

# Ιχνηλασιμότητα 4.0: Τεκμαιρόμεθα τοις παρούσι τ' αφανή

(Ευριπίδης)

**«Συμπεραίνουμε γι' αυτά που δεν φαίνονται, από τα δεδομένα που έχουμε»**

**Δρ. Διονύσης Ξενάκης\***

Η ιχνηλασιμότητα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του ποιοτικού ελέγχου και της διαχείρισης στη μεταποίηση και στη βιομηχανία, τα τελευταία 50 χρόνια. Ξεκινώντας με τη χρήση των γραμμωτών κωδίκων στις αρχές της δεκαετίας του '70, η ιχνηλασιμότητα 1.0 μεταμόρφωσε τη βιομηχανία επιτρέποντας αποδοτικό εντοπισμό με ακρίβεια, ενός μεγάλου αριθμού διακριτών αντικειμένων (ή συναρτημάτων).

**Σ**τη δεκαετία του '80, η ιχνηλασιμότητα 2.0 ενισχύθηκε περαιτέρω με στόχο να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της παρακολούθησης υλικών εντός των εγκαταστάσεων παραγωγής και σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, επιτρέποντας στοχευμένες ανακλήσεις προϊόντων, μειώνοντας το κόστος, βελτιώνοντας την ποιότητα και αυξάνοντας την εμπιστοσύνη των καταναλωτών. Με τον τρόπο αυτό, οι έμποροι λιανικής (retailer) επεκτείνουν τις απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας στους κατασκευαστές, προτρέποντάς τους να συμπεριλάβουν ανθεκτικά αναγνωριστικά (συνήθως γραμμωτούς κώδικες) στα προϊόντα τους.

Τη δεκαετία 2000 - 2010, η ιχνηλασιμότητα 3.0 επεκτάθηκε για τη βελτιστοποίηση των τομέων παραγωγής και εφοδιαστικής αλυσίδας, εστιάζοντας στο δεύτερο από τα 4Μ του «lean manufacturing» (man [άνθρωπος], material [υλικό], machine [μηχανή] και method [μέθοδος]).

Έκτοτε, οι κατασκευαστές απαιτούν από τους προμηθευτές τους να τοποθετούν αναγνωριστικά τόσο στα εξαρτήματα όσο και στη συσκευασία. Επομένως παρακολουθείται και η προμήθεια υλικών, επιτρέποντας την περαιτέρω βελτιστοποίηση της ποιότητας των διαδικασιών και των προϊόντων εντός της μονάδας παραγωγής. Τα υποεξαρτήματα (ακόμη και πολύ μικρού μεγέθους) μπορούν να αναγνωρίζονται, να παρακολουθούνται και να επιθεωρούνται για την ποιότητά

τους, τόσο πριν όσο και μετά την τελική συναρμολόγηση.

Στην εποχή της Industry 4.0 η ιχνηλασιμότητα 4.0 μετατρέπεται σε μια κρίσιμη και πανταχού παρούσα διαδικασία για τους σημερινούς κατασκευαστές παγκόσμιας κλάσης, προχωρώντας πέρα από την παρακολούθηση της αλυσίδας εξαρτημάτων, προϊόντων και εφοδιασμού και περιλαμβάνοντας περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με δεδομένα διαδικασιών μηχανής και προϊόντος. Έτσι καλύπτει το πλήρες σύνολο των 4Μ του lean manufacturing, ενώ μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την ανάλυση των γεγονότων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.



Παράλληλα η ιχνηλασιμότητα 4.0 μπορεί να ενισχύσει την αξιοπιστία και την προστασία της επωνυμίας των κορυφαίων κατασκευαστών και να αυξήσει την παραγωγικότητα και την ποιότητα των τελικών προϊόντων, δίνοντας στέρεες απαντήσεις στους φιλόδοξους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals [SDG]) που έχουν τεθεί από τα Ηνωμένα Έθνη (ΟΗΕ), όπως είναι οι στόχοι 9 (βιομηχανική καινοτομία και υποδομές), 11 (βιώσιμες πόλεις και κοινότητες), 12 (υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή), 13 (δράση για το κλίμα) και 17 (συμπράξεις για τους στόχους).

