

Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Προγραμματισμός και εγκατάσταση δικτύου  
αυτοματισμών LonWorks σε θερμοκήπια**

Επιμέλεια: Δολιανίτης Σπυρίδων

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. Κολοκοτσά Διονυσία



## Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Κεφάλαιο 1. Διαχείριση ενέργειας και εσωτερικού περιβάλλοντος θερμοκηπίων	7
1.1. Το δίκτυο LON	11
1.1.1. Κόμβος	11
1.1.2. Τοπολογίες	12
1.1.3. Τύποι καναλιών	13
1.2. Το πρωτόκολλο LonWorks	14
1.2.1. Μεταβλητές δικτύου	14
1.2.2. Επίπεδα OSI	14
1.2.3. Τρόποι προσπέλασης (Access methods)	16
1.2.4. Διευθυνσιοδότηση (Addressing)	16
1.3. Εγκατάσταση και βήματα ανάπτυξης	17
1.3.1. Neuron C	18
1.3.2. NodeBuilder	19
1.3.3. LonMaker	21
1.3.4. LonWorks Network Services (LNS)	21
1.4. LonMark Association	22
Κεφάλαιο 2. Σχεδίαση και προγραμματισμός του συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε θερμοκήπια.	23
2.1. Προγραμματισμός ελεγκτή ασαφούς λογικής	23
2.1.1. Ασαφής λογική	23
2.1.2. Συναρτήσεις fuzzy	24
2.1.3. Ανάπτυξη κώδικα ελεγκτών ασαφούς λογικής	26
2.2. Ο ελεγκτής ασαφούς λογικής	31
2.2.1. 1 <sup>ος</sup> ελεγκτής	32
2.2.2. 2 <sup>ος</sup> ελεγκτής	35
2.3. Διασύνδεση ελεγκτών με αισθητήρες και επενεργητές	40
2.3.1. 1 <sup>ος</sup> ελεγκτής	40
2.3.2. 2 <sup>ος</sup> ελεγκτής	44
2.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων	47
Κεφάλαιο 3. Εγκατάσταση και παρακολούθηση συστήματος διαχείρισης ενέργειας	49

*Περιεχόμενα*

3.1.	Περιγραφή του θερμοκηπίου _____	49
3.2.	Συσκευές δικτύου _____	50
3.2.1.	Αισθητήρια _____	50
3.2.2.	Επενεργητές _____	53
3.2.3.	Ελεγκτές _____	53
3.3.	Δοκιμαστική εγκατάσταση _____	54
3.4.	Η εγκατάσταση _____	54
3.5.	Δεδομένα _____	59
Κεφάλαιο 4.	Συμπεράσματα _____	62
Βιβλιογραφία και δικτυακές πηγές	_____	65

## Περίληψη

Η εργασία αυτή σχετίζεται με την σχεδίαση, προγραμματισμό και την εγκατάσταση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας και περιβάλλοντος σε θερμοκήπια με χρήση δικτύου αυτοματισμών Local Operating Network (LON). Το δίκτυο LON αποτελείται από έξυπνες συσκευές, οι οποίες επικοινωνούν με ένα κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας (LonWorks).

Τα πρώτα συστήματα ελέγχου αποτελούνταν από απλούς αυτοματισμούς, οι οποίοι ακολουθούσαν την απλή λογική. Με την πάροδο του χρόνου και την πρόοδο της τεχνολογίας τα συστήματα ελέγχου εξελίχθηκαν. Ο ολοένα μικρότερος όγκος, καθώς και σημαντική πτώση των τιμών των μικροεπεξεργαστών, κατέστησε δυνατή τη χρήση αυτών στα συστήματα αυτοματισμού. Τα παλαιότερα, δύσκολα στην κατασκευή τους, συστήματα αυτοματισμών με αναλογικό (Proportional - P) ή αναλογικό και ολοκληρωτικό (Proportional Integral – PI) ή με αναλογικό ολοκληρωτικό και διαφορικό (Proportional Integral Derivative – PID) έλεγχο, έγιναν ευκολότερα στην κατασκευή τους. Η υπολογιστική ισχύ των σημερινών επεξεργαστών επιτρέπει την κατασκευή συστημάτων με έλεγχο ασαφούς λογικής (fuzzy logic control), ακόμα και συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence) είναι εφικτά.

Η αρχιτεκτονική των συστημάτων που επικρατεί μέχρι και σήμερα είναι αυτών με ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα, το οποίο διαβάζει τις τιμές των αισθητηρίων, παίρνει μία απόφαση και διαβιβάζει τα κατάλληλα σήματα στους επενεργητές (actuators). Αυτή η αρχιτεκτονική απαιτεί μεγάλο όγκο καλωδιώσεων, καθώς και σε περίπτωση αναβάθμισης του συστήματος, απαιτείται από την αρχή ο σχεδιασμός του. Αυτό αποτελεί ένα μεγάλο κόστος για την επιχείρηση που διαθέτει ένα τέτοιο σύστημα.

Τα δίκτυα αυτοματισμών είναι μία σχετικά νέα αρχιτεκτονική συστημάτων αυτοματισμών. Τα πρώτα δίκτυα αυτοματισμών έκαναν την εμφάνισή τους περίπου στο τέλος της δεκαετίας του 1980. Πρωταρχικός σκοπός των εταιριών που κατασκεύασαν τα πρώτα δίκτυα αυτοματισμών ήταν η δημιουργία ενός πρωτοκόλλου επικοινωνιών, με το οποίο θα μπορούσαν να επικοινωνούν οι συσκευές. Η διαφορά των πρώτων δικτύων αυτοματισμών σε σχέση με τα δίκτυα επικοινωνιών ήταν η ανοιχτή αρχιτεκτονική που επικρατούσε στα δίκτυα επικοινωνιών. Ο κάθε κατασκευαστής έφτιαχνε και τις δικές του συσκευές, είτε αυτές ήταν αισθητήρια, επενεργητές ή κάθε μέρος του δικτύου.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται παρουσίαση των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας και περιβάλλοντος σε θερμοκήπια, καθώς επίσης και των σημαντικότερων στοιχείων τους. Το δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος διαχείρισης θερμοκηπίου με χρήση ελεγκτή ασαφούς λογικής για τον έλεγχο των περιφερειακών συσκευών. Στο τρίτο μέρος της εργασίας αναλύεται η εγκατάσταση του συστήματος σε ένα

### *Περίληψη*

πραγματικό θερμοκήπιο, καθώς επίσης παρουσιάζονται μερικά αποτελέσματα από την συλλογή των μετρήσεων των εσωτερικών συνθηκών.

## Κεφάλαιο 1. Διαχείριση ενέργειας και εσωτερικού περιβάλλοντος θερμοκηπίων

Η διαχείριση της παραγωγής στο θερμοκήπιο απαιτεί οι αποφάσεις να λαμβάνονται σε διάφορους χρόνους. Από την επιλογή της καλλιέργειας και το χρόνο φύτευσης στην αρχή κάθε καλλιεργητικής περιόδου, μέχρι τη συνεχή ρύθμιση της θερμοκρασίας με τη θέρμανση και τον εξαερισμό. Άλλες αποφάσεις λαμβάνονται και υλοποιούνται χωρίς καμιά μηχανική υποστήριξη και άλλες μπορεί να λαμβάνονται και να υλοποιούνται αυτόματα με μηχανικά μέσα.

Οι τελευταίες αποφάσεις αφορούν κυρίως τη ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος, όπου απαιτούνται πολύ συχνές και γρήγορες ενέργειες, ώστε να προσαρμόσουν το σύστημα στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Αρχικά, απλοί θερμοστάτες και υγροστάτες έδιναν εντολές στις συσκευές και ρύθμιζαν τις συνθήκες περιβάλλοντος, με μεγάλες αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές, ακόμα μέχρι και 30%. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν πιο σύνθετα συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορικό σημείο ρύθμισης (set point) αλλά και αυτά δρουν μηχανιστικά. Τελευταία αναπτύσσονται πολυσύνθετα κέντρα ελέγχου, τα οποία αντισταθμίζουν τα μειονεκτήματα όλων των προηγούμενων.

Επειδή οι επιθυμητές τιμές των παραγόντων του περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη φυσική κατάσταση που επικρατεί εκτός θερμοκηπίου (π.χ. φως), οι τιμές των παραγόντων του περιβάλλοντος μέσα στο θερμοκήπιο που επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών, δεν μπορεί να είναι σταθερές, αλλά να μεταβάλλονται συνεχώς.

Η ρύθμιση επομένως ενός από τους παράγοντες ανάπτυξης στο χώρο του θερμοκηπίου στο βέλτιστο επίπεδο (με βάση το οικονομικό αποτέλεσμα), δεν μπορεί να είναι στατική, αλλά δυναμική. Αφού π.χ. η απόκριση του φυτού στη θερμοκρασία εξαρτάται και από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία όμως μεταβάλλεται με την εξέλιξη του χρόνου, είναι αυτονόητο ότι η επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας δεν μπορεί να είναι μια σταθερή τιμή για όλη την καλλιεργητική περίοδο, αλλά η τιμή αυτή θα μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου.

Επί πλέον, αν την παραγωγή στο θερμοκήπιο τη δει κανείς από την πλευρά του επιχειρηματία παραγωγού, ουσιαστικά απαιτείται όχι η μεγιστοποίηση της παραγωγής της φυτείας, αλλά η μεγιστοποίηση του κέρδους της επιχείρησης. Οπωσδήποτε, όσο μεγαλύτερη παραγωγή επιτυγχάνεται, τόσο τα έσοδα είναι περισσότερα, η μεγιστοποίηση όμως της παραγωγής δεν συνεπάγεται πάντα και το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα της επιχείρησης, γιατί στο οικονομικό αποτέλεσμα συμμετέχουν και οι δαπάνες. Το πρόσθετο κόστος που σχετίζεται με την επιπλέον παραγωγή, κάθε φορά, πρέπει να υπερκαλύπτεται από το

επιπλέον εισόδημα που προκύπτει από τις πωλήσεις. Τελικά το κριτήριο αποτελεσματικότητας είναι το καθαρό εισόδημα στο τέλος της καλλιέργειας.

Κατά τη συνεχή ρύθμιση επομένως των παραγόντων του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, όπως π.χ. της θερμοκρασίας με τη θέρμανση και τον εξαερισμό, απαιτείται να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη όχι μόνο οι επιπτώσεις στη παραγωγή αλλά και στο τελικό οικονομικό αποτέλεσμα. Αν το κόστος του πετρελαίου π.χ. που χρησιμοποιείται στη θέρμανση είναι πολύ υψηλό, ενώ η τιμή του παραγομένου προϊόντος στην αγορά είναι χαμηλή, η αριστοποίηση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής μπορεί να μην είναι η καλύτερη λύση.

Στα εξελιγμένα συστήματα αυτοματισμών του θερμοκηπίου, η ρύθμιση του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου μπορεί να αποσκοπεί στη δημιουργία του καλύτερου δυνατού περιβάλλοντος για τη μεγιστοποίηση της ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών, τη μείωση του κόστους παραγωγής και τη μεγιστοποίηση του κέρδους της επιχείρησης. Σήμερα με ένα σύστημα αυτοματισμού ρυθμίζονται συνήθως:

α) Η θερμοκρασία, με επεμβάσεις στα συστήματα:

- Θέρμανσης
- Εξαερισμού
- Δροσισμού.

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι το στοιχείο που επιδρά περισσότερο στο κόστος παραγωγής των προϊόντων του θερμοκηπίου, μέσω της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, εξαερισμό ή και δροσισμό.

β) Η σχετική υγρασία, με επεμβάσεις στο σύστημα υδρονέφωσης, εξαερισμού και θέρμανσης.

γ) Το νερό στη ρίζα, με επεμβάσεις στο σύστημα άρδευσης.

δ) Τα λιπαντικά στοιχεία στη ρίζα, με επεμβάσεις στο σύστημα λίπανσης.

ε) Το CO<sub>2</sub> του χώρου, με επεμβάσεις στο σύστημα τροφοδοσίας CO<sub>2</sub>.

στ) Ο συμπληρωματικός φωτισμός, με επεμβάσεις σύστημα τεχνητού φωτισμού.

ζ) Η ενεργοποίηση συναγερμού σε περίπτωση μη λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης και εξαερισμού, σε πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Ένα σύστημα αυτοματισμού στο θερμοκήπιο, για να δημιουργήσει ένα θετικό οικονομικό αποτέλεσμα θα πρέπει πλην των άλλων, να εξοικονομεί όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια. Τελικά η εξοικονόμηση ενέργειας με αυτά τα συστήματα πραγματοποιείται με δυο τρόπους:



α) Με τη μείωση των απωλειών ενέργειας από το χώρο του θερμοκηπίου, μέσω της εξελιγμένης ρύθμισης και β) Με την αύξηση της παραγωγής των προϊόντων του θερμοκηπίου ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας λόγω καλύτερου περιβάλλοντος.

Για να μπορέσει να υλοποιηθεί ο αλγόριθμος σε υπάρχον θερμοκήπιο θα πρέπει να προσδιοριστούν οι απαραίτητες συσκευές του συστήματος LON που θα συνθέσουν ολόκληρο το σύστημα που θα ελέγχει το περιβάλλον του θερμοκηπίου. Η καλύτερη επιλογή για την ανάπτυξη ξεχωριστών εφαρμογών αποτελεί το σύστημα αυτοματισμών LonWorks. Παρακάτω γίνεται μια αναφορά για τα στοιχεία που χρειάζονται απαραίτητα για την υλοποίηση του συστήματος:

1. NodeBuilder 3.1/FT-10 Development Tool. Είναι το αρχικό εργαλείο ανάπτυξης δικτύων, συσκευών LonWorks.
2. PCLTA-21/FT10 PCI INTEFACE. Η απαραίτητη PCI κάρτα που χρειάζεται για συνδέσει ένα δίκτυο LonWorks με έναν επιτραπέζιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, τόσο κατά την φάση του προγραμματισμού όσο και σε διαδικασίες debugging. Επιπλέον θα είναι δυνατή η παρακολούθηση της εγκατάστασης και γενικότερα ο έλεγχος των αυτοματισμών της εγκατάστασης από τον Η/Υ.
3. DO-10 Digital Output Interface Module. Είναι μια τυποποιημένη συσκευή LonWorks η οποία ελέγχει 4 ψηφιακές εξόδους. Κάθε έξοδος εκτός από αυτόματο χειρισμό έχει την δυνατότητα μηχανικού χειρισμού καθώς και LED ελέγχου κατάστασης.
4. AI-10 Analogue Input Interface Module. Είναι μια τυποποιημένη συσκευή LonWorks η οποία ελέγχει 2 16-bit αναλογικές εισόδους για να δέχεται τάση, ρεύμα, ή αντίσταση.
5. LonWorks Temperature sensor LS-T01. Είναι ένα αισθητήριο μέτρησης εξωτερικής θερμοκρασίας το οποίο μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο δίκτυο LON χωρίς μετάφραση από αναλογικές εισόδους.
6. Nose 3 (Temp, RH, CO<sub>2</sub>). Ένας 3 σε 1 αισθητήρας θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και CO<sub>2</sub> στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με δυνατότητα σύνδεσης απευθείας στο δίκτυο LON χωρίς μετάφραση από αναλογικές εισόδους.
7. Αισθητήριο μέτρησης εσωτερικής φωτεινότητας για το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Συμβατικός αισθητήρας μέτρησης εσωτερικού φωτισμού με εύρος 0-10000 lux.

Στην ελληνική γεωργία τα συστήματα αυτοματισμών που χρησιμοποιούνται είναι περιορισμένα και εκτελούν τα απολύτως αναγκαία. Οι μέθοδοι είναι τύπου on-off (π.χ. εάν η θερμοκρασία σε ένα χώρο αυξηθεί πάνω από 27°C τότε άνοιξε τον εξαερισμό) κατά την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ κατά την χειμερινή το σύστημα δροσισμού τίθεται εκτός και ενεργοποιείται το σύστημα

θέρμανσης πάλι σε on-off καταστάσεις. Ακόμη και αν χρησιμοποιούνται τα παραπάνω συστήματα αυτοματισμών στις περισσότερες αν όχι σε όλες τις περιπτώσεις δρουν ανεξάρτητα μεταξύ τους, αγνοώντας πολλές φορές και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα. Ενώ χρειάζεται συχνά την επιτήρηση από ανθρώπινο δυναμικό. Συνεπώς δημιουργείται η ανάγκη να σχεδιαστεί ένα σύστημα για τις ελληνικές θερμοκηπιακές καλλιέργειες οπού με μικρές διαφορές στο αρχικό κόστος επένδυσης να αποφέρει την καλύτερη δυνατή καλλιέργεια από άποψη ταχύτητας αποκομιδής και ποιότητας καρπών-καλλωπιστικών φυτών με το μικρότερο δυνατό τελικό κόστος. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι αρκετά οικονομικό, πλήρως αυτόματο, να έχει μικρό κόστος συντήρησης , να αξιοποιεί ήδη υπάρχοντα συστήματα αυτοματισμών, ώστε να δίνει την δυνατότητα αναβάθμισης παλαιών εγκαταστάσεων. Θα αξιοποιεί την μέχρι σήμερα επιστημονική γνώση, παράλληλα με την εμπειρία καλλιεργητών – γεωπόνων. Όλα αυτά σε ένα καινοτόμο σύστημα αυτοματισμών ο κάθε καλλιεργητής θα έχει την δυνατότητα να ρυθμίζει τις παραμέτρους που αυτός θα θέλει να πετύχει στην εκάστοτε καλλιέργειά του.

Συνοψίζοντας, τα απολύτως απαραίτητα αισθητήρια που χρειάζονται:

- Αισθητήριο μέτρησης εσωτερικής θερμοκρασίας
- Αισθητήριο μέτρησης σχετικής υγρασίας εσωτερικού χώρου
- Αισθητήριο μέτρησης εξωτερικού περιβάλλοντος
- Αισθητήριο μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα
- Αισθητήριο μέτρησης φωτεινότητας

Επιπλέον προαιρετικά:

- Αισθητήριο υγρασίας εδάφους
- Αισθητήριο μέτρησης pH
- Αισθητήριο υγρασίας εξωτερικού χώρου.

Η πλατφόρμα του Local Operating Network αναπτύχθηκε από την εταιρία Echelon στις αρχές τις δεκαετίας του 1990. Σκοπός της εταιρίας ήταν ο σχεδιασμός ενός μικροεπεξεργαστή, ο οποίος θα κατέχει ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνιών. Η κάθε συσκευή που θα είχε αυτόν τον μικροεπεξεργαστή, θα έπρεπε να είναι ικανή να συνεργάζεται με άλλες συσκευές, ανεξαρτήτως του κατασκευαστή της, οι οποίες θα έχουν και αυτές τον ίδιο μικροεπεξεργαστή. Από το 1996, περισσότεροι από 4000 κατασκευαστές παγκοσμίως κατασκευάζουν συσκευές για δίκτυα LonWorks.

Το κυριότερο στοιχείο της τεχνολογίας αυτής είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των συσκευών. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της

τεχνολογίας αυτής, τα οποία είναι τα δίκτυα και οι τοπολογίες αυτών που μπορούν να αναπτυχθούν, καθώς και στο πρωτόκολλο επικοινωνίας και τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του. Επίσης παρουσιάζονται τρία σημαντικά εργαλεία για την ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού βασισμένα στο πρωτόκολλο LON.

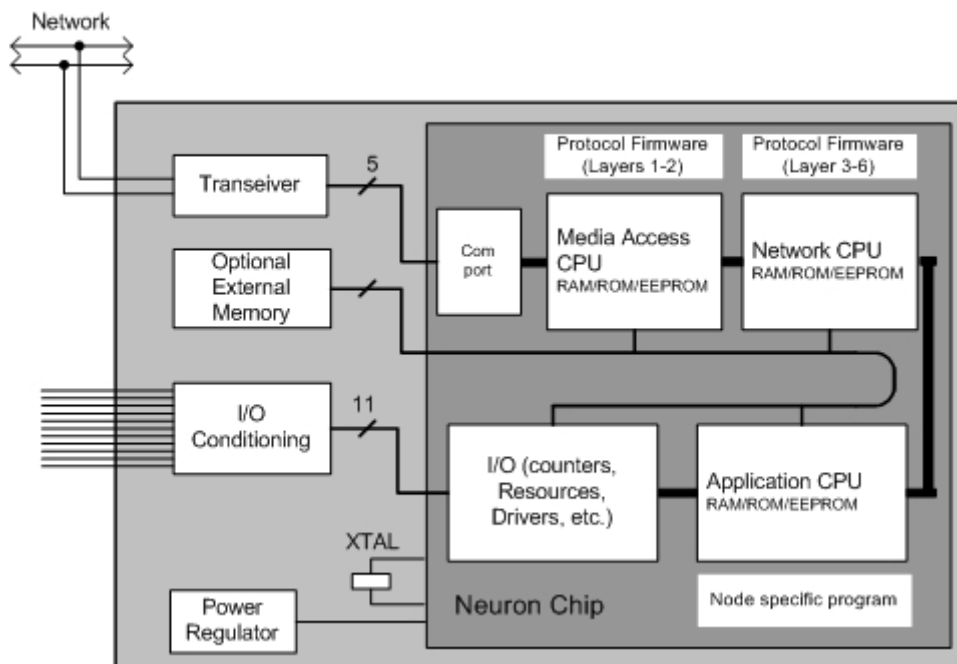
## 1.1. Το δίκτυο LON

Ένα δίκτυο LON αποτελείται από «έξυπνες» συσκευές, ή αλλιώς κόμβους, οι οποίες επικοινωνούν με ένα κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας. Ονομάζονται έξυπνες, επειδή διαθέτουν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με τρεις μικροεπεξεργαστές. Ο μικροεπεξεργαστής σε συνδυασμό με έναν πομποδέκτη αποτελούν τα βασικά μέρη μιας συσκευής LonWorks.

Η διασύνδεση των συσκευών αποτελούν το δίκτυο. Η επικοινωνία των συσκευών γίνεται με το πρωτόκολλο LonWorks. Η φυσική τους διασύνδεση μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

### 1.1.1. Κόμβος

Ένας κόμβος ενός δικτύου LonWorks μπορεί να είναι αισθητήριο ή επενεργητής ή ακόμα και ένας ελεγκτής, όπως και στην περίπτωση αυτής της εργασίας. Αυτοί είναι και οι πιο συνηθισμένοι τύποι συσκευών που αποτελούν ένα δίκτυο LonWorks. Κάποιοι άλλοι τύποι συσκευών που μπορούν να συνδεθούν σε αυτό το δίκτυο είναι: συσκευή για τη συλλογή και αποθήκευση δεδομένων από τις συσκευές του δικτύου (data logger), δρομολογητής (router) καθώς επίσης και ένας εξυπηρετητής δικτύου (internet server) για την από απόσταση επιτήρηση του δικτύου.



Σχήμα 1.1 Μία τυπική συσκευή LonWorks

Στο Σχήμα 1.1 απεικονίζονται τα μέρη μίας τυπικής συσκευής LonWorks, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

#### **1.1.1.1 Neuron Chip**

Στο Neuron Chip εμπεριέχονται τρεις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας (Central Processing Units). Και οι τρεις μονάδες επεξεργασίας είναι των 8 bit και είναι ίδιες μεταξύ τους. Η κάθε μονάδα επεξεργασίας είναι προορισμένη για διαφορετική εργασία από τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα:

- 1) Η πρώτη μονάδα ελέγχει την προσπέλαση των δεδομένων στο φυσικό μέσο μετάδοσης (Media Access Control (MAC) CPU), Η μονάδα αυτή διαχειρίζεται τα επίπεδα 1 και 2 του μοντέλου OSI.
- 2) Η δεύτερη είναι η μονάδα επεξεργασίας δικτύου (Network CPU). Αυτή η μονάδα διαχειρίζεται τα επίπεδα 3 έως 6 του μοντέλου OSI. Επίσης διαχειρίζεται την επεξεργασία των μεταβλητών δικτύου, τη διευθυνσηοδότηση, την πιστοποίηση και την διαχείριση δικτύου.
- 3) Τέλος, η μονάδα επεξεργασίας εφαρμογών (Application CPU) εκτελεί τον ανεπτυγμένο από το χρήστη κώδικα, παράλληλα με τις υπηρεσίες του λειτουργικού προγράμματος που καλούνται από το πρόγραμμα εφαρμογής.

