



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**2025**

**ΜΑΚΡΥΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΑΜ: 2015010185**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«Μηχανολογικός Σχεδιασμός Βασισμένος σε Μοντέλα στο πλαίσιο της Διαχείρισης  
Κύκλου Ζωής Προϊόντος»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΙΛΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΜΕΛΟΣ 1 : ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΜΕΛΟΣ 2 : ΚΟΥΛΟΥΡΙΔΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ

## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλεποντα καθηγητή κύριο Μπιλάλη Νικόλαο για την καθοδήγηση, τη στήριξη και την υπομονή που έδειξε σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, ένα ευχαριστώ στην οικογένεια μου και στους φίλους μου για την πολύτιμη συμπαράσταση , την ενθάρρυνση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1: Μοντέλο πλαισίου Pahl & Beitz.....	3
Εικόνα 2: Μοντέλο Ulrich & Eppinger.....	5
Εικόνα 3: Μεθοδολογία λήψης αποφάσεων μέσω του μοντέλου Ullman.....	7
Εικόνα 4: Γενική ροή ανάπτυξης προϊόντων.....	10
Εικόνα 5: Πλαίσιο συστήματος.....	19
Εικόνα 6: Φάσεις του κύκλου ζωής του συστήματος.....	21
Εικόνα 7 : Φάσεις του κύκλου ζωής της Ανάπτυξης συστήματος.....	26
Εικόνα 8: Βασικό διάγραμμα συστήματος V.....	27
Εικόνα 9: Κύρια ροή εργασιών για την ανάπτυξη συστημάτων.....	29
Εικόνα 10: Διάγραμμα V για ηλεκτρικό ποδήλατο.....	30
Εικόνα 11: Απεικόνιση από έγγραφα σε μοντέλα.....	35
Εικόνα 12: Ανάπτυξη βάσει μοντέλων.....	37
Εικόνα 13: Πλατφόρμα συνεργασίας SDPD/ MBSE.....	38
Εικόνα 14: Φάσεις του MBSE στο πλαίσιο PLM.....	41
Εικόνα 15:Πρώτη φάση- Απαιτήσεις και προδιαγραφές συστήματος.....	45
Εικόνα 16:Δεύτερη φάση- Ορισμός αρχιτεκτονικής.....	49
Εικόνα 17:Τρίτη φάση- Ορισμός προσομοίωσης.....	52
Εικόνα 18:Τέταρτη φάση- Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά υποσυστήματα.....	55
Εικόνα 19: Πέμπτη φάση- Ενσωματωμένο λογισμικό.....	58
Εικόνα 20: Έκτη φάση-3D σχεδίαση και πολυεπιστημονική βελτιστοποίηση.....	60
Εικόνα 21: Τυπική ροή εργασιών χρήστη.....	63

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

### **1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ**

<b>ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ .....</b>	<b>2</b>
1.1 Το Μοντέλο Pahl & Beitz (Systematic Engineering Design) .....	2
1.1.1 Βασικές Αρχές .....	2
1.1.2 Στάδια .....	3
1.2 Το Μοντέλο Ulrich & Eppinger (Product Design and Development) .....	5
1.2.1. Βασικές Αρχές .....	5
1.2.2. Στάδια .....	5
1.3. Το Μοντέλο Ullman (Mechanical Design Process) .....	7
1.3.1. Βασικές Αρχές .....	7
1.3.2. Στάδια .....	7
1.4. Γενικευμένη Διαδικασία Ανάπτυξης .....	10
1.4.1 Ορισμός και Σχεδιασμός Προγράμματος ( Program Defination and Planning) .....	11
1.4.2 Ορισμός Προδιαγραφών ( Specification Definition) .....	11
1.4.3 Σχεδιασμός και ανάπτυξη ( Design and Development) .....	12
1.4.4 Πρωτοτυποποίηση και Επικύρωση ( Design and Development) .....	12
1.4.5 Παραγωγή ( Production ) .....	13
<b>2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ( SYSTEMS ENGINEERING) - ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ...</b>	<b>14</b>
2.1 Σύστημα .....	15

2.2 Στοιχείο συστήματος.....	16
2.3 Σύστημα ενδιαφέροντος.....	16
2.4 Πλαίσιο συστήματος.....	16
2.5 Περιβάλλον.....	17
2.6 Όρια/ Σύνορα συστήματος.....	17
2.7 Σύνδεσμοι.....	18
2.8 Δομή.....	18
2.9 Συμπεριφορά.....	19
3. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (SYSTEMS ENGINEERING LIFE CYCLE).....	21
3.1 Σύλληψη.....	21
3.2 Ορισμός.....	22
3.3 Ανάπτυξη.....	23
3.4 Παραγωγή.....	24
3.5 Υπηρεσία.....	24
3.6 Απόρριψη – Τέλος Ζωής.....	25
3.7 Κριτήρια Εξόδου.....	25
3.8 Υπό-διεργασίες Ανάπτυξης Συστήματος.....	26
3.9 Εφαρμογή σε Κύκλου Ζωής στην Ανάπτυξη Ηλεκτρικού Ποδήλατου.....	29
4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ SYSTEM DRIVEN PRODUCT DEVELOPMENT/ MODEL BASED SYSTEMS ENGINEERING.....	33
4.1 Μηχανική Συστημάτων Βασισμένη Σε Μοντελα (MBSE).....	33
4.2 MBSE στην Ανάπτυξη Ηλεκτρικού Ποδηλάτου.....	38

5 SDPD/MBSE ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ PLM .....	40
5.1 PLM και MBSE: δύο κόσμοι που συγκλίνουν .....	40
5.2 Οι έξι φάσεις του MBSE στο πλαίσιο PLM .....	41
5.3 Ρόλοι SDPD/MBSE .....	42
5.4 Προδιαγραφές/ Ορισμός Χαρακτηριστικών .....	44
5.5 Παράδειγμα – Ανάπτυξη Ηλεκτρική Σανίδα Στέιτ .....	46
5.6 Ορισμός Αρχιτεκτονικής .....	48
5.6.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική .....	50
5.6.2 Λογική αρχιτεκτονική .....	50
5.6.3 Σύνδεση Λειτουργικής και Λογικής Αρχιτεκτονικής .....	51
5.6.4 Ορισμός Προσομοίωσης/ simulation definition .....	52
5.6.5 Ηλεκτρικά/ Ηλεκτρονικά .....	55
5.6.6 Ενσωματωμένο Λογισμικό .....	58
5.6.7 3D/CAE και Πολυεπιστημονική Βελτιστοποίηση .....	60
<b>6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>65</b>
<b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>66</b>

## Περίληψη

Η ανάπτυξη προϊόντων σήμερα δεν περιορίζεται σε μία μόνο επιστημονική ειδικότητα, καθώς η φύση και η πολυπλοκότητα των προϊόντων εξελίσσονται με εκθετικό ρυθμό και τα περισσότερα προϊόντα μπορούν να ενοποιήσουν μια πληθώρα τεχνολογικών λειτουργιών. Στην εργασία αυτή, θα παρουσιαστεί μια επισκόπηση της τρέχουσας διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντων, μέσω της συστημικής μηχανικής θα εισαχθεί η μεθοδολογία MBSE ως συμπληρωματική της υφιστάμενης διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντων και θα παρουσιαστεί η εφαρμογή του MBSE στο πλαίσιο της διαχείρισης κύκλου ζωής προϊόντος (PLM).

## Abstract

Product development today is no longer confined to a single scientific discipline, as the nature and complexity of products are evolving at an exponential rate and most products can integrate a multitude of technological functions. In this study, we provide an overview of the current product development process, drawing on systems engineering, we introduce the MBSE methodology as a complement to the existing process and present the application of MBSE with the framework of Product Lifecycle Management (PLM).

# 1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Η ανάπτυξη ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων (Electromechanical / Mechatronic Product Development) χαρακτηρίζεται από την αλληλεπίδραση τριών βασικών πεδίων: μηχανικής, ηλεκτρολογίας/ηλεκτρονικής και πληροφορικής. Τα προϊόντα αυτά (π.χ. ρομποτικοί βραχίονες, ιατρικές συσκευές, οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές, συστήματα αυτοματισμού) απαιτούν μεθοδική και συστηματική διαδικασία ανάπτυξης, ώστε να διασφαλίζεται:

- η τεχνική αρτιότητα,
- η λειτουργικότητα,
- η αξιοπιστία και ασφάλεια,
- η οικονομική βιωσιμότητα,
- η δυνατότητα παραγωγής και συντήρησης.

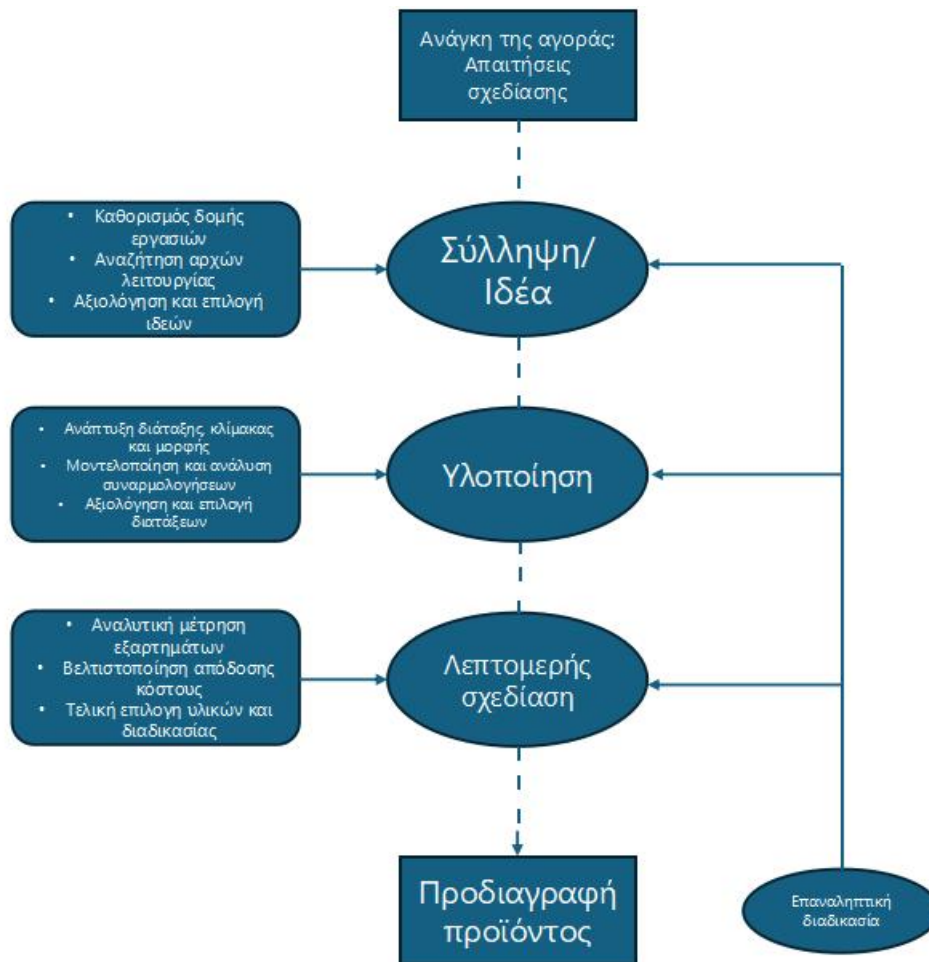
Η βιβλιογραφία προσφέρει διάφορα μοντέλα μεθοδικής ανάπτυξης προϊόντων, εκ των οποίων τα σημαντικότερα και πιο συχνά διδασκόμενα είναι των Pahl & Beitz (1984), Ulrich & Eppinger και Ullman.

