

Σὲ αὐτὴν τὴν κατεύθυνση ἐργάστηκε, ἐργάζεται, καὶ συνεχίζει νὰ διαπρέπει καὶ ὁ Δρ. Σαρίδης.

Ἀγαπητὲ Συνάδελφε Κύριε Σαρίδη, μὲ τὸ ἔργο σας ζεῖτε τὴν ἐποικοδομητικὴ συμβίωση τῆς ἐπιστήμης καὶ τῆς τεχνολογίας. Ἡ μεγάλη προσφορά σας στὶς ἐπιστῆμες τοῦ προσαρμοστικοῦ ἐλέγχου, τὶς ὁποῖες θεραπεύετε, ἀναγνωρίζεται σήμερα μὲ τὴν ἀναγόρευσή σας ὡς Ἀντεπιστέλλοντος Μέλους τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν. Παρακολοῦθησα καὶ θὰ παρακολουθῶ τὴν ἐπιστημονικὴν σας ἐξέλιξη καὶ τὶς ἐπιδόσεις σας σὲ ἐπίπεδο διεθνῶν ἀναγνωρίσεων. Ἰδιαιτέρα μὲ ἐνδιαφέρουν προσωπικὰ τὰ ἀποτελέσματα τῶν ἐρευνῶν σας ποὺ ἔχουν ἄμεση σχέση καὶ μὲ τὶς ἐννοιες καὶ τὶς μεθόδους τῆς Ἐπιστήμης τῆς Πληροφορικῆς. Σήμερα σᾶς καλωσορίζω ἀπὸ τὸ Βῆμα αὐτὸ ὡς νέο Ἀντεπιστέλλον Μέλος τοῦ Ἀνωτάτου Πνευματικοῦ Ἰδρύματος τῆς Χώρας, τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ Ν. ΣΑΡΙΔΗ

Κατ' ἀρχὴν θέλω νὰ εὐχαριστήσω τὴν Ἀκαδημία ποὺ μὲ ἐξέλεξε ἀντεπιστέλλον μέλος της. Εἶναι πραγματικὰ μεγάλη μου τιμὴ νὰ ἀπευθύνομαι σὲ τέτοιο ἐκλεκτὸ σῶμα γιὰ νὰ δεχθῶ ἐπίσημα αὐτὴ τὴ μεγάλη ἀναγνώριση.

Ὁ Αὐτόματος Ἐλεγχος, ἡ ἔδρα στὴν ὁποία μὲ ἐκλέξατε νὰ ἐκπροσωπήσω, γιὰ πολλοὺς ἀντιπροσωπεύει ἕνα νεφελώδη ὄρο σὲ μιὰ μοντέρνα τεχνικὴ ὁρολογία. Παρ' ὅλο ὅτι θὰ καταβάλω κάθε δυνατὴ προσπάθεια νὰ λιγοστέψω τὶς τεχνικὲς ἐκφράσεις, καὶ μὲ τὸν κίνδυνον νὰ σᾶς κουράσω, θεωρῶ ὑποχρέωση νὰ σᾶς παρουσιάσω μιὰ πρωτότυπη ἐργασία μου ποὺ παρουσιάζει τὴν ἐξέλιξη καὶ ἀναγνώριση τοῦ σπουδαίου αὐτοῦ τομέα τῆς ἐπιστήμης καὶ τὴν ἐφαρμογὴ του στὰ προβλήματα ποὺ ἀπασχολοῦν τὴν σημερινὴ κοινωνία.

* * *

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εἶναι γνωστὸ ὅτι ἡ ἐξέλιξη τῆς σύγχρονης τεχνολογίας, κατὰ τὴν τελευταία πεντηκονταετία, ἔχει σημαντικὰ βελτιώσει τὴν μέση ποιότητα ζωῆς ἐπάνω στὴ γῆ. Εἶναι ἐπίσης γνωστὸ ὅτι ἡ βελτίωση αὐτὴ ἔχει σὰν ἐπακόλουθο τὴν μείωση τῆς ποιότητος τοῦ περιβάλλοντος μὲ τὴν αὔξηση τῆς παραγωγῆς λυμμάτων, τὴν κυκλοφορικὴ συμφόρηση, τὴν οἰκονομικὴ καὶ κοινωνικὴ παρακμὴ, καὶ τὴν βιολογικὴ καὶ βακτηριακὴ μόλυνση τοῦ περιβάλλοντος. Σὰν μέτρο τῆς μείωσης τῆς ποιότητος τοῦ περιβάλλοντος ἔχει προταθεῖ, ἀπὸ πολλοὺς ἐπιστήμονες, ἡ Παγκόσμια Ἐντροπία,

μιά μορφή ένεργείας δανεισμένη από την Θερμοδυναμική, τής όποίας την αύξηση εΐναι έπιθυμία μας νά μειώσουμε [5].

Στήν σημερινή μου παρουσίαση θά προσπαθήσω νά όρίσω τόν Αυτόματο Έλεγχο σέ μιá νέα διάσταση, για νά τόν συνδέσω με την αντιμετώπιση τών παγκοσμίων προβλημάτων που αυτά έξουσιάζουν την σημερινή πραγματικότητα. Στην άρχή θά δώσω μιá περίληψη του θέματος του αυτόματου έλέγχου, στο όποιο τόσο πολλοί Έλληνες του έξωτερικού έχουν διαπρέψει, για νά παρουσιάσω τά πλεονεκτήματα μιās έπιστήμης με φιλοσοφικές βάσεις, που κυριαρχεί στην σύγχρονη τεχνολογία. Μετά θά κάνω μιá είσαγωγή στην διευρυμένη έννοια τής έντροπίας σαν μιá παγκόσμιας ένεργείας που τείνει νά υποβαθμίσει την ανάπτυξη τής ποιότητας τής μοντέρνας τεχνολογίας και έπιστήμης. Άκολουθεΐ ή συσχέτιση τής έντροπίας με τόν αυτόματο έλεγχο, μιá έργασία, με την όποία έχω προσωπικά άσχοληθεΐ τά τελευταΐα χρόνια. Άφορā στis έφαρμογές τής θεωρίας σέ σύγχρονα προβλήματα πέρα από την τεχνολογία, όπως στην οικολογία, στα βιοχημικά συστήματα, στο περιβάλλον, και την οικονομία, που κλείουν αυτήν την όμιλία. Έλπίζω, ότι σέ μελλοντική όμιλία θά παρουσιάσω αναλυτικά άποτελέσματα αυτής τής έργασίας.

Έπειδή, από εδώ θά αναφέρομαι στα διάφορα φυσικά ή κοινωνικά φαινόμενα σαν συστήματα, μιá διευκρίνιση εΐναι απαραίτητη για την έννοια αυτή. Στην όμιλία αυτή,

Σύστημα εΐναι κάθε φυσικό ή άλλο φαινόμενο που περιγράφεται από ένα μοντέλο, συνήθως αναλυτικό, για την μελέτη, ανάλυση, πρόβλεψη και έλεγχο τής συμπεριφοράς του.

Αυτός ό όρισμός θά εξηγήσει την ανάγκη και τά προτερήματα τής έφαρμογής του Αυτόματου Έλέγχου. Από την άλλη πλευρά, θά δώσει την δυνατότητα νά εκφράσουμε αναλυτικά και με πιο άποδοτικό τρόπο, την συμπεριφορά και πρόβλεψη τών διαφόρων φαινομένων.

2. ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ό Αυτόματος Έλεγχος εΐναι ό τρόπος έλέγχου παγκοσμίων φαινομένων βάσει τής θεωρίας τής Ανάδρασης, που πρώτα εφαρμόστηκε στην τεχνολογία τής ηλεκτρονικής κατά τόν δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Άν θεωρήσει κανείς τόν όρισμό του:

Στόν Αυτόματο Έλεγχο, ένα σύστημα κυβερνάται από την είσοδο τής

διαφοράς μεταξύ τής έπιθυμητής και τής πραγματικής άπόκρισης, άποτελεΐ ένα φιλοσοφικό σύστημα που βρίσκει έφαρμογή στα περισσότερα στοιχεΐα έλέγχου τής σημερινής ζωής. Τό νόημα αυτού του όρισμού εΐναι ότι ό σωστός προγραμματισμός για τόν έλεγχο ενός παραγωγικού έργου δέν πρέπει νά γίνεται μιá και έξω, αλλά συνεχώς παρατηρώντας τις αποκλίσεις από την έπιθυμητή άπόκριση. ‘Η