## Ψηφιακός μίτος

**Η έξοδος προς την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα από το λαβύρινθο της εξειδίκευσης;**

Για τους κατασκευαστές, τους προμηθευτές και τους μεταφορείς υπάρχουν:

- ▶ Φυσικά προϊόντα, τα εξαρτήματά τους, ανταλλακτικά, εξοπλισμός και περιουσιακά στοιχεία που αξιοποιούνται κατά τον πλήρη κύκλο ζωής ενός προϊόντος.
- ▶ Πόλεις, εργοστάσια, εργοστάσια, οχήματα, αποθήκες και σπίτια εντός των οποίων ο πλήρης κύκλος ζωής λαμβάνει χώρα.
- ▶ Υποδομές (αισθητήρες, ρομποτικά συστήματα, οχήματα κλπ.) και άνθρωποι οι οποίοι αλληλεπιδρούν με όλα τα φυσικά προϊόντα και τα περιουσιακά στοιχεία.
- ▶ Δεδομένα σχεδίασης προϊόντων (cad)
- ▶ Δεδομένα διαδικασίας κατασκευής



- ▶ Πληροφορίες ευρωστίας περιουσιακών στοιχείων (asset health)
- ▶ Δεδομένα αισθητήρων από την παραγωγή, μεταφορά και χρήση στο πεδίο
- ▶ Αλγόριθμοι και πολιτικές που επηρεάζουν τον πλήρη κύκλο ζωής κάθε (υπο) προϊόντος
- ▶ Συγκεκριμένοι κανονισμοί λειτουργίας που διέπουν κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

Η αποτύπωση των διαφόρων γεγονότων/δεδομένων του πλήρους κύκλου ζωής σε ένα και μόνο στιγμιότυπο (instance) προϊόντος φαντάζει σαν μία διαδικασία παράλογη στο φυσικό κόσμο. Ο λόγος είναι απλός: Είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει πλήρης καταγραφή και ανάλυση των τομών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ όλων των παραπάνω (ελλιπής προβολή στο πεδίο της πληροφορίας και αδυναμία ανάλυσης και αντίληψης σε πραγματικό χρόνο). Εκεί υπεισέρχεται ο ψηφιακός μίτος ή το ψηφιακό νήμα (digital thread).

Ένα ψηφιακό νήμα αποτελεί μία λεπτομερή αποτύπωση / καταγραφή / προβολή της τρέχουσας κατάστασης των εμπλεκόμενων οντοτήτων, των διαδικασιών, των σημείων συνάντησης - αλληλεπίδρασης κατά τον πλήρη κύκλο ζωής ενός προϊόντος (μέχρι και ιστορικά συμβάντων πελατών).

Το ψηφιακό νήμα μπορεί να αποτελέ-

σει τη βάση για τη διύλιση του φυσικού κόσμου στον ψηφιακό, την ανάλυση, τη διαχείριση, την επικοινωνία της πληροφορίας μεταξύ διαφορετικών οργανισμών, τμημάτων, διαδικασιών, αυτοματοποιημένων υποδομών και ανθρώπων, επιτρέποντας πιο άμεσες και πιο ακριβείς αποφάσεις.

Μπορεί επίσης να αποτελέσει τη βάση για τη μετάβαση στην εποχή του 4M, όντας θεμέλιο της ιχνηλασιμότητας 4.0., και να γίνει η βάση για τη διαδραστική αποτύπωση της κατάστασης ενός φυσικού asset, π.χ. εν είδει ψηφιακού διδύμου, όπως και για τη δημιουργία μίας έγκυρης λίμνης δεδομένων (data lake), η οποία θα τροφοδοτήσει συστήματα υποστήριξης αποφάσεων βασισμένα στην τεχνητή νοημοσύνη (TN).

### Nonμοσύνη

**Προσαρμοστική συμπεριφορά κατευθυνόμενη προς στόχο** (Stenberg and Salter, 1982)

Μεταξύ πολλών άλλων, ένα κυρίαρχο όφελος της TN είναι η αυτοματοποίηση διαδικασιών, οι οποίες είναι από τη φύση τους επαναλαμβανόμενες, σύνθετες (πολυπαραμετρικές / πολυφασικές) και χρονοβόρες, με στόχο τη μείωση του κόστους, την επαύξηση της αποδοτικότητας και την παραγωγή εξατομικευμένων λύσεων. Παραφράζοντας το ρητό του Otto von

