

Ποσοτικοποίηση της πολυπλοκότητας των συστημάτων παραγωγής, χρησιμοποιώντας την Θεωρία της Πληροφορίας και την Εντροπία του Shannon στην 4^η Βιομηχανική Επανάσταση

Διπλωματική Εργασία της φοιτήτριας Νεφέλης Πετράκη

Υπεύθυνος Καθηγητής, Δημήτριος Μούρτζης

Μάρτιος 2024

Οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις αναγκάζουν τις εταιρείες να προσαρμοστούν και να αντεπεξέλθουν στη διατήρηση της θέσης τους στον βιομηχανικό κόσμο. Με τον αυξανόμενο ανταγωνισμό στην παραγωγικότητα και την ποιότητα, οι εταιρείες θα πρέπει να επικεντρωθούν σε μεγάλο βαθμό στη βελτίωση των επιχειρηματικών και παραγωγικών τους διαδικασιών. Υπάρχουν ήδη πολλές τεχνολογίες, όπως το Internet of Things (IoT), τα Big Data, το Cloud Computing, το Digital Twin και η Additive Manufacturing που βοηθούν διάφορες βιομηχανίες να βελτιώσουν την απόδοση και να επιτύχουν καλύτερη παραγωγικότητα. Αυτές οι τεχνολογίες θεωρούνται ως μέρος μιας ευρύτερης έννοιας που ονομάζεται «Industry 4.0» ή επίσης γνωστή ως «Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση». Το Industry 4.0 είναι το επόμενο βήμα της βιομηχανικής επανάστασης που δυνητικά μεταμορφώνει περαιτέρω τη ροή παραγωγής και αλλάζει την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών καθώς και την αλληλεπίδραση μεταξύ προμηθευτών, παραγωγών και πελατών. Αποτελείται από εννέα υποψήφιους πυλώνες και, με την προσθήκη των τεχνολογιών που αναφέρονται παραπάνω, περιλαμβάνει αυτόνομα ρομπότ, προσομοίωση, οριζόντια και κάθετη ενοποίηση συστημάτων, ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και επαυξημένη πραγματικότητα και μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με λύσεις τεχνητής νοημοσύνης. Το Industry 4.0 βασίζεται στην έννοια της ολοκλήρωσης εικονικών και φυσικών συστημάτων μέσω κυβερνοφυσικών συστημάτων. Ο αποτελεσματικός συνδυασμός του IoT, του υπολογιστικού νέφους, της τεχνητής νοημοσύνης και των μεγάλων δεδομένων και η ενσωμάτωσή τους σε διαδικασίες επιχειρήσεων και αυτοματισμού θα βελτιώσει πιθανώς τη βιομηχανία όχι μόνο σε λειτουργική αλλά και σε οικονομική και περιβαλλοντική κλίμακα. Σε μια τέτοια δομή, τα μηχανήματα και ο εξοπλισμός συνδέονται σε ένα μόνο σύννεφο, μεταξύ τους και αποφεύγουν τα κεντρικά συστήματα ελέγχου, αλλά το πιο σημαντικό, θα αποκτήσουν πλήρη αυτονομία για τη λήψη γρήγορων αποφάσεων μόλις συμβούν απροσδόκητα γεγονότα. Αν και η υιοθέτηση του παραδείγματος Industry 4.0 στην κατασκευή αποκαλύπτει μεγάλες δυνατότητες, η αυξημένη πολυπλοκότητα που μπορεί να προκύψει σε διαφορετικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων προϊόντων, πληροφοριών, μηχανημάτων, αλυσίδων εφοδιασμού,

προγραμματισμού και επιχειρήσεων, καθώς και σε επίπεδο δικτύου, είναι μια κύρια πρόκληση. Η τεχνολογία που προβλέπεται στο πλαίσιο του παραδείγματος Industry 4.0 στοχεύει στη μείωση της πολυπλοκότητας των συστημάτων, ωστόσο η διαχείριση του όγκου των παραγόμενων δεδομένων, η αντιμετώπιση του αυξημένου αριθμού μεταβλητών και η ενσωμάτωση διαφορετικών εργαλείων είναι όλα πεδία περαιτέρω έρευνας.

Συγκεκριμένα, οι κατασκευαστικές εταιρείες λειτουργούν συχνά σε ένα δυναμικό περιβάλλον που καθοδηγείται από αλλαγές στις συνθήκες της αγοράς, τις απαιτήσεις των πελατών, το σχεδιασμό προϊόντων και την τεχνολογία επεξεργασίας. Η πολυπλοκότητα και η αβεβαιότητα περιορίζουν την αποτελεσματικότητα των συμβατικών προσεγγίσεων ελέγχου και προγραμματισμού παραγωγής.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή πολυπλοκότητα της κατασκευής την εποχή της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, πραγματοποιείται έρευνα για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του συστήματος. Χρησιμοποιώντας τη Θεωρία Πληροφοριών και πιο συγκεκριμένα την Εντροπία του Shannon, αναλύεται η ποσοτικοποίηση της πολυπλοκότητας όλων των διαφόρων εξαρτημάτων και του συστήματος κατασκευής Industry 4.0, μέσω εννοιολογικών πλαισίων και μοντέλων.

Industry 4.0 manufacturing systems

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση εφαρμόζεται την τελευταία δεκαετία. Είναι επίσης γνωστή ως "Industry 4.0" και ορίζεται από τη χρήση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών στον κλάδο. Βασίζεται στις εξελίξεις της Τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Τα συστήματα παραγωγής που χρησιμοποιούν τεχνολογία υπολογιστών ενισχύονται από μια σύνδεση δικτύου και, κατά μία έννοια, έχουν ένα ψηφιακό δίδυμο στο Διαδίκτυο. Αυτά επιτρέπουν την επικοινωνία με άλλα συστήματα καθώς και την παραγωγή δεδομένων για τον εαυτό τους. Αυτή είναι η επόμενη φάση στην αυτοματοποίηση της παραγωγής. Όλα τα συστήματα συνδέονται, με αποτέλεσμα «κυβερνοφυσικά συστήματα παραγωγής» και, ως αποτέλεσμα, έξυπνα εργοστάσια, στα οποία συστήματα παραγωγής, εξαρτήματα και άνθρωποι αλληλεπιδρούν μέσω ενός δικτύου και η παραγωγή είναι σχεδόν αυτόνομη. Όταν συνδυάζονται αυτές οι δυνατότητες, το Industry 4.0 έχει τη δυνατότητα να προσφέρει εκπληκτικές βελτιώσεις στα περιβάλλοντα παραγωγής. Παραδείγματα αποτελούν μηχανές που μπορούν να προβλέψουν σφάλματα και να ξεκινήσουν εργασίες συντήρησης μόνες τους, για παράδειγμα, ή αυτοοργανωμένα logistics που προσαρμόζονται σε απροσδόκητες αλλαγές στην παραγωγή. Έχει επίσης τη δυνατότητα να αλλάξει τις εργασιακές συνήθειες των ανθρώπων. Τα άτομα μπορούν να παρασυρθούν σε πιο έξυπνα δίκτυα μέσω του Industry 4.0, κάτι που μπορεί να

οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική εργασία. Η ψηφιοποίηση του περιβάλλοντος παραγωγής παρέχει πιο εύελικτα μέσα παροχής των κατάλληλων πληροφοριών στο σωστό άτομο τη σωστή στιγμή. Το προσωπικό συντήρησης μπορεί πλέον να λαμβάνει την τεκμηρίωση του εξοπλισμού και το ιστορικό σέρβις πιο γρήγορα και στο σημείο χρήσης, χάρη στην αυξανόμενη χρήση ψηφιακών συσκευών εντός και εκτός εργοστασίων. Το προσωπικό συντήρησης προτιμά να αφιερώνει το χρόνο του στην αντιμετώπιση ζητημάτων παρά να σπαταλά χρόνο αναζητώντας τεχνικές γνώσεις.

