει πλέον ένας διακριτός τομέας και η απόσταση θα μπορεί να εκφραστεί κλασματικά. Επιπλέον, κατά τη δεύτερη περίπτωση, ο περιορισμός  $\{-3, 2\}$  σημαίνει είτε τρεις μέρες μετά, είτε 2 μέρες πριν. Δεν υπάρχει καμία ενδιάμεση σχέση. Ένας άλλος, διαφορετικής σημασίας περιορισμός είναι ο εξής:  $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2\}$ . Ο ορισμός του υποδηλώνει την απόσταση από τις «3 μέρες μετά» μέχρι τις «2 μέρες πριν». Αυτός ο περιορισμός έχει ακριβώς την ίδια σημασία με το εύρος  $\langle -3, 2 \rangle$ . Πρέπει να τονιστεί ότι στο ενδεχόμενο χρησιμοποίησης περιορισμών με τη μορφή εύρους ή ακόμη κατά την ύπαρξη πιθανής αβεβαιότητας σε κάποια συγκεκριμένη περίπτωση, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συναρτήσεις `match` ή `propagate`, τις οποίες

αναφέραμε στο υποκεφάλαιο 4.2. Όσο αφορά τους περιορισμούς με εύρος, μπορεί να γίνει αντικατάσταση των αρχικών συναρτήσεων σε συναρτήσεις τομής (intersection) και αθροίσματος (sum) αντίστοιχα. Σε περίπτωση αβεβαιότητας, οι συναρτήσεις θα πρέπει να επεκταθούν για την αντιμετώπιση της κατάστασης. Επιπλέον αλλαγές πρέπει να γίνουν και στους αλγορίθμους που περιγράφηκαν στα υποκεφάλαια 4.6.1 και 4.6.2.

Ένας διαζευκτικός περιορισμός που εκφράζει ένα τόξο του ATG, υποδηλώνει αβεβαιότητα, αφού αυτή η προσωρινή σχέση του συγκεκριμένου ζευγαριού των οντοτήτων δεν μπορεί να δοθεί ακριβώς, λόγω του τομέα των περιορισμών του C. Περαιτέρω αβεβαιότητα υπάρχει αν τα στοιχεία του C επεκταθούν από απλές ατομικές τιμές σε ζευγάρια με τιμές  $< c, u >$ , όπου το c είναι ένας ατομικός περιορισμός όπως και πριν, αλλά το u είναι ένας περιορισμός με αβέβαιο μέτρο (ίσως μια πιθανή αξία ή ένας παράγοντας). Έτσι τα στοιχεία του τομέα περιορισμών εξακολουθούν να είναι αμοιβαία αποκλειόμενα. Το u έχει αβέβαιο μέτρο και έτσι περικλείεται από ένα τομέα, ο οποίος περιγράφεται από τιμές που υποδηλώνουν απόλυτη αβεβαιότητα σε τιμές που υποδηλώνουν βεβαιότητα. Αυτός ο τομέας δηλαδή, θα μπορούσε να είναι ποιοτικός ή ποσοτικός, που στη τελευταία περίπτωση ακόμη και αν υπάρχουν ατομικοί πεπερασμένοι σε αριθμό σχετικοί περιορισμοί, το C θα μπορούσε να είναι άπειρο.

Το ζευγάρι  $< c, u >$  εξαρτάται από το αβέβαιο μέτρο που χρησιμοποιείται από το Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα. Δηλαδή, θα μπορούσε να αναφέρεται στα δεδομένα κάποιου ασθενή ή στη διάγνωση με βάση τη γνώση. Στη πρώτη περίπτωση το u θα μπορούσε να περιγράφει το βαθμό του παρατηρητή (ιατρός) στο κατά πόσο η σχέση μεταξύ κάποιου ζευγαριού οντοτήτων είναι c. Από την άλλη, όσο αφορά τη διάγνωση, το u θα μπορούσε να υποδηλώνει τη συχνότητα εμφάνισης του c ανάμεσα σε ένα ζευγάρι οντοτήτων [6].

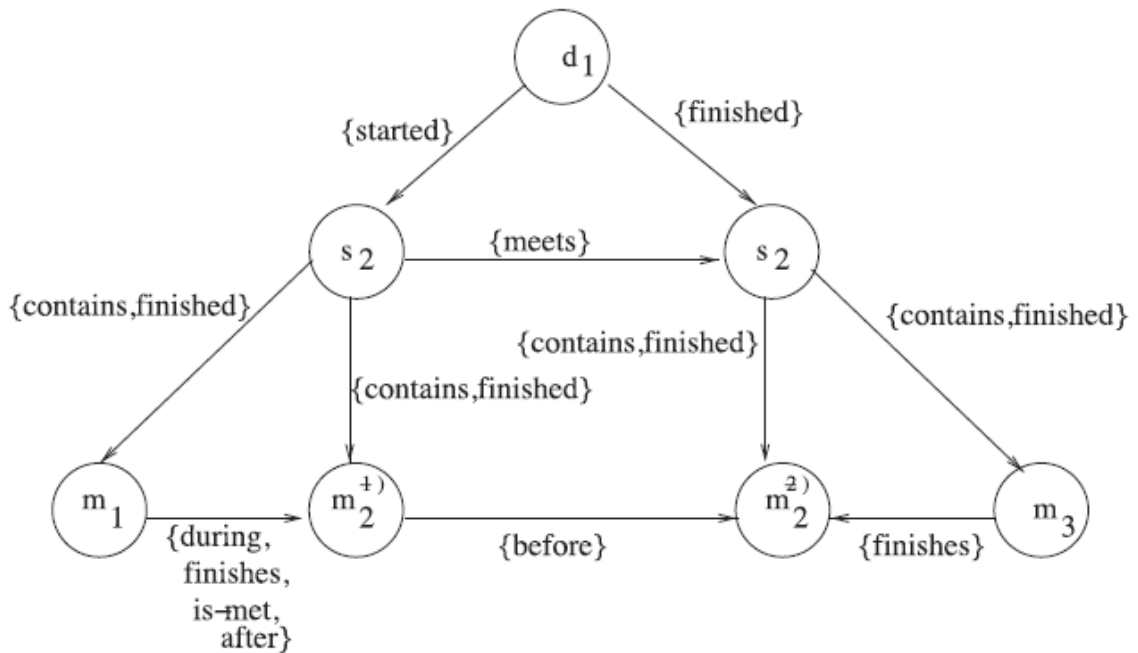
### 5.1.3 Καταστάσεις με διάρκεια και Σχετικοί Περιορισμοί

Κατά τη δεύτερη περίπτωση συγκεκριμενοποίησης της δομής του ATG, η οποία περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 5.1.2, χρησιμοποιούνται γράφοι προτεραιότητας και γράφοι ασάφειας [11, 20]. Οι γράφοι με προτεραιότητα αποτελούνται από κόμβους (γεγονότα) που σχετίζονται με τη διάρκεια και δεν είναι στιγμιαία. Τα τόξα των κόμβων εκφράζονται από

περιορισμούς που έχουν σχέσεις με προσωρινές αποστάσεις. Προσωρινές αποστάσεις παρατηρούνται κατά την έναρξη των γεγονότων (υπάρχουν καθυστερήσεις) και ανάμεσα στην αρχή και το τέλος κάποιων γεγονότων ( παρατηρούνται αποστάσεις μεταξύ τους). Η αποφυγή αυτής της κατάστασης θα επιτευχθεί με τη τρίτη περίπτωση της δομής του ATG, όπου γίνεται αντικατάσταση των γεγονότων με ζευγάρια από στιγμιαία γεγονότα υποδηλώνοντας την αρχή και το τέλος τους όπως συμβαίνει και στους γράφους ασάφειας. Θα επιτευχθεί δηλαδή μια πιο γενική αναπαράσταση του γράφου προτεραιότητας, αφού κάθε γεγονός σε αυτό το γράφο δείχνει μόνο στα γεγονότα που το ακολουθούν με ακριβή χρόνο. Οι απόλυτοι περιορισμοί εκφράζονται καλύτερα μέσω των στιγμιαίων γεγονότων, ενώ οι σχετικοί περιορισμοί μέσω των γεγονότων που παρουσιάζουν διάρκεια. Με αυτούς τους περιορισμούς σχετίζεται η τρίτη περίπτωση συγκεκριμενοποίησης της δομής του ATG, η οποία αποτελεί γενίκευση της πρώτης περίπτωσης συγκεκριμενοποίησης [6].

Οποιοδήποτε γεγονός μπορεί να αναπαρασταθεί από χρονικές οντότητες. Δεν έχει σχέση αν είναι ένα στιγμιαίο ή ένα σχετικό γεγονός. Ο τομέας των σχετικών χρονικών σχέσεων είναι ο εξής:

$C = \{ \text{before, after, meets, is\_met, overlaps, overlapped, starts, started, during, contains, finishes, finished, equal} \}$



**Σχήμα 5.2:** Case III ATG for disorder d1

Το after είναι το αντίστροφο του before και αντίστροφα. Αυτό συμβαίνει και με τους άλλους χρονικούς περιορισμούς. Η σταθερά self\_ref καθορίζεται με τη τιμή «equal». Όσο αφορά τη μεταβατικότητα, καθορίζεται από το μεταβατικό πίνακα του Allen [10, 3]. Ως παράδειγμα, στο **Σχήμα 5.2** φαίνεται η τρίτη περίπτωση συγκεκριμενοποίησης της δομής του ATG με αρχικό γεγονός το d1.

#### **5.1.4 Χρονικοί Περιορισμοί Αιτιολογικών Δικτύων Παθοφυσιολογικών Καταστάσεων**

Οι χρονικοί περιορισμοί που σχετίζονται με αιτιολογικές σχέσεις εκφράζουν την ύπαρξη καθυστερήσεων που υπάρχουν ανάμεσα σε μια αιτία (cause) και ένα αποτέλεσμα (effect). Αιτία και αποτέλεσμα αναπαριστώνται ως γεγονότα στο Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα (ATG) και χωρίς το ένα δεν μπορεί να συνυπάρξει το άλλο.

Ωστόσο υπάρχουν δυο γενικοί περιορισμοί που χαρακτηρίζουν τις αιτίες και τα αποτελέσματα τους. Το τέλος μιας αιτίας εμφανίζεται πριν ή είναι ίσο με το τέλος του αποτελέσματος και επιπρόσθετα, το τέλος μιας αιτίας είναι ίσο ή εμφανίζεται πιο μετά από την αρχή του αποτελέσματος της [6].

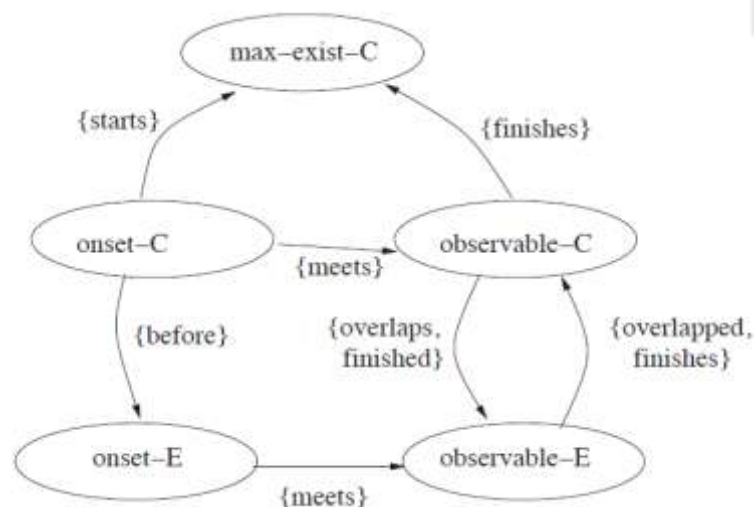
Κάθε μετρικός περιορισμός σχετίζεται με την αρχή κάποιας συγκεκριμένης αιτίας και την αρχή κάποιου συγκεκριμένου αποτελέσματος. Αυτού του είδους οι περιορισμοί μπορούν να αναπαρασταθούν με τη χρήση της δεύτερης συγκεκριμενοποίησης της δομής του ATG, η οποία περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 5.1.2, όπου τα γεγονότα υποδηλώνουν την αρχή των αιτιών και των αποτελεσμάτων τους και ενώνονται με τόξα, τα οποία περιγράφουν τη σχέση τους. Σχετικοί περιορισμοί, οι οποίοι εκφράζουν τη σχέση αιτιών και των αποτελεσμάτων τους, μπορούν να εκφραστούν με τη χρήση της τρίτης συγκεκριμενοποίησης της δομής του ATG, η οποία περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 5.1.3 (βλέπε **Σχήμα 5.3**).

Οι αιτίες και τα αποτελέσματα τους μπορούν επίσης να εκφραστούν σε ένα πλήρες συνδεδεμένο χρονικό γράφημα ATG, όπου η ένωση μιας αιτίας με ένα αποτέλεσμα της θα αρχικοποιείται με τιμές από 0 μέχρι  $+\infty$ , ενώ η ένωση ανεξάρτητων αιτιών ή αποτελεσμάτων θα έχουν τιμές από  $-\infty$  σε  $+\infty$ . Σε μετέπειτα φάση όμως, μετά την εφαρμογή των διαδικασιών propagate και match και αφού γίνει ελαχιστοποίηση, υπάρχει πιθανότητα άντλησης εύρους χρονικών τιμών, με αποτέλεσμα ανεξάρτητες αιτίες να μοιράζονται ένα

αποτέλεσμα και αντίστοιχα, ανεξάρτητα αποτελέσματα να μοιράζονται μια αιτία. Επιπλέον, η ύπαρξη πολλαπλών αιτιολογικών μονοπατιών ανάμεσα στην ίδια αιτία και αποτέλεσμα πολύ πιθανό να οδηγήσει το γράφημα σε σύγκρουση, λόγω της μη ύπαρξης συνέπειας ανάμεσα στα γεγονότα.

Μια άλλη αναπαράσταση αιτιών και αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει με τη μετατροπή ενός ATG γράφου τρίτης συγκεκριμενοποίησης (βλέπε 5.1.3 υποκεφάλαιο) σε γράφο ATG πρώτης συγκεκριμενοποίησης (βλέπε 5.1.1 υποκεφάλαιο). Έπειτα, γίνεται συγχώνευση όσο αφορά το γράφο πρώτης συγκεκριμενοποίησης που παίρνουμε με το γράφο δεύτερης συγκεκριμενοποίησης (βλέπε 5.1.2 υποκεφάλαιο), και καταλήγουμε σε ένα μονό γράφο ATG, ο οποίος αποτελείται από ποικιλία περιορισμών είτε μετρικών είτε σχετικών.

Ακόμη μια προσέγγιση είναι η διαχείριση των 2 γράφων, ATG τρίτης συγκεκριμενοποίησης και ATG δεύτερης συγκεκριμενοποίησης, ξεχωριστά. Αρχικά γίνεται ανεξάρτητος έλεγχος συνέπειας τόσο στον ένα γράφο όσο και στον άλλο και στο τέλος, πραγματοποιείται έλεγχος και για τους δυο μαζί.



**Σχήμα 5.3:** ATG τρίτης συγκεκριμενοποίησης δομής - σχετικοί περιορισμοί του HDP

Στο **Σχήμα 5.3** αναπαριστάται ο γράφος ATG με βάση τη τρίτη συγκεκριμενοποίηση της δομής του για τους σχετικούς περιορισμούς του HDP (Heart Disease Program). Οι χρονικοί περιορισμοί των αιτιολογικών σχέσεων είναι πολύ πιο πολύπλοκοι από απλές καθυστερήσεις όσο αφορά την αρχή των αιτιών και των αποτελεσμάτων τους.

Καθυστέρηση χαρακτηρίζεται ως η περίοδος από την έναρξη «onset» της αιτίας μέχρι την έναρξη της παρατήρησης (observability) του αποτελέσματος της. Επιμονή χαρακτηρίζεται ως η περίοδος από το τέλος της παρατήρησης μιας αιτίας μέχρι το τέλος της παρατήρησης του αποτελέσματος της. Γενικά, χρονικοί περιορισμοί και σημασιολογικοί κανόνες μπορούν να αρχικοποιηθούν ανάλογα με τα συγκεκριμένα ζευγάρια αιτίας – αποτελέσματος.

## 5.2 Υλοποίηση ATG - Στιγμαία Συμβάντα και Σχετικοί Περιορισμοί

Σε αυτή την υποενότητα γίνεται περιγραφή της υλοποίησης προγράμματος στη αντικειμενοστρεφή γλώσσα προγραμματισμού Java. Στόχος ήταν η αναπαράσταση του γράφου ATG σύμφωνα με τη πρώτη συγκεκριμενοποίηση της δομής του, η οποία αφορά το συνδυασμό των στιγμιαίων γεγονότων και των σχετικών περιορισμών. Ανάλυση αυτής της περίπτωσης του γράφου ATG, έγινε στο υποκεφάλαιο 5.1.1.

### 5.2.1 Υποθέσεις Προγράμματος

- Στο αρχείο, υποθέτουμε ότι ο χρήστης δίνει ορθά δεδομένα σύμφωνα με το πιο κάτω παράδειγμα. Το κάθε γεγονός (event) αναπαριστάται με τη πιο κάτω μορφή:

```
s2_b:
    s2_e:
        value: ['=', '>']
```

**Σχήμα 5.4:** Αναπαράσταση Γεγονότος

Στο πιο πάνω παράδειγμα το γεγονός ονομάζεται 's2\_b' και συνδέεται με το επόμενο γεγονός 's2\_e', σύμφωνα με τις χρονικές σχέσεις '=' και '>', οι οποίες δηλώνονται στο αρχείο με τη μορφή 'value: ['=', '>']'.

- Ο χρήστης πρέπει να εισάγει μόνο σχέσεις που δηλώνουν το πριν (<), το τώρα (=) και το μετά (>).

- Επίσης, το πρόγραμμα υποθέτει ότι το αρχικό γεγονός είναι αυτό που καταχωρείται πρώτο στο αρχείο από το χρήστη.
- Επιπρόσθετα το πρόγραμμα υποθέτει ότι το τελικό γεγονός είναι υπό την εξής μορφή:

```
name:
  empty:
    value: ['empty']
```

**Σχήμα 5.5:** Αναπαράσταση Τελικού Γεγονότος

Στο όνομα 'name' του γεγονότος μπορεί να τοποθετηθεί οποιοδήποτε όνομα.

- Κατά την εισαγωγή των γεγονότων που συνδέονται με κάποιο συγκεκριμένο γεγονός στο αρχείο, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη περίπτωση που το γεγονός συνδέεται και με άλλα γεγονότα συμπεριλαμβανομένου του τελικού γεγονότος. Αν συμβαίνει αυτό, τότε το τελικό γεγονός πρέπει να εισαχθεί πρώτο. Κοιτάξτε το πιο κάτω παράδειγμα αρχείου.

Όπως παρατηρείται, το τελικό γεγονός είναι το d1\_e και εισάγεται πριν το d2\_b γεγονός, κατά την εισαγωγή του συγκεκριμένου d1\_b γεγονότος.

```
d1_b:
  d1_e:
    value: ['>']
  d2_b:
    value: ['<']
d1_e:
  empty:
    value: ['empty']
d2_b:
  d1_e:
    value: ['=']
```

**Σχήμα 5.6:** Αναπαράσταση Αρχείου

- Κατά την εκτέλεση του προγράμματος ζητείται αρχικά από το χρήστη, να δώσει στο terminal το αρχείο, με βάση το οποίο θα συνεχίσει η εκτέλεση. Ο χρήστης πρέπει να δώσει το αρχείο είτε με τη μορφή αρχείο.yml είτε ./αρχείο.yml. Στο πρόγραμμα γίνονται επιπλέον έλεγχοι για την αποδοχή ή την απόρριψη του υποτιθέμενου αρχικά αρχείου από το χρήστη. Τονίζεται, όπως και στη πρώτη υπόθεση ότι ο χρήστης δίνει ορθά δεδομένα στο αρχείο.
- Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης και λειτουργίας του προγράμματος χρησιμοποιείται η κλάση StdDraw.java για την απεικόνιση των δεδομένων εξαγωγής και των χρονικών σχέσεων του προγράμματος. Κάθε φορά που εμφανίζεται ένα παράθυρο απεικόνισης της δομής, ενεργοποιείται ένας βρόγχος, ο οποίος καθυστερεί τη συνέχεια εκτέλεσης του προγράμματος και παρατείνει την εμφάνιση του συγκεκριμένου παραθύρου. Αυτός ο βρόγχος μπορεί να απενεργοποιηθεί μόνο με την επέμβαση και συμβολή του χρήστη, πατώντας οποιοδήποτε πλήκτρο από το πληκτρολόγιο.

Η λειτουργία αυτή έχει σκοπό τη καθυστέρηση αναμονής της κάθε σχεδίασης γράφου, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να ξοδέψει όσο χρόνο θέλει στη παρατήρηση των αποτελεσμάτων του προγράμματος.

### 5.2.2 Επιπρόσθετες Πληροφορίες Προγράμματος

- Δημιουργήθηκαν δώδεκα συνολικά αρχεία, με διαφορετικό πλήθος γεγονότων, διαφορετική ποικιλία χρονικών περιορισμών και με διαφορετικά ως επακόλουθο αποτελέσματα. Μερικά από αυτά δίνουν συνεπείς και ικανοποιητικούς χρονικούς περιορισμούς, ενώ άλλα καταλήγουν σε ασυνέπεια και μη ικανοποίηση, γιατί υπάρχουν συγκρουόμενες χρονικές σχέσεις.
- Το αρχείο input.yml περιέχει τα δεδομένα του παραδείγματος Case I ATG for disorder d1 που απεικονίζεται στο Figure 6.20 της σελίδας 238 του βιβλίου «Temporal Information Systems in Medicine» γραμμένο από τους Elpida Keravnou-Papailiou, Carlo Combi και Yuval Shahar.



```

Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:

Den edwses arxeio!

Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
hi.yml
Den iparxei auto to arxeio!

Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
./hi.yml
Den iparxei auto to arxeio!

Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
hello
Den iparxei auto to arxeio!

Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
input.yml
APODOXI ARXEIOU!!

```

**Σχήμα 5.8:** Εισαγωγή Αρχείου

### 5.2.3 Μορφή Αρχείου

Χρησιμοποιώ το yaml αρχείο με βάση μια Open Source library που ονομάζεται SnakeYaml.jar. Το αρχείο εισόδου εισάγεται στη κλάση Main. Πιο κάτω είναι ένα παράδειγμα αρχείου εισόδου:

```

d1_b:
  d1_e:
    value: ['<','>','=']
  s1_b:
    value: ['=']

d1_e:
  s2_b:
    value: ['<']

s1_b:
  s1_e:

```

```

value: ['>','=']

s1_e:
  m1_e:
    value: ['>','=']

s2_b:
  s2_e:
    value: ['=','>']

s2_e:
  m1_e:
    value: ['=']

m1_e:
  empty:
    value: ['empty']

```

#### 5.2.4 Βασικά Βήματα Αλγορίθμου Προγράμματος

```

1. //Diavasma apo to terminal
System.out.println("Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml");
scan = new Scanner(System.in);
InputArxeio = scan.nextLine();

//Orismos metavlitis pou elexei an iparxei to arxeio i oxi
boolean exists = (new File(InputArxeio)).exists();

//Elexos gia iparxwn arxeio i an o xristis den edwse arxeio
while (InputArxeio.trim().equals("") || (!exists) )
{
    if((!exists) && !(InputArxeio.trim().equals(""))){
        System.out.println("Den iparxei auto to arxeio!");
        System.out.println();
    }

    if(InputArxeio.trim().equals("")){
        System.out.println("Den edwses arxeio!");
        System.out.println();
    }
    System.out.println("Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml");
    InputArxeio = scan.nextLine();
    exists = (new File(InputArxeio)).exists();
}

```

Σχήμα 5.9: Ζήτηση αρχείου εισόδου

Ζήτηση αρχείου εισόδου από το χρήστη, μέχρι να γίνει αποδεκτό από το πρόγραμμα. Η κάθε απόρριψη αρχείου αντιστοιχεί σε μια επανάληψη των βημάτων ζήτησης αρχείου, που φαίνονται πιο κάτω. Απόρριψη αρχείου θα γίνει αν το αρχείο δεν υπάρχει ή αν δεν δόθηκε αρχείο.

2. Το αρχείο είναι αποδεκτό. Μετά την αποδοχή του αρχείου, υπάρχουν δηλωμένες μεταβλητές, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τον υπολογισμό χρόνου εκτέλεσης του προγράμματος. Ο υπολογισμός του χρόνου γίνεται σε nanoseconds. Κατά την εξαγωγή του χρόνου, στο τέλος του προγράμματος, γίνεται μετατροπή του χρόνου σε seconds.

```
System.out.println("APODOXI ARXEIOU!!");
```

```
//Ipologismos wras se nanoTime  
long startTime,endTime,Ntime;  
startTime = System.nanoTime();
```

“Κύριο μέρος προγράμματος”

```
//Anaktisi telikou xronou ektelesis programmatis se seconds  
System.out.println();  
System.out.println("The time elapsed is " + Ntime/1000000000.0 + " seconds ! !" );  
System.out.println();
```

**Σχήμα 5.10:** Υπολογισμός χρόνου εκτέλεσης

3.

```
//Load dedomena apo to yaml file  
YamlLoader file = new YamlLoader(InputArxeio);  
//Apo8ikeusi twv events se domi ArrayList<Events>  
String end_event="finish";  
ArrayList<Events> eventsList = new ArrayList<Events>();  
eventsList = file.getEvents();  
  
//Ka8orismos telikou event  
for(Events p: eventsList){  
    if(p.getId()==eventsList.size()-1)  
        end_event=p.getName();  
}
```

**Σχήμα 5.11:** Επεξεργασία αρχείου εισόδου και αποθήκευση γεγονότων σε δομή

Επεξεργασία αρχείου εισόδου με τη χρήση της library SnakeYaml.jar και αποθήκευση γεγονότων στη δομή `ArrayList<Events> eventsList`. Επιπλέον καθορισμός τελικού γεγονότος με βάση τη ιδιωτική μεταβλητή `id`.

4. Διαδικασία επεξεργασίας αρχείου εισόδου με τη library SnakeYaml.jar. Δημιουργία ενός `HashMap<String, Object> yamlFile` αντικείμενου, στο οποίο αποθηκεύεται η δομή του αρχείου και τα δεδομένα. Με τις πιο κάτω συναρτήσεις, διαβάζεται το αρχείο “input”, αφού γίνει αρχικά load, και στη συνέχεια με τη συνάρτηση `getNames()`, ανατίθενται τα ονόματα των γεγονότων σαν κλειδιά στο αντικείμενο `HashMap < String, Object> yamlFile`. Αφού αρχικοποιούνται τα κλειδιά με το όνομα κάθε γεγονότος, με την επόμενη συνάρτηση `getPairsRelations(...)`, δημιουργείται κάθε φορά μια λίστα, η οποία περιέχει τα γεγονότα με τα οποία συνδέεται το συγκεκριμένο γεγονός που δόθηκε σαν παράμετρος.

```
YamlLoader(String path) throws FileNotFoundException {
    Yaml yaml = new Yaml();
    InputStream input = new FileInputStream(new File(path));
    yamlFile = (HashMap<String, Object>) yaml.load(input);
}

//Sinartisi gia kataktisi tw n onomatwn tw n events
public ArrayList<String> getNames() {
    return new ArrayList<String>(yamlFile.keySet());
}

//Sinartisi gia kataktisi tw n gegonotwn pou sxetizontai me to sigkekrimeno event
public ArrayList<String> getPairsRelations(String event) {

    HashMap<String, Object> relations_hash = new HashMap<String, Object>();
    relations_hash = (HashMap<String, Object>) yamlFile.get(event);
    return new ArrayList<String>(relations_hash.keySet());
}
```

**Σχήμα 5.12:** Διαδικασία επεξεργασίας αρχείου εισόδου

Παρομοίως με τη συνάρτηση `getRelations(event, pair)`, γίνεται κατάκτηση των χρονικών σχέσεων που ενώνουν το γεγονός (event) με ένα συγκεκριμένο άλλο γεγονός (pair). Εννοείται ότι τα δυο γεγονότα συνδέονται.

```

//Sinartisi gia kataktisi twv xronikwn sxesewn pou enwnei to ka8e gegonos me alla gegonota
public ArrayList<String> getRelations(String event, String pair) {
    HashMap<String, Object> relations = new HashMap<String,Object>();
    HashMap<String, Object> rel_pairs = new HashMap<String,Object>();

    relations = (HashMap<String, Object>) yamlFile.get(event);

    rel_pairs = (HashMap<String, Object>) relations.get(pair);
    ArrayList<String> rel_values = (ArrayList<String>) rel_pairs.get("value");

    return rel_values;
}

```

**Σχήμα 5.13:** Συνάρτηση getRelations(event,pair)

Πιο κάτω η συνάρτηση getPairsRelations\_E(.....) καλεί τις προηγούμενες συναρτήσεις getPairsRelations(.....) και getRelations(.....), των οποίων τη λειτουργία περιγράψαμε πιο πάνω, και στόχος της είναι η επιστροφή μιας λίστας από PairsRelations αντικείμενα, η οποία θα αποτελείται από τα γεγονότα που συνδέονται με το συγκεκριμένο event και τις χρονικές σχέσεις που περιγράφουν τη κάθε σύνδεση.

```

//Sinartisi gia ktisimo tis domis sxetika me ti sxeseis pou sindeoun ena gegonos me alla
public ArrayList<PairsRelations> getPairsRelations_E(String event) {
    ArrayList<PairsRelations> event_PairsRelations = new ArrayList<PairsRelations>();

    for (String pName : getPairsRelations(event)) {

        PairsRelations pair = new PairsRelations(pName,getRelations(event,pName));
        event_PairsRelations.add(pair);
    }
    return event_PairsRelations;
}

```

**Σχήμα 5.14:** Συνάρτηση getPairsRelations\_E(.....)

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε η συνάρτηση public ArrayList<Events> getEvents(), η οποία χρησιμοποιεί τις συναρτήσεις getNames() και getPairsRelations\_E(event), με σκοπό να επιστρέψει μια λίστα ArrayList<Events>, η οποία περιέχει όλα τα γεγονότα που περιέχει το αρχείο, με όλες τις συνδέσεις και τις χρονικές σχέσεις. Η συνάρτηση getEvents() καλείται

από τη κλάση Main.java και τα γεγονότα αποθηκεύονται στη ArrayList<Events> eventsList λίστα.

5. Παρουσίαση διάφορων τρόπων με τους οποίους μπορούν να προβληθούν τα γεγονότα από τους χρήστες.

```
//Exagwgi gegonotwn me diaforous tropous(apo file, apo domi ArrayList<Events>, apo StdDraw)
//Events.printEvents(eventsList);
//file.printFile();
Events.Draw_EventsANDPathS(null,eventsList,0);
```

**Σχήμα 5.15:** Διάφοροι τρόποι προβολής γεγονότων

Με τη συνάρτηση Events.printEvents(eventsList) προβάλλονται τα γεγονότα, αφού αποθηκευτούν πρώτα στη eventsList λίστα. Με τη συνάρτηση file.printFile(...) προβάλλονται τα γεγονότα από το αρχείο και τέλος με τη χρήση της συνάρτησης Events.Draw\_EventsANDPathS( null, eventsList, 0) γίνεται προβολή των γεγονότων με τη βοήθεια της κλάσης StdDraw. Στο πρόγραμμα χρησιμοποιείται ο τελευταίος τρόπος και οι χρήστες μπορούν να παρατηρήσουν τα δεδομένα σε ένα πιο ωραίο περιβάλλον με απεικόνιση σχημάτων και χρωμάτων.

6. Δημιουργία λίστας PathsList, η οποία περιέχει αντικείμενα τύπου Paths. Κάθε αντικείμενο Paths, αποτελείται από μια λίστα από γεγονότα και ένα ακέραιο αριθμό, που λειτουργά σαν id του συγκεκριμένου αντικείμενου Path. Δημιούργησα τη λίστα PathsList με σκοπό την αποθήκευση όλων των πιθανών μονοπατιών του γράφου ATG, όπου το κάθε μονοπάτι έχει το δικό του id.

Η συνάρτηση Events.getPaths(eventsList,end\_event) παίρνει σαν είσοδο τη λίστα με όλα τα γεγονότα που περιείχε το αρχείο και το όνομα του γεγονότος που αποτελεί το προορισμό όλων των μονοπατιών, το τελικό γεγονός. Επιστρέφει όλα τα πιθανά μονοπάτια, τα οποία αποθηκεύονται στη δομή PathsList, η οποία περιγράφηκε πιο πάνω.

Αυτή η συνάρτηση καλεί τις συναρτήσεις `ReturnCurrentEventsPathList(..)` και `checkParent(..)`. Η πρώτη χρησιμοποιείται αναδρομικά για το συνδυασμό των γεγονότων για τον υπολογισμό των μονοπατιών, ενώ η δεύτερη ελέγχει αν κάποιο συγκεκριμένο γεγονός λειτουργά σαν πατέρας για κάποιο άλλο(δηλαδή προηγείται του άλλου).

7. Έχοντας τώρα τη δομή `PathsList`, καλείται η συνάρτηση `Events.getAploroiimenaPathEvents(...)`, με την οποία γίνεται απλοποίηση όλων των χρονικών περιορισμών και αναβάθμιση των γεγονότων. Στη συνέχεια προβάλλεται ξεχωριστά το κάθε μονοπάτι στη κονσόλα και στο περιβάλλον της `StdDraw` με τη κλήση των συναρτήσεων `printEvents(...)` και `Draw_EventsANDPathS(...)`.
8. Κλήση συνάρτησης `get_finals(...)`, όπου γίνεται ανάκτηση των τελικών χρονικών περιορισμών στα μονοπάτια, με τη βοήθεια των συναρτήσεων `take_final_relations(...)` και `check_Transitivity(...)`. Με τη βοήθεια της πρώτης γίνεται αναβάθμιση του κάθε μονοπατιού με τελικές χρονικές σχέσεις, αφού καλεί τη δεύτερη, η οποία ελέγχει τις χρονικές σχέσεις μεταβατικότητας ανάμεσα στα γεγονότα. Στη συνέχεια προβάλλονται στη κονσόλα τα τελικά μονοπάτια, όπου το κάθε ένα αποτελείται από μια μόνο χρονική σχέση, με τη κλήση των συναρτήσεων `printEvents(...)` και `Draw_Final_Results(...)`.
9. Σύγκριση τελικών αποτελεσμάτων μονοπατιών και ανάκτηση τελικού αποτελέσματος συνέπειας με τη κλήση της συνάρτησης `ReturnFinalTemporal_Relation_of_Events(..)`, η οποία εφαρμόζει ελέγχους για την εξαγωγή των τελικών χρονικών σχέσεων.
10. Εξαγωγή τελικού αποτελέσματος συνέπειας και ικανοποίησης.
11. Εξαγωγή ολικού χρόνου εκτέλεσης του προγράμματος, όπως προαναφέρθηκε στο βήμα 2.

## 5.2.5 Παραδείγματα Εκτελέσεων (συνέχεια στο παράρτημα)

### 5.2.5.1 Εκτέλεση 1

Πιο κάτω παρουσιάζεται η μορφή του αρχείου «input1.yml» που δίνεται από το χρήστη κατά την εκτέλεση αυτή. Όπως φαίνεται το αρχείο αποτελείται από δυο γεγονότα, το αρχικό γεγονός d1\_b και το τελικό γεγονός d1\_e. Ο χρήστης δίνει το αρχείο σύμφωνα με τον τρόπο που ζητείται από την κονσόλα του προγράμματος. Αν το αρχείο δεν υπάρχει ή αν δόθηκε λάθος όνομα, τότε το πρόγραμμα δεν θα το αποδεχτεί. Για να λειτουργήσει επιτυχώς το πρόγραμμα πρέπει να γίνει αποδοχή του αρχείου εισόδου.