Κάθε μία από τις τρεις αυτές μονάδες επεξεργασίας διαθέτει το δικό της σετ καταχωρητών, αλλά και οι τρεις μοιράζονται δεδομένα και διευθύνσεις της αριθμητικής λογικής μονάδας (ALU).

#### **1.1.1.2 Πομποδέκτης**

Κάθε συσκευή διαθέτει ένα πομποδέκτη (transceiver). Ο πομποδέκτης παρέχει την επικοινωνία της συσκευής με το υπόλοιπο δίκτυο. Υπάρχουν αρκετοί τύποι πομποδεκτών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον τύπο του δικτύου. Συσκευές με διαφορετικό τύπο πομποδέκτη μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους μόνο με την ενδιάμεση χρήση ενός δρομολογητή (router).

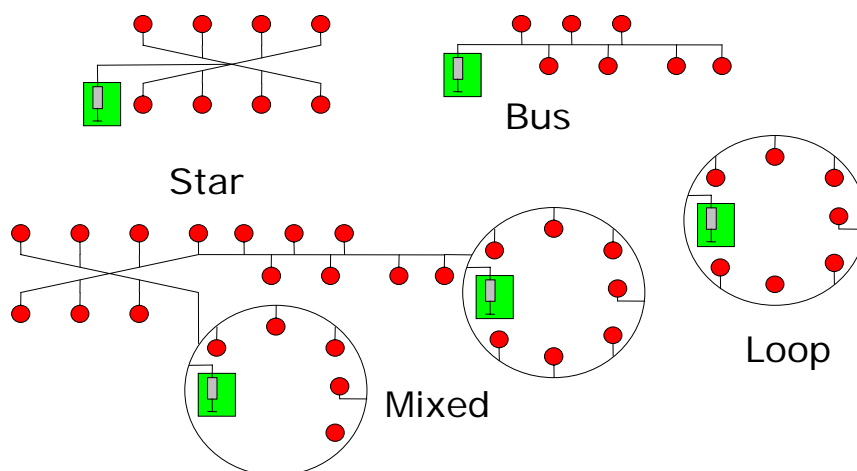
#### **1.1.1.3 Μνήμη**

Η μνήμη είναι και αυτή ένα από τα κυριότερα μέρη μιας συσκευής. Στη μνήμη τοποθετείται το πρόγραμμα που εκτελείται από τη συσκευή. Κάθε συσκευή μπορεί να διαθέτει και διαφορετικό τύπο μνήμης. Οι τύποι μνήμης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ROM, EEPROM και flash. Υπάρχουν όμως Neuron chip στα οποία έχει τοποθετηθεί εσωτερικά η μνήμη και δεν αναγκαία η προσθήκη εξωτερικής.

#### **1.1.2. Τοπολογίες**

Μία διαφορά που κάνει τα δίκτυα LonWorks να ξεχωρίζουν σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα αυτοματισμών είναι οι τοπολογίες που μπορούν να αναπτυχθούν. Λόγω της τεχνολογίας τους δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στην τοπολογία των δικτύων. Στο Σχήμα 1.2 βλέπουμε τους τρεις κλασικούς

τύπους τοπολογιών, γνωστοί από τα δίκτυα υπολογιστών, και είναι οι αστέρα (star) διαύλου (bus) και βρόγχου (loop). Επίσης υπάρχει και ένας τέταρτος τύπος (mixed), ο οποίος είναι ο συνδυασμός των τριών προηγούμενων.



Σχήμα 1.2 Οι τοπολογίες των δικτύων LonWorks

### 1.1.3. Τύποι καναλιών

Για να γίνει η μετάδοση των σημάτων μεταξύ των συσκευών, είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιο μέσο μετάδοσης. Στον Πίνακα 1.1 βλέπουμε μερικούς από τους τύπους καναλιών που χρησιμοποιούνται ευρέως στα δίκτυα Lonworks.

Πίνακας 1.1 Μερικοί από τους κυριότερους τύπους καναλιών

Τύπος καναλιού	Μέσο μετάδοσης	Ρυθμός μετάδοσης	Συμβατοί πομποδέκτες	Μέγιστος αριθμός συσκευών	Μέγιστη απόσταση
TP/FT-10	Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων, με ελεύθερη τοπολογία ή τοπολογία διαύλου	78 kbps	FTT-10, FTT-10A, LPT-10	64 - 128	500μ. Σε ελεύθερη τοπολογία, 2200μ. σε τοπολογία διαύλου
TP/XF-1250	Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων με τοπολογία διαύλου	1,25 Mbps	TPT/XF-1250	64	125μ.
PL-20	Γραμμές ισχύος	5,4 kbps	PLT-20, PLT-21, PLT-22	Εξαρτάται από το περιβάλλον	Εξαρτάται από το περιβάλλον
IP-10	Μέσω δικτύου υπολογιστών	Ανάλογα με το δίκτυο υπολογιστών	Ανάλογα με το δίκτυο υπολογιστών	Ανάλογα με το δίκτυο υπολογιστών	Ανάλογα με το δίκτυο υπολογιστών

Υπάρχουν άλλοι δύο τύποι καναλιών οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις. Ο ένας είναι η μετάδοση των σημάτων μέσω οπτικών ινών και ο δεύτερος με τη χρήση ραδιοσυχνοτήτων. Οι δυο αυτοί τύποι καναλιών χρησιμοποιούνται όταν οι αποστάσεις των συσκευών του δικτύου είναι αρκετά

μεγάλες, οπότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος τύπος καναλιού από αυτούς του παραπάνω πίνακα λόγω του περιορισμού που υπάρχει για την μέγιστη απόσταση ενός δικτύου.

## 1.2. Το πρωτόκολλο LonWorks

Το πρωτόκολλο LonWorks, γνωστό και ως LonTalk (ANSI/EIA 709.1 Control Networking Standard) είναι η καρδιά ενός συστήματος LonWorks. Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει μία ομάδα από υπηρεσίες, οι οποίες επιτρέπουν στην εφαρμογή που έχει τοποθετηθεί στη συσκευή, να λαμβάνει και να αποστέλλει δεδομένα στις υπόλοιπες συσκευές, χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζει την τοπολογία του δικτύου, τα ονόματα, τις διευθύνσεις ή τις λειτουργίες των υπόλοιπων συσκευών.

### 1.2.1. Μεταβλητές δικτύου

Μια μεταβλητή δικτύου είναι οποιοδήποτε στοιχείο δεδομένων που η εφαρμογή μιας συσκευής αναμένει να λάβει από άλλες συσκευές του δικτύου (μεταβλητή δικτύου εισόδου - input network variable) ή αναμένει να κάνει διαθέσιμο στις υπόλοιπες συσκευές (μεταβλητή δικτύου εξόδου - output network variable). Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του δικτύου πραγματοποιείται η διαδικασία της σύνδεσης (binding). Η διαδικασία αυτή στην ουσία είναι η λογική διασύνδεση των συσκευών μέσω των μεταβλητών δικτύου.

Κάθε μεταβλητή δικτύου έχει έναν τύπο που καθορίζει τις μονάδες, την κλίμακα και τη δομή των δεδομένων που περιλαμβάνονται σε αυτή. Οι μεταβλητές δικτύου που συνδέονται πρέπει να είναι του ίδιου τύπου. Ένα σύνολο τυποποιημένων μεταβλητών δικτύου (Standard Network Variable Types - SNVTs) έχει καθοριστεί για τους συνήθεις χρησιμοποιημένους τύπους. Εναλλακτικά, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τους δικούς τους τύπους μεταβλητών δικτύου (User-defined Network Variable Types - UNVTs).

### 1.2.2. Επίπεδα OSI

Το LonWorks είναι ένα peer-to-peer πρωτόκολλο, βασισμένο στην ανταλλαγή πακέτων. Όπως το πρωτόκολλο Ethernet, έτσι και το LonWorks είναι σύμφωνο με τις οδηγίες του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (International Standards Organization – ISO) για το μοντέλο της Ανοιχτής Διασύνδεσης Συστημάτων (Open Systems Interconnect – OSI).

Το LonWorks, όμως, είναι σχεδιασμένο περισσότερο για τις ανάγκες των συστημάτων ελέγχου, παρά για τη μετάδοση δεδομένων, όπως και το Ethernet. Σε αντίθεση με άλλα πρωτόκολλα, τα οποία χρησιμοποιούν μερικά από τα επίπεδα του OSI (κυρίως 1,2,3 και 7), το LonWorks χρησιμοποιεί και τα 7. Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται τα επίπεδα του OSI, καθώς και η χρήση του καθενός από αυτά στο πρωτόκολλο LonWorks.

Πίνακας 1.2 Τα επίπεδα OSI του δικτύου LonWorks

A/A	Επίπεδο	Σκοπός και υπηρεσίες που παρέχονται
1	Φυσικό	Καθορίζει τον τρόπο μετάδοσης των δεδομένων στο κανάλι

<b>A/A</b>	<b>Επίπεδο</b>	<b>Σκοπός και υπηρεσίες που παρέχονται</b>
		επικοινωνιών. Το φυσικό επίπεδο εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα που μεταδίδει μία συσκευή, σε μορφή bits, θα παραληφθούν από τις υπόλοιπες συσκευές σωστά.
2	Ζεύξης δεδομένων	Καθορίζει τις μεθόδους προσπέλασης στο κανάλι και την κωδικοποίηση των δεδομένων ώστε να διασφαλιστεί η αποδοτική χρήση του καναλιού. Τα bits από το φυσικό επίπεδο χωρίζονται σε πακέτα. Στο επίπεδο αυτό καθορίζεται πότε μία συσκευή εκπέμπει ένα πακέτο δεδομένων, καθορίζεται πως η συσκευή λήψης θα λάβει τα πακέτα δεδομένων και εντοπίζει λάθη κατά τη μετάδοση τους. Ένας μηχανισμός προτεραιότητας έχει επίσης καθοριστεί για να εξασφαλιστεί η παράδοση των σημαντικών μηνυμάτων μεταξύ των συσκευών.
3	Δικτύου	Το επίπεδο δικτύου καθορίζει τον τρόπο δρομολόγησης των πακέτων δεδομένων από τη συσκευή εκπομπής μέχρι τη συσκευή λήψης, είτε αυτές οι δύο είναι στο ίδιο τύπο καναλιού, είτε σε διαφορετικό. Επίσης από αυτό το επίπεδο γίνεται η ονοματολογία και η διευθυνσιοδότηση των συσκευών
4	Διακίνησης	Το επίπεδο διακίνησης διασφαλίζει τη σωστή μετάδοση των πακέτων δεδομένων. Τα δεδομένα ανταλλάσσονται χρησιμοποιώντας την υπηρεσία βεβαίωσης λήψης, δηλαδή η συσκευή που στέλνει δεδομένα περιμένει μέχρι να λάβει ένα μήνυμα από τη συσκευή λήψης ότι παρέλαβε τα δεδομένα σωστά. Αν η συσκευή «αποστολέας» δεν λάβει κανένα τέτοιο μήνυμα, τότε ξαναστέλνει τα δεδομένα.
5	Συνόδου	Στο επίπεδο αυτό γίνεται έλεγχος των δεδομένων που ανταλλάσσονται στα χαμηλότερα επίπεδα. Επίσης υποστηρίζει απομακρυσμένες υπηρεσίες, ώστε μία συσκευή «πελάτης» να μπορεί να θέσει ένα ερώτημα σε έναν απομακρυσμένο εξυπηρετητή, και να λάβει απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Ένα πρωτόκολλο πιστοποίησης έχει οριστεί επίσης, με σκοπό να επιτρέπει στους παραλήπτες ενός μηνύματος να προσδιορίσουν αν ο αποστολέας του μηνύματος είναι εξουσιοδοτημένος να στέλνει μηνύματα.
6	Παρουσίασης	Στο επίπεδο παρουσίασης γίνεται η δόμηση των δεδομένων που ανταλλάσσονται στα χαμηλότερα επίπεδα καθορίζοντας την κωδικοποίηση των δεδομένων. Τα δεδομένα μπορεί να είναι κωδικοποιημένα σε μεταβλητές δικτύου, μηνύματα εφαρμογών.
7	Εφαρμογών	Το επίπεδο αυτό προσθέτει συμβατότητα μεταξύ των δεδομένων που ανταλλάσσονται στα χαμηλότερα επίπεδα. Τα τυποποιημένα στοιχεία προωθούν την διαλειτουργικότητα εξασφαλίζοντας ότι οι εφαρμογές των συσκευών χρησιμοποιούν μία κοινή σημασιολογική ερμηνεία των δεδομένων που ανταλλάσσονται στα κατώτερα επίπεδα. Η κοινή σημασιολογική ερμηνεία διασφαλίζει ότι διαφορετικές εφαρμογές θα παρουσιάζουν μία κοινή συμπεριφορά στις αλλαγές των δεδομένων των μεταβλητών δικτύου. Στο επίπεδο εφαρμογών έχει καθοριστεί και ένα πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων μεταξύ των εφαρμογών των συσκευών του δικτύου.

Η κάθε συσκευή σε ένα κανάλι «διαβάζει» κάθε πακέτο που εκπέμπεται σε αυτό, και ελέγχει αν τα δεδομένα προορίζονται για την εφαρμογή της συσκευής ή είναι κάποιο πακέτο δεδομένων διαχείρισης δικτύου. Τα δεδομένα

του πακέτου αυτού μεταφέρονται στην εφαρμογή της συσκευής, και ένα μήνυμα βεβαίωσης λήψης δεδομένων στέλνεται στην συσκευή «αποστολέα».

### **1.2.3. Τρόποι προσπέλασης (Access methods)**

Ο τρόπος που λειτουργεί το πρωτόκολλο Ethernet είναι ο εξής: όταν δύο ή περισσότερες συσκευές θέλουν να επικοινωνήσουν στο κανάλι, περιμένουν μέχρι να σταματήσει η εκπομπή από τις υπόλοιπες συσκευές. Όταν δουν ότι καμία άλλη συσκευή δεν εκπέμπει δεδομένα, τότε οι συσκευές στέλνουν τα δεδομένα τους. Στην περίπτωση που συσκευές προσπαθήσουν να στείλουν ταυτόχρονα τα δεδομένα τους τότε έχουμε μια σύγκρουση (collision). Όταν οι συσκευές δουν αυτή τη σύγκρουση σταματούν τη μετάδοση των δεδομένων, περιμένουν για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα, διαφορετικό για τις δύο συσκευές, και μετά ξανά δοκιμάζουν να στείλουν τα δεδομένα τους στο κανάλι.

Μέχρι αυτό το σημείο τα δύο πρωτόκολλα λειτουργούν με την ίδια μέθοδο ως προς τον τρόπο προσπέλασης των δεδομένων σε ένα κανάλι. Στο Ethernet υπάρχει ένας συγκεκριμένος αριθμός τυχαίων χρονικών διαστημάτων (time slots) για την επανεκπομπή των δεδομένων σε περίπτωση σύγκρουσης. Εν αντιθέσει στο LonWorks, ο αριθμός αυτός αυξάνεται ανάλογα με τον αριθμό των συσκευών του δικτύου. Έτσι, ενώ σε ένα δίκτυο Ethernet, όσο ο αριθμός των συσκευών αυξάνει, αυξάνει και η πιθανότητα δύο συσκευές να έχουν τον ίδιο χρόνο επανεκπομπής δεδομένων, σε ένα δίκτυο LonWorks η πιθανότητα αυτή παραμένει σταθερή, άρα η πιθανότητα να καθυστερήσει η μετάδοση των δεδομένων είναι πάρα πολύ μικρή. Αυτή η διαφορά κάνει τα δίκτυα LonWorks ιδανικά για βιομηχανική χρήση, στα οποία οι απαιτήσεις για σωστή και άμεση μετάδοση σημάτων είναι μεγάλες.

### **1.2.4. Διευθυνσιοδότηση (Addressing)**

Η διευθυνσιοδότηση καθορίζει τον τρόπο που δρομολογούνται τα πακέτα δεδομένων από την συσκευή που τα εκπέμπει μέχρι τη συσκευή ή τις συσκευές που τα λαμβάνουν. Για να μπορεί να υποστηρίξει δίκτυα με οποιαδήποτε αριθμό συσκευών, το LonWorks διαθέτει τους παρακάτω τύπους διευθυνσιοδότησης:

- με τη φυσική διεύθυνση (physical address). Με τον τρόπο αυτό χρησιμοποιείται η μοναδική 48-bit διεύθυνση της συσκευής. Ο τρόπος αυτός ενδείκνυται για μικρά δίκτυα. Ο λόγος είναι ότι, σε περίπτωση αντικατάστασης μίας συσκευής του δικτύου λόγω κάποιας δυσλειτουργίας της, για να μπορούν οι υπόλοιπες συσκευές να αναγνωρίσουν τη νέα συσκευή, θα πρέπει να ξανά προγραμματιστούν οι υπόλοιπες συσκευές του δικτύου.
- με διεύθυνση συσκευής (device address). Οι διευθύνσεις συσκευών αποτελούνται από τρία μέρη: την ταυτότητα domain (domain ID), την ταυτότητα υποδικτύου (subnet ID) και την ταυτότητα του κόμβου (node ID). Η ταυτότητα domain αναγνωρίζει συσκευές που μπορεί να επικοινωνούν. Οι συσκευές πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο domain ώστε να μπορεί να γίνεται η ανταλλαγή των πακέτων δεδομένων. Σε ένα



domain μπορούν να υπάρχουν ως 32385 συσκευές. Η ταυτότητα υποδικτύου αναγνωρίζει ένα σύνολο από 127 συσκευές, οι οποίες βρίσκονται στο ίδιο κανάλι ή σε διαφορετικά συνδεδεμένα με επαναλήπτες (repeaters). Οι ταυτότητες υποδικτύου χρησιμοποιούνται για την αποδοτική δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων σε μεγάλα δίκτυα. Σε ένα domain μπορεί να υπάρχουν μέχρι και 255 υποδίκτυα. Η ταυτότητα κόμβου αναγνωρίζει μία συσκευή σε ένα υποδίκτυο.

- με διεύθυνση ομάδας (group address). Μία ομάδα είναι μία συλλογή από λογικά συνδεδεμένες συσκευές μέσα σε ένα domain. Αντίθετα προς το υποδίκτυο, οι συσκευές είναι ομαδοποιημένες άσχετα με την φυσική τους θέση στο domain. Μία ομάδα συσκευών μπορεί να έχει μέχρι και 64 συσκευές αν χρησιμοποιούνται μηνύματα αναγνώρισης, ενώ στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνται μηνύματα αναγνώρισης, τότε δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των συσκευών. Οι ομάδες είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος να για τη βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης (bandwidth) για πακέτα δεδομένων που δρομολογούνται σε πολλές συσκευές. Σε ένα domain μπορεί να υπάρχουν μέχρι 256 ομάδες συσκευών.
- με ευρεία διεύθυνση (broadcast address). Μία ευρεία διεύθυνση αναγνωρίζει όλες τις συσκευές ενός υποδικτύου, ή όλες τις συσκευές ενός domain. Ο τύπος της ευρείας διεύθυνσης είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος επικοινωνίας με πολλές συσκευές, και μερικές φορές χρησιμοποιείται αντί για διεύθυνση ομάδας.

Από τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για τα όρια του αριθμού των συσκευών που μπορούν να υπάρχουν σε ένα δίκτυο LonWorks.

**Πίνακας 1.3 Τα όρια στον αριθμό των συσκευών για ένα δίκτυο LonWorks**

Συσκευές σε ένα υποδίκτυο	127
Υποδίκτυα σε ένα domain	255
Συσκευές σε ένα domain	32385
Domains σε ένα δίκτυο	$2^{48}$
Μέγιστος αριθμός συσκευών σε ένα σύστημα	$32385 \times 2^{48}$
Συσκευές σε μία ομάδα	<ul style="list-style-type: none"><li>• με χρήση μηνυμάτων αναγνώρισης</li><li>• χωρίς χρήση μηνυμάτων αναγνώρισης</li></ul>
Ομάδες σε ένα domain	255
Αριθμός καναλιών σε ένα δίκτυο	Χωρίς όριο

### **1.3. Εγκατάσταση και βήματα ανάπτυξης**

Για να γίνει η εγκατάσταση ενός δικτύου LonWorks απαιτούνται κάποιες εργασίες και κάποια εργαλεία. Οι εργασίες που πρέπει να γίνουν ξεκινούν με το σχεδιασμό του δικτύου, στη συνέχεια γίνεται η εγκατάσταση και ο προγραμματισμός του, και τελειώνουν με την παρακολούθηση της λειτουργίας του. Επίσης, ένα κομμάτι του σχεδιασμού είναι και η ανάπτυξη κάποιας πρωτότυπης συσκευής, η οποία θα ανταποκρίνεται σε κάποιες ειδικές

λειτουργίες του δικτύου. Μερικά από αυτά τα εργαλεία περιγράφονται παρακάτω.

### 1.3.1. Neuron C

Η Neuron C είναι μια γλώσσα προγραμματισμού, βασισμένη στην ANSI C, σχεδιασμένη για τον προγραμματισμό των Neuron chip.

Μερικά από τα στοιχεία που έχουν προστεθεί στην Neuron C είναι τα εξής:

- Ένα πρότυπο επικοινωνίας δικτύων, βασισμένο σε μεταβλητές δικτύου (network variables). Οι μεταβλητές δικτύου χρησιμοποιούνται από μία συσκευή για την λήψη και αποστολή δεδομένων από και προς τις άλλες συσκευές του δικτύου.
- Ένα άλλο στοιχείο που έχει προστεθεί στην Neuron C είναι και οι ιδιότητες διαμόρφωσης (configuration properties). Η κάθε εφαρμογή που εκτελείται σε μία συσκευή, πολλές φορές χρειάζεται προσαρμογή των παραμέτρων της, όπως κάποιες προκαθορισμένες τιμές, κάποια μέγιστα και ελάχιστα όρια κ.α. Η ανανέωση των δεδομένων αυτών των παραμέτρων γίνεται με τη χρήση αυτού του στοιχείου.
- Επίσης έχει προστεθεί και ένα σύνολο από στοιχεία εισόδου/εξόδου (input/output), τα οποία υποστηρίζουν τις δυνατότητες.
- Ένα νέο πολύ δυνατό στοιχείο που έχει προστεθεί σε αυτή τη γλώσσα είναι η δήλωση when (when statement). Το στοιχείο αυτό λειτουργεί ως εξής: αν η συνθήκη που υπάρχει στη δήλωση του στοιχείου είναι αληθής τότε εκτελείται ο κώδικας που υπάρχει στη συνέχεια. Το παρακάτω παράδειγμα παρουσιάζει μία τυπική δήλωση when.

```
when (x==3)
{
    io_out(led, ON)
}
```

Η δήλωση των μεταβλητών μιας εφαρμογής στην Neuron C είναι ίδια με αυτή στην ANSI C.

Παρόλο που οι δύο γλώσσες έχουν αρκετά στοιχεία, υπάρχουν μερικά σημεία στα οποία διαφέρουν. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- Η Neuron C δεν υποστηρίζει απευθείας πράξεις με μεταβλητές κινητής υποδιαστολής (floating point variable). Για το λόγω αυτό έχει προστεθεί μία βιβλιοθήκη, η οποία διαθέτει συναρτήσεις που κάνουν τις πράξεις αυτές καθώς επίσης και την μετατροπή σε μεταβλητές κινητής υποδιαστολής από οποιαδήποτε άλλη μορφή.
- Μια άλλη διαφορά είναι ότι στη Neuron C το μέγεθος της μεγαλύτερης μεταβλητής είναι 16 bit, ενώ στην ANSI C υπάρχουν σαφώς μεταβλητές μεγαλύτερου μεγέθους. Στην περίπτωση που πρέπει να

χρησιμοποιηθούν μεταβλητές μεγέθους 32 bit, υπάρχει μία βιβλιοθήκη που επιτρέπει τη δήλωση αυτών των μεταβλητών καθώς και τις πράξεις μεταξύ αυτών.