Συνοπτικά, το Industry 4.0 αλλάζει το παιχνίδι στον βιομηχανικό κόσμο. Η παραγωγή θα αλλάξει ως αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου κατασκευής και παράδοσης των πραγμάτων, καθώς και του τρόπου συντήρησης και βελτίωσης των προϊόντων. Ως αποτέλεσμα, μπορεί νόμιμα να ισχυριστεί ότι είναι η αρχή της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Το Industry 4.0 διαμορφώνεται επί του παρόντος και οι τεχνολογίες υποστήριξής του, όπως το Internet of Things (IoT) και το Cloud Manufacturing (CM), είναι, ωστόσο, ανεπαρκώς καθορισμένες και υπο-ερευνημένες.

Το Industry 4.0 είναι ένα περίπλοκο τεχνικό πρότυπο που χαρακτηρίζεται κυρίως από σύνδεση, ενοποίηση και βιομηχανική ψηφιοποίηση, υπογραμμίζοντας τις δυνατότητες ενσωμάτωσης όλων των στοιχείων σε ένα σύστημα προστιθέμενης αξίας. Η ψηφιακή τεχνολογία κατασκευής, η τεχνολογία δικτυακών επικοινωνιών, η τεχνολογία υπολογιστών και η τεχνολογία αυτοματισμού περιλαμβάνονται όλα σε αυτήν την προσέγγιση.

Το Industry 4.0 επιτρέπει την ταχεία τεχνολογική πρόοδο σε διάφορους τομείς. Ωστόσο, η αναδύομενη τέταρτη βιομηχανική επανάσταση διαμορφώνεται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνική ενσωμάτωση Κυβερνοφυσικών Συστημάτων στις διαδικασίες παραγωγής, καθώς και από τη χρήση του Internet of Things and Services σε βιομηχανικές διαδικασίες. Ως αποτέλεσμα, αυτή η ενότητα παρέχει μια σύντομη επισκόπηση κάθε σημαντικού οδηγού τεχνολογίας για το Industry 4.0. Παρέχει επίσης πληροφορίες σχετικά με τα βασικά στοιχεία του Industry 4.0 ή βασικών τεχνολογιών για το Industry 4.0, το οποίο αποτελείται από 10 στοιχεία.

Υπάρχουν επίσης κάποια εμπόδια για την εφαρμογή πρακτικών Industry 4.0. Αυτά τα εμπόδια μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες επιχειρηματικές διαστάσεις: Πρώτον, χρηματοοικονομικοί περιορισμοί. Οι οικονομικοί περιορισμοί είναι ένα θεμελιώδες ζήτημα για την εφαρμογή του Industry 4.0 όσον αφορά την ανάπτυξη εξελιγμένων σύγχρονων υποδομών

και βιώσιμων βελτιώσεων διαδικασιών. Δεύτερον, η τεχνική ικανότητα της εστιακής οργάνωσης είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την κλίμακα της επένδυσης. Η οικονομική προοπτική, από την άλλη πλευρά, είναι ακόμη στην ανάπτυξη. Η έλλειψη σαφήνειας σχετικά με την ανάλυση κόστους-οφέλους και τις χρηματικές ανταμοιβές στις ψηφιακές επενδύσεις είναι ένα κρίσιμο ζήτημα για την ανάπτυξη του Industry 4.0.

Τρίτον, Οργανωτική φύση. Άλλα εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις που στοχεύουν να ενσωματώσουν τις τεχνολογίες Industry 4.0 περιλαμβάνουν ανεπαρκείς διαδικασίες έρευνας και ανάπτυξης, έλλειψη υποδομής, κακή ποιότητα δεδομένων, έλλειψη ψηφιακής κουλτούρας και έλλειψη εμπιστοσύνης μεταξύ των εταίρων.

Η κακή υποδομή και η συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο αποτελούν σημαντικά εμπόδια σε οποιονδήποτε ψηφιακό μετασχηματισμό ή υιοθέτηση. Τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, η έλλειψη υποστήριξης από τη διοίκηση και η αντίσταση στην αλλαγή. Οι μετασχηματιστικές αλλαγές του Industry 4.0 είναι γρήγοροι και απαιτούν σωστή ανάπτυξη δεξιοτήτων και εκπαίδευση, κάτι που είναι δύσκολο να γίνει χωρίς υψηλό βαθμό υποστήριξης διαχείρισης, που είναι η πιο σημαντική απαίτηση για την κυκλοφορία του Industry 4.0. Οι βιομηχανίες δεν είναι σίγουροι και δεν είναι εξοικειωμένοι με τον όρο Industry 4.0 και αγνοούν τα οφέλη του ψηφιακού μετασχηματισμού, λόγω των οποίων υπάρχει απροθυμία να τον υιοθετήσουν.

Πολυπλοκότητα των συστημάτων παραγωγής

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα συστήματα παραγωγής που επιδιώκουν τη μείωση του κόστους και του χρόνου χωρίς μείωση της ποιότητας και της ευελιξίας γίνονται όλο και πιο περίπλοκα. Ο κύριος λόγος για τη διερεύνηση της πολυπλοκότητας της κατασκευής είναι η κατανόηση και ο έλεγχος της μη γραμμικής συμπεριφοράς των συστημάτων παραγωγής που τελικά θα καταστήσει τα συστήματα παραγωγής πιο παραγωγικά και προγνωστικά. Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση της πολυπλοκότητας ενός κατασκευαστικού συστήματος και τη διαχείρισή του είναι ο προσδιορισμός ποσοτικών μετρήσεων πολυπλοκότητας κατασκευής είτε στατικών είτε δυναμικών. Οι περίπλοκες σχέσεις και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος, μαζί με τη στοχαστική φύση του συστήματος, που χαρακτηρίζεται από απρόβλεπτο, καθιστούν τη μαθηματική μοντελοποίηση ενός συστήματος παραγωγής αρκετά προκλητική. Συγκεκριμένα, δεν έχει καταστεί ακόμη δυνατό να δημιουργηθούν σχέσεις, σε ένα σύνολο αναλυτικών εξισώσεων κλειστής μορφής, που θα μπορούσαν να περιγράψουν τη δυναμική συμπεριφορά ενός κατασκευαστικού συστήματος. Η θεωρία ουράς, ο μαθηματικός προγραμματισμός και οι τεχνικές βελτιστοποίησης έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς, τα τελευταία χρόνια, με σκοπό τη μοντελοποίηση και την ανάλυση συστημάτων

παραγωγής, ωστόσο, η κατανόηση και ο έλεγχος της πολυπλοκότητας με συμβατικές μεθόδους γίνεται όλο και πιο δύσκολη. Είναι, επομένως, προφανές ότι η μελέτη της πολυπλοκότητας της κατασκευής που θα μας παρέχει τις μετρήσεις και τις μεθόδους ανάλυσης δεν μπορεί να βασίζεται μόνο στις υπάρχουσες παραδοσιακές προσεγγίσεις. Τα τελευταία χρόνια, η θεωρία πολυπλοκότητας, συμπεριλαμβανομένων προσεγγίσεων όπως η θεωρία της πληροφορίας, η θεωρία του χάους και η μη γραμμική θεωρία παρέχουν μεθόδους που φαίνονται χρήσιμες για την ανάλυση της πολυπλοκότητας ενός κατασκευαστικού συστήματος.

Η πολυπλοκότητα μπορεί να χωριστεί σε δύο τύπους ανάλογα τον τομέα, δηλαδή τους φυσικούς και τους λειτουργικούς τομείς. Στον λειτουργικό τομέα, η πολυπλοκότητα ορίζεται ως ένα μέτρο αβεβαιότητας για την επίτευξη των λειτουργικών απαιτήσεων. Αυτός ο τύπος πολυπλοκότητας είναι κοντά στον σχεδιασμό των συστημάτων κατασκευής και διακρίνεται περαιτέρω σε χρονικά ανεξάρτητο και χρονοεξαρτώμενο.

Η χρονικά ανεξάρτητη πολυπλοκότητα είναι το αποτέλεσμα της μη ικανοποίησης των λειτουργικών απαιτήσεων ενός συστήματος ανά πάσα στιγμή, συμπεριλαμβανομένης της αβεβαιότητας που προκύπτει λόγω της έλλειψης γνώσης ή κατανόησης του συστήματος και των στοιχείων του από τον σχεδιαστή. Η χρονοεξαρτώμενη πολυπλοκότητα, από την άλλη πλευρά, μπορεί να είναι είτε συνδυαστική, αυξανόμενη ως συνάρτηση του χρόνου, λόγω της συνεχούς επέκτασης πιθανών συνδυασμών καταστάσεων με το χρόνο, είτε περιοδική πολυπλοκότητα, η οποία υπάρχει σε μια πεπερασμένη χρονική περίοδο, με περιορισμένο αριθμός πιθανών συνδυασμών καταστάσεων. Στον φυσικό τομέα, η πολυπλοκότητα κατασκευής ταξινομείται περαιτέρω σε δύο τύπους, συγκεκριμένα, στατική και δυναμική. Η στατική πολυπλοκότητα, που ονομάζεται επίσης δομική πολυπλοκότητα, αφορά τη δομή και τη διαμόρφωση του συστήματος, τον αριθμό και την ποικιλία των προϊόντων, την ποικιλία στοιχείων του συστήματος, όπως εργασίες, μηχανές, buffer, μηχανισμούς μεταφοράς, τις διασυνδέσεις και τις αλληλεξαρτήσεις τους. Η δυναμική ή λειτουργική πολυπλοκότητα σχετίζεται με την αβεβαιότητα της συμπεριφοράς του συστήματος για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και ασχολείται με την πιθανότητα του συστήματος να έχει τον έλεγχο.

Το εύρος της πολυπλοκότητας κατηγοριοποιείται σε μέρος, προϊόν, σύστημα και σύστημα συστημάτων. Η ταυτόχρονη επιδίωξη των σημερινών κατασκευαστών για βέλτιστο κόστος, ποιότητα, χρόνο και ευελιξία απαιτεί συχνά τη ρύθμιση και τη διαμόρφωση πολύπλοκων συστημάτων παραγωγής. Έτσι, η λειτουργία πολλών συστημάτων παραγωγής μπορεί να είναι εξαιρετικά περίπλοκη. Η στατική πολυπλοκότητα και η δυναμική πολυπλοκότητα, όπως ορίζονται, βασίζονται σε μια διατύπωση που βασίζεται στην εντροπία. Η στατική

πολυπλοκότητα αντιμετωπίζει τη δομή και τη διαμόρφωση των στοιχείων ενός συστήματος, ενώ η δυναμική πολυπλοκότητα ασχολείται με τη συμπεριφορά του συστήματος με την πάροδο του χρόνου και την πιθανότητα του συστήματος να έχει τον έλεγχο.

Η διάταξη των συστημάτων κατασκευής καθορίζει τη δομική πολυπλοκότητά τους με βάση τα χαρακτηριστικά διαμόρφωσης. Η διάταξη του συστήματος παραγωγής ορίζεται από τη διάταξη των μηχανών, τις θέσεις τους και τις διασυνδέσεις. Ωστόσο, παρά την προσοχή που δίνεται από τους ερευνητές στη μέτρηση της δομικής πολυπλοκότητας σε πολλά πεδία, η πολυπλοκότητα της διάταξης των συστημάτων δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Η μετάβαση προς την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση θα μεταμορφώσει το σχεδιασμό, την κατασκευή, καθώς και τη λειτουργία προϊόντων και συστημάτων. Η αυξημένη συνδεσιμότητα και αλληλεπίδραση μεταξύ συστημάτων, ανθρώπων και μηχανών υποστηρίζει την ενσωμάτωση διαφόρων αυτοματοποιημένων συστημάτων νέων τεχνολογιών αυξάνοντας την ευελιξία και την παραγωγικότητα. Αυτό θα οδηγήσει επίσης σε διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής και αλυσίδες εφοδιασμού που αποτελούν μια ολοκληρωμένη ενότητα, η οποία παρέχει τα απαραίτητα προϊόντα στο σωστό μέρος, τη σωστή στιγμή.

Επισημαίνεται ότι η πολυπλοκότητα προκύπτει όχι μόνο από το μέγεθος του συστήματος αλλά και από τις αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του συστήματος και την αναδυόμενη συμπεριφορά που δεν μπορεί να προβλεφθεί από το μεμονωμένο στοιχείο του συστήματος.

Complexity of PSS

Η πολυπλοκότητα του PSS είναι αναμφισβήτητα ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση της απόδοσης ενός συστήματος. Το Σύστημα Εξυπηρέτησης Προϊόντων ως έννοια ενσωματώνει ένα από προϊόν με άυλες υπηρεσίες σε ένα ενιαίο σύστημα, επομένως η διαχείρισή του απαιτεί στενή παρακολούθηση και αξιολόγηση. Το πιο κυρίαρχο εργαλείο για την αξιολόγηση της απόδοσης του PSS είναι οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs), εστιάζοντας στους παράγοντες που επηρεάζουν κρίσιμα την απόδοση του μοντέλου.

Οι περισσότερες προσεγγίσεις αξιολόγησης PSS επικεντρώνονται στην πτυχή της βιωσιμότητας για την εκτέλεση της αξιολόγησης του PSS.

Παρόλο που οι KPI είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη μέτρηση της απόδοσης ενός οργανισμού, η παρακολούθηση ενός τυχαίου συνόλου ή ενός μεγάλου αριθμού από αυτά μπορεί να γίνει πολύ αναποτελεσματική. Από τη μία πλευρά, η παρακολούθηση πολλών δεικτών απαιτεί συχνά υπερβολικό χρόνο, προσπάθεια και πόρους, γεγονός που την καθιστά

αναποτελεσματική, ενώ από την άλλη, η τυχαία επιλογή δεικτών μπορεί να μην παρέχει ακριβή αποτελέσματα. Επομένως, η προσεκτική επιλογή των KPIs, προκειμένου να διευκολυνθεί η διαχείριση, είναι ζωτικής σημασίας. Επί του παρόντος, αρκετές θεωρητικές προσπάθειες προς αυτόν τον σκοπό έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι προς αξιολόγηση KPI προσδιορίζονται με βάση ανασκοπήσεις βιβλιογραφίας, συνεντεύξεις με ειδικούς του κλάδου και ακαδημαϊκούς ερευνητές, σύμφωνα με την επιχειρηματική στρατηγική και τους στόχους του οργανισμού.

Η σημασία των KPI στην παρακολούθηση της απόδοσης σε πολλούς επιχειρηματικούς τομείς τονίζεται από τον τεράστιο όγκο σχετικών ερευνητικών εργασιών που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία. Ωστόσο, τα δεδομένα από την παρακολούθηση πάρα πολλών KPI μπορεί να είναι συντριπτικά για τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων, εκτός από την κατανάλωση χρόνου και πόρων. Επομένως, μόνο ένας μικρός αριθμός KPI θα πρέπει να επιλεγεί για αυτόν τον λόγο. Η επιλογή ενός κατάλληλου συνόλου KPI είναι μια εργασία, αρκετά περίπλοκη από μόνη της, καθώς μόνο ένας πολύ μικρός αριθμός KPI πρέπει να ξεχωρίσει από την πολύ μεγάλη δεξαμενή των διαθέσιμων (ή προσαρμοσμένων) δεικτών απόδοσης. Αυτή η πολυπλοκότητα γίνεται ακόμη μεγαλύτερη, αν ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις των πελατών και η διπλή φύση ενός PSS και οι αλληλεπιδράσεις του. Έτσι, για να είναι χρήσιμοι και διορατικοί οι επιλεγμένοι KPI, θα πρέπει να διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά: (i) τα επιλεγμένα KPI θα πρέπει να ανταποκρίνονται στο οργανωτικό πλαίσιο, (ii) τα KPI θα πρέπει να ευθυγραμμίζονται με τους οργανωτικούς στόχους και (iii) θα πρέπει να είναι ποσοτικά ή ποσοτικοποιήσιμα προκειμένου να διευκολυνθεί η συγκρισιμότητα. Επιπλέον, το επιλεγμένο σύνολο θα πρέπει να ενσωματώνει KPI που καλύπτουν πτυχές που σχετίζονται με τον πελάτη και το PSS. Οι περισσότερες από τις μεθοδολογίες επιλογής KPI που αναφέρονται στη βιβλιογραφία αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της υποκειμενικότητας που χαρακτηρίζει τη διαδικασία, καθώς και το γεγονός ότι η προεπιλογή των KPIs πρέπει να παρακολουθείται. Η παρουσιαζόμενη μεθοδολογία καθοδηγεί τον λήπτη αποφάσεων να επιλέξει ένα μικρό σύνολο κατάλληλων KPI που καλύπτει όλες τις απαραίτητες πτυχές του οργανισμού, των πελατών και του PSS, πριν από την απόκτηση δεδομένων που σχετίζονται με KPI, με ημι-αντικειμενικό τρόπο.

Στην εργασία παρουσιάζεται ένα εννοιολογικό μοντέλο σχεδιασμού PSS. Σύμφωνα με αυτό το πλαίσιο, παρατηρούνται δύο βασικά στάδια στο μοντέλο σχεδίασης PSS.

1) Διαδικασίες σχεδιασμού PSS:

Το πρώτο στάδιο περιέχει τις προδιαγραφές του τύπου PSS (προϊόν, χρήση και αποτελέσματα) ανάλογα με το προϊόν/υπηρεσία που πρόκειται να αναπτυχθεί, περιέχει επίσης τον τύπο επιχείρησης (Business to Business, Business to Customer, Business to Government), καθώς και προσδιορισμός των ενδιαφερομένων που εμπλέκονται στο PSS. Επιπλέον, για μια αποτελεσματική διαδικασία σχεδιασμού, θα πρέπει να συμπεριληφθεί ένα ολοκληρωμένο διάγραμμα αναπαράστασης PSS.

2) Προσδοκίες σχεδιασμού PSS:

Το δεύτερο στάδιο επικεντρώνεται στις απαιτήσεις που έχουν τα ενδιαφερόμενα μέρη και ποιες από αυτές πρέπει να ληφθούν υπόψη και να εκπληρωθούν. Αυτό το στάδιο θέτει τη βάση της στρατηγικής αξιολόγησης που πρέπει να ακολουθηθεί. Για ένα αποτελεσματικό μοντέλο PSS, η εκπλήρωση των απαιτήσεων: Πελάτες, Επιχειρηματικό μοντέλο (Λεότητα, Βιωσιμότητα, οικονομικές πτυχές) και Περιβάλλον (π.χ. κατανάλωση ενέργειας, εκπομπές CO₂), πρέπει να είναι η κύρια φροντίδα. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η εφαρμογή μιας συνολικής αξιολόγησης του αναπτυγμένου μοντέλου PSS, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, με τη χρήση κατάλληλων KPIs. Αυτά τα KPI δίνουν feedback στον σχεδιαστή για τη συνεχή βελτίωση του σχεδίου PSS.

Information Theory and Shannon's Entropy in manufacturing systems towards Industry 4.0

Όλες οι πληροφορίες που απαιτούνται για την αξιολόγηση του μοντέλου στατικής εντροπίας είναι διαθέσιμες από την παραγγελία παραγωγής και τα σχέδια διαδικασίας για μεμονωμένα εξαρτήματα. Πρέπει να καθοριστεί ένας δείκτης πολυπλοκότητας για το σχεδιασμό του συστήματος παραγωγής. Ο δείκτης παίρνει τη μορφή εντροπίας για την αξιολόγηση της συναρμολόγησης ενός προϊόντος. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι η συστηματική εντροπία ισούται με την πολυπλοκότητα και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή και τον έλεγχο του συνολικού όγκου πληροφοριών των συστημάτων παραγωγής [19]. Υπάρχουν μεθοδολογίες που πρότειναν ένα μέτρο πολυπλοκότητας βασισμένο στην εντροπία πληροφοριών για τον προγραμματισμό συναρμολόγησης. Πιο πρόσφατα, οι Hu et al. [39] εφάρμοσε τη συνάρτηση εντροπίας για να ποσοτικοποιήσει την πολυπλοκότητα των συστημάτων κατασκευής και τις διαμορφώσεις τους με παραδείγματα σε διαδικασίες μηχανικής κατεργασίας.

Με όλη την έρευνα υποβάθρου που περιγράφεται παραπάνω, όχι μόνο ορίζεται η έννοια της θεωρητικής εντροπίας πληροφοριών στα συστήματα κατασκευής, αλλά επίσης τα μοντέλα ή η λειτουργία εντροπίας αναπτύσσονται με την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ

εγκαταστάσεων, εξαρτημάτων και εργασιών στα συστήματα και τα συστήματα παραγωγής. περιγράφεται ποιοτικά και ποσοτικά. Αλλά οι ερευνητές έχουν δώσει έμφαση στη θεωρητική ανάλυση, ενώ έχουν παραμελήσει την εφαρμογή της θεωρητικής πληροφορίας εντροπίας στα συστήματα παραγωγής. Επιπλέον, το μοντέλο που αναπτύσσεται συνήθως περιορίζεται στην ιδανική κατάσταση. Έτσι, η ανάπτυξη λειτουργικών μοντέλων εντροπίας των συστημάτων κατασκευής και η μέτρησή τους με τον προγραμματισμό των πραγματικών συστημάτων κατασκευής έχει θεμελιώδεις αρχές που θα οδηγήσουν στη μέτρηση της πολυπλοκότητας προς το Industry 4.0.

Καθώς ο κατασκευαστικός τομέας διέρχεται από την επανάσταση του Industry 4.0, ένας τεράστιος όγκος ανταλλαγής δεδομένων και πληροφοριών οδηγεί σε αύξηση της πολυπλοκότητας στα ψηφιοποιημένα συστήματα παραγωγής. Έτσι, για να μετρηθεί αυτή η πολυπλοκότητα σε ένα σύστημα παραγωγής χρειάζεται μια ποσοτική προσέγγιση, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή του μοντέλου της Θεωρίας της Πληροφορίας, με τον καθορισμό μετρήσεων για την πολυπλοκότητα και την ικανότητα. Ένας βασικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε ένα σύστημα παραγωγής και να παρακολουθείται, είναι η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ όλων των παραγόντων της διαδικασίας ανάπτυξης και συντήρησης του προϊόντος μεταξύ των διαφόρων τμημάτων καθώς και η ποσοτικοποίηση αυτών των πληροφοριών. Ειδικότερα, οι πληροφορίες θεωρούνται σε αυτή την ερευνητική εργασία ως τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των διαφορετικών υποσυστημάτων που αποτελούν το σύστημα παραγωγής. Η βάση της προσέγγισής μας λαμβάνει υπόψη τις ακόλουθες ανταλλαγές πληροφοριών: Άνθρωπος σε Άνθρωπο, Μηχανή σε Μηχανή και Άνθρωπος σε Μηχανή. Πηγές πληροφοριών είναι τόσο τα σήματα και τα μηνύματα που σχετίζονται με την επικοινωνία μεταξύ του προσωπικού Ανάπτυξης Νέων Προϊόντων όσο και τα σήματα από αισθητήρες και μηχανήματα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μια προσέγγιση μοντελοποίησης της Θεωρίας της Πληροφορίας (IT). Η πληροφορική βασίζεται στους ακόλουθους βασικούς όρους:

- Information Content
- Εντροπία, που ορίζεται ως η μέση ποσότητα πληροφοριών ανά μήνυμα, σύμφωνα με την εντροπία της πληροφορικής του Shannon
- Χωρητικότητα καναλιού

Πιο συγκεκριμένα, το Information Content περιγράφει την τιμή του αριθμού των μηνυμάτων που προωθούνται από ένα τμήμα σε άλλο, λαμβάνοντας υπόψη την εντροπία, τη μέση αβεβαιότητα για το πώς και εάν κάθε μήνυμα θα μετατραπεί σε σήμα και θα ληφθεί με επιτυχία

από το επόμενο τμήμα. . Το κανάλι χωρητικότητας σημαίνει την ικανότητα του πομπού να μεταφέρει πληροφορίες από το ένα τμήμα στο άλλο, σε μια καθορισμένη περίοδο.

Σύμφωνα με το σύστημα επικοινωνίας του Shannon, τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος επικοινωνίας είναι η πηγή πληροφοριών, το μήνυμα, ο πομπός, το σήμα, η πηγή θορύβου, ο δέκτης και ο προορισμός. Πιο συγκεκριμένα, η πηγή πληροφοριών επιλέγει ένα επιθυμητό μήνυμα από ένα σύνολο πιθανών μηνυμάτων. Ο πομπός μετατρέπει αυτό το μήνυμα σε σήμα, το οποίο αποστέλλεται μέσω του καναλιού επικοινωνίας στον δέκτη. Ο δέκτης αλλάζει το μεταδιδόμενο σήμα σε μήνυμα, παραδίδοντας αυτό το μήνυμα στον προορισμό. Κατά τη μετάδοση, παραμορφώσεις που δεν προορίζονταν από την πηγή πληροφοριών, προστίθενται στο σήμα. Αυτές οι ανεπιθύμητες προσθήκες περιλαμβάνουν τον θόρυβο του καναλιού.

Η εντροπία είναι ένα μέτρο της μη προβλεψιμότητας της κατάστασης ή του μέσου περιεχομένου πληροφοριών της. Η σημασία των γεγονότων που παρατηρούνται δεν έχει σημασία στον ορισμό της εντροπίας. Η εντροπία λαμβάνει υπόψη μόνο την πιθανότητα παρατήρησης ενός συγκεκριμένου γεγονότος, επομένως οι πληροφορίες που ενσωματώνει είναι οι πληροφορίες σχετικά με την υποκείμενη κατανομή πιθανοτήτων και όχι το νόημα των ίδιων των γεγονότων.

Η εντροπία ορίζει τη μέση αβεβαιότητα σχετικά με το λαμβανόμενο σήμα όταν το απεσταλμένο μήνυμα είναι γνωστό. Η αβεβαιότητα είναι μηδενική όταν δεν υπάρχει θόρυβος. Εάν εισαχθεί θόρυβος στο σήμα, τότε το ληφθέν μήνυμα περιέχει ορισμένες παραμορφώσεις, ορισμένα σφάλματα και πρόσθετο υλικό που θα μειώσει την ποιότητα του περιεχομένου πληροφοριών του λαμβανόμενου σήματος.

Η πολυπλοκότητα που σχετίζεται με την εντροπία είναι η αναμενόμενη ποσότητα πληροφοριών που απαιτείται για την περιγραφή της κατάστασης του συστήματος.

Η μέτρηση πολυπλοκότητας ενός ψηφιοποιημένου κατασκευαστικού συστήματος προς τον κλάδο 4.0 ορίζεται ως το άθροισμα του επιμέρους περιεχομένου πληροφοριών των παραδοσιακών και των βελτιωμένων συστημάτων παραγωγής.

Είναι σαφές ότι $CII_{4.0} > CI_{traditional}$. Ωστόσο, είναι λογικό να υπολογίσουμε πόσο μεγαλύτερες είναι οι εντροπίες του Industry 4.0, σε σύγκριση με αυτές της παραδοσιακής κατασκευής. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, θα πρέπει να υπολογιστεί η χωρητικότητα του καναλιού. Ακολουθώντας την Εξίσωση της χωρητικότητας ενός καναλιού επικοινωνίας, η μετρική χωρητικότητας ενός Ψηφιοποιημένου Συστήματος Κατασκευής προς τον κλάδο 4.0 ορίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους χωρητικοτήτων όλων των στοιχείων του συστήματος.

Τα συστήματα που περιλαμβάνονται στο σύστημα Industry 4.0 επιτρέπουν την ταχύτερη επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Ως αποτέλεσμα, είναι έγκυρο να πούμε ότι από το Enhanced < Traditional, η χωρητικότητα του ενισχυμένου συστήματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του παραδοσιακού. Η εκτίμηση της χωρητικότητας των καναλιών είναι σημαντική όταν λαμβάνεται υπόψη ο θόρυβος του καναλιού, καθώς ο θόρυβος σε ένα κανάλι αυξάνει την ποσότητα των μεταδιδόμενων πληροφοριών με πλαστό περιεχόμενο και, δεδομένης της συγκεκριμένης χωρητικότητας ενός καναλιού, μπορεί να μην μεταφέρει τις πληροφορίες. Από κατασκευαστική άποψη, τα πιθανά σφάλματα στα σχέδια σχεδιασμού των εξαρτημάτων μπορούν να θεωρηθούν ως θόρυβος.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία έρχεται να αποτελέσει βοηθητικό εργαλείο για την αξιολόγηση της ροής πληροφοριών του κλάδου 4.0. Το Industry 4.0 προτείνει την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών σε όλα τα επίπεδα της εταιρείας, με τη συμμετοχή πολλών ενδιαφερόμενων μερών και επηρεάζοντας διαφορετικά μέρη του κύκλου ζωής του προϊόντος. Εδώ παρουσιάζεται ένα προτεινόμενο πλαίσιο. Το πρώτο βήμα είναι η απεικόνιση του τρέχοντος συστήματος παραγωγής. Το δεύτερο βήμα είναι ο προσδιορισμός της τρέχουσας απόδοσης της εταιρείας ταξινομώντας καθένα από τα υποσυστήματα των επιπέδων επικοινωνίας και πληροφοριών και προσδιορίζοντας τις υπάρχουσες ροές πληροφοριών. Ως εκ τούτου, η τρέχουσα ετοιμότητα της ροής πληροφοριών Industry 4.0 θα μπορούσε να προσδιοριστεί μέσω των υπολογισμένων μετρήσεων. Το τρίτο βήμα είναι να προσδιοριστεί η απόδοση που θα πρέπει να ακολουθεί το σχέδιο υλοποίησης του Industry 4.0, λαμβάνοντας υπόψη τον υπό έρευνα κλάδο. Η ιδέα πίσω από το προτεινόμενο πλαίσιο είναι ότι με τη χρήση των αναπτυγμένων μετρήσεων για τη λήψη μιας τιμής «Πραγματικής» και «Στόχου» της ροής πληροφοριών του κλάδου 4.0, παρέχεται μια συγκριτική αξιολόγηση της κατάστασης. Ως εκ τούτου, στο τέταρτο βήμα, το κενό απόδοσης προσδιορίζεται ως απόσταση από τον υψηλότερο επιδόσεις.

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση έχει σημαντικό αντίκτυπο στις αλληλεπιδράσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία οφείλεται κυρίως στην εκθετική αύξηση των λογικών δεδομένων και στην ευρεία εξάπλωση των ψηφιοποιημένων διαδικασιών [40]. Να κατανοήσουν τον αντίκτυπο της υιοθέτησης και εκμετάλλευσης των τεχνολογιών Industry 4.0 στις αλυσίδες αξίας και στις αλυσίδες εφοδιασμού (SC).

Η επίδραση της εφαρμογής του Industry 4.0 στις αλυσίδες εφοδιασμού (SC) προσδιορίζεται ως εξής:

Ευκινησία και Προσαρμογή. Η εφαρμογή του Industry 4.0 επιτρέπει τον προγραμματισμό και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους οργανισμούς να είναι ευέλικτοι και

ευέλικτοι στην ανταπόκριση στις ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες. Για παράδειγμα, αντιδρώντας ταχύτερα στις αλλαγές στη ζήτηση, την προσφορά και τις τιμές, οι εταιρείες μπορούν να μειώσουν τους κύκλους προγραμματισμού και τις περιόδους παγώματος.

Μελλοντικά γεγονότα και τάσεις, όπως η συμπεριφορά των καταναλωτών, ο χρόνος παράδοσης και η βιομηχανική παραγωγή, μπορούν να προβλεφθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές επιχειρηματικής ανάλυσης. Η δρομολόγηση και η παρακολούθηση παράδοσης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν επίσης στις λειτουργίες logistics να είναι πιο ευέλικτες, αποτελεσματικές και ευέλικτες.

Ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Οι τεχνολογίες Industry 4.0 παρέχουν καλύτερη λήψη αποφάσεων παρέχοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, συνεπή και ακριβή. Ως αποτέλεσμα, τα συστήματα διαχείρισης απόδοσης επόμενης γενιάς θα βελτιώσουν την προβολή από άκρο σε άκρο σε όλη την αλυσίδα αξίας. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν τα πάντα, από βασικές μετρήσεις απόδοσης ανώτατου επιπέδου, όπως εξυπηρέτηση πελατών και εκπλήρωση παραγγελιών έως λεπτομερή δεδομένα διεργασιών, όπως μια θέση φορτηγού στο δίκτυο logistics. Η αυτοματοποίηση των φυσικών εργασιών, του σχεδιασμού, του ελέγχου και των διαδικασιών ανταλλαγής πληροφοριών βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι αυτοματοποιημένες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται από μεγάλο αριθμό επιχειρήσεων, ιδιαίτερα στα logistics τους

επιχειρήσεις. Οι εταιρείες επιλέγουν τη βελτιστοποίηση μεταφοράς μεταξύ εταιρειών για να βελτιστοποιήσουν τη χρήση των φορτηγών και να ενισχύσουν την ευελιξία στις μεταφορές συνεργαζόμενοι και μοιράζονται τις εγκαταστάσεις. Ολόκληρος ο σχεδιασμός του δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας βελτιστοποιείται συνεχώς για να διασφαλίζεται ότι ταιριάζει απόλυτα στις επιχειρηματικές ανάγκες.