Μορφή Αρχείου «input1.yml»:

d1\_b:

  d1\_e:

    value: ['<']

d1\_e:

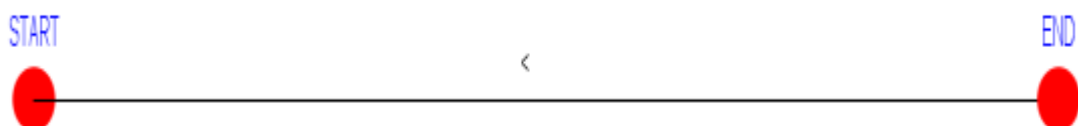
  empty:

    value: ['empty']

Μορφή terminal:

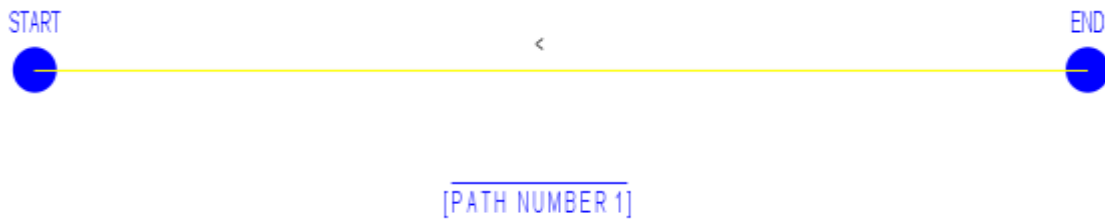
```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
./input1.yml
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα 5.16:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 1



**Σχήμα 5.17:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος, παρουσιάζεται η αναπαράσταση του γράφου, όπως και το κάθε μονοπάτι που προκύπτει με βάση τους χρονικούς περιορισμούς. Υπάρχει τύπωση του κάθε βήματος στη κονσόλα και προβολή μέσω της SrdDraw.java. Σε αυτό το παράδειγμα υπάρχει μόνο ένα μονοπάτι.



**Σχήμα 5.18:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 1

```
Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
    <
Event d1_e with id number 1 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty
```

**Σχήμα 5.19:** Path Number 1 - Εκτέλεση 1

```
Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
    <
Event d1_e with id number 1 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty
```

**Σχήμα 5.20:** Final Path Relations - Εκτέλεση 1

Κατά το τέλος της εκτέλεσης γίνεται προβολή και τύπωση των απλοποιημένων μονοπατιών και εξάγεται το τελικό αποτέλεσμα συνέπειας και ικανοποίησης.



**Σχήμα 5.21:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 1

```
Consistency and satisfaction can be noticed !!
The final relation of events produced could be
1: <

The time elapsed is 4.199582356 seconds ! !

This is the end of the Program !!
```

**Σχήμα 5.22:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 1

#### 5.2.5.2 Εκτέλεση 2

Με παρόμοιο τρόπο, όπως και κατά την εκτέλεση του πρώτου παραδείγματος, γίνεται και η εκτέλεση αυτού του παραδείγματος, το οποίο περιέχει περισσότερα γεγονότα από το προηγούμενο παράδειγμα. Πιο κάτω φαίνεται η μορφή του αρχείου του παραδείγματος 2.

Μορφή Αρχείου «input2.yml»:

```
d1_b:
  d1_e:
    value: ['>']
  d2_b:
    value: ['<']

d1_e:
```

empty:  
value: ['empty']

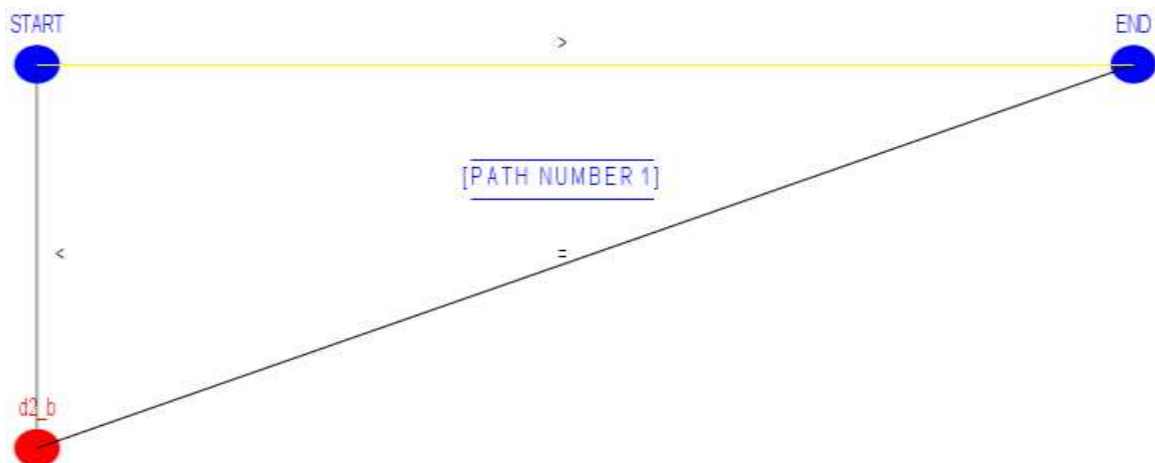
d2\_b:  
d1\_e:  
value: ['=']

Μορφή terminal:

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:  
./input2.yml  
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα 5.23:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 2

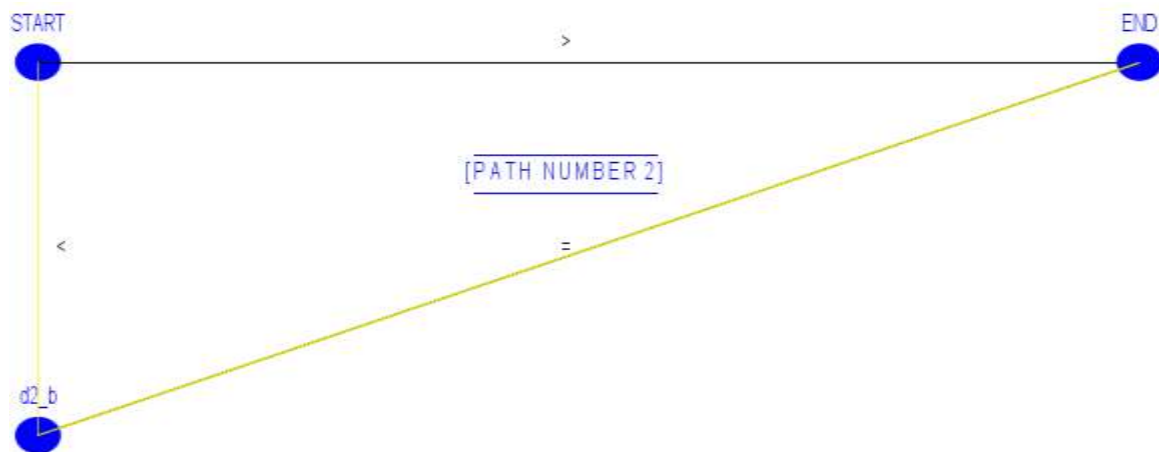
Τα μονοπάτια αυτού το παραδείγματος είναι δυο και το κάθε μονοπάτι έχει διαφορετικούς χρονικούς περιορισμούς. Πιο κάτω φαίνονται τα δυο μονοπάτια.



**Σχήμα 5.24:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 2 – Path Number 1

Path Number: 1  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d1\_e with id number 2 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα 5.25:** Path Number 1 - Εκτέλεση 2



**Σχήμα 5.26:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 2 – Path Number 2

Path Number: 2  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d2\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event d2\_b with id number 1 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d1\_e with id number 2 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα 5.27:** Path Number 2 - Εκτέλεση 2

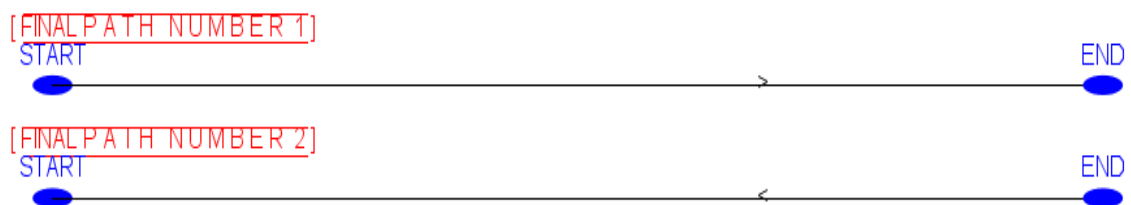
```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
>
Event d1_e with id number 2 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
<
Event d1_e with id number 2 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα 5.28:** Final Path Relations - Εκτέλεση 2



**Σχήμα 5.29:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 2

Κατά το τέλος της εκτέλεσης του παραδείγματος εμφανίζονται τα αποτελέσματα όσο αφορά την ικανοποίηση και συνέπεια που παρουσιάζει η συγκεκριμένη εκτέλεση. Παρατηρούμε ότι υπάρχει ασυνέπεια και μη ικανοποίηση γιατί οι χρονικοί περιορισμοί των μονοπατιών έρχονται σε σύγκρουση.

```

Inconsistency !! There is no satisfaction !!

The time elapsed is 6.746757067 seconds ! !

This is the end of the Program !!

```

**Σχήμα 5.30:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 2

# Κεφάλαιο 6

## Συμπεράσματα

---

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 6.1 Γενικά συμπεράσματα                         | 62 |
| 6.2 Εισηγήσεις για δυνατή επέκταση της εργασίας | 63 |

---

### 6.1 Γενικά συμπεράσματα

Πρώτος στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η εξέταση της προτεινόμενης αφηρημένης δομής «Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα» (Abstract Temporal Graph [ATG]) για την αναπαράσταση χρονικών περιορισμών (temporal constraints) για ιατρικά διαγνωστικά προβλήματα. Δεύτερος στόχος είναι η μελέτη διάφορων συγκεκριμενοποιήσεων της αφηρημένης δομής ATG για την αναπαράσταση χρονικών περιορισμών που προκύπτουν σε διάφορες εφαρμογές ιατρικής διάγνωσης. Τρίτος στόχος είναι η υλοποίηση της δομής ATG.

Το κύριο θέμα της διπλωματικής εργασίας είναι η ιατρική χρονική διάγνωση, ο χειρισμός των διάφορων χρονικών περιορισμών και η μοντελοποίηση του χρόνου. Τεράστιο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι προσπάθειες αναπαράστασης του χρόνου σε διάφορα συστήματα διάγνωσης, όπως και η προσπάθεια επίλυσης διαγνωστικών προβλημάτων. Αυτό είναι ολοφάνερο λόγω των διάφορων μελετών και ερευνών που διεξάγονται σχετικά με αυτά τα θέματα.

Στο παρελθόν η τεχνολογία δεν ήταν τόσο πολύ αναπτυγμένη και οι άνθρωποι δεν μπορούσαν να βασιστούν σε αυτή. Με το πέρασμα των χρόνων όμως, η ραγδαία ανάπτυξη της και το υψηλό μορφωτικό επίπεδο του περισσότερου πληθυσμού, βοήθησαν στη δημιουργία μοντέλων επίλυσης διαγνωστικών προβλημάτων, τα οποία βασίζονται στην έννοια του χρόνου. Ο χρόνος αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους

παράγοντες στην επιστήμη της Ιατρικής. Έτσι, η μοντελοποίηση του χρόνου με διάφορους μηχανισμούς είναι ένα κρίσιμο θέμα το οποίο καλούνται οι επιστήμονες να αντιμετωπίσουν. Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ρητή αναπαράσταση του χρόνου είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει σε κάθε σύστημα.

Όσο αφορά τώρα το Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα ATG, είναι μια αφηρημένη δομή που στόχο έχει την αναπαράσταση των διαφορετικών τύπων χρονικών περιορισμών μέσα στο ίδιο ενοποιημένο πλαίσιο. Την ίδια στιγμή επιτρέπει την ανάλυση και διαφοροποίηση των διαφόρων τύπων περιορισμών. Σκοπός είναι ο έλεγχος της χρονικής συνέπειας και ικανοποίησης ενός συνόλου της ποικιλίας των περιορισμών.

Η επεξεργασία χρονικών περιορισμών παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ειδικούς σε συστήματα για τη διαδικασία διάγνωσης και σύστασης θεραπείας για κάποια ασθένεια. Ήδη, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα διάγνωσης στην ιατρική. Ιατροί και εκπαιδευτικό προσωπικό βοηθούνται κατά πολύ αφού παρουσιάζουν βελτίωση στην διεξαγωγή της διαδικασίας διάγνωσης, τόσο από την πλευρά της ορθότερης θεραπείας όσο και από την πλευρά της μείωσης του χρόνου που διαρκεί η διαδικασία.

## **6.2 Εισηγήσεις για δυνατή επέκταση της εργασίας**

Έχοντας εξετάσει το μοντέλο “Αφηρημένο Χρονικό Γράφημα (ATG)” για επεξεργασία χρονικών περιορισμών σε εφαρμογές κλινικής διάγνωσης, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, η ιατρική χρονική διάγνωση προς το παρόν προσελκύει δικαιολογημένα αρκετή προσοχή. Επίσης, ο ρόλος των χρονικών περιορισμών στην κλινική διάγνωση είναι πολύ μεγάλος. Έχουν ήδη υλοποιηθεί ενδιαφέροντα αποτελέσματα αλλά χρειάζεται να γίνει περισσότερη δουλειά προκειμένου να καλυφθούν πλήρως οι χρονικές ανάγκες των πραγματικών ιατρικών διαγνωστικών προβλημάτων και να χρησιμοποιηθεί ο χρόνος στην παραγωγή λύσεων με ένα υπολογιστικά αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο. Ακόμα, αν και έχει δημιουργηθεί μεγάλη πρόοδος στη μοντελοποίηση του χρόνου, δεν δημιουργήθηκε ανάλογη πρόοδος στη μοντελοποίηση των ενεργειών. Μερικά ακόμα σημαντικά θέματα όπως είναι για

παράδειγμα, η πολλαπλή κατανομή του χρόνου, η επανάληψη, τα σύνθετα περιστατικά και η αποτελεσματική χρήση των χρονικών περιορισμών, χρειάζονται περισσότερη ερευνητική προσοχή. Παρόλη λοιπόν τη δουλειά που έχει γίνει στις εφαρμογές που σχετίζονται με την ιατρική, χρειάζεται ακόμα να γίνει αρκετή πρόοδος έτσι ώστε να ενσωματωθεί επιτυχώς η τεχνική του χρονικού συλλογισμού στην καθημερινή διαδικασία της ιατρικής φροντίδας. Καθώς οι ιατρικές διαδικασίες εξελίσσονται με την προσαρμογή θεραπειών σε καινούργια ευρήματα στη συγκεκριμένη περιοχή ή την εύρεση διαδικασιών θεραπείας για καινούργιες ασθένειες, θα προστεθούν καινούργιες προκλήσεις στις ήδη υπάρχουσες. Αυτό οπωσδήποτε υπόσχεται να παρέχει μια πλούσια πηγή προκλήσεων στην κοινότητα της Τεχνητής Νοημοσύνης.

## Βιβλιογραφία

- [1] A. Gerevini, L. Schubert, and S. Schaefer. The temporal reasoning tools TIMEGRAPH I-II. International Journal of Artificial Intelligence Tools, 4(1-2):281–299, 1995.
- [2] A.K. Mackworth. Consistency in networks of relations. Artificial Intelligence, 8:99–118, 1977.
- [3] Alfred J. Reich. Intervals, Points, and Branching Time. Lockheed Missiles and Space Company, Inc. – Austin Division, Knowledge-Based Systems
- [4] Artificial Intelligence, <http://el.wikipedia.org>
- [5] Bylander T., Allemang D., Tanner M.C. and Josephson J.R., “The computational complexity of abduction”, Artificial Intelligence 49 pp.25–60, 1991.
- [6] Combi C., Keravnou-Papailiou E., and Shahr Y. (2010), Temporal Information Systems in Medicine, Springer, 376 pages (ISBN 978-1-4419-6542-4 e-ISBN 978-1-4419-6543-1)
- [7] Διάγνωση, <http://www.omioopathitiki.com/info/algorithmos/>
- [8] Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στην Τεχνολογία Λογισμικού και στην Ιατρική, Τομέας Επιστήμης Υπολογιστών, Γενικό Τμήμα Θετικών Επιστήμων, ΤΕΙ Κρήτης, <http://www.cs.teiher.gr>
- [9] Ιατρικό Λογισμικό (Medical Software), <http://el.wikipedia.org>
- [10] J.F. Allen. Maintaining Knowledge About Temporal Intervals. Communications of the ACM, 26:832–843, 1983.

- [11] Jose Palma, Jose M. Juarez, Manuel Campos, and Roque Marin. Fuzzy theory Approach for temporal model-based diagnosis: An application to medical domains. *Artificial Intelligence in Medicine*, 38(2):197–218, 2006.
- [12] Juan Carlos Augusto. Temporal reasoning for decision support in medicine. *Artificial Intelligence in Medicine*, 33(1):1–24, 2005.
- [13] Keravnou E.T. (2000), *Artificial Intelligence and Expert Systems* (distance learning text book for the undergraduate curriculum in Computer Science, written in Greek), Greek Open University, 384 pages (ISBN: 960-538-181-8).
- [14] Keravnou E.T. (guest editor), “Special Issue on Temporal Reasoning in Medicine”, *Artificial Intelligence in Medicine* 1996, 8(3).
- [15] Keravnou E.T., “Temporal constraints in clinical diagnosis”, *Artificial Intelligence Fuzzy Systems* 12, 2002 (1).
- [16] Medical diagnosis, <http://el.wikipedia.org>
- [17] Πλάτων, Τίμαιος, Εισαγωγή – Μετάφραση - Σχόλια: Β. Κάλφας, εκδ. Πόλις, Αθήνα 1995, σελ. 213
- [18] R. Dechter, I. Meiri, and J. Pearl. Temporal Constraint Networks. *Artificial Intelligence*, 49:61–95, 1991.
- [19] R. Mohr and T.C. Henderson. Arc and path consistency revisited. *Artificial Intelligence*, 28:225–233, 1986.
- [20] Rudolf Seising. From vagueness in medical thought to the foundations of fuzzy reasoning in medical diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 38(3):237–256, 2006.

- [21] Stuart Russell & Peter Norvig, Τεχνητή Νοημοσύνη, μια σύγχρονη προσέγγιση, Κλειδάριθμος, 1200 pages (ISBN: 960-209-873-2), <http://aima.uom.gr/>
- [22] U. Montanari and F. Rossi. Constraint relaxation may be perfect. Artificial Intelligence, pages 143–170, 1991.

# Παράρτημα Α

## Εκτέλεση 1

Μορφή Αρχείου «input.yml»:

d1\_b:

  d1\_e:

    value: ['<']

  s1\_b:

    value: ['=']

d1\_e:

  s2\_e:

    value: ['=']

s1\_b:

  s1\_e:

    value: ['<']

  m1\_b:

    value: ['<']

s1\_e:

  m1\_e:

    value: ['>', '=']

  s2\_b:

    value: ['=']

s2\_b:

  s2\_e:

    value: ['<']

```
s2_e:
  m22_e:
    value: ['>','=']
  m3_e:
    value: ['>','=']

m1_b:
  m1_e:
    value: ['<']

m1_e:
  m21_b:
    value: ['<','=','>']

m21_b:
  m21_e:
    value: ['<']
  m21_e:
    m22_b:
      value: ['<']

m22_b:
  m22_e:
    value: ['<']
  m3_b:
    value: ['<']

m22_e:
  empty:
    value: ['empty']

m3_b:
  m3_e:
```

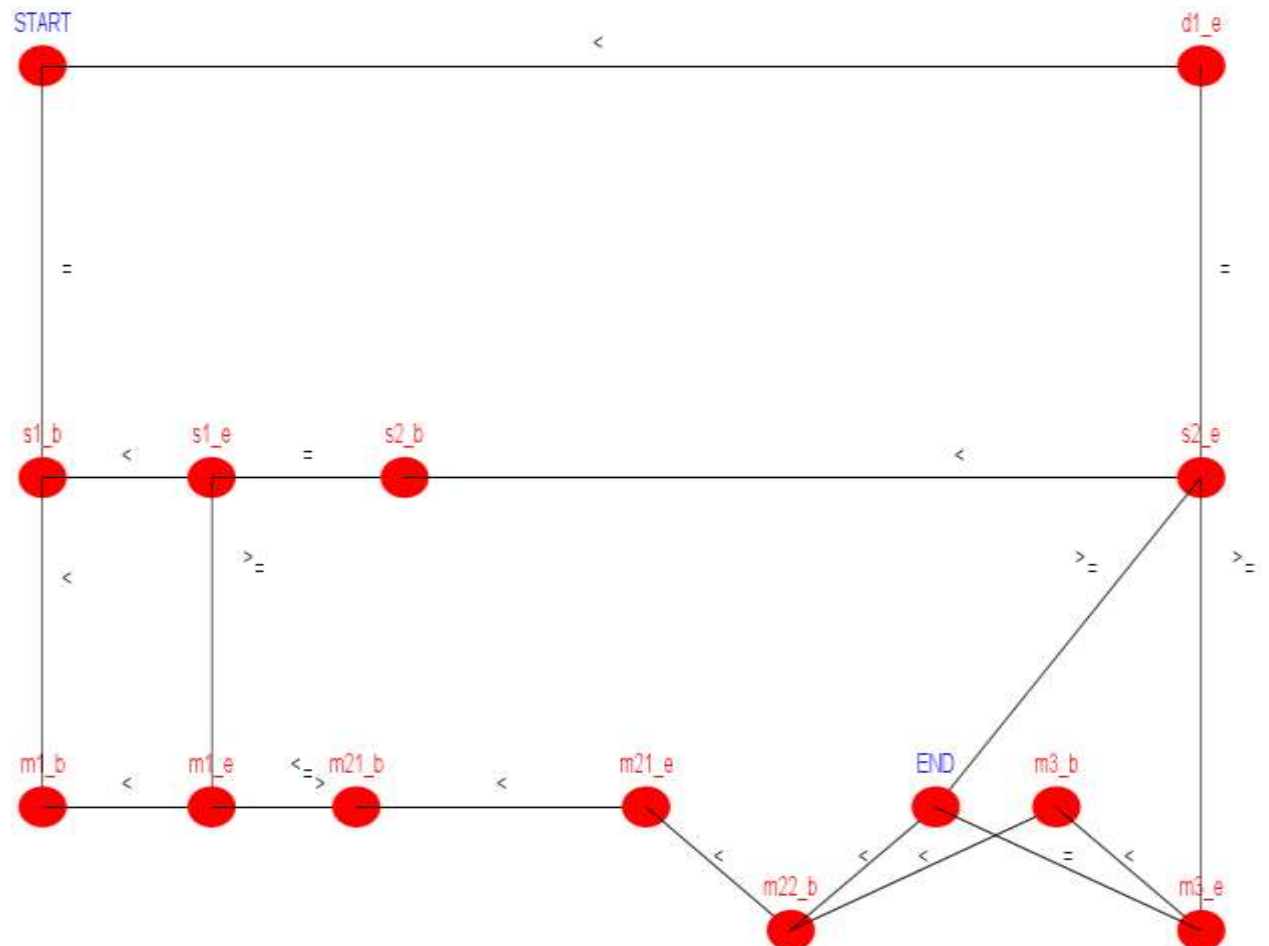
value: ['<']  
m3\_e:  
m22\_e:  
value: ['=']

Μορφή terminal:

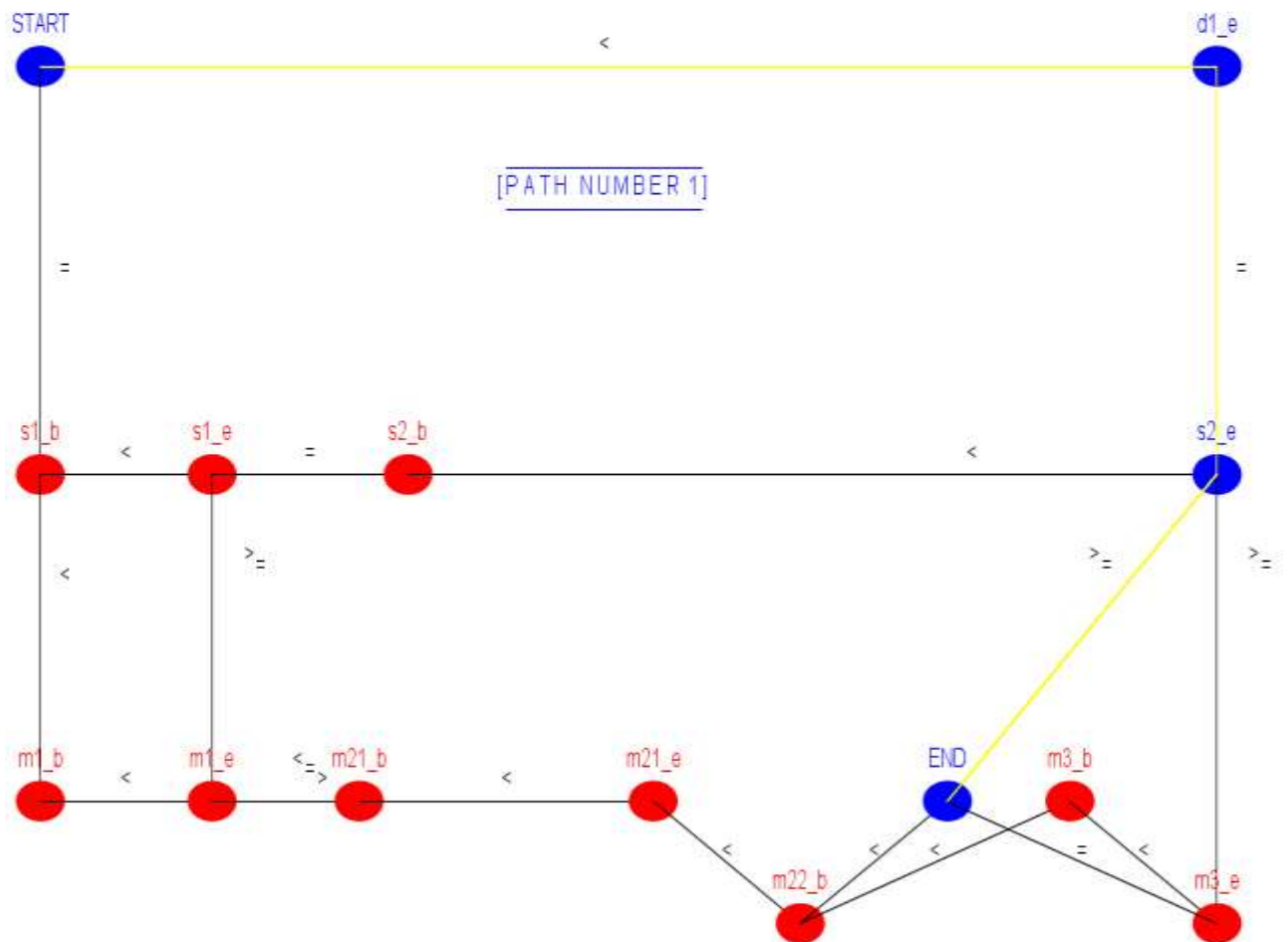
---

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
input.yml
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 1



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 1

Path Number: 1

Event d1\_b with id number 0 is related with events

-> d1\_e through the following temporal relations :

<

Event d1\_e with id number 1 is related with events

-> s2\_e through the following temporal relations :

=

Event s2\_e with id number 5 is related with events

-> m22\_e through the following temporal relations :

>

=

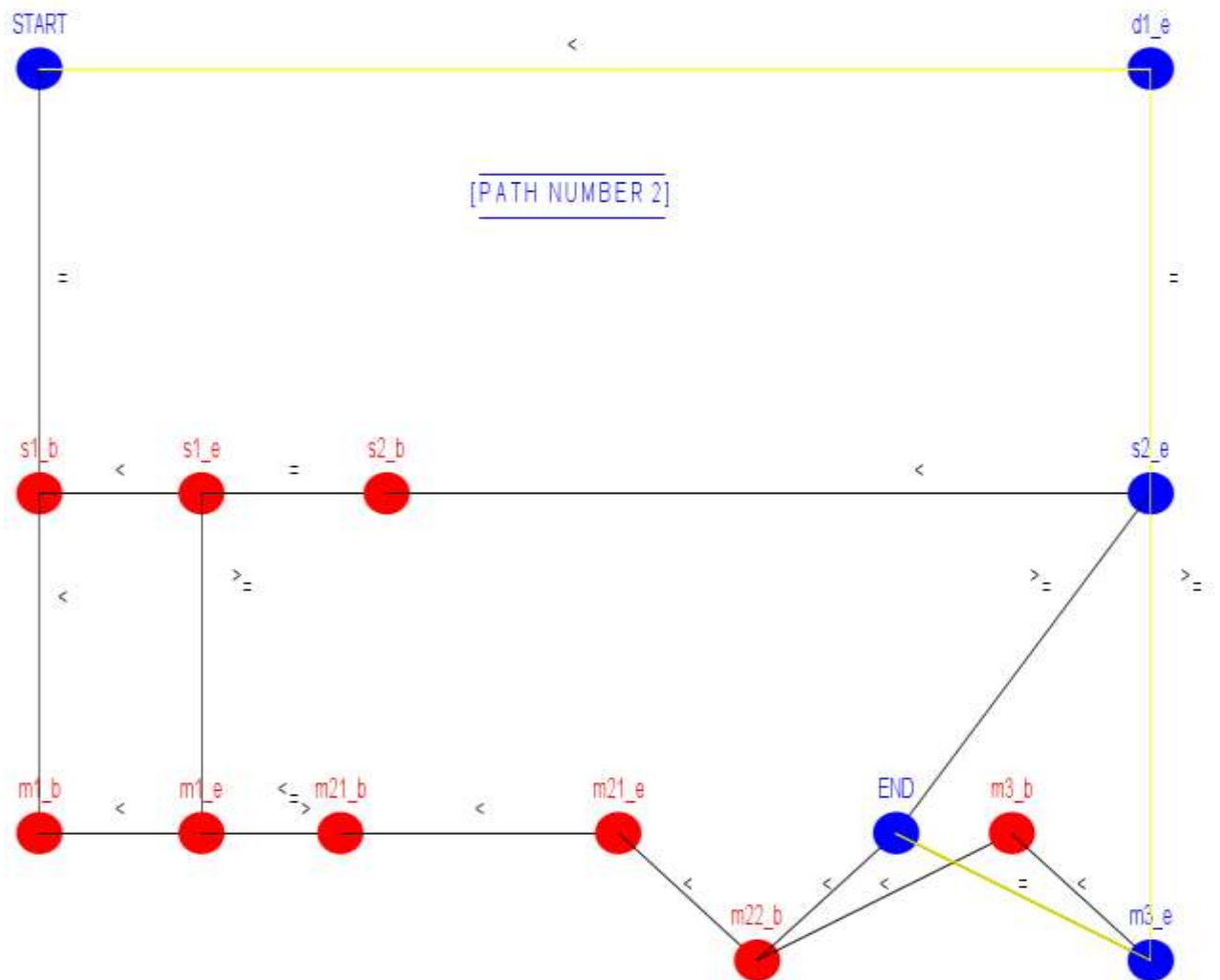
Event m22\_e with id number 13 is related with events

-> empty through the following temporal relations :

empty

**Σχήμα:**

Path Number 1 - Εκτέλεση 1



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 2

Path Number: 2

Event d1\_b with id number 0 is related with events  
-> d1\_e through the following temporal relations :

<

Event d1\_e with id number 1 is related with events  
-> s2\_e through the following temporal relations :

=

Event s2\_e with id number 5 is related with events  
-> m3\_e through the following temporal relations :

>

=

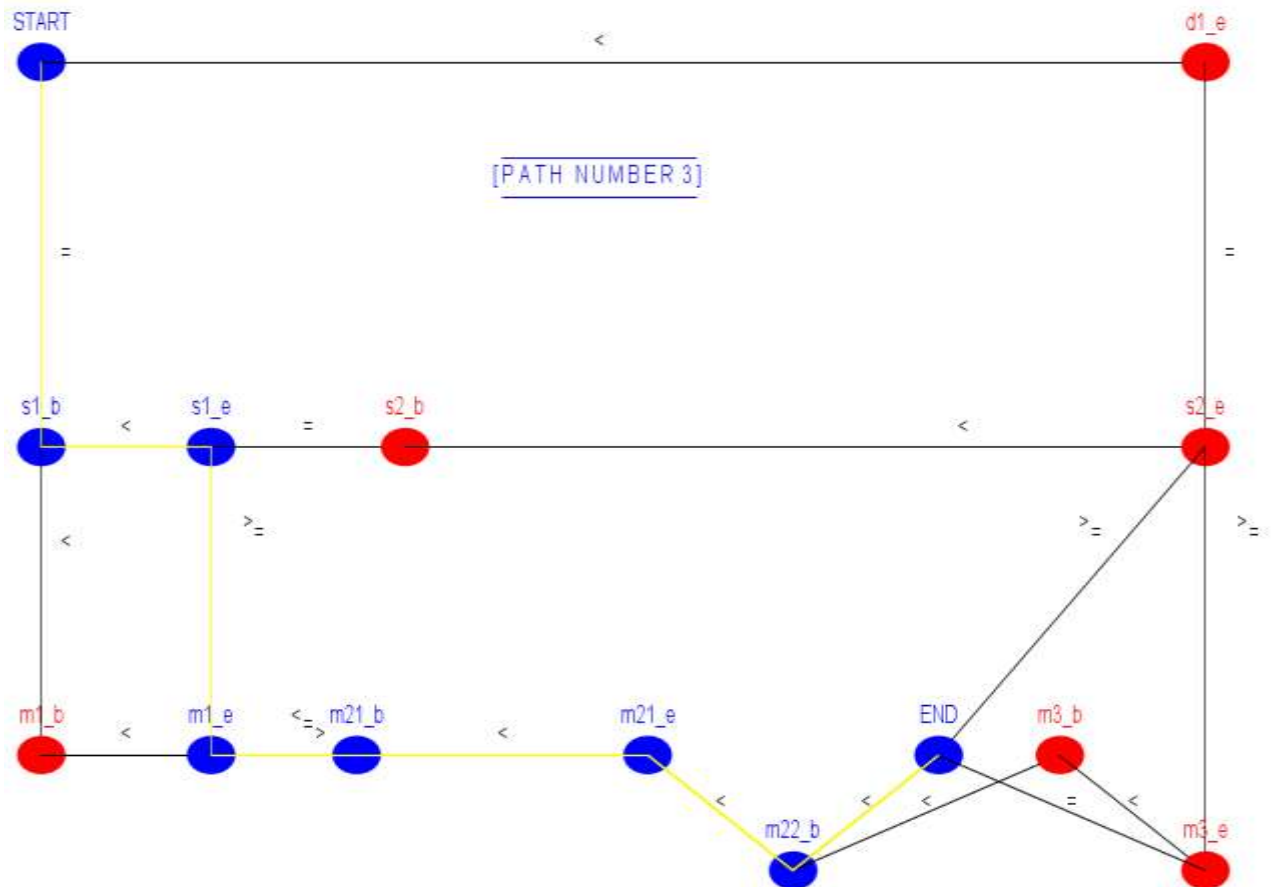
Event m3\_e with id number 12 is related with events  
-> m22\_e through the following temporal relations :