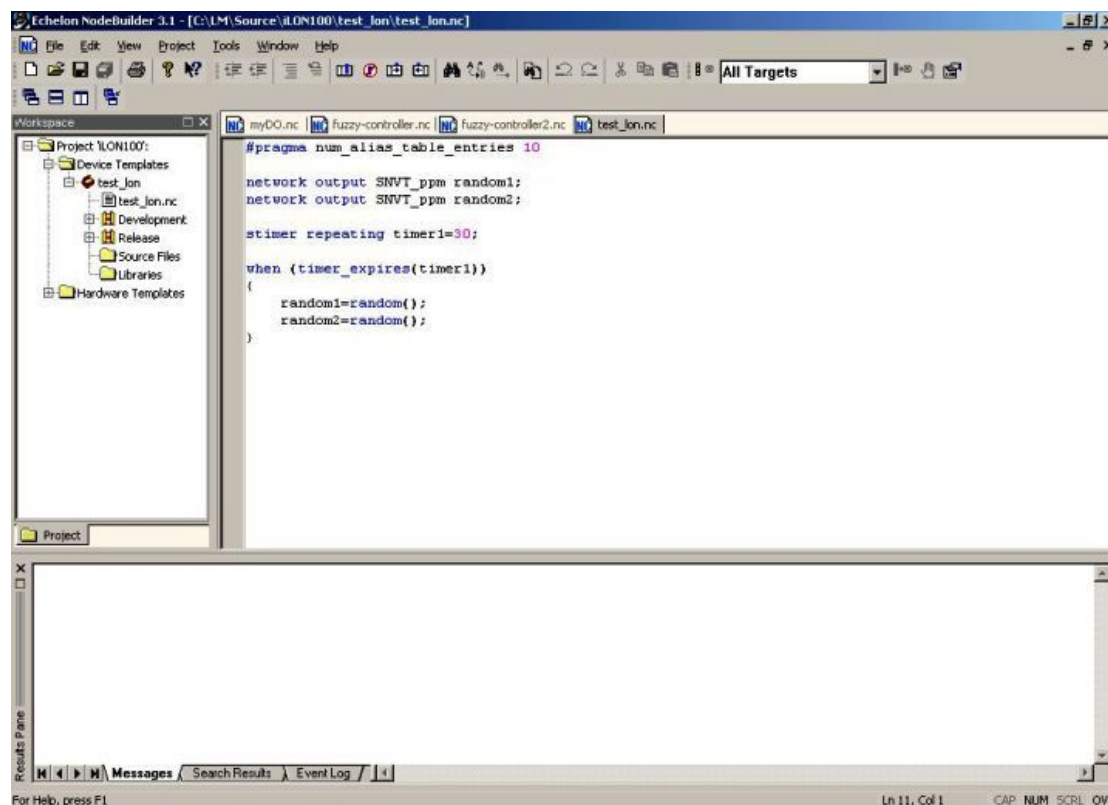
- Στη Neuron C δεν επιτρέπεται η χρήση δομών (structures) ή ενώσεων (unions) σαν ορίσματα ή αποτελέσματα συναρτήσεων.
- Τέλος στη Neuron C δεν υπάρχει η συνάρτηση main(). Για να εκτελεστεί ένα πρόγραμμα Neuron C, συνήθως χρησιμοποιείται μία δήλωση when(). Το ποιο κοινό είναι το when(reset), το οποίο εκτελείται όταν γίνει επανεκκίνηση της συσκευής.

### **1.3.2. NodeBuilder**

Το NodeBuilder είναι μια πλατφόρμα αποτελούμενη από λογισμικό πρόγραμμα και από το υλικό μέρος, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη εφαρμογών που θα εκτελούνται στα Neuron chip. Το πρόγραμμα προσφέρει τις εξής λειτουργίες:

- Συγγραφή και επεξεργασία κώδικα σε γλώσσα Neuron C. Ο κώδικας αυτός στη συνέχεια μεταγλωττίζεται (compilation) και στη συνέχεια δημιουργείται ένα αρχείο, το οποίο φορτώνεται σε μία συσκευή του δικτύου, και εκτελεί των κώδικα που είχε αναπτυχθεί νωρίτερα.
- Το NodeBuilder διαθέτει επίσης τη λειτουργία της αποσφαλματοποίησης (debugging). Η λειτουργία αυτή είναι εφικτή μόνο όταν έχει προγραμματιστεί η επιθυμητή συσκευή.
- Μια πολλή χρήσιμη λειτουργία που διαθέτει το πρόγραμμα αυτό είναι η αυτόματη δημιουργία κώδικα. Ο κώδικας που δημιουργείται μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με τις ανάγκες της συσκευής.

Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζεται το περιβάλλον λειτουργίας του λογισμικού προγράμματος NodeBuilder.



Εικόνα 1.1 Το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος NodeBuilder

Το υλικό μέρος αποτελείται από το LTM-10A και το Gizmo 4. Το LTM-10A είναι μία συσκευή LonWorks και διαθέτει δύο τύπους μνήμης: flash και RAM. Χρησιμοποιείται για τη δοκιμή των εφαρμογών που αναπτύσσονται στο λογισμικό πρόγραμμα. Το Gizmo 4 (Εικόνα 1.2) είναι μία συσκευή που συνδέεται με το LTM-10A και διαθέτει κάποια βασικά στοιχεία εισόδου/εξόδου.

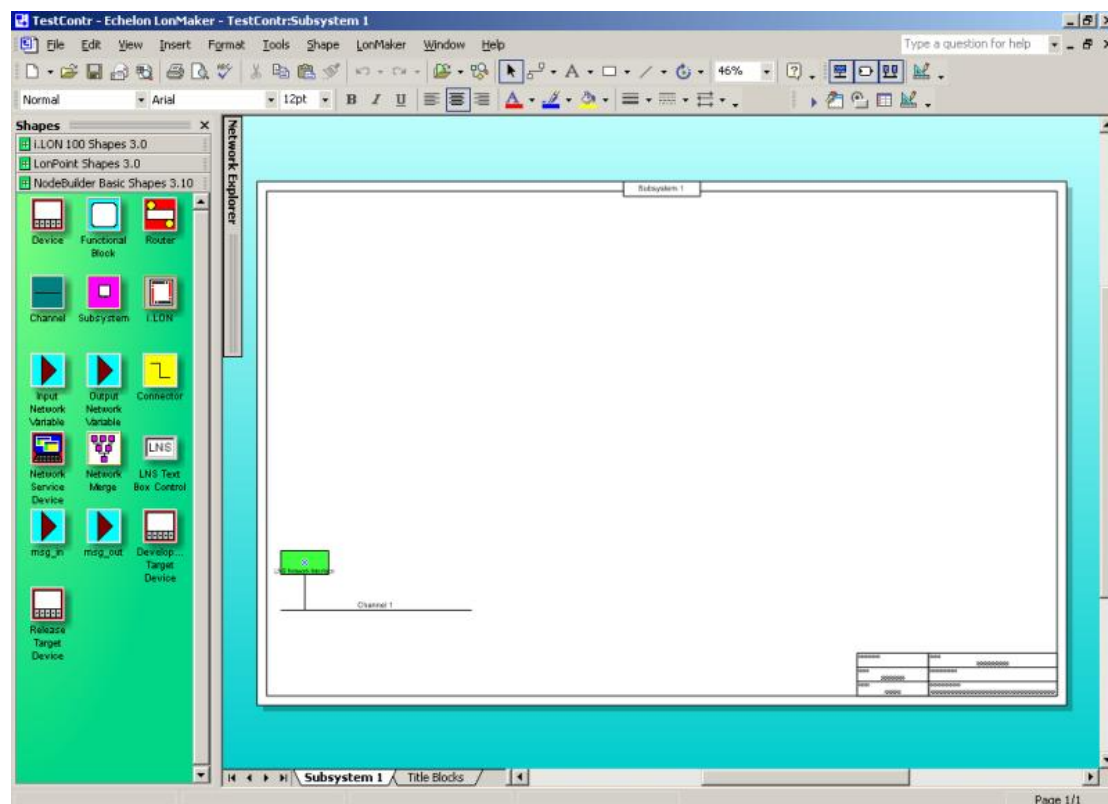


Εικόνα 1.2 Η Συσκευή Gizmo 4

### 1.3.3. LonMaker

Το LonMaker™ Integration Tool είναι ένα λογισμικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό δικτύων LonWorks. Βασίζεται στο γραφικό περιβάλλον του Microsoft Visio®.

Ο προγραμματισμός ενός δικτύου μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να γίνει ο σχεδιασμός χωρίς ο υπολογιστής που φιλοξενεί το LonMaker να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο και στη συνέχεια να γίνει ο προγραμματισμός των συσκευών και του δικτύου. Ο δεύτερος είναι κατά το σχεδιασμό του δικτύου ο προγραμματισμός του καθώς επίσης και ο προγραμματισμός των συσκευών. Μπορεί οι δύο μέθοδοι να φαίνονται ίδιες, χρησιμοποιούνται όμως σε διαφορετικές περιπτώσεις. Η δεύτερη μέθοδος (ταυτόχρονα σχεδιασμός και προγραμματισμός) χρησιμοποιείται κυρίως για μικρά δίκτυα. Η πρώτη μέθοδος (πρώτα ο σχεδιασμός και μετά ο προγραμματισμός) χρησιμοποιείται κυρίως για μεγάλα δίκτυα ή για δίκτυα στα οποία δεν είναι γνωστή η τοπολογία τους. Μία άλλη λειτουργία του προγράμματος αυτού είναι και η ακριβώς αντίθετη από αυτή που αναλύθηκε παραπάνω, δηλαδή να βρει τον σχεδιασμό ενός υπάρχοντος δικτύου (recovery). Στην Εικόνα 1.3 παρατηρείται το περιβάλλον λειτουργίας του LonMaker Integration Tool.



Εικόνα 1.3 Το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος LonMaker

### 1.3.4. LonWorks Network Services (LNS)

Οι υπηρεσίες δικτύου LonWorks (LonWorks Network Services – LNS) είναι ένα λειτουργικό σύστημα για τον έλεγχο των δικτύων LonWorks. Όπως ένα

Λειτουργικό σύστημα σε έναν υπολογιστή διαχειρίζεται τις λειτουργίες του, έτσι και το LNS διαχειρίζεται τις λειτουργίες ενός δικτύου LonWorks. Το LNS προσφέρει υπηρεσίες όπως εγκατάσταση, διαχείριση, παρακολούθηση και έλεγχος του δικτύου, οι οποίες υπηρεσίες είναι διαθέσιμες στις εφαρμογές του δικτύου.

Το LNS συνδυάζει τα χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής με κεντρικό υπολογιστή (client – server) με αντικειμενοστραφή σχεδίαση δικτύου. Η εφαρμογή LNS για το λειτουργικό Windows (LNS for Windows) έχει ενσωματωμένη τη δυνατότητα να υποστηρίζει και το πρωτόκολλο διαδικτύου (Internet Protocol – IP) για εφαρμογές οι οποίες χρειάζονται διαχείριση εξ αποστάσεως. Γενικά με το LNS όλοι οι χρήστες ενός δικτύου LonWorks μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτό ταυτόχρονα.

Μέσω ενός plug-in που προστίθεται κατά την εγκατάσταση αυτού του εργαλείου, δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να αναπτύξει εφαρμογές για υπολογιστή μέσω τις γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic και Visual C.

#### **1.4. LonMark Association**

Το LonMark Association είναι ένας ανεξάρτητος οργανισμός τυποποίησης, με την ονομασία LonMark<sup>®</sup> International που ιδρύθηκε με σκοπό να επιβλέπει την συμβατότητα των προϊόντων, ώστε να έχουν ευκολότερη ένταξη στην αγορά νέες εταιρίες που κατασκευάζουν συσκευές και συστήματα βασισμένα στο πρωτόκολλο LonWorks.

Σκοπός του διεθνούς αυτού οργανισμού είναι να προωθήσει τη διαλειτουργικότητα των προϊόντων αυτών, να παρέχει προγράμματα συνεργάσιμου μάρκετινγκ για τις εταιρίες που κατασκευάζουν προϊόντα LonMark καθώς επίσης παρέχουν ένα forum για τον προσδιορισμό των σχεδιαστικών απαιτήσεων των συσκευών.

## **Κεφάλαιο 2. Σχεδίαση και προγραμματισμός του συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε θερμοκήπια.**

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ένα δίκτυο LonWorks αποτελείται από συσκευές οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους με ένα κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας. Όλες οι συσκευές που διατίθενται στην αγορά είναι ήδη προγραμματισμένες, και ενώ μπορούν να ξανά προγραμματιστούν όταν είναι εγκατεστημένες σε ένα δίκτυο, η εφαρμογή που θα εκτελούν πρέπει να είναι ανεπτυγμένη από τον κατασκευαστή τους. Οι μόνες αλλαγές που μπορούν να γίνουν είναι σε κάποιες παραμέτρους μέσω των configuration properties που έχει ορίσει ο κατασκευαστής.

Τι γίνεται όμως στην περίπτωση που μία συσκευή του εμπορίου δεν καλύπτει τις ανάγκες σε ένα δίκτυο; Για το λόγω αυτό υπάρχουν κάποιες συσκευές, οι οποίες διαθέτουν τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να έχει μία συσκευή LonWorks, και είναι προορισμένες για την ανάπτυξη νέων συσκευών, σε πειραματικό στάδιο όμως. Μία τέτοια συσκευή είναι και το LTM-10A, η οποία αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, και χρησιμοποιήθηκε για την αρχική ανάπτυξη του ελεγκτή.

Ο προγραμματισμός ενός δικτύου είναι η λογική διασύνδεση των συσκευών, με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων και την λειτουργία τους σαν ένα ενιαίο σύνολο.

### **2.1. Προγραμματισμός ελεγκτή ασαφούς λογικής**

Ένα μεγάλο μέρος της εργασίας αυτής ήταν η ανάπτυξη του κώδικα για ένα ελεγκτή ασαφούς λογικής. Ο ελεγκτής αυτός θα πρέπει να λαμβάνει τα δεδομένα από τα αισθητήρια για το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου και να υπολογίζει την θέση που πρέπει να έχουν οι επενεργητές του συστήματος ανάλογα με την καλλιέργεια που έχει φυτευτεί μέσα στο θερμοκήπιο.

#### **2.1.1. Ασαφής λογική**

Η ασαφής λογική είναι μια μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων με πάρα πολλές εφαρμογές στον ολοκληρωμένο (embedded) έλεγχο καθώς και στην επεξεργασία δεδομένων. Η ασαφής λογική παρέχει έναν απλό τρόπο για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από ακαθόριστες, διφορούμενες ή ανακριβείς πληροφορίες. Γενικά, η ασαφής λογική μοιάζει με την ανθρώπινη λήψη αποφάσεων έχοντας τη δυνατότητα να εργαστεί από τα κατά προσέγγιση στοιχεία και να βρει ακριβείς λύσεις.

Ο τρόπος που γίνεται η επεξεργασία των πληροφοριών με την ασαφή λογική μοιάζει αρκετά με την μεθοδολογία που ακολουθείται στην απλή λογική. Με την απλή λογική όλα τα πράγματα κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες: άσπρο/μαύρο, ναι/όχι, όλα/τίποτα, ψηλά/χαμηλά κ.α. Η ασαφής λογική δίνει

μεγαλύτερη έμφαση στις ενδιάμεσες καταστάσεις, όπου υπάρχει μεγαλύτερο πρόβλημα στην λήψη αποφάσεων.

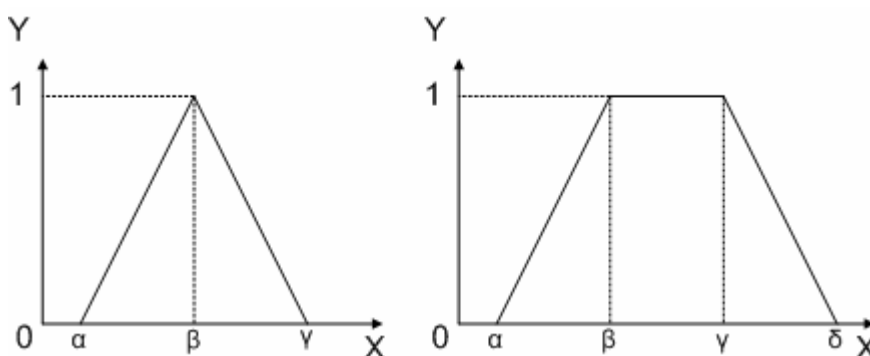
Από το 1965 που έκανε την εμφάνιση της η ασαφής λογική από τον Dr. Lotfi Zadeh μέχρι και σήμερα, έχουν επινοηθεί αρκετοί τρόποι για την λήψη αποφάσεων από τα συστήματα ασαφούς λογικής. Στις μέρες μας ολοένα και περισσότερες εφαρμογές κατασκευάζονται με συστήματα λήψης αποφάσεων ασαφούς λογικής.

### 2.1.2. Συναρτήσεις ασαφούς λογικής

Η διαδικασία που ακολουθείται από ένα σύστημα ασαφούς λογικής, για τη λήψη μιας απόφασης, χωρίζεται σε δύο μέρη: πρώτα γίνεται η ασαφοποίηση των εξόδων σύμφωνα με τις συναρτήσεις συμμετοχής εισόδου και τους κανόνες, και στη συνέχεια η αποσαφοποίηση της εξόδου, για τη λήψη μιας σταθερής απόφασης, σύμφωνα με τις συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου.

Η μέθοδος ασαφούς λογικής που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό του ελεγκτή επινοήθηκε από τους Takagi και Sugeno.

Το εύρος της κάθε εισόδου χωρίζεται σε κομμάτια τα οποία ονομάζονται συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions). Οι πιο συνηθισμένες μορφές των συναρτήσεων συμμετοχής είναι η τραπεζοειδής και η τριγωνική (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Οι τύποι των συναρτήσεων συμμετοχής

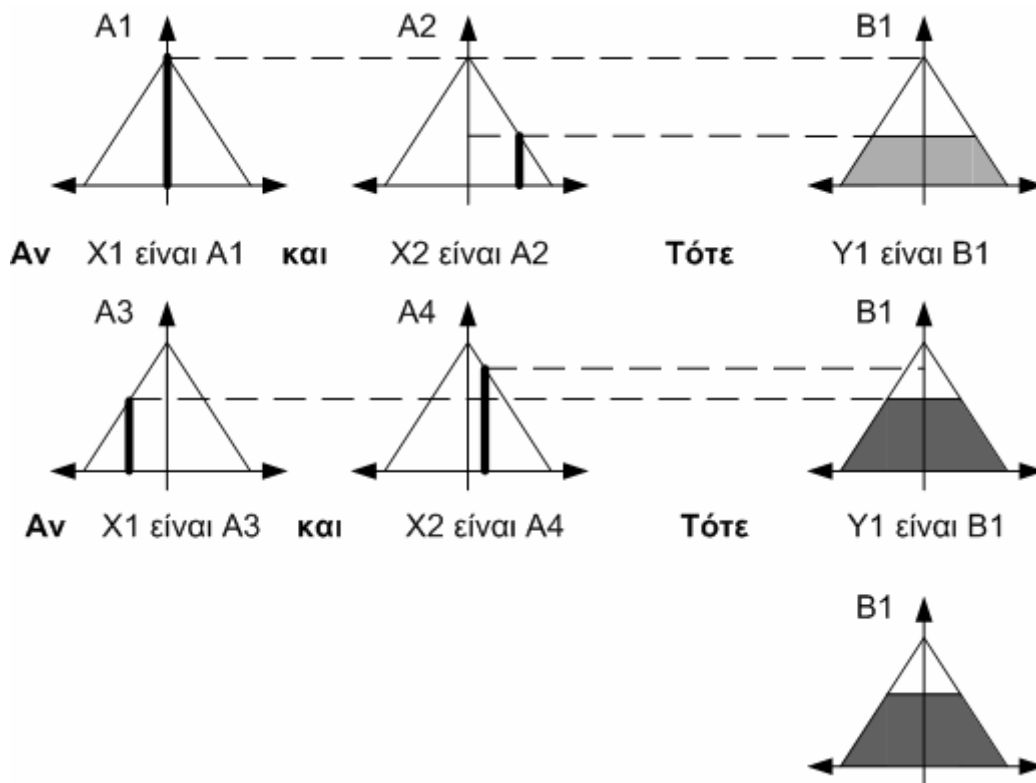
Κάθε είσοδος ή έξοδος μπορεί να αποτελείται από μία ή και περισσότερες συναρτήσεις συμμετοχής, ή ακόμα και συνδυασμός αυτών των δύο. Στον άξονα X και των δύο τύπων συναρτήσεων συμμετοχής, απεικονίζεται το εύρος των τιμών τις αντίστοιχης εισόδου ή εξόδου. Στον άξονα Y ορίζεται η βαρύτητα που δίνεται στην κάθε μία από αυτές τις συναρτήσεις συμμετοχής.

Οι κανόνες είναι ένας δυσδιάστατος πίνακας. Η κάθε στήλη του πίνακα αντιστοιχεί σε κάθε είσοδο και έξοδο του ελεγκτή. Οι τιμές σε κάθε γραμμή του είναι η σχέση μεταξύ των συναρτήσεων συμμετοχής εισόδου και των συναρτήσεων συμμετοχής εξόδου.

Για να γίνει η ασαφοποίηση της εξόδου ακολουθείται η εξής διαδικασία: δίνεται η τιμή της εισόδου και υπολογίζεται το ελάχιστο ύψος που αντιστοιχεί στην

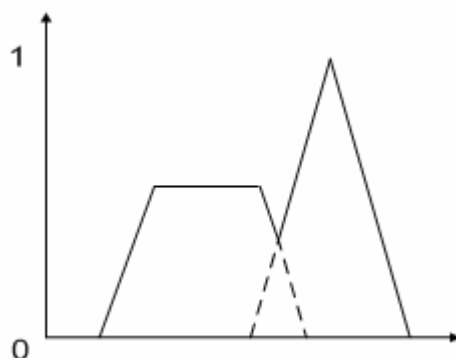


ανάλογη συνάρτηση συμμετοχής. Αυτό το ύψος δίνεται στην αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής εξόδου, ανάλογα με το ποια έχει οριστεί στον πίνακα των κανόνων. Αν για μία συνάρτηση συμμετοχής εξόδου έχουν υπολογιστεί περισσότερα του ενός ύψη, τότε επιλέγεται το μεγαλύτερο.



Σχήμα 2.2 Η διαδικασία ασαφοποίησης των εξόδων

Στο Σχήμα 2.2 βλέπουμε ένα μικρό παράδειγμα της διαδικασίας ασαφοποίησης των εξόδων. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλους τους κανόνες που έχουν οριστεί στον πίνακα των κανόνων. Ένα παράδειγμα μιας ασαφοποιημένης εξόδου, αναπαριστάμενη γραφικά, θα μπορούσε να έχει τη μορφή του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Η πιθανή μορφή μιας ασαφοποιημένης εξόδου

Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι αποσαφοποίησης. Ένας από αυτούς είναι υπολογίζοντας το κέντρο βάρους της ασαφοποιημένης εξόδου (Centre Of Gravity – COG ή Center Of Area – COA). Η μεθοδολογία αυτή περιγράφεται με την παρακάτω μαθηματική σχέση

$$z^* = \frac{\int \mu_C(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_C(z) \cdot dz}$$

όπου:

$z^*$ : η απόφαση που δίνει το σύστημα ασαφούς λογικής

$z$ : οι τιμές του άξονα  $x$  της εξόδου

$\mu_C(z)$ : το ύψος της κάθε συνάρτησης συμμετοχής για κάθε τιμή του άξονα  $X$

Η απόφαση που παίρνουμε από ένα σύστημα ασαφούς λογικής είναι η προβολή του κέντρου βάρους στον άξονα  $X$  του γεωμετρικού σχήματος που δημιουργείται από την ασαφοποιημένη έξοδο.