Bismarck «Οι νόμοι είναι σαν τα λουκάνικα, καλύτερα να μην είσαι εκεί όταν παρασκευάζονται», μήπως οι περιοσύτεροι από εμάς σήμερα αντιλαμβανόμαστε την TN σαν τα λουκάνικα;

Όλοι θέλουν ένα κομμάτι TN στις διαδικασίες τους, ωστόσο, πόσοι είναι εκείνοι που πραγματικά αντιλαμβάνονται τι περιλαμβάνει αυτό σε δεδομένα, μοντέλα, εκπαίδευση, εξειδίκευση, ηθική, ασφάλεια;

Είναι γνωστό ότι πολλά μοντέλα TN, ιδιαίτερα τα μοντέλα βαθιάς μηχανικής μάθησης, λειτουργούν ως μαύρα κουτιά: Επιλέγουμε μία αρχιτεκτονική / μοντέλο το οποίο θεωρούμε κατάλληλο για το πρόβλημά μας, το τροφοδοτούμε με ένα ικανό σετ δεδομένων από το πεδίο εφαρμογής του προβλήματος (πολλές φορές βασιζόμενοι σε ανοιχτά δεδομένα), παρατηρούμε την απόδοση του μοντέλου TN στην πράξη και αναπροσαρμόζουμε την αρχιτεκτονική μας ή και τα δεδομένα μας.

Η επιστήμη των δεδομένων αναγνωρίζει ότι τα μοντέλα TN διέπονται συχνά από δεδομένα τα οποία κουβαλούν μεροληψία (bias), εγείρουν ηθικά ζητήματα ως προς την καταπάτηση της ιδιωτικότητας φυσικών προσώπων κατά τη φάση της συλλογής τους, μπορούν με έμμεσο ή άμεσο τρόπο να οδηγήσουν σε αποφάσεις οι οποίες παραβιάζουν οδηγίες, νόμους και



Ο Δρ. Ξενάκης με σπουδαστές του ΕΚΠΑ που παρακολούθησαν το συνέδριο.

ήθη σε διαφορετικά περιβάλλοντα, ενώ είναι και ευάλωτα σε επιθέσεις λόγω του τρόπου με τον οποίο παράγονται (επιμόλυνση δεδομένων εισόδου, εύρεση ευαισθησιών λόγω χρήσης γνωστών σετ δεδομένων κλπ.).

### Ηθική

«Η δ' ηθική (της ΤΝ) εξ έθους (δεδομένων) περιγίνεται» (Αριστοτέλης)

Η αξιοποίηση μεγάλου όγκου δεδομένων επιτρέπει σε κάθε φορέα να αξιήσει την εστίασή του στην αυτοματοποίηση και στη λήψη αποφάσεων. Αναπόφευκτα, οι πρόσφατες εξελίξεις στην ενσωμάτωση ΤΝ βασιζονται στην ποικιλότητα, στην ποιότητα και στον όγκο των δεδομένων τα οποία τροφοδοτούν τους μηχανισμούς απόφασης.

Μέχρι στιγμής, κορυφαίοι φορείς και επιδρασιακές εταιρείες στο πεδίο της ΤΝ ακολουθούν το ρητό του Μένανδρου «Α μη προσήκει, μητ' άκουε μηθ' όρα» (Αυτά που δεν πρέπει, μην τα ακούς και μην τα βλέπεις): βλ. data diversity, quality, availability, fairness.

Ωστόσο, αναπόφευκτα, τα δεδομένα που τροφοδοτούν κάθε σύστημα ΤΝ γεννούν έθος (συνήθεια) στους μηχανισμούς απόφασης της ΤΝ και συνεπώς διέπουν το ήθος της. Η ηθική της ΤΝ είναι ένα διεισθημονικό πεδίο με αντικείμενο μελέτης το πώς θα μειωθεί το ρίσκο και τα αρνητικά αποτελέσματα από τη χρήση της.

Στην ηθική της ΤΝ περιλαμβάνονται, για παράδειγμα, η υπευθυνότητα και ο σεβασμός της ιδιωτικότητας, το αίτημα περί δικαίου (fairness), η δυνα-

## Το ψηφιακό νήμα αποτελεί λεπτομερή αποτύπωση της τρέχουσας κατάστασης των εμπλεκόμενων οντοτήτων, των διαδικασιών και των σημείων συνάντησης - αλληλεπίδρασης κατά τον πλήρη κύκλο ζωής ενός προϊόντος

τότητα εξήγησης (explainability), η ευρωστία (robustness) και η διαφάνεια (transparency) των μηχανισμών της ΤΝ.