=

Event m22\_e with id number 13 is related with events  
-> empty through the following temporal relations :  
empty

**Σχήμα:**

Path Number 2 - Εκτέλεση 1

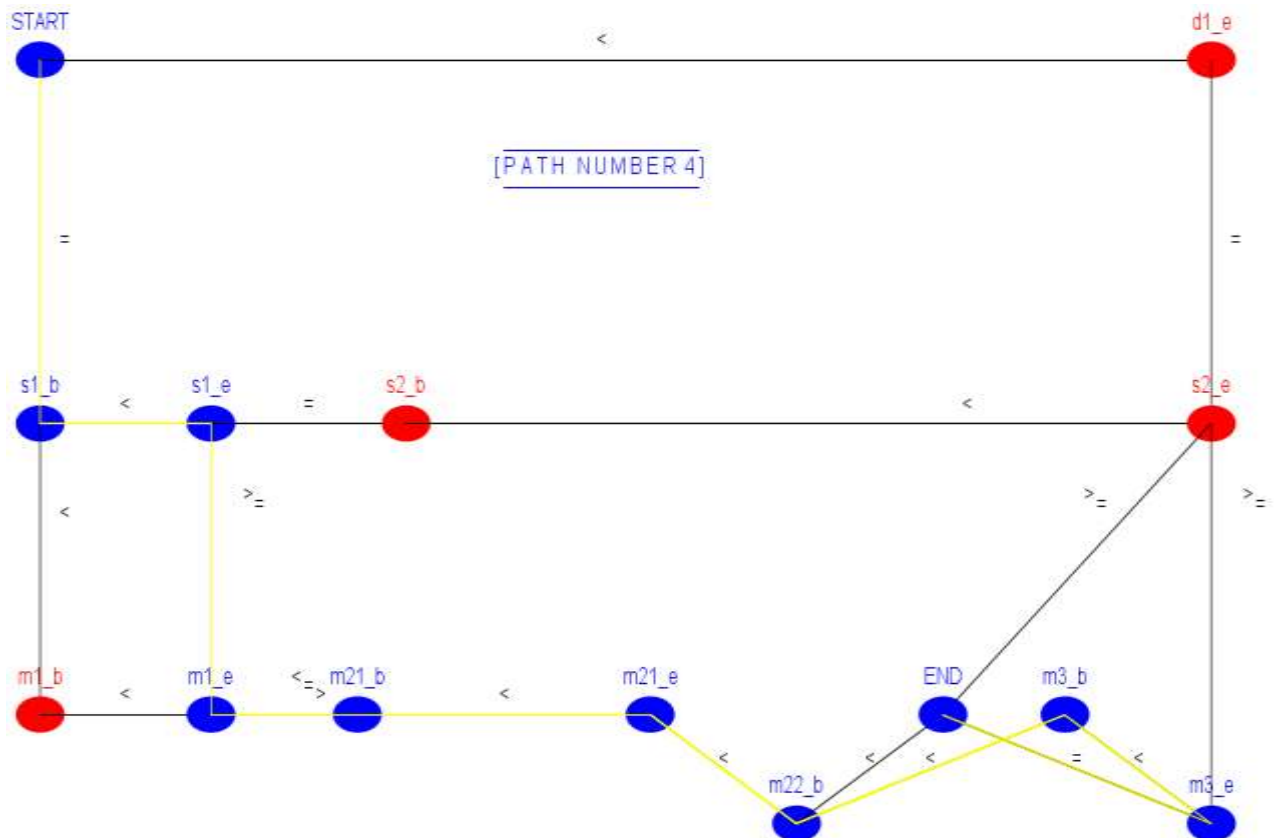


**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 3

Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 =  
 Event m1\_e with id number 7 is related with events  
 -> m21\_b through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 >  
 Event m21\_b with id number 8 is related with events  
 -> m21\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m21\_e with id number 9 is related with events  
 -> m22\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event m22\_b with id number 10 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m22\_e with id number 13 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:**

Path Number 3 - Εκτέλεση 1

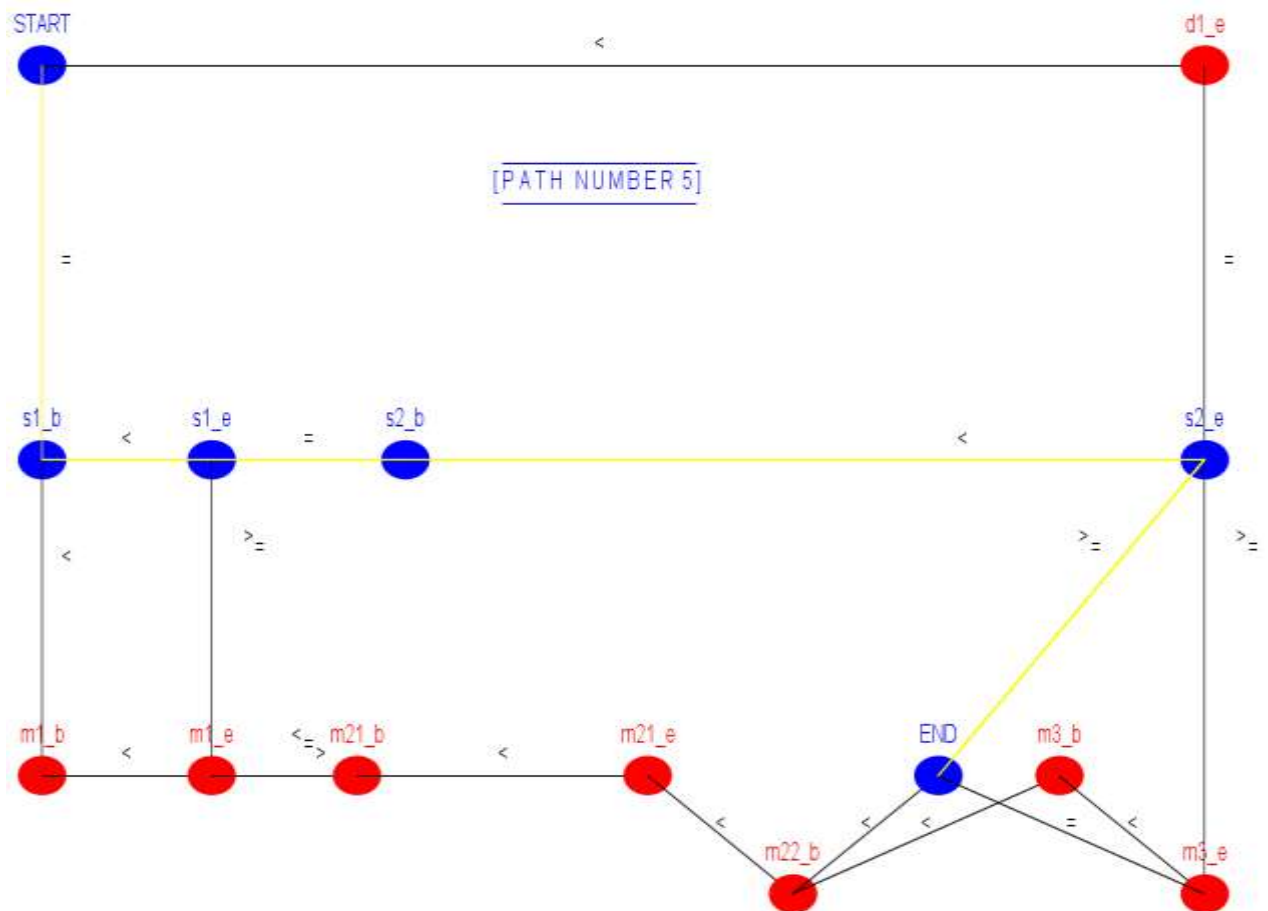


**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 4

Path Number: 4  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 =  
 Event m1\_e with id number 7 is related with events  
 -> m21\_b through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 >  
 Event m21\_b with id number 8 is related with events  
 -> m21\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m21\_e with id number 9 is related with events  
 -> m22\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event m22\_b with id number 10 is related with events  
 -> m3\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event m3\_b with id number 11 is related with events  
 -> m3\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m3\_e with id number 12 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_e with id number 13 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:**

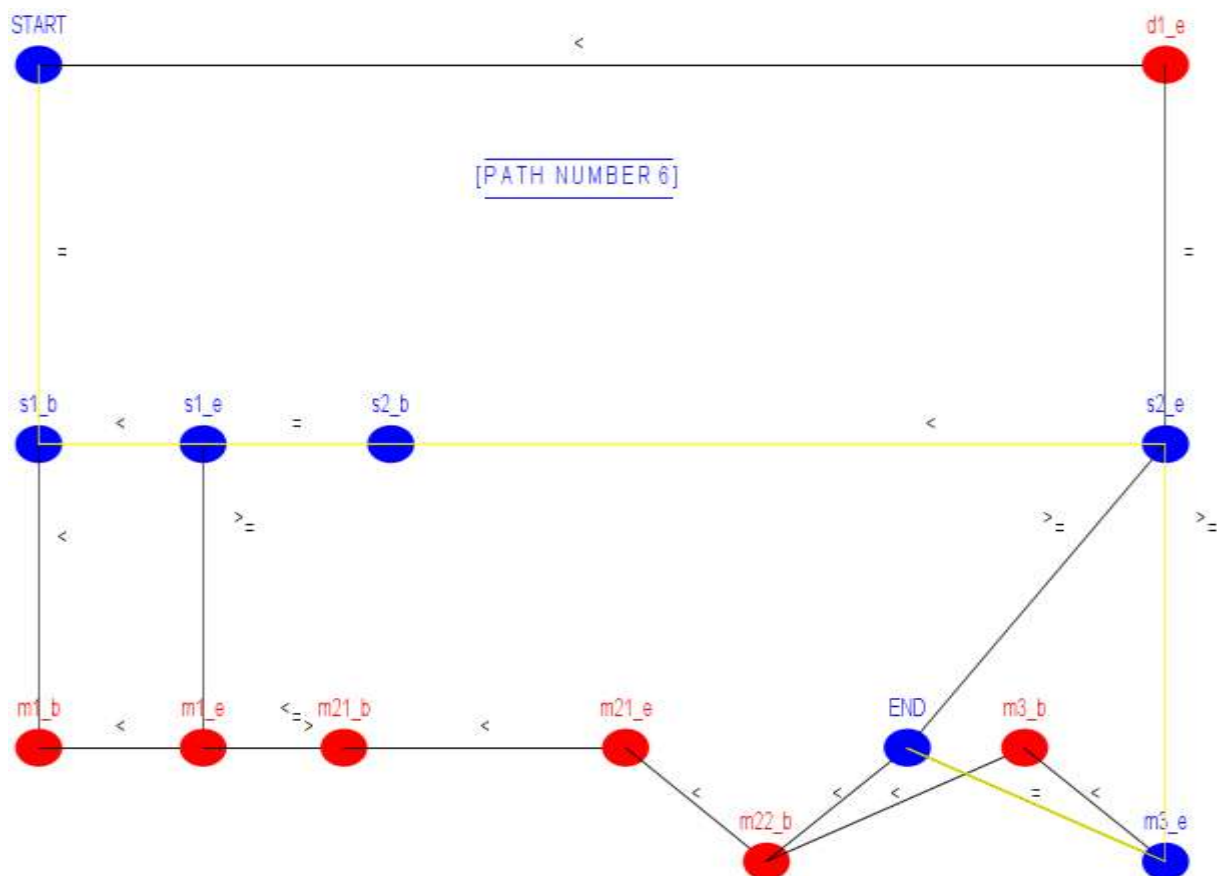
Path Number 4 - Εκτέλεση 1



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 5

Path Number: 5  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> s2\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s2\_b with id number 4 is related with events  
 -> s2\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s2\_e with id number 5 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 >  
 =  
 Event m22\_e with id number 13 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:**  
 Path Number 5 - Εκτέλεση 1



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 6

Path Number: 6

Event d1\_b with id number 0 is related with events  
-> s1\_b through the following temporal relations :

=

Event s1\_b with id number 2 is related with events  
-> s1\_e through the following temporal relations :

<

Event s1\_e with id number 3 is related with events  
-> s2\_b through the following temporal relations :

=

Event s2\_b with id number 4 is related with events  
-> s2\_e through the following temporal relations :

<

Event s2\_e with id number 5 is related with events  
-> m3\_e through the following temporal relations :

>

=

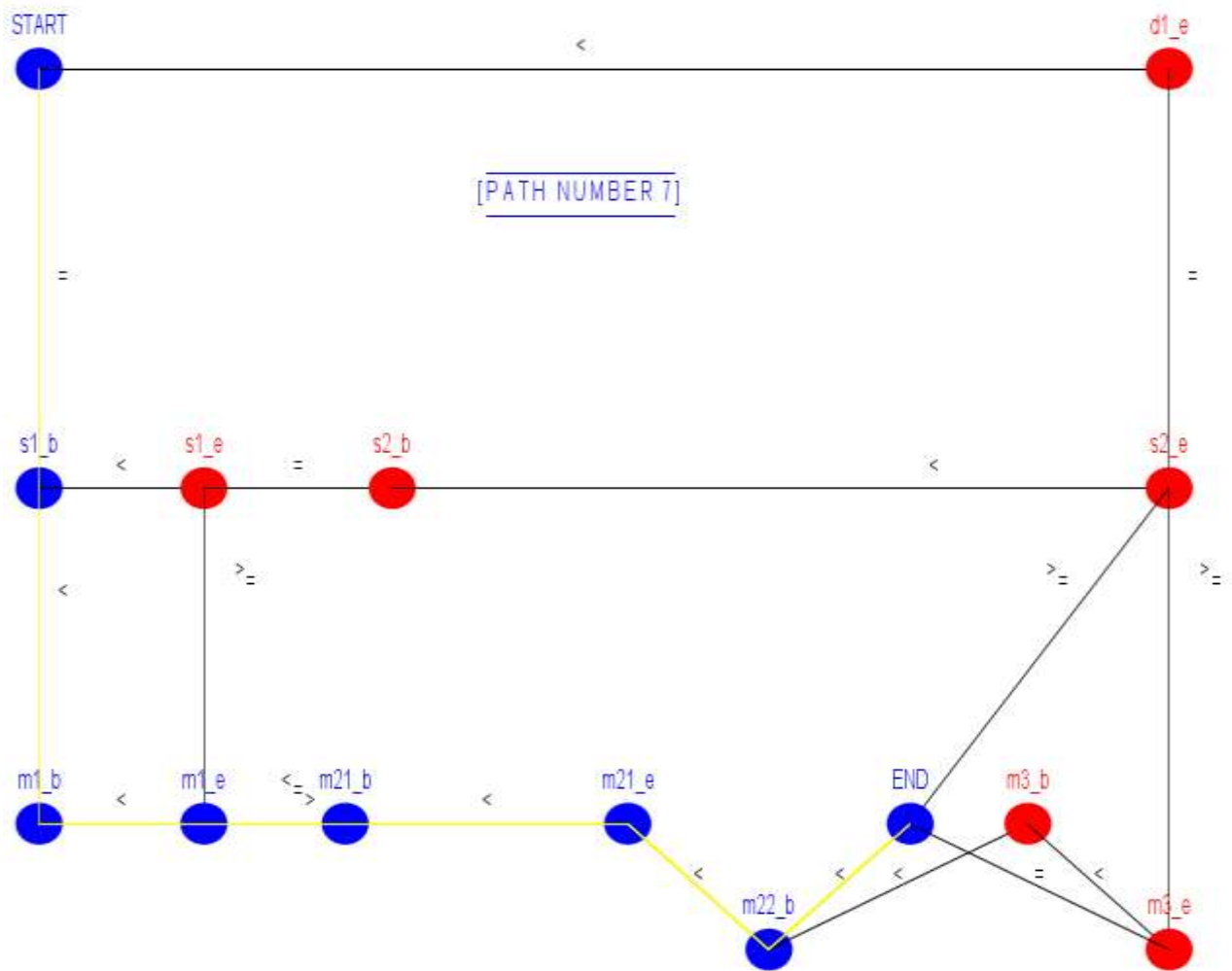
Event m3\_e with id number 12 is related with events  
-> m22\_e through the following temporal relations :

=

Event m22\_e with id number 13 is related with events  
-> empty through the following temporal relations :  
empty

**Σχήμα:**

Path Number 6 - Εκτέλεση 1

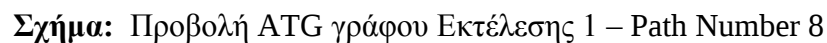


**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 1 – Path Number 7

Path Number: 7  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> m1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event m1\_b with id number 6 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m1\_e with id number 7 is related with events  
 -> m21\_b through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 >  
 Event m21\_b with id number 8 is related with events  
 -> m21\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m21\_e with id number 9 is related with events  
 -> m22\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event m22\_b with id number 10 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m22\_e with id number 13 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:**

Path Number 7 - Εκτέλεση 1



**Σχήμα:**  
Path Number 8 - Εκτέλεση 1

```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 4
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 5
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 6
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 7
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 8
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 13 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 1

|                       |       |  |     |
|-----------------------|-------|--|-----|
| [FINAL PATH NUMBER 1] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |
| [FINAL PATH NUMBER 2] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |
| [FINAL PATH NUMBER 3] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |
| [FINAL PATH NUMBER 4] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |
| [FINAL PATH NUMBER 5] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |
| [FINAL PATH NUMBER 6] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |
| [FINAL PATH NUMBER 7] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |
| [FINAL PATH NUMBER 8] |       |  | END |
| START                 | < = > |  |     |

**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 1

Consistency and satisfaction can be noticed !!  
The final relation of events produced could be  
1: <  
  
OR  
2: =  
  
OR  
3: >  
  
The time elapsed is 19.234716385 seconds ! !  
  
This is the end of the Program !!

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 1

## Εκτέλεση 2

Μορφή Αρχείου «input3.yml»:

d1\_b:

  d1\_e:

    value: ['<','>','=']

  s1\_b:

    value: ['=']

d1\_e:

  s2\_b:

    value: ['<']

s1\_b:

  s1\_e:

    value: ['>','=']

s1\_e:

  m1\_e:

    value: ['>','=']

s2\_b:

  s2\_e:

    value: ['=','>']

s2\_e:

  m1\_e:

    value: ['=']

m1\_e:

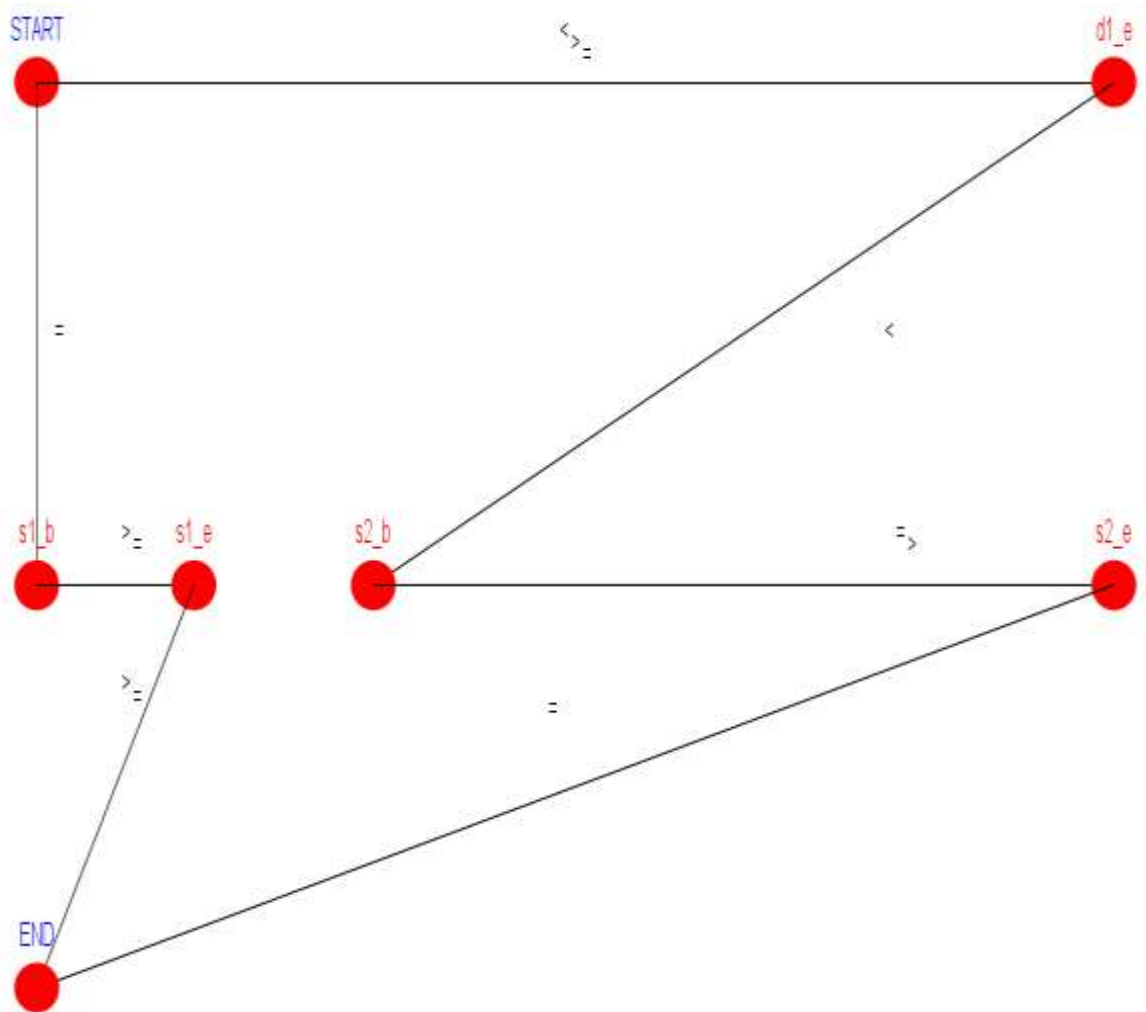
  empty:

    value: ['empty']

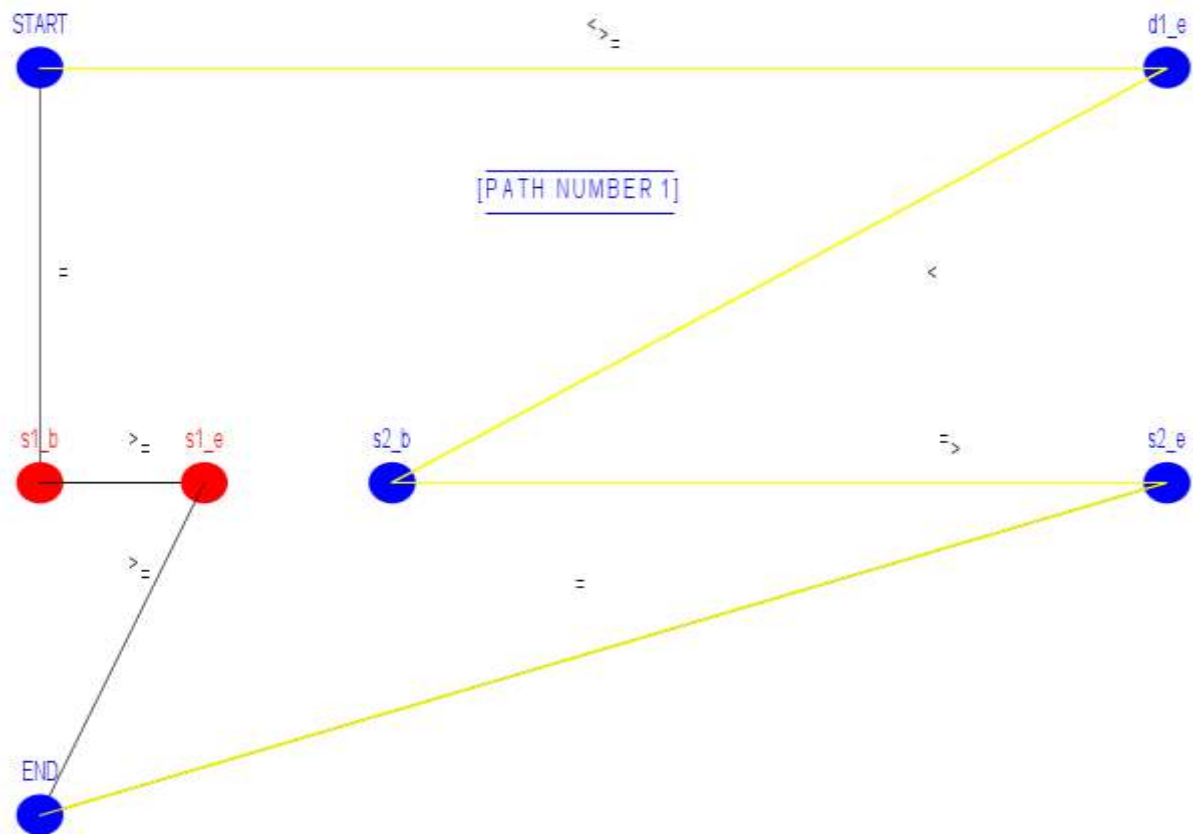
Μορφή terminal:

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:  
input3.yml  
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 2



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 2

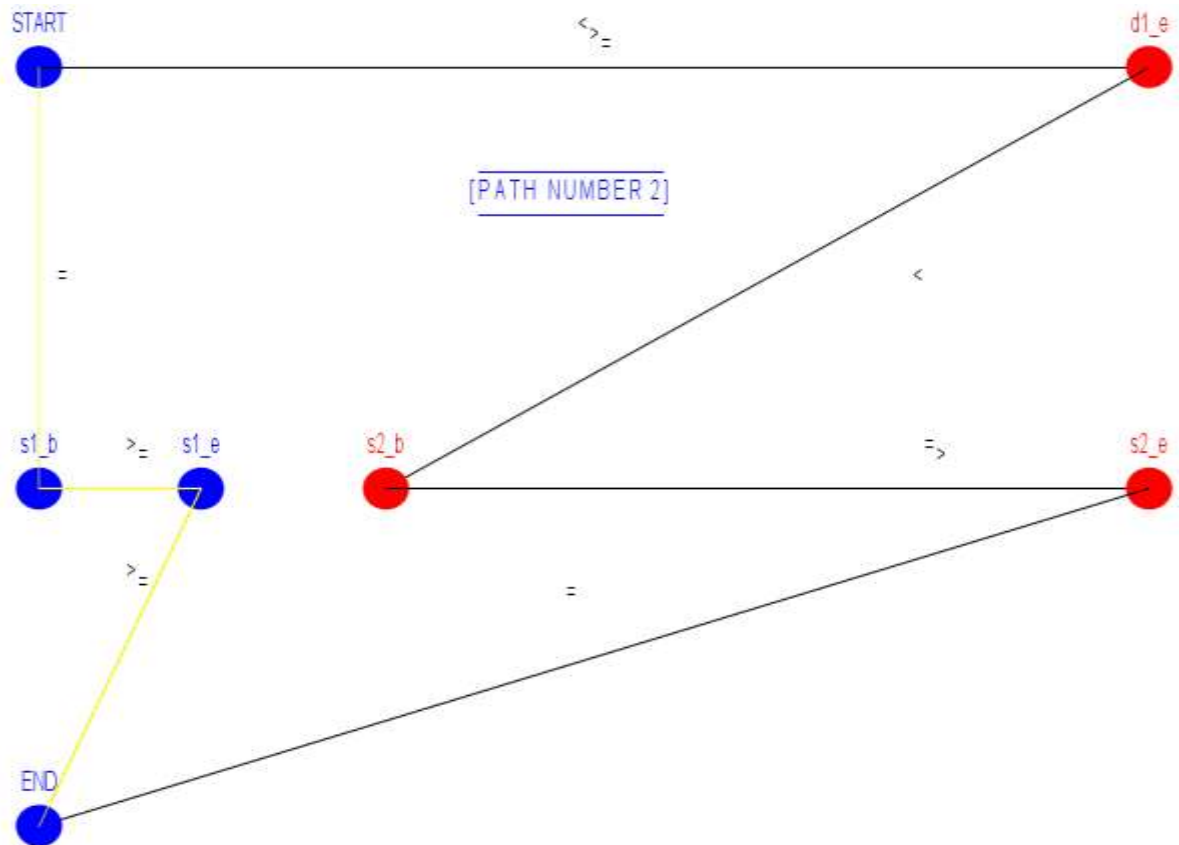


**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 2 – Path Number 1

```

Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> d1_e through the following temporal relations :
    <
    >
    =
Event d1_e with id number 1 is related with events
  -> s2_b through the following temporal relations :
    <
Event s2_b with id number 4 is related with events
  -> s2_e through the following temporal relations :
    =
    >
Event s2_e with id number 5 is related with events
  -> m1_e through the following temporal relations :
    =
Event m1_e with id number 6 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty
  
```

**Σχήμα:** Path Number 1 - Εκτέλεση 2



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 2 – Path Number 2

```

Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> s1_b through the following temporal relations :
=
Event s1_b with id number 2 is related with events
-> s1_e through the following temporal relations :
>
=
Event s1_e with id number 3 is related with events
-> m1_e through the following temporal relations :
>
=
Event m1_e with id number 6 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Path Number 2 - Εκτέλεση 2

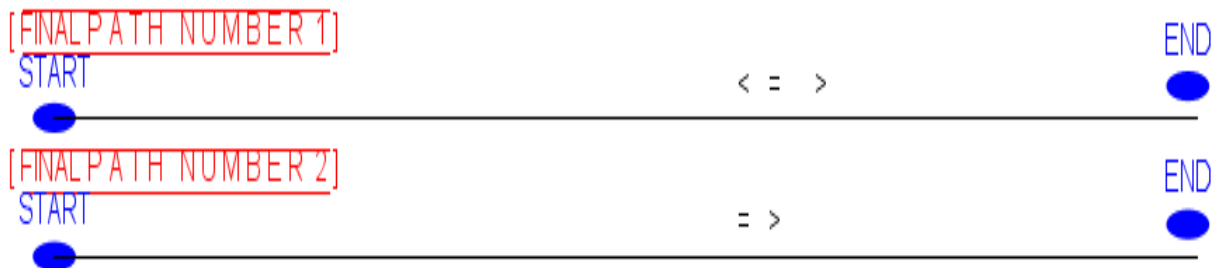
```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m1_e through the following temporal relations :
    <
    =
    >
Event m1_e with id number 6 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m1_e through the following temporal relations :
    =
    >
Event m1_e with id number 6 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 2



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 2

```

Consistency and satisfaction can be noticed !!
The final relation of events produced could be
1: =
    OR
2: >

The time elapsed is 8.352421576 seconds ! !

This is the end of the Program !!

```

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 2

### Εκτέλεση 3

Μορφή Αρχείου «input4.yml»:

d1\_b:

  d1\_e:

    value: ['<']

  s1\_b:

    value: ['=']

d1\_e:

  s1\_e:

    value: ['<']

s1\_b:

  s1\_e:

    value: ['<', '=']

s1\_e:

  empty:

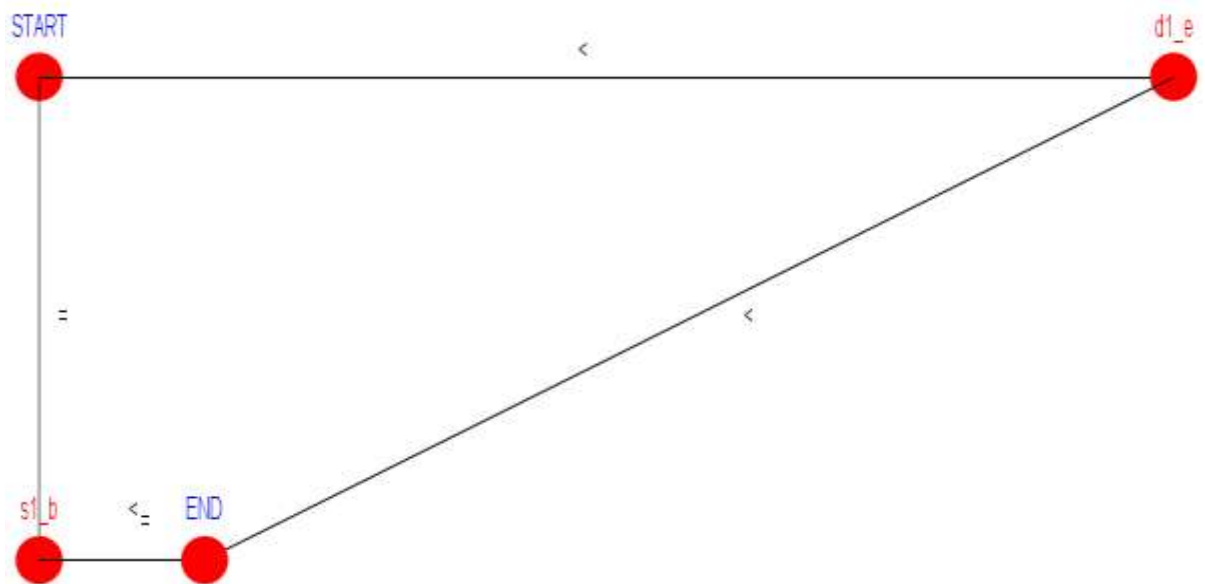
    value: ['empty']

Μορφή terminal:

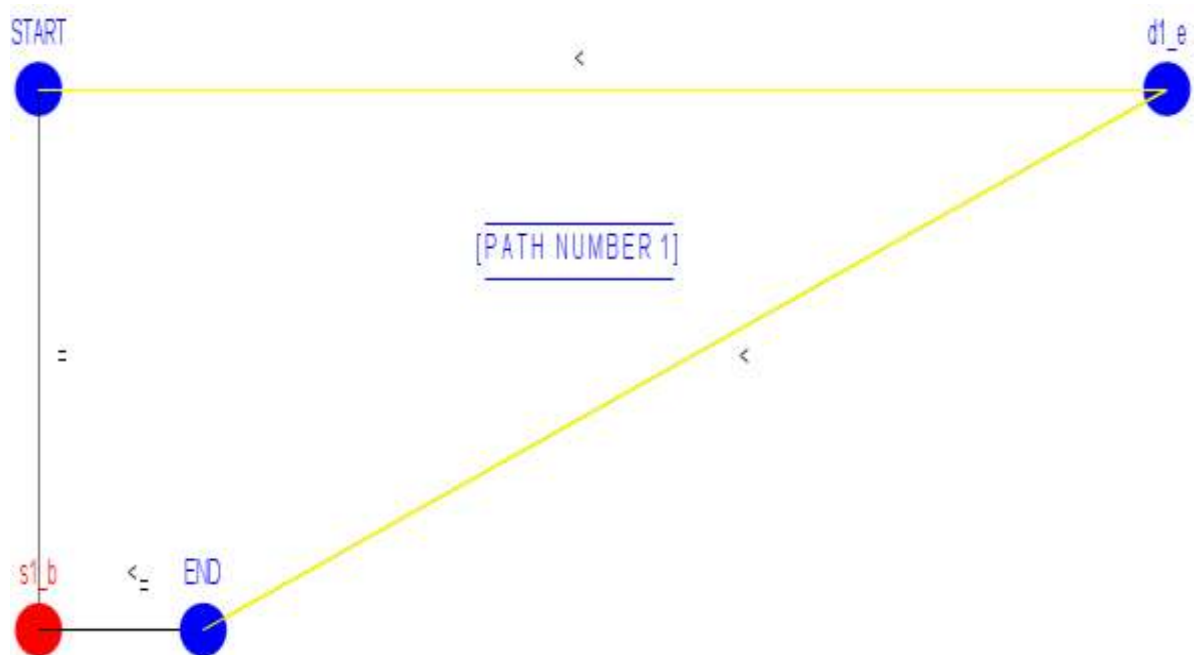
---

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
input4.yml
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 3



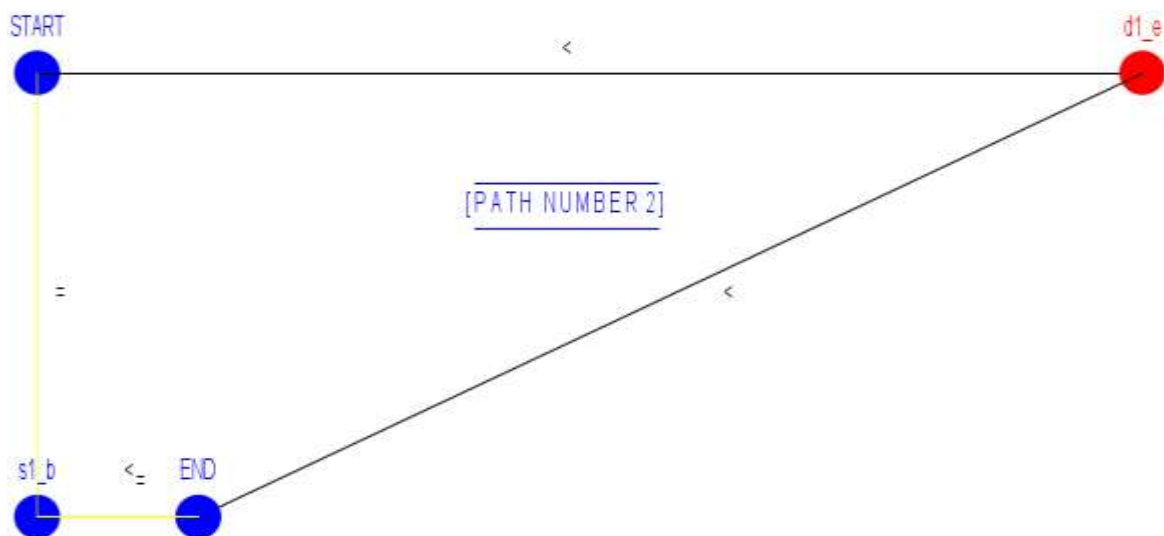
**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 3



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 3 – Path Number 1

Path Number: 1  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event d1\_e with id number 1 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:** Path Number 1 - Εκτέλεση 3



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 3– Path Number 2

Path Number: 2  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:** Path Number 2 - Εκτέλεση 3

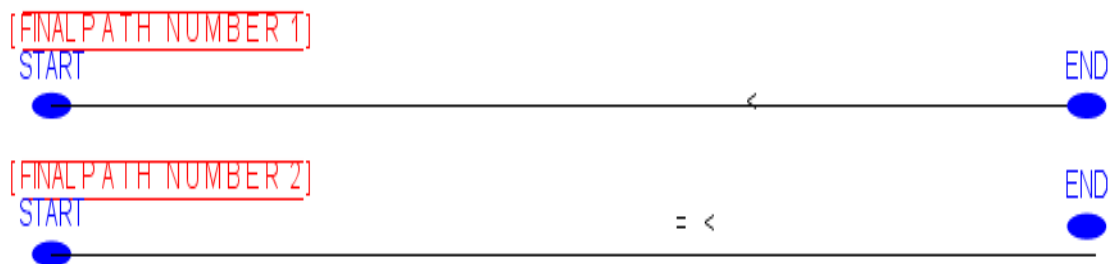
```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> s1_e through the following temporal relations :
<
Event s1_e with id number 3 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> s1_e through the following temporal relations :
=
<
Event s1_e with id number 3 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 3



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 3

```

Consistency and satisfaction can be noticed !!
The final relation of events produced could be
1: <

The time elapsed is 9.197946912 seconds ! !

This is the end of the Program !!