τεκμηρίωση είναι προφανής σέ ηλεκτρονικά συστήματα όπου οί είσοδοι και οί έξοδοι τών κυκλωμάτων είναι σαφώς εμφανείς, άλλα μία γενίκευση σέ άλλα τεχνικά, όπως και σέ οικονομικά, οικολογικά, περιβαλλοντικά, επιχειρησιακά, και άλλα καθημερινού ενδιαφέροντος συστήματα είναι δυνατή με κατάλληλη προσαρμογή τών παραμέτρων και μεταβλητών του εκάστοτε συστήματος. Παράδειγμα αὐτῆς τῆς γενίκευσης είναι ὁ ἔλεγχος τών βιομηχανικῶν ἀποβλήτων όπου ἡ παραγωγή των πρέπει και μπορεί νά ἐλέγχεται ἀπό τήν ποιότητα τοῦ περιβάλλοντος. Ἀνάλογες ἐφαρμογές αὐτῆς τῆς ἀρχῆς μποροῦν νά δώσουν ικανοποιητικές λύσεις στά περισσότερα προβλήματα τῆς σημερινῆς κοινωνίας.

Ὁ Αὐτόματος Ἐλεγχος, γιά τεχνικές ἐφαρμογές, ἐξελίχθηκε στήν δεκαετία τοῦ '40. Ξεκίνησε σάν ἀπλή ἀνάδραση ηλεκτρικῶν και ηλεκτρονικῶν κυκλωμάτων και γενικεύτηκε σέ βιομηχανικά και τεχνολογικά συστήματα παραγωγῆς στίς ἐπόμενες δεκαετίες. Θεωρητικές μελέτες ἀνέπτυξαν, κατ' ἀρχήν, τίς κλασικές μεθόδους σχεδίασης κλειστῶν συστημάτων με συναρτήσεις μεταφοῶς στόν χῶρο μιγαδικῆς συχνότητας (frequency domain). Κατόπιν ἐπεκτάθηκαν με τήν κρουστική συνάρτηση (impulse response) σέ συστήματα τοῦ χώρου τοῦ χρόνου. Οί μεταβλητές κατάστασης (state variables), πού εἰσῆχθησαν χρονολογικά, στά χρόνια τοῦ '60, βοήθησαν στήν ἀνάπτυξη μεθόδων Αὐτομάτου Ἐλέγχου σέ μὴ γραμμικά συστήματα, στοχαστικά και ψηφιακά συστήματα και συστήματα με πεπερασμένες ἀσυνέχειες.

Ἐνα ἀπό τὰ βασικά ἀποτελέσματα αὐτῆς τῆς ἀνάπτυξης είναι και ἡ θεωρία τοῦ βελτίστου ἐλέγχου, πού ἀναπτύχθηκε με βάση τήν ἀνθρώπινη τάση νά ἐπιτύχουμε, σέ ὅ,τι κάνουμε, τὸ καλύτερο δυνατό ἀποτέλεσμα, και πού ὀλοκλήρωσε θεωρητικά τὸν Αὐτόματο Ἐλεγχο. Ἡ εὐστάθεια, τὸ ἐλέγξιμο και τὸ παρατηρήσιμο τοῦ συστήματος ἦταν ἡ συμβολή του στήν σχεδίαση ἐλεγχομένων συστημάτων. Οί ἐφαρμογές τών μοντέρνων ἐξελίξεων ἐπακολούθησαν στήν βιομηχανία και στήν σύγχρονη τεχνολογία [1].

Εἶναι φανερό ὅτι ὁ Αὐτόματος Ἐλεγχος εἶναι τὸ μέσο γιά τήν ἐπίτευξη τοῦ αὐτοματισμοῦ στήν μοντέρνα κοινωνία. Ἡ ἐφαρμογή του στοχεύει στήν ἐλάττωση τῆς κοπιαστικῆς ἐργασίας στόν ἄνθρωπο, τήν αὔξηση τῆς παραγωγικότητας και τῆς κοινωνικῆς εὐημερίας του. Ἐδῶ θὰ δοῦμε ἐπίσης πῶς ὁ Αὐτόματος Ἐλεγχος μπορεί νά ἐφαρμοθεῖ στήν βελτίωση τῆς ποιότητας τοῦ περιβάλλοντος πού ὑποβαθμίζεται ἀπό τήν ἐπίδραση τοῦ ἀνθρώπου, με αὔξηση τῆς Παγκόσμιας Ἐντροπίας.

3. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΝΤΡΟΠΙΑ

Γιά νά καταλάβουμε τήν ἔννοια τῆς Ἐντροπίας ἃς δοῦμε τὸ ἐξῆς παράδειγμα: Ὅπως και στήν Θερμοδυναμική, ὅταν καταναλώνουμε ἐνέργεια γιά δημιουργία κάθε

εΐδους παραγωγικοῦ ἔργου, στὴ σημερινή μας κοινωνία δημιουργοῦμε συγχρόνως μία χαμηλῆς ποιότητας κατὰλοιπὴ ἐνέργεια, ποὺ ἀνεπίστρεπτα μειώνει τὴν ποιότητα τοῦ περιβάλλοντος καὶ ὁδηγεῖ σὲ μία χαώδη κατάσταση. Παραδείγματα ὑπάρχουν ἄπειρα στὸ περιβάλλον μας ξεκινώντας ἀπὸ τὴν μόλυνση τοῦ ἀέρα, τὴν ρύπανση τῶν ὑδάτων τῆς γῆς, τὸν συνωστισμό τῆς κυκλοφορίας, τὶς οἰκονομικὲς κρίσεις, τὴν ἀνεργία καὶ τὴν ἐπακόλουθὴ ἐγκληματικότητα καὶ γενικὰ τὴν ἐξάντληση τῶν πλουτο-παραγωγικῶν πηγῶν τῆς ἀνθρωπότητας.

Τὴν ἐνέργεια αὐτὴ τὴν ἀνακάλυψε ὁ φυσικὸς Clausius στὴν μελέτῃ γιὰ τὸ δεύτερο θερμοδυναμικὸ ἀξίωμα καὶ τὴν ὀνόμασε Ἐντροπία. Σύμφωνα μὲ τὸ ἀξίωμα αὐτό, ἡ παραγωγή ἔργου ἀκολουθεῖται ἀπὸ παραγωγή κατὰλοιπης ἐνέργειας ποὺ αὐξάνει ἀνεπίστρεπτα τὸ ἐπίπεδο τῆς κατώτερης ἐνέργειας καὶ ὁδηγεῖ στὸν θερμικὸ θάνατο [6].

Μία ἄλλῃ ἐρμηνεία τῆς ἐντροπίας δόθηκε ἀπὸ τὸν Claude Shannon [2], σὰν μέτρο τῆς ἀβεβαιότητας σὲ θέματα θεωρίας τῆς πληροφορίας σὲ συστήματα τηλεπικοινωνίας. Ἡ ἐρμηνεία αὐτὴ ἔδωσε ἀφορμὴ στὸν Σαρίδη [3], στὴν ἐρευνά του γιὰ Νοήμονες Μηχανές, νὰ παρουσιάσει τὸν Αὐτόματο Ἐλεγχο σὰν παράγωγο τῆς ἐντροπίας. Ἡ ἄποψη αὐτὴ βασίζεται στὴν ἀβεβαιότητα τοῦ σχεδιαστῆ ὡς πρὸς τὴν βέλτιστὴ λύση. Αὐτὴ ἡ παραλλαγὴ μπορεῖ νὰ ὁδηγήσει στὴν γενίκευση τῆς ἰδέας τῆς ἐντροπίας, σὰν μέτρο κατὰπτωσης σὲ θέματα περιβάλλοντος, οἰκολογίας, οἰκονομίας καὶ λοιπῶν ποὺ ἀφοροῦν τὴν σημερινή κοινωνία.

Ὑπάρχει ἄραγε λύση στὸ σοβαρὸ αὐτὸ πρόβλημα; Μπορεῖ ἡ σημερινὴ πρόοδος τῆς ἐπιστήμης καὶ τεχνολογίας νὰ ἀλλάξει τὸν ρυθμὸ τῆς φθορᾶς τῆς ποιότητας ζωῆς τῆς ἀνθρωπότητας; Ἡ ἀπάντηση δὲν εἶναι πολὺ ἐνθαρρυντικὴ γιατί ἡ καταστροφὴ εἶναι ἀνεπίστρεπτη. Ἀλλὰ μποροῦμε, μὲ τὰ σύγχρονα τεχνολογικὰ μέσα νὰ ἐπιβραδύνουμε δραστηκὰ τὴν πορεία της. Γιὰ παράδειγμα μπορεῖ νὰ χρησιμεύσει ὁ ἔλεγχος τῆς ἐντροπίας σὲ Συστήματα Αὐτομάτου Ἐλέγχου, ποὺ προτάθηκε καὶ ἐφαρμόστηκε ἀπὸ τὸν Σαρίδη [3]. Ἡ θεωρία αὐτὴ παρουσιάζεται σὲ περίληψη στὰ ἐπόμενα τμήματα αὐτῆς τῆς παρουσίας.

4. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

Ἡ θεωρία τοῦ στοχαστικοῦ καὶ μή, βελτίστου ἐλέγχου μπορεῖ νὰ διατυπωθεῖ ἐξ ὀλοκλήρου ἀπὸ τὶς ἔννοιες τῆς Ἐντροπίας ποὺ εἰσήχθησαν μὲ τὸ δεύτερο θερμοδυναμικὸ ἀξίωμα ἀπὸ τὸν Clausius, καὶ μὲ τὴν βοήθεια μιᾶς παραλλαγῆς τῆς Ἀρχῆς τοῦ Jaynes [4].

Ἡ ἀβεβαιότητα μιᾶς ἀπροσδιόριστης σχέσης στὴν λειτουργία ἐνὸς

συστήματος εκφράζεται από μία εκθετική συνάρτηση πιθανοτικής πυκνότητας γνωστής ενεργειακής σχέσης, σχετικής με τὸ σύστημα.

Σὲ ἓνα στοχαστικὸ σύστημα, ποὺ παριστάνεται μετὰ ἓνα σύστημα διαφορικῶν ἐξισώσεων πρώτου βαθμοῦ, τῶν «ἐξισώσεων κατάστασης», θεωροῦμε τὴν πιθανοτικὴ κατανομὴ τῆς μεταβλητῆς ἐλέγχου ποὺ μεγιστοποιεῖ τὴν ἐντροπία τοῦ συστήματος. Μετὰ αὐτὴν τὴν χερίστη κατανομή, ποὺ εκφράζεται κατὰ τὸν Jaynes μετὰ μία εκθετικὴ συνάρτηση, ὑπολογίζουμε τὴν μεταβλητὴ ἐλέγχου ποὺ ἐλαχιστοποιεῖ τὴν ἐντροπία τοῦ συστήματος.

Αὐτὸ τὸ ἀποτέλεσμα συμφωνεῖ θεωρητικὰ μετὰ τὸ δεύτερο θερμοδυναμικὸ ἀξίωμα, ὅτι δηλαδὴ ἡ ἐντροπία τοῦ χώρου αὐξάνει ὅταν παράγουμε ἔργο, καὶ ὁ Αὐτόματος Ἐλεγχὸς ἐλαχιστοποιεῖ τὴν αὐξηση τῆς ἐντροπίας. Μετὰ ἄλλα λόγια κάנוμε τὸ καλύτερο δυνατὸ γιὰ νὰ ἐπιβραδύνουμε τὴν καταστροφικὴ μείωση τῆς παραγωγῆς στὸν χῶρο.

Τὸ ἀποτέλεσμα αὐτὸ συνοψίζεται μετὰ ἓνα βασικὸ Θεώρημα τοῦ Σαρίδη [3], ποὺ εκφράζει τὴν ἰσοδυναμία τῆς βελτιστοποίησης τῆς Ἐντροπίας μετὰ τὸ κόστος τῶν προδιαγραφῶν τοῦ παραγόμενου ἔργου. Μετὰ ἄλλα λόγια:

Στὴν περίπτωσι ποὺ ἓνα σύστημα, ποὺ ἔχει εκφραστεῖ ἀναλυτικὰ μετὰ διαφορικὲς ἐξισώσεις καὶ οἱ προδιαγραφές γιὰ τὴν βελτιστοποίησή του περιγράφονται μετὰ ἓνα κόστος παραγωγῆς, ἡ βελτιστοποίηση τοῦ ἔργου ἰσοδυναμεῖ μετὰ τὴν βελτιστοποίηση τῆς χερίστης ἐντροπίας ποὺ ἀντιστοιχεῖ στὸ σχεδιασμὸ τοῦ ἔργου.

Τὸ ἀναλυτικὸ αὐτὸ ἀποτέλεσμα ἔχει ἐφαρμογὴ σὲ συστήματα πέρα ἀπὸ τὰ τεχνολογικὰ γιὰ τὰ ὁποῖα δημιουργήθηκε. Μπορεῖ κάλλιστα νὰ χρησιμοποιηθεῖ γιὰ τὴν λύσι προβλημάτων ποὺ ἀφοροῦν βιομηχανικά, βιολογικά, οἰκονομικά, οἰκολογικά, καθαριότητος περιβάλλοντος, καὶ ἐν γένει συστήματα ποὺ χρειάζονται ἔλεγχο λειτουργίας ὅπως θὰ δοῦμε στὰ ἐπόμενα.

5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Ἡ παραπάνω ἐρμηνεία τοῦ Αὐτομάτου Ἐλέγχου, σὰν παράγωγο τῆς παγκόσμιας ἐντροπίας δὲν δημιουργεῖ καινούργια ἀποτελέσματα στὴν θεωρητικὴ ἀνάπτυξη τοῦ θέματος. Ἀπλά, γενικεύει τὴν σημασία του, συνδέοντάς την μετὰ τὴν ἔννοια τῆς ἐντροπίας ποὺ εκφράζει τὴν κατάλοιπη ἐνέργεια πολλῶν παγκοσμίων συστημάτων. Ἐτσι ὁ Αὐτόματος Ἐλεγχὸς μπορεῖ νὰ ἐφαρμοσθεῖ στὴν ἀντιμετώπιση κοινωνικο-οικολογικο-οικονομικῶν καταστάσεων ποὺ ἀφοροῦν ἄμεσα στὴν σημερινὴ κοινωνία [5].

Βέβαια, ο Αυτόματος Έλεγχος εφαρμόστηκε πρώτα σε τεχνολογικά συστήματα. Οί Γερμανοί τον έφάρμοσαν στους πυραύλους V2 που βομβάρδισαν το Λονδίνο κατά τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Ο Werner von Braun μετέφερε, με επιτυχία, την τεχνολογία στο διάστημα για τον έλεγχο των πυραύλων του διαστήματος. Οί τεχνητοί δορυφόροι τηλεπικοινωνιών του διαστήματος χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία για την σταθεροποίηση της τροχιάς τους και οί πυραυλοκίνητες τορπίλες για να βρουν τον στόχο τους.

Σήμερα ή τεχνολογία του Αυτόματου Έλέγχου άρχισε να χρησιμοποιεΐται στην βιομηχανία σαν πρότυπο για το «Έργοστάσιο του Μέλλοντος». Ήδη έχει χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση μέρους της παραγωγής, όπως ή κατεργασία, ή συναρμολόγηση και ό ποιοτικός έλεγχος του παραγομένου προϊόντος και συνεπώς, στην μείωση της έντροπίας του κόστους παραγωγής.

Ο Αυτόματος Έλεγχος έχει χρησιμοποιηθεί, στις ανεπτυγμένες χώρες, για τον έλεγχο της οικολογικής ρύπανσης από τις βιομηχανίες, με την ρύθμιση της παραγωγής και κατεργασίας των αποβλήτων, ώστε ή ρύπανση να παραμένει εντός επιτρεπόμενων ορίων. Έτσι έχουν ξαναζωντανέψει λίμνες σαν την Lake Erie και ποταμοί σαν τον Hudson River στις Ήνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και έχει ελαχιστοποιηθεί ή έντροπία που παράγει ή ρύπανση του περιβάλλοντος [5].

Άλλη εφαρμογή της αρχής του Αυτόματου Έλέγχου είναι στην οικονομία. Έδω ή ροή του νομίσματος και ή χρηματιστηριακή άγορά ελέγχεται για να αυξάνεται ή εξαγωγιμότητα των προϊόντων μιας χώρας, να διατηρείται ή οικονομία μέσα σε επιτρεπτά όρια και να αποφεύγονται οικονομικές καταστροφές της άγοράς, που εκφράζονται με την σχετική έντροπία, όπως εκείνη του 1929.

Μία πολύ ενδιαφέρουσα εφαρμογή, που έχει τελευταία προταθεί είναι ή επεξεργασία και διαχωρισμός των απορριμμάτων των πόλεων, με μηχανές Robot μέσα στις χωματερές. Αυτές θα ψάχνουν και θα διαχωρίζουν τα βιολογικά, πλαστικά λύματα, είδη χαρτιών και μεταλλικά αντικείμενα για ανακύκλωση ή καταστροφή. Η έντροπία της οικολογίας του χώρου, που εκφράζει την αύξηση της ρύπανσης, μπορεί έτσι να μειωθεί σημαντικά [5, 6].

Ο βιολογικός καθαρισμός του πόσιμου ύδατος είναι μια άλλη σημαντική εφαρμογή της θεωρίας του Αυτόματου Έλέγχου που μειώνει την έντροπία που δημιουργούν τα παράσιτα του νερού. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά [5].

Η λίστα των εφαρμογών μπορεί να συνεχιστεί και άλλο αντιμετωπίζοντας και άλλα προβλήματα της σημερινής κοινωνίας όπου είναι φανερό ότι ο Αυτόματος Έλεγχος, όταν όρίζεται με βάση την έντροπία, παρουσιάζει την βέλτιστη λύση. Η μέθοδος αυτή βρίσκεται σε έρευνητικό στάδιο και δεν έχει ακόμα εφαρμοστεί στην πρά-

ξη. Σὲ ὅλα τὰ παραπάνω παραδείγματα τὰ συστήματα ἀναφορᾶς περιγράφονται μὲ ἀναλυτικὰ μοντέλα ποὺ ἔχουν ἐκπονηθεῖ ἀπὸ τοὺς ἐπιστήμονες τοῦ ἀρμόδιου θέματος. Ἡ ἐντροπία τῶν συστημάτων αὐτῶν ἐκφράζει τὴν κατάλοιπη ἐνέργεια, ποὺ εἶναι ἀποτέλεσμα τοῦ ἔργου ποὺ παράγει ἡ κοινωνία γιὰ τὴν ἀναβάθμιση τῆς ποιότητος ζωῆς τοῦ ἀνθρώπου καὶ ἔτσι παρουσιάζει ἓνα μέτρο τῆς ὑποβάθμισης τοῦ περιβάλλοντος ποὺ μπορεῖ νὰ ἐλεγχθεῖ.

6. ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Στὴν σημερινὴ ἐποχὴ ὑπάρχει τεράστια βιβλιογραφία σχετικὰ μὲ τὰ θέματα ποὺ ἀφοροῦν τὸν ὑποβιβασμὸ τῆς ποιότητος τοῦ περιβάλλοντος, ὅπως εἶναι ἡ ἀνάπτυξη τῶν οἰκοσυστημάτων καὶ βιοχημικῶν ὀργανισμῶν, ρύπανσης, οἰκονομετρίας κλπ. [7]. Κι ὅμως τὰ παρουσιαζόμενα μοντέλα εἶναι αὐτόνομα, καὶ σπάνια ἐμφανίζουν τὴν συμμετοχὴ τοῦ ἀνθρώπου.

Εἰσάγοντας ἓναν ὅρο στὰ ἀναλυτικὰ αὐτὰ μοντέλα, ποὺ ἐξαρθᾶται ἀπὸ τὴν ἐπίδραση τοῦ ἀνθρώπου, δημιουργεῖται μία εἰκόνα τῆς συμπεριφορᾶς τῶν συστημάτων αὐτῶν, πολὺ πιὸ πραγματικὴ. Ἀλλὰ ἔτσι ἡ ἐντροπία τοῦ συστήματος, ἐν σχέσει μὲ τὴν συμμετοχὴ τοῦ ἀνθρώπου στὸν ὑποβιβασμὸ τῆς ποιότητος, μπορεῖ νὰ ὑπολογισθεῖ καὶ ἡ συμμετοχὴ αὐτὴ μπορεῖ νὰ βελτιστοποιηθεῖ μὲ βάση τὸν αὐτόματο ἔλεγχο.

Σήμερα, ἡ ἐργασία αὐτὴ [8] εἶναι ὑπὸ μελέτη, ἀπὸ τὸν συγγραφέα τοῦ παρόντος γιὰ τὰ ἐξῆς θέματα:

- Συστήματα Οἰκολογίας
- Βιοχημικὰ Συστήματα
- Περιβαλλοντικὰ καὶ Συστήματα Ρύπανσης
- Οἰκονομετρικὰ Συστήματα

Ἡ συμβολὴ αὐτῆς τῆς πρωτότυπης μελέτης στὴν μείωση τοῦ ὑποβιβασμοῦ τοῦ περιβάλλοντος, ποὺ ὀφείλεται στὴν συμβολὴ τοῦ ἀνθρώπου, εἶναι ἐμφανὴς, καὶ ὁ τρόπος ἐπιλύσεως τοῦ προβλήματος ἄμεσος. Ἡ ἐνιαία μορφή τῶν ἀναλυτικῶν ἐκφράσεων ποὺ προκύπτουν ἀπὸ τὴν μελέτη δίνει τὴν δυνατότητα ἐνιαίας ἐφαρμογῆς τῆς θεωρίας τοῦ Βέλτιστου Ἐλέγχου, ὥστε νὰ ἐλαχιστοποιηθεῖ ἡ ἐπίδραση τοῦ ἀνθρώπου στὴν φύση καὶ νὰ μειωθεῖ κατὰ τὸ δυνατόν ἡ Παγκόσμια Ἐντροπία. Ἡ ἐργασία συνεχίζεται μὲ τὸ νὰ συμπεριληφθοῦν καὶ οἱ φυσιολογικοὶ παράγοντες στὴν βελτιστοποίηση τῆς Ἐντροπίας.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ἡ ἀρχὴ τοῦ Αυτόματου Ἐλέγχου, ὅταν ἐκφράζεται σὰν παράγωγο τῆς ἐντροπίας, μπορεῖ νὰ χρησιμοποιηθεῖ σὰν μεθοδολογία ἐπίλυσης ἐπιστημονικῶν, οἰκολογικῶν καὶ κοινωνικῶν προβλημάτων. Ἡ φιλοσοφικὴ αὐτὴ ἄποψη συμφωνεῖ μὲ τὴν σύγχρονη τάση τῆς ὁλοκλήρωσης τῶν παγκόσμιων φαινομένων καὶ τῆς ἐπίλυσης τῶν προβλημάτων τους μὲ ἀναλυτικὲς μεθόδους.

Ἡ θεωρία ποὺ ἀναπτύχθηκε σὲ αὐτὴν τὴν παρουσίαση, βρίσκεται ἀκόμα σὲ ἐρευνητικὸ στάδιο, εἰδικὰ ὅσον ἀφορᾷ τὴν ἐφαρμογὴ τῆς σὲ κοινωνικά, οἰκονομικά καὶ οἰκολογικά προβλήματα. Οἱ λύσεις ποὺ προτείνονται δείχνουν ἐνθαρρυντικὰ ἀποτελέσματα καὶ ἀναμένεται νὰ ἐφαρμοσθοῦν σύντομα στὶς προηγμένες χώρες ὅπου ἡ κατάσταση αὐξημένης «ἐντροπίας» ἔχει χειροτερεύσει. Ἡ γενίκευση τῆς χρήσης σὲ ὅλο τὸν κόσμο εὐχόμαι νὰ ἐπακολουθήσει.

Ἐλπίζω ἡ σημασία τοῦ προβλήματος νὰ κράτησε τὴν προσοχὴ τοῦ σεβαστοῦ ἀκροατηρίου καὶ νὰ κίνησε τὸ ἐνδιαφέρον σὲ αὐτοὺς ποὺ ἀσχολοῦνται μ' αὐτό, παρ' ὅλην τὴν τεχνικὴ του παρουσίαση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Π. Ν. Παρσκειόπουλος (1991), *Εἰσαγωγή στὸν Αυτόματο Ἐλεγχό*, Ἀθήνα.
2. C. Shannon, W. Weaver (1963), *The Mathematical Theory of Communications*, Illini Books, Urbana III.
3. G. N. Saridis (1995), *Stochastic Processes, Estimation, and Control: The Entropy Approach*, John Wiley and Sons, New York.
4. E. T. Jaynes (1957), «Information Theory and Statistical Mechanics», *Phys. Review*, Vol. 4, p. 106.
5. Jeremy Rifkin (1989), *Entropy into the Greenhouse World*, Bantam Books, New York.
6. Ilya Prigogine (1980), *From Being to Becoming*, Freeman and Company, San Francisco.
7. Madan G. Singh (editor), (1987), *Systems and Control Encyclopedia: Theory, Technology, Applications*, Vol. 1-8, Pergamon Press, Oxford UK.
8. G. N. Saridis (1998), *Optimal Control of Global Entropy*, submitted to the IEEE Robotics and Automation Magazine.