Πλέον, η αξιοποίηση μηχανισμών οι οποίοι επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων που παράγει η ΤΝ (πεδίο γνωστό ως explainable AI [XAI]) αποτελεί βασική προϋπόθεση της χρήσης της από αναγνωρισμένους φορείς.

Μέσω της αξιοποίησης μηχανισμών XAI, οι άνθρωποι μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα εισόδου, να κατανοήσουν καλύτερα το πώς αυτά οδηγούν σε συγκεκριμένα αποτελέσματα ένα μοντέλο ΤΝ και γενικότερα να διατηρήσουν όσο το δυνατό περισσότερο τη (νοερή) εποπτεία της χρήσης των μοντέλων ΤΝ που κατεργάζονται.

Προς την κατεύθυνση αυτή, βασική απαίτηση πλέον από θεσμικούς φορείς όπως είναι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, είναι η δόμηση των δεδομένων σύμφωνα με τις αρχές FAIR (findable, accessible, interoperable, reusable).

### Βιωσιμότητα

«Χους ει και εις χουν απελεύσει» (Γένεση, Παλαιά Διαθήκη), βλ. μηδενικό αποτύπωμα.

Σαφώς η κοινωνία μας εστιάζει σήμερα στο τώρα και στο μέλλον και σπανίως ανατοχάζεται το παρελθόν, ακολουθώντας ένα ιδιότυπο συλλογικό μοντέλο νοημοσύνης, όπου η κατά κύριο λόγο κοινή λήψη δεδομένων διαμορφώνει το δικό μας μαύρο κουτί. Στόχος, όπως και στην ΤΝ, είναι η αντίληψη της τρέχουσας κατάστασης και η πιο ακριβής εκτίμηση του τι ακολουθεί –και όλα σε απειροελάχιστο χρόνο.

Τελικά, η κοινωνία μας πόσο βλέπει τον καθρέφτη μέσα στον καθρέφτη της ΤΝ και πόσο βιώσιμη είναι αυτή η προσέγγιση; Σε κάθε περίπτωση, η χωρίς προηγούμενο δυνατότητά μας να συλλέγουμε δεδομένα από το φυσικό κόσμο και να τα αναλύουμε στο ψηφιακό πεδίο στιγμιαία, η δυνατότητα παρακολούθησης του πλήρους κύκλου ζωής ενός asset από τη φάση του σχεδιασμού μέχρι τη φάση της απόρριψης, η ενσωμάτωση μηχανισμών ιχνηλασιμότητας 4.0, καθώς και η διύλιση του φυσικού κόσμου στη βάση ψηφιακών νημάτων τα οποία τροφοδοτούν την ΤΝ σε ικανό χρόνο (λαμβάνοντας υπόψη το έθος των δεδομένων και το ήθος των μηχανισμών που διέπουν την ΤΝ), μπορούν τελικά να καταστήσουν το πρόβλημα της βιωσιμότητας εφικτό και επιλύσιμο.

Το πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή είναι κάθε ενδιαμέσος στον πλήρη κύκλο ζωής ενός asset να αντιληφθεί ότι η βιωσιμότητα είναι ένα πρόβλημα το οποίο δεν απαιτείται να επιλύουμε ν φορές· δηλαδή μία φορά για κάθε φάση του κύκλου ζωής. Μέσω της αξιοποίησης εργαλείων ιχνηλασιμότητας, εκμεταλλευόμενοι τη δυνατότητά μας να διυλίζουμε το φυσικό κόσμο μέσω των ολοκληρωμένων (end to end) ψηφιακών νημάτων δεδομένων και αξιοποιώντας την ΤΝ υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις, μπορούμε να βρούμε την έξοδο της βιωσιμότητας στο λαβύρινθο της σημερινής κατάμησης και εξειδίκευσης, επιλύοντας το πρόβλημα της βιωσιμότητας επί του συνόλου του κύκλου ζωής ενός asset.

\*Τα βασικά σημεία της ομιλίας του Δρ. Διονύση Ξενάκη, Επίκουρου Καθηγητή στο Τμήμα Τεχνολογιών Ψηφιακής Βιομηχανίας του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ).