

Ρομποτικά συστήματα στην παραγωγή

Γεώργιος Ρεκλείτης¹, Παναγιώτης Βαρθολομαίος², Ιωάννης Νταβλιάκος³, Παναγιώτης Χατζάκος⁴, Ευάγγελος Παπαδόπουλος⁵

Εισαγωγή

Το παρόν άρθρο επικερεί να αναδείξει τη χρησιμότητα και τα πλεονεκτήματα των ρομπότ αναφέροντας τα βασικά χαρακτηριστικά τους και τις κύριες εφαρμογές τους στο χώρο της βιομηχανίας και της παραγωγής. Οι ρομποτικοί μηχανισμοί είναι πολυεπιχειρησιακές, επαναπρογραμματιζόμενες μηχανές πολλών βαθμών ελευθερίας, ικανές να εκτελούν βιομηχανικές εργασίες, να μετακινούν υλικά, εξαρτήματα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές, μέσω προγραμματιζόμενων κινήσεων ή ακόμη και να μετακινούνται οι ίδιες σε ένα χώρο. Αν και «αυτόματες» μηχανές, διαχωρίζονται από αυτές με βάση την ευελιξία παραγωγής. Μια αυτόματα μηχανή έχει τη δυνατότητα να παράγει ένα εύρος

Με γνώμονα αυτή την προοπτική επιλέχθηκαν και οι εφαρμογές που περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους.

Εφαρμογές σε βιομηχανικές κατασκευές

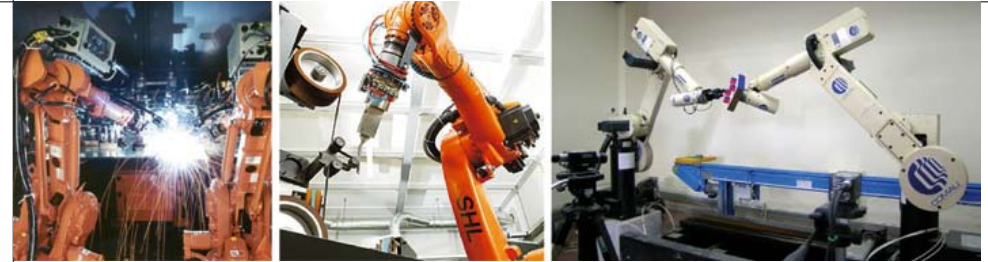
Αναγνωρίζοντας τις δυνατότητες των βιομηχανικών ρομπότ και προβλέποντας την επικείμενη εξέλιξή τους, οι βαριές βιομηχανίες του εξωτερικού επένδυσαν σε αυτές, και τις τελευταίες δύο δεκαετίες προχώρησαν σε σταδιακή αντικατάσταση μέρους του εξοπλισμού τους με ρομποτικούς μηχανισμούς. Οι βιομηχανικοί ρομποτικοί βραχίονες είναι ταχύτεροι από τον άνθρωπο και με εξήμισι σχεδιασμό και προγραμματισμό μειώνουν ή και εξαλείφουν τους νεκρούς χρόνους, ελασματοποιώντας τη χρονική



Εξ. 1. (α) Τυπικό βιομηχανικό ρομπότ SCARA, (β) βιομηχανικοί ανθρωπόμορφοι βραχίονες, (γ) ερευνητικός ανθρωπόμορφος βραχίονας με χέρι, κατασκευασμένος από το εργαστήριο του DLR στη Γερμανία.

διαφορετικών προϊόντων, τα οποία, όμως, ανήκουν στην ίδια τεχνολογική ομάδα. Ένας ρομποτικός μηχανισμός, λόγω της ευελιξίας που του παρέχει ο σχεδιασμός του και οι βαθμοί ελευθερίας, έχει τη δυνατότητα να υλοποιεί τελείως διαφορετικές μεταξύ τους εφαρμογές, όπως για παράδειγμα, συγκόλληση και στη συνέχεια λείανση και βαφή. Επιπλέον, η μείωση του χρόνου παραγωγής και του κόστους εργασίας, η μείωση της επικινδυνότητας της εργασίας και η βελτίωση της ποιότητας, μετατρέπουν σταδιακά το ρομπότ από χρήσιμο τεχνολογικό επίτευγμα σε πρωταγωνιστή της βιομηχανικής παραγωγής. Το 2003 υπήρχαν περίπου 900.000 ρομπότ παγκοσμίως, από τα οποία το 90% στη βιομηχανία. Υπάρχουν λοιπόν λόγοι για τους οποίους η ελληνική βιομηχανία θα έπρεπε να στραφεί και να επενδύσει στα ρομπότ

διάρκεια του κύκλου εργασίας και αυξάνοντας την ποσότητα παραγόμενων τεμαχίων στη μονάδα του χρόνου. Πιτυκαίνονται μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη επαναληψιμότητα ως προς τις παραδοσιακές μεθόδους και γι' αυτό βελτιώνεται η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Με κατάλληλο προγραμματισμό, μπορούν να αναλάβουν πολλές σειριακές εργασίες καλύπτοντας με αυτό τον τρόπο πολλαπλές παραδοσιακές θέσεις εργασίας με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής. Τα ρομπότ μπορούν να εργαστούν σε δυσμενή περιβάλλοντα (υψηλές θερμοκρασίες, μολυσμένες περιοχές εργασίας) μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την επικινδυνότητα της εργασίας και τα εργατικά ατυχήματα. Επιπροσθέτως, απαλλάσσουν τον άνθρωπο από την επαναληπτική και μονότονη χειρωνακτική εργασία,



Εξ. 2. Ρομποτικοί βραχίονες σε βιομηχανικές εφαρμογές (α) συγκόλλησης, (β) λείανσης και (γ) συναρμολόγησης.



Εξ. 3. Ρομποτικός μηχανισμός Stewart σε βιομηχανικές εφαρμογές.

επιτρέποντας την πιο παραγωγική χρήση των ανθρώπινων πόρων στην παραγωγική διαδικασία. Τα βασικότερα μειονεκτήματα των σύγχρονων συμβατικών βιομηχανικών ρομπότ είναι (α) το κόστος αγοράς, (β) η ανάγκη για προσιτό υποστήριξη υψηλού επιπέδου και (γ) ο χρονοβόρος προγραμματισμός του ρομπότ. Πάντως, το κόστος πλέον περιορίζεται και η χρήση τους απλοποιείται σημαντικά.

Συμβατικά Βιομηχανικά Ρομπότ σε Βιομηχανικές Κατασκευές

Συμβατικά βιομηχανικά ρομπότ αποκαλούνται τα ρομπότ σταθερής βάσης και σειριακού συνήθως τύπου με 6 βαθμούς ελευθερίας ή λιγότερους. Αποτελούνται από: (i) Το μηχανικό βραχίονα που περιλαμβάνει συνδέσμους και αρθρώσεις και ένα τελικό σημείο δράσης (εργαλείο). (ii) Τους επενεργητές (actuators) που κινούν τις αρθρώσεις και που συνήθως είναι ηλεκτρικοί ή υδραυλικοί και σπανιότερα πνευματικοί. (iii) Τους αισθητήρες (sensors) για τη μέτρηση της θέσης ή της δύναμης του ρομπότ και, εάν το απαιτεί η εφαρμογή, αισθητήρες για τη μέτρηση μεγεθών του περιβάλλοντα χώρου (iv) Το σύστημα ελέγχου που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της κίνησης ή και των δυνάμεων που εφαρμόζει στο περιβάλλον. Οι συνθετικότεροι βιομηχανικοί βραχίονες είναι οι καρτεσιανοί βραχίονες με τρεις ορθογώνιες μετατοπίσεις, οι βραχίονες SCARA

(Σχ 1α) με μία πρισματική και δύο περιστροφικές αρθρώσεις και οι ανθρωπόμορφοι βραχίονες (Σχ 1α και 1β). Οι τελευταίοι διαθέτουν έξι άξονες παρέχοντας μεγαλύτερη επιδεξιότητα κίνησης αλλά μικρότερη ακρίβεια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα ρομπότ βαφής. Αυτά είναι συνήθως έξι βαθμών ελευθερίας, με ηλεκτρικούς επενεργητές και περιλαμβάνουν συστήματα όρασης για επιθεώρηση της βαφής. Η μεγάλη ακρίβεια του ρομποτικού μηχανισμού πετυχαίνει μείωση της κατανάλωσης του υλικού επικάλυψης κατά 20-30%. Παρόμοιο τύπου εφαρμογή είναι η ρομποτική συγκόλληση (Σχ 2α) ή η κοπή πλάσματος, λέιζερ, κλπ. Αρκετά διαδεδομένη είναι και η λείανση (Σχ 2β) που επιπλέον απαιτεί έλεγχο δυνάμεων και χρησιμοποιείται για στύλωση, αφαίρεση υπολειμμάτων χύτευσης, κλπ. Άλλες τυπικές ρομποτικές εφαρμογές στη βιομηχανία είναι η συναρμολόγηση μηχανικών και ηλεκτρολογικών τμημάτων (Σχ 2γ), η συναρμολόγηση ηλεκτρονικών καρτών, η στεφανοποίηση, ο διαχωρισμός αντικειμένων και η επιθεώρηση ηλεκτρονικών πλακετών, κ.α. Οι ρομποτικοί βραχίονες έχουν σημαντική συνεισφορά και στις κατασκευές υλικών. Πιο συγκεκριμένα η χρήση ρομποτικού μηχανισμού επεκτείνει τις δυνατότητες κατασκευής, στη δημιουργία τεμαχίων εκ περιστροφής. Τέτοια κομμάτια δημιουργούνται σε μηχανές όπως ο τόρνος, όπου το κομμάτι κατασκευάζεται

στερεώνεται στη μηχανή και περιστρέφεται γύρω από σταθερό άξονα, ενώ το κοπτικό εργαλείο αφαιρεί περιμετρικά υλικά. Έτσι δημιουργείται ένα κομμάτι συμμετρικό ως προς το διαμήκη του άξονα. Αν χρειαζόμαστε ένα κομμάτι του οποίου η εγκάρσια διατομή να μην είναι κυκλική (όπως για παράδειγμα τα έγκεντρα του κεντροφόρου άξονα ενός αυτοκινήτου), χρειάζεται το κοπτικό εργαλείο να μη βρίσκεται σε σταθερή απόσταση από τον άξονα του τεμαχίου κατά τη διάρκεια μίας πλήρους περιστροφής του. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου στο άκρο εργασίας ενός ρομποτικού βραχίονα, ο οποίος θα ρυθμίζει αυτόματα την απόσταση του κοπτικού από τον άξονα περιστροφής. Τέτοιου τύπου ρομποτικές εφαρμογές πλεονεκτούν έναντι των εργαλειομηχανών CNC διότι είναι πιο ευέλικτες, μπορούν να επεξεργαστούν δύσκολα κατεργάσιμα τεμάχια και επιπλέον προσφέρουν μεγαλύτερο χώρο εργασίας. Οι περισσότερες από τις παραπάνω εφαρμογές είναι δυνατόν να υλοποιηθούν με τον ίδιο ρομποτικό βραχίονα εάν το εργαλείο εφαρμογής αντικατασταθεί και το ρομπότ επαναπρογραμματι-

κέντρων κατεργασίας (CNC). Κάτι τέτοιο υπόκειται ο μηχανισμός Stewart, ο οποίος έχει εισβάλει δυναμικά στο χώρο των βιομηχανικών εφαρμογών και αντικαθιστά βαθμιαία τα συμβατικά βιομηχανικά ρομπότ. Αν και στην Ελλάδα αυτό δεν είναι ακόμα άμεσα ορατό, ωστόσο μεγάλα βιομηχανικά κέντρα της Ευρώπης και των ΗΠΑ χρησιμοποιούν αποδοτικά τον εν λόγω μηχανισμό. Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από μια τέτοια εφαρμογή είναι αρκετά. Κατ' αρχάς, η συμκμής σταθερότητα και δυσκαμψία του μηχανισμού Stewart που προσφέρει η κινηματική του δομή, χρήσιμη για εφαρμογή μεγάλων δυνάμεων, σε συνδυασμό με τη γρήγορη απόκριση, καθιστούν το μηχανισμό περισσότερο αποτελεσματικό. Επιπλέον, οι βαθμίες ελευθερίας του μηχανισμού προσδίδουν επιδεξιότητα του τελικού σημείου δράσης με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η ευκολία προσαρμογής πολλών, αλλά και διαφορετικής χρήσης εργαλείων κοπής στο τελικό σημείο δράσης του μηχανισμού αποτελεί συμφέρουσα οικονομικά λύση και καθιστά ένα τέτοιο σύστημα περισσότερο ευέλικτο. Επίσης, οι αναπτύ-



(α)



(β)

Σχ. 4. (α) Μονάδα παλετοποίησης της RMT Robotics. (β) Αρπάγη της μονάδας παλετοποίησης της RTM Robotics.

σθεί γεγονός που αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα των βιομηχανικών ρομπότ έναντι ακόμα και των βιομηχανικών αυτοματισμών.

Πλατφόρμα Stewart σε Βιομηχανικές Κατεργασίες

Εκτός από τα σειριακά βιομηχανικά ρομπότ, μία άλλη κατηγορία που εισάγεται σταδιακά στις βιομηχανικές μονάδες, είναι αυτή των παράλληλων ρομποτικών μηχανισμών. Ο πιο διαδεδομένος εξ αυτών, είναι ο ρομποτικός μηχανισμός Stewart, γνωστός και ως πλατφόρμα Stewart. Πρόκειται για έναν παράλληλο μηχανισμό έξι βαθμών ελευθερίας που αποτελείται από μία κινούμενη πλατφόρμα, μία σταθερή βάση και έξι πρισματικούς συνδέσμους, οι οποίοι συνδέουν την πλατφόρμα με τη βάση μέσω αρθρώσεων. Αν και αρχικά ο μηχανισμός προοριζόταν αποκλειστικά ως εξομοιωτής πτήσης, σήμερα απαντάται σε ποικίλες εφαρμογές (ατρική, εξομοιωτές οχημάτων, άμυνα, βιομηχανικές κατεργασίες, ψυχαγωγία), είτε στην πρωτότυπη μορφή του, είτε και σε παραλλαγές (μηχανισμοί τριών, τεσσάρων ή και περισσότερων βαθμών ελευθερίας).

Οι απαιτήσεις της σύγχρονης βιομηχανίας για μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια, των υλικών παραγωγής καθιστούν πιο επιτακτική την ανάγκη της δημιουργίας περισσότερου ευέλικτων

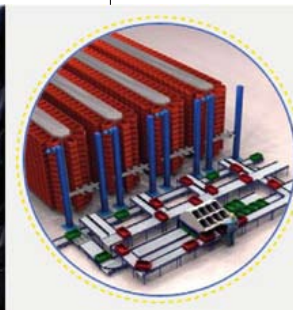
σόμενες αδρανειακές δυνάμεις της πλατφόρμας σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών ρομπότ, γεγονός που οδηγεί στον περιορισμό ανεπιθύμητων δυναμικών φαινομένων (ταλαντώσεις, σεισθεία). Ο έλεγχος του ρομπότ αυτού, ιδίως όταν έχει υδραυλική κίνηση, είναι δύσκολος. Το θέμα μελετάται με επωικία στο Εργαστήριό μας (Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ - ΕΑΕ), αναλυτικά και πειραματικά.

Εφαρμογές σε συσκευασία και αποθήκευση

Πέρα από την παραγωγή, σημαντικές διαδικασίες είναι η συσκευασία και αποθήκευση προϊόντων. Σήμερα και οι δύο αυτές διαδικασίες έχουν αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό, με χρήση ρομποτικών συστημάτων. Η ρομποτική συσκευασία συνήθως επιτυγχάνεται ως εξής: ένας ή περισσότεροι ρομποτικοί βραχίονες τοποθετούνται δίπλα από ένα ταινιοδρόμο (ή κάποιο άλλο σύστημα μεταφοράς), συλλέγοντας τα προϊόντα καθώς αυτά πλησιάζουν και τοποθετώντας τα στην κατάλληλη συσκευασία. Με τον τρόπο αυτό συσκευάζονται διαφορετικά προϊόντα, από πλακάκια μέχρι αναψυκτικά, απλάσσοντας τον άνθρωπο από μια κοπιαστική και μονότονη εργασία. Λόγω της πληθώρας



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 5. AS/RS (α) Bartello S.p.A., (β) AS/RS για μικρά έως μεσαία μεγέθη της Schaefer, (γ) Εξειδικευμένος μηχανισμός από τη Stocklin.



(α)



(β)

Σχ. 6. (α) AGV της Ballotti Sistemi. (β) Ρομποτική πλατφόρμα για συνεργασία σε θεατρικά δρώμενα (EAE).

διαφορετικών αντικειμένων, υλικών και σχημάτων για πακετάρισμα, χρησιμοποιούνται διάφορες αρπάγες που ποικίλουν ως προς το μηχανισμό, την επενέργηση και τους αισθητήρες.

Η ύπαρξη μεγάλων αποθηκευτικών χώρων και η ανάγκη για γρήγορη και εύκολη πρόσβαση στα αποθηκευμένα αντικείμενα, οδήγησε στην ευρεία εξάπλωση των αυτοματοποιημένων αποθηκών. Δύο εφαρμογές ρομποτικών μηχανισμών που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες αποθήκες είναι η παλετοποίηση προϊόντων και η αυτόματη αποθήκευση και ανάκτησή τους. Αυτές οι διεργασίες έχουν στόχο, όσο και την αποδοτικότερη, από πλευράς εξοικονόμησης χώρου και χρόνου, αποθήκευση των προϊόντων. Παράλληλα, απαλλάσσουν τον άνθρωπο από την κοραστική και επιβλαβή με την πάροδο του χρόνου εργασία της φορτοεκφόρτωσης.

Ρομποτικοί μηχανισμοί παλετοποίησης υπάρχουν εδώ και μία δεκαετία και η εξέλιξή τους εξακολουθεί να είναι ραγδαία. Ένα σύστημα παλετοποίησης απεικονίζεται στο Σχ. 4α. Τα προϊόντα φθάνουν στο χώρο αποθήκευσης μέσω διαδρόμου μεταφοράς και παραλαμβάνονται από μία ρομποτική γερανογέφυρα. Στη

συνέχεια, τοποθετούνται κατά προϊόν σε προσωρινό χώρο αποθήκευσης, μέχρι να συμπληρωθεί, για το εκάστοτε προϊόν, ο αριθμός πλήρωσης μίας μονάδας για παλετοποίηση. Τότε, η ρομποτική γερανογέφυρα παλετοποιεί αυτόματα τη μονάδα και τη μεταφέρει για τελική αποθήκευση.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει και κατά την παραγωγή διαφόρων προϊόντων. Τα παλετοποιημένα προϊόντα τοποθετούνται σε έναν αποθηκευτικό χώρο, πάνω από τον οποίο υπάρχει μία ακόμα ρομποτική γερανογέφυρα. Αυτή παίρνει από κάθε παλέτα τον αριθμό των προϊόντων που απαιτεί η παραγωγή και τα τοποθετεί ένα-ένα σε ένα διάδρομο μεταφοράς. Έτσι, μεταφέρονται σε ένα σύστημα ρομποτικών βραχιόνων, οι οποίοι τα παλετοποιούν δημιουργώντας την τελική παραγωγή. Μία λύση που δόθηκε στο πρόβλημα της συγκράτησης κιβωτίων από τη γερανογέφυρα, είναι η χρήση πνευματικής αρπάγης. Μία σειρά από σπές και αναρρόφηση αέρα, δημιουργεί κενό αέρος, συγκρατώντας το κιβώτιο στη θέση του (Σχ. 4β).

Η αυτόματη αποθήκευση και ανάκτηση προϊόντων με τη χρήση ρομποτικών συστημάτων (AS/RS) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη,



Σχ. 7. Ρομπότ επιθεώρησης. (α) Επιθεώρηση γεμάτης δεξαμενής. (β) Επιθεώρηση για δυσμενή περιβάλλοντα, (γ) Ανατρεπόμενο ερπυστιοφόρο που κατασκευάστηκε στο ΕΑΕ.

Τέτοια συστήματα συνήθως εργάζονται ως εξής: ένας ρομποτικός ανιψιακός μηχανισμός, ο οποίος κινείται επάνω σε ράγες ανάμεσα στα ράφια με τα αποθηκευμένα προϊόντα, μεταφέρει στη θέση και στο ύψος που χρειάζεται ένα μηχανισμό ανάκτησης/τοποθέτησης του αντικείμενου που χρειαζόμαστε ή που χρειάζεται να αποθηκεύσουμε (Σχ. 5α). Πολλές εταιρείες κατασκευάζουν μηχανισμούς ανάκτησης προϊόντων με ειδικά χαρακτηριστικά, όπως ανάκτηση προϊόντων από μεγαλύτερο βάθος στο ράφι. Για αντικείμενα μεσίου έως μικρού μεγέθους, ο ρομποτικός μηχανισμός μπορεί να συνδυάσει δύο κινούμενα μέρη: τον ανιψιακικό μηχανισμό σε σταθερό σημείο και ένα σύστημα από κινούμενα δοχεία με το προϊόν (Σχ. 5β). Υπάρχουν, τέλος, και ρομποτικοί μηχανισμοί με ειδική κατασκευή, όπως το Curve Going Crane της Stocklin (Σχ. 5γ), το οποίο μπορεί να κινείται σε περισσότερους από ένα διάδρομο, χάρη στο ειδικά κατασκευασμένο σύστημα από ράγες που τον στηρίζουν.

Μία ακόμα ρομποτική εφαρμογή σε αυτοματοποιημένες αποθήκες είναι και τα Αυτόνομα Οδηγούμενα Οχήματα (AGVs). Πρόκειται για ρομποτικά οχήματα τα οποία κινούνται αυτόνομα στους διαδρόμους μιας αποθήκης, έχοντας κάποια ανίληψη για τον περιβάλλοντα χώρο και πληρογούνται χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, μεταφέροντας μεγάλα φορτία, από και προς τους χώρους αποθήκευσης (Σχ. 6α). Στο ΕΑΕ και σε συνεργασία με τον Επίκ. Καθηγητή της ΑΣΚΤ κ. Σαντοριναίο, έχουν γίνει πειράματα στα οποία κινούμενη ρομποτική πλατφόρμα συνεργάζεται με ηθσοποιούς σε θεατρικά δρώμενα (Σχ. 6β).

Εφαρμογές επιθεώρησης

Ένα διαφορετικό πεδίο ρομποτικών εφαρμογών είναι αυτό της επιθεώρησης βιομηχανικών εγκαταστάσεων, υποβρυχίων κατασκευών, σωληνώσεων δεξαμενών και χώρων εργασίας, για εντοπισμό βλαβών, αποκατάσταση βλαβών και πιστοποίηση καταλληλότητας. Σε αυτού του τύπου τις εφαρμογές ο χώρος εργασίας του ρομπότ παύει να έχει προκαθορισμένες διαστάσεις ενώ αρκετά συχνά, το ρομπότ πρέπει να μπορεί να μετακινείται και μάλιστα σε χώρους όπου μπορεί να παρεμβάλλονται άγνωστα εμπόδια. Συνεπώς οι εφαρμογές επιθεώρησης απαιτούν κινούμενα ρομπότ που πληρογούνται είτε με τηλεκατεύθυνση είτε αυτόνομα. Ανάλογα με την εφαρμογή, το ρομπότ διαθέτει τον κατάλληλο μηχανισμό κίνησης και το απαραίτητο σύνολο αισθητήρων.

Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές επιθεώρησης είναι τα υποβρυχία ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως από τη ναυπηγική βιομηχανία για επιθεώρηση και καθαρισμό των

υφάνων πλοίων χωρίς δεξαμενισμό, για επιθεώρηση και καθαρισμό δεξαμενών και για επιθεώρηση υποβρυχίων καλωδιακών συνδέσεων και υποβρυχίων σωληνώσεων μεταφοράς. Επίσης, ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επιθεώρηση και τη συντήρηση των φραγμάτων, των αποβαθρών, των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων και των εκβολών υπονόμων.

Ένα παράδειγμα αμφιβίου ρομπότ επιθεώρησης είναι το OTIS της InTank Inc. (Σχ. 7α) που είναι σχεδιασμένο για επιθεώρηση γεμάτων δεξαμενών, έτσι ώστε να μην απαιτείται η διακοπή της λειτουργίας της δεξαμενής. Άλλο πεδίο εφαρμογών επιθεώρησης αποτελούν οι μήκους χιλιομέτρων υπόγειες σωληνώσεις, οι οποίες μεταφέρουν εύφλεκτη αέρια και ρευστά, όπως το πετρέλαιο ή τα παράγωγά του ή οι σωληνώσεις πυρηνικών εργοστασίων. Οι σωληνώσεις αυτές υφίστανται συνεχή φθορά από το περιβάλλον και από το περιεχόμενό τους, και πρέπει να ελέγχονται συστηματικά για φθορά, κόπωση, ρωγμές και διαρροές. Για το λόγο αυτό έχουν σχεδιαστεί κινούμενοι ρομποτικοί μηχανισμοί με δυνατότητες επιθεώρησης και επιδιόρθωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Oil-Spore της Royal Dutch Shell, το οποίο είναι ασύρματο αυτόνομο ρομποτικό σύστημα επιθεώρησης πετρελαιοαγωγών. Είναι εξοπλισμένο με αριθμό αισθητήρων για τη μέτρηση και καταγραφή χημικών ιδιοτήτων του ρευστού. Επίσης, η εταιρεία InTank έχει κατασκευάσει το ρομπότ επιθεώρησης σωληνώσεων Scavenger. Αυτό, εκτός από επιθεώρηση αναλαμβάνει και τον αυτοματοποιημένο καθαρισμό των σωληνώσεων. Μια διαφορετική εφαρμογή ρομποτικής επιθεώρησης είναι τα κινούμενα ρομπότ τα οποία σαρώνουν μεγάλες επιφάνειες εξωτερικού και εσωτερικού χώρου εκτελώντας καθήκοντα επιθεώρησης και επιτήρησης, μετρώντας και καταγράφοντας τοξικότητα και άλλα μεγέθη που σχετίζονται με την ασφάλεια του χώρου. Ένα πρωτοποριακό παράδειγμα τέτοιου ρομπότ είναι το ερπιστοειδές Serpentine Inspection Robot από το πανεπιστήμιο Ann Arbor του Michigan που χρησιμοποιείται για την επιθεώρηση σε δυσμενή για τον άνθρωπο περιβάλλοντα (μολυσμένες τοποθεσίες, τοποθεσίες φυσικών καταστροφών) (Σχ. 7β). Στο Εργαστήριό μας κατασκευάστηκε ο Ηρακλής, ένα ερπυστιοφόρο όχημα εφοδιασμένο με αισθητήρες, ελεγχόμενο από μικροϋπολογιστή και με δυνατότητα κίνησης, ακόμη και αν ανατραπεί, (Σχ. 7γ). Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει το κινούμενο ρομπότ πυρόσβεσης αποτελούμενο από μία ρομποτική αντλία (Σχ. 8), εξοπλισμένη με αισθητήρες και σχεδιασμένη για αντιμετώπιση περιπτώσεων πυρόσβεσης σε ιδιαίτερα άφλεκτα περιβάλλοντα.



Σχήμα 8. Ρομποτική αντλία πυρόσβεσης.



Σχ. 9. (α) Σύστημα φόρτωσης και μεταφοράς ορυκτού σε προσομοίωση κίνησης σε στοά ορυχείου. CSIRO. (β) Ο ρομποτικός εκσκαφέας του CSIRO.

Εφαρμογές σε ορυχεία

Σημαντικές εφαρμογές ρομποτικών μηχανισμών εξωτερικού χώρου, με ενδιαφέρον για την Ελλάδα, υπάρχουν στα ορυχεία. Ήδη από το 2000 πλήθος άρθρων καταδεικνύουν την έντονη τάση αυτοματοποίησης και εισαγωγής ρομποτικών συστημάτων στα μεγάλα ορυχεία, με σκοπό τη μεγιστοποίηση δύο πολύ βασικών παραγόντων: της ασφάλειας και της αποδοτικότητας. Σήμερα, εταιρείες και κυβερνητικοί οργανισμοί, κάνουν αγά-αγά πραγματικότητα αυτό το όραμα ενώ πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα συνεργάζονται στενά με τη βιομηχανία, για την ανάπτυξη νέων αυτοματοποιημένων και ρομποτικών εφαρμογών. Ένα πολύ καλό παράδειγμα αποτελεί το Πρόγραμμα M.A.L.T.A. (Mining Automated Loading Technology Application), το οποίο ξεκίνησε το 1998 με τη συνεργασία των καναδικών εταιρειών C-CORE και INCO Ltd. Πρόκειται για τη δημιουργία ενός αυτόνομου τροχοφόρου ρομποτικού μηχανισμού φόρτωσης και μεταφοράς ορυκτού υλικού από το υπόγειο σημείο εξόρυξης. Το σύστημα αυτό έχει ήδη δοκιμαστεί με επιτυχία από την INCO, πράγμα το οποίο οδήγησε σε σκέψεις για την περαιτέρω βελτίωσή του. Στην παρούσα φάση, μελετάται η ενσωμάτωση στο σύστημα αυτοματοποιημένων μηχανισμών διανομής σπών αλλά και τοποθέτησης σε αυτές εκρηκτικών. Με την ολοκλήρωση του συστήματος αυτού θα υπάρχει η δυνατότητα εξόρυξης και απομάκρυνσης υλικού χωρίς την παρουσία ανθρώπων. Μία ακόμα χώρα με εκτεταμένη βιομηχανία εξόρυξης και εκμετάλλευσης ορυκτού πλούτου, η Αυστραλία, έχει επενδύσει πολύ στην έρευνα για τη ρομποτική αυτοματοποίηση των ορυχείων της. Ο κρατικός οργανισμός CSIRO, έχει αναπτύξει ένα πρότυπο αυτόνο-

μο ρομποτικό σύστημα φόρτωσης και μεταφοράς ορυκτού υλικού από το σημείο εξόρυξης σε υπόγεια στοά. Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα κίνησης σε υπόγειες στοές με ταχύτητες της τάξης των 20 km/h, έχοντας ανάγκη για λιγότερο από 0,5 m ελεύθερο χώρο σε κάθε πλευρά του (Σχ. 9α). Ο CSIRO έχει κατασκευάσει και ένα πρότυπο αυτόνομο ρομποτικό σύστημα εκσκαφής για επικρασιακά ορυχεία. Σε πειραματικές εκσκαφές που πραγματοποιήθηκαν το 2003, ο αυτοματοποιημένος εκσκαφέας μετέφερε σε διάστημα δύο εβδομάδων υλικό βάρους 250.000 τόνων (Σχ. 9β). Η πρόσφατη συνεργασία του CSIRO με το πανεπιστήμιο MIT των ΗΠΑ πάνω σε εφαρμογές ρομποτικής σε ορυχεία, αλλά και η ύπαρξη πολλαπλών σχετικών ερευνητικών προγραμμάτων σε πανεπιστήμια, αλλά και σε εταιρείες της Αμερικής, της Αυστραλίας και του Καναδά, δείχνει ότι η παγκόσμια τάση είναι προς την κατεύθυνση της εισαγωγής όλο και περισσότερων ρομποτικών συστημάτων στις διάφορες διαδικασίες εξόρυξης.

1 Υποψήφιος Διδάκτορας, Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, (ΕΑΕ), Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.
 2 Υποψήφιος Διδάκτορας, Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, (ΕΑΕ), Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.
 3 Υποψήφιος Διδάκτορας, Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, (ΕΑΕ), Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.
 4 Υποψήφιος Διδάκτορας, Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, (ΕΑΕ), Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.
 5 Αναπληρωτής Καθηγητής, Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, (ΕΑΕ), Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.