```

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 3

## Εκτέλεση 4

Μορφή Αρχείου «input5.yml»:

d1\_b:

  d1\_e:

    value: ['=']

  s1\_b:

    value: ['<']

  m1\_b:

    value: ['=']

m1\_b:

  m1\_e:

    value: ['>']

s1\_b:

  s1\_e:

    value: ['<']

s1\_e:

  m1\_b:

    value: ['>']

m1\_e:

  d1\_e:

    value: ['<','=']

  m2\_b:

    value: ['>','=']

m2\_b:

  m2\_e:

    value: ['<','=','>']

m2\_e:

d1\_e:

value: ['<']

d1\_e:

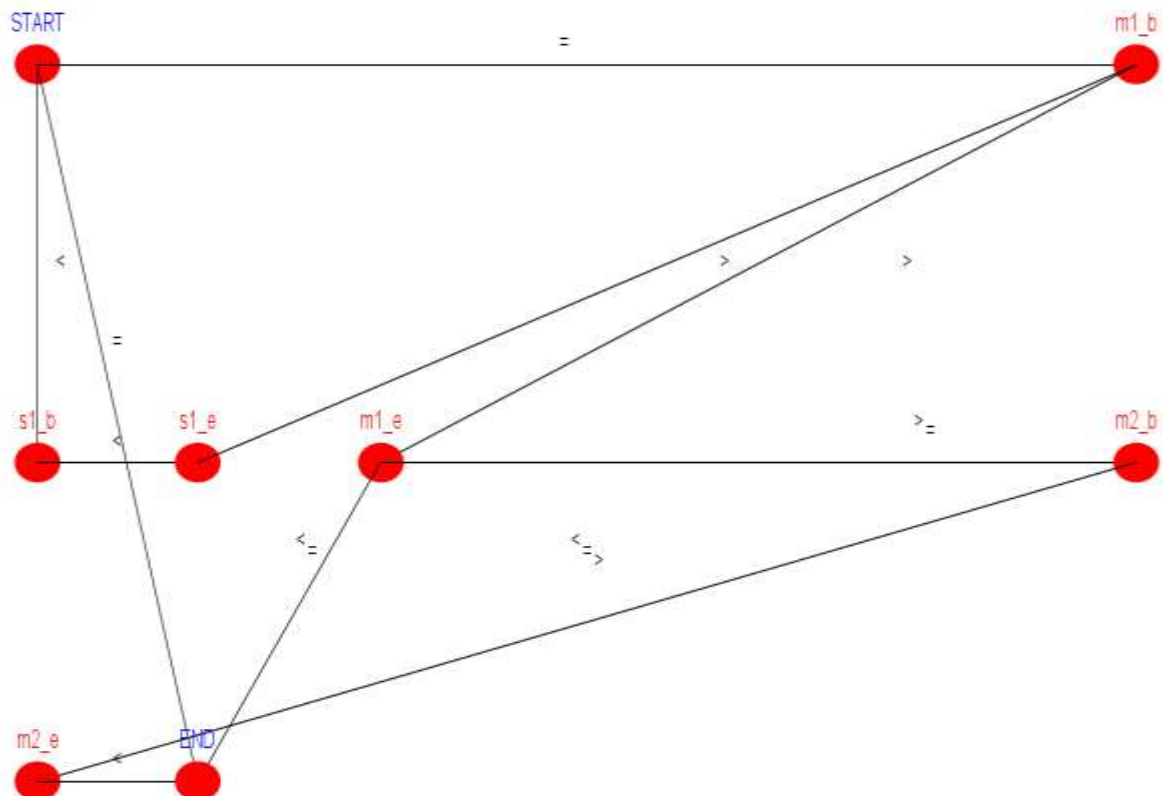
empty:

value: ['empty']

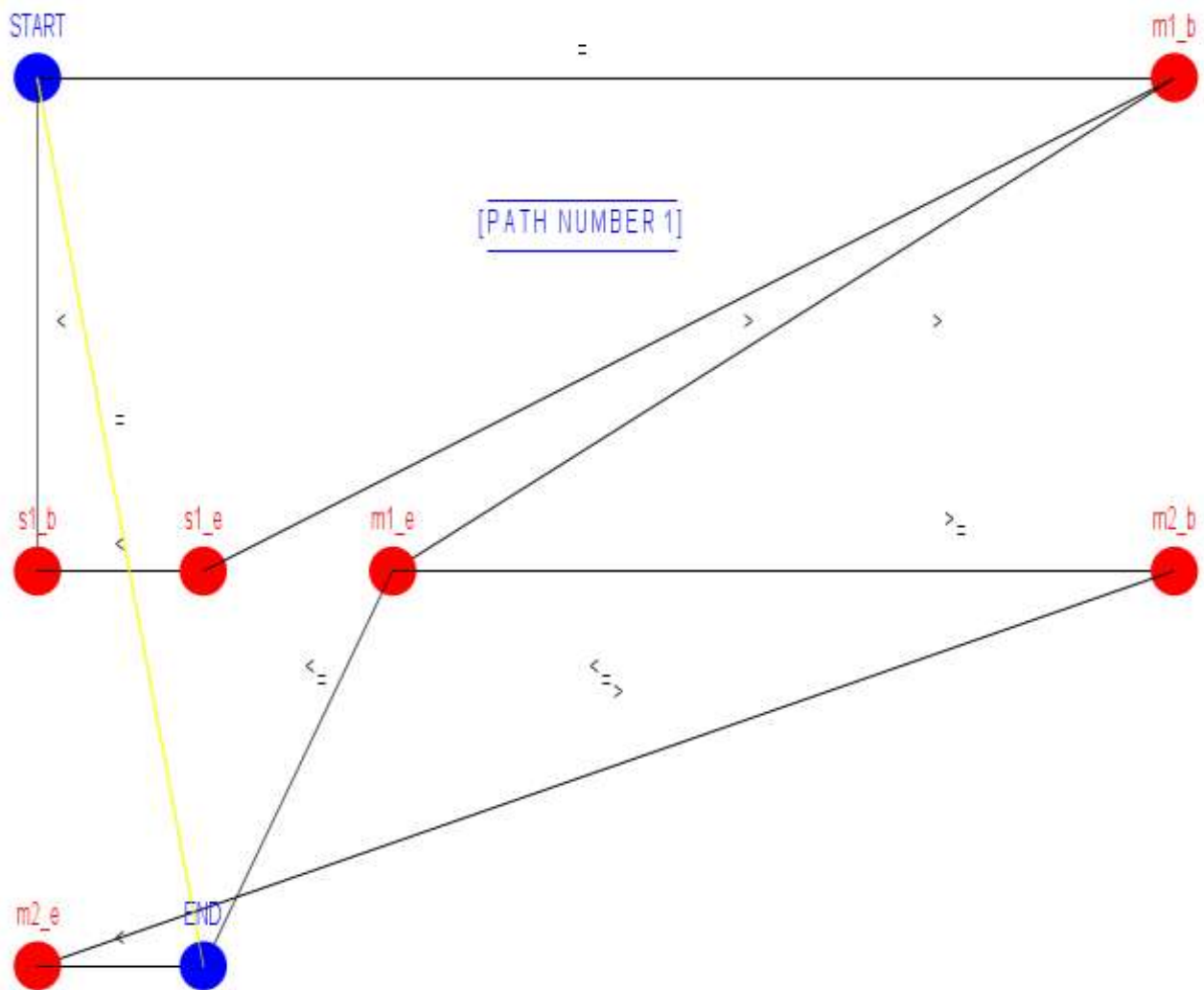
Μορφή terminal:

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:  
input5.yml  
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 4



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 4



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 4– Path Number 1

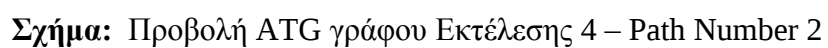
```

Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
=
Event d1_e with id number 7 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

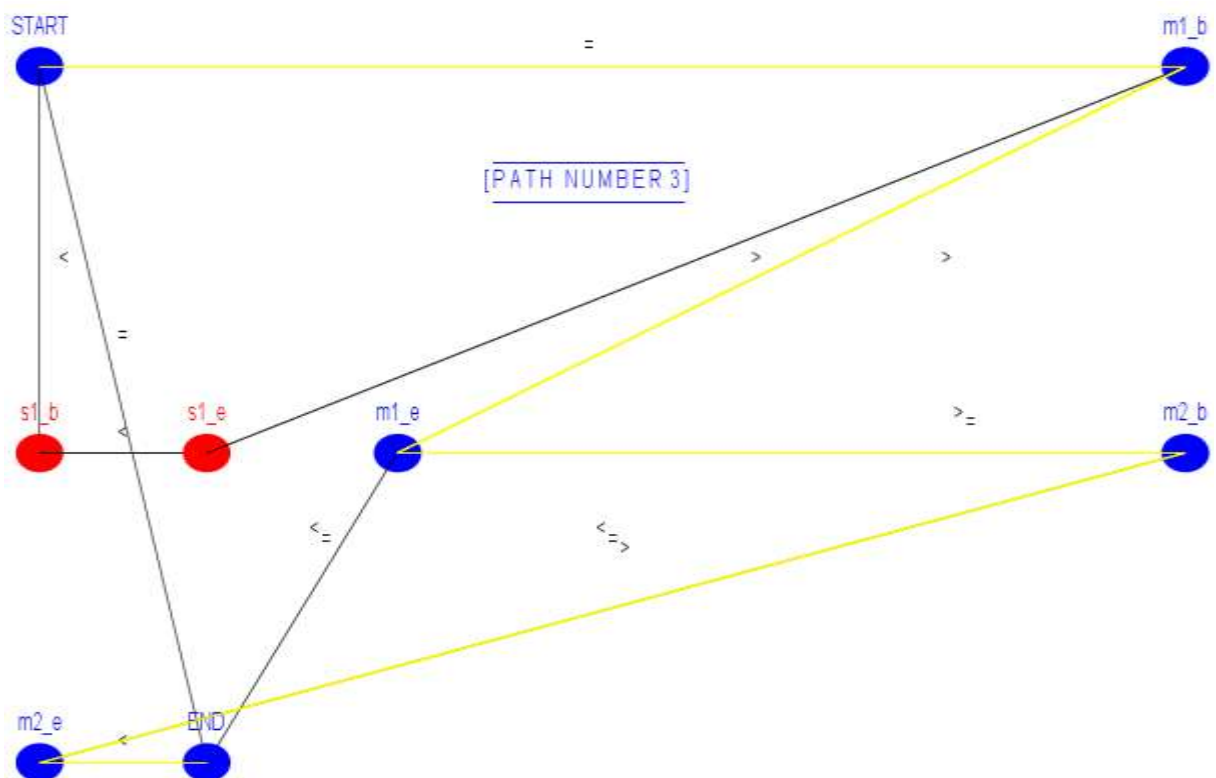
**Σχήμα:** Path Number 1 - Εκτέλεση 4

**Σχήμα:** Path Number 2 - Εκτέλεση 4



Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> m1\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event m1\_b with id number 1 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event m1\_e with id number 4 is related with events  
 -> m2\_b through the following temporal relations :  
 >  
 =  
 Event m2\_b with id number 5 is related with events  
 -> m2\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 >  
 Event m2\_e with id number 6 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event d1\_e with id number 7 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

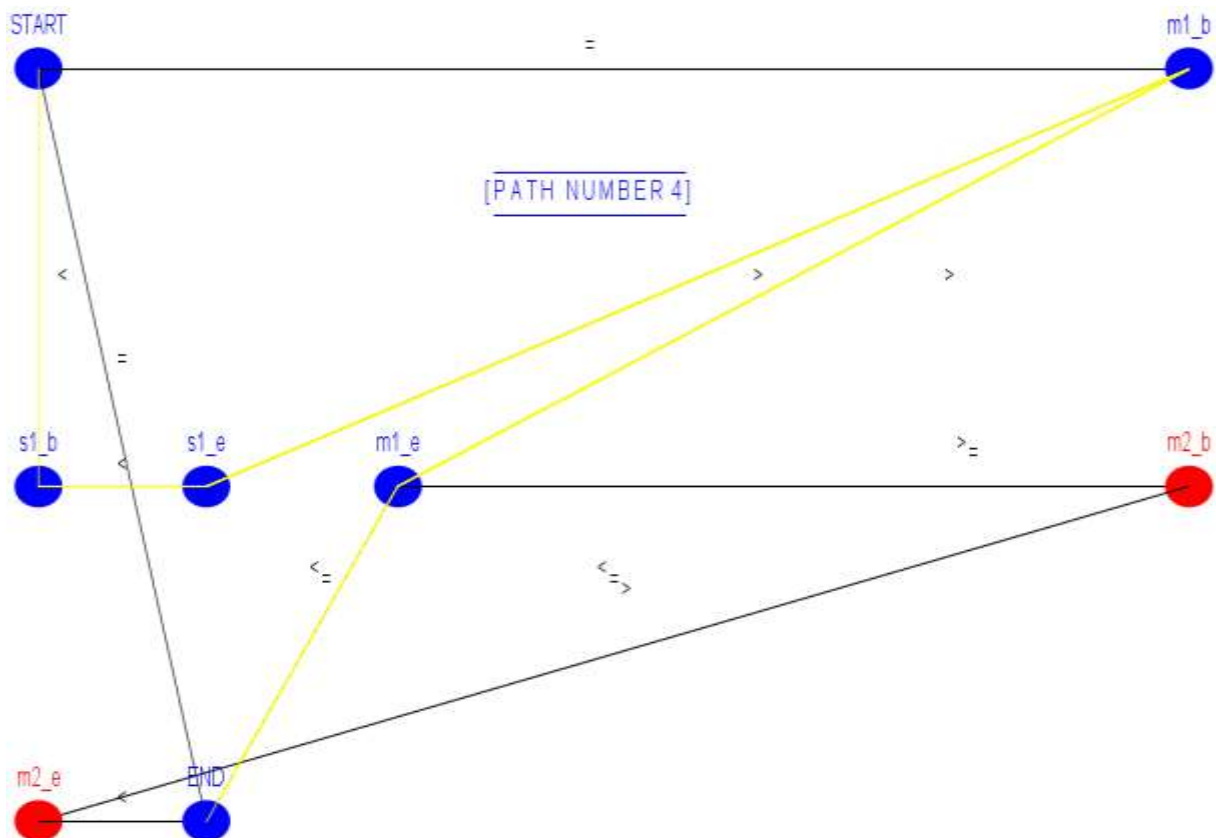
**Σχήμα:** Path Number 3 - Εκτέλεση 4



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 4 – Path Number 3

Path Number: 4  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> m1\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event m1\_b with id number 1 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event m1\_e with id number 4 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event d1\_e with id number 7 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

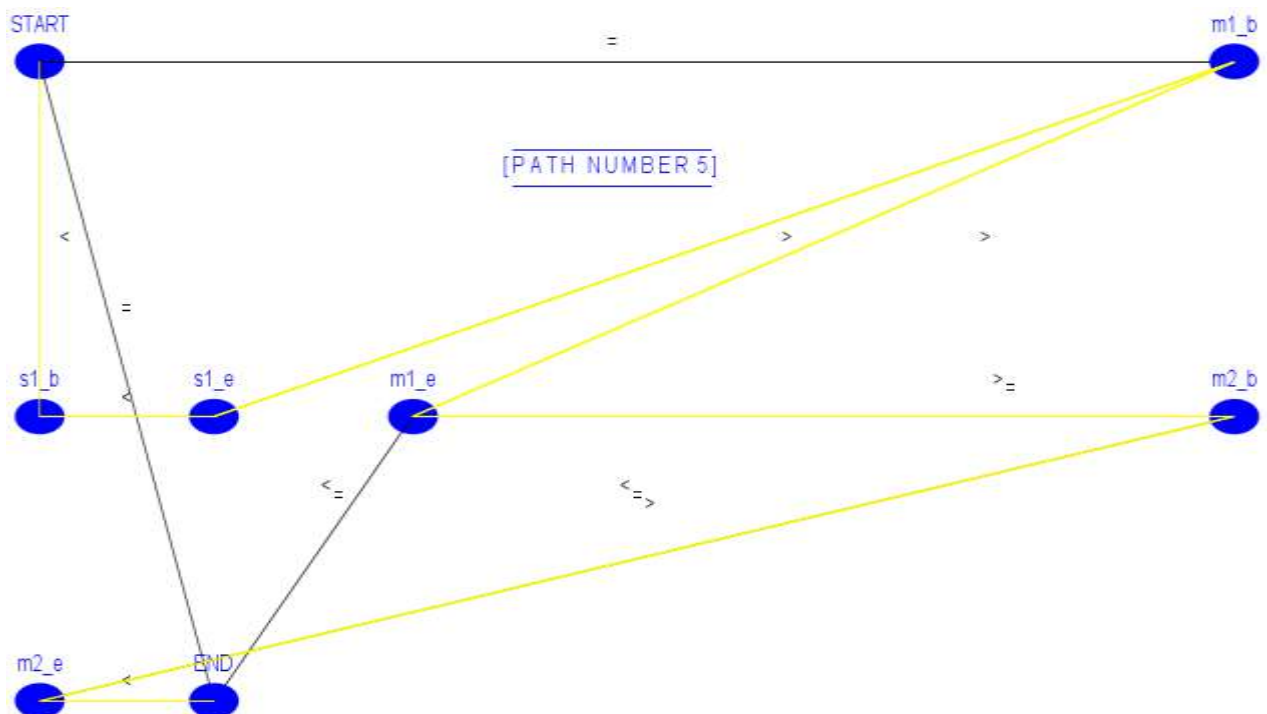
**Σχήμα:** Path Number 4 - Εκτέλεση 4



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 4 – Path Number 4

Path Number: 5  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> m1\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event m1\_b with id number 1 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event m1\_e with id number 4 is related with events  
 -> m2\_b through the following temporal relations :  
 >  
 =  
 Event m2\_b with id number 5 is related with events  
 -> m2\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 >  
 Event m2\_e with id number 6 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event d1\_e with id number 7 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:** Path Number 5 - Εκτέλεση 4



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 4 – Path Number 5

```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
=
Event d1_e with id number 7 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event d1_e with id number 7 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

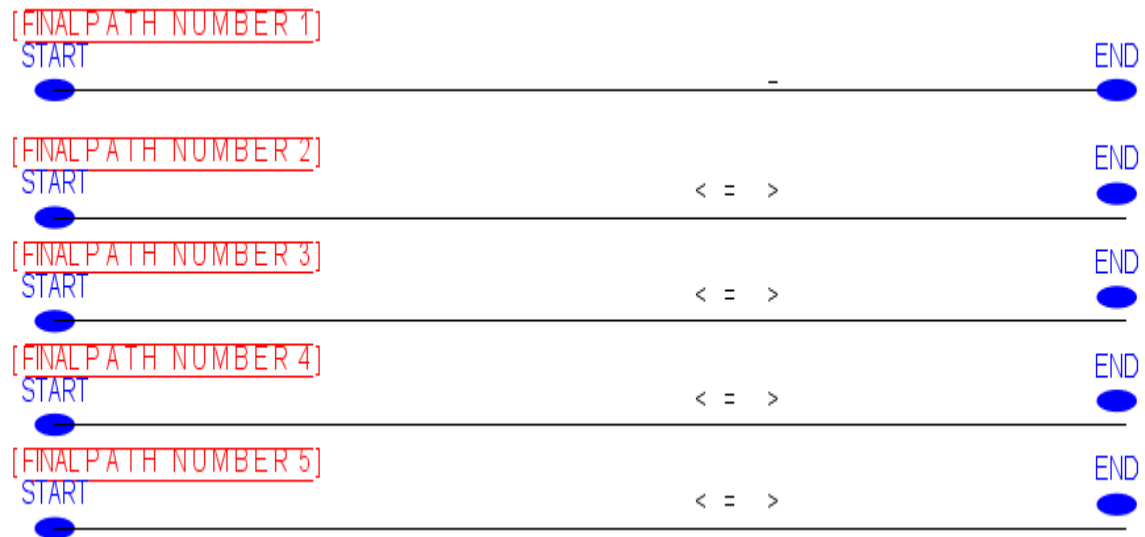
Final -> Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event d1_e with id number 7 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 4
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event d1_e with id number 7 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 5
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event d1_e with id number 7 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 4



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 4

```
Consistency and satisfaction can be noticed !!
The final relation of events produced could be
1: =

The time elapsed is 13.848272614 seconds ! !

This is the end of the Program !!
```

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 4

## Εκτέλεση 5

Μορφή Αρχείου «input6.yml»:

```
d1_b:
  d1_e:
    value: ['<']
  s1_b:
    value: ['<','=']
```

s2\_b:  
value: ['=']

d1\_e:  
empty:  
value: ['empty']

s1\_b:  
s1\_e:  
value: ['=']

s1\_e:  
m1\_b:  
value: ['>']

m1\_b:  
d1\_e:  
value: ['=']

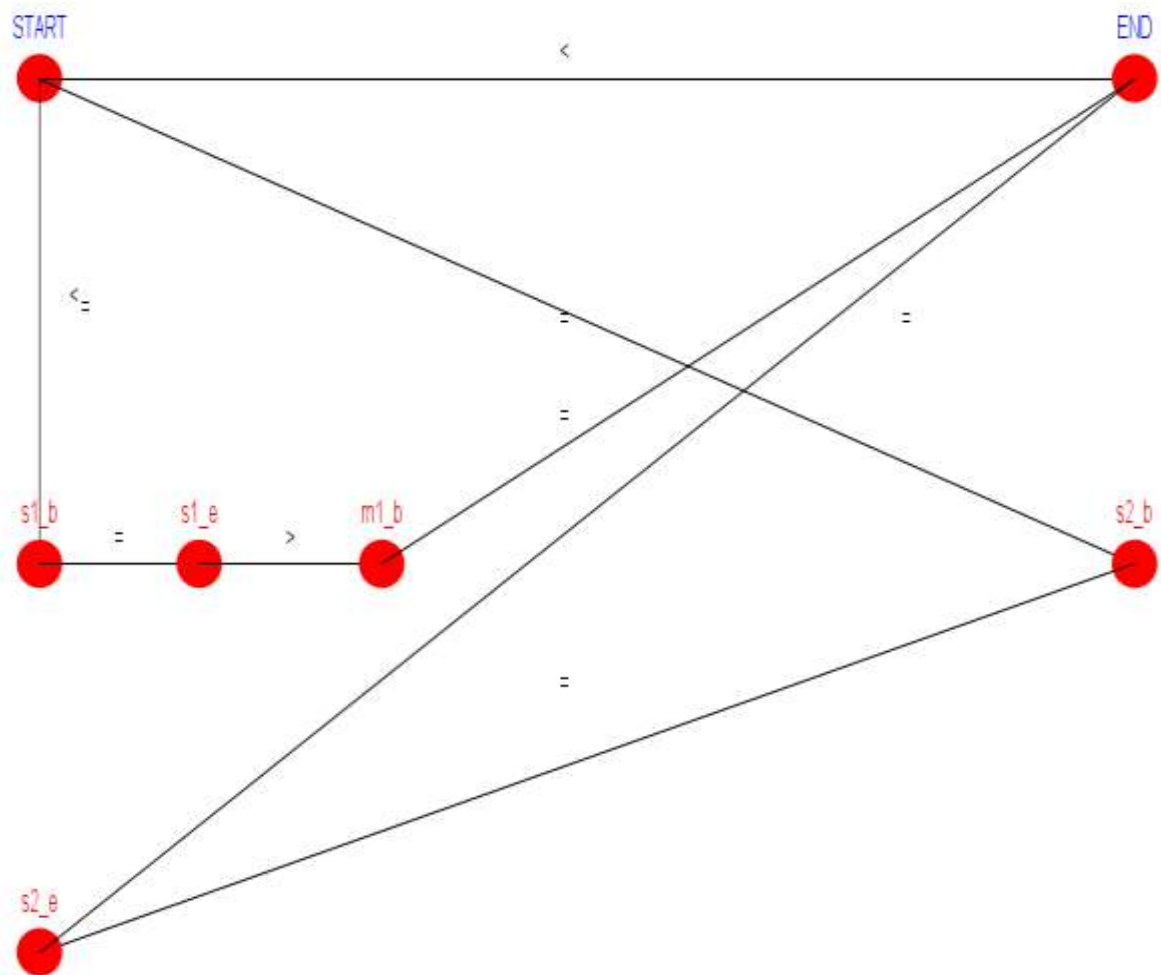
s2\_b:  
s2\_e:  
value: ['=']

s2\_e:  
d1\_e:  
value: ['=']

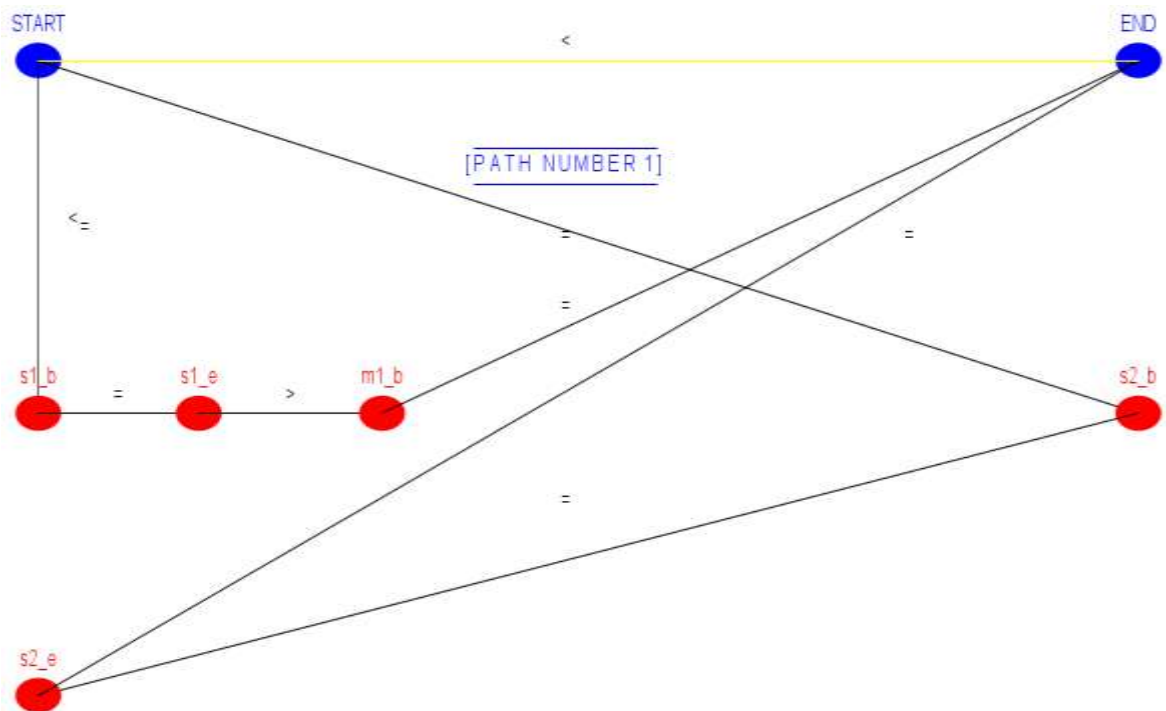
Μορφή terminal:

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml|
input6.yml
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 5



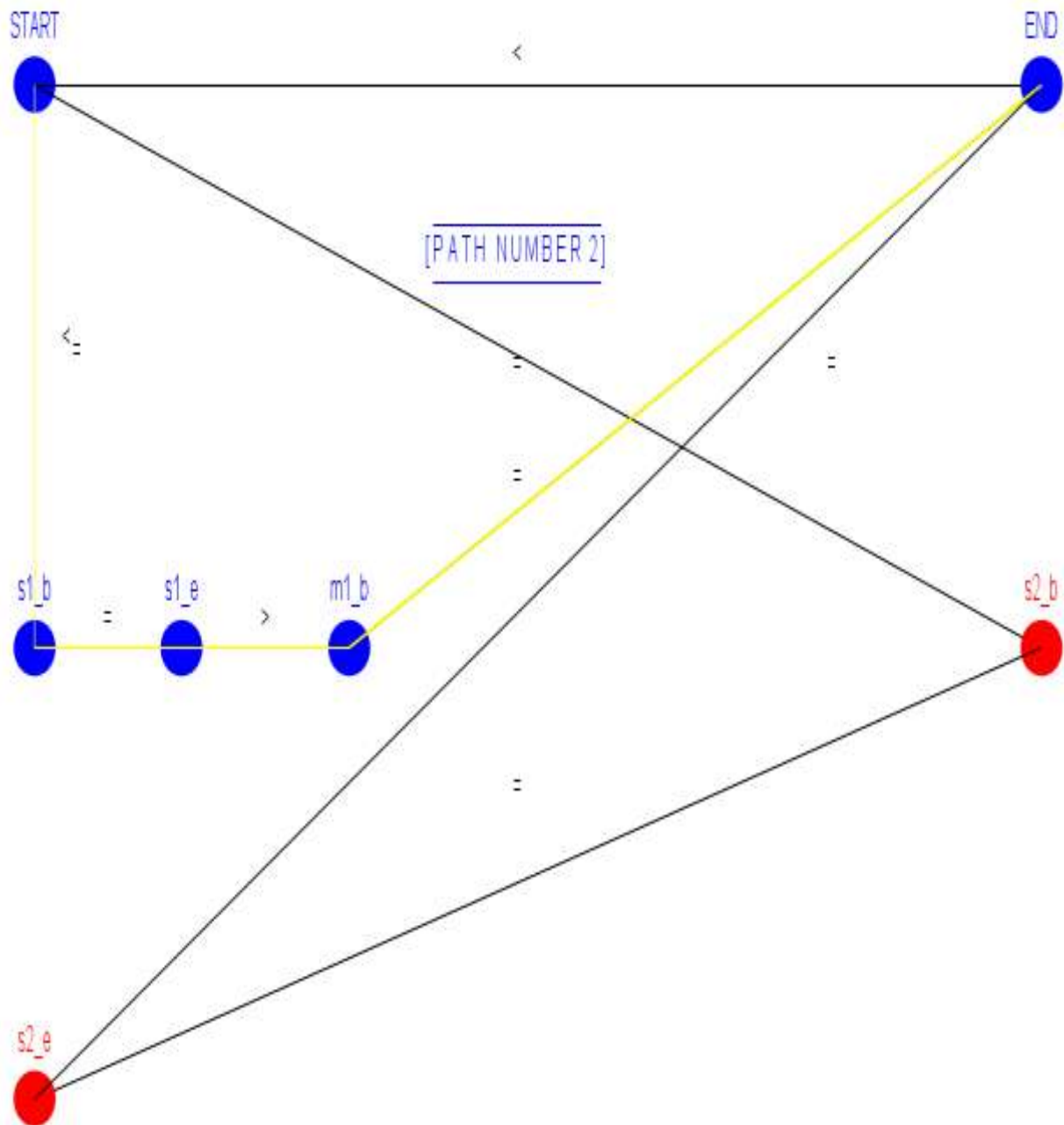
**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 5



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 5 – Path Number 1

Path Number: 1  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event d1\_e with id number 6 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

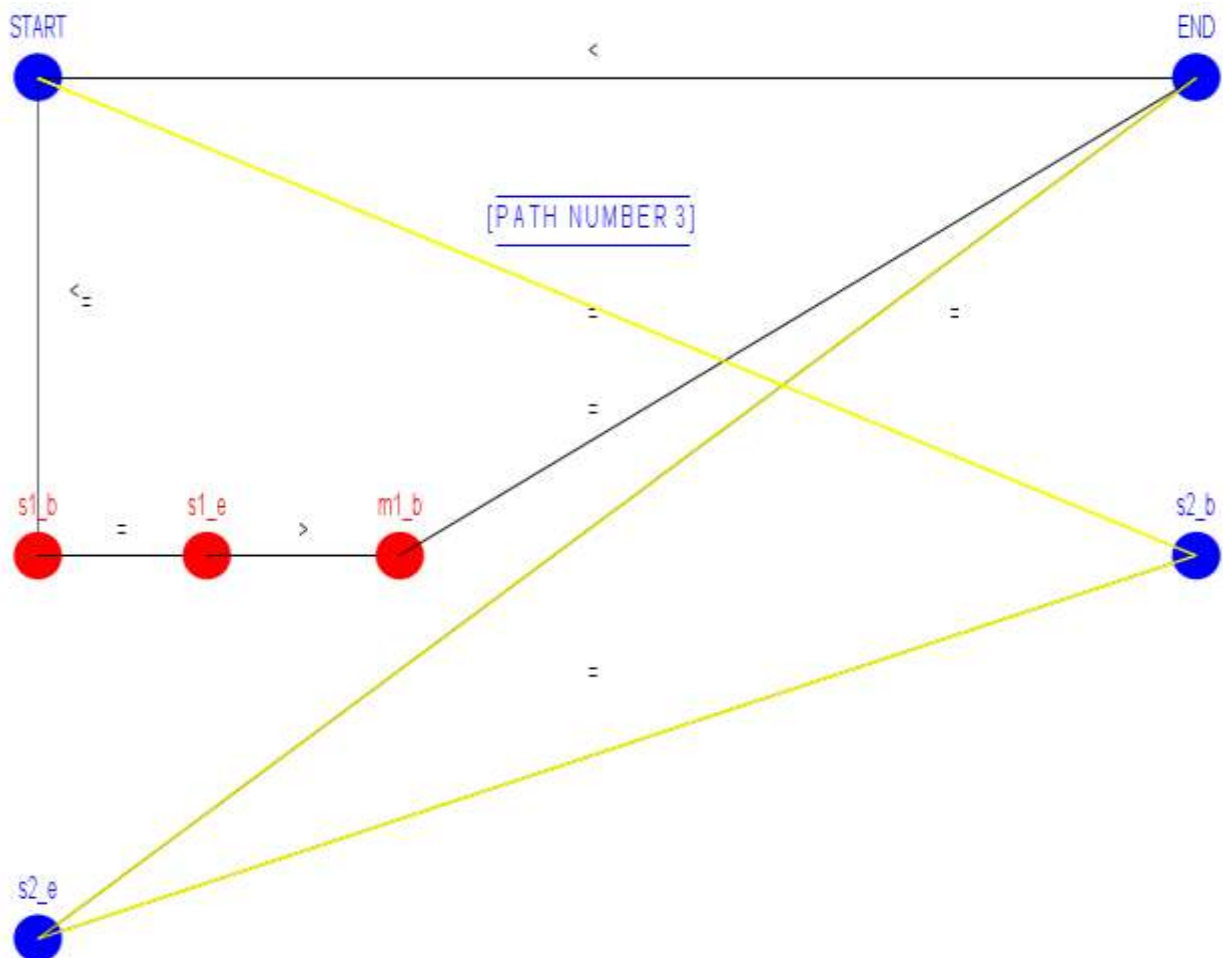
**Σχήμα:** Path Number 1 - Εκτέλεση 5



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 5 – Path Number 2

Path Number: 2  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event s1\_b with id number 1 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event s1\_e with id number 2 is related with events  
 -> m1\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event m1\_b with id number 3 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d1\_e with id number 6 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:** Path Number 2 - Εκτέλεση 5



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 5 – Path Number 3

Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
     -> s2\_b through the following temporal relations :  
     =  
 Event s2\_b with id number 4 is related with events  
     -> s2\_e through the following temporal relations :  
     =  
 Event s2\_e with id number 5 is related with events  
     -> d1\_e through the following temporal relations :  
     =  
 Event d1\_e with id number 6 is related with events  
     -> empty through the following temporal relations :  
     empty

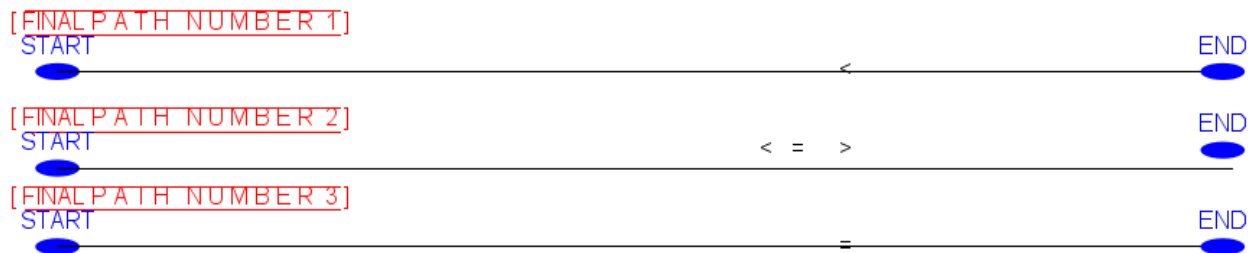
**Σχήμα:** Path Number 3 - Εκτέλεση 5

Final -> Path Number: 1  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
     -> d1\_e through the following temporal relations :  
     <  
 Event d1\_e with id number 6 is related with events  
     -> empty through the following temporal relations :  
     empty

Final -> Path Number: 2  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
     -> d1\_e through the following temporal relations :  
     <|  
     =  
     >  
 Event d1\_e with id number 6 is related with events  
     -> empty through the following temporal relations :  
     empty

Final -> Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
     -> d1\_e through the following temporal relations :  
     =  
 Event d1\_e with id number 6 is related with events  
     -> empty through the following temporal relations :  
     empty

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 5



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 5

```
Inconsistency !! There is no satisfaction !!  
The time elapsed is 9.527342177 seconds ! !  
This is the end of the Program !!
```

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 5

## Εκτέλεση 6

Μορφή Αρχείου «input7.yml»:

```
d1_b:  
  d1_e:  
    value: ['=']  
  s1_b:  
    value: ['>']
```

```
s1_b:  
  s1_e:  
    value: ['>']  
  s2_b:  
    value: ['>']
```

```
s2_b:  
  s1_e:  
    value: ['>']
```

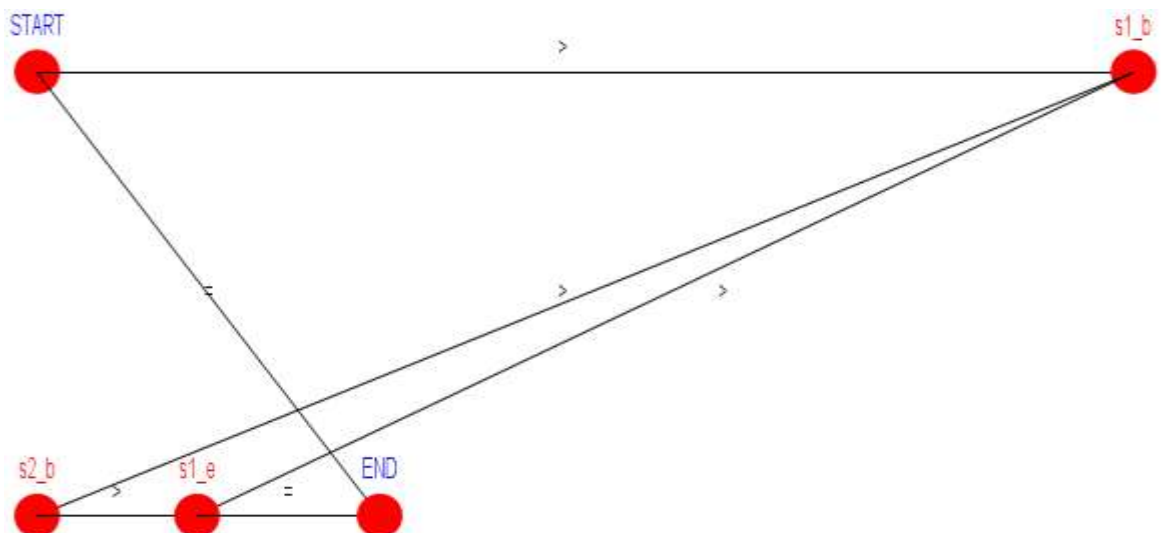
```
s1_e:  
  d1_e:  
    value: ['=']
```

d1\_e:  
empty:  
value: ['empty']

Μορφή terminal:

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:  
input7.yml  
APODOXI ARXEIOU!!
```

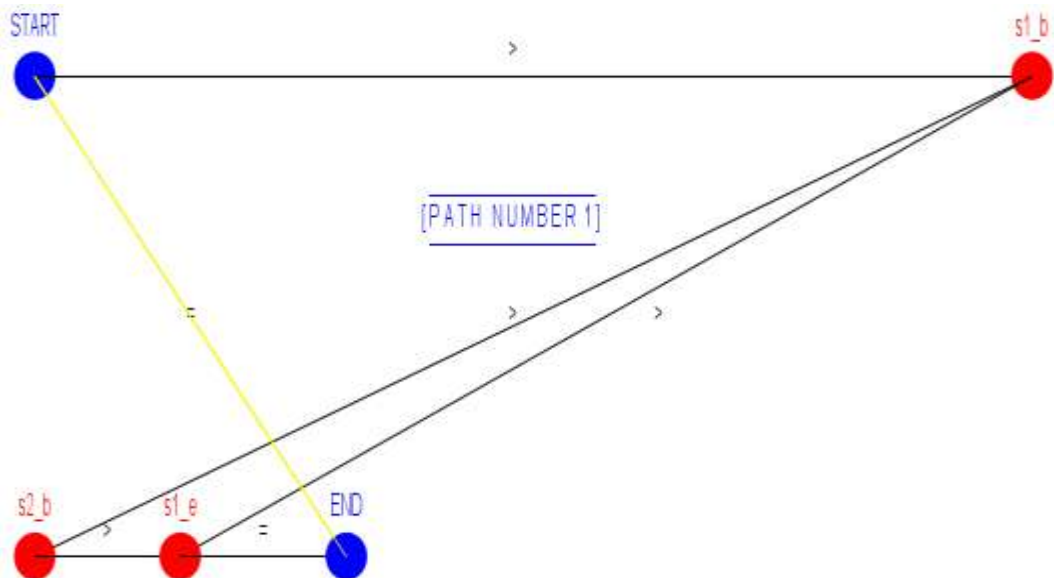
**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 6



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 6

```
Path Number: 1  
Event d1_b with id number 0 is related with events  
-> d1_e through the following temporal relations :  
=  
Event d1_e with id number 4 is related with events  
-> empty through the following temporal relations :  
empty
```

**Σχήμα:** Path Number 1 - Εκτέλεση 6



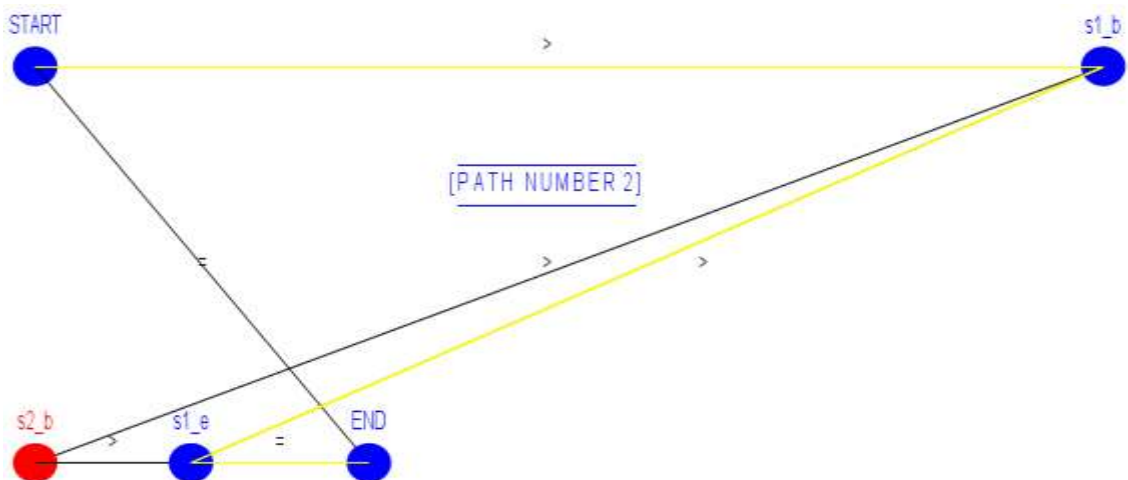
**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 6 – Path Number 1

```

Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> s1_b through the following temporal relations :
>
Event s1_b with id number 1 is related with events
-> s1_e through the following temporal relations :
>
Event s1_e with id number 3 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
=
Event d1_e with id number 4 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Path Number 2 - Εκτέλεση 6



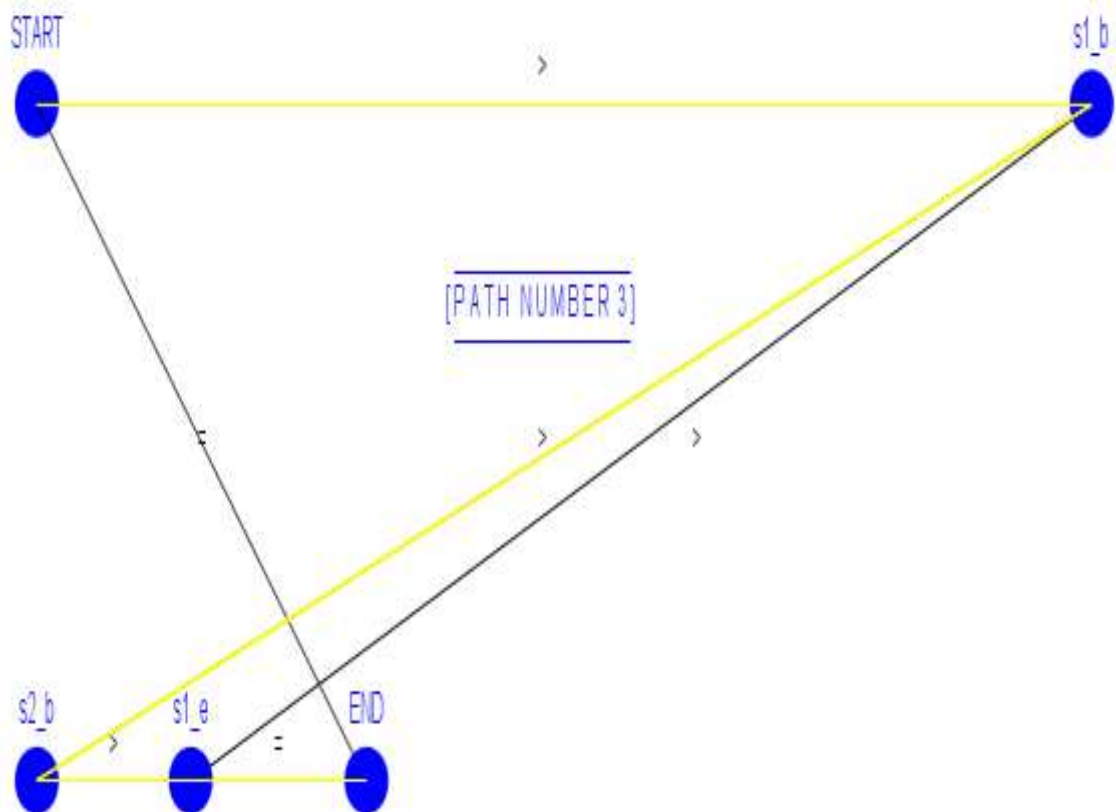
**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 6 – Path Number 2

```

Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> s1_b through the following temporal relations :
>
Event s1_b with id number 1 is related with events
-> s2_b through the following temporal relations :
>
Event s2_b with id number 2 is related with events
-> s1_e through the following temporal relations :
>
Event s1_e with id number 3 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
=
Event d1_e with id number 4 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Path Number 3 - Εκτέλεση 6



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 6 – Path Number 3

```

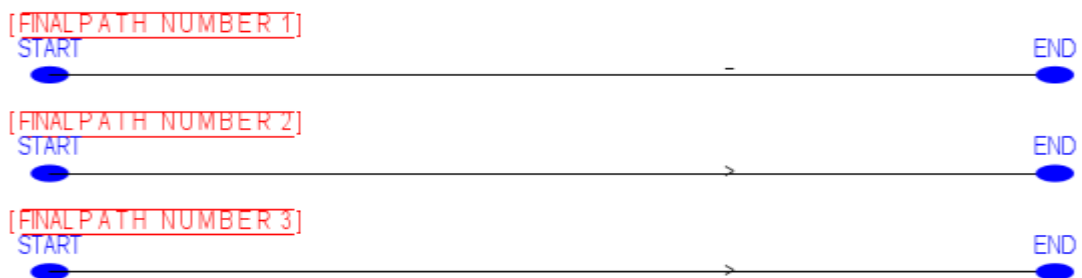
Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
=
Event d1_e with id number 4 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
>|
Event d1_e with id number 4 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
>
Event d1_e with id number 4 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 6



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 6

Inconsistency !! There is no satisfaction !!

The time elapsed is 8.429472002 seconds ! !

This is the end of the Program !!

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 6

## Εκτέλεση 7

Μορφή Αρχείου «input8.yml»:

d1\_b:

  d1\_e:

    value: ['=']

  s1\_b:

    value: ['<']

d1\_e:

  s2\_e:

    value: ['<', '=']

s1\_b:

  s1\_e:

    value: ['<', '=']

  m1\_b:

    value: ['<']

s1\_e:

  m1\_e:

    value: ['<']

  s2\_b:

    value: ['=']

s2\_b:

  s2\_e:

    value: ['<']

s2\_e:

  m22\_e:

    value: ['<', '=']

```
m1_b:
  m1_e:
    value: ['<']

m1_e:
  m21_b:
    value: ['<']

m21_b:
  m21_e:
    value: ['=']

m21_e:
  m22_b:
    value: ['=']

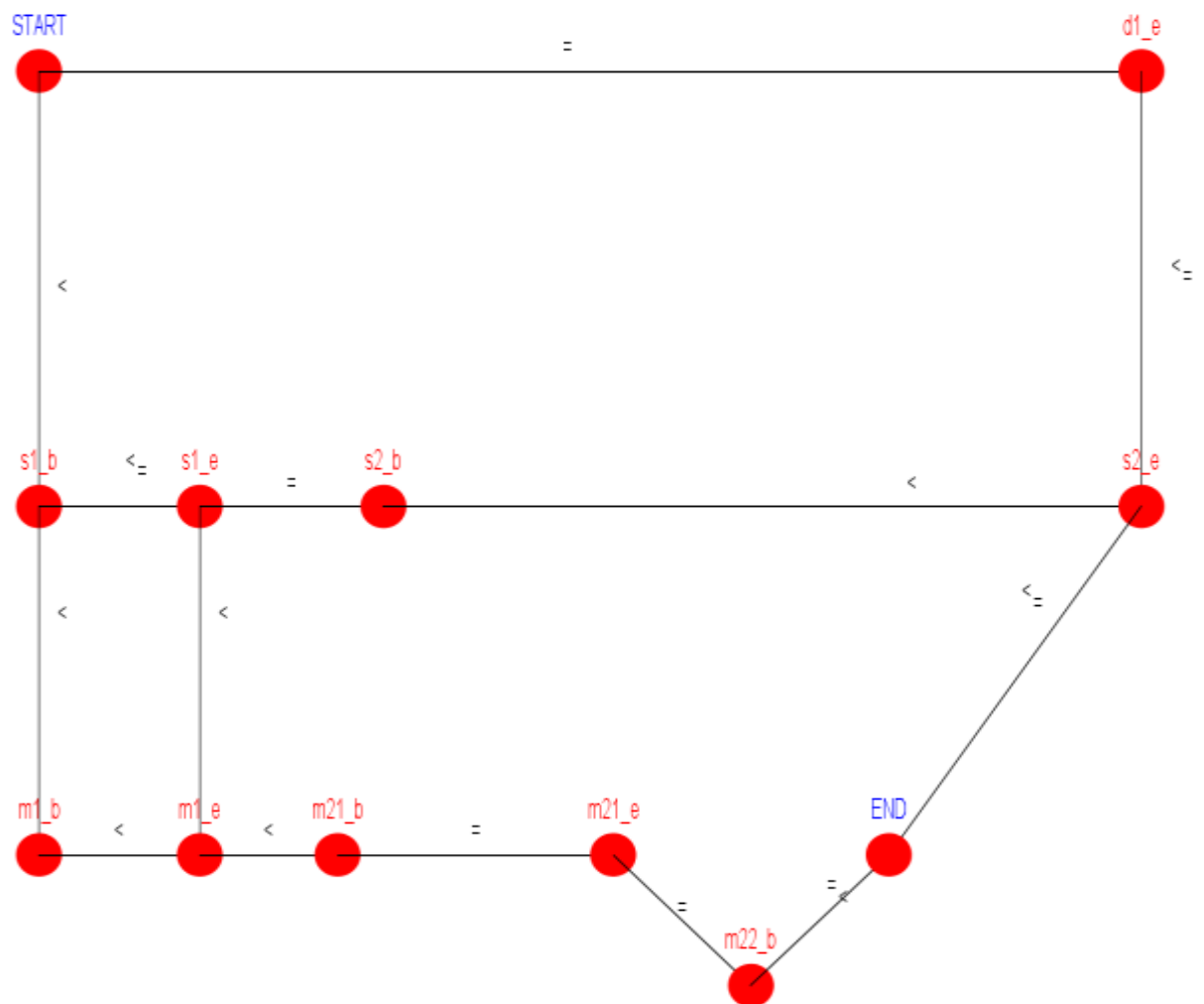
m22_b:
  m22_e:
    value: ['=', '<']

m22_e:
  empty:
    value: ['empty']
```

Μορφή terminal:

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:|
input8.yml
APODOXI ARXEIOU!!
```

**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 7



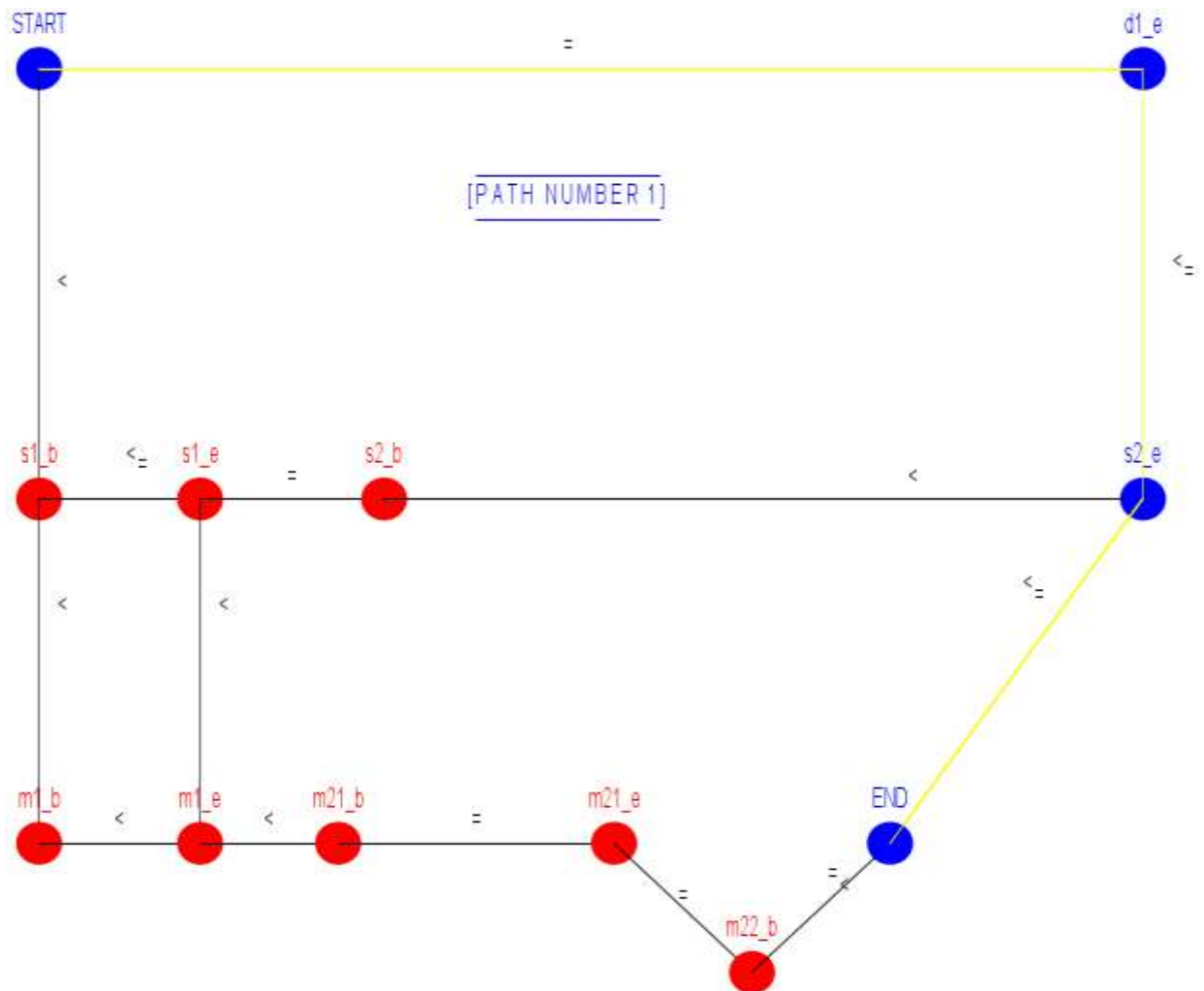
**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 7

```

Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
=
Event d1_e with id number 1 is related with events
-> s2_e through the following temporal relations :
<
=
Event s2_e with id number 5 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
Event m22_e with id number 11 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Path Number 1 - Εκτέλεση 7

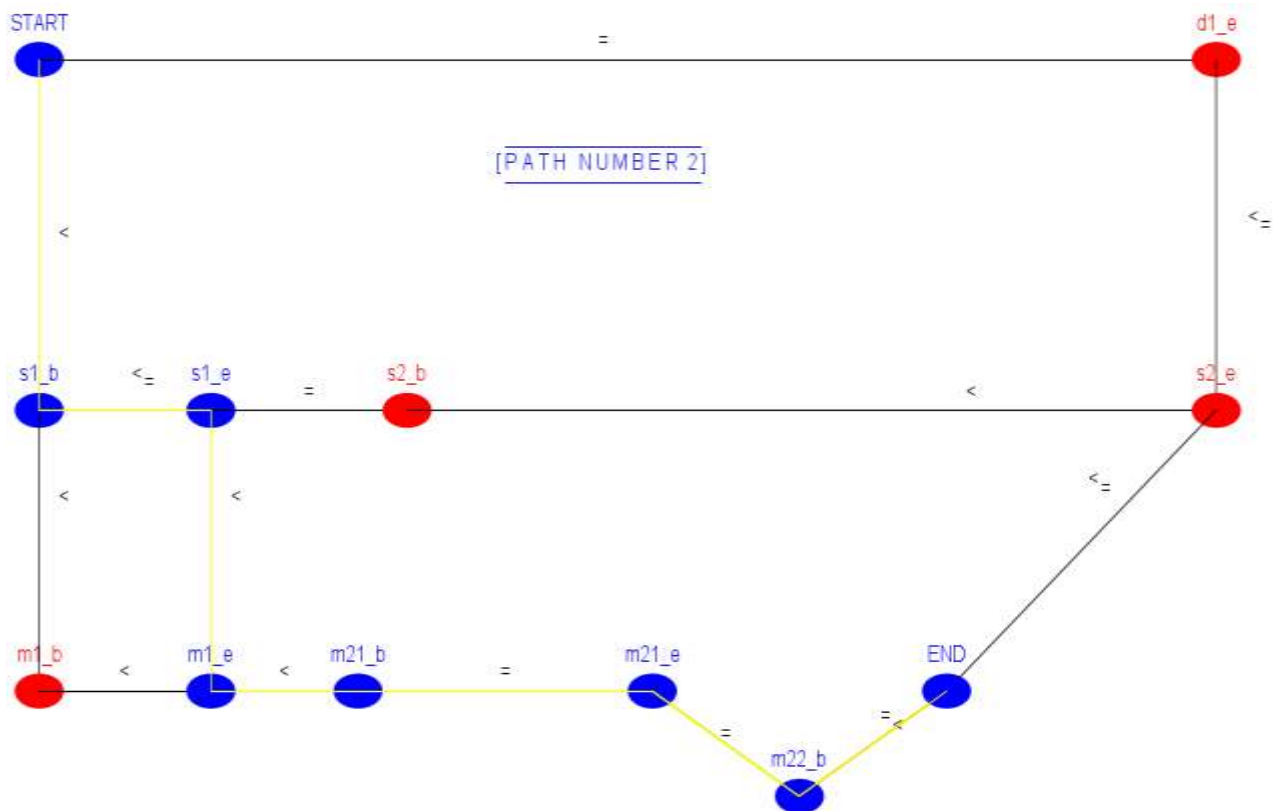


**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 7 – Path Number 1

```

Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> s1_b through the following temporal relations :
    <
Event s1_b with id number 2 is related with events
  -> s1_e through the following temporal relations :
    <
    =
Event s1_e with id number 3 is related with events
  -> m1_e through the following temporal relations :
    <
Event m1_e with id number 7 is related with events
  -> m21_b through the following temporal relations :
    <
Event m21_b with id number 8 is related with events
  -> m21_e through the following temporal relations :
    =
Event m21_e with id number 9 is related with events
  -> m22_b through the following temporal relations :
    =
Event m22_b with id number 10 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    =
    <
Event m22_e with id number 11 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty
  
```

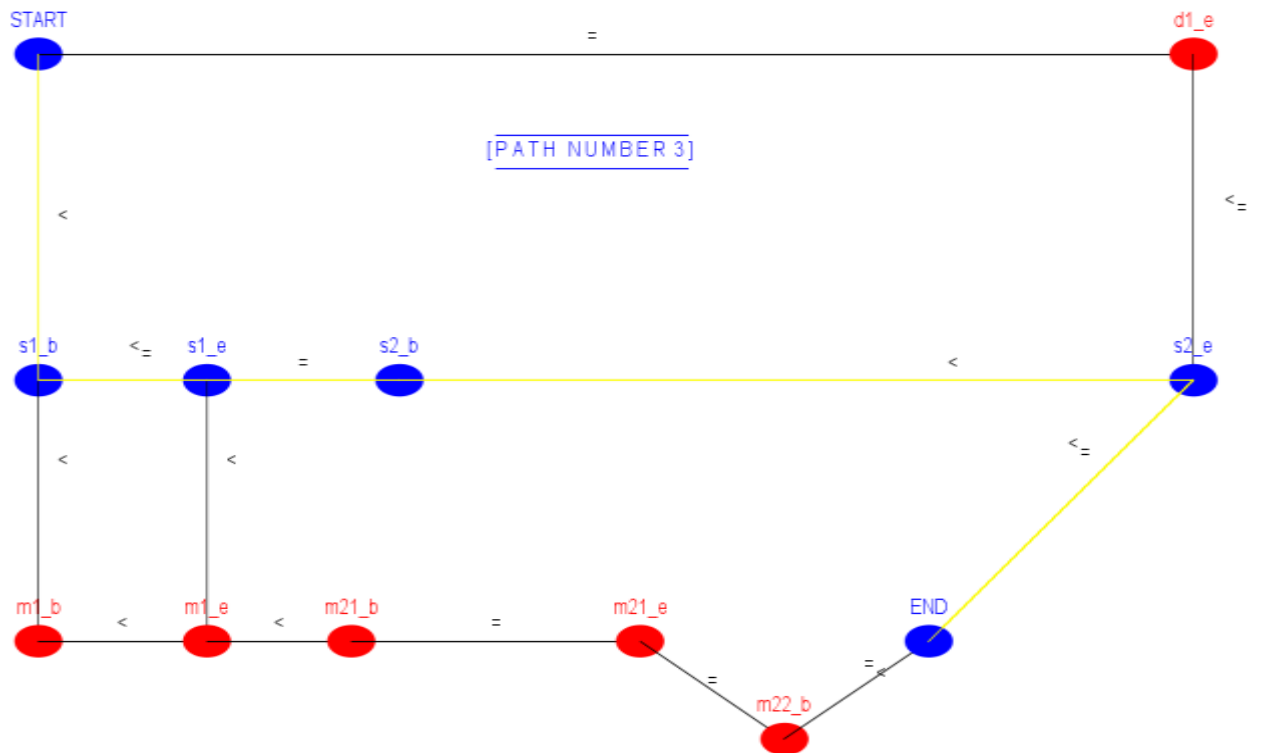
**Σχήμα:**  
Path Number 2 - Εκτέλεση 7



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 7 – Path Number 2

Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> s2\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s2\_b with id number 4 is related with events  
 -> s2\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event s2\_e with id number 5 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event m22\_e with id number 11 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:** Path Number 3 - Εκτέλεση 7



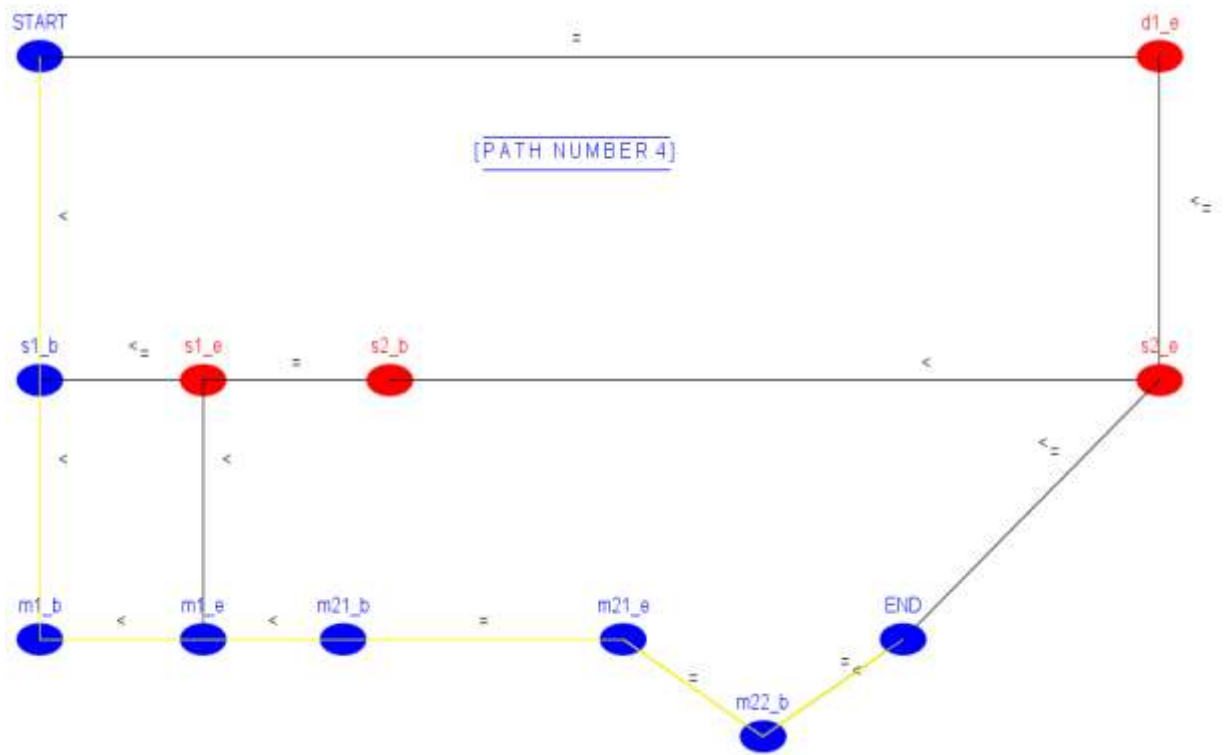
**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 7 – Path Number 3

```

Path Number: 4
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> s1_b through the following temporal relations :
<
Event s1_b with id number 2 is related with events
-> m1_b through the following temporal relations :
<
Event m1_b with id number 6 is related with events
-> m1_e through the following temporal relations :
<
Event m1_e with id number 7 is related with events
-> m21_b through the following temporal relations :
<
Event m21_b with id number 8 is related with events
-> m21_e through the following temporal relations :
=
Event m21_e with id number 9 is related with events
-> m22_b through the following temporal relations :
=
Event m22_b with id number 10 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
=
Event m22_e with id number 11 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Path Number 4 - Εκτέλεση 7



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 7 – Path Number 4

```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    =
    <
Event m22_e with id number 11 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty

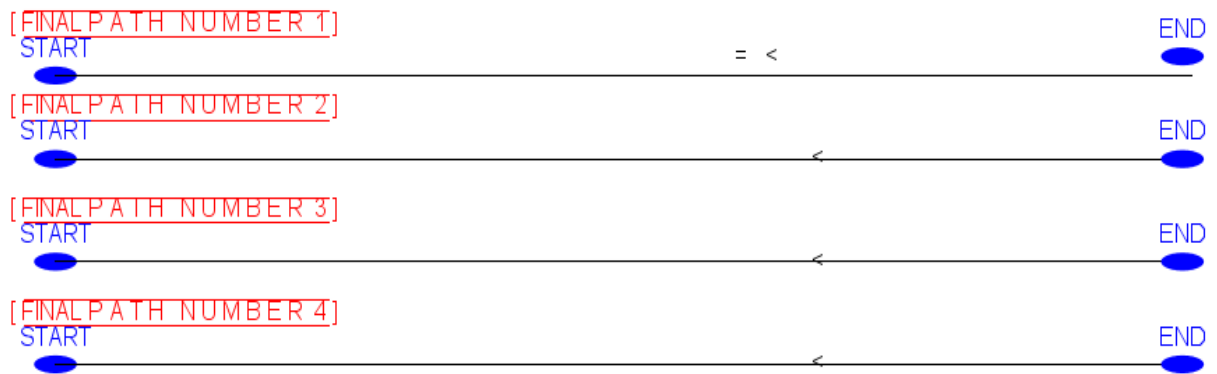
Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    <
Event m22_e with id number 11 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    <
Event m22_e with id number 11 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 4
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    <
Event m22_e with id number 11 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 7



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 7

Consistency and satisfaction can be noticed !!  
 The final relation of events produced could be  
 1: <  
 The time elapsed is 12.825694684 seconds ! !  
 This is the end of the Program !!

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 7

## Εκτέλεση 8

Μορφή Αρχείου «input9.yml»:

```
d1_b:
  d1_e:
    value: ['=']
  s1_b:
    value: ['<']

d1_e:
  s2_e:
    value: ['<','=']
```

s1\_b:  
  s1\_e:  
    value: ['<','=']  
  m1\_b:  
    value: ['<','>']

s1\_e:  
  m1\_e:  
    value: ['<']  
  s2\_b:  
    value: ['=']

s2\_b:  
  s2\_e:  
    value: ['<','>']

s2\_e:  
  m22\_e:  
    value: ['<','=']  
  m1\_b:  
    m1\_e:  
      value: ['<']

m1\_e:  
  m21\_b:  
    value: ['<']

m21\_b:  
  m21\_e:  
    value: ['=','>']

m21\_e:  
  m22\_b:

value: ['=']

m22\_b:

m22\_e:

value: ['=', '<']

m22\_e:

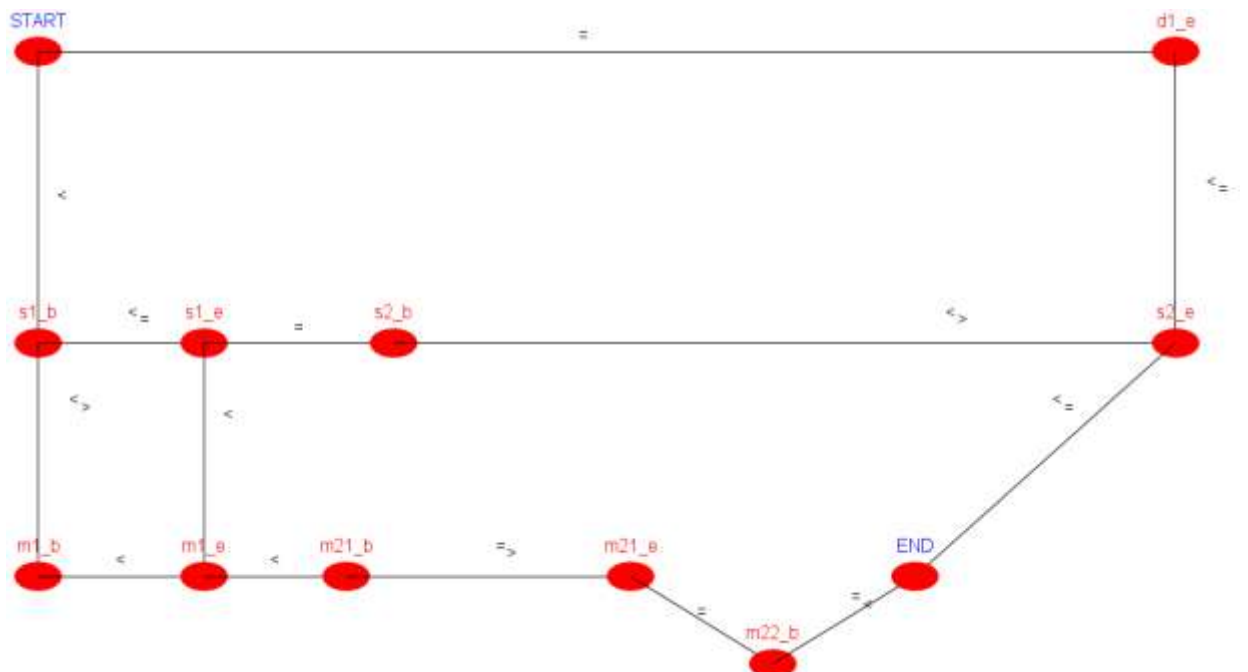
empty:

value: ['empty']

Μορφή terminal:

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:  
input9.yml  
APODOXI ARXEIOU!!
```

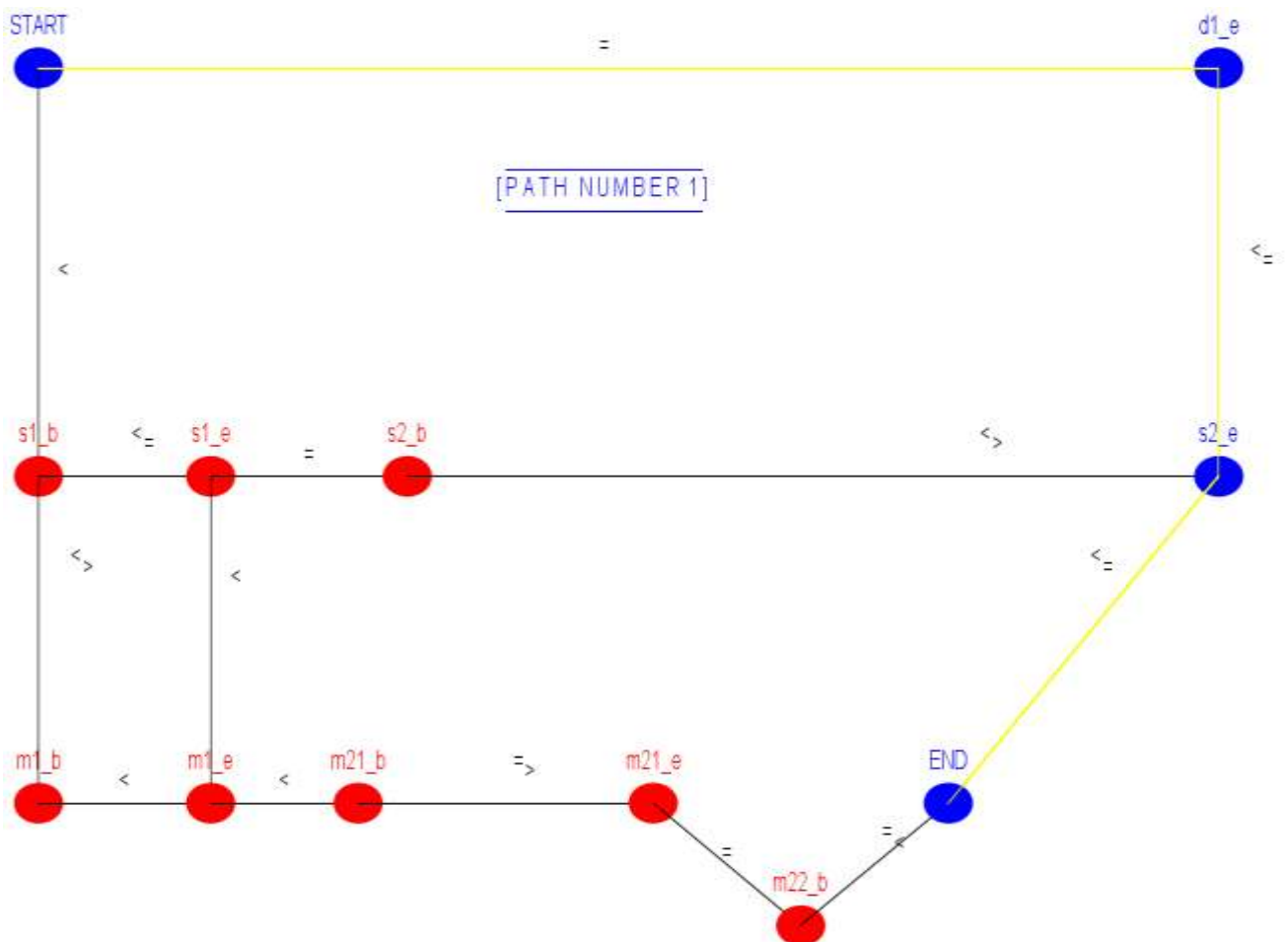
**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 8



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 8

Path Number: 1  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d1\_e with id number 1 is related with events  
 -> s2\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event s2\_e with id number 5 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event m22\_e with id number 11 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

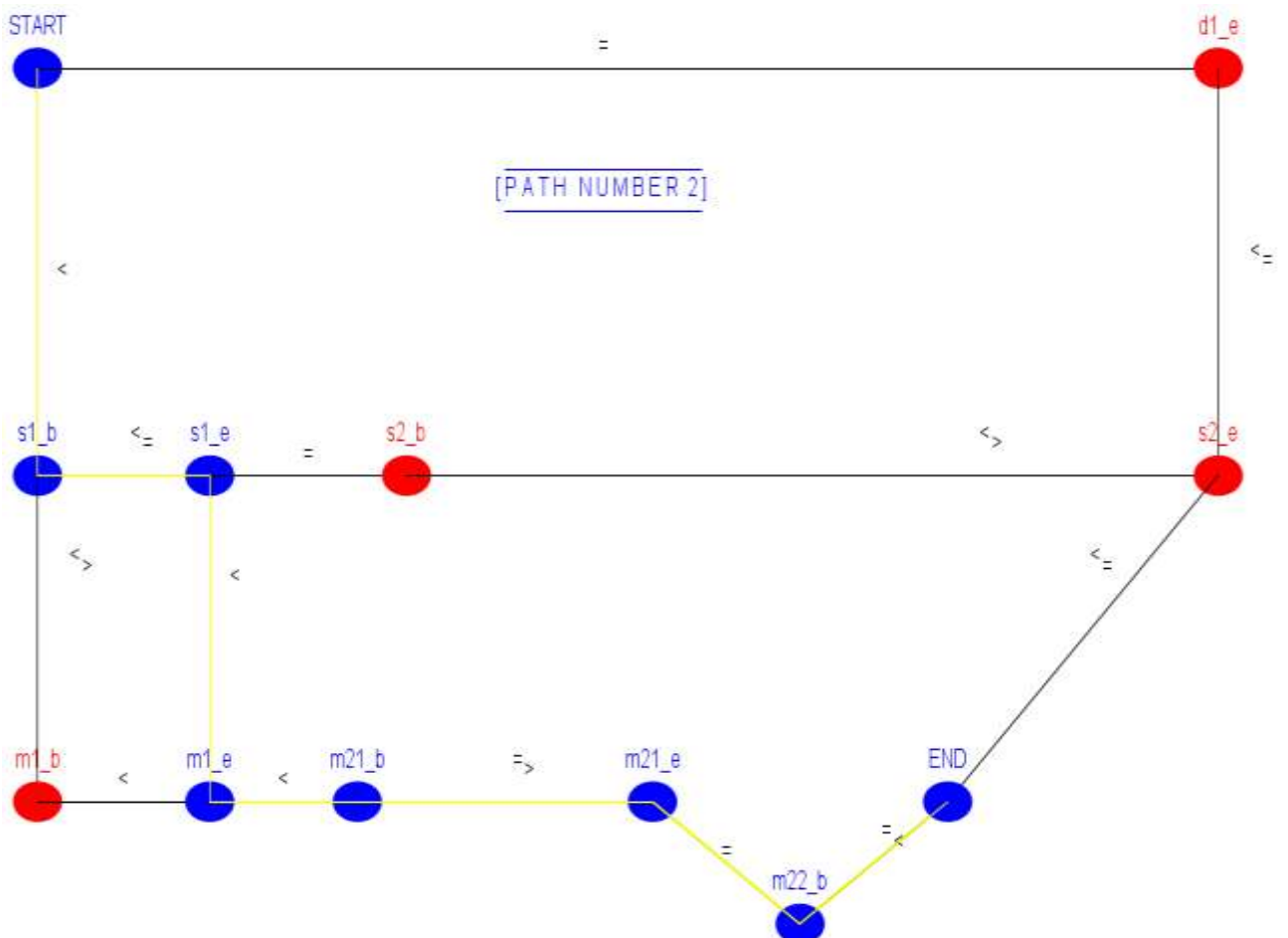
**Σχήμα:** Path Number 1 - Εκτέλεση 8



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 8 – Path Number 1

Path Number: 2  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m1\_e with id number 7 is related with events  
 -> m21\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event m21\_b with id number 8 is related with events  
 -> m21\_e through the following temporal relations :  
 =  
 >  
 Event m21\_e with id number 9 is related with events  
 -> m22\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_b with id number 10 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 <  
 Event m22\_e with id number 11 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

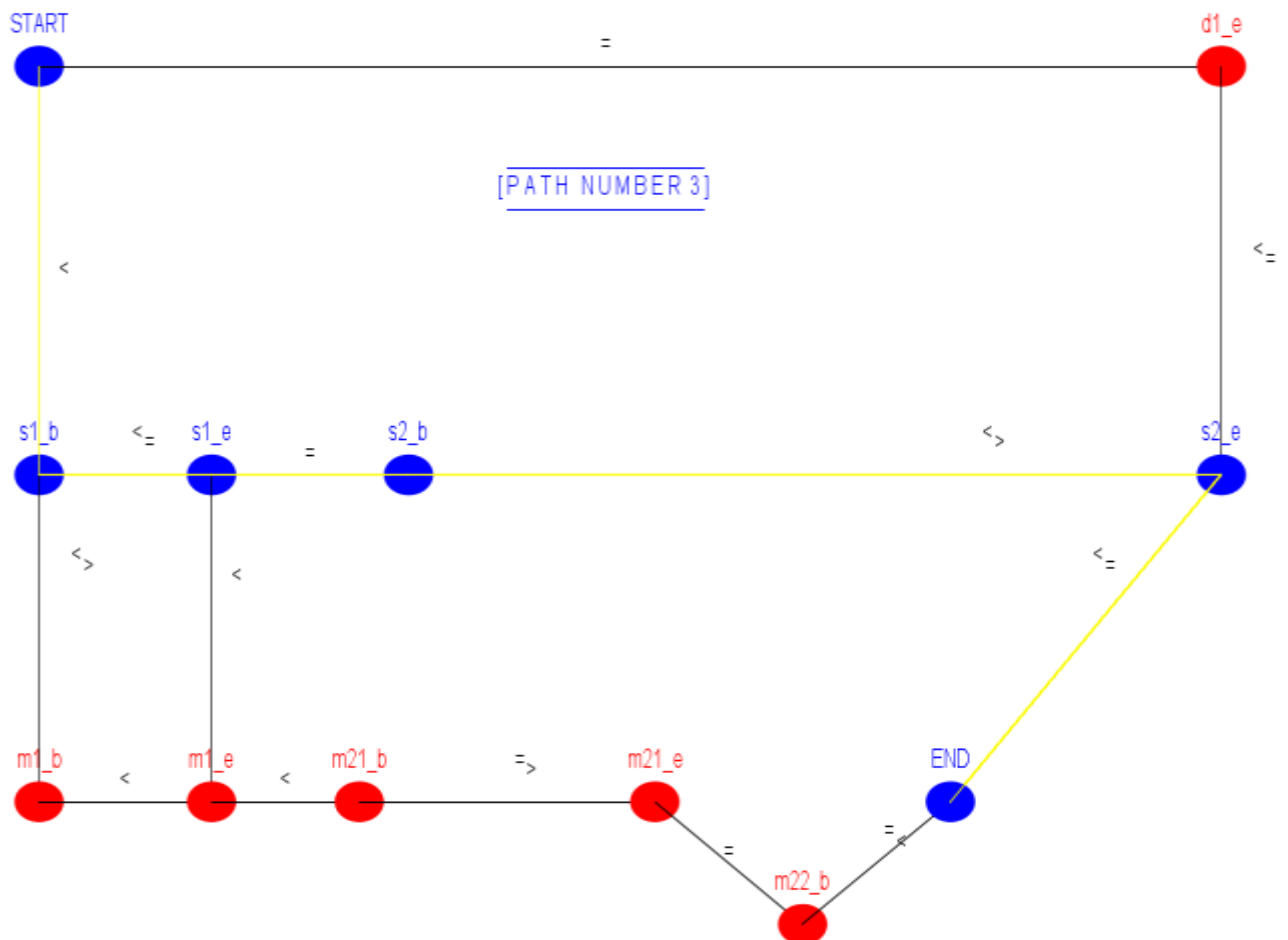
Σχήμα: Path Number 2 - Εκτέλεση 8



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 8 – Path Number 2

Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> s1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event s1\_e with id number 3 is related with events  
 -> s2\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event s2\_b with id number 4 is related with events  
 -> s2\_e through the following temporal relations :  
 <  
 >  
 Event s2\_e with id number 5 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 Event m22\_e with id number 11 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

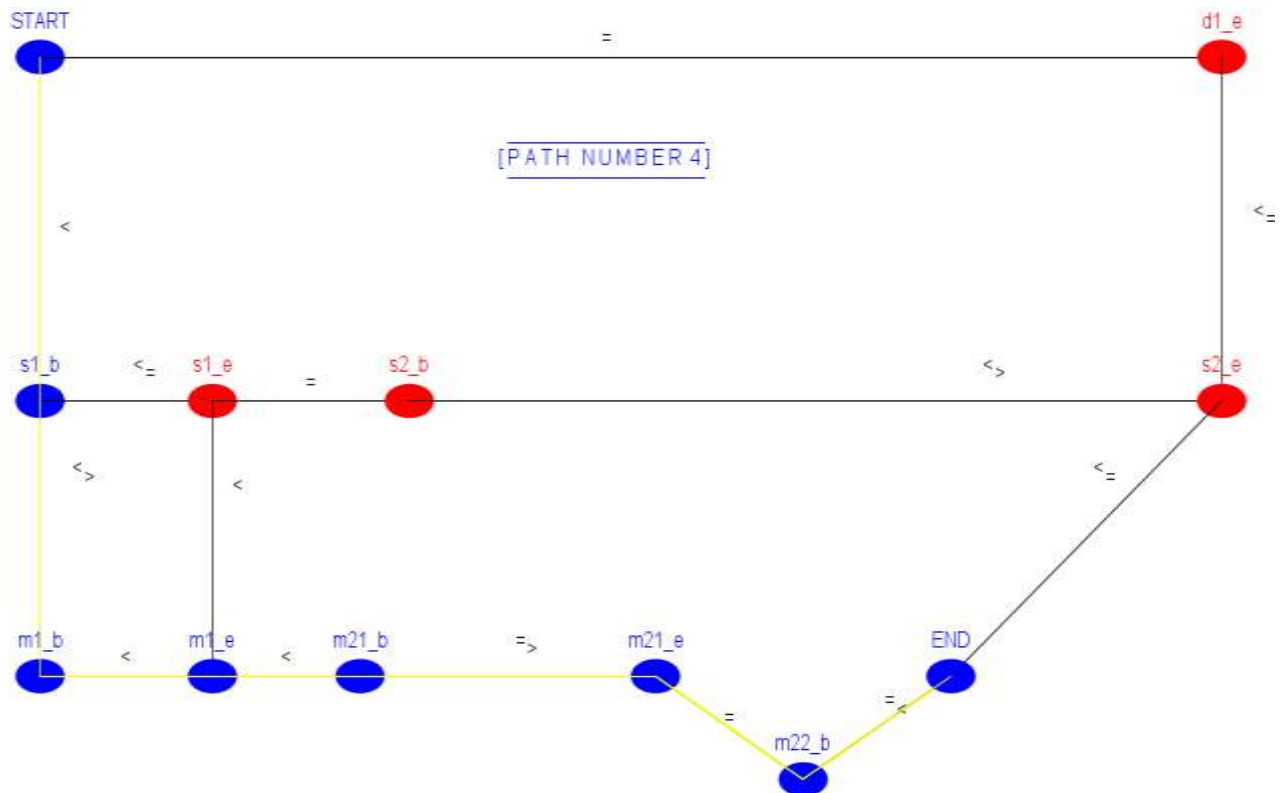
**Σχήμα:** Path Number 3 - Εκτέλεση 8



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 8 – Path Number 3

Path Number: 4  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> s1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event s1\_b with id number 2 is related with events  
 -> m1\_b through the following temporal relations :  
 <  
 >  
 Event m1\_b with id number 6 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event m1\_e with id number 7 is related with events  
 -> m21\_b through the following temporal relations :  
 <  
 Event m21\_b with id number 8 is related with events  
 -> m21\_e through the following temporal relations :  
 =  
 >  
 Event m21\_e with id number 9 is related with events  
 -> m22\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_b with id number 10 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 <  
 Event m22\_e with id number 11 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:** Path Number 4 - Εκτέλεση 8



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 8 – Path Number 4

```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
=
<
Event m22_e with id number 11 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

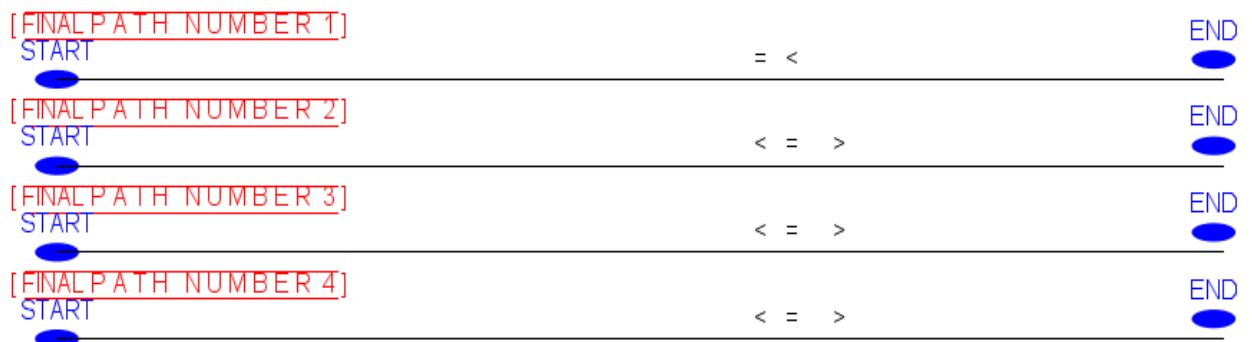
Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 11 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 11 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 4
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 11 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 8



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 8

```
Consistency and satisfaction can be noticed !!  
The final relation of events produced could be  
1: =  
  
OR  
  
2: <  
  
The time elapsed is 11.415863845 seconds ! !  
  
This is the end of the Program !!
```

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 8

## Εκτέλεση 9

Μορφή Αρχείου «input10.yml»:

```
d1_b:  
  d1_e:  
    value: ['>']  
  s1_b:  
    value: ['>']
```

```
d1_e:  
  d2_b:  
    value: ['=']
```

```
d2_b:  
  d2_e:  
    value: ['>']  
  s2_b:  
    value: ['=']
```

```
d2_e:  
  d3_b:
```

value: ['=']

d3\_b:

d3\_e:

value: ['>']

d3\_e:

d4\_b:

value: ['=']

d4\_b:

m22\_b:

value: ['>']

s1\_b:

s1\_e:

value: ['>']

m1\_b:

value: ['>']

s1\_e:

s2\_b:

value: ['=']

s2\_b:

s2\_e:

value: ['>']

s2\_e:

d3\_e:

value: ['=']

```

m1_b:
  m22_e:
    value: ['=']
  m1_e:
    value: ['>']

m1_e:
  m21_b:
    value: ['>']
  s2_b:
    value: ['=']
m21_b:
  m21_e:
    value: ['=']

m21_e:
  m22_b:
    value: ['>']

m22_b:
  m22_e:
    value: ['>']

m22_e:
  empty:
    value: ['empty']

```

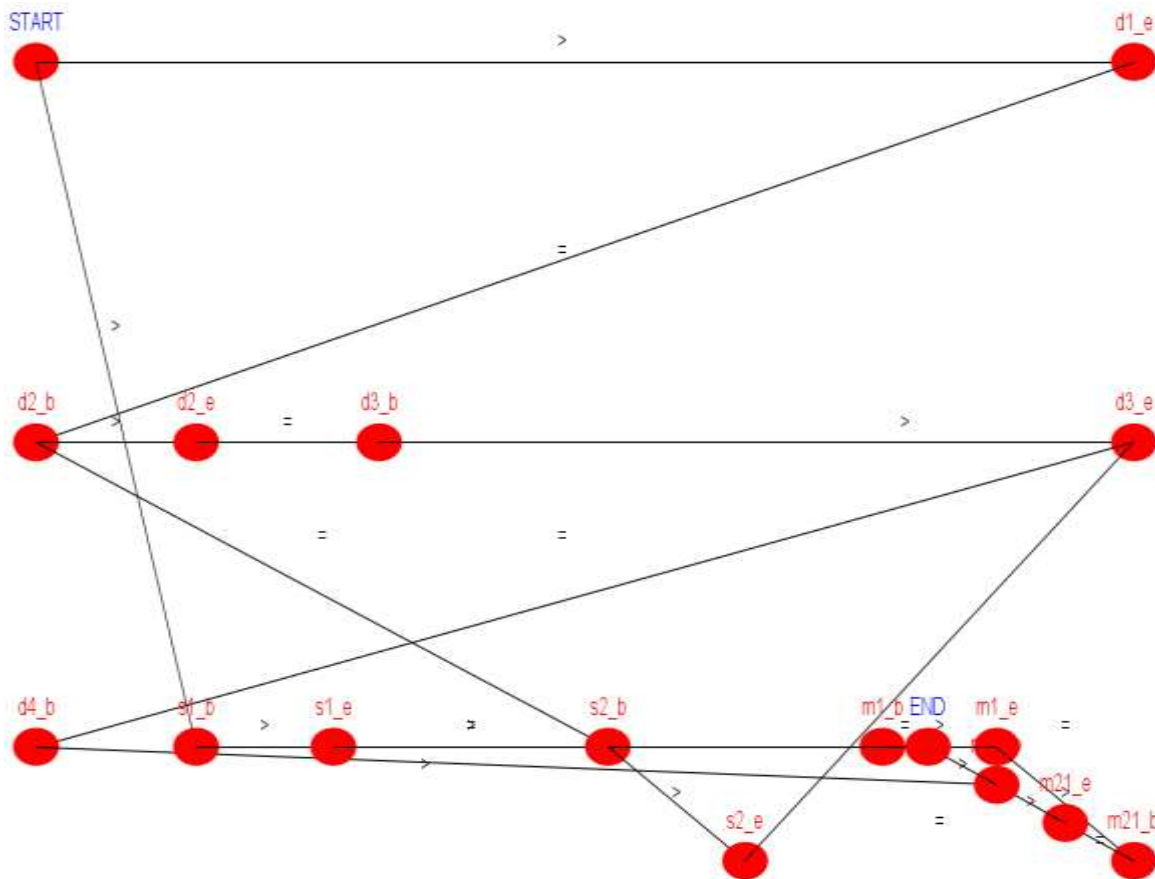
Μορφή terminal:

```

Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml:
input10.yml
APODOXI ARXEIOU!!

```

**Σχήμα:** Μορφή terminal Εκτέλεσης 9



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 9

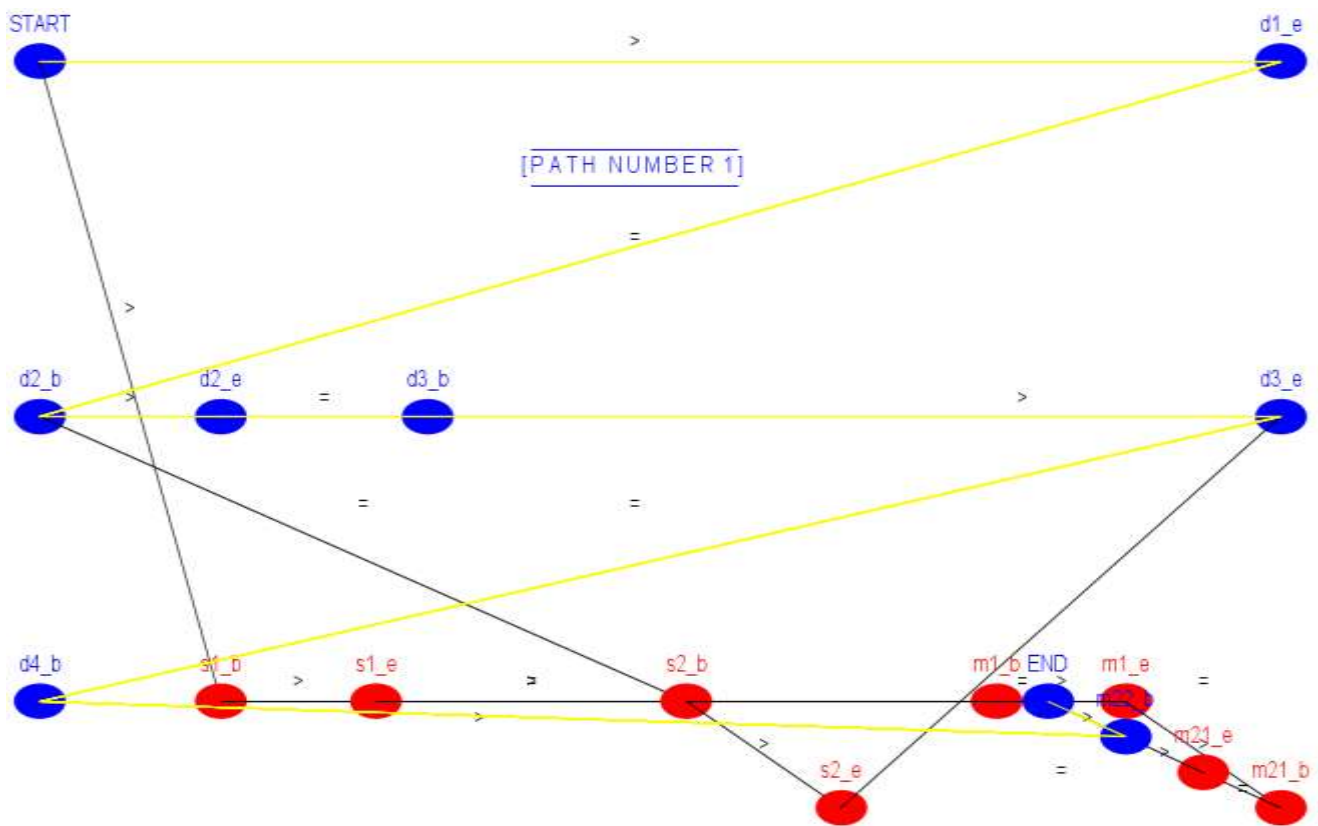
```

Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> d1_e through the following temporal relations :
    >
Event d1_e with id number 1 is related with events
  -> d2_b through the following temporal relations :
    =
Event d2_b with id number 2 is related with events
  -> d2_e through the following temporal relations :
    >
Event d2_e with id number 3 is related with events
  -> d3_b through the following temporal relations :|
    =
Event d3_b with id number 4 is related with events
  -> d3_e through the following temporal relations :
    >
Event d3_e with id number 5 is related with events
  -> d4_b through the following temporal relations :
    =
Event d4_b with id number 6 is related with events
  -> m22_b through the following temporal relations :
    >
Event m22_b with id number 15 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 16 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty

```

**Σχήμα:**

Path Number 1 - Εκτέλεση 9



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 9 – Path Number 1

Path Number: 2

Event d1\_b with id number 0 is related with events  
-> d1\_e through the following temporal relations :

>

Event d1\_e with id number 1 is related with events  
-> d2\_b through the following temporal relations :

=

Event d2\_b with id number 2 is related with events  
-> s2\_b through the following temporal relations :

=

Event s2\_b with id number 9 is related with events  
-> s2\_e through the following temporal relations :

>

Event s2\_e with id number 10 is related with events  
-> d3\_e through the following temporal relations :

=

Event d3\_e with id number 5 is related with events  
-> d4\_b through the following temporal relations :

=

Event d4\_b with id number 6 is related with events  
-> m22\_b through the following temporal relations :

>

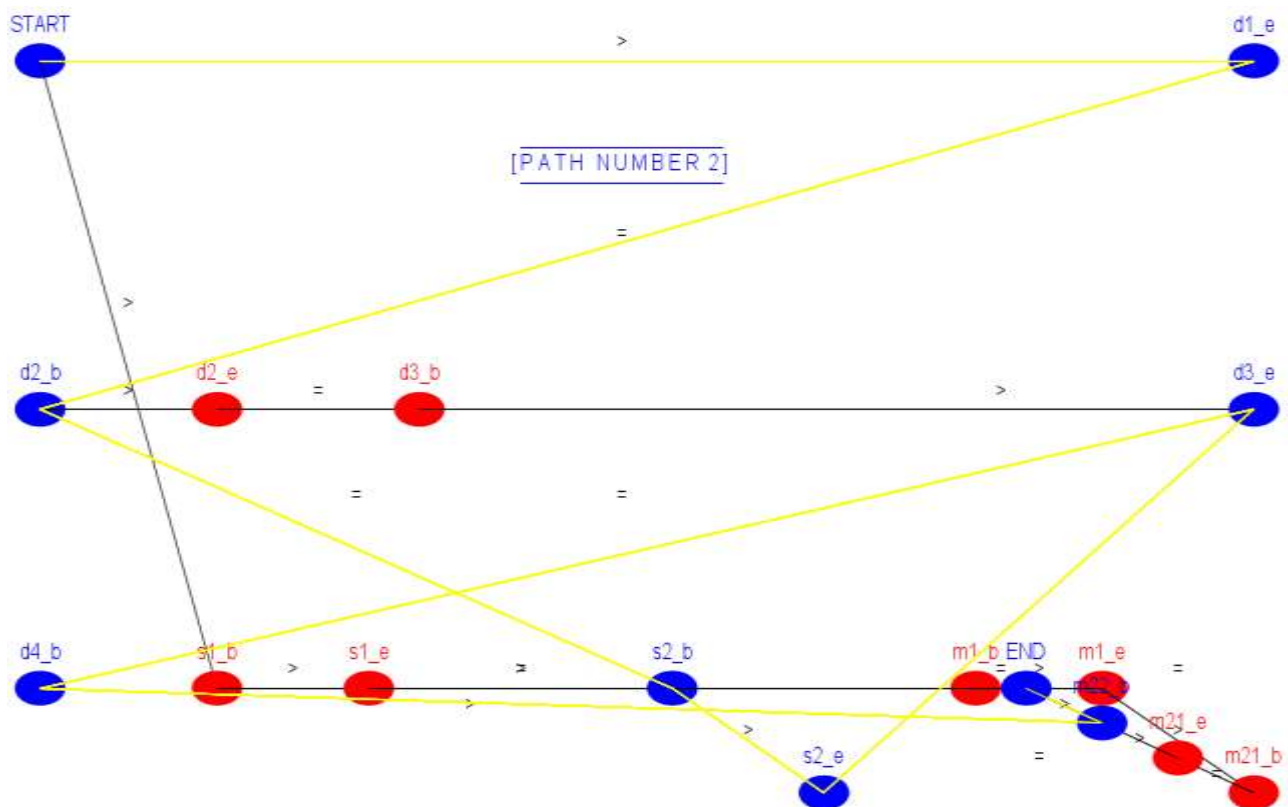
Event m22\_b with id number 15 is related with events  
-> m22\_e through the following temporal relations :

>

Event m22\_e with id number 16 is related with events  
-> empty through the following temporal relations :  
empty

Σχήμα:

Path Number 2 - Εκτέλεση 9



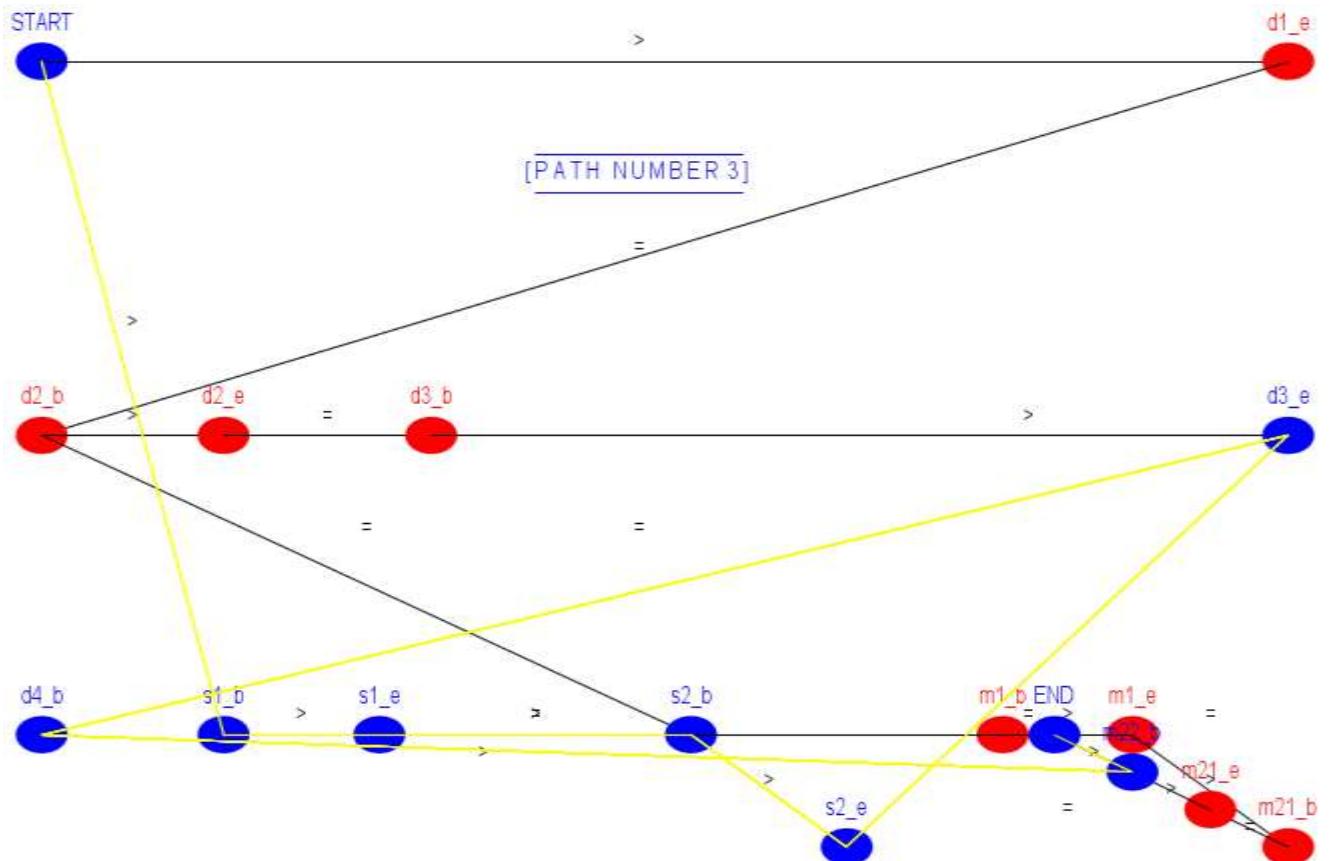
Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 9 – Path Number 2

```

Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> s1_b through the following temporal relations :
    >
Event s1_b with id number 7 is related with events
  -> s1_e through the following temporal relations :
    >
Event s1_e with id number 8 is related with events
  -> s2_b through the following temporal relations :
    =
Event s2_b with id number 9 is related with events
  -> s2_e through the following temporal relations :
    >
Event s2_e with id number 10 is related with events
  -> d3_e through the following temporal relations :
    =
Event d3_e with id number 5 is related with events
  -> d4_b through the following temporal relations :
    =
Event d4_b with id number 6 is related with events
  -> m22_b through the following temporal relations :
    >
Event m22_b with id number 15 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 16 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty
  
```

Σχήμα:

Path Number 3 - Εκτέλεση 9

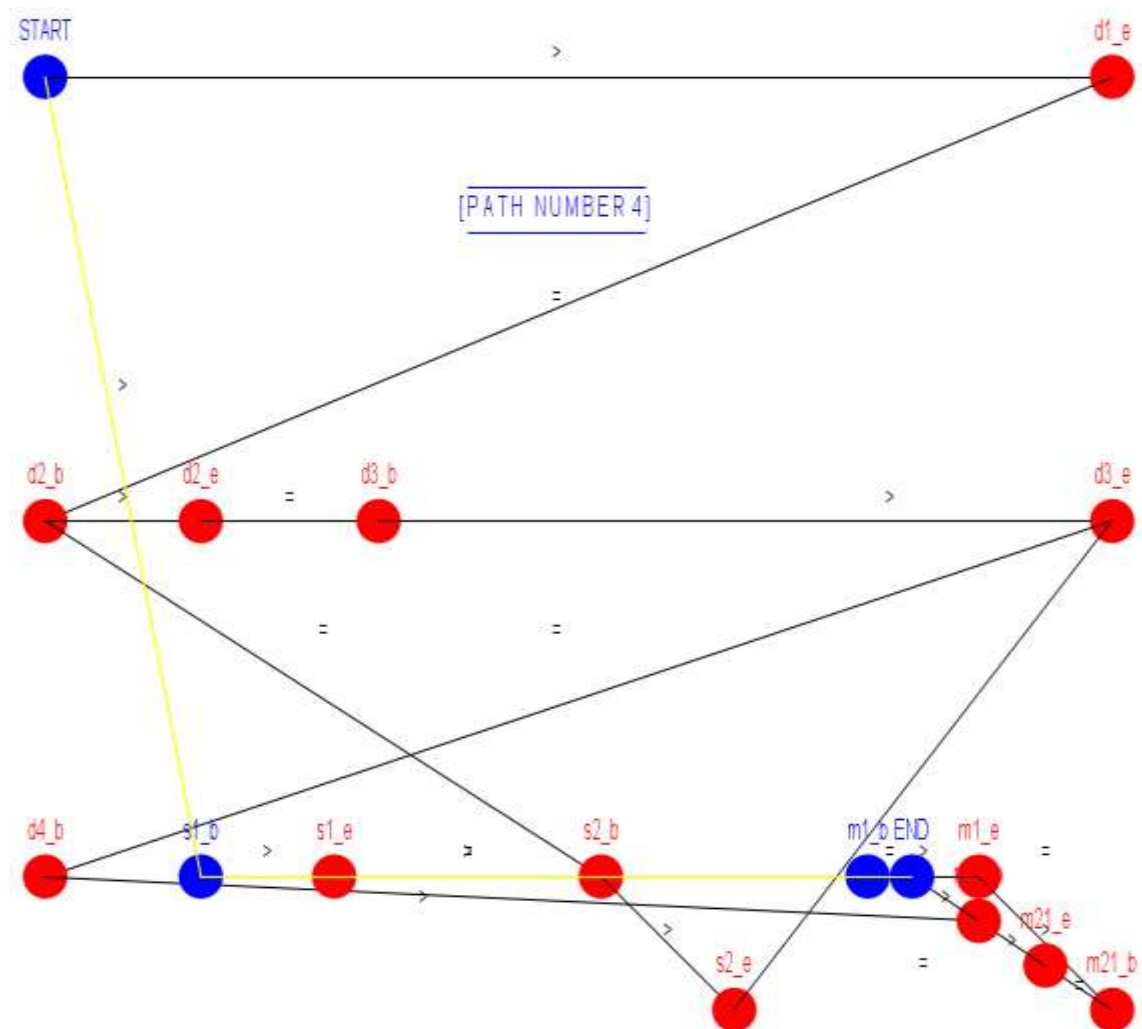


**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 9 – Path Number 3

```

Path Number: 4
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> s1_b through the following temporal relations :
    >
Event s1_b with id number 7 is related with events
  -> m1_b through the following temporal relations :
    >
Event m1_b with id number 11 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    =
Event m22_e with id number 16 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty
  
```

**Σχήμα:** Path Number 4 - Εκτέλεση 9



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 9 – Path Number 4

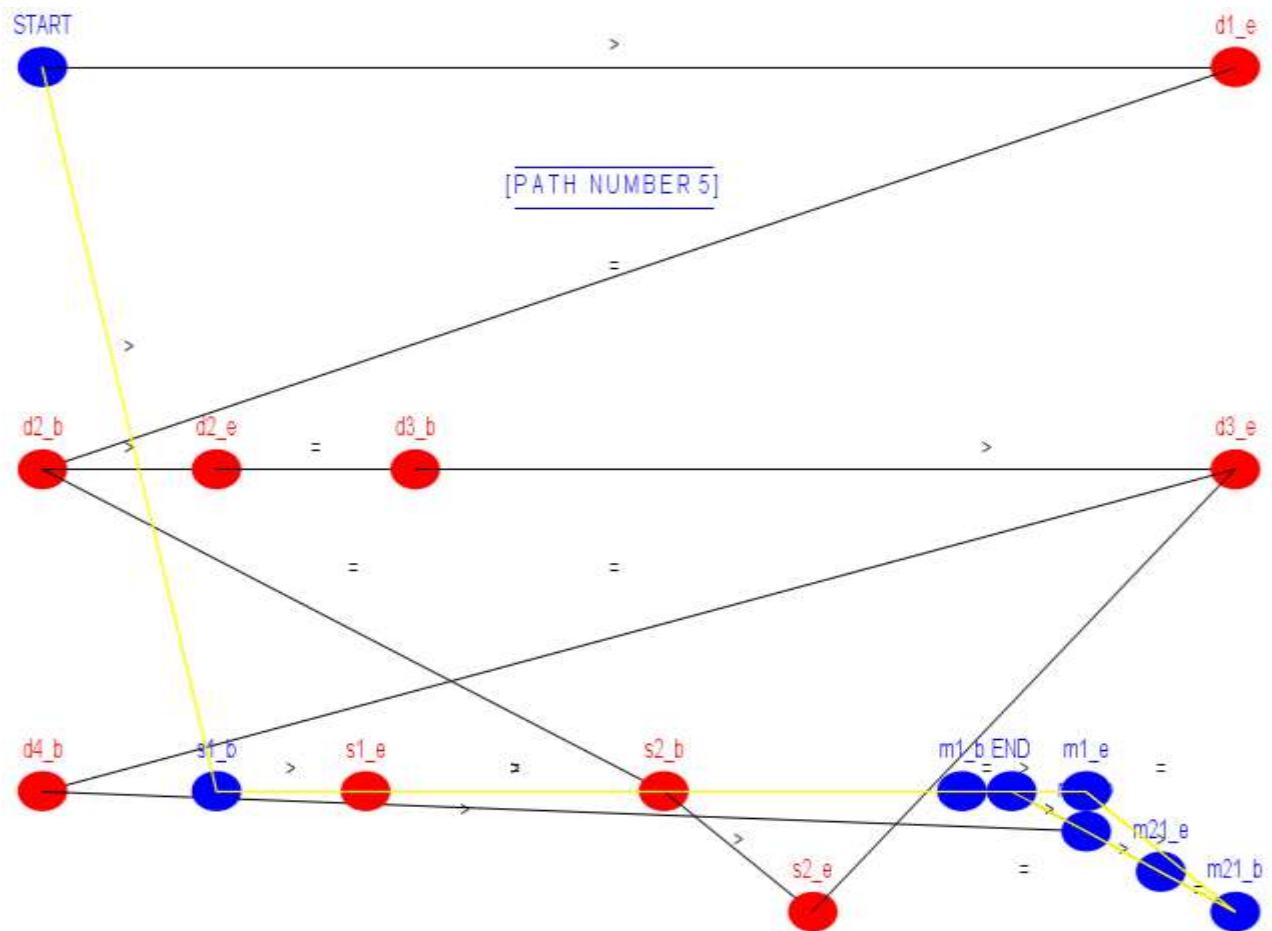
```

Path Number: 5
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> s1_b through the following temporal relations :
>
Event s1_b with id number 7 is related with events
-> m1_b through the following temporal relations :
>
Event m1_b with id number 11 is related with events
-> m1_e through the following temporal relations :
>
Event m1_e with id number 12 is related with events
-> m21_b through the following temporal relations :
>
Event m21_b with id number 13 is related with events
-> m21_e through the following temporal relations :
=
Event m21_e with id number 14 is related with events
-> m22_b through the following temporal relations :
>
Event m22_b with id number 15 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
>
Event m22_e with id number 16 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:**

Path Number 5 - Εκτέλεση 9



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 9 – Path Number 5

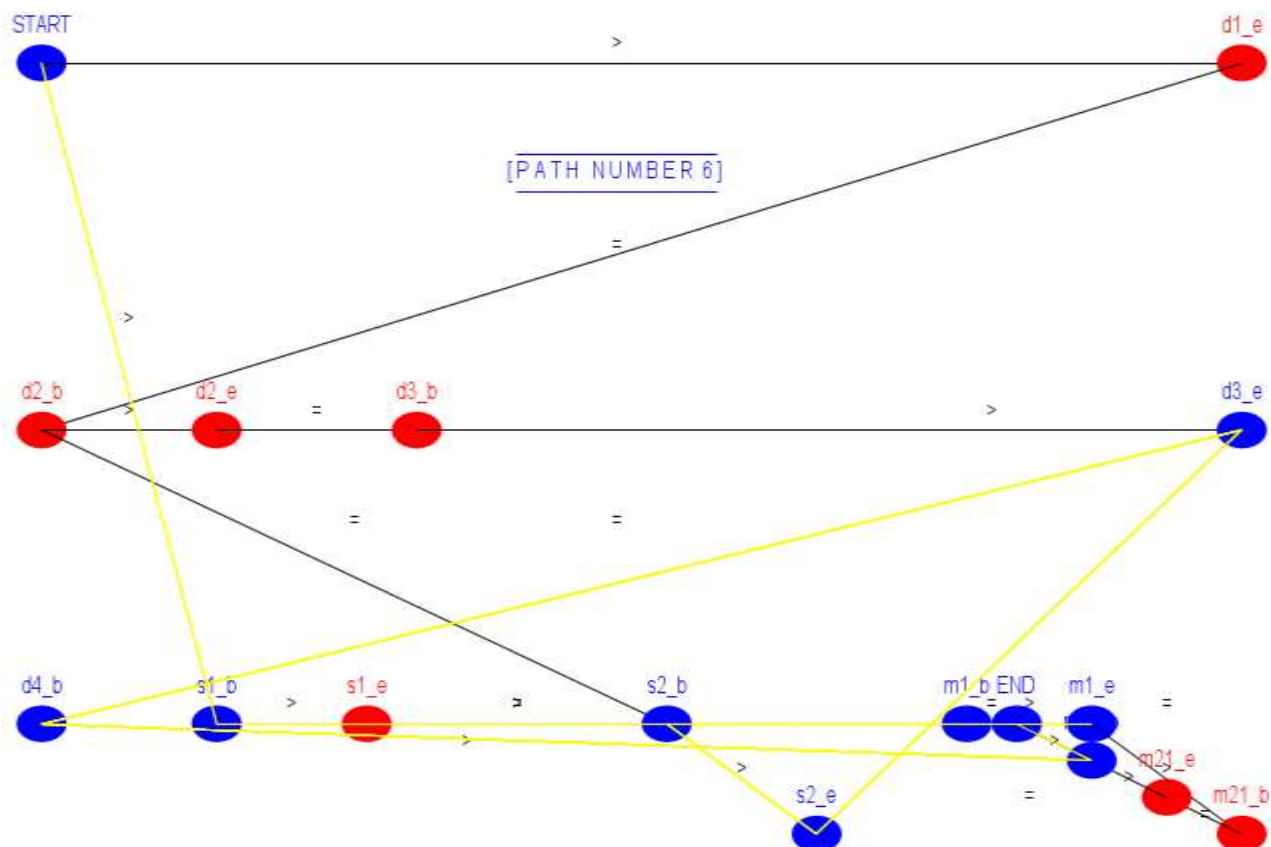
```

Path Number: 6
Event d1_b with id number 0 is related with events
  -> s1_b through the following temporal relations :
    >
Event s1_b with id number 7 is related with events
  -> m1_b through the following temporal relations :
    >
Event m1_b with id number 11 is related with events
  -> m1_e through the following temporal relations :
    >
Event m1_e with id number 12 is related with events
  -> s2_b through the following temporal relations :
    =
Event s2_b with id number 9 is related with events
  -> s2_e through the following temporal relations :
    >
Event s2_e with id number 10 is related with events
  -> d3_e through the following temporal relations :
    =
Event d3_e with id number 5 is related with events
  -> d4_b through the following temporal relations :
    =
Event d4_b with id number 6 is related with events
  -> m22_b through the following temporal relations :
    >
Event m22_b with id number 15 is related with events
  -> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 16 is related with events
  -> empty through the following temporal relations :
    empty

```

Σχήμα:

Path Number 6 - Εκτέλεση 9



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 9 – Path Number 6

Final -> Path Number: 1  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 >

Event m22\_e with id number 16 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

Final -> Path Number: 2  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 >

Event m22\_e with id number 16 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

Final -> Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 >

Event m22\_e with id number 16 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

Final -> Path Number: 4  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 >

Event m22\_e with id number 16 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

**Σχήμα:**

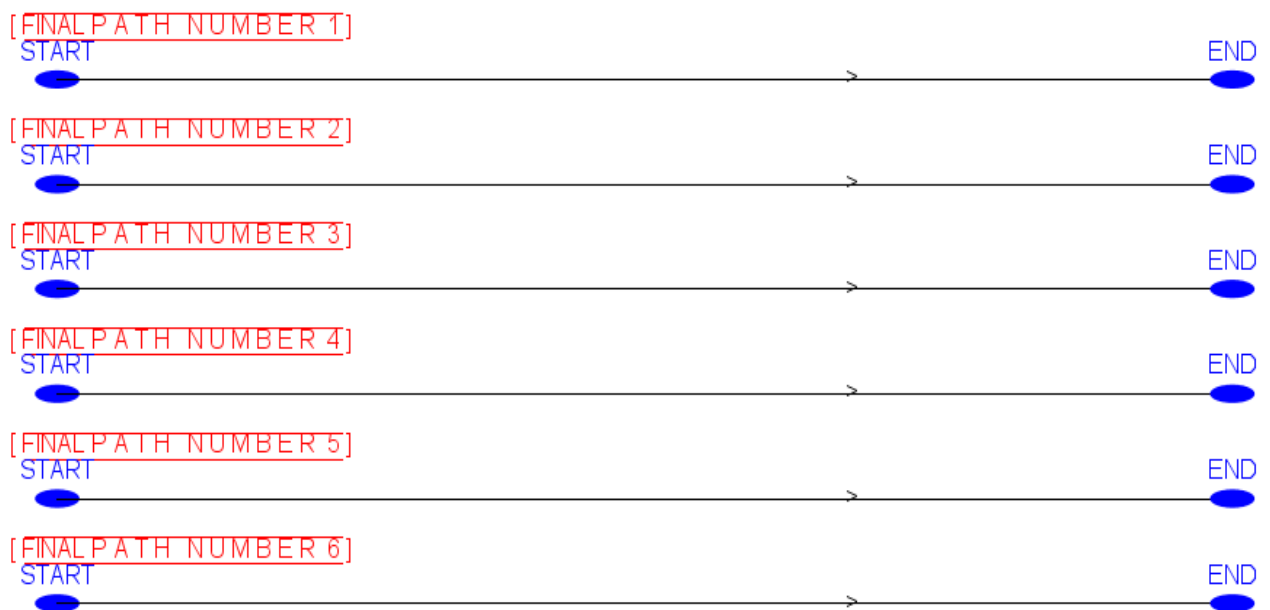
Final Path Relations - Εκτέλεση 9

```

Final -> Path Number: 5
Event d1_b with id number 0 is related with events
    -> m22_e through the following temporal relations :
        >
Event m22_e with id number 16 is related with events
    -> empty through the following temporal relations :
        empty

Final -> Path Number: 6
Event d1_b with id number 0 is related with events
    -> m22_e through the following temporal relations :
        >
Event m22_e with id number 16 is related with events
    -> empty through the following temporal relations :
        empty

```



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 9

```

Consistency and satisfaction can be noticed !!
The final relation of events produced could be
1: >

```

```

The time elapsed is 17.219569679 seconds ! !

```

```

This is the end of the Program !!

```

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 9

## Εκτέλεση 10

Μορφή Αρχείου «input11.yml»:

d1\_b:

  d1\_e:

    value: ['>']

  d8\_b:

    value: ['=']

d1\_e:

  d2\_b:

    value: ['=']

  d3\_b:

    value: ['>']

d2\_b:

  d2\_e:

    value: ['=', '>']

d2\_e:

  m22\_e:

    value: ['<', '=', '>']

d3\_b:

  d4\_b:

    value: ['>']

d4\_b:

  d4\_e:

    value: ['>']

d4\_e:

d5\_b:  
value: ['>']  
m22\_b1:  
value: ['>']

m22\_b1:  
m22\_e:  
value: ['>']

d5\_b:  
d5\_e:  
value: ['>']

d5\_e:  
d6\_b:  
value: ['>']  
d8\_b:  
value: ['>']

d6\_b:  
m22\_e:  
value: ['=']  
d6\_e:  
value: ['>']  
d6\_e:  
d7\_b:  
value: ['>']

d7\_b:  
d7\_e:  
value: ['>']

d7\_e:

m22\_b2:  
value: ['>']

m22\_b2:  
m22\_e:  
value: ['=']

d8\_b:  
d8\_e:  
value: ['=']

d8\_e:  
d9\_b:  
value: ['=']

d9\_b:  
d9\_e:  
value: ['=']

d9\_e:  
d10\_b:  
value: ['=']

d10\_b:  
d6\_b:  
value: ['=']  
d10\_e:  
value: ['<', '=', '>']

d10\_e:  
m1\_b:  
value: ['>']

```
m1_e:
  value: ['=']
```

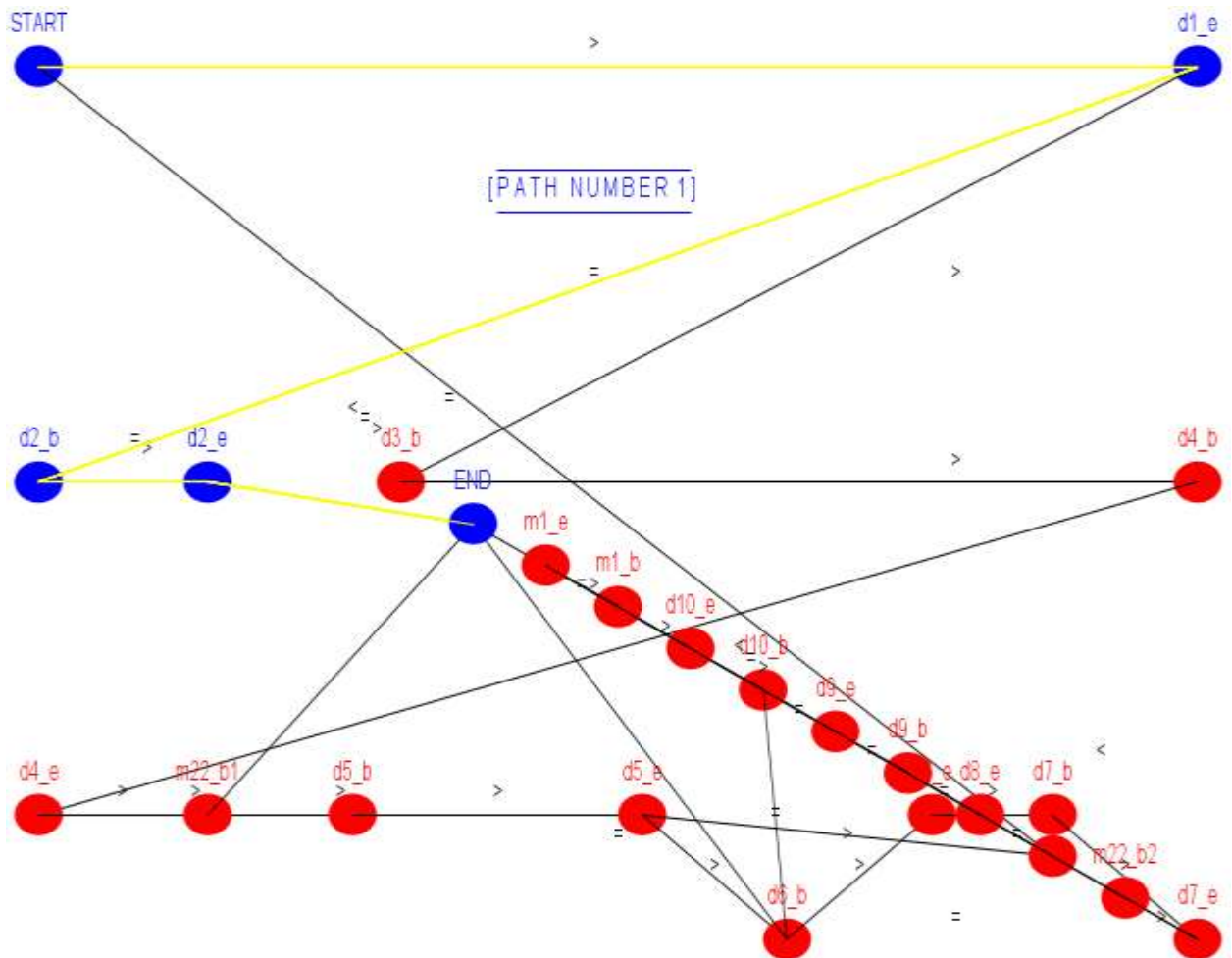
```
m22_e:
  empty:
    value: ['empty']
```

```
Dwse to ektelesimo arxeio eite me ti morfi -> ./arxeio.yml eite -> arxeio.yml|
input11.yml
APODOXI ARXEIOU!!
```

A-71

Path Number: 1  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d1\_e with id number 1 is related with events  
 -> d2\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d2\_b with id number 2 is related with events  
 -> d2\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d2\_e with id number 3 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 >  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

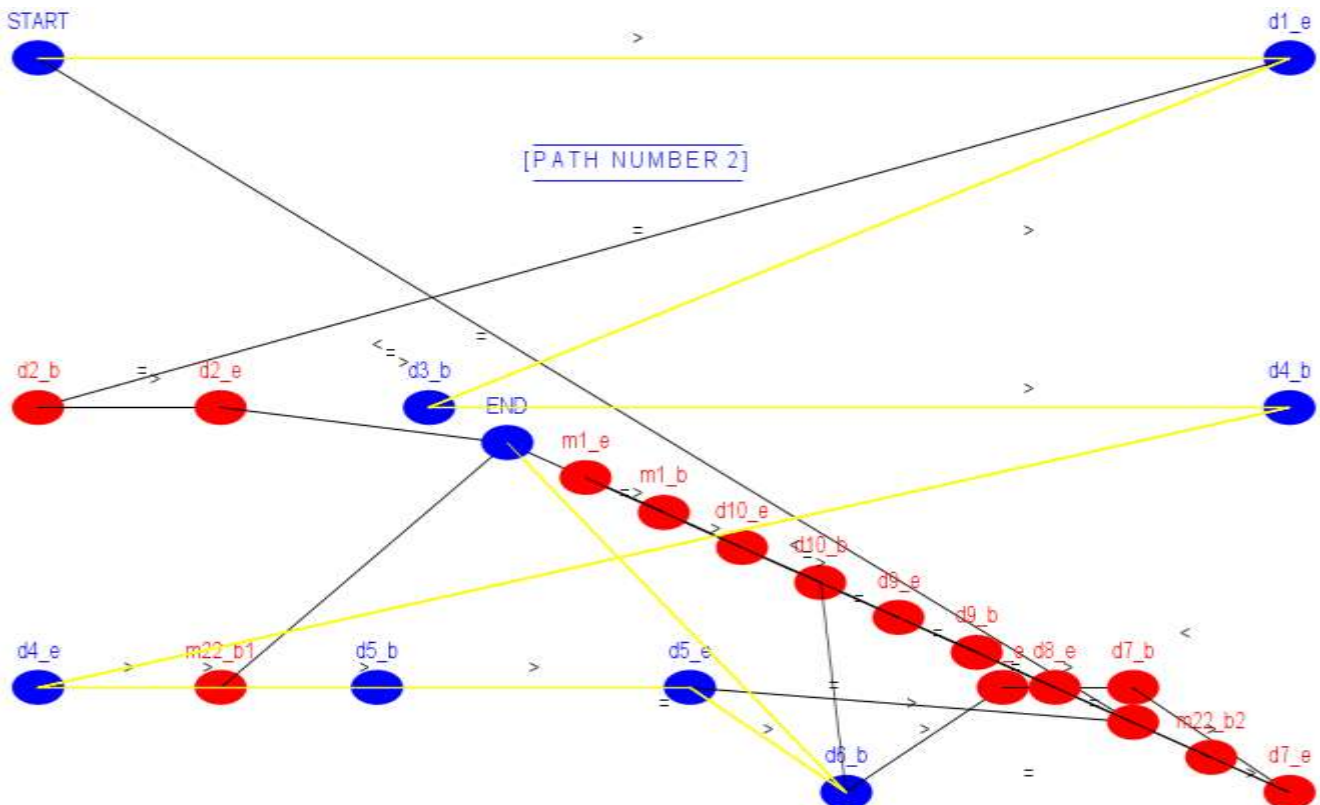
Σχήμα: Path Number 1 - Εκτέλεση 10



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 1

Path Number: 2  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d1\_e with id number 1 is related with events  
 -> d3\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d3\_b with id number 4 is related with events  
 -> d4\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_b with id number 5 is related with events  
 -> d4\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_e with id number 6 is related with events  
 -> d5\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d5\_b with id number 8 is related with events  
 -> d5\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d5\_e with id number 9 is related with events  
 -> d6\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d6\_b with id number 10 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

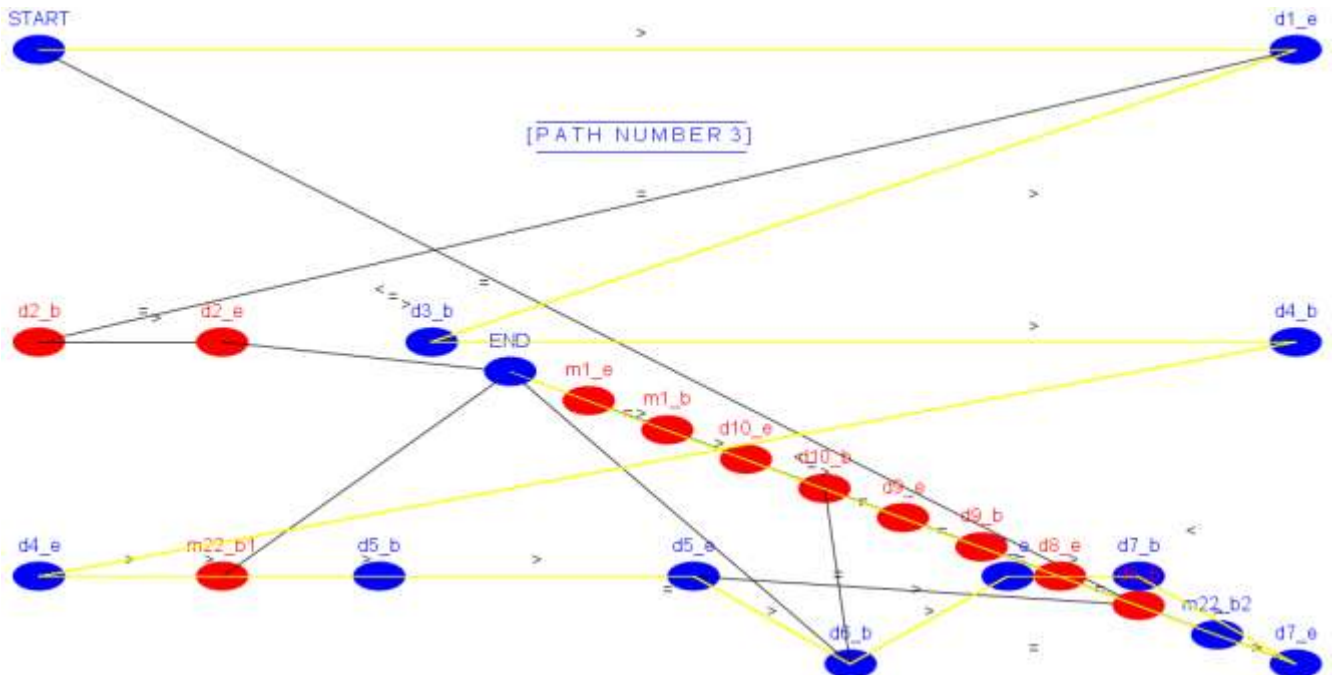
**Σχήμα:** Path Number 2 - Εκτέλεση 10



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 2

Path Number: 3  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d1\_e with id number 1 is related with events  
 -> d3\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d3\_b with id number 4 is related with events  
 -> d4\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_b with id number 5 is related with events  
 -> d4\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_e with id number 6 is related with events  
 -> d5\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d5\_b with id number 8 is related with events  
 -> d5\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d5\_e with id number 9 is related with events  
 -> d6\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d6\_b with id number 10 is related with events  
 -> d6\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d6\_e with id number 11 is related with events  
 -> d7\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d7\_b with id number 12 is related with events  
 -> d7\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d7\_e with id number 13 is related with events  
 -> m22\_b2 through the following temporal relations :  
 >  
 Event m22\_b2 with id number 14 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

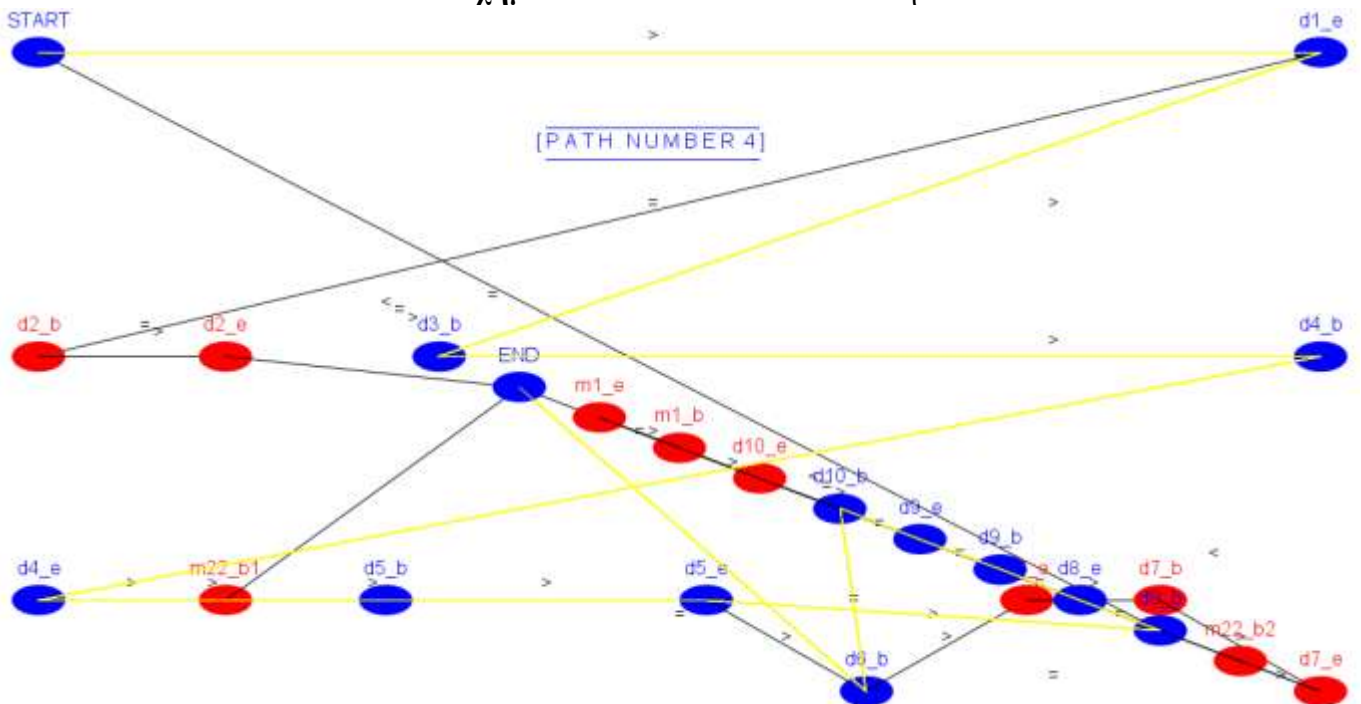
Σχήμα: Path Number 3 - Εκτέλεση 10



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 3

Path Number: 4  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d1\_e with id number 1 is related with events  
 -> d3\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d3\_b with id number 4 is related with events  
 -> d4\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_b with id number 5 is related with events  
 -> d4\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_e with id number 6 is related with events  
 -> d5\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d5\_b with id number 8 is related with events  
 -> d5\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d5\_e with id number 9 is related with events  
 -> d8\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d8\_b with id number 15 is related with events  
 -> d8\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d8\_e with id number 16 is related with events  
 -> d9\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d9\_b with id number 17 is related with events  
 -> d9\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d9\_e with id number 18 is related with events  
 -> d10\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d10\_b with id number 19 is related with events  
 -> d6\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d6\_b with id number 10 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

Σχήμα: Path Number 4 - Εκτέλεση 10



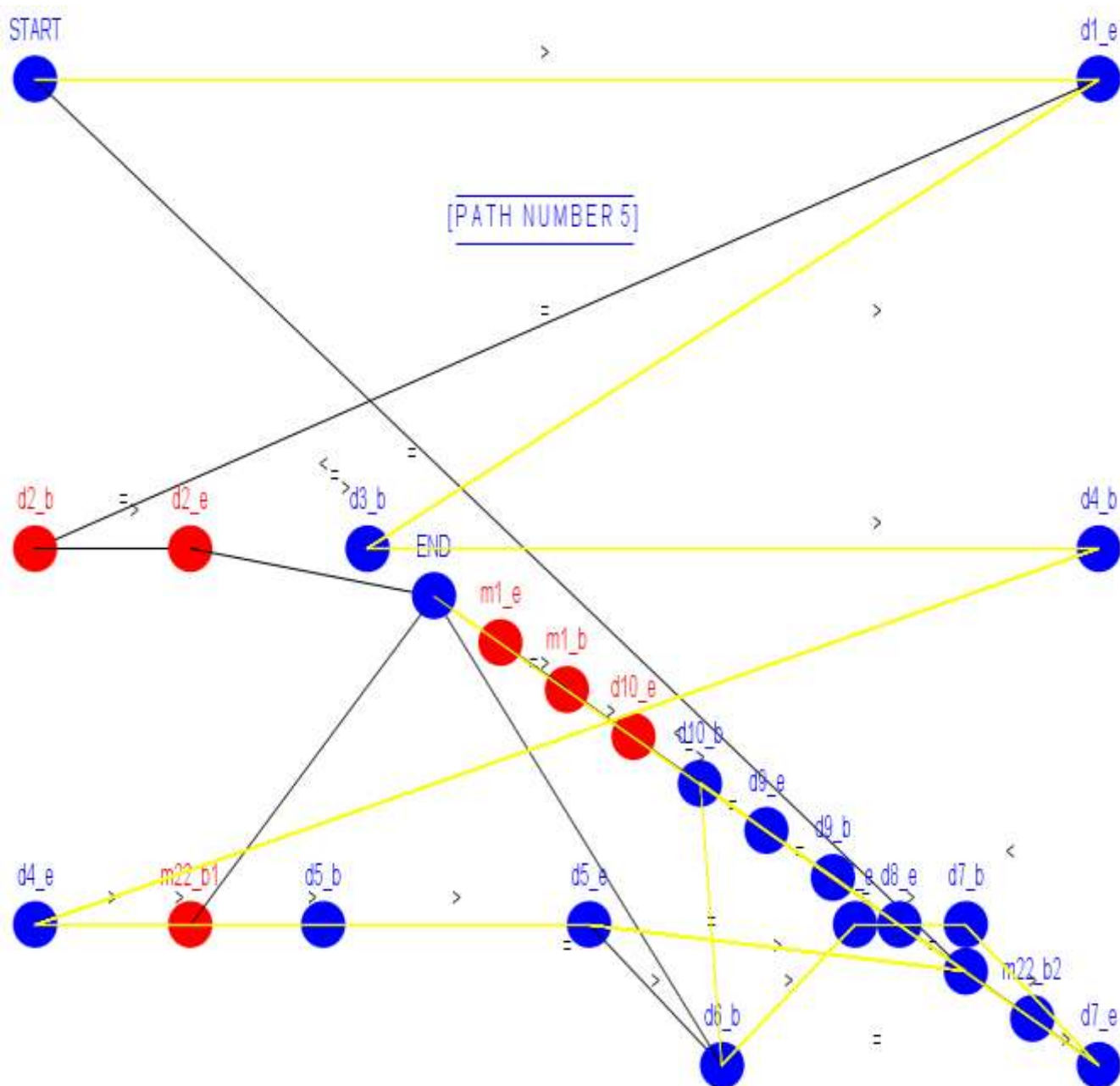
Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 4

```

Path Number: 5
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
>
Event d1_e with id number 1 is related with events
-> d3_b through the following temporal relations :
>
Event d3_b with id number 4 is related with events
-> d4_b through the following temporal relations :
>
Event d4_b with id number 5 is related with events
-> d4_e through the following temporal relations :
>
Event d4_e with id number 6 is related with events
-> d5_b through the following temporal relations :
>
Event d5_b with id number 8 is related with events
-> d5_e through the following temporal relations :
>
Event d5_e with id number 9 is related with events
-> d8_b through the following temporal relations :
>
Event d8_b with id number 15 is related with events
-> d8_e through the following temporal relations :
=
Event d8_e with id number 16 is related with events
-> d9_b through the following temporal relations :
=
Event d9_b with id number 17 is related with events
-> d9_e through the following temporal relations :
=
Event d9_e with id number 18 is related with events
-> d10_b through the following temporal relations :
=
Event d10_b with id number 19 is related with events
-> d6_b through the following temporal relations :
=
Event d6_b with id number 10 is related with events
-> d6_e through the following temporal relations :
>
Event d6_e with id number 11 is related with events
-> d7_b through the following temporal relations :
>
Event d7_b with id number 12 is related with events
-> d7_e through the following temporal relations :
>
Event d7_e with id number 13 is related with events|
-> m22_b2 through the following temporal relations :
>
Event m22_b2 with id number 14 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
=
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Path Number 5 - Εκτέλεση 10



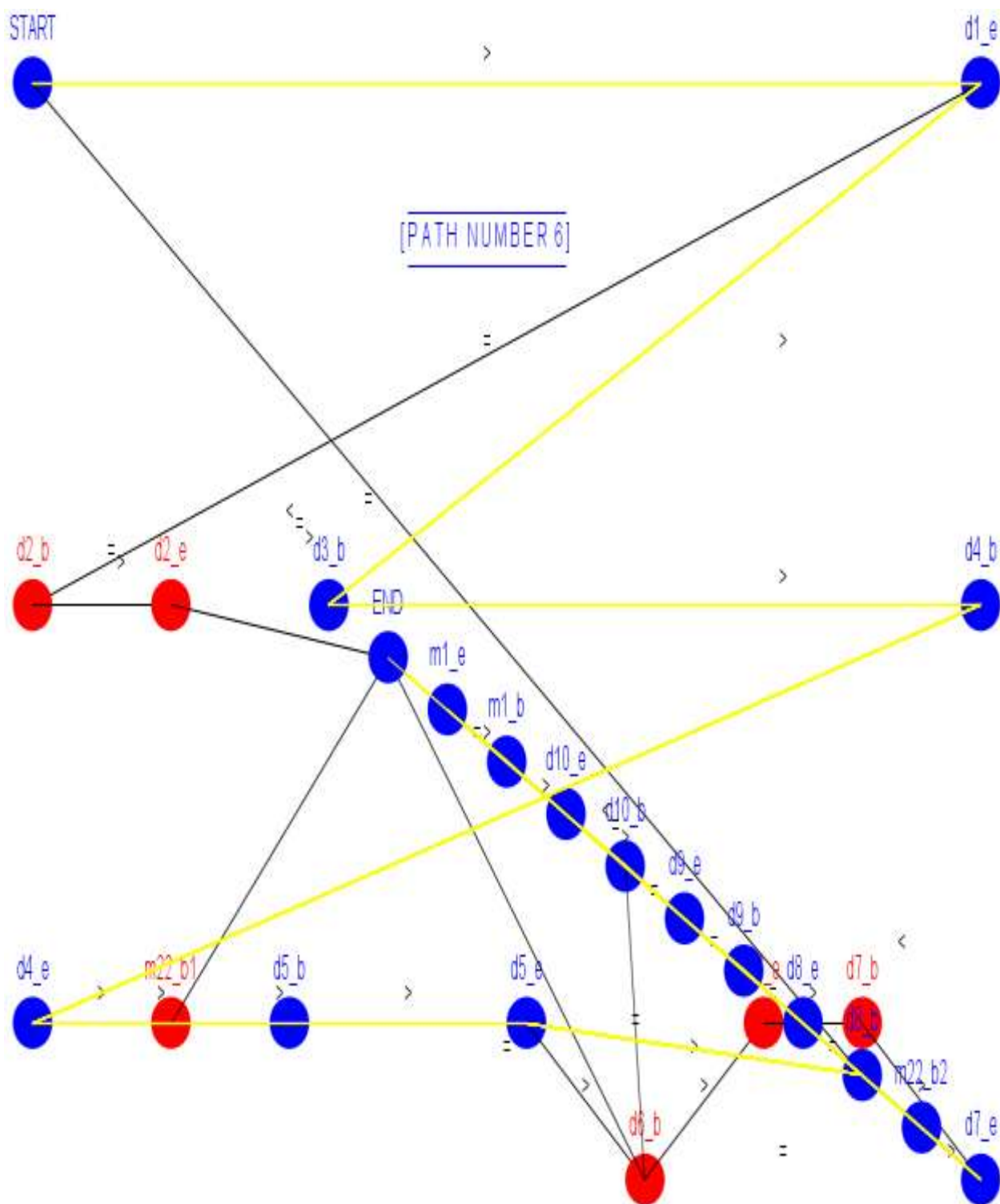
**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 5

```

Path Number: 6
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> d1_e through the following temporal relations :
>
Event d1_e with id number 1 is related with events
-> d3_b through the following temporal relations :
>
Event d3_b with id number 4 is related with events
-> d4_b through the following temporal relations :
>
Event d4_b with id number 5 is related with events
-> d4_e through the following temporal relations :
>
Event d4_e with id number 6 is related with events
-> d5_b through the following temporal relations :
>
Event d5_b with id number 8 is related with events
-> d5_e through the following temporal relations :
>
Event d5_e with id number 9 is related with events
-> d8_b through the following temporal relations :
>
Event d8_b with id number 15 is related with events
-> d8_e through the following temporal relations :
=
Event d8_e with id number 16 is related with events
-> d9_b through the following temporal relations :
=
Event d9_b with id number 17 is related with events
-> d9_e through the following temporal relations :
=
Event d9_e with id number 18 is related with events
-> d10_b through the following temporal relations :
=
Event d10_b with id number 19 is related with events
-> d10_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event d10_e with id number 20 is related with events
-> m1_b through the following temporal relations :|
>
Event m1_b with id number 21 is related with events
-> m1_e through the following temporal relations :
=
Event m1_e with id number 22 is related with events
-> d7_e through the following temporal relations :
<
Event d7_e with id number 13 is related with events
-> m22_b2 through the following temporal relations :
>
Event m22_b2 with id number 14 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
=
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

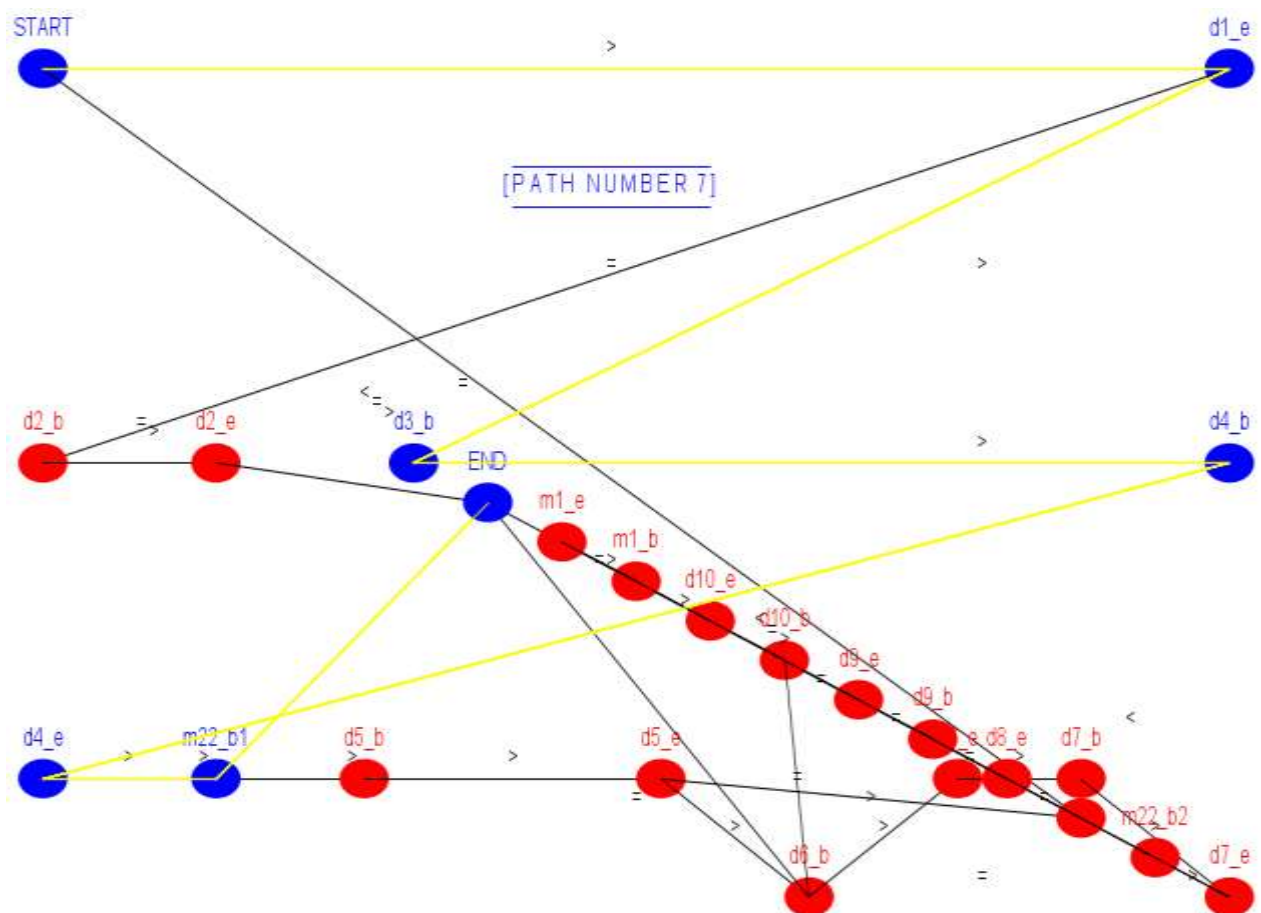
**Σχήμα:** Path Number 6 - Εκτέλεση 10



**Σχήμα:** Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 6

Path Number: 7 |  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d1\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d1\_e with id number 1 is related with events  
 -> d3\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d3\_b with id number 4 is related with events  
 -> d4\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_b with id number 5 is related with events  
 -> d4\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d4\_e with id number 6 is related with events  
 -> m22\_b1 through the following temporal relations :  
 >  
 Event m22\_b1 with id number 7 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

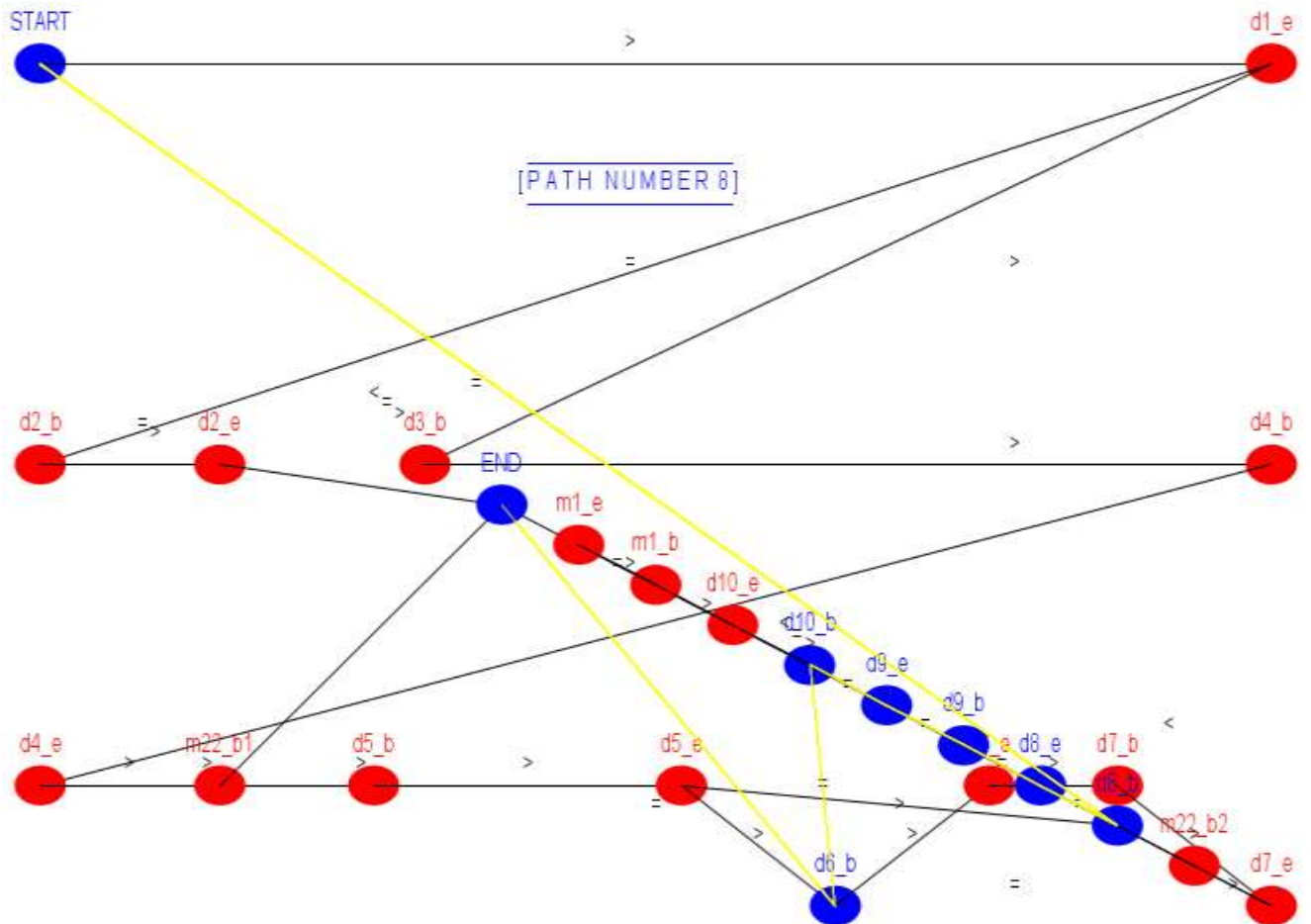
Σχήμα: Path Number 7 - Εκτέλεση 10



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 7

Path Number: 8  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d8\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d8\_b with id number 15 is related with events  
 -> d8\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d8\_e with id number 16 is related with events  
 -> d9\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d9\_b with id number 17 is related with events  
 -> d9\_e through the following temporal relations :|  
 =  
 Event d9\_e with id number 18 is related with events  
 -> d10\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d10\_b with id number 19 is related with events  
 -> d6\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d6\_b with id number 10 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

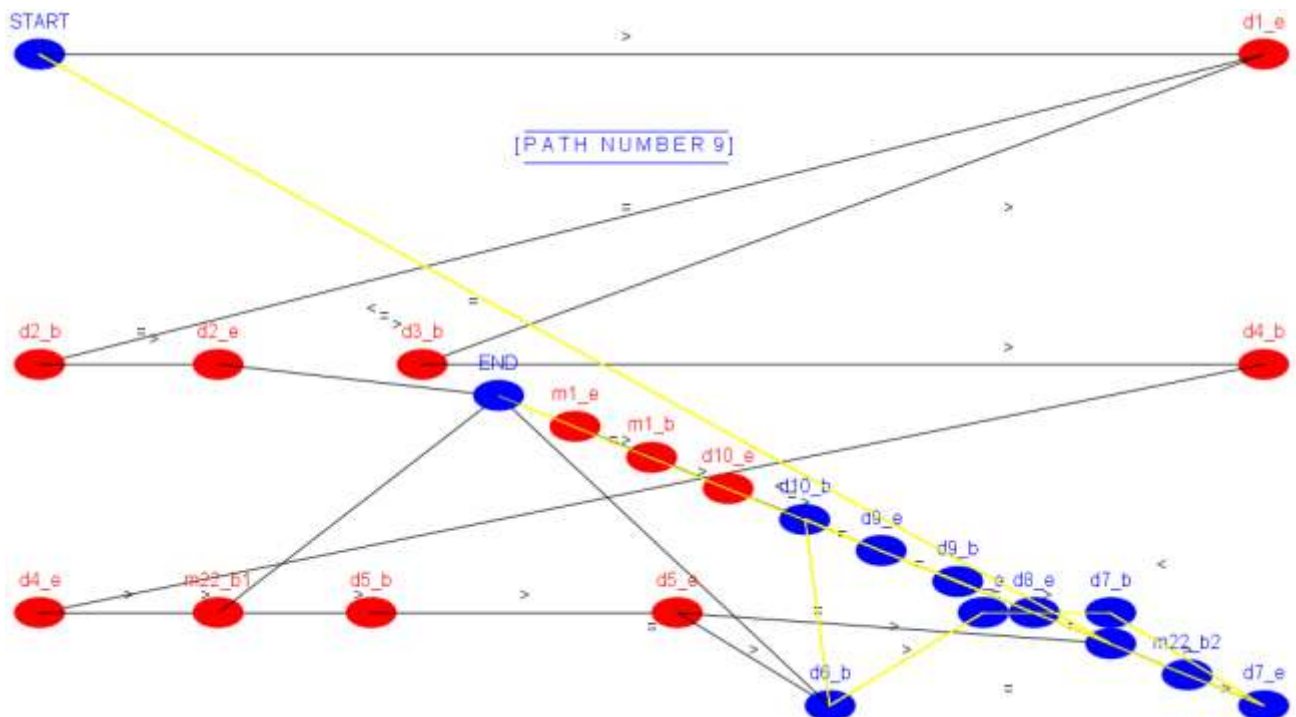
Σχήμα: Path Number 8 - Εκτέλεση 10



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 8

Path Number: 9  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d8\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d8\_b with id number 15 is related with events  
 -> d8\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d8\_e with id number 16 is related with events  
 -> d9\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d9\_b with id number 17 is related with events  
 -> d9\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d9\_e with id number 18 is related with events  
 -> d10\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d10\_b with id number 19 is related with events  
 -> d6\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d6\_b with id number 10 is related with events  
 -> d6\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d6\_e with id number 11 is related with events  
 -> d7\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event d7\_b with id number 12 is related with events  
 -> d7\_e through the following temporal relations :  
 >  
 Event d7\_e with id number 13 is related with events  
 -> m22\_b2 through the following temporal relations :  
 >  
 Event m22\_b2 with id number 14 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

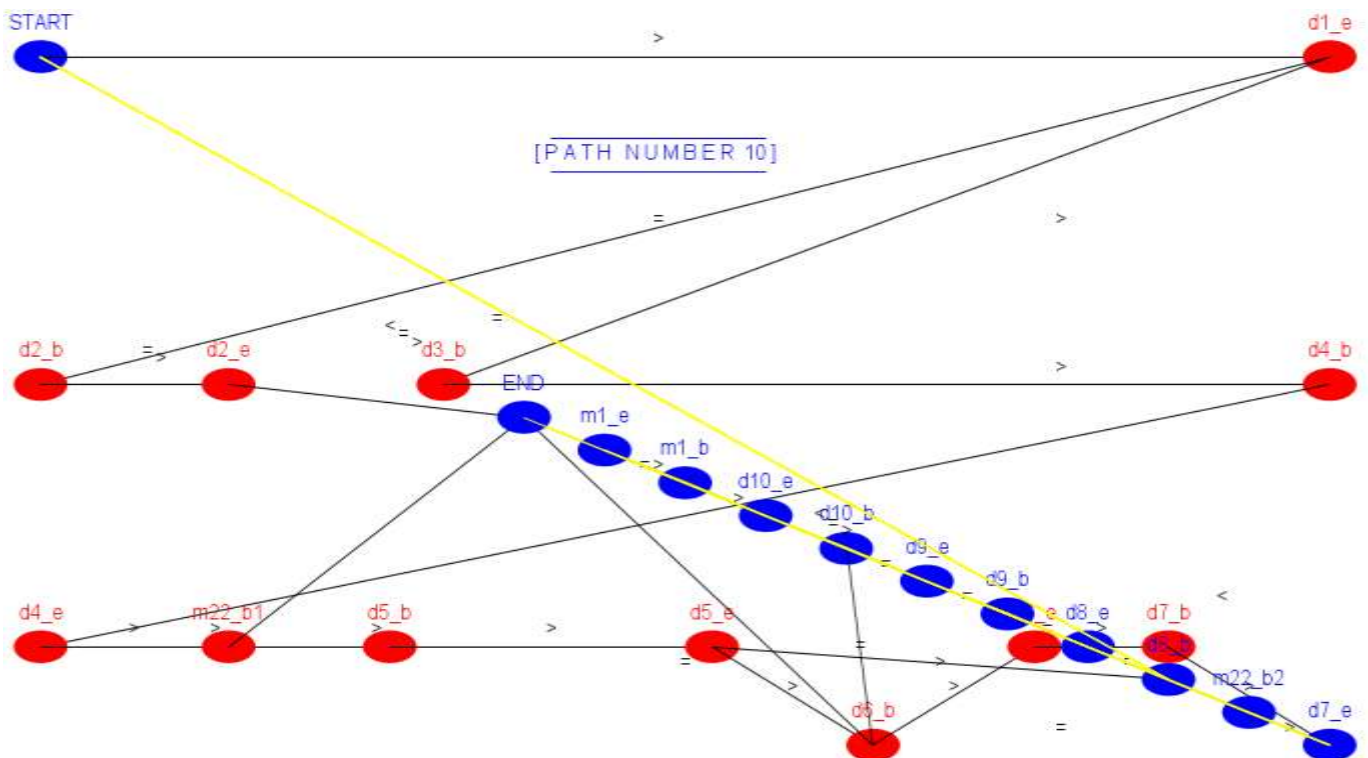
Σχήμα: Path Number 9 - Εκτέλεση 10



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 9

Path Number: 10  
 Event d1\_b with id number 0 is related with events  
 -> d8\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d8\_b with id number 15 is related with events  
 -> d8\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d8\_e with id number 16 is related with events  
 -> d9\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d9\_b with id number 17 is related with events  
 -> d9\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event d9\_e with id number 18 is related with events  
 -> d10\_b through the following temporal relations :  
 =  
 Event d10\_b with id number 19 is related with events  
 -> d10\_e through the following temporal relations :  
 <  
 =  
 >  
 Event d10\_e with id number 20 is related with events  
 -> m1\_b through the following temporal relations :  
 >  
 Event m1\_b with id number 21 is related with events  
 -> m1\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m1\_e with id number 22 is related with events  
 -> d7\_e through the following temporal relations :  
 <  
 Event d7\_e with id number 13 is related with events  
 -> m22\_b2 through the following temporal relations :  
 >  
 Event m22\_b2 with id number 14 is related with events  
 -> m22\_e through the following temporal relations :  
 =  
 Event m22\_e with id number 23 is related with events  
 -> empty through the following temporal relations :  
 empty

Σχήμα: Path Number 10 - Εκτέλεση 10



Σχήμα: Προβολή ATG γράφου Εκτέλεσης 10 – Path Number 10

```

Final -> Path Number: 1
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    <
    =
    >
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 2
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 3
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 4
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 5
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 6
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    <
    =
    >
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 7
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    >
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

Final -> Path Number: 8
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
    =
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
    empty

```

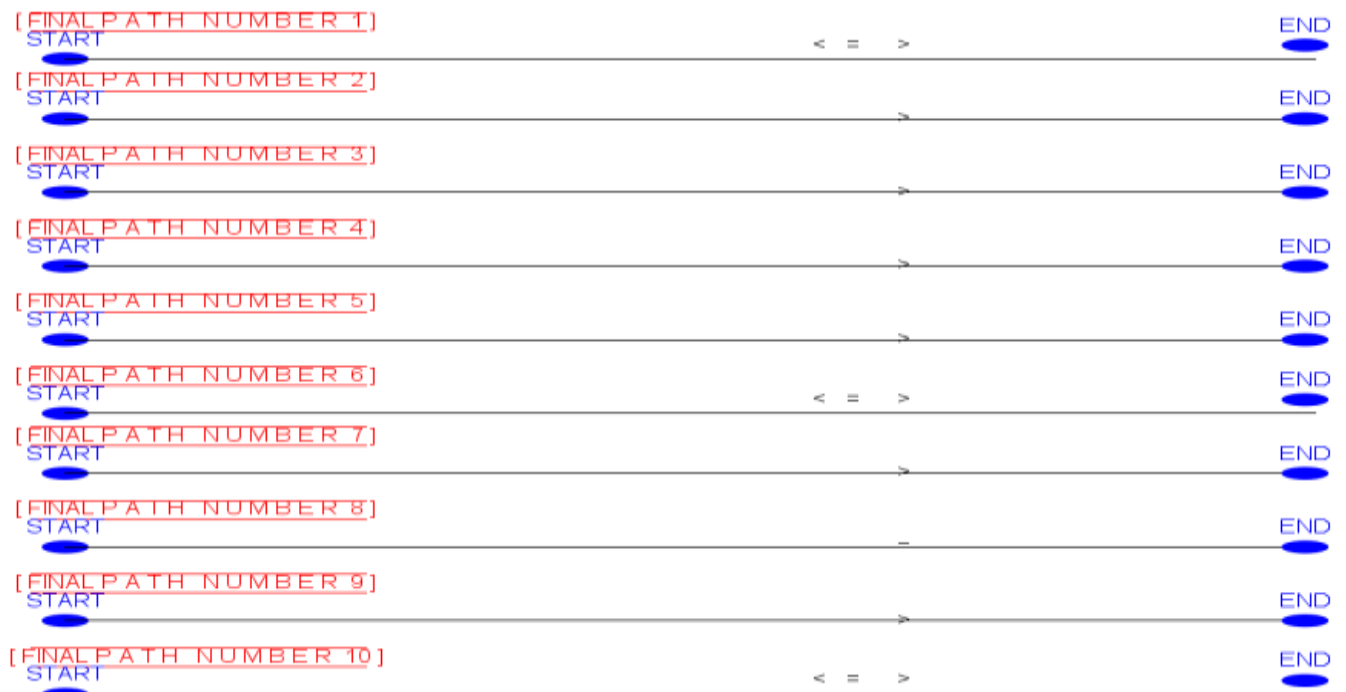
```

Final -> Path Number: 9
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
>
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

Final -> Path Number: 10
Event d1_b with id number 0 is related with events
-> m22_e through the following temporal relations :
<
=
>
Event m22_e with id number 23 is related with events
-> empty through the following temporal relations :
empty

```

**Σχήμα:** Final Path Relations - Εκτέλεση 10



**Σχήμα:** Προβολή Final Path Relations - Εκτέλεση 10

```

Inconsistency !! There is no satisfaction !!

The time elapsed is 65.254679547 seconds ! !

This is the end of the Program !!

```

**Σχήμα:** Προβολή Αποτελέσματος Προγράμματος - Εκτέλεση 10