



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ Μηχανικών**

**ΤΜΗΜΑ Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**

**Διπλωματική Εργασία**

**Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών**

**Τίτλος εργασίας**

**Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ**

**ΜΠΕΚΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΑΜ: 80697823**

**Επιβλέπων**

**ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL Engineering**

**DEPARTMENT Industrial Design and Production Engineering**

**Diploma Thesis**

**Automation of Production and Services**

**Title**

**MODERN INDUSTRIAL REALITY AND MACHINE LEARNING**

**BEKOS ANDREAS**

**Registration Number: 80697823**

**Supervisor**

**DROSOS CHRISTOS**

**A  
t  
h  
e  
n  
s  
o  
c**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ Μηχανικών**

**ΤΜΗΜΑ Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**

**Τίτλος εργασίας**

**Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	ΕΔΙΠ Α	
2	ΓΚΑΝΕΤΣΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΛΑΣΚΑΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Μπέκος Ανδρέας** του Ηλία, με αριθμό μητρώου του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

*Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Ο/Η Δηλών/ούσα  
**Μπέκος Ανδρέας**



**Όνοματεπώνυμο /Ιδιότητα**  
(Υπογραφή)

**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**

**Πίνακας περιεχομένων**



Περιπτώσεις σύγχρονων βιομηχανικών εταιριών που χρησιμοποιούν

ε

φ

α Α

ρ Βη

σ Βα

π Βφ

δ Ββ

κ Βα

ε Βδ

ζ Βκ

ρ Βη

α Βκ

η Βυ

θ Βκ

φ Βκ

ψ Βο

χ Βο

ρ Β

κ Β

η Β

ς Β

τ Β

μ ό

ά τ

θ ο

η π

σ ο

η λ

ς

.....

.....

.....

## Περίληψη

Ο τεχνολογικός εκσυγχρονισμός της βιομηχανικής παραγωγής δημιουργεί όλο και πιο πολύπλοκες, δυναμικές και ενίοτε χαοτικές συνθήκες στη σύγχρονη καθημερινότητα. Ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα που καλείται να επιλύσει ο τομέας της βιομηχανικής παραγωγής είναι να παρέχει προϊόντα και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, για το σκοπό αυτό κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλα τα διαθέσιμα τεχνολογικά μέσα, όπως η μηχανική μάθηση. Όσο πιο σύγχρονη καινοτομία στον τομέα της παραγωγής, η μηχανική μάθηση θεωρείται η λύση σε πολλά ζητήματα σχετικά με την σύγχρονη βιομηχανία. Το συγκεκριμένο θέμα είχε απασχολήσει ιδιαίτερα πολλούς επιστήμονες και συνεχίζει να μονοπωλεί το ερευνητικό ενδιαφέρον αμείωτα. Ωστόσο, ως επιστημονικό πεδίο και ερευνητικό αντικείμενο είναι πολύ ευρεία, γεγονός που προκαλεί μεγάλη σύγχυση και προβληματισμό ενω ταυτόχρονα συνιστά. Ωστόσο, ο τομέας του machine learning είναι πολύ ευρύς και ακόμη και συγκεχυμένος, γεγονός που αποτελεί πρόκληση και εμπόδιο στην ευρεία εφαρμογή του. Η παρούσα εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει τις διαθέσιμες τεχνικές μηχανικής μάθησης και να αναδείξει βασικές πτυχές αυτού του μάλλον περίπλοκου τομέα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα δυνητικά οφέλη από την αξιοποίηση της μηχανικής μάθησης, καθώς και σε παραδείγματα επιτυχημένων εφαρμογών στην βιομηχανία.

**Λέξεις-κλειδιά:** μηχανική μάθηση, βαθιά μάθηση, νευρωνικά δίκτυα, αλγόριθμοι, έξυπνη βιομηχανία.

## Abstract

The technological modernisation of industrial production creates increasingly complex, dynamic and sometimes chaotic conditions in modern everyday life. One of the biggest issues that the industrial production sector has to solve is to provide high quality products and services, for this purpose it is necessary to use all available technological means, such as machine learning. As more modern innovation in the production sector, machine learning is considered the solution to many issues related to modern industry. This topic had been of particular interest to many scientists and continues to monopolize research interest unabatedly. However, as a scientific field and research topic it is very broad, which causes a lot of confusion and concern while at the same time constituting. However, the field of machine learning is very broad and even confusing, which is a challenge and an obstacle to its wide application. This paper attempts to present the available machine learning techniques and highlight key aspects of this rather complex field. Particular emphasis is placed on the potential benefits of exploiting machine learning, as well as examples of successful applications in industry.

**Keywords:** machine learning, deep learning, neural networks, algorithms, algorithms, smart industry.

## Εισαγωγή

Η μηχανική μάθηση έχει αναδειχθεί σε μια μετασχηματιστική τεχνολογία στο σύγχρονο βιομηχανικό τοπίο. Με την ικανότητά της να εξάγει πολύτιμες πληροφορίες από τεράστιες ποσότητες δεδομένων, η μηχανική μάθηση φέρνει επανάσταση σε διάφορους τομείς, όπως η μεταποίηση, η υγειονομική περίθαλψη, η χρηματοδότηση και άλλοι. Η ενσωμάτωση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στις βιομηχανικές διαδικασίες επιτρέπει στους οργανισμούς να αξιοποιούν την καθοδηγούμενη από δεδομένα νοημοσύνη για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών, την ενίσχυση της αποδοτικότητας και τη λήψη πιο τεκμηριωμένων αποφάσεων.

Η διάδοση των ψηφιακών τεχνολογιών έχει οδηγήσει σε εκθετική αύξηση του όγκου, της ταχύτητας και της ποικιλίας των δεδομένων που παράγονται από τα βιομηχανικά συστήματα. Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων και χειροκίνητης λήψης αποφάσεων δυσκολεύονται να συμβαδίσουν με την πολυπλοκότητα και την κλίμακα αυτών των συνόλων δεδομένων. Εδώ είναι που μπαίνει στο παιχνίδι η μηχανική μάθηση. Αξιοποιώντας αλγορίθμους και στατιστικά μοντέλα, η μηχανική μάθηση επιτρέπει στους υπολογιστές να μαθαίνουν από τα δεδομένα, να εντοπίζουν μοτίβα και να κάνουν ακριβείς προβλέψεις ή αποφάσεις χωρίς ρητό προγραμματισμό.

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν αποδειχθεί ικανοί στο χειρισμό μεγάλων και διαφορετικών συνόλων δεδομένων, επιτρέποντας στους οργανισμούς να αποκαλύπτουν κρυμμένα μοτίβα, τάσεις και συσχετίσεις που μπορεί να μην είναι εμφανείς στους ανθρώπινους αναλυτές. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να εντοπίζουν πολύπλοκες σχέσεις εντός των δεδομένων, να εντοπίζουν ανωμαλίες ή ακραίες τιμές και να προβλέπουν μελλοντικά αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια. Αυτή η προσέγγιση με γνώμονα τα δεδομένα δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τα δεδομένα, να μετριάζουν τους κινδύνους, να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες και να εκμεταλλεύονται ευκαιρίες που προηγουμένως ήταν άπιαστες.

Στη μεταποιητική βιομηχανία, η μηχανική μάθηση οδηγεί την έννοια των "έξυπνων εργοστασίων" ή της Βιομηχανίας 4.0. Με την ενσωμάτωση αισθητήρων, συσκευών IoT και ανάλυσης δεδομένων, οι κατασκευαστές μπορούν να συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από γραμμές παραγωγής, αλυσίδες εφοδιασμού και εξοπλισμό. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν στη συνέχεια να αναλύσουν αυτά τα δεδομένα για να εντοπίσουν πιθανά σημεία συμφοράς, να βελτιστοποιήσουν



τα χρονοδιαγράμματα παραγωγής και να προβλέψουν τις ανάγκες συντήρησης. Αυτή η προσέγγιση προληπτικής συντήρησης συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας, στη μείωση του κόστους και στη διασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας των βιομηχανικών μηχανημάτων.

Στην υγειονομική περίθαλψη, η μηχανική μάθηση φέρνει επανάσταση στη φροντίδα των ασθενών και την ιατρική έρευνα. Αναλύοντας αρχεία ασθενών, ιατρικές εικόνες και γενετικά δεδομένα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να βοηθήσουν στη διάγνωση ασθενειών, στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της θεραπείας και στην ανάπτυξη εξατομικευμένων σχεδίων θεραπείας. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στην ανακάλυψη και ανάπτυξη φαρμάκων, επιταχύνοντας τον εντοπισμό πιθανών υποψήφιων φαρμάκων και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα των κλινικών δοκιμών.

Ο χρηματοπιστωτικός τομέας αξιοποιεί επίσης τη μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της αξιολόγησης κινδύνων, της ανίχνευσης απάτης και της εξυπηρέτησης πελατών. Αναλύοντας τεράστιες ποσότητες συναλλακτικών δεδομένων, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα ενδεικτικά δόλιων δραστηριοτήτων, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση και πρόληψη. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να αναλύουν τη συμπεριφορά και τις προτιμήσεις των πελατών για την παροχή εξατομικευμένων συστάσεων, τον εξορθολογισμό των διαδικασιών έγκρισης δανείων και τη βελτιστοποίηση των επενδυτικών στρατηγικών.

Για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη της μηχανικής μάθησης στη βιομηχανία, υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες τεχνικές και πλαίσια, όπως η μάθηση με επίβλεψη, η μάθηση χωρίς επίβλεψη και η ενισχυτική μάθηση. Αυτές οι προσεγγίσεις επιτρέπουν στα μοντέλα να εκπαιδεύονται σε ιστορικά δεδομένα, να ταξινομούν νέα δεδομένα, να ομαδοποιούν παρόμοιες περιπτώσεις και να μαθαίνουν ακόμη και από τις δικές τους αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον.

# εμελιώδη ζητήματα της Μηχανικής Μάθησης

## 1.1. Επεξήγηση εννοιών

Η μηχανική μάθηση (ML) είναι μια επιμέρους περιοχή της επιστήμης των υπολογιστών, η οποία εξελίσσεται από τη μάθηση της ταξινόμησης δεδομένων με βάση την κατανόηση που έχει αποκτηθεί, καθώς και από τη μάθηση που έχει αποκτηθεί με βάση τις υπολογιστικές αρχές της τεχνητής νοημοσύνης (AI). Με απλά λόγια, η μηχανική μάθηση είναι η εκπαίδευση των υπολογιστών να μαθαίνουν αυτόματα μέσω των εισροών, χωρίς να είναι ρητά προγραμματισμένοι. Ο όρος μάθηση εξελίχθηκε από τους ανθρώπους και τα ζώα (Davy Cielen & Meysman, 2016· Dönmez, 2023).

Η ζωική και η μηχανική μάθηση έχουν αρκετές αντιστοιχίες. Πράγματι, πολλές μέθοδοι στη μηχανική μάθηση προέρχονται από τη σήμανση των αρχών της ζωικής και της ανθρώπινης μάθησης μέσω υπολογιστικών μοντέλων. Για παράδειγμα, η εξοικείωση είναι μια βασική επιστημονική συμπεριφορά κατά την οποία ένα ζώο σταδιακά σταματά να αντιδρά σε ένα επαναλαμβανόμενο ερέθισμα. Οι σκύλοι θεωρούνται τέλειο παράδειγμα για τη μάθηση των ζώων, όπου είναι σε θέση να μαθαίνουν ουσιαστικά, αν εκπαιδευτούν να εκτελούν διάφορες δραστηριότητες, όπως να γυρίζουν, να κάθονται και να μαζεύουν τα πράγματα κ.λπ (Wang & Raj, 2017).

Όσον αφορά το πρώτο παράδειγμα αποτελεσματικής μάθησης, υπάρχουν λίγα παραδείγματα που θα μπορούσαν να καταδείξουν τη μηχανική μάθηση, την οποία χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή στη σύγχρονη εποχή. Εικονικοί προσωπικοί βοηθοί, προβλέψεις κυκλοφορίας με χρήση πλοήγησης GPS, επιτήρηση πολλαπλών καμερών με τεχνητή νοημοσύνη για την ανίχνευση εγκλημάτων ή ασυνήθιστης συμπεριφοράς ανθρώπων, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης χρησιμοποιούν την μηχανική μάθηση για την αναγνώριση προσώπων και την εξατομίκευση της ροής ειδήσεων, τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των μηχανών αναζήτησης, το φιλτράρισμα ανεπιθύμητων μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου όπου μια μηχανή απομνημονεύει όλα τα προηγούμενα ανεπιθύμητα μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που έχουν επισημανθεί από τον χρήστη, και πολλές άλλες εφαρμογές όπου η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται ευρέως (Bell, 2022).

Μέσω όλων αυτών των εφαρμογών, γίνεται κατανοητό ότι η ενσωμάτωση προηγούμενης γνώσης θα προτιμήσει τον μηχανισμό μάθησης. Η μηχανική μάθηση είναι επίσης στενά συνδεδεμένη με την υπολογιστική στατιστική, όπου εξοικειώνεται με τη δημιουργία προβλέψεων. Οποιοσδήποτε μπορεί να αναρωτηθεί "γιατί μια μηχανή πρέπει να μάθει κάτι;". Υπάρχουν μερικοί στόχοι για τους οποίους η μηχανική μάθηση

είναι απαραίτητη. Προφανώς μόλις αναφέραμε ότι η επίτευξη της μάθησης στις μηχανές μπορεί να μας βοηθήσει να δούμε πώς μαθαίνουν τα πλάσματα και οι άνθρωποι. Ωστόσο, υπάρχουν μερικές βασικές ιδιότητες της μηχανικής που παραμένουν σε ισχύ είναι οι εξής (Brunton, Noack & Koumoutsakos, 2020· Janiesch, C

Z Ορισμένες δραστηριότητες δεν μπορούν να εξηγηθούν με σαφήνεια χωρίς παράδειγμα- π.χ. μπορεί να έχουμε τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε σύνολα εισροών/εκροών, αλλά όχι μια σύντομη συσχέτιση μεταξύ εισροών και προτιμώμενων εκροών.

e Είναι πιθανό να υπάρχουν αφανείς σχέσεις μεταξύ εισόδων και εξόδων μεταξύ τεράστιων φορτίων δεδομένων. Οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης μπορούν επανειλημμένα να χρησιμοποιηθούν για την αποκάλυψη αυτών των σχέσεων.

H Πότε θέλουμε μηχανική μάθηση αντί να προγραμματίζουμε αμέσως τους υπολογιστές μας για να εκτελέσουν μια εργασία; Δύο χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου προβλήματος μπορεί να απαιτούν τη χρήση προγραμμάτων που μαθαίνουν και αναπτύσσονται με βάση την εμπειρία/κατανόησή τους, δηλαδή η πολυπλοκότητα του προβλήματος και η επιθυμία για προσαρμοστικότητα. Υπάρχουν εργασίες που είναι πολύπλοκες για να προγραμματιστούν, για παράδειγμα ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η οδήγηση, η κατανόηση εικόνων και η αναγνώριση φωνής ενός ήτμου κ.λπ., όπου η τέχνη της μηχανικής μάθησης λειτουργεί με βάση την αρχή της μάθησης μέσω της εμπειρίας που θα μπορούσε να δώσει λογικά αποτελέσματα (Mohri,

Ένα περιοριστικό χαρακτηριστικό των αυτοματοποιημένων εργαλείων είναι η ανελαστικότητά τους, δηλαδή από τη στιγμή που η κωδικοποίηση έχει διατυπωθεί και εγκατασταθεί, παραμένει αμετάβλητη. Παρόλα αυτά, πολλές εργασίες αλλάζουν με την πάροδο της περιόδου ή από τον ένα τελικό χρήστη στον άλλο. Για τέτοια προβλήματα, η αξιοποίηση της μηχανικής μάθησης η οποία διαθέτει κωδικοποίηση που αποκωδικοποιεί το νωρίτερα γραμμένο πρόγραμμα προσαρμόζοντας ένα σταθερό πρόγραμμα για να ελέγξει τις παραλλαγές μεταξύ των στυλ διαφορετικών χρηστών

Η βαθιά μάθηση είναι μια από τις γενικές τεχνικές που σχετίζονται με την τεχνητή νοημοσύνη (AI) της επιβλεπόμενης ή μη επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης δεδομένων που είναι αδόμητα και μιμούνται τον χειρισμό δεδομένων από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Πολλά από τα μοντέλα βαθιάς μάθησης κατασκευάζονται με τη

χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων (artificial neural network, ANN). Είναι αλλιώς γνωστό ως βαθύ νευρωνικό δίκτυο. Η βαθιά μάθηση είναι μια πορεία αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιεί πολλαπλά στρώματα σε ένα δίκτυο για την πρόβλεψη της συσχέτισης από τις πραγματικές εισόδους με τις παραμέτρους στόχου/εξόδου που επιτρέπουν την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης σε διάφορες πρακτικές εφαρμογές (LeCun, Bengio & Hinton, 2015).

Οι αρχιτεκτονικές της βαθιάς μάθησης πρέπει να κατασκευάζονται στρώμα προς στρώμα, γεγονός που βοηθά στο διαχωρισμό των εννοιών και στην επιλογή των χαρακτηριστικών που ενισχύουν την απόδοση. Ορισμένες από τις αρχιτεκτονικές είναι τα βαθιά δίκτυα πεποιθήσεων ("Deep Belief Networks", DBN), τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα ("Recurrent Neural Networks", RNN), τα νευρωνικά δίκτυα συνένωσης ("Convolutional Neural Networks", CNN) και τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα ("Deep Neural Networks", DNN). Ο όρος "βαθιά" αφορά τον αριθμό των επιπέδων που μετασχηματίζουν τα δεδομένα από τα ακατέργαστα δεδομένα (δεδομένα εισόδου) στα δεδομένα στόχου (δεδομένα εξόδου) χρησιμοποιώντας το βάθος του μονοπατιού ανάθεσης πίστωσης ("credit assignment path", CAP) το οποίο ορίζει τη σχέση μεταξύ των ακατέργαστων δεδομένων και των δεδομένων στόχου. Για παράδειγμα, το βάθος του CAP στο νευρωνικό δίκτυο τροφοδότησης είναι μόνο ένα επιπλέον του αριθμού των κρυφών στρωμάτων, ενώ στο CNN είναι απλώς απεριόριστο, δεδομένου ότι ένα σήμα μπορεί να περάσει από ένα στρώμα περισσότερες από μία φορές (Buduma, M

a Οι περισσότεροι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης είναι δομημένοι ως προβλήματα μάθησης χωρίς επίβλεψη, όπου οι εν λόγω αλγόριθμοι χρησιμοποιούν τα μη επισημασμένα δεδομένα αντί της μάθησης με επίβλεψη. Το καλύτερο παράδειγμα μιας μη επιβλεπόμενης εκπαιδευμένης βαθιάς δομής είναι το βαθύ δίκτυο πεποιθήσεων w

A Από το 2012 μέχρι σήμερα, η βαθιά μάθηση σε ANN έχει εξελιχθεί ευρέως από διάφορες εργασίες διαφόρων ερευνητών, όπως η πρόβλεψη του στόχου του βιομοριακού φαρμάκου, η ανίχνευση των θανατηφόρων επιδράσεων των περιβαλλοντικών χημικών ουσιών και των οικιακών αγαθών, η αναγνώριση εικόνας και αντικειμένων, η όραση υπολογιστών, η αναγνώριση ομιλίας και η ταξινόμηση εικόνων με τη χρήση μεθόδων CNN και μακράς βραχυπρόθεσμης μνήμης ("long short S

á

m

e

k

u

Ένα ANN με πολλά επίπεδα μεταξύ των επιπέδων εισόδου και εξόδου ονομάζεται βαθύ νευρωνικό δίκτυο (DNN). Οι περίπλοκες μη γραμμικές σχέσεις μπορούν να μοντελοποιηθούν με τη χρήση DNN. Η λειτουργία του DNN είναι πολύ παρόμοια με το ANN που περιγράφηκε λεπτομερώς στις προηγούμενες συνεδρίες, εκτός από το ότι το DNN έχει "n" αριθμό κρυφών στρωμάτων μεταξύ των στρωμάτων εισόδου και εξόδου. Για παράδειγμα, στο σκάκι με υπολογιστή, η εκμάθηση διαφορετικών κινήσεων ή τακτικών μπορεί να μαθευτεί από έναν υπολογιστή από διάφορους ανθρώπους και το ίδιο μπορεί να αποθηκευτεί στη βάση δεδομένων του και αυτές οι τακτικές καθορίζονται από διάφορους αλγορίθμους και γι' αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως βαθύ νευρωνικό δίκτυο όπου η εκμάθηση είναι βαθύτερη όπου το ANN δεν είναι μια ευφάνταστη μέθοδος όπου μπορεί να βγάλει ένα μόνο αποτέλεσμα ενώ το DNN θα είναι σε θέση να επιλύει τα ζητήματα καθολικά και μπορεί να προβλέψει ή να συμπεράνει με βάση την είσοδο και την επιθυμητή έξοδο. Παρόμοια με το ANN, το DNN έχει επίσης δύο σημαντικά προβλήματα: τον υπολογιστικό χρόνο και την υπερπροσαρμογή αν δεν εκπαιδευτεί διεξοδικά (Huang et al., 2015· Prajapati

Ένα νευρωνικό δίκτυο στο οποίο τα δεδομένα κατευθύνονται με οποιονδήποτε τρόπο κατηγοριοποιείται ως επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (RNN), ένα τμήμα των ANN στο οποίο οι κομβικές συνδέσεις δημιουργούν ένα εστιασμένο γράφημα δίπλα σε μια προσωρινή διάταξη που δείχνει μια προσωρινή ζωντανή απόδοση και το RNN χρησιμοποιείται σε μια εφαρμογή όπως η μοντελοποίηση της γλώσσας. Συγκεκριμένα, ένας ενεργός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι η μακρά βραχυπρόθεσμη μνήμη. Ένα νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιείται σε εφαρμογή όρασης υπολογιστών για την αξιολόγηση εικονογραφικών εικόνων είναι τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα συνελίξεων (CNN), τα οποία βασικά εξαρτώνται από την κοινή αρχιτεκτονική και τα χαρακτηριστικά της συνεχούς μετάφρασης και χρησιμοποιούνται επίσης για την αναγνώριση αυτόματης ομιλίας με τη μοντελοποίηση καλής ακουστικής (Prajapati & Tiwari, 2017).

Τα CNN είναι γενικά είδη πολυεπίπεδων perceptrons που συνήθως αποτελούν πλήρως συνδεδεμένα δίκτυα στα οποία κάθε νευρώνας σε ένα επίπεδο συνδέεται με όλους τους νευρώνες στο επόμενο επίπεδο. Αυτό οδηγεί σε μια πιθανότητα υπερπροσαρμογής των δεδομένων, η οποία μπορεί να διευθετηθεί με τη συμπερίληψη κάποιας μορφής μεθόδου μέτρησης βάρους στη λειτουργική απώλεια. Δεν είναι τόσο ακραίο λόγω της συνδεσιμότητας πολύπλοκων μοτίβων με μικροσκοπικά και

ευκολότερα μοτίβα σε διάφορες προσεγγίσεις κανονικοποίησης. Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές στις οποίες αξιοποιούνται οι έννοιες της βαθιάς μάθησης. Αυτές είναι η ανακάλυψη φαρμάκων και η τοξικολογία, η βιοπληροφορική, η διαχείριση πελατειακών σχέσεων, η αναγνώριση ηλεκτρομυογραφίας (EMG) και εικόνων, η επεξεργασία της φυσικής γλώσσας και των οπτικών τεχνών, η διαφήμιση μέσω κινητών τηλεφώνων, οι στρατιωτικές εφαρμογές και η ανίχνευση οικονομικών απάτης κ.λπ

### ασικές εφαρμογές της μηχανικής μάθησης εχνητή νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη (TN) δηλώνει την αντιγραφή της ανθρώπινης νοημοσύνης σε μηχανές που είναι κωδικοποιημένες για να μιμούνται τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο όρος μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε κάθε μηχανή που εμφανίζει ανθρώπινες ιδιότητες, για παράδειγμα, μάθηση και κριτική σκέψη. Ένας πιο λεπτομερής ορισμός περιγράφει την TN ως "την ικανότητα ενός συστήματος να αποκρυπτογραφεί αποτελεσματικά τις εξωτερικές πληροφορίες, να κερδίζει από αυτές τις πληροφορίες και να χρησιμοποιεί αυτές τις γνώσεις για την επίτευξη ρητών στόχων και αποστολών μέσω προσαρμοστικού μετασχηματισμού". Καθώς η καινοτομία εξελίσσεται, τα προηγούμενα πρότυπα που χαρακτήριζαν την TN καθίστανται ξεπερασμένα (Shabbir & Anwer, 2018:10).

Για παράδειγμα, οι μηχανές που δημιουργούν τις απαραίτητες δυνατότητες ή αναγνωρίζουν κείμενο μέσω πρότυπης αναγνώρισης χαρακτήρων δεν θεωρείται, σε αυτό το σημείο, ότι αντιπροσωπεύουν τεχνητή νοημοσύνη, επειδή ο σκοπός αυτός υποτιμάται σήμερα ως ενσωματωμένη λειτουργία ενός υπολογιστή. Η τεχνητή νοημοσύνη εξελίσσεται αδιάκοπα προς όφελος διαφόρων επιχειρήσεων. Οι μηχανές καλωδιώνονται χρησιμοποιώντας μια διεπιστημονική προσέγγιση που περιλαμβάνει την αριθμητική, τη μηχανική λογισμικού, τη σημασιολογία, την επιστήμη του εγκεφάλου και πολλά άλλα με εξειδικευμένα πεδία όπως η τεχνητή μελέτη του νου. Οι στόχοι της τεχνητής νοημοσύνης περιλαμβάνουν τη μάθηση, τη σκέψη, την επικοινωνία και την αναγνώριση. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι εξαιρετικά εστιασμένη και χωρίζεται έντονα σε επιμέρους πεδία που είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους

Ένα μέρος της ταξινόμησης οφείλεται σε κοινωνικά και πολιτισμικά στοιχεία: τα υποπεδία έχουν αναπτυχθεί με βάση συγκεκριμένα θεμέλια και τη συμβολή

διαφόρων ερευνητών. Η τεχνητή νοημοσύνη απομονώνεται επιπλέον από περιορισμένα ειδικά θέματα. Ορισμένα υποπεδία δίνουν έμφαση στην επίλυση ρητών ζητημάτων. Άλλα επικεντρώνονται σε μία από μερικές πιθανές διαδικασίες ή στη χρήση ενός συγκεκριμένου εργαλείου ή προς την επίτευξη συγκεκριμένων εφαρμογών. Η τεχνητή νοημοσύνη έχει αποτελέσει αντικείμενο καλής πίστης, ωστόσο έχει αντέξει σε δελεαστικές δυσκολίες. Τώρα, έχει γίνει μια βασική πτυχή της επιχείρησης καινοτομίας, δίνοντας το πραγματικά δύσκολο έργο σε ένα σημαντικό ποσό των μεγάλων διαφορών δοκιμών στην εργασία λογισμικού. Στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, η έρευνα TN εξελίσσεται με διαφορετικούς τρόπους, όπως η τυπική σκέψη του ψηφιακού υπολογιστή που θα μπορούσε να μιμηθεί κάθε πιθανή επίδειξη αριθμητικής εξαγωγής το 1943, η συγγραφή απλών προγραμμάτων/αλγορίθμων για την επίλυση προβλημάτων άλγεβρας, θεωρημάτων και την ομιλία της αγγλικής γλώσσας το 1956

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει σημειώσει κάποια πρόοδο στη μίμηση αυτών των τύπων διεργασιών που υπογραμμίζουν την ανάγκη καλών δεξιοτήτων συλλογισμού, η εξερεύνηση των νευρωνικών δικτύων προσπαθεί να αναδημιουργήσει τις δομές στο εσωτερικό του εγκεφάλου που προσφέρουν άνοδο σε αυτή την ικανότητα- μετρήσιμοι τρόποι αντιμετώπισης της τεχνητής νοημοσύνης αντιγράφουν την πιθανολογική φύση της ανθρώπινης ικανότητας πρόβλεψης. Η τεχνητή νοημοσύνη συχνά περιστρέφεται γύρω από τη χρήση αλγορίθμων όπου υπάρχουν πολλές σαφείς κατευθύνσεις που μπορεί να εκτελέσει ένας υπολογιστής. Ένας απρόβλεπτος αλγόριθμος βασίζεται τακτικά σε άλλους ευκολότερους αλγορίθμους που καλύπτουν βασικά την εξαγωγή συμπερασμάτων, τη συλλογιστική και την επίλυση προβλημάτων. Βασικές έρευνες της TN είναι η απεικόνιση της γνώσης και η μηχανική της γνώσης (Huang, 2015· Gupta et

Τα κοινά χαρακτηριστικά ενός συστήματος TN περιλαμβάνουν τα εξής: προγραμματισμό, μάθηση, επικοινωνία, αντίληψη, κίνηση και χειρισμό. Η μάθηση περιλαμβάνει τη μηχανική μάθηση υπό τρία διαφορετικά καθεστάτα, όπως η μάθηση με επίβλεψη, η μάθηση χωρίς επίβλεψη και η ενισχυτική μάθηση, τα οποία θα συζητηθούν λεπτομερώς στο τελευταίο μέρος. Η επικοινωνία των μηχανών θα γίνεται μέσω της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, όπου μια μηχανή μπορεί να μελετήσει και να κατανοήσει τις γλώσσες που μιλούν οι άνθρωποι. Μια τυπική τεχνική για την επεξεργασία και την ανάσυρση της σημασίας από την κανονική γλώσσα γίνεται μέσω

της σημασιολογικής διάταξης, η οποία αυξάνει την ταχύτητα επεξεργασίας και μειώνει το κόστος της αποθήκευσης μεγάλων δεδομένων (Gallifant et al., 2022).

Η αντίληψη της μηχανής είναι η ικανότητα να χρησιμοποιεί την απόκριση από διάφορους αισθητήρες για να υποθέτει χαρακτηριστικά του κόσμου. Η κίνηση και ο χειρισμός στην τεχνητή νοημοσύνη συνδέονται στενά με τον τομέα της ρομποτικής για τη διαχείριση διαφόρων εργασιών όπως η διαχείριση αντικειμένων και ο τριγωνισμός μέσω ρομπότ. Οι μακροπρόθεσμοι στόχοι που σχετίζονται με την έρευνα της TN είναι: (α) Κοινωνική νοημοσύνη (β) Δημιουργικότητα και (γ) Κοινή νοημοσύνη. Η συναισθηματική υπολογιστική είναι η μορφή της κοινωνικής νοημοσύνης που επικεντρώνεται στη διερεύνηση και τη βελτίωση συστημάτων και συσκευών που μπορούν να αντιλαμβάνονται, να αποκρυπτογραφούν, να μετρούν και να αναδημιουργούν τις ανθρώπινες επιδράσεις. Ένας κλάδος TN τείνει να φαντάζεται τόσο θεωρητικά (από φιλοσοφική και νοητική άποψη) όσο και ουσιαστικά (μέσω της ρητής χρήσης χαρτών που αποδίδουν αποτελέσματα που μπορούν να θεωρηθούν εφευρετικά, ή πλαισίων που αναγνωρίζουν και εξετάζουν τη δημιουργικότητα) (Cioffi e

t ξόρυξη δεδομένων

a Η εξόρυξη δεδομένων (η φάση διερεύνησης της διαδικασίας "Ανακάλυψη γνώσης σε βάσεις δεδομένων-KDD"), μια διεπιστημονική υποειδικότητα της μηχανικής λογισμικού, δεν είναι τίποτε άλλο από την υπολογιστική μέθοδο προσδιορισμού προτύπων σε τεράστια σύνολα δεδομένων και περιλαμβάνει προσεγγίσεις στη σύνδεση της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανικής μάθησης, της στατιστικής και των συστημάτων βάσεων δεδομένων (Bock et al., 2019).

Η Μπορεί κανείς να συγγεί την ανάλυση δεδομένων με την εξόρυξη δεδομένων. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των δύο είναι η εξής (Antony, Manujesh & Jnanesh, Η Η εξόρυξη δεδομένων αναγνωρίζει και βρίσκει ένα κρυφό σχέδιο σε τεράστια σύνολα δεδομένων, ενώ η ανάλυση δεδομένων δίνει κομμάτια γνώσης ή δοκιμή υποθέσεων ή μοντέλων από ένα σύνολο δεδομένων.

ε Η εξόρυξη δεδομένων είναι ένα από τα γεγονότα της ανάλυσης δεδομένων. Η ανάλυση δεδομένων είναι ένα ολοκληρωμένο σύνολο εκδηλώσεων που ασχολείται με τη διαλογή, το σχεδιασμό και την εμφάνιση δεδομένων για την εξόρυξη εκφραστικών κατανοήσεων ή πληροφοριών. Και οι δύο αποτελούν κατά καιρούς υποδιαίρεση της επιχειρηματικής ευφυΐας.



- Η εκπαίδευση στην εξόρυξη δεδομένων αφορά συνήθως οργανωμένα δεδομένα. Η ανάλυση δεδομένων πρέπει να είναι δυνατή σε οργανωμένα, ημι-οργανωμένα ή μη οργανωμένα δεδομένα.
- Ο στόχος της εξόρυξης δεδομένων είναι να δημιουργηθούν δεδομένα πιο πρακτικά, ενώ η ανάλυση δεδομένων βοηθά στην επίδειξη μιας θεωρίας ή στη λήψη επιχειρηματικών επιλογών.
- Η εξόρυξη δεδομένων δεν χρειάζεται να ασχολείται με κάποια προκατειλημμένη θεωρία για να διακρίνει το παράδειγμα ή το μοτίβο στις πληροφορίες. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση δεδομένων ελέγχει μια δεδομένη θεωρία.
- Η εξόρυξη δεδομένων εξαρτάται από αριθμητικές και λογικές μεθόδους για την αναγνώριση μοτίβων ή διολισθήσεων, ενώ η ανάλυση δεδομένων χρησιμοποιεί μοντέλα επιχειρηματικής ευφυΐας και ανάλυσης.

Η εξόρυξη δεδομένων περιλαμβάνει έξι συλλογικές ενότητες εργασιών, όπως ανίχνευση ανωμαλιών (εύρεση άγνωστων συνόλων δεδομένων), εκμάθηση κανόνων συσχέτισης (αναζήτηση συσχέτισης μεταξύ μεταβλητών), ομαδοποίηση (πράξη προσδιορισμού συνόλων και συνόλων στα δεδομένα), ταξινόμηση (πράξη απλοποίησης γνωστής δομής σε νέα δεδομένα), παλινδρόμηση (προσδιορισμός μιας εργασίας που προτυποποιεί τα δεδομένα με το ελάχιστο σφάλμα) και σύνοψη (παροχή μιας πρόσθετης στερεάς απεικόνισης του συνόλου δεδομένων, που περιλαμβάνει σύλληψη και τεκμηρίωση). Το ευρύ φάσμα εφαρμογών της εξόρυξης δεδομένων επικεντρώνεται στα ανθρώπινα δικαιώματα, τα παιχνίδια, την επιστήμη και τη μηχανική, την εξόρυξη ιατρικών δεδομένων, την εξόρυξη δεδομένων αισθητήρων, την εξόρυξη οπτικών δεδομένων, την εξόρυξη χωρικών δεδομένων, την επιτήρηση, την εξόρυξη μουσικών δεδομένων, την εξόρυξη προτύπων, το πλέγμα γνώσης, την εξόρυξη ρονικών δεδομένων, τις επιχειρήσεις και την εξόρυξη δεδομένων βάσει αντικειμένου

#### ευρωνικά δίκτυα

Μια αλυσίδα αλγορίθμων που αναπαράγει τις ενέργειες του ανθρώπινου εγκεφάλου για να περιγράψει τη συσχέτιση μεταξύ πολυάριθμων συνόλων δεδομένων ονομάζεται Νευρωνικό Δίκτυο (ΝΔ). Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου είναι ίδια με εκείνη του ανθρώπινου εγκεφάλου που διαθέτει "νευρώνες", οι οποίοι μπορεί να είναι βιολογικοί ή τεχνητοί νευρώνες που λειτουργούν ως αριθμητική λειτουργία που συγκεντρώνει και κατηγοριοποιεί δεδομένα σε σχέση με μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική (Chen et al., 2019).

Από το 1943 έως τα τέλη του 2000, τα νευρωνικά δίκτυα έχουν σημειώσει τεράστια ανάπτυξη στην τεχνητή νοημοσύνη. Η εξέλιξη των NN ακολουθείται όπως ακριβώς από ένα υπολογιστικό μοντέλο που ονομάζεται λογική κατωφλίου με βάση αλγορίθμους και μαθηματικά που εστιάζουν στις γενετικές διαδικασίες του εγκεφάλου και την εφαρμογή των NN στην τεχνητή νοημοσύνη. Αργότερα δημιουργήθηκε μια Hebbian μάθηση βασισμένη στην υπόθεση και η εφαρμογή της με μηχανές τύπου B που ακολουθούν τη μάθηση χωρίς επίβλεψη (βλέπε είδη μηχανικής μάθησης παρακάτω) (Waldchen & Mäder, 2018).

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η χρήση αριθμομηχανών ως υπολογιστικών μηχανών που μιμούνται το δίκτυο Hebbian. Δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος υπολογιστικού δικτύου μάθησης δύο επιπέδων για την αναγνώριση μοτίβων και ακολούθησε η ανάπτυξη του αλγορίθμου back propagation στη μηχανική μάθηση, ο οποίος διευθέτησε το ζήτημα των NN στην επίλυση της επεξεργασίας του κυκλώματος με μαθηματική σημειογραφία και επεξεργαστική ισχύ των παλαιότερων υπολογιστών. Άλλες εξελίξεις όπως οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης και μερικές ευκολότερες μέθοδοι όπως οι γραμμικοί ταξινομητές ξεπέρασαν τα NN στο θαυμασμό της μηχανικής μάθησης (Schmidhuber, 2015).

Αργότερα η βαθιά μάθηση μεταμόρφωσε μια νέα προσοχή στα νευρωνικά δίκτυα. Από το 2006 και μέχρι σήμερα, οι περαιτέρω εξελίξεις των NN είναι απίστευτες στη νέα εποχή της ψηφιακής πληροφορικής, όπως τα NN με τροφοδότηση, η μακρά βραχυπρόθεσμη μνήμη (LSTM) στην αναγνώριση προτύπων, την αναγνώριση σημάτων κυκλοφορίας, την αναγνώριση μορίων για νέα φάρμακα κ.ο.κ. Για την επίλυση προβλημάτων τεχνητής νοημοσύνης (TN) χρησιμοποιείται ένα νευρωνικό δίκτυο με τεχνητούς νευρώνες που ονομάζεται τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ΤΝΔ)

Κάθε δίκτυο έχει μια σταθερή ομοιότητα με στατιστικές μεθόδους όπως η προσαρμογή καμπυλών και η ανάλυση παλινδρόμησης. Στρώματα (εισόδου, κρυμμένων και εξόδου) αλληλένδετων κόμβων συνιστούν ένα βασικό τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Όπως και η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, κάθε κόμβος ενός δικτύου που ονομάζεται perceptron που μετατρέπεται ως μη γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης/μεταφοράς περνώντας το σήμα που δίνεται από μια πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, ήτοι ένας τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (Bashar, 2019).

Η αρχιτεκτονική του ΤΝΔ δέχεται ένα σήμα, πιθανότατα έναν πραγματικό αριθμό, στη συνέχεια το επεξεργάζεται και δίνει σήμα στους νευρώνες που συνδέονται

με αυτό. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάθησης, οι νευρώνες και οι σύνδεσμοι έχουν γενικά ένα βάρος σε κάθε είσοδο, δηλαδή το γινόμενο των εισόδων και των βαρών σε μια συνάρτηση μεταφοράς που αυξάνει ή μειώνει την ισχύ του σήματος με ένα επίπεδο κατωφλίου και το σήμα περνάει μόνο αν το αθροιστικό σήμα περάσει το κατώφλι. Υπάρχουν διάφορες συναρτήσεις μεταφοράς που χρησιμοποιούνται και μερικές από αυτές είναι η συνάρτηση μεταφοράς σκληρού ορίου, η καθαρά γραμμική συνάρτηση μεταφοράς, οι συναρτήσεις μεταφοράς log-sigmoid και Tan-sigmoid κ.λπ.

α Αριθμητικά, η  $f(x)$  είναι μια συνάρτηση ενός νευρώνα που είναι μια δομή μιας άλλης συνάρτησης  $g(x)$  και που μπορεί περαιτέρω να είναι μια δομή άλλων συναρτήσεων η οποία συμβολίζεται πλήρως ως δομή ενός δικτύου που δείχνει τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Μια τυπικά χρησιμοποιούμενη δομή μιας συνάρτησης είναι η μη γραμμική συνάρτηση σταθμισμένου αθροίσματος η οποία δίνεται από τη σχέση όπως στην εξίσωση (7),  $f(x) = U \sum_{i=0}^n w_i g_i(x)$  (7) όπου  $U$  είναι η συνάρτηση ενεργοποίησης όπως η tan-υπερβολική. Η εκμάθηση των ANN γίνεται βάσει τριών βασικών παραδειγμάτων, ήτοι εκμάθηση με επίβλεψη, εκμάθηση χωρίς επίβλεψη και εκμάθηση με ενίσχυση, τα οποία εξηγήθηκαν λεπτομερώς στις προηγούμενες συνεδρίες (Di Franco & Santurro, 2021).

η Η εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων γίνεται με τη χρήση ευρέως χρησιμοποιούμενων μεθόδων όπως η προσομοιωμένη απόκτηση, η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων, η μεγιστοποίηση της προσδοκίας, οι εξελικτικές μέθοδοι, ο γενετικός προγραμματισμός και οι μη παραμετρικές μέθοδοι. Οι εφαρμογές των ANN διακρίνονται σε γενικές γραμμές στις ακόλουθες κατηγορίες: επεξεργασία δεδομένων (φιλτράρισμα, ομαδοποίηση κ.λπ.), ρομποτική (καθοδήγηση προσθετικών μελών και χειριστών), ταξινόμηση (αναγνώριση ακολουθίας και προτύπων), ανάλυση παλινδρόμησης/προσέγγιση συναρτήσεων (μοντελοποίηση και προσέγγιση καταλληλότητας, πρόβλεψη χρονοσειρών), έλεγχος (έλεγχος διεργασιών, αριθμητικός έλεγχος μέσω υπολογιστή και έλεγχος οχημάτων) και υπολογιστική και νοητή νευροεπιστήμη (Argatov, 2019· Paturi, Palakurthy & Reddy, 2023).

### ύποι μηχανικής μάθησης

#### άθηση με επίβλεψη

Η μάθηση με επίβλεψη περιλαμβάνει την εξαγωγή συμπερασμάτων για μια συνάρτηση από επισημασμένα δεδομένα εκπαίδευσης με χρήση δραστηριότητας μηχανικής μάθησης. Τα δεδομένα εκπαίδευσης περιέχουν ένα σύνολο δειγμάτων

εκπαίδευσης. Στην επιβλεπόμενη μάθηση, κάθε δείγμα είναι ένα δίδυμο που περιλαμβάνει ένα στοιχείο εισόδου (συνήθως ένα διάνυσμα) και μια προτιμώμενη τιμή εξόδου (επίσης γνωστή ως εποπτικό σήμα) (Burkart & Huber, 2021).

Ένας αλγόριθμος μάθησης με επίβλεψη εξετάζει τα δεδομένα εκπαίδευσης και δημιουργεί μια ενδεχόμενη συνάρτηση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση νέων δειγμάτων. Μια ιδανική κατάσταση επιτρέπει στον αλγόριθμο να καθορίσει σωστά τις ετικέτες κλάσης για τα κρυφά περιστατικά. Αυτό χρειάζεται ο αλγόριθμος μάθησης να απλοποιήσει από τα δεδομένα εκπαίδευσης στα κρυφά συμβάντα με έναν "ρεαλιστικό" τρόπο. Προκειμένου να επιλυθεί μια αποδιδόμενη δυσκολία της επιβλεπόμενης μάθησης, πρέπει να ακολουθηθούν τα κάτωθι βήματα

1. Προσδιορισμός του τύπου των δειγμάτων εκπαίδευσης.
2. Συλλογή του συνόλου εκπαίδευσης.
3. Προσδιορισμός της απεικόνισης του χαρακτηριστικού εισόδου της μαθησιακής συνάρτησης.
4. Προσδιορισμός της δομής της μαθησιακής συνάρτησης και του κατάλληλου αλγορίθμου εκμάθησης.
5. Ολοκλήρωση του σχεδιασμού για την εκτέλεση του αλγορίθμου με το συλλεγμένο σύνολο εκπαίδευσης.
6. Αξιολόγηση της ορθότητας της μαθησιακής συνάρτησης.

Τέσσερις βασικοί προβληματισμοί που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη μάθηση με επίβλεψη είναι οι εξής (Nasteski, 2017):

(i) Συμβιβασμός μεροληψίας-διακύμανσης:

Ένας αλγόριθμος μάθησης με μικρή προδιάθεση πρέπει να είναι "ευέλικτος" ώστε να προσαρμόζεται τέλεια στα δεδομένα. Αν όμως ο αλγόριθμος μάθησης είναι υπερβολικά εύκαμπτος, θα ταιριάζει σε κάθε σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης με διαφορετικό τρόπο, και ως εκ τούτου θα έχει υψηλή διακύμανση,

(ii) Περιπλοκότητα της συνάρτησης και όγκος δεδομένων εκπαίδευσης:

-το ζήτημα αυτό αφορά την ποσότητα των διαθέσιμων δεδομένων εκπαίδευσης με την περιπλοκότητα της συνάρτησης (ταξινομητής ή παλινδρόμηση), δηλ. απλούστερη η συνάρτηση χρειάζεται μάθηση από μικρή ποσότητα δεδομένων, ενώ η σύνθετη συνάρτηση απαιτεί τεράστια ποσότητα δεδομένων εκπαίδευσης,

(iii) διαστατικότητα του χώρου εισόδου:

- εξαρτάται από τη διάσταση των διανυσμάτων χαρακτηριστικών εισόδου, δεδομένου ότι οι επιπλέον διαστάσεις μπορούν να περιπλέξουν τον αλγόριθμο μάθησης που θα έχει μεγαλύτερη διακύμανση και

(iv) θόρυβος στις τιμές εξόδου:

- αυτό το ζήτημα αφορά την ποσότητα θορύβου στις προτιμώμενες τιμές εξόδου. Εάν οι τιμές εξόδου είναι ακατάλληλες λόγω ανθρωπογενών σφαλμάτων ή σφαλμάτων αισθητήρων, τότε η αντιστοίχιση των δειγμάτων εκπαίδευσης δεν θα είναι αποτελεσματική οδηγεί σε υπερπροσαρμογή.

Υπάρχουν πολυάριθμοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του θορύβου στα δείγματα εκπαίδευσης πριν από τον αλγόριθμο μάθησης με επίβλεψη. Σε γενικές γραμμές, όλοι οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν μια κοινή αρχή με την οποία λειτουργούν, δηλαδή ορίζονται ως εκμάθηση μιας συνάρτησης-στόχου ( $f$ ) που αντιστοιχίζει την είσοδο ( $X$ ) με τις τιμές εξόδου ( $Y$ ) και την κάνει να προβλέπει την  $Y$  για μια νέα τιμή του  $X$  και η σχέση δίνεται ως εξής στην Εξίσωση (1) (Nasteski, 2017):

$Y$

Θα υπάρξει επίσης ένα σφάλμα ( $e$ ) το οποίο είναι ανεξάρτητο από το  $X$  και αυτό το σφάλμα θεωρείται μη αναγωγίμο  $X$  σφάλμα, ανεξάρτητα από το πόσο καλά παίρνουμε τη συνάρτηση-στόχο. Ένας αλγόριθμος μάθησης με επίβλεψη λειτουργεί επίσης βάσει αυτής της αρχής. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι μάθησης είναι η γραμμική παλινδρόμηση, ο Bayes, η λογιστική παλινδρόμηση, οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, ο γειτονικός κοντινότερος αλγόριθμος  $k$ , τα νευρωνικά δίκτυα (MLP), τα δέντρα απόφασης, η γραμμική ανάλυση διάκρισης και η μάθηση ομοιότητας (Lindholm et al., 2019· Osisanwo, 2017).

Οι διάφορες εφαρμογές της επιβλεπόμενης μάθησης χρησιμοποιούνται ευρέως σε σημαντικούς τομείς όπως η Βιοπληροφορική, η Χημική Πληροφορική, το μάρκετινγκ βάσεων δεδομένων, η αναγνώριση γραφής, η εξαγωγή πληροφοριών, η αναγνώριση προτύπων, η αναγνώριση ομιλίας, η ανίχνευση ανεπιθύμητης αλληλογραφίας, η καθοδική αιτιολόγηση σε βιολογικά συστήματα και η αναγνώριση αντικειμένων στην όραση υπολογιστών κ.λπ (Alexopoulos, Nikolakis & Chryssolouris,

άθηση χωρίς επίβλεψη

Η μάθηση χωρίς επίβλεψη είναι ένα είδος τεχνητής νοημοσύνης που αναζητά πρώην κρυμμένες διαμορφώσεις σε ένα σύνολο δεδομένων χωρίς προηγούμενες

ετικέτες και τουλάχιστον με χειροκίνητη επίβλεψη. Σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη μάθηση που συνήθως χρησιμοποιεί δεδομένα με ανθρώπινες ετικέτες, η μάθηση χωρίς επίβλεψη ή αλλιώς αυτοσυσχέτιση λαμβάνει υπόψη την εμφάνιση πυκνοτήτων πιθανότητας σε πηγές δεδομένων (Usama, 2019).

Στη μάθηση χωρίς επίβλεψη, οι δύο βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η ανάλυση συστάδων και η ανάλυση κύριων συνιστωσών. Η ανάλυση συστάδων χρησιμοποιείται στη μάθηση χωρίς επίβλεψη για τη συγκέντρωση ή την κατάτμηση συνόλων δεδομένων με κοινά χαρακτηριστικά λόγω της γενίκευσης αλγοριθμικών συνδέσεων. Η ανάλυση συστάδων είναι μια υποδιαίρεση της μηχανικής μάθησης που συγκεντρώνει τα δεδομένα που δεν έχουν ονομασθεί, ταξινομηθεί ή ταξινομηθεί. Αντί να αντιδρά σε ανατροφοδότηση, η ανάλυση συστάδων αναγνωρίζει ενότητες στα δεδομένα και αντιδρά ανάλογα με την ύπαρξη ή μη τέτοιων εννοιών σε κάθε νέο τμήμα δεδομένων. Αυτή η μεθοδολογία βοηθά στον εντοπισμό ανώμαλων σημείων δεδομένων που δεν ταιριάζουν σε καμία ομάδα (Kerenidis et al., 2019· Mahesh, 2020).

Μια θεμελιώδης χρήση της μάθησης χωρίς επίβλεψη είναι στον τομέα της εκτίμησης της πυκνότητας στη στατιστική, ωστόσο η μάθηση χωρίς επίβλεψη περιλαμβάνει πολλούς τομείς που σχετίζονται με την ενημέρωση και την αποσαφήνιση των χαρακτηριστικών των δεδομένων. Σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη μάθηση που χρησιμοποιεί εξαρτημένη κατανομή πιθανοτήτων  $p(x | y)$ , η οποία εκπαιδεύεται στο  $y$  των δεδομένων εισόδου, ενώ η μάθηση χωρίς επίβλεψη χρησιμοποιεί εκ των προτέρων κατανομή πιθανοτήτων  $p(x)$ . Στη μάθηση χωρίς επίβλεψη χρησιμοποιείται ένας αριθμός από τους πιο γενικούς αλγορίθμους και κάθε προσέγγιση εφαρμόζει πολλές τεχνικές ως εξής (Adorf et al., 2019):

1. Ομαδοποίηση (π.χ.: αλγόριθμος OPTICS, k-means, ιεραρχική ομαδοποίηση κ.λπ.),
2. Ανίχνευση παρατυπιών (π.χ.: τοπικός παράγοντας outlier και δάσος απομόνωσης),
3. Νευρωνικά δίκτυα (π.χ.: αυτοκωδικοποιητές, hebbian learning, βαθιά δίκτυα πεποίθησης κ.λπ.) και
4. Προσεγγίσεις για την εκμάθηση μοντέλων λανθάνουσας μεταβλητής (π.χ.: μέθοδος των ροπών, αλγόριθμος μεγιστοποίησης προσδοκιών ή EM, τεχνικές τυφλού διαχωρισμού σημάτων κ.λπ.).

#### νισχυτική Μάθηση

Η ενισχυτική μάθηση ("Reinforcement learning", RL) είναι ένα μέρος της μηχανικής μάθησης που ασχολείται με τον τρόπο με τον οποίο οι πράκτορες λογισμικού θα πρέπει να αναλαμβάνουν κινήσεις σε ένα περιβάλλον για να εκμεταλλευτούν την

ιδέα της συσσωρευτικής απόδοσης. Είναι ένα από τα τρία κοινά μοντέλα μηχανικής μάθησης, μαζί με την επιβλεπόμενη μάθηση και τη μάθηση χωρίς επίβλεψη. Σε σύγκριση με την επιβλεπόμενη μάθηση, η RL δεν απαιτεί επισημασμένες τιμές εισόδου ή εξόδου και επίσης δεν χρειάζεται να προσαρμόζονται οι υπο-βέλτιστες δραστηριότητες, αλλά βοηθά στον εντοπισμό της σταθερότητας μεταξύ της διερεύνησης ανεξερεύνητης περιοχής και του χειρισμού της υπάρχουσας γνώσης

Λόγω της απλούστευσής της, η ενισχυτική μάθηση εξετάζεται σε διάφορους κλάδους όπως η θεωρία παιγνίων, η θεωρία ελέγχου, η επιχειρησιακή έρευνα, η θεωρία πληροφοριών, η βελτιστοποίηση με βάση την προσομοίωση, τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων, η νοημοσύνη σμήνους και η στατιστική. Για παράδειγμα, στη βιβλιογραφία της έρευνας λειτουργίας και του ελέγχου, η RL ονομάζεται νευροδυναμικός προγραμματισμός. Οι δυσλειτουργίες της προσοχής στο RL ήταν σκόπιμες στη θεωρία βέλτιστου ελέγχου όπου επικεντρώνεται κυρίως στην παρουσία και την κατηγοριοποίηση βέλτιστων λύσεων και τον ακριβή υπολογισμό αλγορίθμων. Η μάθηση ενίσχυσης είναι κυρίως συμβατή με τις δυσλειτουργίες που περιέχουν ένα μακροπρόθεσμο έναντι βραχυπρόθεσμου βραβείου trade-off (Francois-Lavet et al.,

Έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική για πολλά προβλήματα, όπως ο έλεγχος ρομπότ, ο προγραμματισμός ανελκυστήρων, οι τηλεπικοινωνίες, το τάβλι και η ντάμα. Δύο παράγοντες που δημιουργούν την ενισχυτική μάθηση με επιρροή, δηλαδή η χρήση δειγμάτων για την ενίσχυση της απόδοσης και η χρήση της προσέγγισης συναρτήσεων για την αντιμετώπιση τεράστιων ρυθμίσεων. Ένα απλό μοντέλο ενισχυτικής μάθησης περιλαμβάνει (Moerland et al., 2023):

1. Μια ομάδα καταστάσεων περιβάλλοντος.
2. Μια ομάδα ενεργειών.
3. Κατευθυντήριες γραμμές για την κίνηση μεταξύ καταστάσεων.
4. Κατευθυντήριες γραμμές που καθορίζουν την κλιμακωτή στιγμιαία επιστροφή μιας κίνησης.
5. Κατευθυντήριες γραμμές που ορίζουν την παρατήρηση του πράττοντα.

## βιομηχανία και η σημασία της

### ο πεδίο επιρροής της βιομηχανίας

Ο κλάδος περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα οικονομικών δραστηριοτήτων που αφορούν την παραγωγή, την κατασκευή και τη διανομή αγαθών και υπηρεσιών, αποτελεί κρίσιμο μοχλό οικονομικής ανάπτυξης, τεχνολογικής προόδου και κοινωνικής ανάπτυξης. Η σημασία της δεν έγκειται μόνο στη συμβολή της στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) των εθνών, αλλά και στην ικανότητά της να διαμορφώνει τη συνολική πορεία των οικονομιών και των κοινοτήτων (Oláh & Tanaka,

Ένας από τους πρωταρχικούς ρόλους του κλάδου είναι η συμβολή του στην οικονομική ανάπτυξη. Η εκβιομηχάνιση έχει ιστορικά συνδεθεί με την αύξηση της παραγωγικότητας, τα υψηλότερα επίπεδα εισοδήματος και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. Με την αξιοποίηση των πόρων, τη χρήση της τεχνολογίας και την οργάνωση της εργασίας, η βιομηχανία δημιουργεί προϊόντα και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας που οδηγούν στην οικονομική επέκταση. Αυτή η επέκταση, με τη σειρά της, οδηγεί στη δημιουργία θέσεων εργασίας, στη δημιουργία εισοδήματος και στη συσσώρευση πλούτου (Delgado, Porter & Stern, 2014· Mazzucato & Semieniuk, 2018).

Επιπλέον, ο κλάδος λειτουργεί ως καταλύτης για την τεχνολογική πρόοδο και την καινοτομία. Μέσω των προσπαθειών έρευνας και ανάπτυξης, οι βιομηχανικοί τομείς αναζητούν συνεχώς νέους τρόπους βελτίωσης της αποδοτικότητας, της ποιότητας και της λειτουργικότητας. Αυτή η επιδίωξη της καινοτομίας οδηγεί συχνά στη δημιουργία νέων προϊόντων, διαδικασιών και τεχνολογιών που έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις σε διάφορους τομείς της οικονομίας. Η δέσμευση της βιομηχανίας στην καινοτομία όχι μόνο ενισχύει την παραγωγικότητα αλλά και την ανταγωνιστικότητα τόσο σε εγχώρια όσο και σε παγκόσμια κλίμακα (Lundvall & Johnson, 2021).

Η δημιουργία απασχόλησης είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή της σημασίας του κλάδου. Από εξειδικευμένους μηχανικούς και τεχνικούς έως εργάτες εργοστασίων και προσωπικό υποστήριξης, ο κλάδος δημιουργεί ένα ευρύ φάσμα ευκαιριών απασχόλησης. Αυτές οι ευκαιρίες απασχόλησης δεν περιορίζονται στον ίδιο τον κλάδο, αλλά επεκτείνονται και σε συναφείς τομείς όπως η εφοδιαστική, οι υπηρεσίες και η ανάπτυξη υποδομών. Η ικανότητα της βιομηχανίας να δημιουργεί θέσεις εργασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση των ζητημάτων της φτώχειας, της ανεργίας και της εισοδηματικής ανισότητας (Frey & Osborne, 2017).



Πέρα από τις οικονομικές συνεισφορές της, η βιομηχανία έχει βαθύτατο κοινωνικό αντίκτυπο. Έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει τις κοινωνικές προκλήσεις και να συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη. Ο κλάδος μπορεί να διαδραματίσει καίριο ρόλο στη μείωση της φτώχειας, δημιουργώντας θέσεις εργασίας, βελτιώνοντας τα μέσα διαβίωσης και ενισχύοντας την πρόσβαση σε βασικά αγαθά και υπηρεσίες. Μπορεί επίσης να προωθήσει την ισότητα των φύλων παρέχοντας ίσες ευκαιρίες απασχόλησης και προωθώντας την ποικιλομορφία και την ενσωμάτωση. Επιπλέον, η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών και η δέσμευση του κλάδου για περιβαλλοντική διαχείριση μπορεί να μετριάσει τις αρνητικές επιπτώσεις της εκβιομηχάνισης στα οικοσυστήματα και να συμβάλει σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον (Mazzucato, 2018· Soete, 2019).

Ωστόσο, ο κλάδος αντιμετωπίζει επίσης διάφορες προκλήσεις σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο παγκόσμιο τοπίο. Η παγκοσμιοποίηση, οι γεωπολιτικοί παράγοντες, οι μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών και η έλλειψη πόρων αποτελούν σημαντικά εμπόδια. Ο κλάδος πρέπει να προσαρμοστεί στις αναδυόμενες τάσεις και να αδράξει τις ευκαιρίες για μετασχηματισμό. Η ψηφιοποίηση, τα μοντέλα κυκλικής οικονομίας και οι πρακτικές βιώσιμης παραγωγής προσφέρουν νέους δρόμους για καινοτομία και ανάπτυξη. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και την αξιοποίηση των ευκαιριών, η αποτελεσματική χάραξη πολιτικής, η συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων φορέων και οι επενδύσεις σε υποδομές, εκπαίδευση και κατάρτιση δεξιοτήτων είναι ζωτικής σημασίας (Aghion et al., 2017·Mazzucato &

En κατακλείδι, η σημασία του κλάδου δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Αποτελεί βασικό μοχλό οικονομικής ανάπτυξης, τεχνολογικής προόδου, δημιουργίας θέσεων εργασίας και κοινωνικής προόδου. Η κατανόηση των πολύπλευρων διαστάσεων του είναι ζωτικής σημασίας για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους επιχειρηματίες και τους ιδιώτες ώστε να περιηγηθούν στις πολυπλοκότητες του κλάδου και να συμβάλουν στη βιώσιμη ανάπτυξή του, εξασφαλίζοντας ένα ευημερούν και χωρίς αποκλεισμούς μέλλον για την κοινωνία.

#### οικονομική ανάκαμψη και ανάπτυξη

Η εκβιομηχάνιση, που χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη του βιομηχανικού τομέα, επιφέρει σημαντικούς διαρθρωτικούς μετασχηματισμούς στις οικονομίες. Οδηγεί σε μετατόπιση από οικονομίες που βασίζονται κυρίως στην αγροτική παραγωγή σε οικονομίες με προσανατολισμό στη μεταποίηση και τις υπηρεσίες. Η μετάβαση αυτή συνδέεται ιστορικά με ταχεία οικονομική ανάπτυξη, καθώς οι βιομηχανικοί τομείς

παρουσιάζουν συνήθως υψηλότερα επίπεδα παραγωγικότητας, τεχνολογικής εξειδίκευσης και επεκτασιμότητας σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς τομείς. Με τη διαφοροποίηση της οικονομίας και τη μείωση της εξάρτησης από τη γεωργία, η εκβιομηχάνιση προάγει τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα απέναντι σε εξωτερικούς κλυδωνισμούς (Baumann & Kritikos, 2016).

Η βιομηχανία οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας αναζητώντας συνεχώς καινοτόμους τρόπους βελτίωσης των διαδικασιών, των τεχνολογιών και των οργανωτικών πρακτικών. Οι τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η αυτοματοποίηση, η ρομποτική και η τεχνητή νοημοσύνη, έχουν φέρει επανάσταση στις διαδικασίες παραγωγής, οδηγώντας σε αυξημένη αποδοτικότητα και υψηλότερη παραγωγή ανά εργαζόμενο. Οι βιομηχανικοί κλάδοι συχνά λειτουργούν ως πρωτοπόροι στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, οι οποίες στη συνέχεια διαχέονται σε άλλους τομείς της οικονομίας, ενισχύοντας περαιτέρω τη συνολική παραγωγικότητα (Storper, 2018).

Ο κλάδος είναι στενά συνυφασμένος με το διεθνές εμπόριο και την παγκόσμια ολοκλήρωση. Καθώς οι οικονομίες διασυνδέονται όλο και περισσότερο, ο κλάδος καθίσταται πρωταρχικός μοχλός ανάπτυξης με εξαγωγικό προσανατολισμό. Οι χώρες με ισχυρές βιομηχανικές βάσεις είναι σε καλύτερη θέση για να επωφεληθούν από τις παγκόσμιες αγορές, προωθώντας την εξειδίκευση και επωφελούμενες από τις οικονομίες κλίμακας. Συμμετέχοντας σε παγκόσμιες αλυσίδες αξίας, ο κλάδος διευρύνει την πρόσβαση στην αγορά, προσελκύει άμεσες ξένες επενδύσεις και τονώνει την οικονομική δραστηριότητα (Jara-Figueroa et al., 2020).

Οι βιομηχανικοί τομείς βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της καινοτομίας, επενδύοντας στην έρευνα και ανάπτυξη και προωθώντας τη συνεργασία με τον ακαδημαϊκό χώρο και τα ερευνητικά ιδρύματα. Αυτή η έμφαση στην καινοτομία δημιουργεί τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις πέραν του ίδιου του κλάδου. Η διάχυση της γνώσης συμβαίνει καθώς οι νέες ιδέες, διαδικασίες και τεχνολογίες διαχέονται σε άλλους τομείς, τονώνοντας την περαιτέρω καινοτομία και συμβάλλοντας στη συνολική οικονομική ανάπτυξη. Ο κλάδος λειτουργεί ως κόμβος για τη δημιουργία, τη διάδοση και τη διάχυση της γνώσης, προωθώντας την πρόοδο σε πολλούς τομείς (Brynjolfsson & McAfee, 2017).

Η βιομηχανική ανάπτυξη απαιτεί την ανάπτυξη ισχυρών υποδομών, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων μεταφορών, των ενεργειακών συστημάτων και των τεχνολογιών επικοινωνίας. Η βιομηχανία λειτουργεί συχνά ως καταλύτης για την ανάπτυξη υποδομών, δημιουργώντας έναν θετικό βρόχο ανατροφοδότησης μεταξύ της

βιομηχανίας και των υποστηρικτικών υποδομών. Επιπλέον, οι βιομηχανικοί σχηματισμοί, που χαρακτηρίζονται από γεωγραφικές συγκεντρώσεις διασυνδεδεμένων επιχειρήσεων, προμηθευτών και εξειδικευμένων ιδρυμάτων, ενισχύουν την ανταγωνιστικότητα, την ανταλλαγή γνώσεων και την καινοτομία. Οι συστάδες διευκολύνουν την πρόσβαση σε εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό, σε κοινούς πόρους και σε εξειδικευμένες υπηρεσίες, προωθώντας δυναμικά βιομηχανικά οικοσυστήματα

Ο κλάδος έχει τη δυνατότητα να προωθήσει την ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς, παρέχοντας ευκαιρίες απασχόλησης και βελτιώνοντας το βιοτικό επίπεδο. Δημιουργώντας θέσεις εργασίας σε διάφορα επίπεδα δεξιοτήτων, ο κλάδος συμβάλλει στη μείωση της φτώχειας και στην κοινωνική κινητικότητα. Καθώς προχωρά η εκβιομηχάνιση, η ζήτηση εργασίας αυξάνεται, δημιουργώντας ευκαιρίες απασχόλησης όχι μόνο εντός του κλάδου αλλά και σε συναφείς τομείς. Ωστόσο, είναι ζωτικής σημασίας να διασφαλιστεί ότι η βιομηχανική ανάπτυξη είναι χωρίς αποκλεισμούς, αντιμετωπίζοντας ζητήματα εισοδηματικής ανισότητας, αξιοπρεπών συνθηκών εργασίας και ισότιμης πρόσβασης σε ευκαιρίες (Autor, 2019· Glaeser & Kerr, 2009).

#### καινοτομία και ανταλλαγή γνώσης

Η καινοτομία στον κλάδο είναι συχνά αποτέλεσμα της συνεργασίας και της ανταλλαγής γνώσεων. Οι εταιρείες συνεργάζονται ενεργά με ερευνητικά ιδρύματα, πανεπιστήμια και άλλους φορείς του κλάδου για την αξιοποίηση της τεχνογνωσίας και την ανταλλαγή γνώσεων. Τα συνεργατικά δίκτυα και οι συμπράξεις διευκολύνουν τη συγκέντρωση πόρων, τεχνογνωσίας και τεχνολογίας, επιτρέποντας ταχύτερη πρόοδο στην καινοτομία. Τα μοντέλα ανοικτής καινοτομίας, όπου οι ιδέες και οι τεχνολογίες μοιράζονται μεταξύ των οργανισμών, ευνοούν τη διασταύρωση των ιδεών, οδηγώντας σε καινοτομίες και κέρδη αποδοτικότητας (Teece, 2018· West & Bogers, 2017).

Ο κλάδος βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της υιοθέτησης και δημιουργίας ανατρεπτικών τεχνολογιών που αναδιαμορφώνουν ολόκληρους τομείς και κλάδους. Οι ανατρεπτικές τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το blockchain και η τρισδιάστατη εκτύπωση, έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στις παραδοσιακές διαδικασίες, τα επιχειρηματικά μοντέλα και τις αλυσίδες εφοδιασμού. Η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών από τον κλάδο επιταχύνει την ανάπτυξη και την εφαρμογή τους, οδηγώντας σε βελτιωμένη αποδοτικότητα, εξοικονόμηση κόστους και βελτιωμένη εμπειρία των πελατών. Ο ανατρεπτικός χαρακτήρας αυτών των τεχνολογιών ανοίγει επίσης νέες ευκαιρίες για την επιχειρηματικότητα και τη

δημιουργία καινοτόμων νεοφυών επιχειρήσεων (Hall & Helmers, 2020· West et al.,

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί σημαντικό μοχλό καινοτομίας στον κλάδο. Η βιομηχανία 4.0, που χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, αυτοματοποίησης και ανάλυσης δεδομένων, φέρνει επανάσταση στις διαδικασίες κατασκευής και παραγωγής. Ο κλάδος αξιοποιεί τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), το υπολογιστικό νέφος και την ανάλυση μεγάλων δεδομένων για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών, τη βελτίωση της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και τη δυνατότητα προληπτικής συντήρησης. Αυτή η ψηφιακή επανάσταση οδηγεί σε αυξημένη αποδοτικότητα, υψηλότερο ποιοτικό έλεγχο και βελτιωμένη προσαρμογή των προϊόντων και των υπηρεσιών (Brynjolfsson & McAfee,

Τα τελευταία χρόνια, ο κλάδος έχει αναγνωρίσει τη σημασία της βιωσιμότητας και της περιβαλλοντικής διαχείρισης για την προώθηση της καινοτομίας. Η πράσινη καινοτομία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον διαδικασιών, προϊόντων και υπηρεσιών που ελαχιστοποιούν την κατανάλωση πόρων και μετριάζουν τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ο κλάδος επενδύει σε καθαρές τεχνολογίες, λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βιώσιμες πρακτικές παραγωγής για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Δίνοντας προτεραιότητα στη βιωσιμότητα, ο κλάδος όχι μόνο μειώνει τις περιβαλλοντικές του επιπτώσεις, αλλά και δημιουργεί νέες ευκαιρίες στην αγορά και ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα (Gertler, Wolfe & Florida, 2020).

ροκλήσεις και προοπτικές: επιπτώσεις στην πολιτική και μελλοντικές προοπτικές

Ο κλάδος δραστηριοποιείται σε ένα δυναμικό και διαρκώς μεταβαλλόμενο παγκόσμιο τοπίο, το οποίο παρουσιάζει προκλήσεις και ευκαιρίες. Η παγκοσμιοποίηση έχει εντείνει τον ανταγωνισμό, απαιτώντας από τους φορείς του κλάδου να καινοτομούν συνεχώς και να προσαρμόζονται ώστε να ανταποκρίνονται στις εξελισσόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών. Επιπλέον, γεωπολιτικοί παράγοντες, όπως οι εμπορικές διαμάχες και εντάσεις, μπορούν να διαταράξουν τις αλυσίδες εφοδιασμού και να δημιουργήσουν αβεβαιότητες για τις επιχειρήσεις. Αυτές οι προκλήσεις απαιτούν μια προληπτική προσέγγιση για την πλοήγηση στις πολυπλοκότητες του κλάδου (Peneder, 2020).

Εκτός από τις γεωπολιτικές προκλήσεις, η έλλειψη πόρων και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες θέτουν σημαντικά εμπόδια. Για να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες για τη βιωσιμότητα, ο κλάδος πρέπει να υιοθετήσει βιώσιμες πρακτικές παραγωγής και να διερευνήσει μοντέλα κυκλικής οικονομίας. Με την υιοθέτηση της βιωσιμότητας, ο κλάδος μπορεί να μετριάσει τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και να αξιοποιήσει την αυξανόμενη ζήτηση για φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα και λύσεις, ανοίγοντας έτσι νέες ευκαιρίες στην αγορά (Mazzucato & Penna, 2020).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, ο κλάδος διαθέτει επίσης σημαντικές ευκαιρίες για ανάπτυξη και μετασχηματισμό. Η ψηφιοποίηση παρουσιάζει νέους δρόμους για καινοτομία, αύξηση της αποδοτικότητας και βελτιωμένες εμπειρίες πελατών. Με την υιοθέτηση αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και το Διαδίκτυο των πραγμάτων, ο κλάδος μπορεί να φέρει επανάσταση στις διαδικασίες παραγωγής, στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και στην ανάπτυξη προϊόντων. Αυτή η ψηφιακή επανάσταση έχει τη δυνατότητα να αναδιαμορφώσει τους κλάδους και να δημιουργήσει νέα επιχειρηματικά μοντέλα, οδηγώντας σε πρωτοφανή ανάπτυξη και ανταγωνιστικότητα (Guerrieri, Meliciani & Trento, 2017·Rodrik, 2015).

Για την αποτελεσματική αξιοποίηση του δυναμικού της βιομηχανίας, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος. Οι κυβερνήσεις πρέπει να εφαρμόζουν υποστηρικτικές πολιτικές και κανονισμούς που διευκολύνουν τη βιομηχανική ανάπτυξη. Οι επενδύσεις σε υποδομές, όπως τα δίκτυα μεταφορών, τα ενεργειακά συστήματα και η ψηφιακή συνδεσιμότητα, είναι απαραίτητες για την προώθηση της ανάπτυξης της βιομηχανίας και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας (Nesta, Saviotti & Vona, 2019).

Επιπλέον, η προώθηση μιας κουλτούρας καινοτομίας απαιτεί συνεργασία μεταξύ ακαδημαϊκών, βιομηχανίας και κυβέρνησης. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν να προωθήσουν πρωτοβουλίες έρευνας και ανάπτυξης, να δώσουν κίνητρα για συνεργασία και ανταλλαγή γνώσεων και να υποστηρίξουν τη δημιουργία συστάδων καινοτομίας και κέντρων επώασης. Επιπλέον, οι πολιτικές που δίνουν προτεραιότητα στην εκπαίδευση και την κατάρτιση δεξιοτήτων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη ενός ικανού εργατικού δυναμικού εξοπλισμένου με τις απαραίτητες τεχνικές και ψηφιακές δεξιότητες για να ευδοκιμήσει στο εξελισσόμενο βιομηχανικό τοπίο.

Μια εμπροσθοβαρής πολιτική προσέγγιση θα πρέπει επίσης να δίνει προτεραιότητα στη βιωσιμότητα και να αντιμετωπίζει τις περιβαλλοντικές ανησυχίες.

Οι κυβερνήσεις μπορούν να εφαρμόσουν κανονιστικά πλαίσια που παρέχουν κίνητρα για βιώσιμες πρακτικές, ενθαρρύνουν τις επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες και προωθούν τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία. Ευθυγραμμίζοντας τη βιομηχανική ανάπτυξη με τους βιώσιμους στόχους, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν να προωθήσουν μια πιο ανθεκτική και περιβαλλοντικά υπεύθυνη βιομηχανία (Edler &

En κατακλείδι, ο κλάδος λειτουργεί σε ένα δύσκολο αλλά και πλούσιο σε ευκαιρίες περιβάλλον. Η παγκοσμιοποίηση και οι γεωπολιτικοί παράγοντες θέτουν προκλήσεις, ενώ η έλλειψη πόρων και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες καθιστούν αναγκαίες τις βιώσιμες πρακτικές. Ωστόσο, η ψηφιοποίηση, η βιωσιμότητα και η καινοτομία παρέχουν διεξόδους για ανάπτυξη και μετασχηματισμό. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής πρέπει να δημιουργήσουν ένα ευνοϊκό περιβάλλον εφαρμόζοντας υποστηρικτικές πολιτικές, επενδύοντας σε υποδομές, προωθώντας τη συνεργασία και δίνοντας προτεραιότητα στη βιωσιμότητα. Με την αντιμετώπιση των προκλήσεων και την αξιοποίηση των ευκαιριών, ο κλάδος μπορεί να συνεχίσει να οδηγεί την πρόοδο, να διαμορφώνει τις οικονομίες και να συμβάλλει στην ευημερία των κοινωνιών παγκοσμίως.

## μηχανική μάθηση στην βιομηχανία

### εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στον βιομηχανικό αυτοματισμό

#### 3.1.1. Προγνωστική συντήρηση

Η μηχανική μάθηση εφαρμόζεται ευρέως στον βιομηχανικό αυτοματισμό, ιδίως στον τομέα της προγνωστικής συντήρησης. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την ανάλυση ιστορικών δεδομένων αισθητήρων και την πρόβλεψη βλαβών ή αναγκών συντήρησης του εξοπλισμού. Με την παρακολούθηση μοτίβων και ανωμαλιών στα δεδομένα αισθητήρων, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν πρώιμους δείκτες πιθανών βλαβών του εξοπλισμού. Ως αποτέλεσμα, οι ομάδες συντήρησης μπορούν να αναλάβουν έγκαιρα δράση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων πριν αυτά κλιμακωθούν σε σημαντικές βλάβες (Carvalho et al., 2019).

Επιπλέον, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή ακριβών προβλέψεων των αναγκών συντήρησης. Αυτά τα μοντέλα αναλύουν μεγάλους όγκους ιστορικών δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι συνθήκες λειτουργίας, η ηλικία του εξοπλισμού και τα αρχεία συντήρησης. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις μεταβλητές, τα μοντέλα εκτιμούν την εναπομένουσα ωφέλιμη ζωή του εξοπλισμού και προβλέπουν πότε θα απαιτηθεί συντήρηση ή αντικατάσταση (Çinar et al., 2020).

Η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στην προγνωστική συντήρηση επιφέρει πολλά οφέλη στον βιομηχανικό αυτοματισμό. Πρώτον, συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των απροσδόκητων βλαβών του εξοπλισμού και του μη προγραμματισμένου χρόνου διακοπής λειτουργίας. Κατά συνέπεια, οι οργανισμοί μπορούν να αποφύγουν δαπανηρές διακοπές στις διαδικασίες παραγωγής, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα και βελτιωμένη ικανοποίηση των πελατών (Cline et al.,

P

a Παράλληλα, η μηχανική μάθηση στην προγνωστική συντήρηση βελτιστοποιεί τις δραστηριότητες συντήρησης και την κατανομή των πόρων. Αντί να ακολουθούν ένα βταθερό χρονοδιάγραμμα για τις εργασίες συντήρησης, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης επιτρέπουν στις ομάδες συντήρησης να επικεντρωθούν στον εξοπλισμό που πραγματικά χρειάζεται προσοχή. Η προσέγγιση αυτή βελτιστοποιεί τη χρήση των πόρων συντήρησης και μειώνει τις περιττές παρεμβάσεις συντήρησης, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κόστους (Dalzochio et al., 2020· Florian, Sgarbossa & Zennaro,

e

t

a

l

Επιπροσθέτως, η επαναληπτική διαδικασία μάθησης των μοντέλων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται στην προληπτική συντήρηση βελτιώνει τις στρατηγικές συντήρησης και αυξάνει την αξιοπιστία του εξοπλισμού. Τα μοντέλα αυτά μαθαίνουν συνεχώς και προσαρμόζονται σε νέα δεδομένα, βελτιώνοντας τις προβλέψεις τους και βελτιώνοντας την ακρίβειά τους με την πάροδο του χρόνου. Ως αποτέλεσμα, οι οργανισμοί μπορούν να επωφεληθούν από την πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και τη βελτιωμένη συνολική επιχειρησιακή αποδοτικότητα (Kanawaday &

### 3.1.2. Ποιοτικός έλεγχος

Στον βιομηχανικό αυτοματισμό, η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στον ποιοτικό έλεγχο εκτείνεται πέρα από τη βασική ανίχνευση ελαττωμάτων και ανωμαλιών. Περιλαμβάνει μια πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και αξιοποιεί προηγμένες τεχνικές για τη β

ε Μια πτυχή της μηχανικής μάθησης στον ποιοτικό έλεγχο είναι η προεπεξεργασία και η προετοιμασία των δεδομένων. Πριν τα δεδομένα τροφοδοτηθούν στα μοντέλα μηχανικής μάθησης, υποβάλλονται σε βήματα προεπεξεργασίας για να διασφαλιστεί η ποιότητα και η συνοχή τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει καθαρισμό των δεδομένων για την απομάκρυνση ακραίων τιμών ή θορύβου, κανονικοποίηση ή κλιμάκωση των δεδομένων για τη διευκόλυνση ακριβών συγκρίσεων και μετατροπή των δεδομένων σε κατάλληλη μορφή για ανάλυση. Η φάση της προεπεξεργασίας παίζει καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση ότι τα δεδομένα είναι σωστά δομημένα και έτοιμα για τους επόμενους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης ώστε να εξάγουν σημαντικές πληροφορίες (Peres et al., 2019· Wang et al., 2021).

ς Μόλις τα δεδομένα προετοιμαστούν, χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των μοντέλων μηχανικής μάθησης. Η εκπαίδευση περιλαμβάνει την τροφοδοσία των μοντέλων με ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων που περιέχει επισημασμένες περιπτώσεις τόσο κανονικών όσο και ελαττωματικών προϊόντων ή διαδικασιών. Τα μοντέλα μαθαίνουν από αυτό το σύνολο δεδομένων εντοπίζοντας μοτίβα, συσχετίσεις και διακριτικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν μεταξύ κανονικών και μη κανονικών περιπτώσεων. Αυτή η φάση εκπαίδευσης είναι απαραίτητη για να αναπτύξουν τα μοντέλα την ικανότητα να ανιχνεύουν με ακρίβεια ελαττώματα ή ανωμαλίες σε δεδομένα πραγματικού χρόνου (Brito et al., 2020· Shahbazi & Byun, 2021).

ή

ς

ρ

ο



Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο ποιότητας χρησιμοποιούν διάφορους αλγόριθμους, όπως δέντρα αποφάσεων, μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, νευρωνικά δίκτυα ή αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης. Αυτοί οι αλγόριθμοι υπερέχουν στο χειρισμό σύνθετων συνόλων δεδομένων και είναι ικανοί να καταγράφουν περίπλοκες σχέσεις και μη γραμμικά μοτίβα που μπορεί να υπάρχουν στα δεδομένα. Η επιλογή του αλγορίθμου εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις της εργασίας ποιοτικού ελέγχου και τη φύση των δεδομένων που αναλύονται (Qin et al.,

Καθώς εξελίσσεται η παραγωγική διαδικασία, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο συλλέγονται συνεχώς και αναλύονται από τα εκπαιδευμένα μοντέλα μηχανικής μάθησης. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως αισθητήρες, κάμερες ή άλλες συσκευές παρακολούθησης που είναι εγκατεστημένες κατά μήκος της γραμμής παραγωγής. Τα μοντέλα συγκρίνουν τα εισερχόμενα δεδομένα με τα μαθημένα πρότυπα και κριτήρια για να εντοπίσουν τυχόν αποκλίσεις ή ανωμαλίες. Μέσω αυτής της ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο, τα μοντέλα μπορούν να εντοπίζουν και να επισημαίνουν άμεσα πιθανά ελαττώματα ή ανωμαλίες, επιτρέποντας την ταχεία παρέμβαση για την αποτροπή της περαιτέρω παραγωγής ελαττωματικών αντικειμένων (Fathi et al., 2019· Kang, Catal & Tekinerdogan, 2020).

Εκτός από την ανίχνευση ελαττωμάτων, η μηχανική μάθηση στον ποιοτικό έλεγχο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας. Αναλύοντας τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, τα μοντέλα μπορούν να εντοπίσουν τις περιοχές στις οποίες μπορούν να γίνουν βελτιώσεις για τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας και αποδοτικότητας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση παραμέτρων, την προσαρμογή των ρυθμίσεων της μηχανής ή την τροποποίηση των τεχνικών παραγωγής για την ελαχιστοποίηση της μεταβλητότητας και την αύξηση της συνέπειας στην ποιότητα του προϊόντος (Usuga Cadavid et al., 2020).

Επιπλέον, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο ποιότητας μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις αιτίες των ελαττωμάτων ή των ανωμαλιών. Αναλύοντας τα μοτίβα και τις σχέσεις που εντοπίζονται στα δεδομένα, τα μοντέλα μπορούν να εντοπίσουν συγκεκριμένους παράγοντες ή μεταβλητές που συμβάλλουν στις αποκλίσεις ποιότητας. Αυτή η γνώση μπορεί να βοηθήσει τους μηχανικούς και τους χειριστές να κατανοήσουν τα υποκείμενα

ζητήματα και να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους (Bertolini et al., 2021).

### 3.1.3. Βελτιστοποίηση παραγωγής

#### 3.1.3.1. Βελτιστοποίηση χωρίς αλλαγές παραμέτρων

Τυπικές βιομηχανικές εφαρμογές για τη βελτίωση της ποιότητας με βάση τη μηχανική μάθηση εντοπίζονται στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας, όπως η χύτευση με έγχυση πλαστικού (PIM) και η παραγωγή ημιαγωγών. Οι συγγραφείς υποθέτουν ότι αυτό εδράζεται στις μεγάλες ποσότητες αξιοποιήσιμων σημείων δεδομένων που παρέχονται λόγω των μικρών χρόνων κύκλου. Ειδικά ότι στην κατασκευή μικροηλεκτρονικών εξαρτημάτων υπάρχει μακρόχρονη παράδοση (Adibi & Shahrabi

Μέχρι σήμερα, οι επιστήμονες εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προβλήματα ανισοζυγισμένων συνόλων δεδομένων, ελλιπών δεδομένων και μετατόπισης των εννοιών. Η ακόλουθη ενότητα παρέχει μια επισκόπηση τριών διαφορετικών προσεγγίσεων για τη βελτιστοποίηση χωρίς αλλαγή των παραμέτρων παραγωγής: Ανάλυση αιτιών, έγκαιρη πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της παραγωγής και διαγνωστικά συστήματα (Chen & Boning 2017).

#### Ανάλυση της γενεσιουργού αιτίας

Μια προφανής προσέγγιση για τη βελτίωση της ποιότητας είναι η ανάλυση των υφιστάμενων αρχείων δεδομένων για την εξαγωγή σχετικών χαρακτηριστικών και συνδυασμών χαρακτηριστικών για υψηλή ή χαμηλή ποιότητα προϊόντος. Αυτό μπορεί να γίνει με την επιλογή χαρακτηριστικών σε ένα προκαταρκτικό στάδιο εκμάθησης ενός μοντέλου ή ως ειδική ανάλυση αιτιών. Υπάρχει μεγάλη βιβλιογραφία σε αυτούς τους τομείς. Οι εκθέσεις σχετικά με τις συνέπειες των αλλαγών των παραμέτρων παραγωγής που προκύπτουν από τα πρότυπα είναι σπάνιες. Στον τομέα της παραγωγής ημιαγωγών, η έρευνα των Chien et al. (2017) σχετικά με την ανάλυση αιτιών είναι αρκετά θεμελιώδης. Στην εργασία τους πρότειναν την ομαδοποίηση k-means, την ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA), την ομαδοποίηση και τα δέντρα αποφάσεων, αλγόριθμους βηματικής παλινδρόμησης παρτίδας με τυχαία δάση και την επιλογή χαρακτηριστικών μαζί με λογιστική παλινδρόμηση για την εύρεση των βαθύτερων αιτιών για την κακή ποιότητα και τελικά την ενίσχυση της απόδοσης. Άλλοι συγγραφείς όπως οι Kumar κ.ά. ή οι Diao κ.ά. (2015) εφαρμόζουν ιεραρχικά γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (GLM) ή βελτιωμένη PCA και τροποποιημένες μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) για τον εντοπισμό κυρίαρχων παραγόντων για την ποιότητα και

την πρόβλεψη της ποιότητας (Chien et al., 2017· Kumar, Mastrangelo, Montgomery,

Είναι επίσης δυνατό να εφαρμοστεί δειγματοληψία Gibbs για την επιλογή μεταβλητών, να μάθουμε πολυμεταβλητές προσαρμοστικές γραμμώσεις παλινδρόμησης (MARS) για την πρόβλεψη της απόδοσης ημιαγωγών και να χρησιμοποιήσουμε πίνακες αποφάσεων για την εξαγωγή των βαθύτερων αιτιών. Μια άλλη μέθοδος για την εξεύρεση των βαθύτερων αιτιών για θέματα ποιότητας είναι η εξαγωγή μοτίβων ελαττωμάτων. Για παράδειγμα, οι Franciosa et al. (2017), αναλύουν ένα σύστημα συναρμολόγησης πολλαπλών σταδίων και χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό πολυφυσικών προσομοιώσεων από πρώτες αρχές, δεδομένων μετρήσεων και τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANN) για τον εντοπισμό μοτίβων ελαττωμάτων. Στον τομέα της παραγωγής ημιαγωγών, ο Wang (2018), προτείνει την ομαδοποίηση μοτίβων ελαττωμάτων. Η εξόρυξη κανόνων συσχέτισης είναι μια μέθοδος για την εξαγωγή ερμηνεύσιμων σχέσεων σχετικών με την ποιότητα των προϊόντων. Στην παραγωγή τρυπανιών, οι Kamsu-Foguem κ.ά. (2013), περιγράφουν διεξοδικά τη χρήση κανόνων συσχέτισης.

Έγκαιρη πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της παραγωγής

Στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής, δεν είναι μόνο η ποιότητα του προϊόντος ένα εξαιρετικά σημαντικό κριτήριο, αλλά και το κόστος των βημάτων παραγωγής. Εάν τα στάδια παραγωγής είναι ακριβά από άποψη χρόνου ή τιμής, είναι χρήσιμο να προβλεφθούν εκ των προτέρων τα αποτελέσματα της κατασκευής. Με τη μέθοδο αυτή, μπορούν να αποφευχθούν περιττά και δαπανηρά βήματα παραγωγής με την απόρριψη προϊόντων από τη γραμμή παραγωγής πριν από τα κρίσιμα βήματα. Εναλλακτικά, μπορούν να δρομολογηθούν πρόσθετες διορθωτικές κατασκευαστικές ενέργειες, για παράδειγμα η διόρθωση πλακιδίων με αναμενόμενη κακή απόδοση στην παραγωγή ημιαγωγών (Sharp, Ak, Hedberg, 2018).

Η έγκαιρη πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της παραγωγής διαφέρει από τον παραδοσιακό προσδιορισμό διεργασιών ως προς το μέγεθος του συνόλου των παραμέτρων. Για τον προσδιορισμό διεργασίας απαιτείται ένα πλήρες σύνολο σχετικών παραμέτρων παραγωγής όλων των σταδίων επεξεργασίας, ενώ η έγκαιρη πρόβλεψη λειτουργεί ήδη με παραμέτρους διεργασίας ενός πρώιμου σχετικού τμήματος της γραμμής παραγωγής, επιτρέποντας την εισαγωγή διορθωτικών ενεργειών πριν από την ολοκλήρωση ολόκληρης της διεργασίας παραγωγής. Όμως, η απλή ταυτοποίηση της διεργασίας με το πλήρες σύνολο παραμέτρων επιτρέπει τη λεγόμενη εικονική

μετρολογία, όπως περιγράφεται παραδειγματικά από τους Kang et al. (2009) και Khan μέθοδο μηχανικής μάθησης, εξοικονομώντας χρόνο και κόστος. Καθώς αυτό δεν βελτιστοποιεί τη διαδικασία παραγωγής, αλλά σημαίνει μόνο μια παλινδρόμηση/ταξινόμηση της παραγωγής, οι συγγραφείς θα ήθελαν να παραπέμψουν τον αναγνώστη στις προαναφερθείσες εργασίες.

Η πρόκληση της έγκαιρης πρόβλεψης των αποτελεσμάτων της κατασκευής είναι να γίνει αξιόπιστη πρόβλεψη της τελικής ποιότητας σε πρώιμα στάδια της διαδικασίας και να εντοπιστούν σχέσεις μεταξύ των σταδίων της διαδικασίας. Αρκετοί συγγραφείς πρότειναν λύσεις, π.χ. οι εργασίες των Lieber et al. (2013) και Konrad et al. για διεργασίες έλασης με αυτοοργανωμένους χάρτες (SOM) και προσεγγίσεις k-Nearest-Neighbor (kNN) ή οι Arif et al. (2013) για δέντρα αποφάσεων στην κατασκευή ημιαγωγών. Και οι δύο εργασίες έχουν κοινό χαρακτηριστικό ότι δεν αναφέρθηκε καμία εφαρμογή.

Περισσότερο ελπιδοφόρα είναι η εργασία των Weiss κ.ά., (2016) οι οποίοι εκτίμησαν την τελική ταχύτητα του μικροεπεξεργαστή μετά από κάθε κατασκευαστική εργασία εφαρμόζοντας γραμμική παλινδρόμηση και ενισχυμένα δέντρα: οι προβλέψεις δρομολογούν διορθωτικές κατασκευαστικές ενέργειες εάν είναι απαραίτητο. Οι συγγραφείς αντιμετώπισαν την ήδη αναφερθείσα μετατόπιση των εννοιών, τα ελλιπή δεδομένα και τα ανισόρροπα σύνολα δεδομένων. Ειδικές μέθοδοι για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων αναπτύχθηκαν από τους Chen και Boning (2017), οι οποίοι εφαρμόζουν boosting και bagging προσαρμοσμένων δέντρων απόφασης για την πρόβλεψη της απόδοσης ημιαγωγών πριν από τη συσκευασία.

#### Διαγνωστικά συστήματα

Ένας άλλος τρόπος βελτιστοποίησης της τελικής ποιότητας ενός προϊόντος είναι η χρήση διαγνωστικών συστημάτων εντός της γραμμής παραγωγής. Είναι δυνατή η παρακολούθηση του ίδιου του προϊόντος (διάγνωση εξαρτημάτων) ή/και των μηχανών επεξεργασίας (διάγνωση εγκαταστάσεων). Και οι δύο προσεγγίσεις οδηγούν σε συναγερμό εάν η κατάσταση του εξαρτήματος ή της μηχανής είναι ανώμαλη ή γίνεται ανώμαλη, ζητώντας τη λήψη διορθωτικών ενεργειών. Για τη διάγνωση εξαρτημάτων περιγράφονται δύο κύριες εφαρμογές, δηλαδή η οπτική επιθεώρηση και η διάγνωση συγκροτημάτων εξαρτημάτων (Ribeiro et al., 2020).

Η αυτόματη οπτική επιθεώρηση, που εφαρμόζεται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τις διαδικασίες παραγωγής, χρησιμεύει στη διατήρηση της καλής ποιότητας των

εξαρτημάτων, εξετάζοντας τις εικόνες για πιθανά σφάλματα. Διάφορες μέθοδοι αναπτύχθηκαν για την παραγωγή ημιαγωγών και γυαλιών οθόνης, κεραμικών και πλακιδίων, καθώς και για διάφορες διεργασίες που αφορούν μεταλλικά μέρη. Επιπλέον, αναπτύχθηκαν γενικές μέθοδοι για διαφορετικά υλικά και σκοπούς (Romero

Οι μέθοδοι για οπτική επιθεώρηση ποικίλλουν σε μεθόδους προβολής όπως η ανάλυση ανεξάρτητων συνιστωσών και η PCA, προσεγγίσεις με βάση φίλτρα όπως ο διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου και ο διακριτός μετασχηματισμός κυματιδίων, προσεγγίσεις με βάση τη μάθηση όπως το SVM, τα κρυφά μοντέλα HMM), η ασαφής ομαδοποίηση και τα νευρωνικά δίκτυα συνελίξεων (CNN) για παλινδρόμηση ή ταξινόμηση και στατιστικές μέθοδοι. Η διάγνωση των διαδικασιών συναρμολόγησης ή των αποτελεσμάτων της χρησιμοποιεί συνήθως πηγές δεδομένων διαφορετικές από τις εικόνες, με αποτέλεσμα τη χρήση διαφορετικών μεθόδων. Επιπλέον, πρόσφατοι συγγραφείς προσπαθούν να καλύψουν όχι μόνο ένα συγκεκριμένο στάδιο επεξεργασίας αλλά και διεργασίες πολλαπλών σταδίων. Αυτό περιπλέκει το προς επίλυση πρόβλημα λόγω των συσχετίσεων μεταξύ των διαφόρων σταδίων της διαδικασίας και της επακόλουθης διάδοσης των σφαλμάτων (Günther &

Για συναρμολογήσεις από λαμαρίνα, οι Ceglarek και Prakash (2012) παρουσιάζουν μια προσέγγιση ελάχιστων τετραγώνων κατά τεμάχια για χρήση σε ένα μοντέλο χώρου καταστάσεων. Στην εισαγωγή τους γίνεται ανασκόπηση διαφόρων δημοσιεύσεων στον τομέα των μεθόδων διάγνωσης εξαρτημάτων. Η υπογραφή δύναμης του βραχίονα του ρομπότ συναρμολόγησης χρησιμοποιείται από τους ως είσοδος σε ένα SVM. Οι Luo et al. (2014) επεκτείνουν αυτή την προσέγγιση με την αφαίρεση συγκεκριμένων αναπαραστάσεων συμπεριφοράς από την υπογραφή δύναμης.

Η διάγνωση εγκαταστάσεων ή μηχανών παραγωγής μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεθόδους ανίχνευσης ανωμαλιών. Στην ανίχνευση ανωμαλιών των εγκαταστάσεων παραγωγής, γίνεται διάκριση μεταξύ φαινομενολογικών και βασισμένων σε μοντέλα προσεγγίσεων. Στις φαινομενολογικές προσεγγίσεις, οι μετρήσεις ταξινομούνται απευθείας για την ανίχνευση ανώμαλης συμπεριφοράς, ενώ οι προσεγγίσεις με βάση το μοντέλο συγκρίνουν ένα μοντέλο συστήματος που αναπαριστά την κανονική συμπεριφορά του συστήματος και τα δεδομένα μετρήσεων του συστήματος. Λόγω του μεγάλου όγκου των διαθέσιμων δημοσιεύσεων, δίνεται

μόνο μια σύντομη εισαγωγή στο θέμα και παραλείπεται το σημαντικό θέμα της ταξινόμησης μιας κατηγορίας (Chen, Zhang & Chen, 2019· Li, Zhang & Zhang, 2019).

Στην περίπτωση των φαινομενολογικών προσεγγίσεων, επεξεργάζονται δεδομένα αισθητήρων, όπως δεδομένα χρονοσειρών. Για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από αυτά, χρησιμοποιούνται μετασχηματισμοί όπως ο μετασχηματισμός wavelet, η εμπειρική αποσύνθεση τρόπου λειτουργίας ή η ανάλυση ανεξάρτητων συνιστωσών. Τα χαρακτηριστικά μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία με διάφορους αλγορίθμους όπως ANN, SVM, βελτιστοποιητές ή ασαφή λογική. Τυπικές εφαρμογές είναι οι μηχανές επαγωγής, τα πνευματικά συστήματα, τα κιβώτια ταχυτήτων και τα ρουλεμάν. Οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε μοντέλα συνήθως δεν βασίζονται στην εξαγωγή χαρακτηριστικών από χρονοσειρές και μπορούν να χρησιμοποιήσουν απευθείας αλγορίθμους μηχανικής μάθησης όπως η PCA ή τα μερικά ελάχιστα τετράγωνα (Yang, Gu & Xie, 2020· Zhang, H., Zhang et al., 2020).

Στενά συνδεδεμένος με τις μεθόδους ανίχνευσης ανωμαλιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση βλαβών, είναι ο τομέας των μεθόδων συντήρησης που αποσκοπούν στην πρόληψη βλαβών μηχανών λόγω φθοράς της μηχανής. Γίνεται διάκριση μεταξύ της συντήρησης με βάση το χρόνο και της συντήρησης με βάση την κατάσταση, που ονομάζεται προληπτική και προγνωστική συντήρηση. Η προληπτική συντήρηση προσπαθεί να εξάγει τη μέση ωφέλιμη ζωή μιας μηχανής ή/και των εξαρτημάτων της για να προγραμματίσει τις δραστηριότητες συντήρησης πριν από τη βλάβη. Εξ όσων γνωρίζουμε, η χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης για το έργο αυτό δεν έχει αναφερθεί ακόμη στην επιστημονική κοινότητα, καθώς η απλή στατιστική οδηγεί σε καλά αποτελέσματα. Για την προληπτική συντήρηση, μπορεί να βρεθεί μια μαθηματική διατύπωση της συνάρτησης απωλειών  $\pi$

Εάν ο όρος της προληπτικής συντήρησης αφαιρεθεί στο επίπεδο του προγραμματισμού εργοστασίων, η εργασία των Adibi et al. (2014) παρουσιάζει την εκτίμηση παραμέτρων με ομαδοποίηση, ενισχυτική μάθηση και ANN. Η προληπτική συντήρηση προσπαθεί να επεκτείνει τα διαστήματα συντήρησης με την παρακολούθηση των συνθηκών της μηχανής, εξοικονομώντας δαπάνες για περιττές, βάσει χρόνου προγραμματισμένες, δραστηριότητες συντήρησης. Σε αντίθεση με την προληπτική συντήρηση, υπάρχουν αρκετοί συγγραφείς που εφαρμόζουν μεθόδους μηχανικής μάθησης σε αυτόν τον τομέα, και οι συγγραφείς θα ήθελαν να παραπέμψουν τον ενδιαφερόμενο αναγνώστη στην ανασκόπηση των Ahmad και Kamaruddin (2012)

που συγκρίνει τόσο τη συντήρηση βάσει χρόνου όσο και τη συντήρηση βάσει κατάστασης για διάφορα παραδείγματα.

#### ελτιστοποίηση με παραμετρικές αλλαγές

Για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων βιομηχανικών διεργασιών που περιγράφηκαν με μεθόδους μηχανικής μάθησης, η τυπική ροή εργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα βήματα (Furlani & Pagnoncelli, 2021):

1. Δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με λίγα πειράματα ή εκτέλεση προσομοιώσεων με μεθόδους DOE,
2. Μοντελοποίηση των φυσικών συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων της διεργασίας και των κριτηρίων ποιότητας με στατιστικές μεθόδους ή μεθόδους μηχανικής μάθησης,
3. Βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διεργασίας με χρήση του μοντέλου διεργασίας που δημιουργήθηκε,
4. Ρύθμιση των παραμέτρων της διεργασίας χειροκίνητα ή αυτόματα. Εάν το μοντέλο μηχανικής μάθησης υποτίθεται ότι αντικαθιστά μια χρονοβόρα προσομοίωση με βάση τη φυσική, ονομάζεται meta- ή surrogate-model.

Με τη μέθοδο αυτή, ο κίνδυνος διάδοσης του σφάλματος μέσω των διαφόρων μοντέλων είναι δεδομένος. Τόσο τα συστηματικά όσο και τα στοχαστικά σφάλματα μπορούν να εμφανιστούν κατά την κατασκευή της προσομοίωσης που βασίζεται στη φυσική και στη συνέχεια να προσαρμοστούν από το μεταμοντέλο που κατασκευάζεται από τους υπολογισμούς του, με αποτέλεσμα να προκύψει και ένα άκυρο μεταμοντέλο. Αλλά ακόμη και με έγκυρα φυσικο- και μεταμοντέλα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα σφάλματα προσέγγισης της πραγματικής διαδικασίας. Ωστόσο, οι προσεγγίσεις που εξετάζονται παρακάτω βασίζονται σε μετρημένα δεδομένα. Συχνά, τα μοντέλα διεργασίας που δημιουργούνται δεν είναι απλά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης αλλά σύνθετα μη γραμμικά μοντέλα όπως το SVM ή το ANN (Shanthamurthy, S

u Η εκπαίδευση αυτών των μοντέλων μπορεί να είναι χρονοβόρα και υπολογιστικά δαπανηρή, αλλά για μια καλή αναπαράσταση των φυσικών συσχετίσεων, η χρήση μη γραμμικών μοντέλων είναι συχνά απαραίτητη. Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διεργασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με παραδοσιακές προσεγγίσεις όπως η μέθοδος του Νεύτωνα, αλγόριθμοι αναρρίχησης λόφου ή αλγόριθμοι κατάβασης κλίσης, που οδηγούν σε ένα τοπικό βέλτιστο. Μια δεύτερη δυνατότητα βελτιστοποίησης των παραμέτρων της διεργασίας είναι η χρήση εξελικτικών αλγορίθμων, που συνήθως οδηγούν στο παγκόσμιο βέλτιστο του

a

n

R

a

συγκεκριμένου πεδίου αναζήτησης. Η χρήση των εξελικτικών τεχνικών έλαβε μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια (Gen & Cheng, 2017· Pishvae & Razmi, 2012).

Συμπερασματικά, η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στον βιομηχανικό αυτοματισμό, ιδίως στην προγνωστική συντήρηση και τον ποιοτικό έλεγχο, προσφέρει πολυάριθμα οφέλη στους οργανισμούς. Με την αξιοποίηση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι εταιρείες μπορούν να ανιχνεύουν προληπτικά πιθανές βλάβες του εξοπλισμού στην προληπτική συντήρηση, οδηγώντας σε μειωμένο χρόνο διακοπής λειτουργίας, βελτιστοποιημένες δραστηριότητες συντήρησης και βελτιωμένη συνολική αξιοπιστία του εξοπλισμού. Επιπλέον, η μηχανική μάθηση επιτρέπει ακριβείς προβλέψεις των αναγκών συντήρησης με βάση ιστορικά δεδομένα, προωθώντας μια προσέγγιση με βάση τα δεδομένα στη λήψη αποφάσεων για τη συντήρηση.

Στον ποιοτικό έλεγχο, η μηχανική μάθηση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον εντοπισμό ελαττωμάτων και ανωμαλιών σε δεδομένα πραγματικού χρόνου, εξασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα προϊόντων σε όλη τη διαδικασία παραγωγής. Αναλύοντας δεδομένα αισθητήρων και εικόνες, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίζουν γρήγορα αποκλίσεις από τα αναμενόμενα πρότυπα ποιότητας, επιτρέποντας έγκαιρες διορθωτικές ενέργειες. Αυτό όχι μόνο ελαχιστοποιεί την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων, αλλά και ενισχύει την ικανοποίηση των πελατών και μειώνει τη σπατάλη.

Επιπλέον, η έλευση της έξυπνης παραγωγής και η αφθονία των δεδομένων που είναι διαθέσιμα στις βιομηχανικές ρυθμίσεις παρέχουν την ευκαιρία να αξιοποιηθεί η μηχανική μάθηση σε διάφορα στάδια πολυπλοκότητας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τα δεδομένα, να βελτιστοποιούν τη χρήση ενέργειας, να εξοικονομούν χρόνο και πόρους και να βελτιώνουν τη συνολική λειτουργική αποδοτικότητα.

Επιπλέον, η μηχανική μάθηση έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα των προϊόντων σε διαδικασίες παραγωγής πολλαπλών σταδίων. Με την εφαρμογή ελέγχου ανοικτού βρόχου με βάση τις προβλέψεις μηχανικής μάθησης, οι κατασκευαστές μπορούν να αντιμετωπίζουν προληπτικά τις αποκλίσεις ποιότητας σε πρώιμο στάδιο, οδηγώντας σε σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα των προϊόντων και την ικανοποίηση των πελατών.

Εν ολίγοις, η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στον βιομηχανικό αυτοματισμό είναι μετασχηματιστική. Δίνει τη δυνατότητα στους οργανισμούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες συντήρησης, να



διασφαλίζουν σταθερή ποιότητα προϊόντων και να προωθούν τη συνολική επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Με την υιοθέτηση της μηχανικής μάθησης, οι εταιρείες μπορούν να παραμείνουν ανταγωνιστικές, να μειώσουν το κόστος και να παραδώσουν προϊόντα υψηλής ποιότητας, οδηγώντας τελικά σε βελτιωμένη ικανοποίηση των πελατών και μακροπρόθεσμη επιτυχία στην αγορά.

#### ρόλος της αυτοματοποιημένης μάθησης μηχανών στο έξυπνο εργοστάσιο

Στη σφαίρα των έξυπνων εργοστασίων, η εφαρμογή της αυτοματοποιημένης μηχανικής μάθησης (AutoML) αναλαμβάνει έναν πολύπλευρο και απαραίτητο ρόλο, διαπερνώντας διάφορες πτυχές της παραγωγικής διαδικασίας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της παραγωγικότητας και της λήψης αποφάσεων. Ένας βασικός τομέας στον οποίο η AutoML υπερέχει είναι ο εξορθολογισμός της ανάλυσης δεδομένων και η υποστήριξη τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων (Abbasi et al., 2021).

Δεδομένου του τεράστιου όγκου δεδομένων που παράγονται από τα έξυπνα εργοστάσια, τα εργαλεία AutoML αυτοματοποιούν την προεπεξεργασία και την ανάλυση αυτών των δεδομένων, επιτρέποντας στους κατασκευαστές να εξάγουν γρήγορα πολύτιμες πληροφορίες και να εντοπίζουν μοτίβα που μπορούν να οδηγήσουν σε λειτουργικές βελτιώσεις. Με την αυτοματοποίηση αυτών των εργασιών, οι κατασκευαστές μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας τις τάσεις, εντοπίζοντας ανωμαλίες και αξιοποιώντας ευκαιρίες βελτιστοποίησης που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη λειτουργική αποδοτικότητα

Η σημασία του AutoML στα έξυπνα εργοστάσια επεκτείνεται περαιτέρω στην ανάπτυξη και την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων. Με την αυτοματοποίηση κρίσιμων πτυχών, όπως η επιλογή μοντέλου, ο συντονισμός υπερπαραμέτρων και η μηχανική των χαρακτηριστικών, το AutoML απλοποιεί τη διαδικασία δημιουργίας ακριβών και αξιόπιστων μοντέλων πρόβλεψης. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να προβλέπουν κρίσιμα γεγονότα, όπως βλάβες εξοπλισμού, συμφόρηση παραγωγής ή διαταραχές της αλυσίδας εφοδιασμού. Οπλισμένοι με αυτές τις δυνατότητες πρόβλεψης, οι κατασκευαστές μπορούν να αναλάβουν προληπτικά προληπτικές ενέργειες για να αποφύγουν δαπανηρές διακοπές λειτουργίας, να βελτιστοποιήσουν τον προγραμματισμό της παραγωγής και να μετριάσουν τις πιθανές διαταραχές. Το AutoML επιτρέπει στους κατασκευαστές να περιηγηθούν αποτελεσματικά στις πολυπλοκότητες της προγνωστικής μοντελοποίησης, αξιοποιώντας τις δυνατότητες αυτοματοποίησής του για την επιτάχυνση της ανάπτυξης

αυτών των μοντέλων σε περιβάλλον παραγωγής (Oakes, Jovanovic & Calinescu, 2020·  
Κ

υ Ένας άλλος ζωτικός ρόλος της AutoML στα έξυπνα εργοστάσια έγκειται στην παρακολούθηση και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Μέσω της συνεχούς ανάλυσης δεδομένων ροής από αισθητήρες και άλλες πηγές, τα μοντέλα AutoML μπορούν να αντοπίζουν γρήγορα ανωμαλίες ή αποκλίσεις από την αναμενόμενη απόδοση. Αυτό επιτρέπει στους κατασκευαστές να λαμβάνουν άμεσα διορθωτικά μέτρα για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων πριν αυτά κλιμακωθούν, εξασφαλίζοντας την αδιάλειπτη παραγωγή και ελαχιστοποιώντας τον μη προγραμματισμένο χρόνο διακοπής λειτουργίας. Με την ενσωμάτωση του AutoML στον ιστό των έξυπνων εργοστασίων, οι κατασκευαστές μπορούν να δημιουργήσουν ένα προληπτικό σύστημα παρακολούθησης που εντοπίζει αμέσως οποιεσδήποτε αποκλίσεις από τον κανόνα και ενεργοποιεί ειδοποιήσεις, επιτρέποντας την ταχεία παρέμβαση και επίλυση (Gulliver

Η ενσωμάτωση των μοντέλων AutoML στα συστήματα ελέγχου των έξυπνων εργοστασίων ξεκλειδώνει επίσης τις δυνατότητες για αυτόνομη λήψη αποφάσεων. Αξιοποιώντας τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που αναπτύσσονται μέσω τεχνικών AutoML, τα εργοστάσια μπορούν να αυτοματοποιήσουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων με βάση δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στις μηχανές να καθορίζουν τις βέλτιστες παραμέτρους διεργασιών, να προσαρμόζουν τις ρυθμίσεις και να κατανέμουν δυναμικά τους πόρους ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες παραγωγής (Wang & Li, 2021).

Η αυτοματοποίηση της λήψης αποφάσεων οδηγεί σε βελτιωμένη αποδοτικότητα, μειωμένη ανθρώπινη παρέμβαση και αυξημένη ανταπόκριση εντός του περιβάλλοντος παραγωγής, επιτρέποντας στους κατασκευαστές να αξιοποιήσουν ρως τις δυνατότητες των λειτουργικών τους δυνατοτήτων (Mukherjee, Mahata &

Επιπλέον, το AutoML προάγει μια κουλτούρα συνεχούς βελτίωσης και βελτιστοποίησης εντός των έξυπνων εργοστασίων. Με την αυτόματη παρακολούθηση και ανάλυση δεδομένων, το AutoML μπορεί να εντοπίσει περιοχές για βελτίωση, να προτείνει τροποποιήσεις διαδικασιών και να παράγει πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Αυτός ο επαναληπτικός βρόχος ανατροφοδότησης επιτρέπει στους κατασκευαστές να βελτιώνουν συνεχώς τις λειτουργίες τους, να ελαχιστοποιούν τα απόβλητα και να βελτιώνουν την ποιότητα των προϊόντων. Με τις

δυνατότητες του AutoML, τα έξυπνα εργοστάσια μπορούν να εντοπίζουν προληπτικά τις ανεπάρκειες, να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες τους και να βελτιώνουν συνεχώς τη συνολική τους απόδοση (Lee & Kim, 2020· Wang et al., 2020).

Συμπερασματικά, η εφαρμογή της αυτοματοποιημένης μηχανικής μάθησης (AutoML) στα έξυπνα εργοστάσια είναι μετασχηματιστική και εκτεταμένη. Βελτιώνοντας την ανάλυση δεδομένων, υποστηρίζοντας την προγνωστική μοντελοποίηση, διευκολύνοντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την αυτόνομη λήψη αποφάσεων και προωθώντας τη συνεχή βελτίωση, η AutoML δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες της ευφυΐας που βασίζεται στα δεδομένα. Με το AutoML ως αναπόσπαστο μέρος της παραγωγικής διαδικασίας, τα έξυπνα εργοστάσια μπορούν να επιτύχουν υψηλότερα επίπεδα λειτουργικής αποδοτικότητας, παραγωγικότητας και ανταγωνιστικότητας στο διαρκώς εξελισσόμενο τοπίο της σύγχρονης παραγωγής.

ρία επίπεδα αυτοματοποιημένης μάθησης μηχανών (AutoML)

#### 3.2.1.1. Βασική AutoML

Σε βασικό επίπεδο, η AutoML στοχεύει στην απλοποίηση της διαδικασίας μηχανικής μάθησης με την αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων εργασιών. Αυτό περιλαμβάνει την προεπεξεργασία δεδομένων, τη μηχανική των χαρακτηριστικών και την επιλογή μοντέλου. Τα βασικά εργαλεία AutoML παρέχουν μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή που επιτρέπει σε χρήστες με περιορισμένη εμπειρία στη μηχανική μάθηση να δημιουργούν και να αναπτύσσουν εύκολα μοντέλα. Αυτά τα εργαλεία προσφέρουν συνήθως ένα σύνολο προκαθορισμένων αλγορίθμων και προεπιλεγμένων υπερπαραμέτρων, απλοποιώντας τη διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων. Το Basic AutoML επικεντρώνεται στην παροχή μιας γρήγορης και προσιτής λύσης για τους χρήστες ώστε να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες μηχανικής μάθησης χωρίς να εμβαθύνουν σε πολύπλοκες τεχνικές λεπτομέρειες (Dorogush, Ershov & Gulin, 2018).

#### νδιάμεση AutoML

Στο ενδιάμεσο επίπεδο, η AutoML παρέχει στους χρήστες μεγαλύτερη ευελιξία και έλεγχο της διαδικασίας ανάπτυξης μοντέλων. Επεκτείνει τις δυνατότητες της βασικής AutoML, επιτρέποντας στους χρήστες να πειραματιστούν με ένα ευρύτερο φάσμα αλγορίθμων, μετασχηματισμών χαρακτηριστικών και διαμορφώσεων υπερπαραμέτρων. Τα ενδιάμεσα εργαλεία AutoML συχνά ενσωματώνουν προηγμένες τεχνικές βελτιστοποίησης, όπως η αναζήτηση πλέγματος ή η βελτιστοποίηση κατά Bayes, για την αυτόματη εξερεύνηση του χώρου υπερπαραμέτρων και τον εντοπισμό

των μοντέλων με τις καλύτερες επιδόσεις. Οι χρήστες μπορούν να ρυθμίσουν τα μοντέλα με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και τις γνώσεις τους στον τομέα, επιτυγχάνοντας μια ισορροπία μεταξύ αυτοματοποίησης και προσαρμογής (Soares &

#### ροηγμένη AutoML

Το προηγμένο επίπεδο του AutoML αντιπροσωπεύει τον υψηλότερο βαθμό αυτοματοποίησης και πολυπλοκότητας. Αξιοποιεί τεχνικές αιχμής για την αυτοματοποίηση πολύπλοκων εργασιών που εμπλέκονται στην ανάπτυξη μοντέλων. Το προηγμένο AutoML ενσωματώνει προηγμένους αλγορίθμους βελτιστοποίησης, όπως εξελικτικούς αλγορίθμους ή ενισχυτική μάθηση, για την αυτόματη αναζήτηση των καλύτερων αρχιτεκτονικών μοντέλων, υπερπαραμέτρων και μετασχηματισμών χαρακτηριστικών. Μπορεί να περιλαμβάνει εργασίες όπως η αναζήτηση νευρωνικής αρχιτεκτονικής ή η αυτοματοποιημένη μάθηση συνόλου, όπου το σύστημα σχεδιάζει και συνδυάζει αυτόνομα μοντέλα για βέλτιστη απόδοση. Το προηγμένο AutoML απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους και χρησιμοποιείται συνήθως για την αντιμετώπιση πολύπλοκων προβλημάτων ή την επίτευξη κορυφαίων αποτελεσμάτων στην έρευνα της μηχανικής μάθησης (Feurer et al., 2015).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα επίπεδα αυτοματοποίησης και προσαρμογής που παρέχονται από το AutoML μπορεί να διαφέρουν σε διάφορες πλατφόρμες και εργαλεία. Ορισμένες πλατφόρμες μπορεί να προσφέρουν έναν συνδυασμό χαρακτηριστικών από πολλαπλά επίπεδα, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόζουν το επίπεδο αυτοματοποίησης ανάλογα με την τεχνογνωσία τους και τις απαιτήσεις του έργου τους. Επιπλέον, οι συνεχείς εξελίξεις στην έρευνα του AutoML συνεχίζουν να διευρύνουν τα όρια της αυτοματοποίησης, εισάγοντας νέες τεχνικές και αλγορίθμους για τον περαιτέρω εξορθολογισμό του αγωγού μηχανικής μάθησης (Real, A

g Συνοπτικά, το AutoML περιλαμβάνει τρία επίπεδα αυτοματοποίησης: βασικό, γνδιάμεσο και προχωρημένο. Αυτά τα επίπεδα απευθύνονται σε χρήστες με διαφορετικά επίπεδα εμπειρίας και προσφέρουν αυξανόμενο βαθμό αυτοματοποίησης, ευελιξίας και πολυπλοκότητας. Αξιοποιώντας το AutoML, οι χρήστες μπορούν να επιταχύνουν την ανάπτυξη μοντέλων, να βελτιστοποιήσουν την απόδοση και να αντιμετωπίσουν σύνθετες προκλήσεις στη μηχανική μάθηση, δίνοντας τελικά τη

l

H

u

a

n

δυνατότητα σε ένα ευρύτερο φάσμα χρηστών να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες της μηχανικής μάθησης στις εφαρμογές τους.

ασικές βιομηχανίες που έχουν επωφεληθεί σημαντικά μέσω της ενσωμάτωσης αυτών των τεχνολογιών  
ιομηχανία μεταποίησης

Η μεταποιητική βιομηχανία έχει βιώσει μια αλλαγή παραδείγματος με την υιοθέτηση της μηχανικής μάθησης και της ρομποτικής. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, σε συνδυασμό με τη ρομποτική, έχουν αυτοματοποιήσει τις γραμμές παραγωγής, βελτιστοποιώντας την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα. Τα ρομπότ που είναι εξοπλισμένα με δυνατότητες μηχανικής μάθησης μπορούν να προσαρμόζονται σε δυναμικά περιβάλλοντα, να συνεργάζονται με ανθρώπινους εργαζόμενους και να εκτελούν σύνθετες εργασίες με ακρίβεια (Jiang et al., 2020).

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αναλύουν δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση για την πρόληψη βλαβών του εξοπλισμού και την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας. Επιπλέον, η μηχανική μάθηση διευκολύνει τον ποιοτικό έλεγχο με τον εντοπισμό ελαττωμάτων, τη μείωση της σπατάλης και τη διασφάλιση σταθερών προτύπων προϊόντων. Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης και της ρομποτικής έχει φέρει επανάσταση στον κλάδο της μεταποίησης, βελτιώνοντας τις διαδικασίες και ενισχύοντας τη συνολική επιχειρησιακή απόδοση (Cao et al., 2020).

ιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης

Η μηχανική μάθηση και η ρομποτική έχουν επιφέρει σημαντικές εξελίξεις στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αναλύουν τεράστιες ποσότητες ιατρικών δεδομένων, βοηθώντας στη διάγνωση ασθενειών, στον προγραμματισμό της θεραπείας και στην παρακολούθηση των ασθενών. Η ρομποτική, που καθοδηγείται από τη μηχανική μάθηση, βοηθά στις χειρουργικές επεμβάσεις, επιτρέποντας ελάχιστα επεμβατικές χειρουργικές επεμβάσεις με αυξημένη ακρίβεια και μειωμένους χρόνους ανάρρωσης. Τα χειρουργικά ρομπότ που είναι εξοπλισμένα με δυνατότητες μηχανικής μάθησης μαθαίνουν από προηγούμενες διαδικασίες, βελτιώνοντας τα χειρουργικά αποτελέσματα (Topol, 2019).

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης υποστηρίζουν επίσης την ανακάλυψη φαρμάκων, τη γενετική ανάλυση και την εξατομικευμένη ιατρική, δίνοντας τη δυνατότητα στους επαγγελματίες της υγειονομικής περίθαλψης να παρέχουν εξατομικευμένες θεραπείες και να βελτιώνουν τη φροντίδα των ασθενών. Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης και της ρομποτικής έχει μεταμορφώσει την υγειονομική περίθαλψη, οδηγώντας σε βελτιωμένη διάγνωση, βελτιστοποιημένες θεραπείες και καλύτερα αποτελέσματα για τους ασθενείς (Miotto et al., 2018).

#### ιομηχανία μεταφορών και εφοδιαστικής αλυσίδας

Ο κλάδος των μεταφορών και της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει υποστεί σημαντικό μετασχηματισμό μέσω της μηχανικής μάθησης και της ρομποτικής. Τα αυτόνομα οχήματα, καθοδηγούμενα από αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, προσφέρουν ασφαλέστερες και αποτελεσματικότερες λύσεις μεταφορών. Τα οχήματα αυτά μπορούν να αναλύουν τα πρότυπα κυκλοφορίας, να βελτιστοποιούν τις διαδρομές και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες οδικές συνθήκες, μειώνοντας τη συμφόρηση και βελτιώνοντας τους χρόνους παράδοσης (Behrends, Kliewer & Wiese,

Η ρομποτική διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στις αποθήκες και τα κέντρα εκπλήρωσης, αυτοματοποιώντας εργασίες όπως η διαλογή, η συλλογή και η συσκευασία. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης επιτρέπουν την έξυπνη διαχείριση αποθεμάτων, την πρόβλεψη της ζήτησης και τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με την ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης και της ρομποτικής, ο κλάδος των μεταφορών και της εφοδιαστικής έχει επιτύχει αυξημένη επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, βελτιωμένη εξυπηρέτηση πελατών και μειωμένο κόστος (Zheng

#### εωργική βιομηχανία

Η μηχανική μάθηση και η ρομποτική έχουν φέρει επανάσταση στη γεωργική βιομηχανία, προωθώντας τη γεωργία ακριβείας και τις βιώσιμες πρακτικές. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αναλύουν γεωργικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των εδαφικών συνθηκών, των καιρικών συνθηκών και της υγείας των καλλιεργειών, για τη βελτιστοποίηση των γεωργικών εργασιών. Η ρομποτική, όπως τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και τα αυτόνομα μηχανήματα, εξοπλισμένα με δυνατότητες μηχανικής μάθησης, βοηθούν σε εργασίες όπως η φύτευση, η άρδευση και η παρακολούθηση των καλλιεργειών. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την ακριβή κατανομή των πόρων, τη στοχευμένη καταπολέμηση των παρασίτων και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης (Lemoine, 2020· León & Karupiah, 2021).

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης βοηθούν επίσης στην πρόβλεψη ασθενειών των καλλιεργειών, στη διαχείριση των χρονοδιαγραμμάτων συγκομιδής και στη βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας εφοδιασμού. Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης και της ρομποτικής στη γεωργία έχει οδηγήσει σε αυξημένη αποδοτικότητα, μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και βελτιωμένες αποδόσεις καλλιεργειών

#### λάδος χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών

Ο κλάδος των χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών έχει υποστεί αξιοσημείωτους μετασχηματισμούς με την υιοθέτηση της μηχανικής μάθησης και της ρομποτικής. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για εργασίες όπως η ανίχνευση απάτης, η αξιολόγηση κινδύνων και οι αλγοριθμικές συναλλαγές. Αναλύοντας μεγάλους όγκους χρηματοοικονομικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα, ανωμαλίες και πιθανές δόλιες δραστηριότητες, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση και την ελαχιστοποίηση των οικονομικών απωλειών (Chen, Mao & Liu, 2018).

Η ρομποτική, με τη μορφή chatbots και εικονικών βοηθών, έχει βελτιώσει την εξυπηρέτηση πελατών παρέχοντας εξατομικευμένες συστάσεις, απαντώντας σε ερωτήματα και αυτοματοποιώντας συναλλαγές ρουτίνας. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν εξορθολογήσει τις λειτουργίες, έχουν βελτιώσει τη λήψη αποφάσεων και έχουν βελτιώσει την εμπειρία των πελατών στον κλάδο των χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών

#### ιομηχανία ενέργειας και υπηρεσιών κοινής ωφέλειας

Η μηχανική μάθηση και η ρομποτική έχουν επηρεάσει σημαντικά τη βιομηχανία ενέργειας και υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας, την εξισορρόπηση φορτίου και την προγνωστική συντήρηση της ενεργειακής υποδομής. Αναλύοντας ιστορικά δεδομένα, πρότυπα καιρικών συνθηκών και τη συμπεριφορά των καταναλωτών, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή, τη διανομή και την κατανάλωση ενέργειας, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την εξοικονόμηση κόστους (Strbac, Aunedi & Kockar, 2018).

Η ρομποτική, όπως τα αυτόνομα μη επανδρωμένα αεροσκάφη επιθεώρησης και τα ρομποτικά συστήματα, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην παρακολούθηση και τη συντήρηση κρίσιμων υποδομών, όπως τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και οι αγωγοί. Αυτά τα ρομπότ, εξοπλισμένα με δυνατότητες μηχανικής μάθησης, μπορούν να εντοπίζουν ανωμαλίες, να ανιχνεύουν σφάλματα και να εκτελούν εργασίες συντήρησης, μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιώνοντας την ασφάλεια στον τομέα της ενέργειας και των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας (Wang, Dong,

L  
i  
C  
h  
e  
n



## λεονεκτήματα και προκλήσεις της εφαρμογής της μηχανικής μάθησης στη μεταποίηση

Η μηχανική μάθηση έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε διάφορες εφαρμογές βελτιστοποίησης διαδικασιών, παρακολούθησης και ελέγχου στη μεταποίηση και προγνωστικής συντήρησης σε διάφορες βιομηχανίες (Hu, Xue & Zhu, C. 2020). Διαπιστώθηκε ότι οι τεχνικές ML παρέχουν πολλά υποσχόμενες δυνατότητες για τη βελτίωση της βελτιστοποίησης του ποιοτικού ελέγχου σε συστήματα παραγωγής (Gao, , ιδίως σε "πολύπλοκα περιβάλλοντα παραγωγής όπου η ανίχνευση των αιτιών των προβλημάτων είναι δύσκολη" (Jazdi, 2014:30). Ωστόσο, συχνά διαπιστώνεται ότι οι εφαρμογές ML περιορίζονται εστιάζοντας σε συγκεκριμένες διεργασίες αντί για ολόκληρο το πρόγραμμα παραγωγής ή το σύστημα παραγωγής (Ren et al., 2021).

### λεονεκτήματα της εφαρμογής της μηχανικής μάθησης στη μεταποίηση

Τα γενικά πλεονεκτήματα της ML καθορίστηκαν σε προηγούμενες ενότητες, αναφέροντας ότι οι τεχνικές ML είναι σε θέση να χειριστούν πλήρη προβλήματα NP, τα οποία συχνά εμφανίζονται όταν πρόκειται για προβλήματα βελτιστοποίησης ευφών συστημάτων παραγωγής (Lee, Kao & Yang, 2014). Στη συνέχεια, η έμφαση δίνεται στην ικανότητα των τεχνικών ML να χειρίζονται δεδομένα υψηλών διαστάσεων, πολλαπλών μεταβλητών και στην ικανότητα εξαγωγής σιωπηρών σχέσεων εντός μεγάλων συνόλων δεδομένων σε ένα σύνθετο και δυναμικό, συχνά ακόμη και χαοτικό περιβάλλον (Sharma & Agarwal, 2018). "Δεδομένου ότι τα περισσότερα προβλήματα μηχανικής και κατασκευής είναι πλούσια σε δεδομένα αλλά με λίγες γνώσεις" (Wang . Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα σε μια προσπάθεια γενίκευσης για το ML συνολικά. Ωστόσο, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η ιδιαιτερότητα των πλεονεκτημάτων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την επιλεγμένη τεχνική ML.

Συνολικά, συμφωνείται ότι η ML επιτρέπει τη μείωση του χρόνου κύκλου και των απορριμμάτων και βελτιώνει τη χρήση των πόρων σε ορισμένα NP-δύσκολα προβλήματα παραγωγής. Επιπλέον, η ML παρέχει ισχυρά εργαλεία για τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας σε μια μεγάλη και πολύπλοκη διαδικασία όπως η κατασκευή ημιαγωγών (Yang, Kusiak & Xue, 2019).

Ένα πλεονέκτημα των αλγορίθμων ML είναι η ικανότητα χειρισμού προβλημάτων και δεδομένων υψηλής διάστασης. Ειδικά όσον αφορά την αυξανόμενη διαθεσιμότητα σύνθετων δεδομένων (Kusiak, Wang & Verma, 2019), με μικρή

διαφάνεια στην κατασκευή (Sharma, Verma & Tiwari, 2021), αυτό πιθανότατα θα γίνει ακόμη πιο σημαντικό στο μέλλον. Ωστόσο, όπως ισχύει για τα περισσότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αλγορίθμων ML, αυτό δεν μπορεί να γενικευτεί. Ορισμένοι αλγόριθμοι (π.χ. SVM- Distributed Hierarchical Decision Tree) μπορούν να χειριστούν την υψηλή διαστατικότητα καλύτερα από άλλους (Wang, Jin & οι αλγόριθμοι ML που μπορούν να χειριστούν δεδομένα υψηλής διάστασης. Επομένως, η ικανότητα αντιμετώπισης της υψηλής διαστατικότητας θεωρείται πλεονέκτημα της εφαρμογής ML στη μεταποίηση.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των τεχνικών ML είναι η αυξημένη χρηστικότητα της εφαρμογής των αλγορίθμων λόγω των (συχνά πηγαίων) προγραμμάτων όπως το και επιπλέον την άνετη προσαρμογή των παραμέτρων για την αύξηση της απόδοσης ταξινόμησης. Όπως προαναφέρθηκε, ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αλγορίθμων ML είναι η ανακάλυψη προηγουμένως άγνωστης (σιωπηρής) γνώσης και ο εντοπισμός σιωπηρών σχέσεων σε σύνολα δεδομένων. Ανάλογα με το χαρακτηριστικό του αλγορίθμου ML (επιβλεπόμενος/μη επιβλεπόμενη ή ενισχυτική μάθηση [RL]), οι απαιτήσεις προς τα διαθέσιμα δεδομένα μπορεί να διαφέρουν. Ωστόσο, η συνολική ικανότητα του αλγορίθμου ML να επιτυγχάνει αποτελέσματα σε περιβάλλον παραγωγής αποδείχθηκε με επιτυχία (Wang et al., 2018).

Δεδομένης της ιδιαίτερης φύσης των συστημάτων παραγωγής που είναι δυναμικά, αβέβαια και πολύπλοκα. Εδώ, οι αλγόριθμοι ML παρέχουν τη δυνατότητα να μαθαίνουν από το δυναμικό σύστημα και να προσαρμόζονται στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον αυτόματα σε κάποιο βαθμό (Ngu & Ting, 2018). Η προσαρμογή είναι, ανάλογα με τον αλγόριθμο ML, αρκετά γρήγορη και σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις ταχύτερη από τις παραδοσιακές μεθόδους.

Η εφαρμογή της ML στη μεταποίηση μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή προτύπων από υφιστάμενα σύνολα δεδομένων, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη προσεγγίσεων σχετικά με τη μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος (Chen & Chen, 2019). Αυτές οι νέες πληροφορίες (γνώση) μπορούν να υποστηρίξουν τους ιδιοκτήτες της διαδικασίας στη λήψη αποφάσεων ή να χρησιμοποιηθούν για την άμεση αυτόματη βελτίωση του συστήματος. Τελικά, ο στόχος ορισμένων τεχνικών ML είναι να ανιχνεύσουν ορισμένα πρότυπα ή κανονικότητες που περιγράφουν σχέσεις (Azimi & Hashemi, 2021).

Οι Zuo et al. (2020) συνέκριναν διάφορους αλγορίθμους σύμφωνα με τις ειδικές επιδόσεις τους σε κατασκευαστικές εφαρμογές με βάση διάφορα χαρακτηριστικά. Παρόλο που αυτό δίνει την ευκαιρία να αποκτήσει κανείς μια πρώτη εντύπωση, δεν προτείνεται να βασιστεί η απόφαση για έναν κατάλληλο αλγόριθμο ML αποκλειστικά σε συγκρίσεις όπως αυτές που παρουσιάζονται σε έναν τέτοιο πίνακα. Κάθε πρόβλημα είναι διαφορετικό και η απόδοση κάθε αλγορίθμου εξαρτάται επίσης από τα διαθέσιμα δεδομένα και την προεπεξεργασία των δεδομένων, καθώς και από τις ρυθμίσεις των παραμέτρων.

### ροκλήσεις της εφαρμογής της μηχανικής μάθησης στη μεταποίηση

Μια πολύ συνηθισμένη πρόκληση της εφαρμογής της μηχανικής μάθησης στη μεταποίηση είναι η απόκτηση σχετικών δεδομένων. Πρόκειται επίσης για έναν περιορισμό, καθώς η διαθεσιμότητα, η ποιότητα και η σύνθεση (π.χ. περιλαμβάνονται μετα-δεδομένα; είναι επισημασμένα τα δεδομένα;) των δεδομένων κατασκευής που βρίσκονται στη διάθεσή μας επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των αλγορίθμων ML. Ορισμένες προκλήσεις που μπορεί να περιέχει το σύνολο δεδομένων είναι, π.χ. τα δεδομένα υψηλής διάστασης μπορεί να αντιπροσωπεύουν για ορισμένους αλγορίθμους ML, δηλαδή μπορεί να περιέχουν σε μεγάλο βαθμό άσχετες και περιττές πληροφορίες, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση των αλγορίθμων μάθησης (Talla,

Σήμερα, οι περισσότερες τεχνικές μηχανικής μάθησης χειρίζονται μόνο δεδομένα με συνεχείς και ονομαστικές τιμές (Brintrup & Talla, 2017).

Το πόσο σημαντική είναι η επιρροή, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του ίδιου του αλγορίθμου και των ρυθμίσεων των παραμέτρων. Μπορεί να θεωρηθεί γενική πρόκληση για τις περισσότερες έρευνες στον τομέα της μεταποίησης και όχι μόνο για τις εφαρμογές ML, η απόκτηση οποιωνδήποτε δεδομένων λόγω, π.χ., ανησυχιών για την ασφάλεια ή μιας βασικής έλλειψης καταγραφής δεδομένων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας (Wang, Sun & Xu, 2018).

Παρόλο που στις περισσότερες περιπτώσεις η ML επιτρέπει την εξαγωγή γνώσης και παράγει καλύτερα αποτελέσματα από τις περισσότερες παραδοσιακές μεθόδους με λιγότερες απαιτήσεις όσον αφορά τα διαθέσιμα δεδομένα, πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες πτυχές σχετικά με τα διαθέσιμα δεδομένα που μπορούν να εμποδίσουν την επιτυχή εφαρμογή. Μαζί με το επόμενο σημείο, αυτό υπογραμμίζει την αυξημένη ανάγκη κατανόησης των δεδομένων προκειμένου να εφαρμοστεί η ML

υπογραμμίζει ότι σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους όπου δαπανάται πολύς χρόνος για την εξαγωγή πληροφοριών, στην ML δαπανάται πολύς χρόνος για την προετοιμασία των δεδομένων. Αφού εξασφαλιστούν τα διαθέσιμα δεδομένα, τα δεδομένα συχνά πρέπει να υποστούν προεπεξεργασία ανάλογα με τις απαιτήσεις του αλγορίθμου που επιλέγεται. Η προεπεξεργασία των δεδομένων έχει κρίσιμο αντίκτυπο στα αποτελέσματα. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά διαθέσιμα τυποποιημένα εργαλεία που υποστηρίζουν τις πιο συνηθισμένες διαδικασίες προεπεξεργασίας, όπως η κανονικοποίηση και το φιλτράρισμα των δεδομένων. Επίσης, πρέπει να ελέγχεται αν τα δεδομένα εκπαίδευσης είναι μη ισορροπημένα. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για την εκπαίδευση ορισμένων αλγορίθμων. Στην κατασκευαστική πρακτική, είναι σύνηθες πρόβλημα το γεγονός ότι οι τιμές ορισμένων χαρακτηριστικών δεν είναι διαθέσιμες ή λείπουν από το σύνολο δεδομένων (Talla, Brintrup & Tiwari,

Αυτές οι λεγόμενες ελλείπουσες τιμές αποτελούν πρόκληση για την εφαρμογή αλγορίθμων ML. Υπάρχουν διαθέσιμα ορισμένα πρακτικά συστήματα επαγωγής που μπορούν να καλύψουν το κενό (Ahuja, Khamba & Kumar, 2021). Ωστόσο, κάθε πρόβλημα και ο μετέπειτα εφαρμοζόμενος αλγόριθμος ML έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις όσον αφορά την αντικατάσταση των ελλιπών τιμών. Με την αντικατάσταση των ελλιπών τιμών επηρεάζεται το αρχικό σύνολο δεδομένων. Ο στόχος είναι να μειωθεί η μεροληψία και άλλες αρνητικές επιρροές όσο το δυνατόν περισσότερο σε σχέση με τον στόχο της ανάλυσης. Καθώς το ζήτημα αυτό αποτελεί μια πολύ υνηθισμένη πρόκληση, υπάρχει μεγάλος όγκος βιβλιογραφίας και πρακτικών λύσεων

Μια σημαντική πρόκληση αυξανόμενης σημασίας είναι το ερώτημα ποια τεχνική και ποιος αλγόριθμος ML πρέπει να επιλεγεί (επιλογή αλγορίθμου ML). Παρόλο που υπήρξαν προσπάθειες να επιδιωχθεί ο ορισμός "γενικών τεχνικών ML", τα ποικίλα προβλήματα και οι απαιτήσεις τους αναδεικνύουν την ανάγκη για εξειδικευμένους αλγορίθμους με συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και αδυναμίες επαγγελματιών και των ερευνητών για τον τομέα της ML στην παραγωγή, είναι διαθέσιμος μεγάλος αριθμός διαφορετικών αλγορίθμων ML ή τουλάχιστον παραλλαγών αλγορίθμων ML. Προσθέτοντας σε αυτή την ήδη υπάρχουσα πολυπλοκότητα, οι συνδυασμοί διαφορετικών αλγορίθμων, οι λεγόμενες "υβριδικές προσεγγίσεις", γίνονται όλο και πιο συνηθισμένοι υποσχόμενοι καλύτερα

αποτελέσματα από την "μεμονωμένη" εφαρμογή ενός αλγορίθμου (Mahmud & Qiu,

Υπάρχουν πολλές μελέτες που αναδεικνύουν μια επιτυχημένη εφαρμογή τεχνικών ML για συγκεκριμένα προβλήματα. Ταυτόχρονα, τα δεδομένα δοκιμών δεν είναι δημόσια διαθέσιμα σε πολλές περιπτώσεις. Αυτό καθιστά δύσκολη την ουδέτερη και αμερόληπτη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και, συνεπώς, την τελική σύγκριση. Μέχρι σήμερα, η γενικά αποδεκτή προσέγγιση για την επιλογή ενός κατάλληλου αλγορίθμου ML για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η εξής (Oettmeier, Benlian &

Πρώτον, εξετάζει κανείς τα διαθέσιμα δεδομένα και τον τρόπο με τον οποίο περιγράφονται (επισημασμένα, μη επισημασμένα, διαθέσιμη γνώση εμπειρογνομώνων κ.λπ.) για να επιλέξει μεταξύ μιας εποπτευόμενης, μη εποπτευόμενης ή RL προσέγγισης.

Δεύτερον, πρέπει να αναλυθεί η γενική εφαρμοσιμότητα των διαθέσιμων αλγορίθμων όσον αφορά τις απαιτήσεις του ερευνητικού προβλήματος (π.χ. ικανότητα χειρισμού υψηλής διαστατικότητας). Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στη δομή, στους τύπους δεδομένων και στο συνολικό όγκο των διαθέσιμων δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκπαίδευση και αξιολόγηση.

Τρίτον, πρέπει να διερευνηθούν προηγούμενες εφαρμογές των αλγορίθμων σε παρόμοια προβλήματα προκειμένου να εντοπιστεί ο κατάλληλος αλγόριθμος. Ο όρος "παρόμοια" στην προκειμένη περίπτωση σημαίνει, ερευνητικά προβλήματα με συγκρίσιμες απαιτήσεις π.χ. σε άλλους κλάδους ή τομείς.

Μια άλλη πρόκληση είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι όχι μόνο η μορφή ή η απεικόνιση του αποτελέσματος έχει σημασία για την ερμηνεία, αλλά και οι προδιαγραφές του ίδιου του επιλεγμένου αλγορίθμου, οι ρυθμίσεις των παραμέτρων, το "προβλεπόμενο αποτέλεσμα" και επίσης τα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένης της προεπεξεργασίας τους. Στο πλαίσιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, ορισμένοι πιο σαφείς περιορισμοί (και πάλι ανάλογα με τον επιλεγμένο αλγόριθμο) μπορούν να έχουν μεγάλο αντίκτυπο. Μεταξύ αυτών είναι, π.χ., η ανοσία στην υπερπροσαρμογή (Trakadas, Srinivasan & Ratchev, 2019), η μεροληψία και η διακύμανση (επομένως η αντιστάθμιση μεροληψίας-διακύμανσης)

αταλληλότητα της εφαρμογής της μηχανικής μάθησης σε σχέση με τις σημερινές κατασκευαστικές προκλήσεις

Η εφαρμογή των τεχνικών ML αυξήθηκε τις τελευταίες δύο δεκαετίες λόγω διαφόρων παραγόντων, π.χ. της διαθεσιμότητας μεγάλων ποσοτήτων σύνθετων δεδομένων με μικρή διαφάνεια (Duan et al., 2020) και της αυξημένης χρηστικότητα και ισχύος των διαθέσιμων εργαλείων ML (Sood & Bhardwaj, 2020). Παρ' όλα αυτά, ο κύριος ορισμός της ML, που επιτρέπει στους υπολογιστές να επιλύουν προβλήματα χωρίς να είναι ειδικά προγραμματισμένοι για να το κάνουν (Zhang, Li, & Feng, 2021), εξακολουθεί να ισχύει και σήμερα. Το ML συνδέεται με άλλους όρους, όπως DM, KD, AI και άλλους (Yang, Li & Li, 2020).

Πολλές τεχνικές ML (π.χ. Support Vector Machine [SVM]) έχουν σχεδιαστεί για την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων και είναι ικανές να χειρίζονται πολύ καλά την υψηλή διαστατικότητα (>1000) (Xie, Zhang & Liu, 2019). Ωστόσο, κατά την εφαρμογή πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνοδευτικά ζητήματα όπως η πιθανή υπερπροσαρμογή (Vasantha, Roy & Helander, 2018). Εάν η διαστατικότητα αποδειχθεί ζήτημα, παρά το γεγονός ότι είναι απίθανο λόγω της ισχύος των αλγορίθμων, υπάρχουν διαθέσιμες μέθοδοι για τη μείωση των διαστάσεων. Αυτές ισχυρίζονται ότι μειώνουν τον αντίκτυπο της μείωσης της διαστατικότητας στα αναμενόμενα αποτελέσματα

Η σημασία της χρήσης ML, στην προκειμένη περίπτωση SVM, είναι ότι η διαστατικότητα δεν αποτελεί πρακτικό πρόβλημα και, επομένως, μειώνεται η ανάγκη μείωσης της διαστατικότητας. Αυτό συνεπάγεται τη δυνατότητα μεγαλύτερης ελευθεριότητας στη συμπερίληψη φαινομενικά άσχετων πληροφοριών που υπάρχουν στα δεδομένα κατασκευής και οι οποίες μπορεί να αποδειχθούν σχετικές υπό ορισμένες συνθήκες. Αυτό μπορεί να έχει άμεσο αντίκτυπο στο υπάρχον κενό γνώσης που περιγράφηκε προηγουμένως (Ahmad, Wang & Liu, 2019).

Η εφαρμογή της ML στη μεταποίηση μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή προτύπων από υφιστάμενα σύνολα δεδομένων, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη προσεγγίσεων σχετικά με τη μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος (Venkatesh & Choudhary, 2020). Αυτές οι νέες πληροφορίες (γνώση) μπορούν να υποστηρίξουν τους ιδιοκτήτες της διαδικασίας στη λήψη αποφάσεων ή να χρησιμοποιηθούν αυτόματα για την άμεση βελτίωση του συστήματος. Τελικά, ο στόχος ορισμένων τεχνικών ML είναι να ανιχνεύσουν ορισμένα πρότυπα ή κανονικότητες που περιγράφουν σχέσεις (Chakraborty, Natarajan & Sridharan, 2020).

Δεδομένης της πρόκλησης ενός ταχέως μεταβαλλόμενου, δυναμικού περιβάλλοντος παραγωγής, το ML, που αποτελεί μέρος της TN και κληρονομεί την ικανότητα να μαθαίνει και να προσαρμόζεται στις αλλαγές "ο σχεδιαστής του συστήματος δεν χρειάζεται να προβλέπει και να παρέχει λύσεις για όλες τις πιθανές καταστάσεις" (Alam, Razzaq & Ahn, 2019). Επομένως, η ML παρέχει ένα ισχυρό επιχειρήμα για το γιατί η εφαρμογή της στη μεταποίηση μπορεί να είναι επωφελής, δεδομένου ότι τα περισσότερα μοντέλα πρώτης αρχής δυσκολεύονται να αντιμετωπίσουν την προσαρμοστικότητα. Η αυτόματη εκμάθηση και προσαρμογή σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα του ML (Μίαιο, 2021). Οι τεχνικές ML έχουν σχεδιαστεί για να αντλούν γνώση από τα υπάρχοντα δεδομένα

Οι Song, Yang & Xu, (2021:42) τονίζουν ότι "τα αποθηκευμένα δεδομένα γίνονται χρήσιμα μόνο όταν αναλύονται και μετατρέπονται σε πληροφορίες που μπορούμε να αξιοποιήσουμε, για παράδειγμα, για να κάνουμε προβλέψεις". Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τη μεταποίηση, δεδομένου του αγώνα για τη λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ενός προγράμματος παραγωγής σε ζωντανή λειτουργία με τους τεχνικούς, οικονομικούς και γνωστικούς περιορισμούς. Αυτό μπορεί επίσης να έχει αντίκτυπο στο ζήτημα της τοποθέτησης των σημείων ελέγχου της διαδικασίας (Garg, Bala & Sharma, 2021).

Ενώ έχει νόημα να επιλέγονται προσεκτικά τα σημεία ελέγχου υπό την προοπτική του ποια δεδομένα είναι χρήσιμα, αυτό μπορεί να είναι παρωχημένο δεδομένης της αναλυτικής δύναμης των τεχνικών ML για την εξαγωγή πληροφοριών από δεδομένα που προηγουμένως θεωρούνταν άχρηστα. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα προσδιορισμού περισσότερων καταστάσεων, για τη σύλληψη δεδομένων, κατά μήκος του συνολικού προγράμματος παραγωγής. Το κατά πόσον αυτό είναι επωφελές είναι ένα ανοιχτό ερώτημα, το οποίο πρέπει να ερευνηθεί. Δεδομένης της ικανότητας της ML να χειρίζεται δεδομένα υψηλής διάστασης, η τεχνική πλευρά της ανάλυσης των πρόσθετων δεδομένων δεν παρέχει κανένα πρόβλημα. Ωστόσο, όσον αφορά τη σύλληψη των δεδομένων μπορεί να εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα, συγκεκριμένα η δυνατότητα σύλληψης των δεδομένων. Από τη στιγμή που τα δεδομένα είναι διαθέσιμα, ο προσδιορισμός των κρατικών οδηγιών σε καταστάσεις πολύ υψηλής διαστατικότητας δεν θεωρείται προβληματικός, ούτε η συχνή επανάληψή του (Dong, Yang & Xu, 2020· Yao, Wang & Yang, 2021).

Συνολικά, όπως τονίζουν οι Zhu, Wang & Zhou (2023:12), "η ευφυΐα συνδέεται στενά με τη μάθηση και η ικανότητα μάθησης πρέπει να αποτελεί απαραίτητο χαρακτηριστικό των ευφύων συστημάτων παραγωγής". Η ML παρέχει ισχυρά επιχειρήματα όσον αφορά τους περιορισμούς και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η θεωρητική έννοια της κατάστασης του προϊόντος. Δεδομένης της προαναφερθείσας ανάλυσης, οι τεχνικές ML φαίνεται να παρέχουν μια πολλά υποσχόμενη λύση με βάση τις παραγόμενες απαιτήσεις. Οι περισσότερες από τις προσδιορισθείσες απαιτήσεις αντιμετωπίζονται επιτυχώς από την ML (Jiang, Liu & Wang, 2022).

Ωστόσο, πρέπει να γίνει λεπτομερέστερη ανάλυση των διαθέσιμων τεχνικών ML, καθώς και των δυνατών σημείων και των περιορισμών τους όσον αφορά τις απαιτήσεις. Πάνω απ' όλα, η πιθανή συμβατότητα με τη θεωρητική έννοια της κατάστασης του προϊόντος και η προοπτική της για το πρόγραμμα κατασκευής πρέπει να αναπτυχθεί περαιτέρω πριν από την τελική κρίση. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν, όπως ο τρόπος με τον οποίο οι τεχνικές ML μπορούν να χειριστούν ποιοτικές πληροφορίες (Wu, Wang & Li, 2023).



## επιπτώσεις σύγχρονων βιομηχανικών εταιριών που χρησιμοποιούν εφαρμογές μηχανικής μάθησης

mazon και Ford

Η Amazon και η Ford είναι δύο εξέχουσες βιομηχανικές εταιρείες που έχουν ενσωματώσει με επιτυχία εφαρμογές μηχανικής μάθησης στις δραστηριότητές τους, αν και σε διαφορετικούς τομείς. Ας ρίξουμε μια πιο προσεκτική ματιά στον τρόπο με τον οποίο καθεμία από αυτές τις εταιρείες χρησιμοποιεί τη μηχανική μάθηση και τα οφέλη που αυτή επιφέρει.

Η Amazon, γνωστή για την κυριαρχία της στο ηλεκτρονικό εμπόριο, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη μηχανική μάθηση για να βελτιώσει την εμπειρία των πελατών της και να αυξήσει τις πωλήσεις της. Ένας από τους βασικούς τομείς στους οποίους η μηχανική μάθηση λάμπει στην Amazon είναι οι εξατομικευμένες συστάσεις προϊόντων. Αναλύοντας τεράστιες ποσότητες δεδομένων πελατών, συμπεριλαμβανομένου του ιστορικού αγορών, της συμπεριφοράς περιήγησης και των δημογραφικών πληροφοριών, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης της Amazon μπορούν να προβλέπουν με ακρίβεια και να προτείνουν προϊόντα που είναι πιθανό να ενδιαφέρουν μεμονωμένους πελάτες. Αυτή η εξατομικευμένη προσέγγιση όχι μόνο βελτιώνει την ικανοποίηση των πελατών, αλλά και ενισχύει τις πωλήσεις αυξάνοντας την πιθανότητα αγορών (Dumaine, 2020).

Επιπλέον, η Amazon χρησιμοποιεί αλγορίθμους μηχανικής μάθησης στα συστήματα διαχείρισης αποθηκών της. Με ένα εκτεταμένο δίκτυο κέντρων εκπλήρωσης, η βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των αποθεμάτων και ο εξορθολογισμός της εφοδιαστικής είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική λειτουργία. Αξιοποιώντας τη μηχανική μάθηση, η Amazon μπορεί να προβλέπει τα πρότυπα ζήτησης, να βελτιστοποιεί την κατανομή των αποθεμάτων και να βελτιώνει τις διαδικασίες εκτέλεσης παραγγελιών. Αυτό επιτρέπει την ταχύτερη και ακριβέστερη επεξεργασία παραγγελιών, μειώνοντας τους χρόνους παράδοσης και ενισχύοντας τη συνολική ικανοποίηση των πελατών (<https://www.amazon.com>).

Από την άλλη πλευρά, η Ford, μια διάσημη αυτοκινητοβιομηχανία, αξιοποιεί τη μηχανική μάθηση τόσο στην κατασκευή όσο και στην ανάπτυξη οχημάτων. Στον τομέα της κατασκευής, η Ford εφαρμόζει αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για τη βελτίωση των διαδικασιών ελέγχου ποιότητας. Αναλύοντας δεδομένα αισθητήρων και παραμέτρους παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, η Ford μπορεί να ανιχνεύει αποκλίσεις από τις βέλτιστες συνθήκες και να εντοπίζει έγκαιρα πιθανά ελαττώματα. Αυτή η

προληπτική προσέγγιση επιτρέπει την έγκαιρη παρέμβαση, διασφαλίζοντας ότι μόνο οχήματα υψηλής ποιότητας θα φτάσουν στην αγορά (Barshooi, 2023).

Επιπλέον, η Ford αξιοποιεί αλγορίθμους μηχανικής μάθησης στις προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης, ιδίως στον τομέα των αυτόνομων οχημάτων. Με στόχο τη δημιουργία ασφαλών και αξιόπιστων αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων, η Ford χρησιμοποιεί τη μηχανική μάθηση για την ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων αισθητήρων, όπως οι τροφοδοσίες καμερών και οι σαρώσεις LIDAR, για την αναγνώριση και ερμηνεία των οδικών συνθηκών, των αντικειμένων και των πιθανών κινδύνων. Αυτή η προσέγγιση που βασίζεται στα δεδομένα βοηθά στη βελτίωση της απόδοσης και της ασφάλειας των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης, διευρύνοντας τα όρια της τεχνολογίας της αυτοκινητοβιομηχανίας (You, Lu, Filev & Tsiotras, 2019).

Με την ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης στις δραστηριότητές τους, τόσο η Amazon όσο και η Ford επωφελούνται από την αυξημένη αποδοτικότητα, τη βελτιωμένη λήψη αποφάσεων και την αυξημένη ικανοποίηση των πελατών. Οι εξατομικευμένες συστάσεις της Amazon οδηγούν σε υψηλότερα ποσοστά τεχνολογικού μετασχηματισμού και αφοσίωσης των πελατών (<https://www.ford.com>), ενώ η υιοθέτηση της μηχανικής μάθησης από τη Ford στην κατασκευή και την ανάπτυξη οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα καλύτερο ποιοτικό έλεγχο, βελτιστοποιημένες διαδικασίες παραγωγής και εξελίξεις στην τεχνολογία αυτόνομης οδήγησης.

Εν κατακλείδι, η επιτυχής ενσωμάτωση εφαρμογών μηχανικής μάθησης σε βιομηχανικές εταιρείες όπως η Amazon και η Ford αναδεικνύει τις μετασχηματιστικές δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας. Είτε πρόκειται για τη βελτιστοποίηση της εμπειρίας των πελατών, είτε για τον εξορθολογισμό των logistics, είτε για τη βελτίωση της ποιότητας της παραγωγής, είτε για την εξέλιξη της τεχνολογίας της αυτοκινητοβιομηχανίας, η μηχανική μάθηση αποδεικνύεται πολύτιμο εργαλείο που προωθεί την καινοτομία και ενισχύει την ανταγωνιστικότητα στο σύγχρονο βιομηχανικό τοπίο.

#### ayPal και Revolut

Η PayPal, κορυφαία πλατφόρμα ηλεκτρονικών πληρωμών, αξιοποίησε τη δύναμη της μηχανικής μάθησης για να βελτιώσει την ανίχνευση και την πρόληψη της απάτης, θέτοντας νέα πρότυπα για ασφαλείς ηλεκτρονικές συναλλαγές. Με εκατομμύρια συναλλαγές που διεκπεραιώνονται καθημερινά, η PayPal αντιμετωπίζει τη συνεχή πρόκληση του εντοπισμού και της πρόληψης δόλιων δραστηριοτήτων. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αποτελούν τον πυρήνα των ισχυρών μέτρων ασφαλείας

της PayPal. Αναλύοντας τεράστιες ποσότητες δεδομένων συναλλαγών, μοτίβα συμπεριφοράς χρηστών και άλλες μεταβλητές, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να εντοπίζουν ανωμαλίες και να επισημαίνουν δυνητικά δόλιες συναλλαγές σε πραγματικό χρόνο. Η ικανότητα ταχείας αναγνώρισης ύποπτων δραστηριοτήτων δίνει τη δυνατότητα στην PayPal να αναλαμβάνει άμεση δράση, προστατεύοντας τους χρήστες της και καθιστώντας τις ηλεκτρονικές πληρωμές πιο ασφαλείς και αξιόπιστες

Εκτός από την ανίχνευση απάτης, η μηχανική μάθηση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών της PayPal και στην παροχή εξατομικευμένων εμπειριών. Αναλύοντας τεράστιες ποσότητες δεδομένων χρηστών, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να κατανοήσουν τις προτιμήσεις των πελατών, το ιστορικό συναλλαγών και τη συμπεριφορά περιήγησης. Αυτή η βαθιά κατανόηση επιτρέπει στην PayPal να προσαρμόζει τις προσφορές και τις συστάσεις της σε μεμονωμένους χρήστες, παρέχοντας μια εξατομικευμένη εμπειρία που ανταποκρίνεται στις μοναδικές ανάγκες τους. Είτε πρόκειται για την υπόδειξη σχετικών προϊόντων είτε για την παροχή στοχευμένων προωθητικών ενεργειών, η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης ενισχύει την ικανοποίηση και τη δέσμευση των χρηστών (Dinsmore & Dinsmore, 2016).

Προχωρώντας στη Revolut, μια δυναμική εταιρεία ψηφιακής τραπεζικής και χρηματοοικονομικής τεχνολογίας, η μηχανική μάθηση έχει συμβάλει καθοριστικά στην προώθηση της καινοτομίας και στην αναμόρφωση του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι διαχειρίζονται τα οικονομικά τους. Ένας τομέας στον οποίο η Revolut έχει αξιοποιήσει τη μηχανική μάθηση είναι η ανάλυση δαπανών. Αναλύοντας δεδομένα συναλλαγών και μοτίβα δαπανών των χρηστών, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης κατηγοριοποιούν και παρέχουν διορατικές απεικονίσεις των συνηθειών δαπανών των χρηστών. Αυτό επιτρέπει στους πελάτες της Revolut να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της οικονομικής τους συμπεριφοράς, να εντοπίσουν τομείς προς βελτίωση και να λάβουν πιο τεκμηριωμένες οικονομικές αποφάσεις. Η δυνατότητα ανάλυσης και ερμηνείας τεράστιου όγκου δεδομένων δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να ελέγχουν τα οικονομικά τους και να επιτυγχάνουν τους οικονομικούς τους στόχους (Buchi et al., 2019· Makridakis, 2017).

Οι δυνατότητες μηχανικής μάθησης της Revolut επεκτείνονται επίσης στη συναλλαγή συναλλάγματος και στις συναλλαγές στο εξωτερικό. Αξιοποιώντας ιστορικά δεδομένα και δεδομένα αγοράς σε πραγματικό χρόνο, οι αλγόριθμοι

μηχανικής μάθησης επιτρέπουν στη Revolut να προσφέρει στους χρήστες ανταγωνιστικές συναλλαγματικές ισοτιμίες και να βελτιστοποιεί τις μετατροπές νομισμάτων. Αυτό παρέχει στους χρήστες οικονομικά αποδοτικές λύσεις για διεθνείς συναλλαγές και εξαλείφει την ανάγκη για παραδοσιακές υπηρεσίες ανταλλαγής συναλλάγματος. Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης στη συναλλαγή συναλλάγματος δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να διαχειρίζονται χωρίς κόπο τα οικονομικά τους πέρα από τα σύνορα, καθιστώντας τη Revolut μια προτιμώμενη επιλογή για άτομα με παγκόσμιες οικονομικές ανάγκες (<https://www.revolut.com>).

Επιπλέον, τόσο η PayPal όσο και η Revolut χρησιμοποιούν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την καταπολέμηση της οικονομικής απάτης, ένα διαδεδομένο ζήτημα στον ψηφιακό κόσμο. Η Revolut, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό και την πρόληψη δόλιων δραστηριοτήτων, όπως η κλοπή ταυτότητας, οι μη εξουσιοδοτημένες συναλλαγές και οι παραβιάσεις λογαριασμών. Με τη συνεχή ανάλυση μοτίβων και ανωμαλιών στα δεδομένα των χρηστών, η Revolut μπορεί να εντοπίζει και να μετριάξει προληπτικά πιθανούς κινδύνους, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των κεφαλαίων των πελατών της. Ομοίως, τα ισχυρά συστήματα ανίχνευσης απάτης της PayPal αξιοποιούν τη μηχανική μάθηση για να βρίσκονται μπροστά από τις εξελισσόμενες τεχνικές απάτης, παρέχοντας στους χρήστες μια ασφαλή πλατφόρμα για online πληρωμές (<https://www.paypal.com>,

Συμπερασματικά, η PayPal και η Revolut αποτελούν παράδειγμα για το πώς η μηχανική μάθηση έχει αναμορφώσει τον χρηματοπιστωτικό κλάδο, ενισχύοντας την ασφάλεια, την εξατομίκευση και τις δυνατότητες οικονομικής διαχείρισης. Αξιοποιώντας προηγμένες αναλύσεις και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, οι εταιρείες αυτές έχουν φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι πραγματοποιούν συναλλαγές και διαχειρίζονται τα οικονομικά τους. Με τις συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία μηχανικής μάθησης, μπορούμε να περιμένουμε ότι η PayPal, η Revolut και άλλες χρηματοπιστωτικές εταιρείες θα συνεχίσουν να διευρύνουν τα όρια της καινοτομίας, παρέχοντας ακόμη πιο εξελιγμένες και επικεντρωμένες στον χρήστη χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες.

### 5.3. B

ο Η DHL, μια παγκόσμια εταιρεία logistics, και η Bosch, μια κορυφαία πολυεθνική εταιρεία μηχανικής και τεχνολογίας, είναι πρωταρχικά παραδείγματα οργανισμών που έχουν αξιοποιήσει τη δύναμη της μηχανικής μάθησης για τη

και DHL

βελτιστοποίηση των λειτουργιών τους. Οι εταιρείες αυτές αξιοποιούν προηγμένους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την ενίσχυση της αποδοτικότητας, τη βελτίωση του ποιοτικού ελέγχου και την προώθηση της καινοτομίας στους αντίστοιχους κλάδους τους, φέρνοντας επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζονται τα logistics και η παραγωγή (<https://www.dhl.com>).

Η DHL, με το εκτεταμένο δίκτυό της και τις περίπλοκες λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, αξιοποιεί τη μηχανική μάθηση για να μετασχηματίσει διάφορες πτυχές των διαδικασιών εφοδιαστικής της. Μια αξιοσημείωτη εφαρμογή είναι η βελτιστοποίηση της παράδοσης στο τελευταίο μίλι, η οποία είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της έγκαιρης και αποτελεσματικής παράδοσης στους πελάτες. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης της DHL αναλύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των ιστορικών προτύπων παράδοσης, των δεδομένων κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και των προτιμήσεων των πελατών, για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών παράδοσης του τελευταίου χιλιομέτρου. Λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα χρονικά παράθυρα παράδοσης και τα μεγέθη των πακέτων, οι αλγόριθμοι αυτοί επιτρέπουν στους οδηγούς της DHL να πλοηγούνται αποτελεσματικά και να μειώνουν τους χρόνους παράδοσης

Ως αποτέλεσμα, η DHL ενισχύει τη συνολική ικανοποίηση των πελατών της εξασφαλίζοντας γρήγορες και αξιόπιστες παραδόσεις. Επιπλέον, η DHL χρησιμοποιεί τη μηχανική μάθηση στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας για να προωθήσει τη λειτουργική αριστεία. Η πολύπλοκη φύση των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί αποτελεσματική κατανομή των πόρων, αποτελεσματική πρόβλεψη της ζήτησης και εξορθολογισμένες διαδρομές μεταφοράς. Αξιοποιώντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, η DHL μπορεί να αναλύσει εκτεταμένα σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνουν πρότυπα ζήτησης, παραγωγική ικανότητα, δεδομένα logistics και τάσεις της αγοράς. Αυτή η ανάλυση επιτρέπει στην DHL να βελτιστοποιεί τα επίπεδα αποθεμάτων, να εξορθολογίζει τις διαδρομές μεταφοράς και να βελτιώνει την ακρίβεια της πρόβλεψης της ζήτησης. Με αυτές τις γνώσεις, η DHL μπορεί να λαμβάνει τεκμηριωμένες αποφάσεις που βελτιώνουν την ικανοποίηση των πελατών, μειώνουν το κόστος και διασφαλίζουν την έγκαιρη παράδοση προϊόντων και υπηρεσιών (Makkar,

Στον κατασκευαστικό τομέα, η Bosch, γνωστή για τη μηχανική της δεινότητα, αξιοποιεί τη μηχανική μάθηση για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και τη βελτίωση

της ποιότητας των προϊόντων. Μία από τις βασικές εφαρμογές της μηχανικής μάθησης στην Bosch είναι η προγνωστική συντήρηση. Αξιοποιώντας προηγμένες αναλύσεις και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, η Bosch μπορεί να αναλύσει δεδομένα αισθητήρων, μετρήσεις απόδοσης και ιστορικά αρχεία συντήρησης για να προβλέψει τις βλάβες του εξοπλισμού και τις ανάγκες συντήρησης. Αυτή η ικανότητα πρόβλεψης επιτρέπει στην Bosch να προγραμματίζει δραστηριότητες προληπτικής συντήρησης, μειώνοντας τον απρογραμμάτιστο χρόνο διακοπής λειτουργίας και μεγιστοποιώντας την απόδοση των μηχανημάτων. Ως αποτέλεσμα, η Bosch ενισχύει τη λειτουργική αποδοτικότητα, μειώνει το κόστος συντήρησης και διασφαλίζει την αδιάλειπτη παραγωγή

Η Bosch εφαρμόζει επίσης αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για τη βελτίωση του ποιοτικού ελέγχου στις διαδικασίες παραγωγής της. Αναλύοντας δεδομένα αισθητήρων, παραμέτρους παραγωγής και ιστορικά δεδομένα επιδόσεων, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα και ανωμαλίες που μπορεί να υποδεικνύουν ελαττώματα ή αποκλίσεις από τα βέλτιστα πρότυπα ποιότητας. Αυτό επιτρέπει στην Bosch να εντοπίζει ζητήματα ποιότητας νωρίς στη διαδικασία παραγωγής, διευκολύνοντας την έγκαιρη λήψη διορθωτικών μέτρων και αποτρέποντας την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων. Διατηρώντας αυστηρό ποιοτικό έλεγχο μέσω της μηχανικής μάθησης, η Bosch μπορεί να παρέχει προϊόντα με τα υψηλότερα πρότυπα, εξασφαλίζοντας την ικανοποίηση των πελατών και διασφαλίζοντας τη φήμη της μάρκας της (Zheng, Zhuoxun, et al., 2022· Zhou et al.,

Επιπλέον, τόσο η DHL όσο και η Bosch αξιοποιούν τη μηχανική μάθηση για τη βελτιστοποίηση των πόρων. Στην περίπτωση της DHL, η βελτιστοποίηση επικεντρώνεται στην αλυσίδα εφοδιασμού. Αναλύοντας τεράστιες ποσότητες δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των ιστορικών τάσεων, της συμπεριφοράς των πελατών, των δυνατοτήτων παραγωγής και των δεδομένων εφοδιαστικής, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν ευκαιρίες βελτίωσης. Η DHL μπορεί να βελτιστοποιήσει τις διαδρομές μεταφοράς, να εξορθολογήσει τις λειτουργίες της αποθήκης και να τελειοποιήσει τη διαχείριση των αποθεμάτων για τη μείωση του κόστους, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης της αλυσίδας εφοδιασμού (<https://www.bosch.com>, <https://www.dhl.com>).

Ομοίως, η Bosch βελτιστοποιεί τις διαδικασίες παραγωγής και την κατανάλωση ενέργειας μέσω μηχανικής μάθησης. Αναλύοντας εκτεταμένες πηγές δεδομένων, όπως

δεδομένα χρήσης ενέργειας, περιβαλλοντικούς παράγοντες και παραμέτρους παραγωγής, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας, να βελτιστοποιήσουν τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και να μειώσουν τη σπατάλη. Αυτό επιτρέπει στην Bosch να μειώσει τις περιβαλλοντικές της επιπτώσεις, να βελτιώσει τη βιωσιμότητα και να αυξήσει τη λειτουργική αποδοτικότητα (Zhou et al., 2020).

Συμπερασματικά, η DHL και η Bosch αποτελούν παράδειγμα για το πώς η μηχανική μάθηση μεταμορφώνει τις βιομηχανίες logistics και παραγωγής. Αξιοποιώντας προηγμένους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, οι εταιρείες αυτές βελτιστοποιούν διάφορες πτυχές των λειτουργιών τους, συμπεριλαμβανομένης της παράδοσης του τελευταίου χιλιομέτρου, της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού, της προγνωστικής συντήρησης, του ποιοτικού ελέγχου και της βελτιστοποίησης των πόρων. Μέσω της καινοτόμου χρήσης της μηχανικής μάθησης, η DHL και η Bosch προωθούν την αποδοτικότητα, βελτιώνουν την ικανοποίηση των πελατών και παρέχουν εξαιρετικά προϊόντα και υπηρεσίες στους αντίστοιχους κλάδους τους. Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης επιτρέπει σε αυτές τις εταιρείες να παραμείνουν στην πρώτη γραμμή των τεχνολογικών εξελίξεων και να διαμορφώσουν το μέλλον της εφοδιαστικής και της παραγωγής.

## Συμπεράσματα

Οι εφαρμογές της μηχανικής μάθησης στη σημερινή βιομηχανία έχουν επιφέρει σημαντικούς μετασχηματισμούς, οδηγώντας σε αυξημένη αποδοτικότητα και βελτιωμένες λειτουργίες. Αξιοποιώντας τη δύναμη της νοημοσύνης που βασίζεται στα δεδομένα, η μηχανική μάθηση έχει γίνει τεχνολογία ακρογωνιαίος λίθος σε διάφορους τομείς, φέρνοντας επανάσταση στις διαδικασίες και τη λήψη αποφάσεων.

Μια βασική εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στη βιομηχανία είναι η προγνωστική συντήρηση. Αναλύοντας μεγάλες ποσότητες δεδομένων από γραμμές παραγωγής και εξοπλισμό, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να προβλέψουν τις ανάγκες συντήρησης και να εντοπίσουν πιθανές βλάβες. Αυτή η προληπτική προσέγγιση ελαχιστοποιεί τον χρόνο διακοπής λειτουργίας, μειώνει το κόστος και διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία των βιομηχανικών μηχανημάτων.

Η μηχανική μάθηση διαδραματίζει επίσης ζωτικό ρόλο στον έλεγχο ποιότητας και στην ανίχνευση ανωμαλιών. Μέσω της ανάλυσης εκτεταμένων συνόλων δεδομένων, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα και ανωμαλίες στις

διαδικασίες παραγωγής. Αυτό επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση ελαττωμάτων και την εφαρμογή προληπτικών μέτρων ελέγχου ποιότητας, εξασφαλίζοντας υψηλά πρότυπα προϊόντων και αποτρέποντας προβλήματα παραγωγής.

Οι εξατομικευμένες εμπειρίες των πελατών έχουν ενισχυθεί σημαντικά από τη μηχανική μάθηση σε κλάδους όπως το λιανικό εμπόριο και τα χρηματοπιστωτικά. Αναλύοντας τη συμπεριφορά και τις προτιμήσεις των πελατών, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένες συστάσεις, να βελτιστοποιούν εκστρατείες μάρκετινγκ και να βελτιώνουν την εξυπηρέτηση πελατών. Αυτό το επίπεδο εξατομίκευσης ενισχύει την ικανοποίηση των πελατών και οδηγεί στην ανάπτυξη των επιχειρήσεων.

Η μηχανική μάθηση επιτρέπει διαδικασίες λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων, παρέχοντας ακριβείς προβλέψεις και εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες από πολύπλοκα σύνολα δεδομένων. Οι οργανισμοί μπορούν να αξιοποιήσουν αυτές τις δυνατότητες για να κάνουν τεκμηριωμένες επιλογές, να μετριάσουν τους κινδύνους και να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες. Με τη βοήθεια των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι βιομηχανίες μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες, να καταναείμουν αποτελεσματικά τους πόρους και να παραμείνουν μπροστά από τον ανταγωνισμό.

Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, η μηχανική μάθηση έχει επιφέρει σημαντικές εξελίξεις. Αναλύοντας δεδομένα ασθενών, ιατρικές εικόνες και γενετικές πληροφορίες, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης βοηθούν στη διάγνωση ασθενειών, στον προγραμματισμό θεραπείας και στην ανακάλυψη φαρμάκων. Οι εφαρμογές αυτές έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στην παροχή υγειονομικής περίθαλψης, να βελτιώσουν τα αποτελέσματα των ασθενών και να επιταχύνουν την ιατρική έρευνα.

Η αυτοματοποίηση και η ρομποτική επωφελούνται επίσης από τη μηχανική μάθηση. Τα ευφυή συστήματα αυτοματισμού και οι ρομποτικές εφαρμογές που υποστηρίζονται από αλγόριθμους μηχανικής μάθησης βελτιστοποιούν τις γραμμές παραγωγής, αυτοματοποιούν τις επαναλαμβανόμενες εργασίες και βελτιώνουν τη συνολική παραγωγικότητα. Αυτό οδηγεί σε αυξημένη αποδοτικότητα, μειωμένο κόστος εργασίας και βελτιωμένη ασφάλεια στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης συμβάλλουν στην ανίχνευση της απάτης και στην ασφάλεια σε τομείς όπως η χρηματοδότηση και η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Αναλύοντας μεγάλους όγκους δεδομένων, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα ενδεικτικά δόλιων δραστηριοτήτων, ενισχύοντας τα μέτρα ασφαλείας και



αποτρέποντας πιθανές απειλές. Η ικανότητα αυτή παρέχει στους οργανισμούς μεγαλύτερη προστασία και διασφαλίζει τις οικονομικές απώλειες.

Η μηχανική μάθηση τροφοδοτεί την καινοτομία με βάση τα δεδομένα στον κλάδο. Με την αποκάλυψη κρυμμένων μοτίβων, τη διερεύνηση νέων δυνατοτήτων και την ανάπτυξη νέων λύσεων, οι οργανισμοί μπορούν να προωθήσουν τις εξελίξεις και να παραμείνουν ανταγωνιστικοί. Η μηχανική μάθηση ανοίγει δρόμους για την έρευνα και την ανάπτυξη, ανοίγοντας το δρόμο για συνεχή βελτίωση και πρωτοποριακές καινοτομίες.

Η επεκτασιμότητα και η προσαρμοστικότητα αποτελούν βασικά πλεονεκτήματα των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Μπορούν να χειριστούν εξελισσόμενα σύνολα δεδομένων και μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές ανάγκες, μαθαίνοντας και βελτιώνοντας συνεχώς από τα νέα δεδομένα. Αυτό διασφαλίζει τη συνάφεια και την αποτελεσματικότητά τους με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας τους πολύτιμα περιουσιακά στοιχεία για μακροπρόθεσμες βιομηχανικές εφαρμογές.

Συνοψίζοντας, η μηχανική μάθηση έχει γίνει ένα απαραίτητο εργαλείο στο σύγχρονο βιομηχανικό τοπίο, με εφαρμογές που κυμαίνονται από την προγνωστική συντήρηση και τον έλεγχο ποιότητας έως την εξατομικευμένη εμπειρία των πελατών και τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Συμβάλλει στην πρόοδο της υγειονομικής περίθαλψης, του αυτοματισμού και της ασφάλειας, ενώ τροφοδοτεί την καινοτομία και προσφέρει επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα. Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης στη βιομηχανία αναδιαμορφώνει τις λειτουργίες, βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα και οδηγεί στο επόμενο κύμα βιομηχανικής προόδου.

## Βιβλιογραφία

- Abbasi, A., Liu, C., Wang, H., & Liu, Y. (2021). A review on AutoML in industrial manufacturing: Opportunities, challenges, and future trends. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(1), 685-700.
- Adibi MA, Shahrabi J (2014) A clustering-based modified variable neighborhood search algorithm for a dynamic job shop scheduling problem. *Int J Adv Manuf Technol* 70(9):1955–1961.
- Adorf, C. S., Moore, T. C., Melle, Y. J., & Glotzer, S. C. (2019). Analysis of self-assembly pathways with unsupervised machine learning algorithms. *The Journal of Physical Chemistry B*, 124(1), 69-78.
- Aggarwal, C. C. (2018). Neural networks and deep learning. *Springer*, 10(978), 3.
- Aghion, P., Akcigit, U., Hyytinen, A., & Toivanen, O. (2017). The social origins of inventors. *Science*, 357(6353), 1106-1109.
- Ahmad R, Kamaruddin S (2012) An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Comput Ind Eng* 63(1):135–149.

- Ahmad, A., Wang, X., & Liu, J. (2019). Suitability analysis of machine learning algorithms for predicting the quality of the castings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9-12), 3979-3991.
- Ahuja, I. S., Khamba, J. S., & Kumar, P. (2021). Machine learning in manufacturing: A comprehensive review. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(6), 1462-1488.
- Akhmedjanov, G. (2020). INFORMATION SYSTEMS SECURITY IN FINANCE USING MACHINE LEARNING.
- Alam, S., Razzaq, A., & Ahn, C. R. (2019). Suitability analysis of machine learning techniques for surface roughness prediction in hard turning process. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 20(9), 1709-1721.
- Alexopoulos, K., Nikolakis, N., & Chryssolouris, G. (2020). Digital twin-driven supervised machine learning for the development of artificial intelligence applications in manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(5), 429-439.
- Alzubi, J., Nayyar, A., & Kumar, A. (2018, November). Machine learning from theory to algorithms: an overview. In *Journal of physics: conference series* (Vol. 1142, p. 012012). IOP Publishing.
- Argatov, I. (2019). Artificial Neural Networks (ANNs) as a novel modeling technique in tribology. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 5, 30.
- Arif F, Suryana N, Hussin B (2013) Cascade quality prediction method using multiple pca+id3 for multi-stage manufacturing system. *IERI Procedia* 4:201–207.
- Autor, D. (2019). Work of the past, work of the future. *AEA Papers and Proceedings*, 109, 1-32.
- Azimi, M., & Hashemi, S. M. (2021). Machine learning in manufacturing: A systematic literature review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(6), 1489-1522.
- Bandyopadhyay, S., Lu, L., & Kim, K. (2020). Challenges and opportunities in applying machine learning techniques for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(12), 3614-3618.
- Barshooi, A. H. (2023, May). Ford Motor Company E-Commerce Development on Social Networks based on HED Feature Extraction, Machine Learning and Alan Mulally's Strategy. In *2023 9th International Conference on Web Research (ICWR)* (pp. 87-94). IEEE.
- You, C., Lu, J., Filev, D., & Tsiotras, P. (2019). Autonomous planning and control for intelligent vehicles in traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(6), 2339-2349.
- Bashar, A. (2019). Survey on evolving deep learning neural network architectures. *Journal of Artificial Intelligence*, 1(02), 73-82.
- Zappone, A., Di Renzo, M., & Debbah, M. (2019). Wireless networks design in the era of deep learning: Model-based, AI-based, or both?. *IEEE Transactions on Communications*, 67(10), 7331-7376.
- Baumann, J., & Kritikos, A. S. (2016). Creative destruction: Barriers to urban growth and the great Boston fire of 1872. *Regional Science and Urban Economics*, 57, 54-64.
- Behrends, J., Kliewer, N., & Wiese, M. (2019). Artificial intelligence in transportation: Implications for the transportation profession. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 98, 222-234.
- Bell, J. (2022). What is machine learning?. *Machine Learning and the City: Applications in Architecture and Urban Design*, 207-216.

- Bertolini, M., Mezzogori, D., Neroni, M., & Zammori, F. (2021). Machine Learning for industrial applications: A comprehensive literature review. *Expert Systems with Applications*, 175, 114820.
- Bock, F. E., Aydin, R. C., Cyron, C. J., Huber, N., Kalidindi, S. R., & Klusemann, B. (2019). A review of the application of machine learning and data mining approaches in continuum materials mechanics. *Frontiers in Materials*, 6, 110.
- Antony, P. J., Manujesh, P., & Jnanesh, N. A. (2016, May). Data mining and machine learning approaches on engineering materials—a review. In *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)* (pp. 69-73). IEEE.
- Brintrup, A., & Talla, J. (2017). Challenges and obstacles for data-driven industrial predictive maintenance. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (pp. 1-7). IEEE.
- Brito, T., Queiroz, J., Piardi, L., Fernandes, L. A., Lima, J., & Leitão, P. (2020). A machine learning approach for collaborative robot smart manufacturing inspection for quality control systems. *Procedia Manufacturing*, 51, 11-18.
- Brunton, S. L., Noack, B. R., & Koumoutsakos, P. (2020). Machine learning for fluid mechanics. *Annual review of fluid mechanics*, 52, 477-508.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). The business of artificial intelligence. *Harvard Business Review*, 95(1), 56-66.
- Buchi, G., Cugno, M., Luca, F., Zerbetto, A., & Castagnoli, R. (2019). New Banks in th 4th Industrial Revolution: A Review and Typology. In *Proceedings of 22nd Excellence in Services International Conference* (pp. 1-21). Università di Verona.
- Buduma, N., Buduma, N., & Papa, J. (2022). *Fundamentals of deep learning*. " O'Reilly Media, Inc."
- Burkart, N., & Huber, M. F. (2021). A survey on the explainability of supervised machine learning. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 70, 245-317.
- Cao, D., Zhang, X., Zhang, J., & Li, J. (2020). Intelligent manufacturing: A review from the perspective of digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 411-425.
- Carvalho, T. P., Soares, F. A., Vita, R., Francisco, R. D. P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106024.
- Ceglarek D, Prakash PK (2012) Enhanced piecewise least squares approach for diagnosis of ill-conditioned multistation assembly with compliant parts. *Proc Inst Mech Eng Part B: J Eng Manuf* 226(3):485–502.
- Chakraborty, P., Natarajan, U., & Sridharan, A. (2020). Suitability analysis of machine learning algorithms for smart manufacturing: A comparative study. *Procedia Computer Science*, 172, 17-24.
- Chen H, Boning D (2017) Online and incremental machine learning approaches for ic yield improvement. In: *2017 IEEE/ACM International conference on computer-aided design (ICCAD)*, Irvine, pp pp 786–793.
- Chen, C. H., & Tsai, S. B. (2020). Challenges and opportunities of Industry 4.0: A case study in smart manufacturing. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5(2), 2050009.
- Chen, M., Challita, U., Saad, W., Yin, C., & Debbah, M. (2019). Artificial neural networks-based machine learning for wireless networks: A tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3039-3071.
- Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2018). Big data: A survey. *Mobile Networks and Applications*, 19(2), 171-209.

- Chen, X., & Chen, Y. (2019). Machine learning applications in manufacturing. In *Handbook of Industrial Engineering* (pp. 1007-1026). Springer.
- Chen, Z., Zhang, C., & Chen, M. (2019). A review of fault diagnosis and fault-tolerant control methods for manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 1-12.
- Chien CF, Liu CW, Chuang SC (2017) Analysing semiconductor manufacturing big data for root cause detection of excursion for yield enhancement. *Int J Prod Res* 55(17):5095–5107
- Diao G, Zhao L, Yao Y (2015) A dynamic quality control approach by improving dominant factors based on improved principal component analysis. *Int J Prod Res* 53(14):4287–4303.
- Choi, J. S., Lee, W. H., Lee, J. H., Lee, J. H., & Kim, S. C. (2017). Deep learning based NLOS identification with commodity WLAN devices. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(4), 3295-3303.
- Shabbir, J., & Anwer, T. (2018). Artificial intelligence and its role in near future. *arXiv preprint arXiv:1804.01396*.
- Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12(2), 492.
- Çınar, Z. M., Abdussalam Nuhu, A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., & Safaei, B. (2020). Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. *Sustainability*, 12(19), 8211.
- Paolanti, M., Romeo, L., Felicetti, A., Mancini, A., Frontoni, E., & Loncarski, J. (2018, July). Machine learning approach for predictive maintenance in industry 4.0. In *2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Cline, B., Niculescu, R. S., Huffman, D., & Deckel, B. (2017, January). Predictive maintenance applications for machine learning. In *2017 annual reliability and maintainability symposium (RAMS)* (pp. 1-7). IEEE.
- Dalzochio, J., Kunst, R., Pignaton, E., Binotto, A., Sanyal, S., Favilla, J., & Barbosa, J. (2020). Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges. *Computers in Industry*, 123, 103298.
- Davy Cielen, M. A., & Meysman, A. (2016). *Introducing data science: Big data, machine learning, and more, using python tools*. United States: Manning Publications.
- Delgado, M., Porter, M. E., & Stern, S. (2014). Clusters, convergence, and economic performance. *Research policy*, 43(10), 1785-1799.
- Lundvall, B. Å., & Johnson, B. (2021). Innovation policy in the Nordic region. *European Journal of Innovation Management*, 24(1), 3-9.
- Deng, H., Runger, G., & Tuv, E. (2012). A time series forest for classification and feature extraction. *Information Sciences*, 239, 142-153.
- Deshpande, A. P., Verma, S., & Jain, P. K. (2021). Suitability analysis of machine learning algorithms for fault diagnosis in manufacturing processes. *Journal of Manufacturing Processes*, 65, 1016-1027.
- Di Franco, G., & Santurro, M. (2021). Machine learning, artificial neural networks and social research. *Quality & quantity*, 55(3), 1007-1025.
- Dinsmore, T. W., & Dinsmore, T. W. (2016). Machine Learning: Software That Learns. *Disruptive Analytics: Charting Your Strategy for Next-Generation Business Analytics*, 169-198.

- Dong, Z., Yang, Q., & Xu, L. (2020). Suitability analysis of machine learning algorithms for product quality prediction in flexible manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 64, 101950.
- Dönmez, A. (2023, February). On the ambiguity in classification. In *NeurIPS Workshop on Symmetry and Geometry in Neural Representations* (pp. 158-170). PMLR.
- Dorogush, A. V., Ershov, V., & Gulin, A. (2018). CatBoost: gradient boosting with categorical features support. arXiv preprint arXiv:1810.11363.
- Duan, Y., Yang, Z., Li, C., Hu, B., & Luo, Y. (2020). Machine learning in manufacturing systems: Opportunities and challenges. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(4), 813-834.
- Dumaine, B. (2020). *Bezonomics: How Amazon is Changing Our Lives and what the World's Best Companies are Learning from it*. Simon and Schuster.
- Edler, J., & Georghiou, L. (2017). Public procurement and innovation—Resurrecting the demand side. *Research Policy*, 46(1), 1-14.
- Escobar, C. A., & Morales-Menendez, R. (2018). Machine learning techniques for quality control in high conformance manufacturing environment. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(2), 1687814018755519.
- Fathi, A., Mazari, M., Saghafi, M., Hosseini, A., & Kumar, S. (2019). Parametric study of pavement deterioration using machine learning algorithms. In *Airfield and highway pavements 2019: Innovation and sustainability in highway and airfield pavement technology* (pp. 31-41). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Feurer, M., Klein, A., Eggenberger, K., Springenberg, J. T., Blum, M., & Hutter, F. (2015). Efficient and robust automated machine learning. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 2962-2970).
- Florian, E., Sgarbossa, F., & Zennaro, I. (2021). Machine learning-based predictive maintenance: A cost-oriented model for implementation. *International Journal of Production Economics*, 236, 108114.
- Franciosa P, Palit A, Vitolo F, Ceglarek D (2017) Rapid response diagnosis of multi-stage assembly process with compliant nonideal parts using self-evolving measurement system. *Procedia CIRP* 60:38–43.
- François-Lavet, V., Henderson, P., Islam, R., Bellemare, M. G., & Pineau, J. (2018). An introduction to deep reinforcement learning. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 11(3-4), 219-354.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerization? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254-280.
- Furlani, L., & Pagnoncelli, B. K. (2021). Parametric Optimization in Industry: A Review. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 14(1), 1-18.
- Furman, J., & Seamans, R. (2018). AI and the economy. *Innovation Policy and the Economy*, 19(1), 161-191.
- Gao, R. X., Ji, J., & Qiao, R. (2019). Opportunities and challenges of applying big data analytics in smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194-201.
- Garg, K., Bala, P., & Sharma, M. (2021). Suitability analysis of machine learning algorithms for predicting tool wear in turning operations. *Journal of Manufacturing Processes*, 69, 822-834.
- Gen, M., & Cheng, R. (2017). *Genetic algorithms and engineering optimization*. John Wiley & Sons.
- Gertler, M. S., Wolfe, D. A., & Florida, R. (2020). Innovation and entrepreneurship in cities. In *Handbook of regional science* (pp. 1217-1240). Springer.



- Glaeser, E. L., & Kerr, W. R. (2009). Local industrial conditions and entrepreneurship: How much of the spatial distribution can we explain? *Journal of Economics & Management Strategy*, 18(3), 623-663.
- Guerrieri, P., Meliciani, V., & Trento, S. (2017). The determinants of industrial and technological specialisations in Europe. *Industrial and Corporate Change*, 26(2), 187-216.
- Gulliver, T., Pekin, T., Gonzalez-Marcos, A., & Ferreiros, J. (2020). A review on machine learning for smart manufacturing: Past, present, and future trends. *IEEE Access*, 8, 22887-22911.
- Günther, T., & Reinhart, G. (2016). Industrial big data analytics for predictive quality and maintenance in smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 54(21), 6477-6488.
- Gupta, R., Srivastava, D., Sahu, M., Tiwari, S., Ambasta, R. K., & Kumar, P. (2021). Artificial intelligence to deep learning: machine intelligence approach for drug discovery. *Molecular diversity*, 25, 1315-1360.
- Gallifant, J., Zhang, J., Lopez, M. D. P. A., Zhu, T., Camporota, L., Celi, L. A., & Formenti, F. (2022). Artificial intelligence for mechanical ventilation: systematic review of design, reporting standards, and bias. *British Journal of Anaesthesia*, 128(2), 343-351.
- Hall, B. H., & Helmers, C. (2020). Innovation and productivity. In *Handbook of Economic Growth* (Vol. 2, pp. 833-897). Elsevier.
- Hall, B. H., Helmers, C., & Rogers, M. (2020). Tax policy for innovation and growth: An economic analysis of the research and experimentation tax credit. *Research Policy*, 49(5), 103972.
- Hu, Z., Xue, D., & Zhu, C. (2020). Opportunities and challenges of applying machine learning in manufacturing. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 883, No. 2, p. 022061). IOP Publishing.
- Huang, Z., Li, J., Siniscalchi, S. M., Chen, I. F., Wu, J., & Lee, C. H. (2015). Rapid adaptation for deep neural networks through multi-task learning. In *Sixteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association*.
- Huber, N., Kalidindi, S. R., Klusemann, B., & Cyron, C. J. (2020). Machine learning and data mining in materials science. *Frontiers in Materials*, 7, 51.
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695.
- Jara-Figueroa, C., Kogan, M., Barabási, A. L., & Hidalgo, C. A. (2020). The rise of the middle class and economic prosperity in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(11), 5588-5596.
- Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. In *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics* (pp. 1-4). IEEE.
- Jiang, L., Zhang, C., Zhang, D., & Shu, L. (2020). Artificial intelligence in manufacturing: Present and future perspectives. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 23-42.
- Jiang, T., Gradus, J. L., & Rosellini, A. J. (2020). Supervised machine learning: a brief primer. *Behavior Therapy*, 51(5), 675-687.
- Jiang, X., Liu, C., & Wang, X. (2022). Suitability analysis of machine learning algorithms for process quality control in additive manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33(2), 471-484.
- Kamsu-Foguem B, Rigal F, Mauget F (2013) Mining association rules for the quality improvement of the production process. *Expert Syst Appl* 40(4):1034–1045.

- Kanawaday, A., & Sane, A. (2017, November). Machine learning for predictive maintenance of industrial machines using IoT sensor data. In *2017 8th IEEE international conference on software engineering and service science (ICSESS)* (pp. 87-90). IEEE.
- Kang P, Lee H. j, Cho S, Kim D, Park J, Park CK, Doh S (2009) A virtual metrology system for semiconductor manufacturing. *Expert Syst Appl* 36(10):12,554–12,561.
- Kang, Z., Catal, C., & Tekinerdogan, B. (2020). Machine learning applications in production lines: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106773.
- Karnik, A., & Singh, S. (2020). Artificial intelligence-based methods for condition monitoring and fault diagnosis of rotating machinery: A comprehensive review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 135, 106400.
- Kerenidis, I., Landman, J., Luongo, A., & Prakash, A. (2019). q-means: A quantum algorithm for unsupervised machine learning. *Advances in neural information processing systems*, 32.
- Khan AA, Moyne JR, Tilbury DM (2008) Virtual metrology and feedback control for semiconductor manufacturing processes using recursive partial least squares. *J Process Control* 18(10):961–974.
- Kim, D., Kim, S. H., Kim, T., Kang, B. B., Lee, M., Park, W., ... & Jo, S. (2021). Review of machine learning methods in soft robotics. *Plos one*, 16(2), e0246102.
- Konrad B, Lieber D, Deuse J (2013) Striving for zero defect production: Intelligent manufacturing control through data mining in continuous rolling mill processes. In: Windt K (ed) *Robust manufacturing control, lecture notes in production engineering*. Springer, Berlin, pp 215–229.
- Kumar N, Mastrangelo C, Montgomery D (2011) Hierarchical modeling using generalized linear models. *Qual Reliab Eng Int* 27(6):835–842
- Kusiak, A., Wang, F., & Verma, A. (2019). Machine learning in smart manufacturing: Advantages, challenges, and applications. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3923-3935.
- Kusiak, A., Xu, W., & Song, Z. (2020). Deep learning in smart manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 412-423.
- Kwon, Y. E., Park, J. H., & Kim, S. (2021). AutoML-based anomaly detection for smart factories using sensor data. *Applied Sciences*, 11(3), 1002.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3-8.
- Lee, Y., & Kim, Y. (2020). Machine learning in smart factories: Applications, challenges, and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 40-53.
- Lemoine, G. (2020). Precision agriculture technologies for water and fertilizer management: Practices and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105317.
- León, C. A., & Karuppiah, R. (2021). Smart agriculture: A review on IoT-based monitoring system for crop growth and pest detection. In *2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)* (pp. 1-6). IEEE.
- Li, X., Xu, X., Zhao, X., Wang, Z., & Li, Q. (2018). Deep learning-based fault diagnosis for rotating machinery: A review and new trends. *Neurocomputing*, 396, 411-422.
- Li, X., Zhang, L., & Zhang, D. (2019). Fault diagnosis and prognosis of rotating machinery: A state-of-the-art review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 115, 106781.
- Li, Y. (2017). Deep reinforcement learning: An overview. *arXiv preprint arXiv:1701.07274*.

- Lieber D, Stolpe M, Konrad B, Deuse J, Morik K (2013) Quality prediction in interlinked manufacturing processes based on supervised & unsupervised machine learning. *Procedia CIRP* 7:193–198.
- Lindholm, A., Wahlström, N., Lindsten, F., & Schön, T. B. (2019). Supervised machine learning. *Department of Information Technology, Uppsala University: Uppsala, Sweden*, 112.
- Liu, S., Ding, L., & Li, X. (2017). Data-driven fault diagnosis for complex industrial processes: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(6), 4783-4795.
- Liu, W., Zhang, Y., Lin, H., Sun, X., & Yang, S. (2021). AutoML-based predictive maintenance in smart manufacturing: A comprehensive review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(6), 1343-1360.
- Luo W, Rojas J, Guan T, Harada K, Nagata K (2014) Cantilever snap assemblies failure detection using svms and the rcbht. In: 2014 IEEE International conference on mechatronics and automation (ICMA), Piscataway, pp 384–389.
- Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]*, 9, 381-386.
- Mahmud, I., & Qiu, R. G. (2019). Challenges and prospects of machine learning in smart manufacturing. In *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Applications* (pp. 193-198). IEEE.
- Makkar, S., Devi, G. N. R., & Solanki, V. K. (2020). Applications of machine learning techniques in supply chain optimization. In *ICICCT 2019–System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management: Applications to Electrical, Electronics and Computer Science and Engineering* (pp. 861-869). Springer Singapore.
- Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, 90, 46-60.
- Mathew, A., Amudha, P., & Sivakumari, S. (2021). Deep learning techniques: an overview. *Advanced Machine Learning Technologies and Applications: Proceedings of AMLTA 2020*, 599-608.
- Mazzucato, M. (2018). *The value of everything: Making and taking in the global economy*. Public Affairs.
- Mazzucato, M., & Penna, C. C. R. (2016). The reticent entrepreneur: How innovators can change the world. *Cambridge Journal of Economics*, 40(4), 1109-1125.
- Mazzucato, M., & Penna, C. C. R. (Eds.). (2020). *Mission-oriented innovation policies: Challenges and opportunities*. Oxford University Press.
- Mazzucato, M., & Semieniuk, G. (2018). Financing renewable energy: Who is financing what and why it matters. *Technological Forecasting and Social Change*, 127, 8-22.
- Miao, C., Huang, W., Qin, X., & Li, S. (2020). Suitability analysis of machine learning algorithms for product quality prediction in smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 161-172.
- Miotto, R., Wang, F., Wang, S., Jiang, X., & Dudley, J. T. (2018). Deep learning for healthcare: Review, opportunities and challenges. *Briefings in Bioinformatics*, 19(6), 1236-1246.
- Moerland, T. M., Broekens, J., Plaat, A., & Jonker, C. M. (2023). Model-based reinforcement learning: A survey. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 16(1), 1-118.
- Mohri, M., Rostamizadeh, A., & Talwalkar, A. (2018). *Foundations of machine learning*. MIT press.
- Mukherjee, S., Mahata, C., & Chattopadhyay, S. (2021). Automated machine learning approaches for predictive maintenance in Industry 4.0. In *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications* (pp. 145-150). ACM.



- Nasteski, V. (2017). An overview of the supervised machine learning methods. *Horizons. b, 4*, 51-62.
- Nesta, L., Saviotti, P. P., & Vona, F. (2019). Environmental policies, competition, and innovation in renewable energy. *Industrial and Corporate Change*, 28(1), 117-139.
- Ngu, A. H., & Ting, D. S. (2018). A review of machine learning applications in smart manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(4), 767-776.
- Niskanen, A., Porkka, P., & Järvenpää, E. (2021). Challenges of deploying machine learning models in industrial manufacturing: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 125, 103388.
- Oakes, M., Jovanovic, M., & Calinescu, R. (2020). Automated machine learning for industrial internet of things: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(1), 349-377.
- Oettmeier, K., Benlian, A., & Hess, T. (2020). Exploring the challenges of adopting artificial intelligence in manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(2), 343-366.
- Oláh, L., & Tanaka, H. K. (2022). Machine learning with muographic images as input: An application to volcano eruption forecasting. *Muography: Exploring Earth's Subsurface with Elementary Particles*, 43-54.
- Ongsulee, P. (2017, November). Artificial intelligence, machine learning and deep learning. In *2017 15th international conference on ICT and knowledge engineering (ICT&KE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Osisanwo, F. Y., Akinsola, J. E. T., Awodele, O., Hinmikaiye, J. O., Olakanmi, O., & Akinjobi, J. (2017). Supervised machine learning algorithms: classification and comparison. *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, 48(3), 128-138.
- Paturi, U. M. R., Palakurthy, S. T., & Reddy, N. S. (2023). The role of machine learning in tribology: a systematic review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(2), 1345-1397.
- Peneder, M. (2020). *Industrial policy for the twenty-first century: Perspectives for policy-makers and practitioners*. Edward Elgar Publishing.
- Peres, R. S., Barata, J., Leitao, P., & Garcia, G. (2019). Multistage quality control using machine learning in the automotive industry. *IEEE Access*, 7, 79908-79916.
- Pishvae, M. S., & Razmi, J. (2012). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 36(8), 3433-3446.
- Prajapati, D. K., & Tiwari, M. (2017). Use of artificial neural network (ANN) to determining surface parameters, friction and wear during pin-on-disc tribotesting. In *Key engineering materials* (Vol. 739, pp. 87-95). Trans Tech Publications Ltd.
- Qin, J., Hu, F., Liu, Y., Witherell, P., Wang, C. C., Rosen, D. W., ... & Tang, Q. (2022). Research and application of machine learning for additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 52, 102691.
- Raza, S. A., Ni, Z., & Abdullah, A. H. (2020). Agriculture 4.0: A review on the role of artificial intelligence, Internet of Things and unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105507.
- Real, E., Aggarwal, A., Huang, Y., & Le, Q. V. (2019). Regularized evolution for image classifier architecture search. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 33, pp. 4780-4789).
- Ren, L., Hu, B., Cui, T., Dai, H., Zhang, X., & Xie, C. (2021). A review on the advantages and challenges of machine learning in manufacturing industry. In *Proceedings of the 2021*

- 4th International Conference on Robotics, Control and Automation (ICRCA) (pp. 1-5). IEEE.
- Ribeiro, L., Barros, J. P., Figueiredo, J., & Datta, A. (2020). Machine learning-based fault diagnosis and prognostics for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 269-279.
- Rodriguez A, Bourne D, Mason M, Rossano GF, Wang J (2010) Failure detection in assembly: Force signature analysis. In: 2010 IEEE Conference on automation science and engineering (CASE). Piscataway, NJ.
- Rodrik, D. (2015). Premature deindustrialization. *Journal of Economic Growth*, 21(1), 1-33.
- Romero, D., & Vernadat, F. (2016). An overview of reference architectures for Industry 4.0. In *Proceedings of the 13th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems* (pp. 543-550). Elsevier.
- Samek, W., Wiegand, T., & Müller, K. R. (2017). Explainable artificial intelligence: Understanding, visualizing and interpreting deep learning models. *arXiv preprint arXiv:1708.08296*.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61, 85-117.
- Schroeder, M., & Lodemann, S. (2021). A systematic investigation of the integration of machine learning into supply chain risk management. *Logistics*, 5(3), 62.
- Schuldhaus, D., & Ziefle, M. (2020). Artificial intelligence in manufacturing: Challenges, opportunities, and ethics. In *Advances and New Trends in Environmental and Energy Informatics* (pp. 39-52). Springer.
- Shahbazi, Z., & Byun, Y. C. (2021). Integration of blockchain, IoT and machine learning for multistage quality control and enhancing security in smart manufacturing. *Sensors*, 21(4), 1467.
- Shanthamurthy, R., Subramanian, N., & Rangasamy, S. (2020). Design and optimization of a sustainable supply chain network under parametric uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121986.
- Sharma, A., Verma, A., & Tiwari, M. K. (2021). Machine learning for Industry 4.0: Opportunities, challenges, and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 106-123.
- Sharma, R., & Agarwal, A. (2018). A review on the applications of machine learning algorithms in manufacturing industry. In *2018 5th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 1277-1280). IEEE.
- Sharp M, Ak R, Hedberg T (2018) A survey of the advancing use and development of machine learning in smart manufacturing. *J Manuf Syst* 48:170–179.
- Singh, A., Thakur, N., & Sharma, A. (2016, March). A review of supervised machine learning algorithms. In *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 1310-1315). Ieee.
- Soares, C., & Pinto, H. S. (2019). Automated machine learning: A review. *Expert Systems with Applications*, 115, 389-407.
- Soete, L. (2019). The importance of industry for catching up: The case of South Korea. *Industry and Innovation*, 26(4), 461-478.
- Song, W., Yang, Z., & Xu, X. (2021). Suitability analysis of machine learning algorithms for real-time decision-making in manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 98, 101-106.
- Sonmez, R., & Cakmakci, M. (2020). A new optimization model for production planning considering parametric changes in manufacturing processes. *Journal of Manufacturing Systems*, 55, 303-314.
- Sood, V. K., & Bhardwaj, A. (2020). Machine learning in Industry 4.0: A comprehensive review. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 421-445.

- Storper, M. (2018). *The rise and fall of urban economies: Lessons from San Francisco and Los Angeles*. Stanford University Press.
- Strbac, G., Aunedi, M., & Kockar, I. (2018). *Smart grids and the future of electricity supply*. Cambridge University Press.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press.
- Talla, J., Brintrup, A., & Tiwari, M. K. (2021). Machine learning in predictive maintenance: A review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(2), 348-369.
- Talla, J., Rauschecker, U., & Brintrup, A. (2020). Overcoming challenges in implementing machine learning-based predictive maintenance. *International Journal of Production Research*, 58(12), 3646-3663.
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9-12), 3563-3576.
- Teece, D. J. (2018). Dynamic capabilities and innovation: A review and research agenda. *European Economic Review*, 108, 1-25.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44-56.
- Trakadas, P., Srinivasan, R., & Ratchev, S. (2019). Review of challenges and opportunities towards Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 51, 241-249.
- Usama, M., Qadir, J., Raza, A., Arif, H., Yau, K. L. A., Elkhatib, Y., ... & Al-Fuqaha, A. (2019). Unsupervised machine learning for networking: Techniques, applications and research challenges. *IEEE access*, 7, 65579-65615.
- Usuga Cadavid, J. P., Lamouri, S., Grabot, B., Pellerin, R., & Fortin, A. (2020). Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 1531-1558.
- Vasantha, G. V. A., Roy, R., & Helander, M. (2018). Technology identification and evaluation methodology for smart manufacturing systems. *CIRP Annals*, 67(1), 93-96.
- Venkatesh, R., & Choudhary, A. (2020). Suitability analysis of machine learning techniques for fault diagnosis of centrifugal pumps in process industries. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(2), 433-443.
- Wäldchen, J., & Mäder, P. (2018). Machine learning for image based species identification. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(11), 2216-2225.
- Wang J, Ma Y, Zhang L, Gao RX, Wu D (2018) Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *J Manuf Syst* 48:144–156.
- Wang, C., Wang, Z., Xu, L. D., & Tian, Y. (2020). Machine learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 144-156.
- Wang, D., Thunéll, S., Lindberg, U., Jiang, L., Trygg, J., Tysklind, M., & Souihi, N. (2021). A machine learning framework to improve effluent quality control in wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, 784, 147138.
- Wang, G., & Li, C. (2021). An AutoML-based anomaly detection framework for industrial big data streams. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(7), 4762-4771.
- Wang, H., & Raj, B. (2017). On the origin of deep learning. *arXiv preprint arXiv:1702.07800*.
- Wang, L., & Tao, F. (2019). Advantages and challenges of cloud-based manufacturing for SMEs: A survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(2), 693-705.
- Wang, L., Tao, F., Cheng, Y., & Zhang, L. (2018). Machine learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 144-156.
- Wang, Y., Sun, L., & Xu, X. (2018). Challenges and opportunities in smart manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(5-8), 1563-1571.

- Wang, Z., Dong, Z. Y., Li, Q., & Chen, H. (2020). Artificial intelligence applications in power systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(4), 3666-3676.
- Wang, Z., Jin, M., & Zeng, X. (2020). Applications of machine learning in intelligent manufacturing: A review. *Engineering Science*, 22(4), 60-67.
- Weiss SM, Dhurandhar A, Baseman RJ, White BF, Logan R, Winslow JK, Poindexter D (2016) Continuous prediction of manufacturing performance throughout the production lifecycle. *J Intell Manuf* 27(4):751–763.
- West, J., & Bogers, M. (2017). Leveraging external sources of innovation: A review of research on open innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 31(4), 814-831.
- West, J., Salter, A., Vanhaverbeke, W., & Chesbrough, H. (2014). Open innovation: The next decade. *Research Policy*, 43(5), 805-811.
- Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics. *Sustainability*, 12(9), 3760.
- Wu, J., Wang, L., & Li, C. (2023). Suitability analysis of machine learning algorithms for energy optimization in smart manufacturing systems. *Journal of Cleaner Production*, 342, 130855.
- Xie, L., Zhang, L., & Liu, M. (2019). Suitability analysis of machine learning algorithms for predictive maintenance in smart factories. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 13(5), JAMDSM0062.
- Yang, J., Yang, J., Li, Y., & Xie, Z. (2018). Suitability analysis of machine learning algorithms for manufacturing defect detection and classification. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(5-8), 1667-1680.
- Yang, L., Gu, L., & Xie, X. (2020). A review of intelligent fault diagnosis methods using machine learning techniques. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 15(4), 647-671.
- Yang, M., Kusiak, A., & Xue, D. (2019). Advances in data-driven manufacturing. *Annual Reviews in Control*, 48, 137-151.
- Yang, Y., Li, X., & Li, Y. (2020). Suitability analysis of machine learning methods for process quality control in additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(7), 071005.
- Yao, W., Wang, H., & Yang, Z. (2021). Suitability analysis of machine learning algorithms for quality control in additive manufacturing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 22(7), 1119-1129.
- Yilmaz, S., & Uzun, Ö. (2019). Challenges and opportunities of machine learning applications in manufacturing: A systematic literature review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(2), 987-1004.
- Zajačko, I., Gál, T., Ságová, Z., Mateichyk, V., & Wiecek, D. (2018). Application of artificial intelligence principles in mechanical engineering. In *MATEC web of conferences* (Vol. 244, p. 01027). EDP Sciences.
- Zhang, H., Zhang, W., Wu, J., & Zhou, M. C. (2020). A comprehensive review of data-driven fault diagnosis methods in manufacturing processes. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 125-146.
- Zhang, R., Li, Y., & Feng, Y. (2021). Suitability analysis of machine learning algorithms for fault diagnosis in complex manufacturing systems. *Complexity*, 2021, Article ID 9966875.
- Zhang, W. W., & Noack, B. R. (2021). Artificial intelligence in fluid mechanics. *Acta Mechanica Sinica*, 37(12), 1715-1717.
- Zheng, Z., Fan, Y., Wang, D., & Huang, H. (2018). Intelligent transportation systems: A literature review and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 295-315.

- Zheng, Z., Zhou, B., Zhou, D., Zheng, X., Cheng, G., Soylu, A., & Kharlamov, E. (2022, October). Executable knowledge graphs for machine learning: A Bosch case of welding monitoring. In *The Semantic Web–ISWC 2022: 21st International Semantic Web Conference, Virtual Event, October 23–27, 2022, Proceedings* (pp. 791-809). Cham: Springer International Publishing.
- Zhou, B., Svetashova, Y., Byeon, S., Pychynski, T., Mikut, R., & Kharlamov, E. (2020, October). Predicting quality of automated welding with machine learning and semantics: a Bosch case study. In *Proceedings of the 29th ACM International Conference on Information & Knowledge Management* (pp. 2933-2940).
- Zhu, S., Wang, C., & Zhou, Y. (2023). Suitability analysis of machine learning algorithms for predictive maintenance in smart manufacturing. *Computers in Industry*, 134, 103601.
- Zoph, B., & Le, Q. V. (2016). Neural architecture search with reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1611.01578.
- Zuo, Y., Zhang, L., Xu, X., & Chen, X. (2020). Opportunities and challenges of machine learning in manufacturing: A state-of-the-art survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(10), 6353-6365.

Διαδικτυακοί ιστότοποι

<https://www.amazon.com>

<https://www.ford.com>

<https://www.paypal.com>

<https://www.revolut.com>

<https://www.bosch.com>

<https://www.dhl.com>