Conceptual Model

Η μελέτη της πολυπλοκότητας προκύπτει από την προσπάθεια εξήγησης και πρόβλεψης της συμπεριφοράς ενός συστήματος μέσω επίσημων μοντέλων. Τα μοντέλα περιγράφουν ένα σύνολο μεταβλητών εισόδου που μετατρέπονται σε μια μεταβλητή ή σε ένα σύνολο μεταβλητών εξόδου, μέσω ενός συνόλου εσωτερικών διεργασιών προκειμένου να προβλέψουν τη συμπεριφορά ενός συστήματος. Τα στοιχεία ενός κατασκευαστικού συστήματος περιλαμβάνουν μηχανές, ανθρώπους, υλικά και πληροφορίες. Οποιοδήποτε σύστημα παραγωγής αποτελείται από οντότητες εισροών όπως πρώτες ύλες, πληροφορίες και ενέργεια και στη συνέχεια από οντότητες παραγωγής που σχετίζονται με τελικά προϊόντα, απόβλητα και πληροφορίες. Η μέτρηση της πολυπλοκότητας στα συστήματα παραγωγής είναι μια μέτρηση

που χρησιμεύει ως παράμετρος για τη δημιουργία σχεδίων βελτίωσης και με τη σειρά της καθορίζει ότι τα συστήματα με υψηλή πολυπλοκότητα παρουσιάζουν περισσότερα προβλήματα από τα συστήματα με χαμηλή πολυπλοκότητα. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η μέτρηση της πολυπλοκότητας στα συστήματα κατασκευής επιτρέπει τη διερεύνηση και σύγκριση διαφορετικών τύπων διαμορφώσεων, δομών και σχεδίων, την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των συστημάτων και τη διευκόλυνση της λήψης ακριβών αποφάσεων. Η θεωρία της πληροφορίας, μεταξύ άλλων, είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους τρόπους μέτρησης της πολυπλοκότητας.

Η κατασκευή ενός εννοιολογικού μοντέλου σάς επιτρέπει να έχετε ένα ευρύ όραμα για το τι θέλετε να μοντελοποιήσετε και παρέχει μεγαλύτερη κατανόηση του συστήματος που μελετήθηκε. Υπό αυτή την έννοια, υπό το επιχειρηματικό πλαίσιο, διαπιστώνεται ότι για τον σχεδιασμό τους είναι απαραίτητο να εμπλέκονται οι συμμετέχοντες παράγοντες και οι δεσμευμένοι τομείς με τρόπο που να διευκολύνει την αναπαράσταση, την κατανόησή τους και την επακόλουθη ανάλυσή τους. Ένα εννοιολογικό μοντέλο θα πρέπει να περιλαμβάνει τις αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των στοιχείων που το αποτελούν, λαμβάνοντας υπόψη τις ροές πληροφοριών, εγγράφων και πόρων. Υπό αυτή την έννοια, ένα εννοιολογικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μοντέλο αναφοράς για την κατασκευή νέων συγκεκριμένων μοντέλων. Στην πραγματικότητα, οι Hernández et al. θεωρούν το εννοιολογικό μοντέλο ως συμπλήρωμα και υποστήριξη για τη μαθηματική μοντελοποίηση. Από την άποψη των τύπων πολυπλοκότητας στα συστήματα παραγωγής, τα εννοιολογικά μοντέλα ξεχωρίζουν (i) Καθολικού τύπου με δομή που επιτρέπει την εκπλήρωση των προτεινόμενων στόχων από επιθετικά σενάρια, ως αποτέλεσμα ενός μοντέλου που επιτρέπει τη μέτρηση και την ανάλυση τον αρνητικό αντίκτυπο της πολυπλοκότητας στα συστήματα παραγωγής.

Ταυτόχρονα, ένα μοντέλο που θα καθιστούσε δυνατό τον προσδιορισμό της σημασίας των παραγόντων που επηρεάζουν τους δείκτες παραγωγής είναι σημαντικό. (ii) Στατικός τύπος για τον καθορισμό μιας μεθοδολογικής δομής για τις γραμμές συναρμολόγησης στις αλυσίδες εφοδιασμού και τη δημιουργία μοντέλου για τη μέτρηση της πολυπλοκότητας της παραγωγής από τη συγκεκριμένη σκοπιά ανά σταθμό εργασίας. (iii) Δυναμικού τύπου να αναπτυχθεί ένα μοντέλο που επιτρέπει μεγαλύτερη κατανόηση μεταξύ των σχέσεων των παραγόντων σε μια αλυσίδα, ξεκινώντας από τη μέτρηση της πολυπλοκότητας σε περιβάλλοντα που είναι δύσκολο να προσαρμοστούν. Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η μοντελοποίηση του συστήματος απαιτεί λεπτομερή δεδομένα, τα οποία δημιουργούν μια ποικιλία πληροφοριών που καθιστούν δύσκολη την κατανόηση [58]. Έτσι, ένα εννοιολογικό μοντέλο για τη μοντελοποίηση των συστημάτων παραγωγής και των αλυσίδων εφοδιασμού πρέπει να περιλαμβάνει μια σειρά

σχετικών στοιχείων που βοηθούν στη δημιουργία ενός μοντέλου όπως ο πραγματικός κόσμος. Ως εκ τούτου, θεωρείται θεμελιώδες ότι διαφορετικές προοπτικές θεωρούνται λειτουργικές, ενημερωτικές και αποφάσεις.

Στην εργασία, απεικονίζεται η κατασκευή του εννοιολογικού μοντέλου με το framework για τη μέτρηση της πολυπλοκότητας στα συστήματα παραγωγής.

Αρχικά, είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί ένα παραγωγικό σύστημα και να εντοπιστούν τα στοιχεία που σχετίζονται με το εργοστάσιο, τη διαδικασία, το προϊόν, τα μέρη και τον προγραμματισμό.

Ως εκ τούτου, προσδιορίζεται ένα πρώτο σημείο όπου υπάρχουν πολλές μεταβλητές όπως η προέλευση, η ποσότητα, η ποικιλία, ο χρόνος και οι σχέσεις συστήματος. Ένα δεύτερο σημείο που καθιερώνει ότι για τη μέτρηση της πολυπλοκότητας στα συστήματα παραγωγής, υπάρχουν ποιοτικές μέθοδοι που εξαρτώνται από την αντίληψη των ατόμων που συμμετέχουν στη διαδικασία και ποσοτικές μέθοδοι που βασίζονται σε δεδομένα, επαλήθευση και ανάλυση. Από αυτό, εξετάζονται οι εντροπικές μέθοδοι που βασίζονται σε αναλυτικές εξισώσεις για τη μέτρησή του, διευκολύνοντας την εντροπική ανάλυση σε διαφορετικούς τύπους σεναρίων και παρέχοντας μια ποσοτική βάση για τη λήψη αποφάσεων.

Το εννοιολογικό μοντέλο πληροφοριών αναφέρεται στην αναπαράσταση πληροφοριών σε ένα σύστημα παραγωγής. Το όραμα πληροφόρησης θα πρέπει να υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων με βάση τη ροή των δεδομένων που απαιτούνται και τη ροή των δεδομένων που παράγονται.

Για την εντροπική μέθοδο οι πληροφορίες προέρχονται από τη διαδικασία, από τον προγραμματισμό, ο οποίος περιέχει πληροφορίες που συλλέγονται από τους χρόνους εγκατάστασης κάθε λειτουργίας σε κάθε σταθμό εργασίας, τους χρόνους παραγωγής και τους χρόνους μη παραγωγής. Κατά συνέπεια, το αποτέλεσμα θα δίνεται σε μονάδες δυαδικών ψηφίων μέτρησης, το οποίο αντιπροσωπεύει την ποσότητα του Εννοιολογικού Μοντέλου για τη Μέτρηση της Πολυπλοκότητας στην Κατασκευή των πληροφοριών που διαχειρίζεται ένας δεδομένος πόρος και χρησιμεύει ως βάση για σύγκριση καθώς αυξάνονται τα στοιχεία.

Δεδομένου του γεγονότος ότι στα συστήματα παραγωγής Industry 4.0 η πολυπλοκότητα αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό, υπάρχει ανάγκη εισαγωγής νέων μετρήσεων πολυπλοκότητας που θα καλύπτουν την ποσοτικοποίηση της πολυπλοκότητας των τεχνολογιών παραδειγμάτων Industry 4.0. Έτσι, παρουσιάζονται νέες μετρήσεις ενισχυμένης πολυπλοκότητας για να συμπεριληφθούν σε ένα συνθετικό πλαίσιο που ισχύει στο σύστημα κατασκευής Industry 4.0. Συνθετικά, η νέα μέτρηση, σε αντίθεση με την υπάρχουσα, λαμβάνει υπόψη τις ακόλουθες πτυχές: (i) υπολογίζει τα σφάλματα από τις απόλυτες ποσοστιαίες αποκλίσεις, (ii) καθορίζει

σαφώς από ποσοτικές μεθόδους τις καταστάσεις υπό έλεγχο και εκτός ελέγχου, (iii) υπολογίζει την απόλυτη ποσοστιαία απόκλιση χωρίς πρόβλημα όταν υπάρχουν ανισορροπίες στα σφάλματα, (iv) υπολογίζει τα βάρη (W_{ij}), αποδίδοντας μεγαλύτερο βάρος στο διάστημα που βρίσκεται πιο μακριά από την κατάσταση ελέγχου.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ πραγματικού και προγραμματισμένου, τόσο μεγαλύτερη είναι η πολυπλοκότητα του συστήματος, η οποία θα αντανakλάται στο λειτουργικό κόστος και σε άλλους δείκτες απόδοσης. Με βάση τα παραπάνω, συνιστάται η εφαρμογή της νέας εντροπικής μετρικής.

Δεδομένης της προηγμένης πολυπλοκότητας του Industry 4.0, διατυπώνονται νέες εξισώσεις, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις νέες μετρικές που προτείνονται για την εντροπική μέτρηση της πολυπλοκότητας στα συστήματα παραγωγής, επιλύοντας τις προηγούμενες ελλείψεις μέσω της συνάθροισης βαρών (W_{ij}) ανά καταστάσεις και επίπεδα.

Conclusion

Η παρούσα διατριβή διερευνά την πολυπλοκότητα των συστημάτων κατασκευής, προς το Industry 4.0. Στην εποχή των Συστημάτων Εξυπηρέτησης Προϊόντων και της μαζικής εξατομίκευσης, παρουσιάζεται η μεθοδολογία σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων καθώς και η αξιολόγησή τους με χρήση Βασικών Δεικτών Απόδοσης. Λαμβάνοντας υπόψη τους κύριους παράγοντες που κάνουν το σύστημα παραγωγής πιο περίπλοκο, αναλύονται ποσοτικές μετρήσεις, στο περιβάλλον του Industry 4.0, με διανυσματική ανάλυση ή αργότερα χρησιμοποιώντας τη Θεωρία Πληροφοριών και την Εντροπία του Shannon. Η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού PSS πρέπει να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία βασικών δεικτών απόδοσης, έτσι ώστε η ποσοτικοποίηση της πολυπλοκότητας να μπορεί να επηρεάσει τη λήψη αποφάσεων.

Καθορίζοντας μετρήσεις πολυπλοκότητας Χωρητικότητα και Περιεχόμενο Πληροφοριών του συστήματος κατασκευής Industry 4.0, η πολυπλοκότητα υπολογίζεται αποτελεσματικά και μοντελοποιείται, δημιουργώντας έτσι ένα πλαίσιο για τη μετάβαση των γραμμών παραγωγής από το παραδοσιακό στο παράδειγμα Industry 4.0.

Χρησιμοποιώντας το πιθανοτικό μοντέλο και την Εντροπία του Shannon, πραγματοποιείται αναλυτικός υπολογισμός της πολυπλοκότητας και σε συνδυασμό με τον υπολογισμό του χάσματος απόδοσης, το παρουσιαζόμενο πλαίσιο δίνει τη δυνατότητα στις εταιρείες να αποφασίσουν εάν και πώς θα προχωρήσουν στην ψηφιοποίηση των συστημάτων παραγωγής τους. Παρόμοια προσέγγιση εισάγεται επίσης για τις αλυσίδες εφοδιασμού. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, ένα εννοιολογικό μοντέλο για τη συνολική πολυπλοκότητα του συστήματος

παραγωγής αναλύεται από φυσική, λειτουργική και πληροφοριακή πτυχή, έχοντας πάντα υπόψη τις νέες τεχνολογίες παροχής δυνατοτήτων του Industry 4.0.

Τέλος, σε μελλοντική εργασία, θα διερευνηθούν πρόσθετα συστήματα και αλγόριθμοι που αντιμετωπίζουν την αυξημένη πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος Industry 4.0 με στόχο την περαιτέρω υποστήριξη και την ενδυνάμωση των εταιρειών να κινηθούν προς το παράδειγμα Industry 4.0.

Πίνακας Ορολογίας

Manufacturing Systems	Συστήματα Παραγωγής
Product Service Systems	Συστήματα Προϊόντων Υπηρεσιών
Smart Factories	Έξυπνα Εργοστάσια
Industry 4.0	4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση
Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
Additive Manufacturing	Παραγωγή Επιπέδων
Artificial Intelligence	Τεχνητή Νοημοσύνη
Digital Twin	Ψηφιακό Δύδιμο
Horizontal/Vertical Integration	Οριζόντια/Κάθετη Ενωμάτωση
Information Theory	Θεωρία της Πληροφορίας
Shannon`s Entropy	Εντροπία του Shannon
Information Content	Περιεχόμενο της Πληροφορίας
Channel Capacity	Χωρητικότητα Καναλιού
Key Performance Indicators	Κύριοι Δείκτες Απόδοσης
Performance Gap	Κενό Απόδοσης