Αυτή η μέθοδος αποσαφοποίησης, μπορεί να απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ, επιλέχθηκε όμως επειδή διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

### 2.1.3. Ανάπτυξη κώδικα ελεγκτών ασαφούς λογικής

Στην παράγραφο αυτή γίνεται προσέγγιση του τρόπου με τον οποίο έγινε η ανάπτυξη του κώδικα για τον ελεγκτή ασαφούς λογικής με τη χρήση διαγραμμάτων ροής. Η όλη διαδικασία χωρίστηκε σε τρία μέρη: αρχικοποίηση, ασαφοποίηση και αποσαφοποίηση. Υπάρχουν και άλλα δύο μέρη του κώδικα τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια, και αφορούν στην διαμόρφωση των τιμών στις εισόδους και τις εξόδους των ελεγκτών, καθώς επίσης και τον τρόπο με τον οποίο ενεργούν οι επενεργητές.

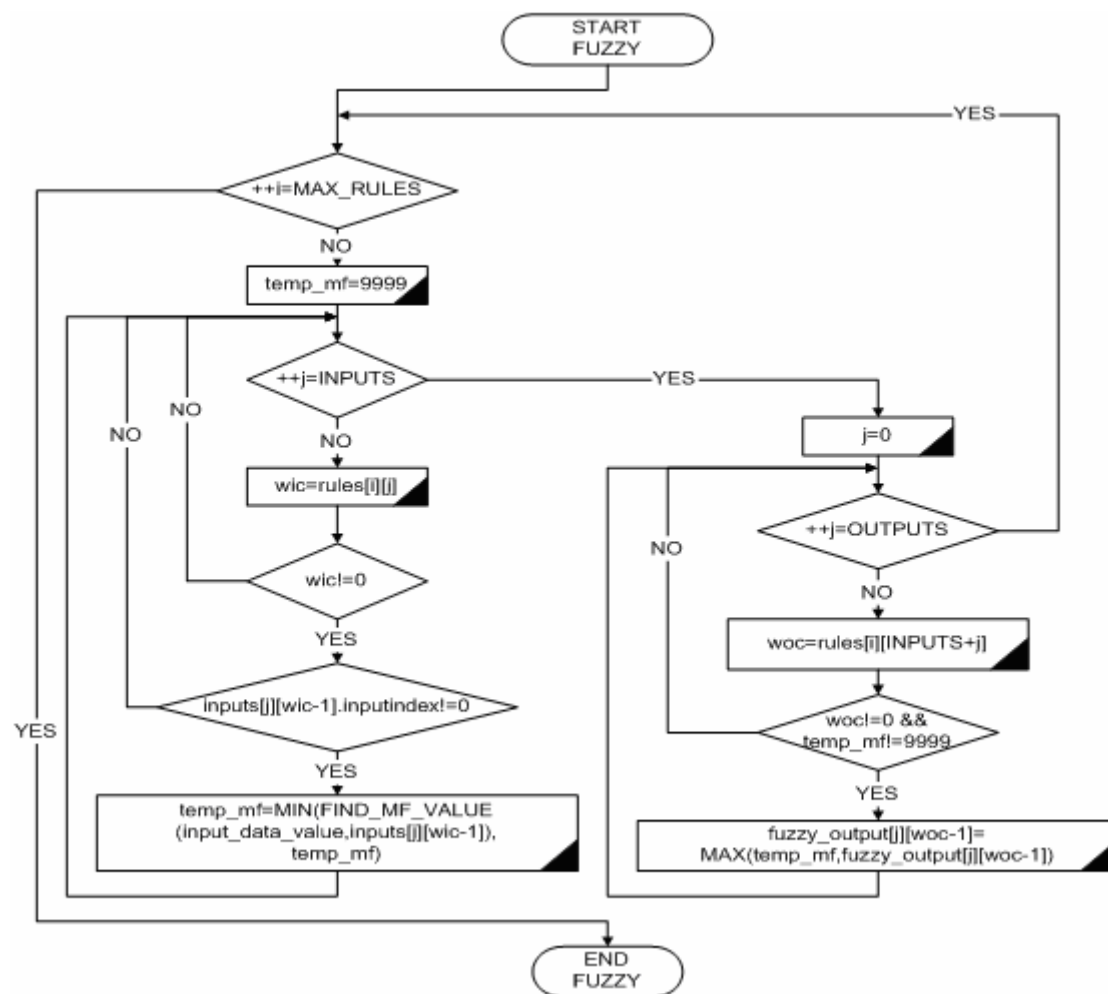
Λόγω της πολυπλοκότητας των συναρτήσεων που αναπτύχθηκαν για τον κώδικα του ελεγκτή ασαφούς λογικής, έγινε διαχωρισμός των συναρτήσεων ώστε να γίνει ο σχεδιασμός των διαγραμμάτων ροής. Αν δεν υπήρχαν οι περιορισμοί της Neuron C που αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο κώδικας θα μπορούσε να είχε αναπτυχθεί όπως και στα λογικά διαγράμματα.

#### 2.1.3.1 Αρχικοποίηση

Οι συναρτήσεις της αρχικοποίησης σε αυτό το σημείο έχουν να κάνουν μόνο με το μέρος της ασαφούς λογικής. Η πρώτη συνάρτηση που καλείται μηδενίζει τις παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής εισόδου και εξόδου, καθώς και τα στοιχεία του πίνακα των κανόνων. Με την δεύτερη συνάρτηση ορίζονται οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής εισόδων και εξόδων και τέλος καλείται άλλη μία συνάρτηση για το γέμισμα του πίνακα των κανόνων.

### 2.1.3.2 Ασαφοποίηση

Η πρώτη συνάρτηση που καλείται για την διαδικασία της ασαφοποίησης υπολογίζει το ύψος της κάθε συνάρτησης συμμετοχής ανάλογα με την τιμή που δίνεται στην είσοδο του ελεγκτή. Η τιμή του ύψους που υπολογίζεται δίνεται στην αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής της εξόδου σύμφωνα με τον πίνακα των κανόνων. Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας αυτής.

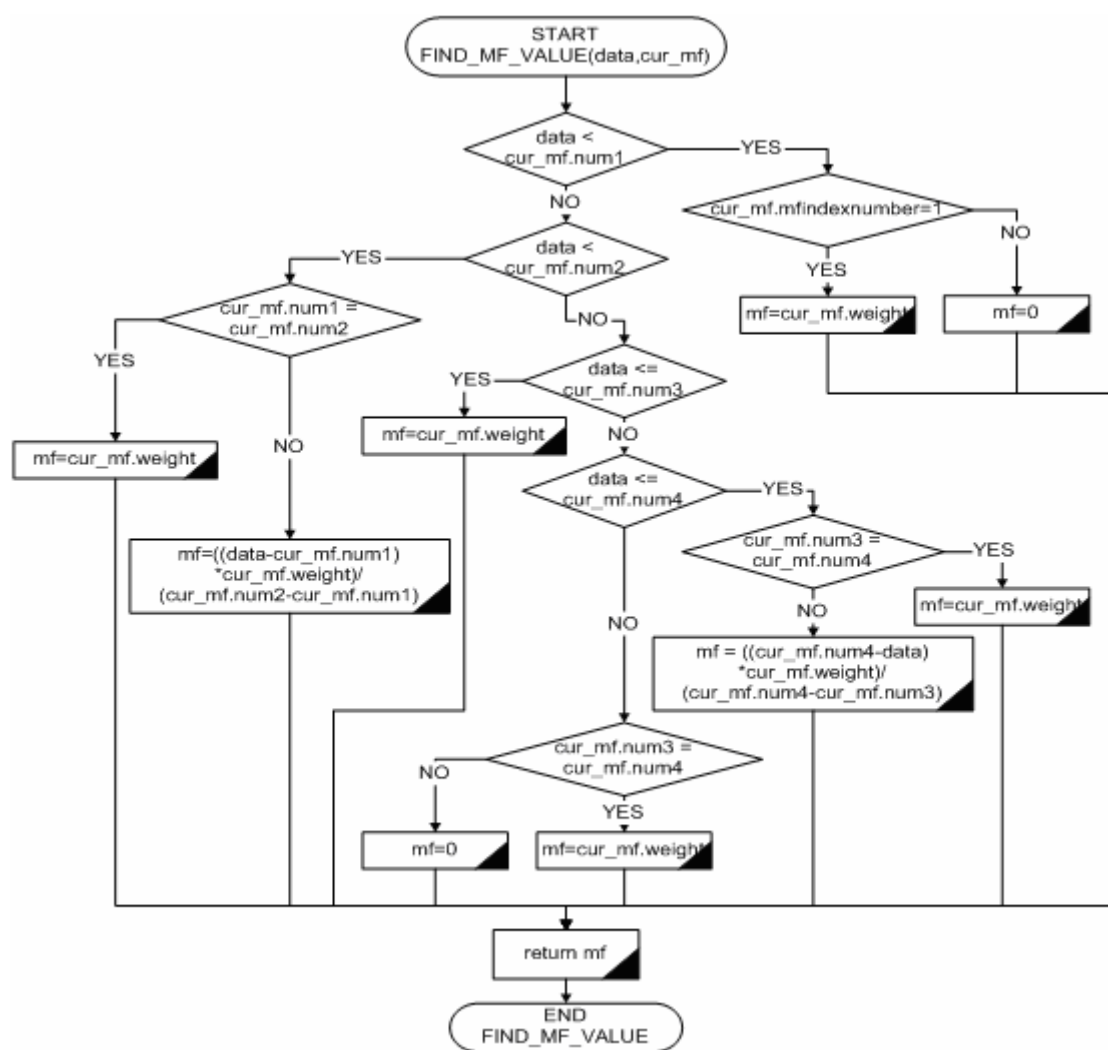


Σχήμα 2.4 Διάγραμμα ροής διαδικασίας ασαφοποίησης της κάθε εξόδου

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κάθε στήλη του πίνακα των κανόνων αντιστοιχεί στις εισόδους και τις εξόδους του ελεγκτή, και το κάθε στοιχείο του πίνακα αντιστοιχεί σε μία συνάρτηση συμμετοχής της αντίστοιχης με τη στήλη είσοδο ή έξοδο. Η συνάρτηση της ασαφοποίησης λειτουργεί ως εξής:

Διαβάζει από την κάθε γραμμή του πίνακα τα στοιχεία. Πρώτα ελέγχει αν σε αυτό το στοιχείο του πίνακα υπάρχει κάποια τιμή μη μηδενική. Αν έχει τοποθετηθεί μηδενική τιμή σημαίνει ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ κάποιας συνάρτησης συμμετοχής της συγκεκριμένης εισόδου με κάποια συνάρτηση συμμετοχής των εξόδων, και ο ελεγκτής πηγαίνει στο επόμενο στοιχείο της γραμμής. Αν η τιμή του στοιχείου είναι μη μηδενική τότε γίνεται

έλεγχος αν αυτό το στοιχείο αναφέρεται σε κάποια συνάρτηση συμμετοχής της εισόδου αυτής. Αν δεν ανήκει τότε πηγαίνει στο επόμενο στοιχείο της γραμμής του πίνακα. Αν ανήκει σε κάποια είσοδο τότε γίνεται έλεγχος αν η τιμή της εισόδου του ελεγκτή πέφτει πάνω σε αυτή τη συνάρτηση συμμετοχής, και ταυτόχρονα υπολογίζεται το ύψος της συνάρτησης συμμετοχής για αυτή την τιμή της εισόδου. Η συνάρτηση που ελέγχει αν η τιμή που δίνεται στην είσοδο του ελεγκτή ανήκει σ' αυτή τη συνάρτηση συμμετοχής περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Σχήμα 2.5). Όταν υπολογιστεί το ύψος της συνάρτησης συμμετοχής για κάθε είσοδο που δείχνει μία γραμμή του πίνακα των κανόνων, τότε τοποθετείται στην συνάρτηση συμμετοχής της αντίστοιχης εξόδου το ελάχιστο ύψος από αυτά που υπολογίστηκαν πριν, σύμφωνα με τους κανόνες. Η τελική τιμή του ύψους της κάθε συνάρτησης συμμετοχής εξόδου είναι το μέγιστο ύψος που υπολογίστηκε σε κάθε κανόνα.



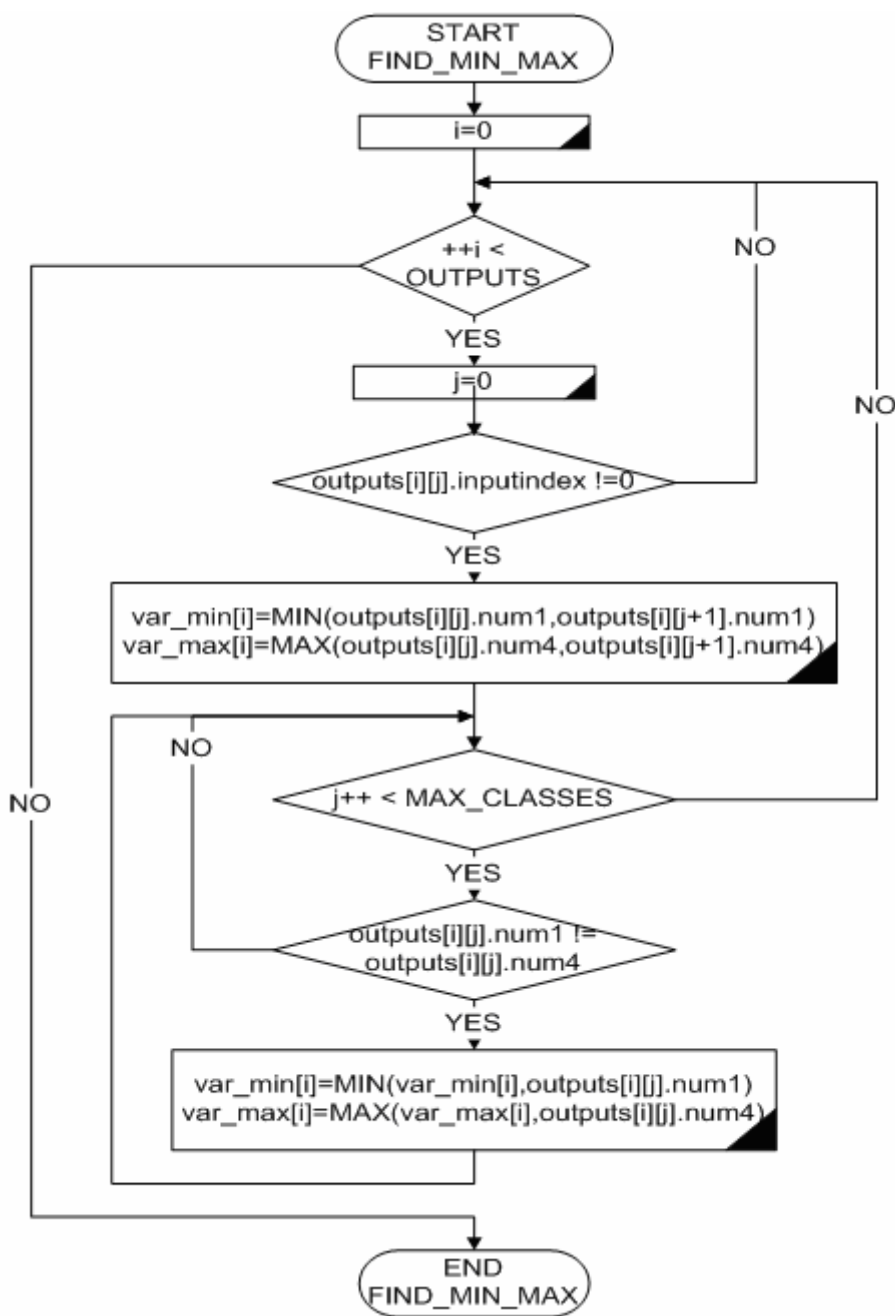
Σχήμα 2.5 Διάγραμμα ροής συνάρτησης υπολογισμού ύψους κάθε συνάρτησης συμμετοχής για συγκεκριμένη τιμή

Η συνάρτηση του υπολογισμού του ύψους της συνάρτησης συμμετοχής για συγκεκριμένη τιμή στην είσοδο, λειτουργεί ως εξής: ψάχνει να βρει σε ποιο μέρος της συγκεκριμένης συνάρτησης συμμετοχής βρίσκεται η τιμή της

εισόδου, και ανάλογα υπολογίζει το ύψος σε αυτό το σημείο. Η συνάρτηση αυτή, όπως θα δούμε, χρησιμοποιείται και παρακάτω στη διαδικασία της αποσαφοποίησης.

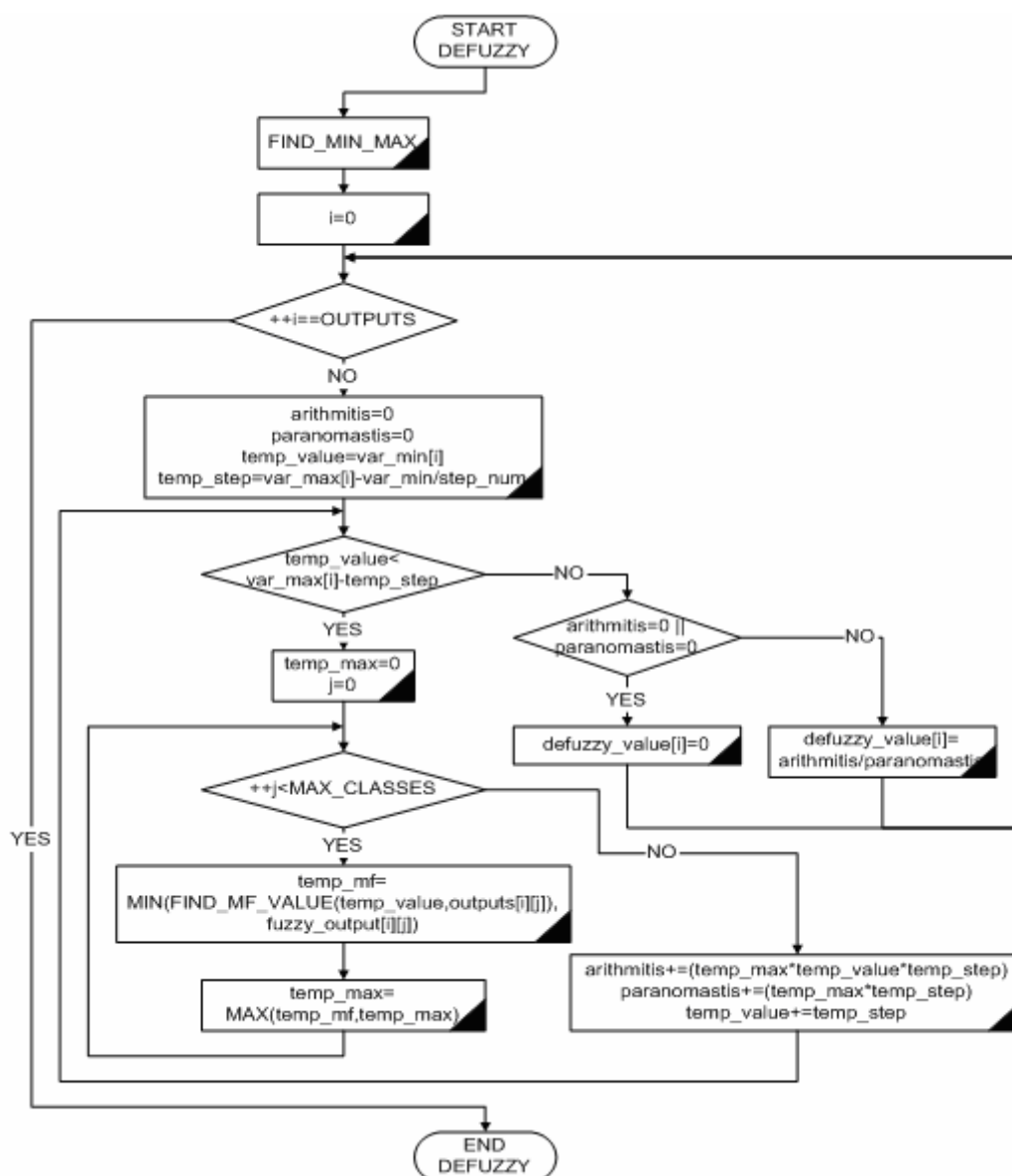
### **2.1.3.3 Αποσαφοποίηση**

Η επόμενη διαδικασία είναι αυτή της αποσαφοποίησης κάθε εξόδου. Για να γίνει καλύτερα κατανοητή χωρίστηκε και αυτή σε επιμέρους διαγράμματα, στην πραγματικότητα όμως ο κώδικας αποτελείται από μία ενιαία συνάρτηση. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της συνάρτησης αποσαφοποίησης αλλά χωρίς δύο μέρη της. Το ένα είναι της εύρεσης της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της κάθε εξόδου, και η δεύτερη είναι η συνάρτηση για τον υπολογισμό του ύψους της συνάρτησης συμμετοχής για συγκεκριμένη τιμή, η οποία και παρουσιάστηκε προηγουμένως.



Σχήμα 2.6 Συνάρτηση εύρεσης μέγιστης και ελάχιστης τιμής κάθε εξόδου

Η συνάρτηση της αποσαφοποίησης είναι η μαθηματική συνάρτηση που αναλύθηκε στην παράγραφο 2.1.2. Η συνάρτηση περιέχει δύο ολοκληρώματα. Τα όρια αυτών των ολοκληρωμάτων είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της κάθε εξόδου. Για να βρούμε ποια είναι αυτά χρησιμοποιείται η συνάρτηση του διαγράμματος ροής στο Σχήμα 2.6. Η διαδικασία που ακολουθεί η συνάρτηση είναι η εξής: από κάθε έξοδο παίρνει την πρώτη συνάρτηση συμμετοχής και ορίζει σαν μέγιστο και ελάχιστο της εξόδου το μέγιστο και το ελάχιστο αυτής της συνάρτησης συμμετοχής. Μετά συγκρίνει αυτές τις τιμές με τις υπολοίπες τιμές των υπολοίπων συναρτήσεων συμμετοχής και έτσι βρίσκει το μέγιστο και το ελάχιστο της κάθε εξόδου.



Σχήμα 2.7 Το διάγραμμα ροής της διαδικασίας αποσαφοποίησης

Στο Σχήμα 2.7 βλέπουμε το διάγραμμα ροής για την συνάρτηση της αποσαφοποίησης. Σύμφωνα με τη μαθηματική πράξη που περιγράφει τη διαδικασία αυτή, θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε ολοκλήρωμα για να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η Neuron C όμως δεν υποστηρίζει συναρτήσεις με ολοκληρώματα. Στην ουσία η μαθηματική πράξη της αποσαφοποίησης είναι ο υπολογισμός του κέντρου βάρους και η προβολή του στον άξονα X, του σχήματος που δημιουργείται από την διαδικασία της ασαφοποίησης.

## 2.2. Ο ελεγκτής ασαφούς λογικής

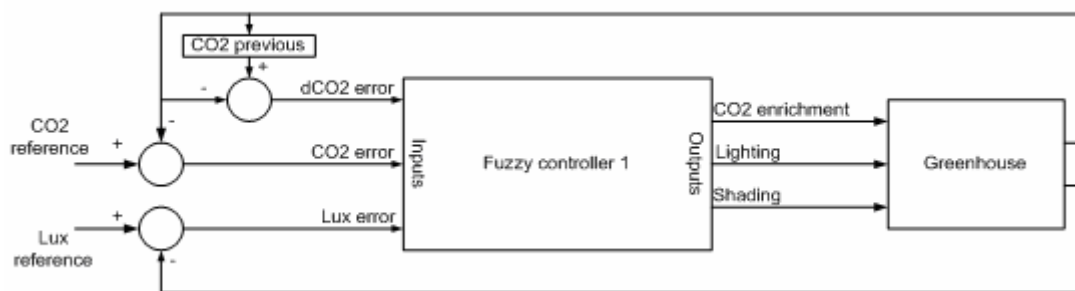
Για την υλοποίηση του ελεγκτή ασαφούς λογικής χρησιμοποιήθηκαν δύο συσκευές. Ο λόγος ήταν ότι για την περιγραφή των παραμέτρων του ελεγκτή χρειαζόταν μεγάλος αριθμός μεταβλητών, τον οποίο δεν υποστηρίζει η μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM) των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν. Έτσι η

υλοποίηση του ελεγκτή έγινε σε συσκευές, χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία του ενός από την λειτουργία του άλλου.

### 2.2.1. 1<sup>ος</sup> ελεγκτής

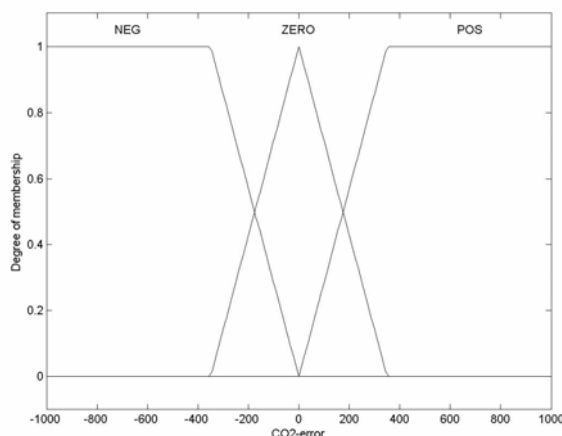
Ο πρώτος ελεγκτής είναι ένας συνδυασμός αναλογικού (Proportional) και αναλογικού-διαφορικού (Proportional-Derivative) ελεγκτή ανάλογα την είσοδο αυτού. Ο ελεγκτής αυτός στοχεύει στον έλεγχο της συγκέντρωσης του διοξειδίου το άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και της φωτεινότητας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Οι είσοδοι του πρώτου ελεγκτή ασαφούς λογικής (Σχήμα 2.8) είναι οι dCO<sub>2</sub> error, CO<sub>2</sub> error και Lux error. Στα σημεία αναφοράς (reference) εισάγονται οι επιθυμητές τιμές της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub> concentration) και της φωτεινότητας (luminance), έτσι ώστε να επιτευχθούν αυτές οι τιμές στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



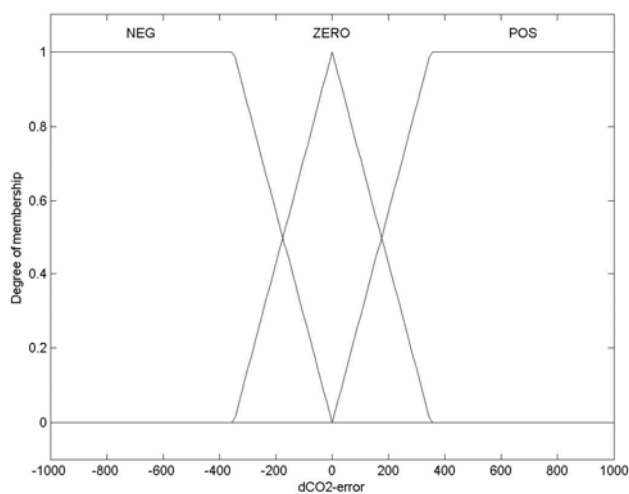
Σχήμα 2.8 Το λογικό διάγραμμα του πρώτου ελεγκτή

Τα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 2.9 έως Σχήμα 2.14) παρουσιάζουν πως ορίστηκαν οι συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε είσοδο και έξοδο του ελεγκτή αυτού.

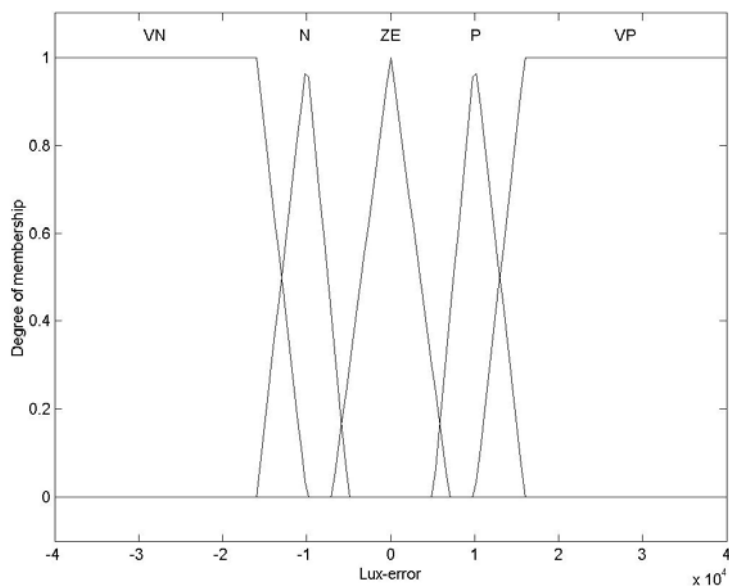


Σχήμα 2.9 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την είσοδο CO<sub>2</sub> error

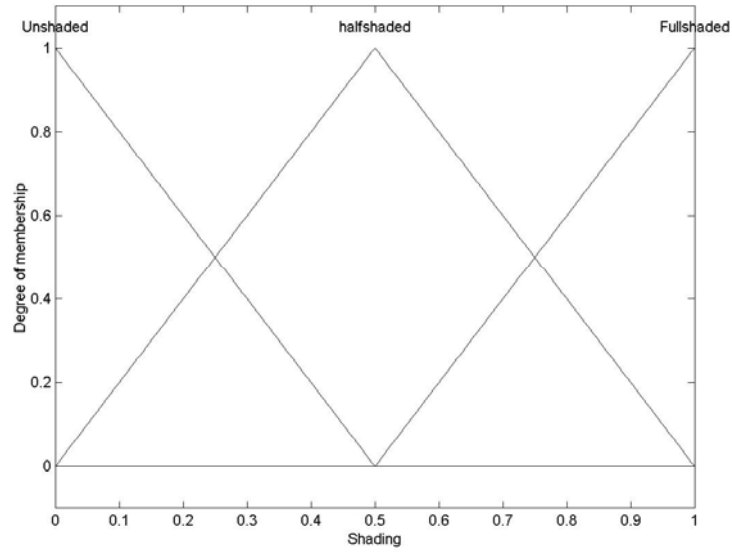




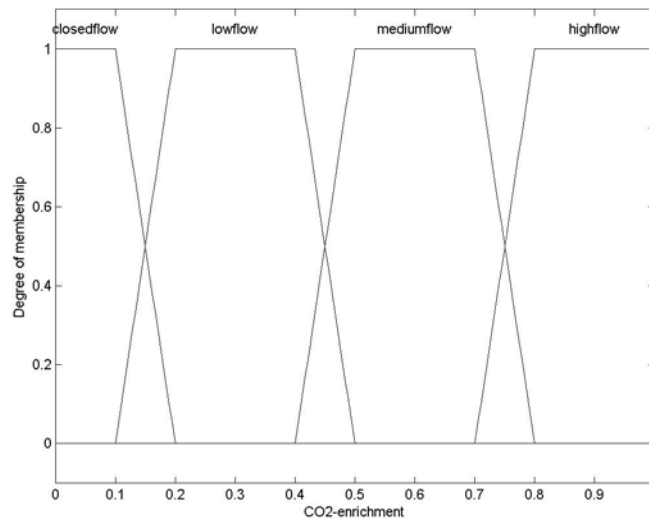
Σχήμα 2.10 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την είσοδο dCO2 error



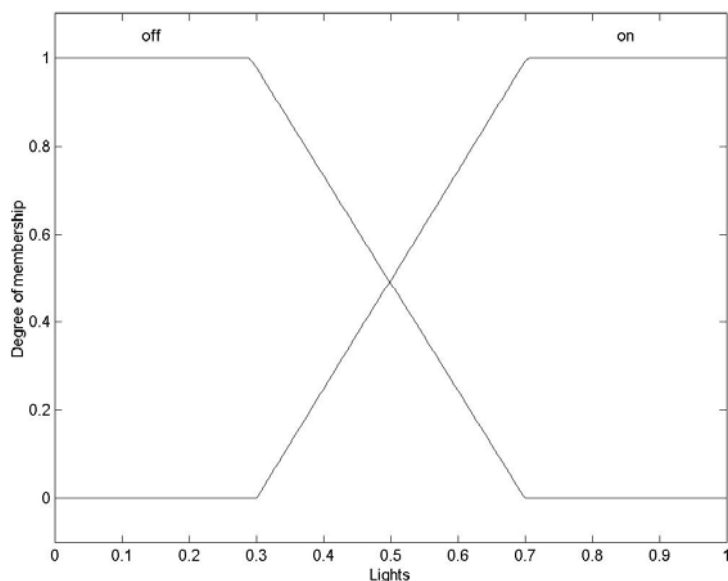
Σχήμα 2.11 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την είσοδο Lux error



Σχήμα 2.12 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την έξοδο Shading



Σχήμα 2.13 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την έξοδο CO2 enrichment



Σχήμα 2.14 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την έξοδο Lights

Εκτός από τις συναρτήσεις συμμετοχής, σε έναν ελεγκτή ασαφούς λογικής πρέπει να οριστούν και οι κανόνες. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τους κανόνες του πρώτου ελεγκτή.

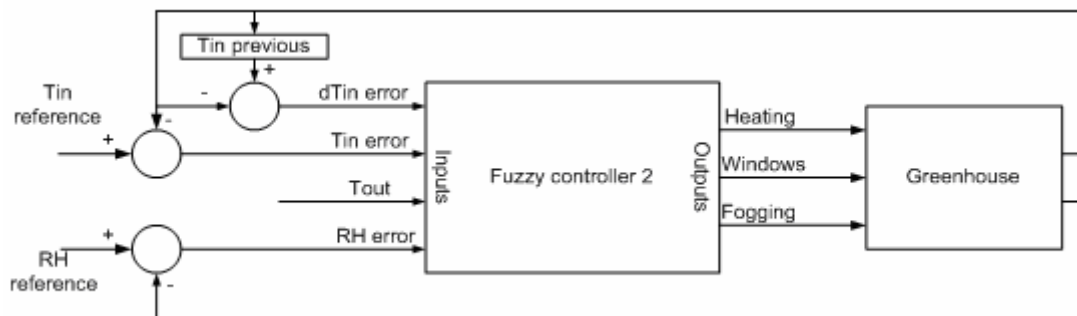
Πίνακας 2.1 Οι κανόνες του πρώτου ελεγκτή

Rule no	IF Lux error IS		THEN	Shading IS	AND Lights ARE
1	VN			Fullshaded	Off
2	N			Halfshaded	Off
3	ZE			Unshaded	Off
4	P			Unshaded	On
5	VP			Unshaded	Off
	IF CO2 error IS	AND dCO2 error IS	THEN	CO2 enrichment IS	
6	NEG	NEG		closedflow	
7	NEG	ZERO		closedflow	
8	NEG	POS		closedflow	
9	ZERO	NEG		closedflow	
10	ZERO	ZERO		closedflow	
11	ZERO	POS		lowflow	
12	POS	NEG		lowflow	
13	POS	ZERO		mediumflow	
14	POS	POS		highflow	

### 2.2.2. 2<sup>ος</sup> ελεγκτής

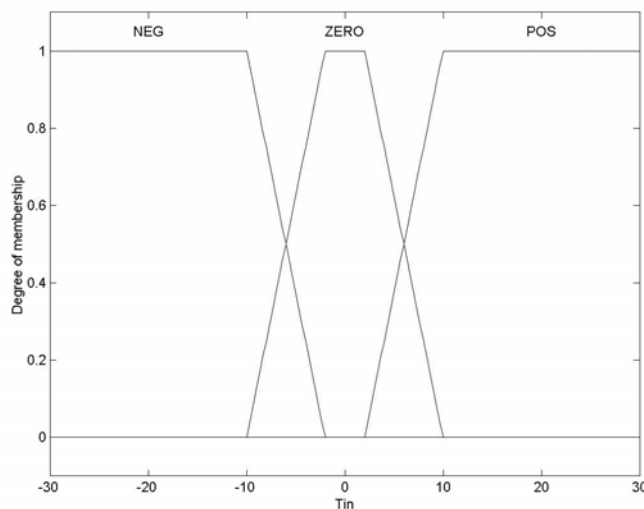
Ο ελεγκτής αυτό ακολουθεί την ίδια λογική με τον προηγούμενο. Σχεδιάστηκε για να μπορεί να εξασφαλίσει την επιθυμητή θερμοκρασία και την υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σύμφωνα με τις τιμές που ορίζονται κάθε φορά

στα αντίστοιχα σημεία αναφοράς. Οι είσοδοι του ελεγκτή είναι οι  $T_{in}$  error,  $dT_{in}$  error,  $T_{out}$  και RH error. Οι έξοδοι του ελεγκτή δίνουν εντολές στο σύστημα θέρμανσης, στα παράθυρα και το σύστημα εξαερισμού, καθώς επίσης και στο συστήματα υδρονέφωσης. Στο Σχήμα 2.15 βλέπουμε το διάγραμμα του δεύτερου ελεγκτή ασαφούς λογικής.

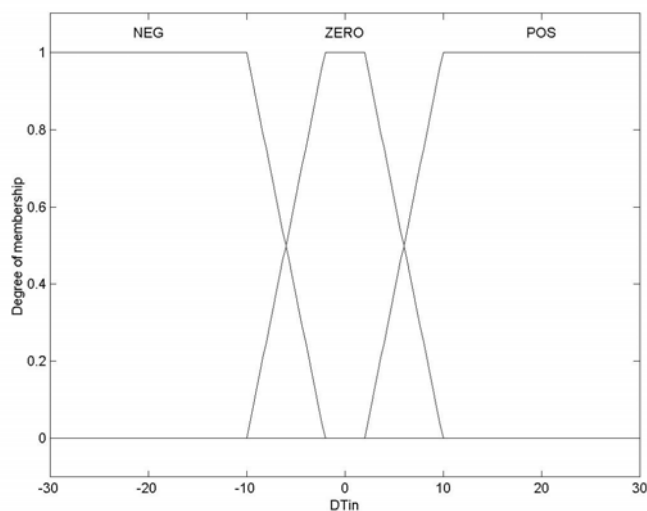


Σχήμα 2.15 Το λογικό διάγραμμα του δεύτερου ελεγκτή

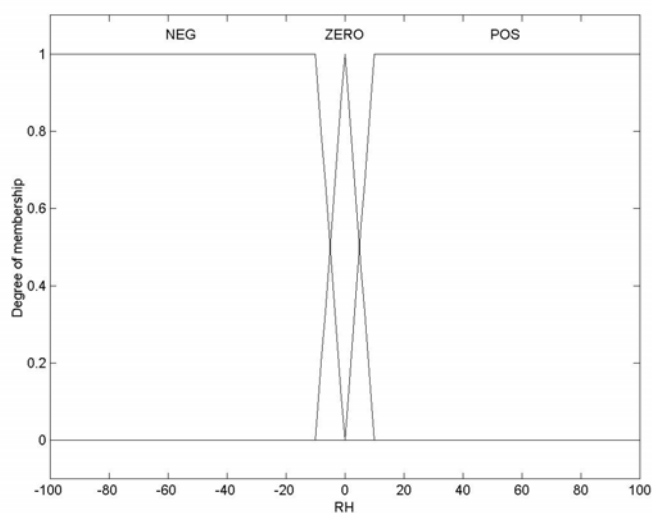
Στα επόμενα σχήματα (Σχήμα 2.16 έως Σχήμα 2.22) παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής των εισόδων και των εξόδων του ελεγκτή αυτού.



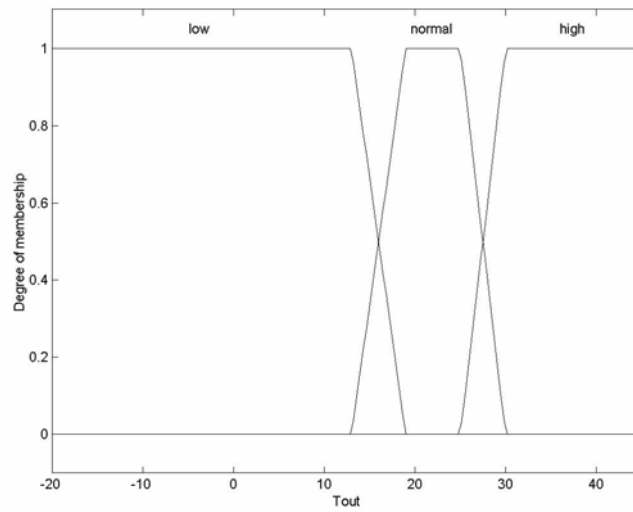
Σχήμα 2.16 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την είσοδο  $T_{in}$  error



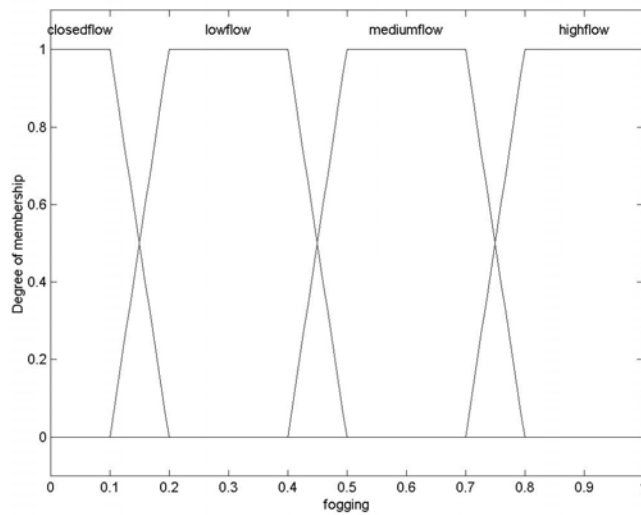
Σχήμα 2.17 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την είσοδο  $dT_{in}$  error



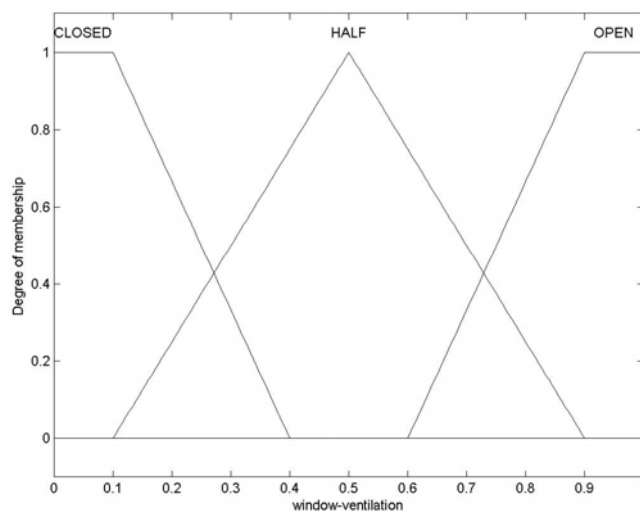
Σχήμα 2.18 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την είσοδο RH error



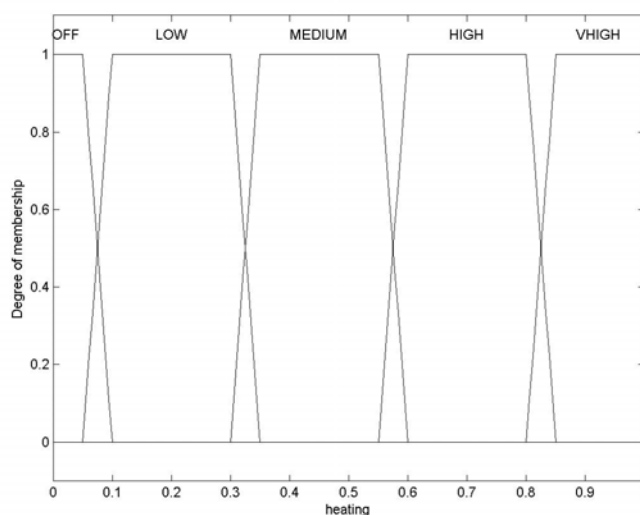
Σχήμα 2.19 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την είσοδο Tout



Σχήμα 2.20 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την έξοδο Fogging



Σχήμα 2.21 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την έξοδο Windows



Σχήμα 2.22 Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την έξοδο Heating

Στον αρχικό σχεδιασμό του ελεγκτή αυτού είχαν οριστεί 81 κανόνες. Το πρόβλημα που παρουσιάστηκε αρχικά με τον μεγάλο αριθμό των παραμέτρων του ελεγκτή και την μικρή χωρητικότητα της μνήμης RAM, παρουσιάστηκε και σε αυτό το σημείο. Οι κανόνες σε συνδυασμό με τις συναρτήσεις συμμετοχής χρειάζονταν μεγαλύτερη ποσότητα μνήμης. Έτσι έγινε σύμπτυξη των κανόνων χωρίς να αλλάξει η λειτουργία του ελεγκτή. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικοί από τους κανόνες του αρχικού σχεδιασμού.

**Πίνακας 2.2 Μερικοί από τους κανόνες του δεύτερου ελεγκτή**

Rule no	IF Tin error is	AND dTin error is	AND Tout is	AND RH error is	Then heating is	AND windows are	AND fogging is
17	NEG	ZERO	HIGH	ZERO	Off	opened	mediumflow
18	NEG	ZERO	HIGH	POS	Off	opened	mediumflow
⋮							
55	POS	NEG	LOW	NEG	medium	open	closedflow
56	POS	NEG	LOW	ZERO	medium	closed	closedflow
57	POS	NEG	LOW	POS	medium	closed	closedflow
58	POS	NEG	NORMAL	NEG	Low	open	closedflow
59	POS	NEG	NORMAL	ZERO	Low	closed	closedflow
60	POS	NEG	NORMAL	POS	Low	closed	closedflow
61	POS	NEG	HIGH	NEG	Off	open	closedflow
62	POS	NEG	HIGH	ZERO	Off	closed	closedflow
63	POS	NEG	HIGH	POS	Off	closed	closedflow

### 2.3. Διασύνδεση ελεγκτών με αισθητήρες και επενεργητές

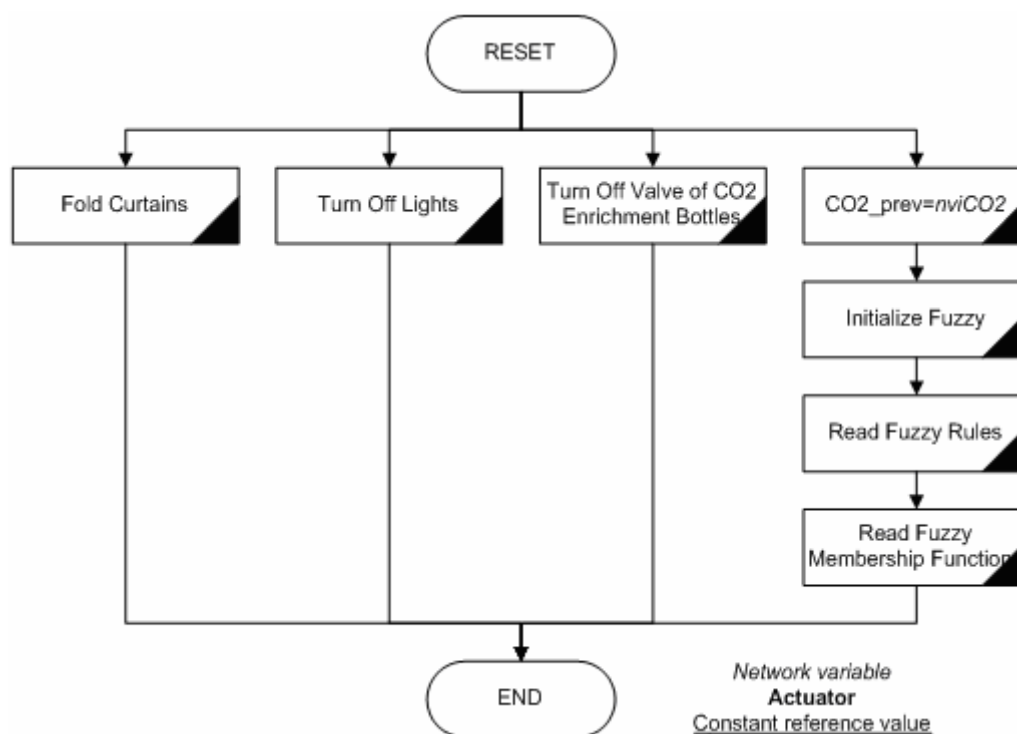
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, οι δύο ελεγκτές δεν είναι απλοί ελεγκτές ασαφούς λογικής, αλλά συνδυασμός αναλογικού και αναλογικού-διαφορικού ελεγκτή με ελεγκτή ασαφούς λογικής. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των αισθητηρίων δεν δίνονται ως έχουν στην είσοδο των ελεγκτών ασαφούς λογικής. Έτσι προστέθηκαν και κάποιες μαθηματικές πράξεις για να γίνεται ο υπολογισμός των τιμών που θα εισάγονται στον στους ελεγκτές.

Εκτός από τις πράξεις που γίνονται για τη διασύνδεση των ελεγκτών με τα αισθητήρια και τους επενεργητές, υπάρχει και ένα μέρος κώδικα το οποίο έχει να κάνει με την γενική αρχικοποίηση των ελεγκτών.

#### 2.3.1. 1<sup>ος</sup> ελεγκτής

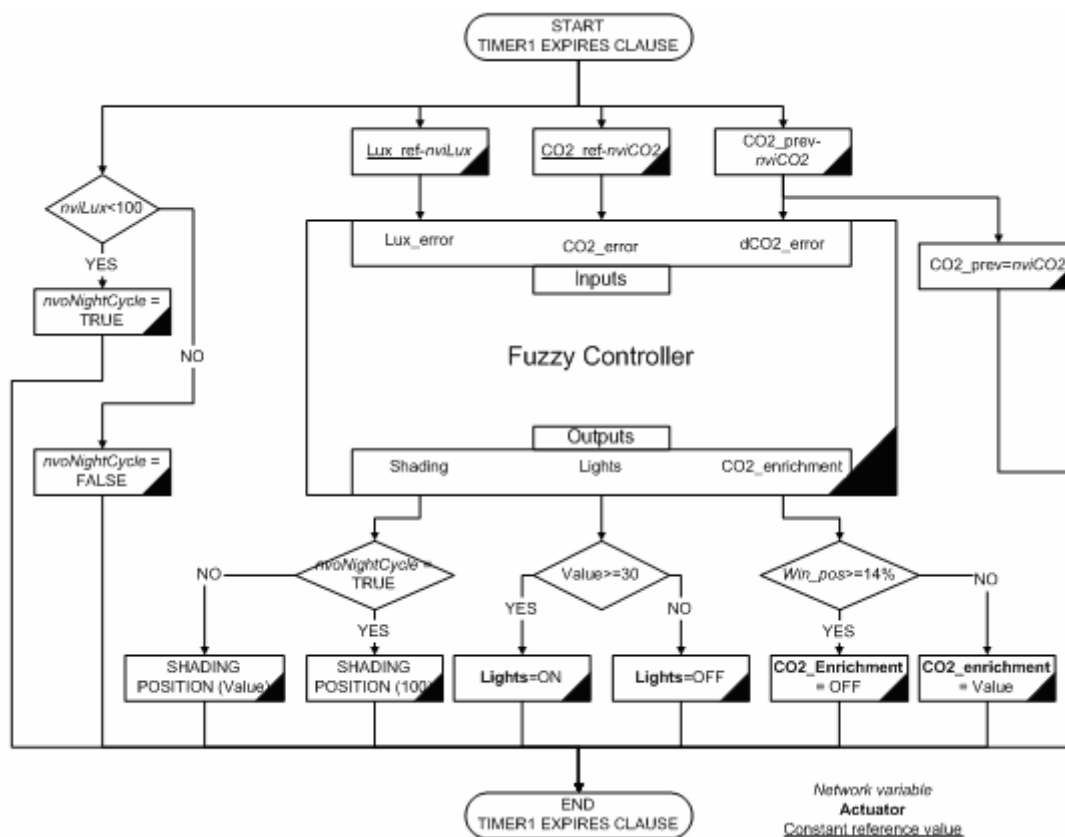
Στο διάγραμμα ροής του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 2.23) βλέπουμε τις διαδικασίες που εκτελεί ο πρώτος ελεγκτής κατά την εκκίνηση ή την επανεκκίνηση του. Οι διαδικασίες αυτές είναι να μαζέψει τα σκίαστρα, να κλείσει τα φώτα και να σταματήσει την παροχή του διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης αποθηκεύει την τωρινή τιμή του διοξειδίου του άνθρακα, καλεί τη συνάρτηση για την αρχικοποίηση του ελεγκτή και τέλος καλεί δύο συναρτήσεις: η πρώτη για το γέμισμα του πίνακα των κανόνων και η δεύτερη για τον ορισμό των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής των εισόδων και των εξόδων.





Σχήμα 2.23 Συνάρτηση αρχικοποίησης του πρώτου ελεγκτή

Κατά τον σχεδιασμό των ελεγκτών ασαφούς λογικής, θεωρήθηκε ότι για να έχουμε την καλύτερη λειτουργία των ελεγκτών, η εκτέλεση του κώδικα του ελεγκτή ασαφούς λογικής θα πρέπει να γίνεται κάθε 10 λεπτά. Ο χρόνος αυτός είναι αρκετός, ώστε οι επενεργητές και τα διάφορα συστήματα του θερμοκηπίου (παράθυρα, σκίαστρα κ.τ.λ) να προλαβαίνουν να παίρνουν τη θέση που πρέπει, σύμφωνα με την απόφαση του ελεγκτή και στη συνέχεια να υπάρχει η δυνατότητα από τον χρήστη να ελέγξει την απόκριση των εσωτερικών συνθηκών του θερμοκηπίου, μετά την εκτέλεση αυτού του κύκλου λειτουργίας. Το διάγραμμα ροής στο Σχήμα 2.24 παρουσιάζει τις πράξεις, μαζί με τις επιμέρους συναρτήσεις που εκτελούνται σε κάθε κύκλο λειτουργίας.



Σχήμα 2.24 Πράξεις και συναρτήσεις που εκτελούνται από τον 1<sup>ο</sup> ελεγκτή σε κάθε κύκλο λειτουργίας

Οι πράξεις αυτές χωρίζονται σε δύο μέρη: το πρώτο είναι πριν την εκτέλεση του κώδικα του ελεγκτή και το δεύτερο μετά την εκτέλεση του κώδικα.

Πριν την εκτέλεση του κώδικα του ελεγκτή ασαφούς λογικής γίνεται η προσαρμογή των δεδομένων σε κατάλληλη μορφή ώστε να γίνει σωστά η εκτέλεση του κώδικα. Η πρώτη πράξη που εκτελείται είναι η αφαίρεση της τιμής της φωτεινότητας που δίνει το αισθητήριο από την τιμή αναφοράς. Η επόμενη πράξη είναι η διαφορά της τιμής του διοξειδίου του άνθρακα από την τιμή αναφοράς. Η επόμενη τιμή που δίνεται στον ελεγκτή είναι η τιμή του αισθητηρίου του διοξειδίου του άνθρακα στον προηγούμενο κύκλο αφαιρώντας την τωρινή τιμή. Τέλος αποθηκεύεται η τωρινή τιμή του αισθητηρίου του διοξειδίου του άνθρακα για να χρησιμοποιηθεί στον επόμενο κύκλο λειτουργίας.

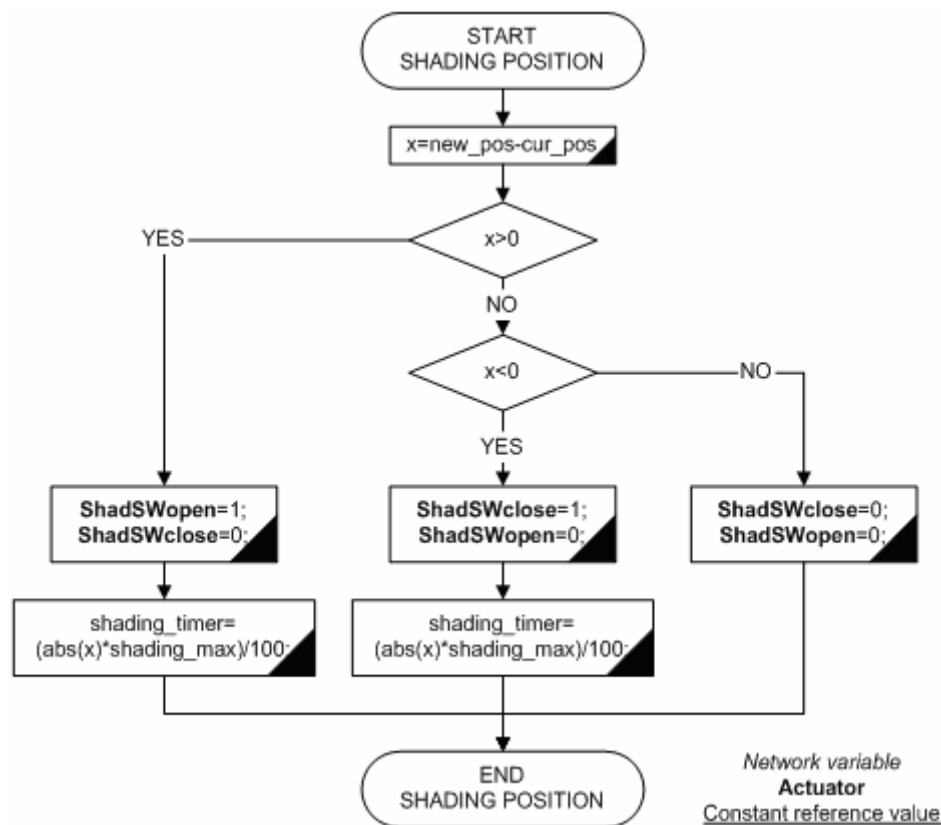
Επίσης, πριν την εκτέλεση του κώδικα του ελεγκτή ασαφούς λογικής, υπάρχει και ένα κομμάτι κώδικα, το οποίο καθορίζει αν είναι μέρα ή νύχτα. Αυτό γίνεται διαβάζοντας την τιμή του αισθητηρίου φωτεινότητας. Αν η τιμή αυτή είναι κάτω από ένα επίπεδο τότε και οι δύο ελεγκτές μπαίνουν σε νυχτερινή λειτουργία. Για να μπορέσει να μπει ο δεύτερος ελεγκτής σε νυχτερινή λειτουργία, αποθηκεύεται η τιμή αυτή σε μία μεταβλητή δικτύου, που από την οποία καταλαβαίνει ο δεύτερος ελεγκτής αν πρέπει να μπει σε νυχτερινή λειτουργία.

Μετά την εκτέλεση του κώδικα του ελεγκτή ασαφούς λογικής, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του, εκτελούνται οι απαραίτητες ενέργειες. Αυτές είναι να τοποθετηθούν τα σκίαστρα στην θέση που έδωσε ο ελεγκτής, να ανάψουν ή να σβήσουν τα φώτα και να ανοίξει τη φιάλη με το διοξείδιο του άνθρακα, για τον εμπλουτισμό του θερμοκηπίου με αυτό.

Συγκεκριμένα, τα σκίαστρα τοποθετούνται στην τιμή που έδωσε ο ελεγκτής μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ Κατά τη διάρκεια της νύχτας απλώνονται στο μέγιστο. Τα φώτα ανάβουν όταν ο ελεγκτής δώσει τιμή στη συγκεκριμένη έξοδο πάνω από 30 και σβήνουν όταν η τιμή είναι κάτω από το 30. Ο εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα γίνεται όταν η θέση των παραθύρων είναι κάτω του 14%. Η χρονική διάρκεια για την οποία γίνεται ο εμπλουτισμός είναι το ποσοστό που δίνει ο ελεγκτής επί τον χρόνο του κύκλου του ελεγκτή ασαφούς λογικής.

Στο Σχήμα 2.25 βλέπουμε το διάγραμμα ροής της συνάρτησης που εκτελείται για την τοποθέτηση των σκιάστρων σύμφωνα με το αποτέλεσμα που έχει δώσει ο ελεγκτής. Η συνάρτηση αυτή λειτουργεί ως εξής:

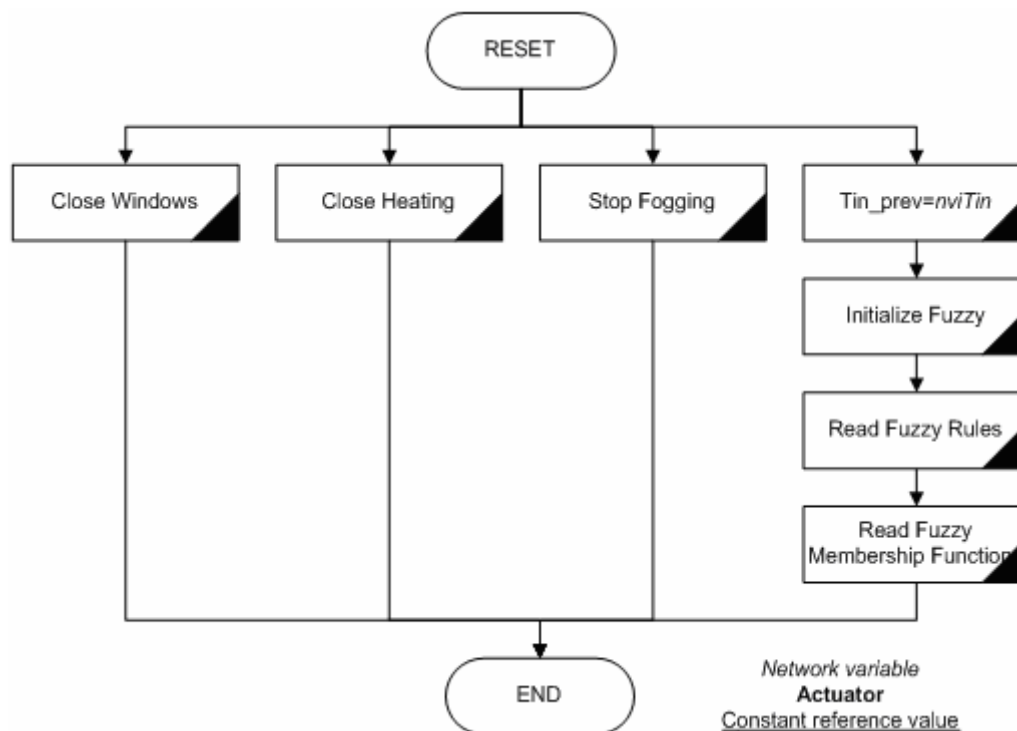
Δίνεται η τιμή της ανάλογης εξόδου του ελεγκτή και βγάζει τη διαφορά με την τωρινή θέση των σκιάστρων. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από το 0 αυτό σημαίνει ότι τα σκίαστρα πρέπει να απλωθούν. Αν η τιμή είναι μικρότερη από το μηδέν τότε τα σκίαστρα πρέπει να μαζευτούν. Αν η τιμή είναι μηδέν τότε πρέπει να μείνουν ως έχουν. Ο χρόνος που χρειάζεται ώστε τα σκίαστρα να πάρουν την σωστή τους θέση, είναι η ποσοστιαία διαφορά που υπολογίστηκε στην αρχή της συνάρτησης επί τον μέγιστο χρόνο που χρειάζονται τα σκίαστρα για να απλωθούν ή να μαζευτούν.



Σχήμα 2.25 Συνάρτηση για την τοποθέτηση των σκιάστρων στη σωστή θέση σύμφωνα με την τιμή του ελεγκτή ασαφούς λογικής.

### 2.3.2. 2<sup>ος</sup> ελεγκτής

Οι διαδικασίες που εκτελούνται κατά την εκκίνηση ή την επανεκκίνηση του δεύτερου ελεγκτή είναι οι εξής: να κλείσει τα παράθυρα, να κλείσει τη θέρμανση και να σταματήσει την υδρονέφωση. Επίσης γίνεται αποθήκευση της τωρινής τιμής της εσωτερικής θερμοκρασίας για να χρησιμοποιηθεί στον επόμενο κύκλο λειτουργίας. Στη συνέχεια αρχικοποιεί τον ελεγκτή και καλεί δύο συναρτήσεις: η πρώτη για το γέμισμα του πίνακα των κανόνων και η δεύτερη για τον προσδιορισμό των παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής για κάθε είσοδο και έξοδο αυτού του ελεγκτή. Στο Σχήμα 2.26 παρατηρείται το διάγραμμα ροής με τις διαδικασίες που εκτελούνται για την αρχικοποίηση του δεύτερου ελεγκτή.



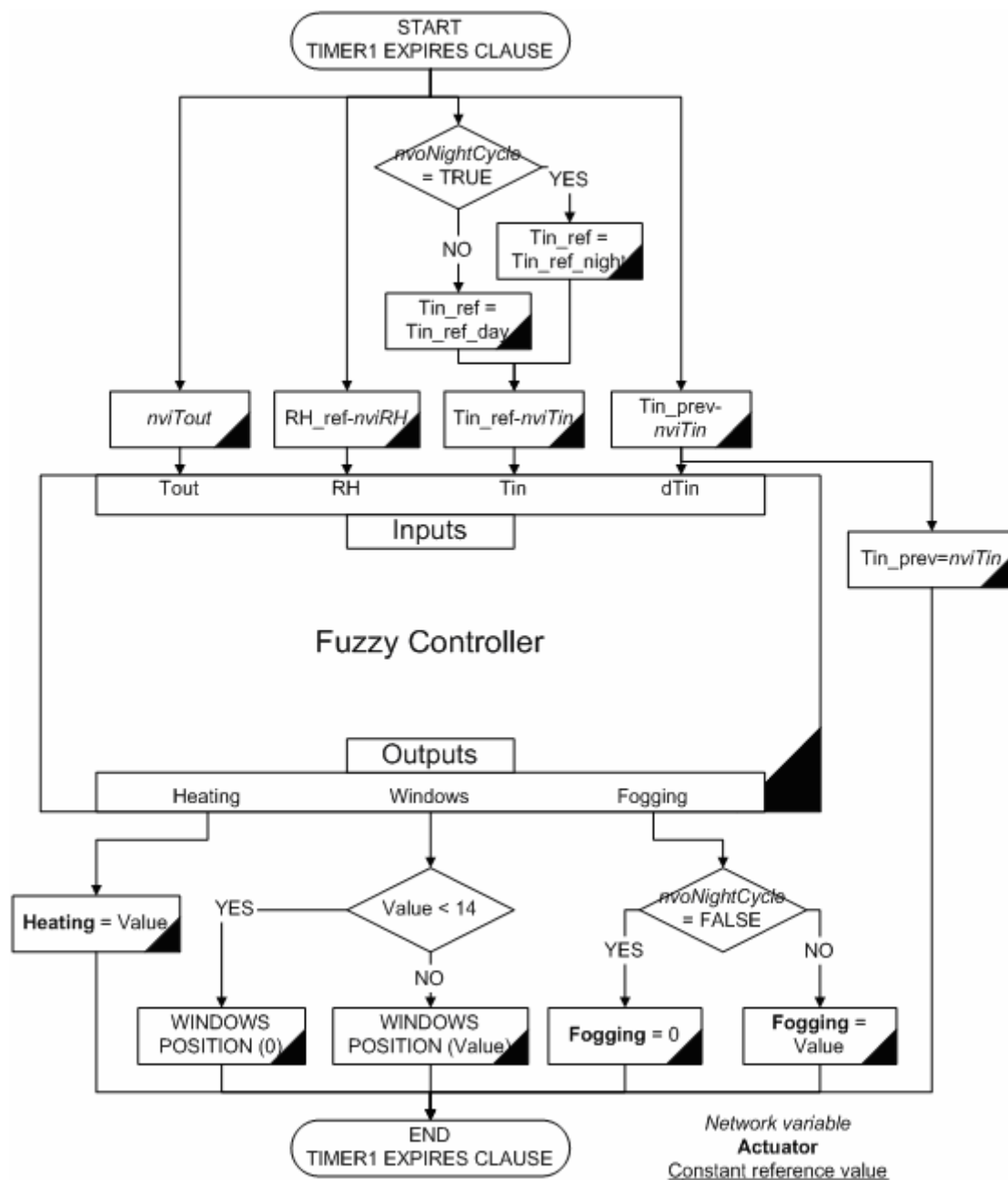
Σχήμα 2.26 Συνάρτηση αρχικοποίησης του δεύτερου ελεγκτή

Και σε αυτόν τον ελεγκτή, το κομμάτι του ελεγκτή ασαφούς λογικής εκτελείται ανά 10 λεπτά για τους ίδιους ακριβώς λόγους που αναφέρθηκαν κατά την περιγραφή του πρώτου ελεγκτή.

Πριν την εκτέλεση του κώδικα του ελεγκτή ασαφούς λογικής εκτελούνται διαδικασίες για την διαμόρφωση των δεδομένων. Πρώτα διαβάζει την τιμή της εξωτερικής θερμοκρασίας και την τοποθετεί στην είσοδο του ελεγκτή ασαφούς λογικής. Στη συνέχεια δίνει την τιμή για την σχετική υγρασία στον ελεγκτή ασαφούς λογικής αφαιρώντας την τιμή του αισθητήριου από την τιμή αναφοράς. Η επόμενη διαδικασία που εκτελείται είναι να ελέγξει αν βρίσκεται σε νυχτερινή λειτουργία και να ορίσει την τιμή αναφοράς για την εσωτερική θερμοκρασία με βάση τις τιμές που έχουν οριστεί από τον χρήστη. Μετά γίνεται η αφαίρεση της τιμής αναφοράς της θερμοκρασίας με την τιμή που διαβάζει από το αισθητήριο. Η τελευταία πράξη που εκτελείται είναι η αφαίρεση μεταξύ της τιμής της θερμοκρασίας στον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας και της τωρινής τιμής του αισθητηρίου. Τέλος αποθηκεύεται η τωρινή τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας για να χρησιμοποιηθεί στον επόμενο κύκλο λειτουργίας.

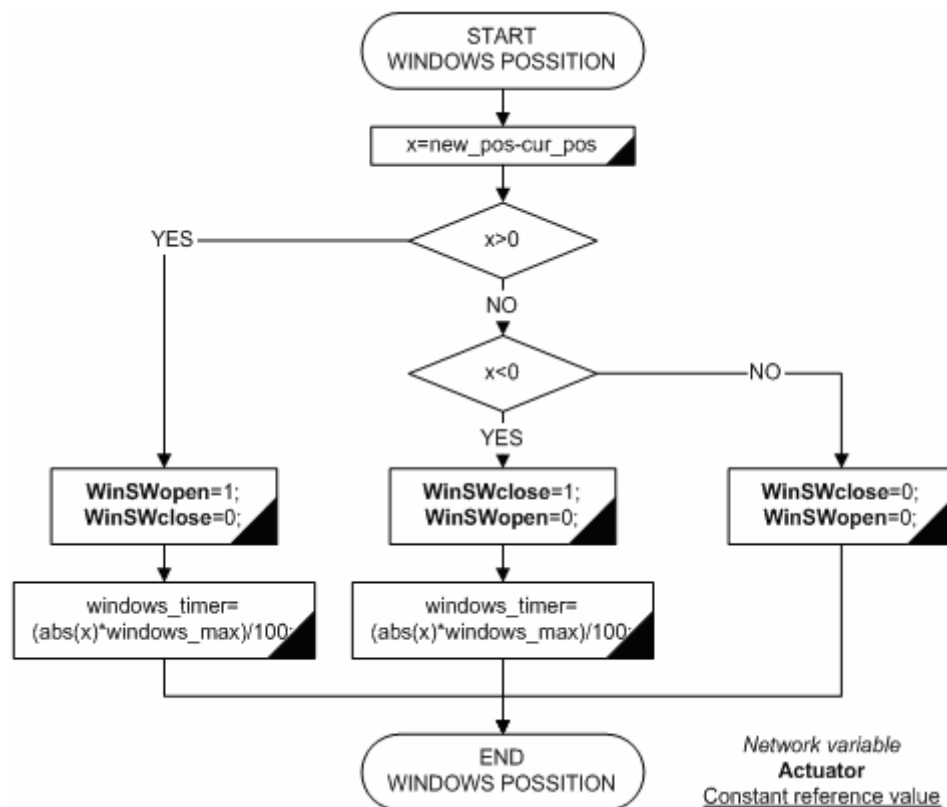
Μετά την εκτέλεση του κώδικα του ελεγκτή γίνονται οι διαδικασίες για την τοποθέτηση των εξόδων στην θέση που πρέπει σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελεγκτή. Πρώτα ανοίγει η θέρμανση για χρονικό διάστημα ίσο με την ποσοστιαία τιμή που δίνει ο ελεγκτής επί το χρόνο του κύκλου του ελεγκτή. Μετά τοποθετούνται τα παράθυρα στη θέση τους μόνο αν η τιμή που δίνεται από τον ελεγκτή είναι μεγαλύτερη του 14. Αν η τιμή είναι μικρότερη του 14 τότε τα παράθυρα κλείνουν εντελώς. Τέλος ανοίγει η υδρονέφωση μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και για χρονικό διάστημα όσο η ποσοστιαία τιμή

που δίνεται από τον ελεγκτή επί τον χρονικό του κύκλο. Στο Σχήμα 2.27 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για τις διαδικασίες που ακολουθούνται σε κάθε κύκλο λειτουργίας του ελεγκτή.



Σχήμα 2.27 Πράξεις και συναρτήσεις που εκτελούνται από τον 2<sup>ο</sup> ελεγκτή σε κάθε κύκλο λειτουργίας

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2.28) παρατηρείται η συνάρτηση που εκτελείται για το άνοιγμα ή το κλείσιμο των παραθύρων στη θέση που υπολογίζει ο ελεγκτής. Η συνάρτηση αυτή ακολουθεί την ίδια φιλοσοφία με την συνάρτηση για το άνοιγμα και το κλείσιμο των σκιάστρων.



Σχήμα 2.28 Συνάρτηση για την τοποθέτηση των παραθύρων στη θέση τους ανάλογα με την απόφαση του ελεγκτή ασαφούς λογικής

## 2.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Για να ελεγχθεί η σωστή λειτουργία των ελεγκτών, καθώς επίσης και η ορθότητα των αποτελεσμάτων τους, δημιουργήθηκαν κάποια πειραματικά αποτελέσματα και συγκρίθηκαν με αυτά από το περιβάλλον λειτουργίας του μαθηματικού πακέτου MATLAB™.

Παρατηρήθηκε ότι μεταξύ των πραγματικών δεδομένων και μεταξύ του των δεδομένων από το MATLAB™ υπάρχει μία μικρή διακύμανση της τάξης του  $\pm 2\%$ . Αυτή η διακύμανση οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους:

- i. οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στις συναρτήσεις της ασαφοποίησης και της αποσαφοποίησης ορίστηκαν σαν ακέραιες μεταβλητές και όχι σαν μεταβλητές κινητής υποδιαστολής, το οποίο θα ήταν σωστότερο για να έχουμε τα ιδανικά αποτελέσματα, και
- ii. δεν χρησιμοποιήθηκαν μαθηματικά ολοκληρώματα για τη διαδικασία της αποσαφοποίησης, όπως αυτή περιγράφεται με μαθηματικές σχέσεις.

Παρόλα αυτά η διακύμανση αυτή των αποτελεσμάτων κινείται σε ανεκτά επίπεδα και δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα στην όλη λειτουργία του συστήματος.

Προγραμματισμός και εγκατάσταση δικτύου αυτοματισμών LonWorks σε θερμοκήπια  
Σχεδίαση και προγραμματισμός του συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε  
θερμοκήπια.



## Κεφάλαιο 3. Εγκατάσταση και παρακολούθηση συστήματος διαχείρισης ενέργειας

Το επόμενο στάδιο της εργασίας ήταν η εγκατάσταση του συστήματος σε ένα θερμοκήπιο. Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (Μ.Α.Ι.Χ). Στο θερμοκήπιο αυτό έχει εγκατασταθεί κατά την κατασκευή του ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου, για τον έλεγχο των εσωτερικών του συνθηκών. Οι περισσότερες λειτουργίες του συστήματος LonWorks βασίστηκαν στις λειτουργίες του υπάρχοντος συστήματος.

### 3.1. Περιγραφή του θερμοκηπίου

Το περίβλημα του θερμοκηπίου είναι κατασκευασμένο από γυαλί. Στην Εικόνα 3.1 βλέπουμε την εξωτερική άποψη του θερμοκηπίου.



Εικόνα 3.1 Το θερμοκήπιο

Το υπάρχον σύστημα ελέγχου διαθέτει λειτουργίες για τον έλεγχο της θέσης των παραθύρων, τον έλεγχο της θέσης των σκιάστρων, το πότισμα και την λίπανση των φυτών, σύστημα για τον εμπλουτισμό με διοξείδιο του άνθρακα, σύστημα για την υδρονέφωση και σύστημα τεχνητού φωτισμού.



Εικόνα 3.2 Το εσωτερικό του θερμοκηπίου

### 3.2. Συσκευές δικτύου

Οι συσκευές που απαρτίζουν το δίκτυο πρέπει να έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των αισθητηρίων, των επενεργητών και κάποιων επιπλέον συσκευών που βοήθησαν στην σωστή λειτουργία του συστήματος. Το βασικό χαρακτηριστικό των περισσότερων συσκευών είναι ότι έχουν κατασκευαστεί για να επικοινωνούν σύμφωνα με το πρωτόκολλο LonWorks.

#### 3.2.1. Αισθητήρια

Τα αισθητήρια καθώς και οι επενεργητές που χρησιμοποιήθηκαν, θα έπρεπε να είναι σύμφωνα με το πρωτόκολλο LonWorks. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα παρακάτω:

1. The Nose Monitor κατασκευασμένο από την εταιρία Pure Choice. Σ' αυτή τη συσκευή είναι τοποθετημένα τρία διαφορετικά αισθητήρια: θερμοκρασίας, υγρασίας και διοξειδίου του άνθρακα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητηρίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1 Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητηρίου Nose Monitor

Θερμοκρασίας	
Κλίμακα μετρούμενης θερμοκρασίας	0...38 °C (32...100 °F)
Ακρίβεια μέτρησης	± 0,5 °C (0,8 °F)
Ανάλυση	0,1 °C (0,18 °F)

Σχετικής υγρασίας	
Κλίμακα μέτρησης	5...95 %
Ακρίβεια μέτρησης	±10% της μετρούμενης τιμής
Ανάλυση	1 %
Διοξειδίου του άνθρακα	
Κλίμακα μέτρησης	0...5000 ppm
Ακρίβεια μέτρησης	±5% ή 100 ppm, όποιο είναι μεγαλύτερο
Ανάλυση	10 ppm



**Εικόνα 3.3** Το αισθητήριο τοποθετημένο μέσα στο θερμοκήπιο

2. Το LS-T01 της εταιρίας Carelson είναι ένα αισθητήριο θερμοκρασίας. Χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του αισθητηρίου αυτού είναι τα παρακάτω:

**Πίνακας 3.2** Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητηρίου LS-T01

Κλίμακα μετρούμενης θερμοκρασίας	-10...+85 °C (14...185 °F)
Ακρίβεια μέτρησης	±0,5 °C
Τάση τροφοδοσίας	9-24 VDC / 24 VAC
Καταναλισκόμενη ισχύς	0,25 W



**Εικόνα 3.4** Το αισθητήριο εγκατεστημένο στον εξωτερικό χώρο, για την μέτρηση της εξωτερικής θερμοκρασίας

3. Για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε το αισθητήριο Lux Lite της εταιρίας Kipp & Zonen. Τα χαρακτηριστικά αυτού του αισθητηρίου είναι τα εξής:

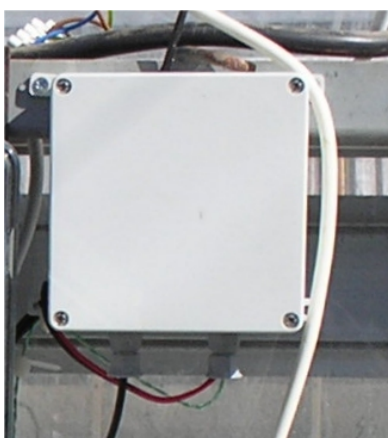
**Πίνακας 3.3** Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητηρίου Lux Lite

Κλίμακα μετρούμενης ακτινοβολίας	0...200 klux
Ευαισθησία	10 mV/100 klux
Χρόνος απόκρισης	0,1 sec
Μη γραμμικότητα	<1% ως τα 100 klux



**Εικόνα 3.5** Το αισθητήριο ηλιακής ακτινοβολίας

Το αισθητήριο αυτό δεν έχει την ικανότητα να επικοινωνήσει με τα υπόλοιπα αισθητήρια που βρίσκονται στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό μία επιπλέον συσκευή τοποθετήθηκε. Σκοπός αυτής της είναι να μετατρέψει την τάση που θα διαβάσει στην είσοδο της σε σήμα δικτύου, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις άλλες συσκευές. Αυτή η συσκευή είναι το AI-10 της εταιρίας Echelon, η οποία διαθέτει δύο εισόδους για αναλογικά σήματα (analog input). Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται επίσης ότι η τάση που δίνει το αισθητήριο δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να την παρακολουθεί η συσκευή AI-10. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, ένας ενισχυτής τάσης παρεμβλήθηκε μεταξύ του αισθητηρίου και της συσκευής AI-10. Αυτός είναι ο AC 420 της εταιρίας Leidrop Instruments. Ο ενισχυτής αυτός είναι κατασκευασμένος για αυτή την κατηγορία των αισθητηρίων.



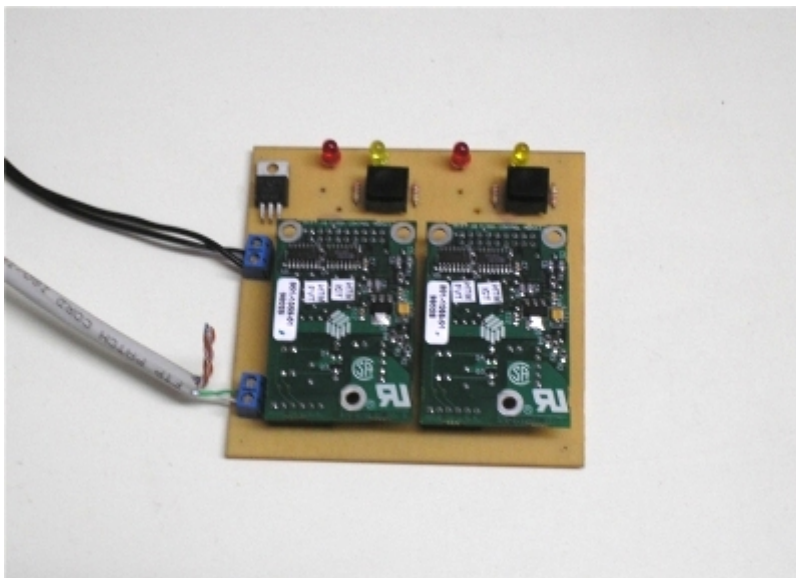
Εικόνα 3.6 Ο ενισχυτής AC 420 της Leidrop Instruments

### 3.2.2. Επενεργητές

Ένα άλλο μέρος του συστήματος είναι οι επενεργητές (ή ενεργοποιητές). Οι συσκευές αυτές δίνουν εντολές στα συστήματα του θερμοκηπίου ανάλογα με τα αποτελέσματα που δίνουν οι ελεγκτές. Το σύστημα που αναπτύχθηκε διαθέτει τρεις συσκευές DO-10 της εταιρίας Echelon. Η κάθε συσκευή διαθέτει τέσσερις ψηφιακές εξόδους. Στο λογικό “0” δίνουν 0V και στο λογικό “1” δίνουν 12V.

### 3.2.3. Ελεγκτές

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο αρχικός ελεγκτής χωρίστηκε σε δύο μέρη. Ο κάθε ελεγκτής προγραμματίστηκε σε ένα TP/FT-10 control module. Κατασκευαστής αυτών των συσκευών είναι η εταιρία Echelon. Οι συσκευές αυτές είναι ειδικά κατασκευασμένες για να μπορούν να προγραμματιστούν και να εκτελούν κώδικα ανεπτυγμένο από τον χρήστη. Η κάθε συσκευή διαθέτει τις βασικότερες λειτουργίες που απαιτούνται για να μπορεί να συνδεθεί και να λειτουργήσει σε ένα δίκτυο LonWorks. Επιπλέον διαθέτει και 11 ψηφιακές εισόδους/εξόδους, έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να συνδεθεί με κάποιο άλλο κύκλωμα που δεν είναι συμβατό με τα δίκτυα LonWorks.



Εικόνα 3.7 Οι δύο συσκευές με τους ελεγκτές, οι οποίες αποτελούν την καρδιά του δικτύου

### 3.3. Δοκιμαστική εγκατάσταση

Πριν ξεκινήσει η εγκατάσταση στο θερμοκήπιο, πραγματοποιήθηκε μία δοκιμαστική εγκατάσταση στο Εργαστήριο Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών. Τα μέρη αυτής της δοκιμαστικής εγκατάστασης ήταν τα αισθητήρια και οι ελεγκτές. Ο λόγος που έγινε αυτή η εγκατάσταση ήταν για να δοκιμαστούν οι ελεγκτές με πραγματικές τιμές στην είσοδο τους και να εξεταστεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων τους.

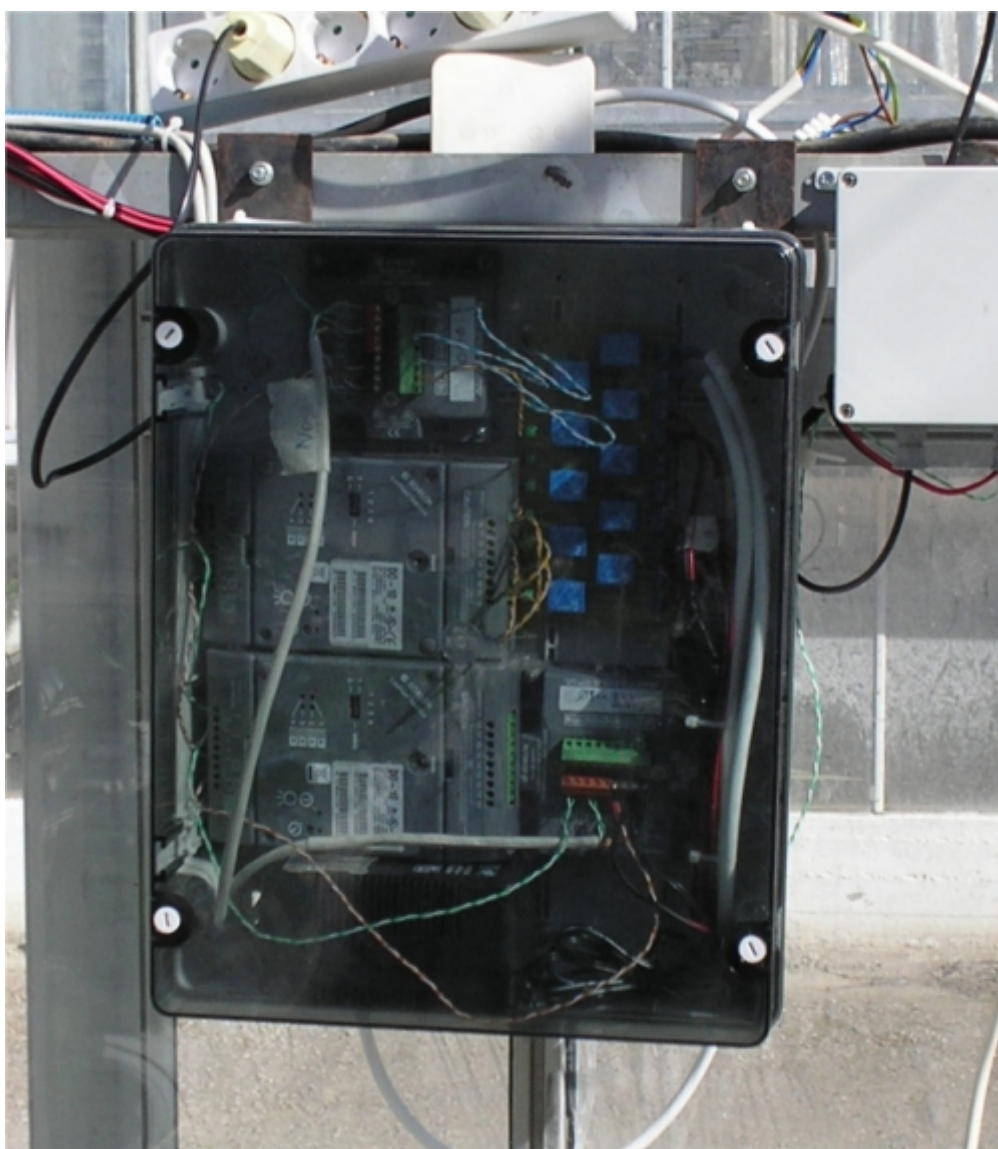
### 3.4. Η εγκατάσταση

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου αυτού, η εγκατάσταση του συστήματος LonWorks βασίστηκε στο υπάρχον σύστημα αυτοματισμού του θερμοκηπίου.



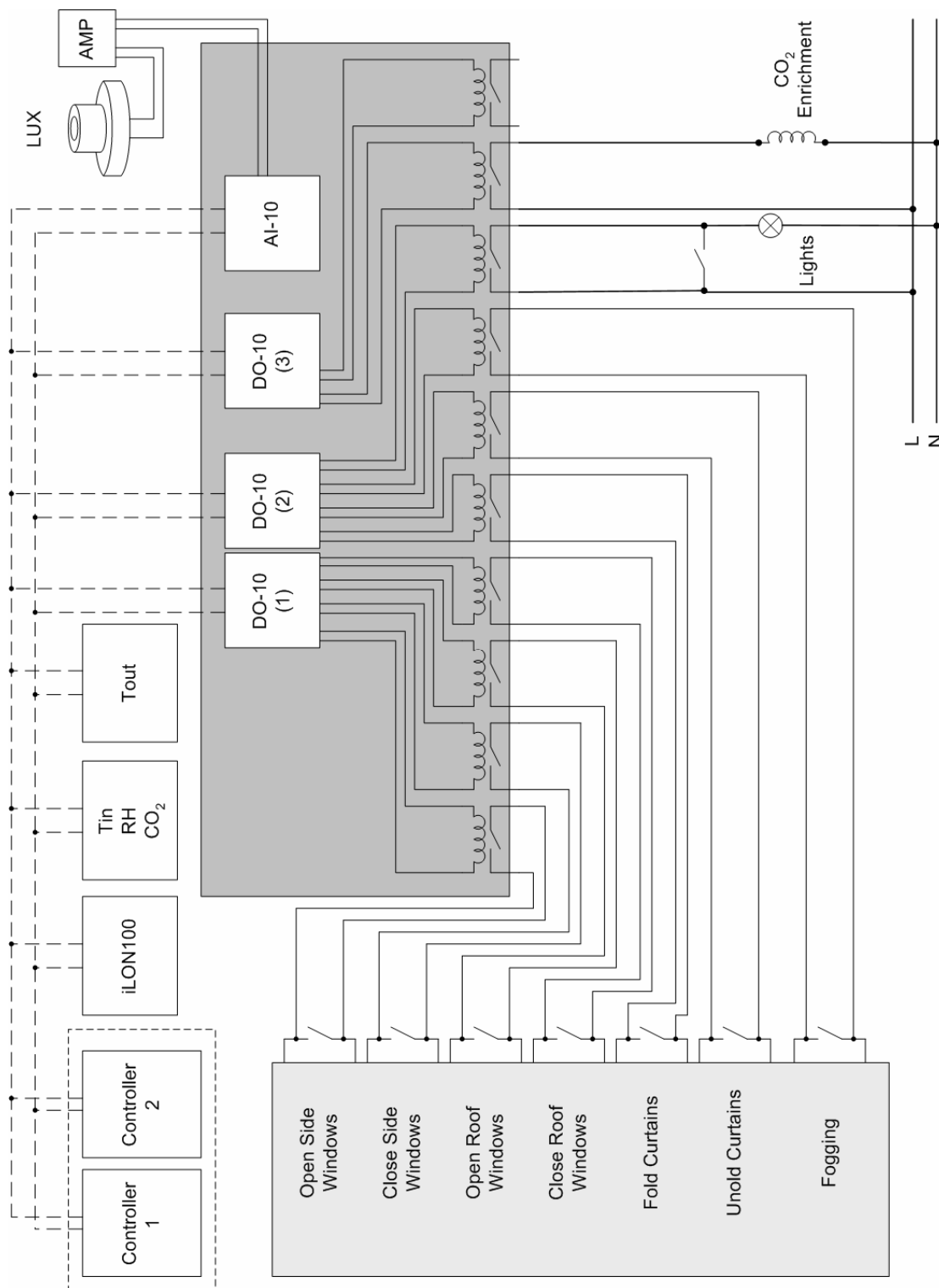
Εικόνα 3.8 Ο πίνακας ελέγχου του υπάρχοντος συστήματος ελέγχου

Στο υπάρχον σύστημα ελέγχου έχει τοποθετηθεί ένας πίνακας ελέγχου μέσα στο θερμοκήπιο. Οι λειτουργίες που ελέγχονται από τον πίνακα αυτό είναι το άνοιγμα και το κλείσιμο των πλαϊνών παραθύρων και των παραθύρων οροφής, το άπλωμα και το μάζεμα των σκιάστρων καθώς επίσης η υδρονέφωση. Από τον πίνακα αυτό μπορεί να γίνει επιλογή από τον χρήστη αν ο έλεγχος σε αυτές τις λειτουργίες θα γίνουν αυτόματα ή χειροκίνητα. Για το σύστημα LonWorks επιλέξαμε ο έλεγχος των παραπάνω λειτουργιών να γίνεται χειροκίνητα. Ο έλεγχος για το φωτισμό και τον εμπλουτισμό με διοξείδιο του άνθρακα γίνονται εξωτερικά, χωρίς την ενδιάμεση χρήση του πίνακα ελέγχου του θερμοκηπίου.



**Εικόνα 3.9 Ο πίνακας με τις συσκευές εξόδου καθώς και την αναλογική είσοδο για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας**

Στο Σχήμα 3.1 βλέπουμε ένα διάγραμμα με τις συνδέσεις που έγιναν μεταξύ των δύο πινάκων αλλά και τη διασύνδεση των συσκευών του δικτύου πάνω στο δίκτυο LonWorks.



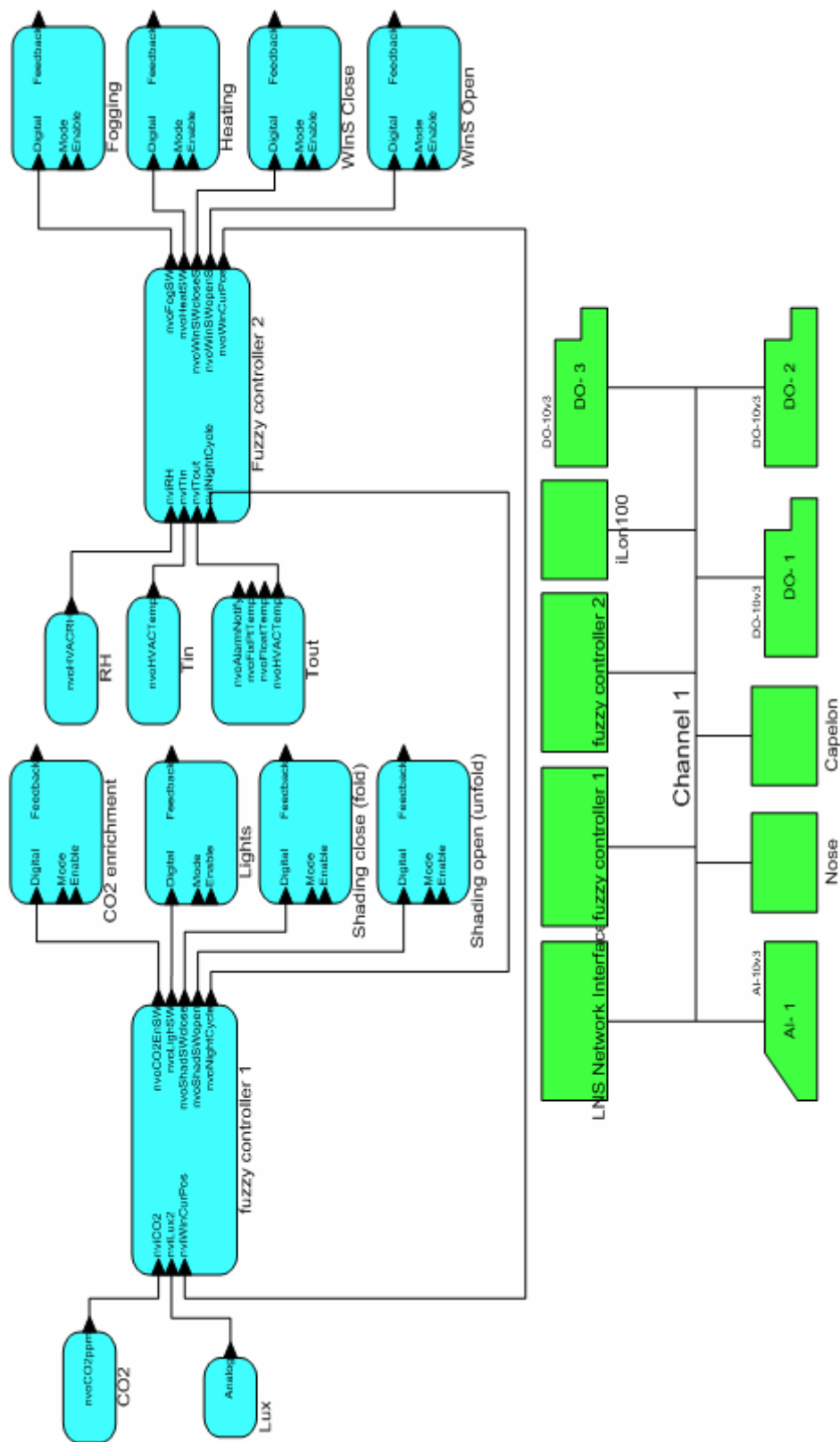
Σχήμα 3.1 Συνδέσεις συσκευών του συστήματος

Ο χειροκίνητος έλεγχος του υπάρχοντος συστήματος γίνεται με διακόπτες μπουτόν. Βάση αυτής της λειτουργίας έγινε η σύνδεση των δύο συστημάτων. Ο τρόπος που επιλέχθηκε για να γίνει η διασύνδεση είναι να συνδεθούν παράλληλα σε κάθε διακόπτη μπουτόν του παλιού συστήματος οι ψηφιακές εξοδοί του νέου. Επειδή όμως οι συσκευές των ψηφιακών εξόδων δίνουν



τάση 0 και 12V προστέθηκαν ενδιάμεσα διακόπτες ρελέ, ώστε να μπορεί να λαμβάνει το σήμα το παλιό σύστημα ελέγχου.

Στη συνέχεια έγινε η λογική διασύνδεση των συσκευών μέσω του προγράμματος LonMaker. Στο Σχήμα 3.2 παρατηρούνται οι δύο τρόποι συνδεσμολογίας μεταξύ των συσκευών. Στο πάνω μέρος είναι η λογική διασύνδεση, και στο κάτω μέρος η φυσική διασύνδεση.



Σχήμα 3.2 Λογική και φυσική διασύνδεση συσκευών μέσω του προγράμματος LonMaker

### 3.5. Δεδομένα

Το τελευταίο μέρος αυτής της εργασίας ήταν η συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων των εσωτερικών συνθηκών του θερμοκηπίου. Τα δεδομένα αυτά θα έπρεπε να είναι οι τιμές των αισθητήριων και των επενεργητών ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να μπορεί να γίνει αξιολόγηση του συστήματος βάση αυτών των μετρήσεων.

Αρχικά κατασκευάστηκε μία φόρμα σε Visual Basic for Applications (VBA), μέσα από το πρόγραμμα LonMaker. Η λύση αυτή ήταν προσωρινή μέχρι να εγκατασταθεί μια ειδική συσκευή για την συλλογή και αποθήκευση αυτών των μετρήσεων. Αυτή δεν είναι άλλη από το iLON100 Internet Server.

Εκτός της λειτουργίας του για αποθήκευση δεδομένων διαθέτει και έναν web server και έναν ftp server. Ο web server χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των ρυθμίσεων και ο ftp server για την μεταφορά των αποθηκευμένων μετρήσεων.

Με τη χρήση ενός ειδικού προγράμματος μπορούν να κατασκευαστούν ιστοσελίδες οι οποίες θα εμφανίζουν στους χρήστες διάφορες πληροφορίες σχετικά με τις εσωτερικές συνθήκες του θερμοκηπίου.

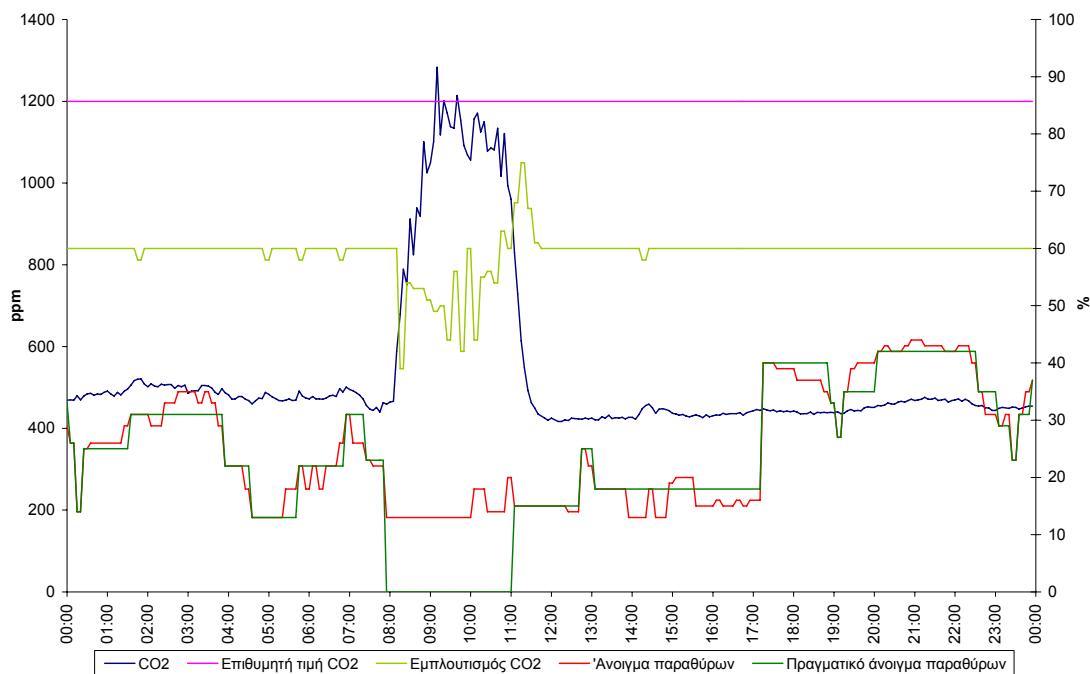


Εικόνα 3.10 Η συσκευή αποθήκευσης δεδομένων iLON100

Στη συνέχεια ακολουθούν μερικά διαγράμματα από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Τα διαγράμματα αυτά αναπαριστούν την λειτουργία του συστήματος για τέσσερις διαφορετικές ημέρες του έτους.

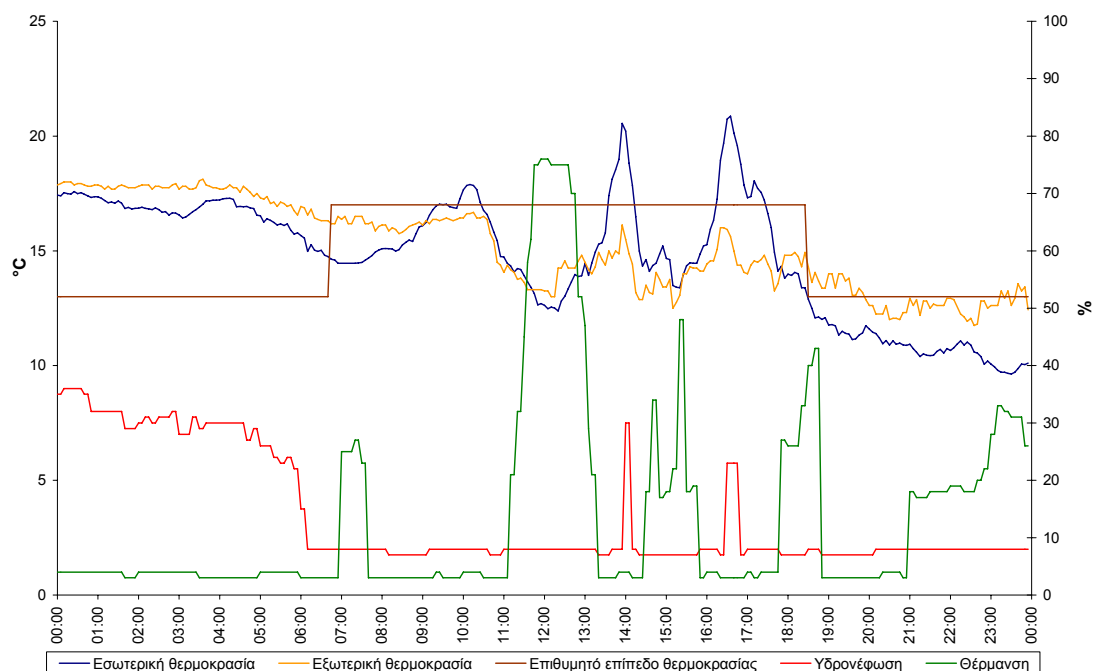
Στο Διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η λειτουργία του συστήματος για τον εμπλουτισμό με διοξείδιο του άνθρακα. Σύμφωνα με τις οδηγίες που δόθηκαν από τον υπεύθυνο γεωπόνου του θερμοκηπίου, ο εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα πρέπει να γίνεται μόνο όταν είναι κλειστά τα παράθυρα, για το λόγο ότι το διοξείδιο του άνθρακα πρέπει να παραμένει μέσα στο θερμοκήπιο και να μην διαχέεται στην ατμόσφαιρα, ώστε τα φυτά να λαμβάνουν την απαραίτητη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία του να κλείσουν τα παράθυρα, να γίνει ο απαραίτητος εμπλουτισμός και μετά να ξανά

ανοίξουν τα παράθυρα απαιτεί χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του κύκλου λειτουργίας των ελεγκτών, οπότε δεν ήταν δυνατό να εκτελείται αυτή η διαδικασία. Αντί αυτής της χρονοβόρας διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε η εξής: να κλείνουν τα παράθυρα για τρεις ώρες από την ώρα που θα ξημερώσει και να γίνεται ο εμπλουτισμός για αυτό το χρονικό διάστημα.



**Διάγραμμα 3.1** Αποτελέσματα από την διαδικασία του εμπλουτισμού με διοξείδιο του άνθρακα

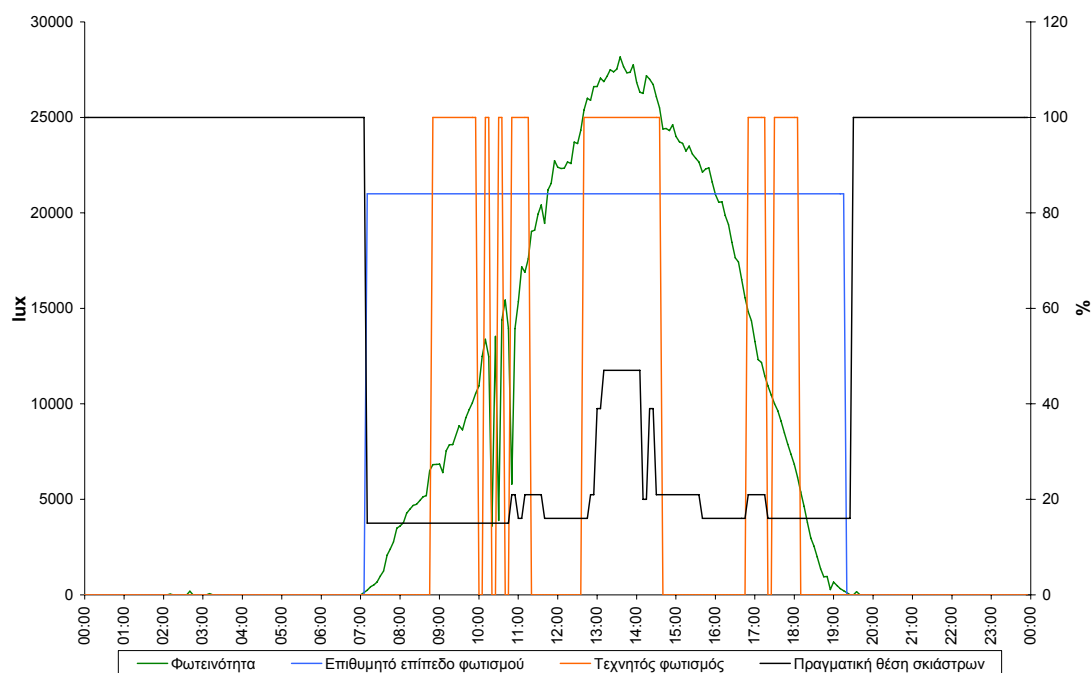
Στο Διάγραμμα 3.2 παρουσιάζονται τα δεδομένα της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας καθώς και των αποτελεσμάτων του ελεγκτή για την θέρμανση και την υδρονέφωση. Στο θερμοκήπιο αυτό δεν υπάρχει σύστημα θέρμανσης και το σύστημα υδρονέφωσης δεν μπορούσε να λειτουργήσει λόγω κάποιων σοβαρών τεχνικών προβλημάτων. Έτσι στο Διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται η απόκριση των ελεγκτών για τις διάφορες διακυμάνσεις της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας ανάλογα με το σημείο αναφοράς για την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία.



**Διάγραμμα 3.2 Δεδομένα εσωτερικής κ' εξωτερικής θερμοκρασίας καθώς και αποτελέσματα ελεγκτών για θέρμανση και υδρονέφωση**

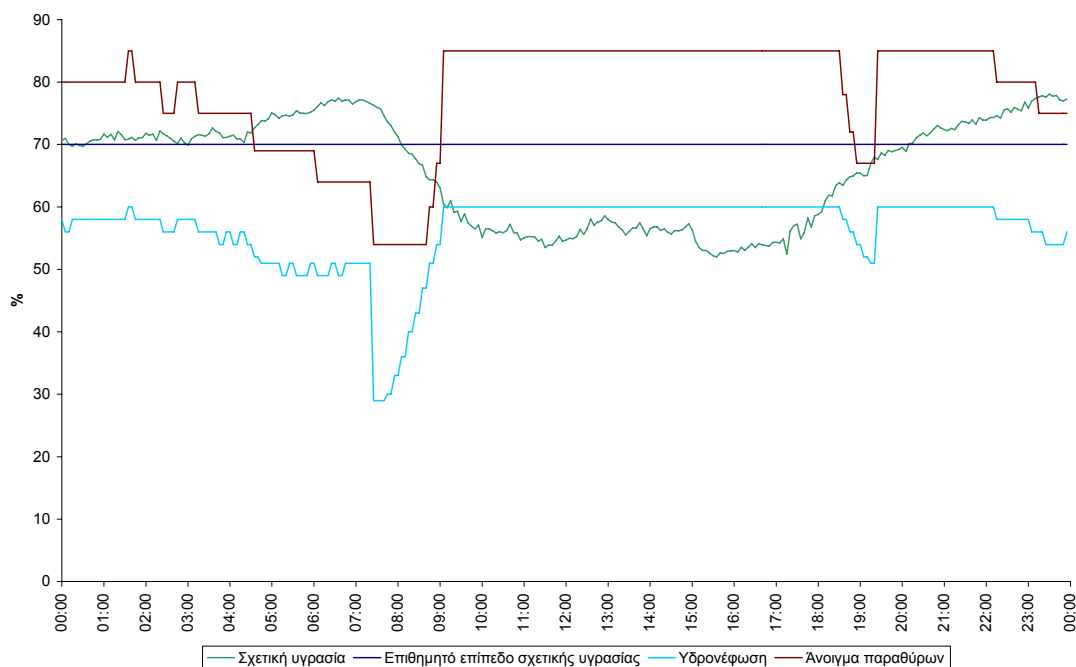
Στη συνέχεια (Διάγραμμα 3.3) βλέπουμε την ρύθμιση της φωτεινότητας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό των ελεγκτών ο έλεγχος της εσωτερικής φωτεινότητας επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας την θέση των σκιάστρων και τον τεχνητό φωτισμό ανάλογα με την φωτεινότητα του εξωτερικού χώρου.

Επίσης στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι τα σκιάστρα τοποθετούνται στο μέγιστο τους κατά τις νυχτερινές ώρες. Αυτό γίνεται ώστε να λειτουργήσουν σαν θερμομόνωση για το θερμοκήπιο και να συγκρατήσουν την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



**Διάγραμμα 3.3** Αποτελέσματα για τη ρύθμιση της εσωτερικής φωτεινότητας

Τέλος, στο Διάγραμμα 3.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον έλεγχο της εσωτερικής υγρασίας ρυθμίζοντας την θέση των παραθύρων και το σύστημα της υδρονέφωσης.



**Διάγραμμα 3.4** Αποτελέσματα για τη ρύθμιση της εσωτερικής φωτεινότητας

## Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Τα ήδη υπάρχοντα συστήματα ελέγχου για το εσωτερικό περιβάλλον των θερμοκηπίων προσφέρουν αρκετές λύσεις, οι οποίες κυμαίνονται κυρίως ανάλογα με το μέγεθος της καλλιέργειας. Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας, το σύστημα που αναπτύχθηκε αφορά θερμοκήπια μίας ζώνης. Με κάποιες τροποποιήσεις όμως, θα μπορούσε να ελέγξει τις συνθήκες σε θερμοκήπια πολλών ζωνών.

Η τεχνολογία του Local Operating Network είναι αρκετά νέα. Οι δυνατότητες που προσφέρει είναι αρκετές, δίνοντας στον χρήστη την ικανότητα να μπορεί να δημιουργήσει συστήματα αυτοματισμού με πάρα πολλές λειτουργίες. Η τεχνολογία μετάδοσης σημάτων που χρησιμοποιεί, το καθιστά ιδανικό για ανάπτυξη εφαρμογών που καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα.

Η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε μέσω αυτής της εργασίας δίνει τη δυνατότητα για δημιουργία μελλοντικών πειραματικών εφαρμογών και εγκαταστάσεων. Η χρήση της ασαφούς λογικής για την ανάπτυξη ελεγκτών δίνει μια νέα προοπτική με σκοπό την καλύτερη διαχείριση ενέργειας και εσωτερικού περιβάλλοντος.

Για την ανάπτυξη του συστήματος αυτού χρησιμοποιήθηκαν αρκετά λογισμικά προγράμματα. Η σχεδίαση των ελεγκτών ασαφούς λογικής έγινε με τη χρήση του μαθηματικού πακέτου MATLAB™, στο οποίο έγινε ο καθορισμός των συναρτήσεων συμμετοχής όπως και των πινάκων των κανόνων. Στην συνέχεια έγινε η ανάπτυξη του κώδικα των ελεγκτών στη γλώσσα προγραμματισμού Neuron C μέσω του λογισμικού προγράμματος NodeBuilder. Για τον προγραμματισμό των συσκευών του συστήματος αυτού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα LonMaker Integration Tool, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και για τον προγραμματισμό όλου του δικτύου.

Μετά τη δημιουργία της δοκιμαστικής εγκατάστασης για τον έλεγχο της σωστής διαβίβασης των δεδομένων μεταξύ των συσκευών, ξεκίνησε η εγκατάσταση στο θερμοκήπιο. Στη συνέχεια προστέθηκε στην εγκατάσταση άλλη η συσκευή iLON100 για την καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων από τα αισθητήρια και τους επενεργητές. Με βάση αυτά τα δεδομένα έγινε αξιολόγηση των ελεγκτών και του συστήματος γενικότερα. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι το σύστημα δουλεύει πολύ καλά παρόλο που υπάρχουν αρκετές ελλείψεις όσον αφορά τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του θερμοκηπίου.

Οι μελλοντικές προσθήκες που μπορούν να γίνουν στο σύστημα αυτό αφορούν κυρίως σε λογισμικά προγράμματα. Σε επίπεδο υλικού είναι δυσκολότερο να γίνουν κάποιες προσθήκες επειδή πρέπει να σχεδιαστούν οι ελεγκτές από την αρχή. Μέχρι τώρα ο ορισμός των επιθυμητών τιμών για τις διάφορες παραμέτρους γινόταν σε επίπεδο κώδικα. Θα μπορούσε να αναπτυχθεί μία εφαρμογή η οποία θα θέτει στις διάφορες μεταβλητές του κώδικα των ελεγκτών, τις επιθυμητές από τον χρήστη τιμές χωρίς να

χρειάζεται να επέμβει στον κώδικα της εφαρμογής. Μία λειτουργία αυτής της εφαρμογής θα μπορούσε να είναι ο ορισμός των επιθυμητών τιμών (set points) για τις διάφορες παραμέτρους (θερμοκρασία, υγρασία, κτλ.). Επίσης μία χρήσιμη λειτουργία της εφαρμογής αυτής θα μπορούσε να είναι η αποθήκευση των δεδομένων των εσωτερικών συνθηκών του θερμοκηπίου για μικρό χρονικό διάστημα ώστε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα να ελέγχει την λειτουργία του θερμοκηπίου.



## Βιβλιογραφία και δικτυακές πηγές

- [1] G. Saridakis, D. Kolokotsa, S. Dolianitis, Development of an Intelligent Indoor Environment and Energy Management System for Greenhouses using a Fuzzy Logic controller and Lonworks™, EPEQUB 2006, Milos July 2006
- [2] D. Kolokotsa, “Design and implementation of an integrated intelligent indoor environment management system using fuzzy logic, advanced decision support techniques, local operating network capabilities and smart cart technology”, Chania, June 2001
- [3] Χ. Λάζος “Ανάπτυξη και προγραμματισμός έξυπνου κόμβου, λήψης και διαβίβασης δεδομένων σε κτίρια, με χρήση του πρωτοκόλλου LonWorks”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Χανιά 2004
- [4] “Introduction to the LonWorks® system”, Version 1.0, Echelon® Corporation (078-0183-01A)
- [5] “NodeBuilder® User’s Guide”, Release 3.1, Revision 3, Echelon® Corporation (078-0141-01E)
- [6] “Neuron C Programmer’s Guide”, Revision 7, Echelon® Corporation (078-0002-02G)
- [7] “LonMaker™ User’s Guide”, Release 3.1, Revision 2, Echelon® Corporation (078-0168-02G)
- [8] “LNS™ DDE Server User’s Guide”, Version 2.11, Echelon® Corporation (078-0170-01D)
- [9] “LNS™ for Windows® Programmer’s Guide”, Version 3, Echelon® Corporation (078-0177-01E)
- [10] “LonWorks® Engineering Bulletins”, Echelon® Corporation, January 1995
- [11] Echelon Corporation [www.echelon.com](http://www.echelon.com)
- [12] LonMark International [www.lonmark.org](http://www.lonmark.org)