## 1.1 Το Μοντέλο Pahl & Beitz (Systematic Engineering Design)

### 1.1.1 Βασικές Αρχές

Οι Pahl & Beitz εισήγαγαν μια **συστηματική και μεθοδική προσέγγιση** στη διαδικασία σχεδίασης προϊόντων. Στόχος τους ήταν να παρέχουν ένα γενικό πλαίσιο που να εφαρμόζεται σε κάθε τεχνολογικό πεδίο, με έμφαση στη μηχανολογική σχεδίαση, αλλά εφαρμόσιμο και σε ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Η διαδικασία ξεκινά με την ανάλυση των απαιτήσεων του χρήστη και του προβλήματος, συνεχίζει με τη δημιουργία και συνδυασμό αρχών λειτουργίας για την παραγωγή εναλλακτικών λύσεων, και ολοκληρώνεται με την επιλογή και τον λεπτομερή προσδιορισμό της τελικής σχεδίασης (Pahl & Beitz, 1996).





Εικόνα 1:Μοντέλο πλαισίου Pahl & Beitz

### 1.1.2 Στάδια

Το μοντέλο χωρίζεται σε τέσσερα κύρια στάδια:

#### 1. Καθορισμός εργασίας:

- Ανάλυση απαιτήσεων, περιορισμών, στόχων.
- Δημιουργία λίστας απαιτήσεων.
- Δραστηριότητες: Ανάλυση ενδιαφερομένων, Φωνή του Πελάτη - VoC, κανονιστικές απαιτήσεις, κατάρτιση λίστας απαιτήσεων.
- Εργαλεία: Συνεντεύξεις, QFD.
- Παραδοτέα: Δήλωση αποστολής (Mission statement), αναλυτική λίστα απαιτήσεων, μητρώο κινδύνων (risk register).

## 2. Αρχικός Εννοιολογικός Σχεδιασμός (Conceptual Design):

- ο Αναζήτηση αρχών λειτουργίας.
- ο Συνδυασμός επιμέρους αρχών σε συνολικές λύσεις.
- ο Αξιολόγηση και επιλογή βέλτιστης ιδέας.
- ο Δραστηριότητες: Λειτουργική αποσύνθεση, morphological charts, Pugh matrices, αρχιτεκτονική συστήματος.
- ο Εργαλεία: TRIZ, decision matrices.
- ο Παραδοτέα: 2–3 επικρατέστερα concepts, system BOM, risk assessment.

## 3. Εμβάθυνση Σχεδιασμού (Embodiment Design):

- ο Σχηματική και στη συνέχεια λεπτομερής περιγραφή της λύσης.
- ο Υπολογισμοί, διαστασιολογήσεις, υλικά.
- ο Δραστηριότητες: Layout design, Σχεδίαση για DfX, FEA/CFD, PCB stack-up.
- ο Εργαλεία: CAD/CAE, SysML, DFMEA, Προσδιορισμός ανοχών.
- ο Παραδοτέα: Σχέδια 3D, interface specs, test plan EVT (Engineering Validation Test), DVT (Design Validation Test).

## 4. Λεπτομερής Σχεδίαση (Detail Design):

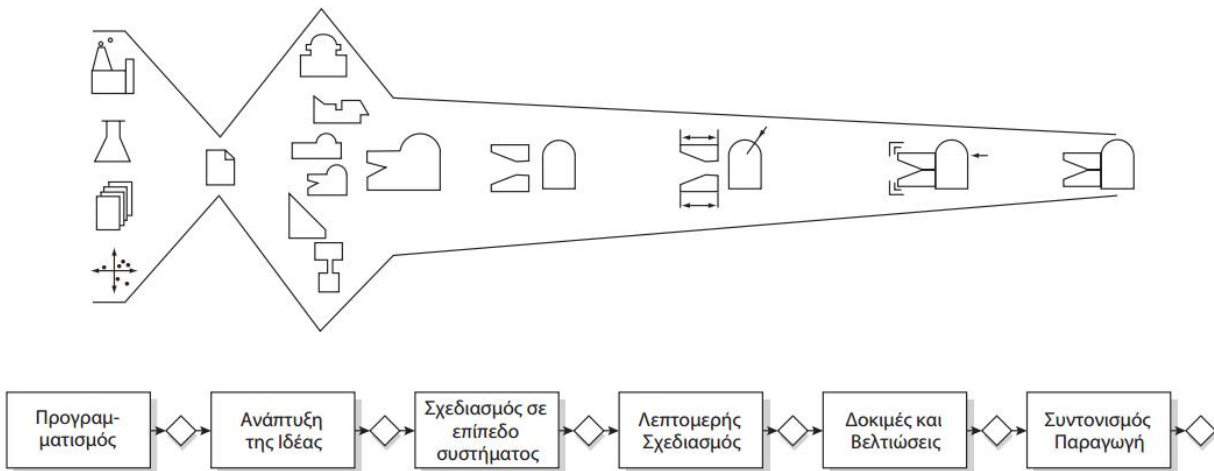
- ο Οριστική κατασκευή με όλα τα σχέδια παραγωγής.
- ο Προετοιμασία για παραγωγή/πρωτότυπα.
- ο Δραστηριότητες: GD&T, BOM, PCB layout, firmware design, fixtures.
- ο Εργαλεία: PDM/PLM, CAM, static analysis.
- ο Παραδοτέα: DMR (Device Master Record), πρωτότυπα, αναφορές verification.

Το πλεονέκτημα είναι η **ιεραρχική και συστηματική μετάβαση** από την ανάγκη στην υλοποιημένη λύση, κάτι που βοηθά στις πολυσύνθετες απαιτήσεις ενός mechatronic συστήματος (συνδυασμός αισθητήρων, κινητήρων, μηχανικών μερών, λογισμικού).

## 1.2 Το Μοντέλο Ulrich & Eppinger (Product Design and Development)

### 1.2.1. Βασικές Αρχές

Οι Ulrich & Eppinger (2015) πρότειναν ένα μοντέλο ανάπτυξης προϊόντων πιο **προσανατολισμένο στη βιομηχανική πράξη**, με έμφαση στη διαχείριση έργου, στις ομάδες ανάπτυξης και στην αλληλεπίδραση με την αγορά. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει έξι στάδια: σχεδιασμός/προγραμματισμός, ανάπτυξη ιδεών, σχεδίαση σε επίπεδο συστήματος, λεπτομερής σχεδίαση, δοκιμές και βελτιώσεις και προετοιμασία παραγωγής. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η έμφαση στη διαχείριση έργου και στον συντονισμό ομάδων διαφορετικών ειδικοτήτων. Αυτό το στοιχείο είναι κρίσιμο για ηλεκτρομηχανολογικά προϊόντα, όπου απαιτείται στενή συνεργασία μηχανικών, ηλεκτρολόγων, προγραμματιστών και βιομηχανικών σχεδιαστών. Επιπλέον, το μοντέλο αναγνωρίζει την κεντρική σημασία της αγοράς και του χρήστη κατά τη διαδικασία ανάπτυξης.



Εικόνα 2: Μοντέλο Ulrich & Eppinger

### 1.2.2. Στάδια

Το μοντέλο τους αποτελείται από πέντε (ή έξι) βασικά στάδια:

#### 1. Planning (Προγραμματισμός/ Στρατηγικός Σχεδιασμός):

- Ανάλυση αγοράς, benchmarking, στρατηγικοί στόχοι.
- Δραστηριότητες: VoC, benchmarking, business case.
- Εργαλεία: QFD, competitive matrices.
- Παραδοτέα: Mission statement, target specs.

## 2. **Concept Development (Ανάπτυξη Ιδεών):**

- ο Εναλλακτικές ιδέες, επιλογή concept.
- ο Δραστηριότητες: VoC, benchmarking, business case.
- ο Εργαλεία: QFD, competitive matrices.
- ο Παραδοτέα: Mission statement, target specs.

## 3. **System-Level Design (Σχεδίαση σε επίπεδο συστήματος):**

- ο Αρχιτεκτονική προϊόντος, υποσυστήματα, διεπαφές.
- ο Δραστηριότητες: DSM, make–buy.
- ο Εργαλεία: DSM, trade studies.
- ο Παραδοτέα: System architecture, BOM, test plan.

## 4. **Detail Design (Λεπτομερής Σχεδίαση):**

- ο Σχέδια CAD, προδιαγραφές, επιλογή υλικών, κόστη.
- ο Δραστηριότητες: CAD, GD&T, DFM/DFA.
- ο Εργαλεία: Tolerance analysis, CAM.
- ο Παραδοτέα: Drawings, BOM, test plans.

## 5. **Testing & Refinement (Δοκιμές και Βελτίωσεις):**

- ο Πρωτότυπα, πειραματισμός, αξιολόγηση.
- ο Δραστηριότητες: EVT/DVT/PVT, HALT/HASS.
- ο Εργαλεία: DOE, coverage metrics.
- ο Παραδοτέα: Reports, CAPAs.

## 6. **Production Ramp-Up (Συντονισμός/ Προετοιμασία Παραγωγής):**

- ο Πρώτες σειρές παραγωγής, feedback από χρήστες.
- ο Δραστηριότητες: Pilot builds, SPC.
- ο Εργαλεία: PFMEA, process capability.
- ο Παραδοτέα: Release to manufacturing.

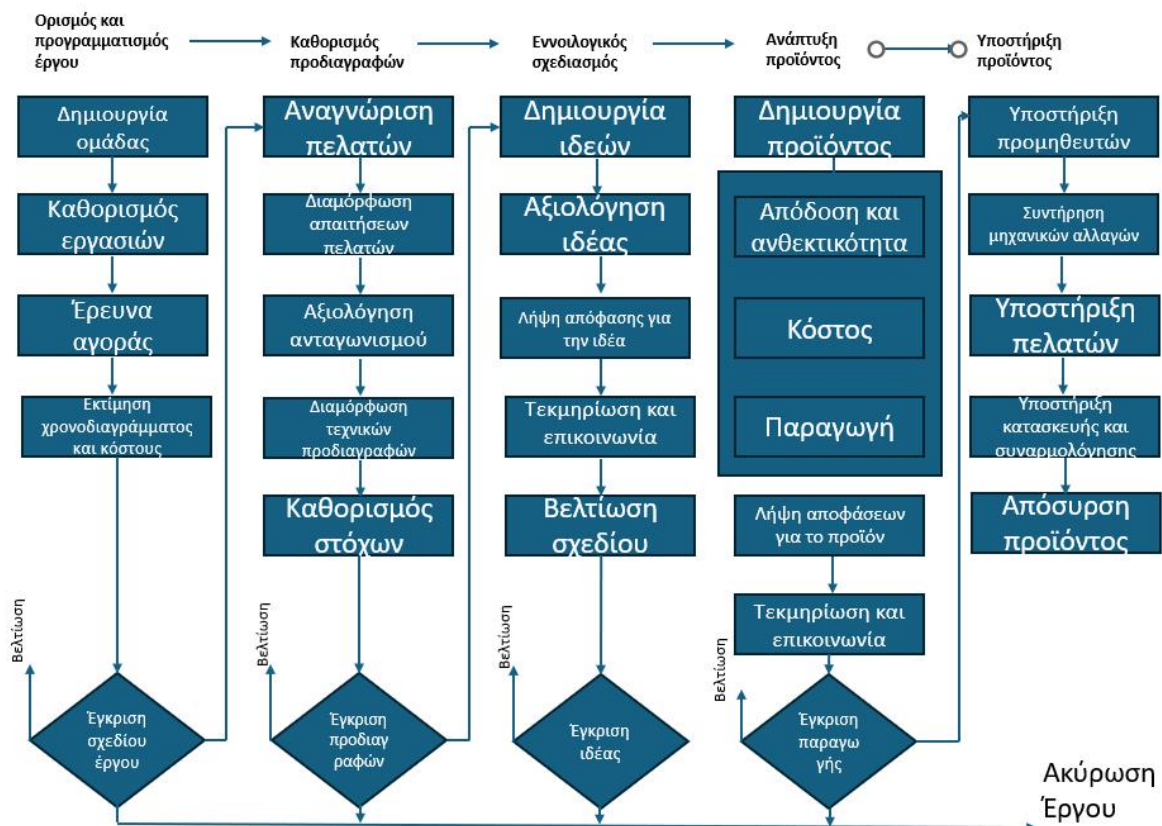
Το μοντέλο τονίζει την **ομαδικότητα** και τον **συντονισμό διαφορετικών ειδικοτήτων** (μηχανικοί, ηλεκτρολόγοι, software engineers), κάτι που είναι απολύτως κρίσιμο στα προϊόντα με ενσωματωμένα ηλεκτρομηχανολογικά υποσυστήματα.

### 1.3. Το Μοντέλο Ullman (Mechanical Design Process)

#### 1.3.1. Βασικές Αρχές

Ο Ullman (2017) εστιάζει στην πρακτική πλευρά της μηχανολογικής σχεδίασης, παρέχοντας μια μεθοδολογία λήψης αποφάσεων σε τέσσερα στάδια: καθορισμός έργου, συλληπτικός σχεδιασμός, ανάπτυξη προϊόντος και υποστήριξη προϊόντος.

Το μοντέλο δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στον κύκλο ζωής του προϊόντος και στην υποστήριξή του μετά την κυκλοφορία στην αγορά, κάτι που έχει ιδιαίτερη σημασία για ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα όπου οι ανάγκες για συντήρηση, αναβαθμίσεις και αξιοπιστία είναι αυξημένες.



Εικόνα 3: Μεθοδολογία λήψης αποφάσεων μέσω του μοντέλου Ullman

#### 1.3.2. Στάδια

Αναλυτικά η μεθοδολογία Ullman για ανάπτυξη προϊόντων χωρίζει τη διαδικασία σε 5 κύρια στάδια, με επιμέρους δραστηριότητες σε κάθε στάδιο, εγκρίσεις και σημεία ανατροφοδότησης. Αυτά είναι:

## 1. Project Definition and Planning (Ορισμός και Σχεδιασμός Έργου)

Σε αυτό το αρχικό στάδιο γίνεται η προετοιμασία:

- Form Team (Δημιουργία Ομάδας): συγκρότηση ομάδας ανάπτυξης με τους απαραίτητους ρόλους.
- Develop Tasks (Ανάπτυξη Καθηκόντων): καθορισμός αρμοδιοτήτων, χρονοδιαγραμμάτων και deliverables.
- Research Market (Έρευνα Αγοράς): μελέτη τάσεων, αναγκών πελατών, ανταγωνιστών και ευκαιριών.
- Estimate Schedule and Cost (Εκτίμηση Χρονοδιαγράμματος και Κόστους): προσδιορισμός χρόνου, πόρων και προϋπολογισμού.

Καταλήγει σε Project Plan Approval (Έγκριση Σχεδίου Έργου), αλλιώς γίνεται διόρθωση ή ακύρωση.

## 2. Specification Definition (Καθορισμός Προδιαγραφών)

Αφορά την κατανόηση και μετάφραση των αναγκών σε τεχνικές απαιτήσεις:

- Identify Customers (Προσδιορισμός Πελατών): ποιοι είναι οι χρήστες, ποιοι εμπλέκονται.
- Generate Customer's Requirements (Δημιουργία Απαιτήσεων Πελάτη): τι πραγματικά χρειάζονται οι πελάτες.
- Evaluate Competition (Αξιολόγηση Ανταγωνισμού): συγκριτική μελέτη προϊόντων ανταγωνιστών.
- Generate Engineering Specification (Τεχνικές Προδιαγραφές): μετατροπή αναγκών σε μετρήσιμες τεχνικές απαιτήσεις.
- Set Targets (Καθορισμός Στόχων): όρια απόδοσης, κόστους, ποιότητας, ασφάλειας.

Ολοκληρώνεται με Specification Approval (Έγκριση Προδιαγραφών).

## 3. Conceptual Design (Σχεδιασμός Ιδέας/Εννοιολογικός Σχεδιασμός)

Εδώ γεννιούνται και αξιολογούνται οι ιδέες:

- Generate Concepts (Γεννήστε Ιδέες/Λύσεις): brainstorming, δημιουργία εναλλακτικών.

- Evaluate Concept (Αξιολόγηση Ιδεών): τεχνικά, οικονομικά, εμπορικά κριτήρια.
- Make Concept Decisions (Αποφάσεις Σχεδιασμού): επιλογή καλύτερης ιδέας ή συνδυασμού ιδεών.
- Document & Communicate (Τεκμηρίωση και Επικοινωνία): καταγραφή και κοινοποίηση στην ομάδα/διοίκηση.
- Refine Plan (Βελτίωση Σχεδίου): ανατροφοδότηση αν χρειαστεί.

Καταλήγει σε Concept Approval (Έγκριση Σχεδίου).

#### 4. Product Development (Ανάπτυξη Προϊόντος)

Περνάμε από την ιδέα στην πραγματική ανάπτυξη:

- Generate Product (Παραγωγή Πρωτοτύπου/Προϊόντος): δημιουργία πρωτοτύπων ή πρώτης υλοποίησης.
- Evaluate Product (Αξιολόγηση Προϊόντος): δοκιμές απόδοσης, λειτουργικότητας, ανθεκτικότητας.
- Performance and Robustness (Απόδοση & Ανθεκτικότητα): τεχνικοί έλεγχοι.
- Cost (Κόστος): υπολογισμός τελικού κόστους παραγωγής.
- Production (Παραγωγική Ετοιμότητα): δυνατότητα μαζικής παραγωγής.
- Make Product Decisions (Λήψη Αποφάσεων για το Προϊόν): συνεχείς αποφάσεις βελτίωσης.
- Document & Communicate (Τεκμηρίωση): ενημέρωση ενδιαφερομένων.

Ολοκληρώνεται με Production Approval (Έγκριση Παραγωγής).

#### 5. Product Support (Υποστήριξη Προϊόντος)

Το τελικό στάδιο αφορά τη φάση μετά την κυκλοφορία:

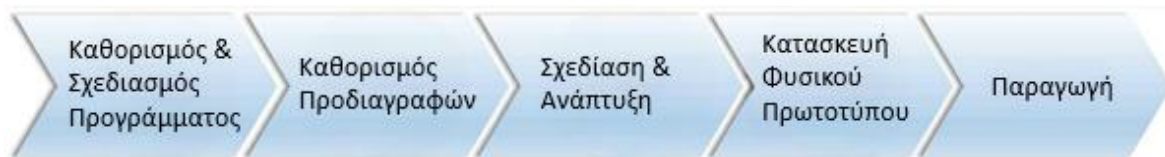
- Support Vendors (Υποστήριξη Προμηθευτών): συνεργασία με δίκτυο εφοδιασμού.
- Maintain Engineering Changes (Συντήρηση & Τεχνικές Αλλαγές): συνεχής βελτίωση.
- Customer Support (Υποστήριξη Πελατών): after-sales υπηρεσίες.

- Support Manufacturing and Assembly (Υποστήριξη Παραγωγής & Συναρμολόγησης): βοήθεια στη μαζική παραγωγή.
- Retire Product (Απόσυρση Προϊόντος): διαχείριση τέλους ζωής προϊόντος.

#### 1.4. Γενικευμένη Διαδικασία Ανάπτυξης

Συνοπτικά, η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος μπορεί να διαχωριστεί σε πέντε βασικά στάδια:

- Προγραμματισμός για Νέα Προϊόντα (Program Definitin & Planning), όπου αναπτύσσεται το μεσοπρόθεσμο πλάνο παραγωγής νέων προϊόντων (δεν περιλαμβάνεται σε αυτή την εργασία)
- Ανάλυση αναγκών και απαιτήσεων – κατανόηση αγοράς, χρηστών, τεχνικών περιορισμών.
- Σχεδιασμός και ανάπτυξη – παραγωγή ιδεών, αρχικές λύσεις, μοντελοποίηση, προσομοιώσεις, βελτιστοποιήσεις.
- Υλοποίηση και Παραγωγή – κατασκευή πρωτοτύπων, δοκιμές, τελικός σχεδιασμός, προετοιμασία παραγωγής.
- Παραγωγή Προϊόντος



Εικόνα 4: Γενική ροή ανάπτυξης προϊόντων

Αν και η διαδικασία σχεδιασμού παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ανάλογα με το είδος του προϊόντος και τον κλάδο της βιομηχανίας, είναι εφικτό να διαμορφωθεί ένα καθολικό πλαίσιο δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση κάθε έργου. Ένα τέτοιο διάγραμμα μπορεί να λειτουργήσει ως οδηγός, προσφέροντας μια ενιαία βάση για την οργάνωση και τον συντονισμό των σχεδιαστικών σταδίων.

Στο πλαίσιο της διαχείρισης έργων, τα κριτήρια εξόδου για κάθε στάδιο είναι η έγκριση του, ανάλογα με το έργο αν θα προχωρήσει στην επόμενη φάση, αν θα χρειαστεί να αναθεωρηθεί ή αν θα ακυρωθεί εντελώς. Η χρήση μεθόδων Στάδιο-Πύλη είναι πολύ διαδεδομένη σε όλες τις επιχειρήσεις.



#### 1.4.1 Ορισμός και Σχεδιασμός Προγράμματος ( Program Defination and Planning)

Αυτή είναι η **φάση 0** στο μοντέλο των Ulrich & Eppinger. Αποτελεί τη γέφυρα μεταξύ της στρατηγικής της επιχείρησης και της μετέπειτα ανάπτυξης του προϊόντος.

Κύριες δραστηριότητες:

- **Στρατηγική προϊόντος:** Σύνδεση με το επιχειρησιακό όραμα, ανάλυση τεχνολογικών τάσεων και χαρτοφυλακίου προϊόντων.
- **Σύσταση ομάδων ανάπτυξης:** Δημιουργία **διεπιστημονικών ομάδων** (engineering, marketing, industrial design, operations, finance).
- **Καθορισμός καθηκόντων και ρόλων:** Ανάθεση ευθυνών για αποτελεσματική συνεργασία.
- **Έρευνα αγοράς & χρηστών:** Εντοπισμός ανεκπλήρωτων αναγκών πελατών, benchmarking.
- **Εκτίμηση χρονοδιαγράμματος, πόρων & κόστους:** Σχεδιασμός έργου, χρήση Gantt/PERT charts.
- **Έγκριση Project Charter:** Το παραδοτέο αυτής της φάσης, το οποίο ορίζει: στόχους, εύρος, πόρους και αρχικό business case.

Στόχος είναι να επιβεβαιωθεί ότι το έργο ευθυγραμμίζεται με τη στρατηγική της εταιρείας και αξίζει να επενδυθεί.

#### 1.4.2 Ορισμός Προδιαγραφών ( Specification Definition)

Αντιστοιχεί στη **Φάση 1** των Ulrich & Eppinger. Περιλαμβάνει τη μετάφραση των αναγκών των πελατών σε μετρήσιμες προδιαγραφές.

Κύριες δραστηριότητες:

- **Προσδιορισμός πελατών & stakeholders** (χρήστες, διανομείς, συνεργάτες).
- **Συλλογή αναγκών πελατών** (μέσω συνεντεύξεων, focus groups, έρευνα αγοράς).
- **Δημιουργία πίνακα “Φωνή του Πελάτη - Voice of the Customer” (VOC):** Οι ανάγκες καταγράφονται σε φράσεις πελατών.
- **Ανάλυση ανταγωνισμού:** Συγκριτική αξιολόγηση υπαρχόντων προϊόντων.
- **Μετατροπή αναγκών σε μετρήσιμες προδιαγραφές προϊόντος** (Engineering Specifications).

- **Καθορισμός στόχων:** Ποσοτικοποιημένοι στόχοι απόδοσης (π.χ. βάρος  $\leq 1.5$  kg, χρόνος φόρτισης  $\leq 2$ h).

Στόχος είναι να παραχθεί το **Product Design Specification (PDS)**, που λειτουργεί σαν «συμβόλαιο» για τις επόμενες φάσεις.

#### 1.4.3 Σχεδιασμός και ανάπτυξη ( Design and Development)

Στη θεωρία των Ulrich & Eppinger διακρίνουμε δύο υποφάσεις:

- **System-Level Design** (Φάση 2) → αρχιτεκτονική προϊόντος.
- **Detail Design** (Φάση 3) → λεπτομερής σχεδιασμός εξαρτημάτων.

Κύριες δραστηριότητες:

- **Έρευνα ιστορικού & πατεντών** (freedom-to-operate analysis).
- **Σύλληψη και ανάπτυξη ιδεών** (brainstorming, morphological analysis, TRIZ).
- **Αξιολόγηση & επιλογή εννοιών σχεδιασμού** (Decision Matrices, Pugh Matrix).
- **Αρχιτεκτονική προϊόντος:** Διάσπαση σε υποσυστήματα/μονάδες.
- **Σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD/CAE):** Δημιουργία 3D μοντέλων, προσομοιώσεις.
- **Σχεδιασμός για X (DFX):** Σχεδιασμός για παραγωγή, συναρμολόγηση, κόστος, ανακύκλωση.

Παραδοτέα: CAD αρχεία, BOM (Bill of Materials), σχέδια παραγωγής.

#### 1.4.4 Πρωτοτυποποίηση και Επικύρωση ( Design and Development)

Αντιστοιχεί στη **Φάση 4** (Testing and Refinement).

Κύριες δραστηριότητες:

- **Κατασκευή πρωτοτύπων:** Από απλά mock-ups έως λειτουργικά πρωτότυπα.
- **Δοκιμές με χρήστες** (usability testing, concept testing).
- **Μηχανικές δοκιμές:** Έλεγχος αντοχής, επιδόσεων, εργονομίας.
- **Σύγκριση με προδιαγραφές:** Επικύρωση ότι καλύπτονται όλες οι απαιτήσεις.
- **Επαναληπτικός σχεδιασμός:** Τροποποιήσεις μέχρι την ικανοποίηση όλων των κριτηρίων.

Στόχος: Μείωση αβεβαιότητας και τεκμηρίωση της λειτουργικότητας.

Με την ολοκλήρωση της φυσικής δοκιμής του προϊόντος, η διαδικασία σχεδίασης φτάνει στο τελικό της στάδιο, επιτρέποντας την αξιολόγηση της απόδοσης του προϊόντος υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Το βασικό κριτήριο εξόδου αυτής της φάσης είναι η επιβεβαίωση ότι οι λειτουργικές απαιτήσεις, όπως είχαν οριστεί στα προηγούμενα στάδια, έχουν ικανοποιηθεί.

Ωστόσο, η σχεδιαστική διαδικασία συχνά απαιτεί επαναλήψεις, ιδιαίτερα σε προϊόντα υψηλής πολυπλοκότητας, λόγω της εμπλοκής πολλών επιστημονικών πεδίων. Μετά την κατασκευή του πρωτοτύπου, μπορεί να διαπιστωθεί ότι ορισμένες απαιτήσεις δεν καλύπτονται επαρκώς από τον υπάρχοντα σχεδιασμό. Σε αυτή την περίπτωση, είναι απαραίτητη η αναθεώρηση ή ακόμη και η πλήρης ανακατασκευή του σχεδιασμού, ώστε να επιτευχθεί πλήρης συμμόρφωση με τις απαιτήσεις.

Μία από τις πιο συχνές προκλήσεις στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ανάπτυξης είναι η ελαχιστοποίηση αυτών των επαναληπτικών παρεμβάσεων, με στόχο την εξοικονόμηση χρόνου και πόρων.

#### 1.4.5 Παραγωγή ( Production )

Αντιστοιχεί στη **Φάση 5** (Production Ramp-Up).

Κύριες δραστηριότητες:

- **Πιλοτική παραγωγή:** Δοκιμή γραμμών παραγωγής και διαδικασιών.
- **Βελτιστοποίηση κόστους και χρόνου.**
- **Εκπαίδευση προσωπικού & δημιουργία οδηγιών συναρμολόγησης.**
- **Έλεγχος ποιότητας και αξιοπιστίας.**
- **Λανσάρισμα προϊόντος:** Είσοδος στην αγορά με περιορισμένη κλίμακα πριν την πλήρη διάθεση.

Στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι το προϊόν παράγεται με συνέπεια, ποιότητα και κερδοφορία.

## 2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ( SYSTEMS ENGINEERING) - ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ

Η μηχανική συστημάτων είναι μια διεπιστημονική προσέγγιση και μέσο για την υλοποίηση επιτυχημένων συστημάτων. Εστιάζει στον καθορισμό των αναγκών των πελατών και της απαιτούμενης λειτουργικότητας νωρίς στον κύκλο ανάπτυξης, στην καταγραφή των απαιτήσεων και στην σύνθεση του σχεδιασμού και την επικύρωση του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψιν το σύνολο του προβλήματος. Η μηχανική συστημάτων ενσωματώνει όλες τις επιστημονικές ειδικότητες και ομάδες ειδικών σε μια ομαδική προσπάθεια , σχηματίζοντας μια δομημένη διαδικασία ανάπτυξης που προχωρά από το στάδιο της σύλληψης έως την παραγωγή και την λειτουργία. Η μηχανική συστημάτων λαμβάνει υπόψιν τόσο τις επιχειρηματικές όσο και τις τεχνικές ανάγκες όλων των πελατών, με στόχο την παροχή ενός ποιοτικού προϊόντος που ανταποκρίνεται στις ανάγκες των χρηστών.

Στα συστήματα CAD/PLM όπως το CATIA και το Siemens NX, η διαδικασία αυτή υποστηρίζεται μέσα από ειδικά εργαλεία που καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος (Product Lifecycle Management – PLM). Για παράδειγμα, στο CATIA εφαρμόζεται η μεθοδολογία RFLP (Requirements – Functional – Logical – Physical) που επιτρέπει τη σύνδεση των απαιτήσεων με τα λειτουργικά, λογικά και φυσικά μοντέλα. Στο NX χρησιμοποιούνται αντίστοιχες δυνατότητες μέσα από το Systems Engineering & Requirements Management σε συνδυασμό με το Teamcenter, διασφαλίζοντας ότι κάθε απαίτηση μεταφράζεται σε λειτουργικό και κατασκευαστικό επίπεδο.

Η μηχανική συστημάτων αντλεί τις αρχές της από τη Συστημική Σκέψη, μια προσέγγιση που προσφέρει βαθύτερη κατανόηση της πολυπλοκότητας της πραγματικότητας. Στον πυρήνα της βρίσκεται η αντίληψη ότι ο κόσμος αποτελείται από αλληλοσυνδεόμενα συστήματα —οικονομικά, κοινωνικά, βιολογικά, τεχνολογικά και υποδομών— τα οποία σχηματίζουν ευρύτερα "συστήματα συστημάτων".

Στο πεδίο της σχεδίασης ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων, η εφαρμογή της Συστημικής Σκέψης είναι καθοριστική. Κάθε προϊόν αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα που περιλαμβάνει μηχανικά, ηλεκτρικά και λογισμικά υποσυστήματα. Αυτά τα υποσυστήματα δεν λειτουργούν ανεξάρτητα· αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, με το περιβάλλον τους και με εξωτερικά συστήματα, επηρεάζοντας τη συνολική απόδοση, αξιοπιστία και βιωσιμότητα του προϊόντος.

Η συστημική προσέγγιση επιτρέπει στους σχεδιαστές να εντοπίζουν κρίσιμες αλληλεξαρτήσεις, να προβλέπουν συμπεριφορές και να λαμβάνουν αποφάσεις που βελτιστοποιούν τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα του τελικού προϊόντος. Αντί να επικεντρώνονται σε μεμονωμένα εξαρτήματα, εξετάζουν το σύνολο ως ένα δυναμικό και εξελισσόμενο οικοσύστημα.

Η μηχανική συστημάτων, επομένως, δεν είναι απλώς ένα εργαλείο σχεδίασης· είναι μια φιλοσοφία που ενισχύει την καινοτομία και την ολιστική σκέψη στον σχεδιασμό σύγχρονων ηλεκτρομηχανολογικών λύσεων.

Στα εργαλεία όπως το CATIA System Diagrams ή το NX Systems Modeling, αυτές οι σχέσεις αποτυπώνονται με διαγράμματα και μοντέλα συστήματος (SysML, block diagrams). Έτσι, μπορούμε να ορίσουμε και να αναλύσουμε τις αλληλεπιδράσεις όχι μόνο μεταξύ εξαρτημάτων αλλά και με το περιβάλλον λειτουργίας.

Στην κλασσική Μηχανική συστημάτων κάθε προϊόν υλοποιείται θεωρείται ένα σύστημα με διάφορα στοιχεία και υποσυστήματα που συνδέονται μεταξύ τους και έχουν ως σκοπό την εκτέλεση μίας ή περισσότερων απαιτούμενων λειτουργιών. Παρακάτω βρίσκονται οι ορισμοί κοινών όρων που χρησιμοποιούνται στην μηχανική συστημάτων.

Στο CATIA αυτό φαίνεται καθαρά στη μετάβαση από το επίπεδο Functional (λειτουργίες) στο επίπεδο Physical (3D εξαρτήματα και υποσυστήματα). Στο NX, η ίδια διαδικασία υποστηρίζεται με την ιεραρχική αποσύνθεση του προϊόντος σε subsystems και τη σύνδεση τους με παραμετρικά μοντέλα CAD.

## 2.1 Σύστημα

Ένα σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο στοιχείων και υποσυστημάτων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους, με το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και με άλλα συστήματα. Οι σχέσεις αυτές διαμορφώνουν ένα δίκτυο ουσιαστικών συνδέσεων, μέσω του οποίου το σύστημα δέχεται εισροές και εκτελεί λειτουργίες που δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν από τα επιμέρους στοιχεία μεμονωμένα. Η συνεργατική αυτή δομή είναι που προσδίδει στο σύστημα τη δυνατότητα να επιτυγχάνει σύνθετους στόχους.

Μερικοί άλλοι αξιοσημείωτοι ορισμοί του όρου σύστημα:

« Ένα σύστημα είναι ένα κατασκεύασμα ή συλλογή διαφορετικών στοιχείων τα οποία παράγουν αποτελέσματα που δεν μπορούν να επιτευχθούν από στοιχεία μόνα τους. Τα στοιχεία , ή μέρη, μπορούν να περιλαμβάνουν άτομα, υλικό, λογισμικό, εγκαταστάσεις, πολιτικές και έγγραφα, δηλαδή όλα εκείνα που απαιτούνται για την παραγωγή αποτελεσμάτων σε επίπεδο συστήματος,. Η προστιθέμενη αξία του συστήματος ως συνόλου, πέραν αυτής που συνεισφέρουν ανεξάρτητα τα μέρη, δημιουργείται κυρίως από την σχέση μεταξύ των μερών, δηλαδή από τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους. (Rechlin, 2000)

« Το σύστημα είναι ένα σύνολο στοιχείων που αλληλοεπιδρούν» ( Bertalanffy, 1968)

« Ένα σύστημα είναι ένα αντικείμενο που προσφέρει αξία» ( Dori, 2002)

Ο ορισμός ενός συστήματος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον τομέα, αλλά οι βασικές αρχές παραμένουν ίδιες.

Στο CATIA και στο NX, ένα "σύστημα" μπορεί να αποτυπώνεται ως μοντέλο που ενσωματώνει απαιτήσεις, διαγράμματα λειτουργιών, λογικά μοντέλα, και τελικά φυσικά 3D συναρμολογήσεις.

## 2.2 Στοιχείο συστήματος

Ένα στοιχείο συστήματος είναι το δομικό στοιχείο ενός συστήματος. Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος (πραγματικό ή εννοιολογικό), ένα στοιχείο συστήματος μπορεί να είναι ένα πραγματικό αντικείμενο, όπως άνθρωποι, φυσικά αντικείμενα, πληροφορίες κλπ. Ή ένα εννοιολογικό αντικείμενο, όπως μια ιδέα.

Στα εργαλεία CAD, τα στοιχεία συστήματος αντιστοιχούν σε components ή parts, τα οποία μπορούν να είναι πλήρως παραμετρικά, ώστε οι αλλαγές σε ένα στοιχείο να επηρεάζουν το συνολικό σύστημα.

## 2.3 Σύστημα ενδιαφέροντος

Ένα σύστημα ενδιαφέροντος είναι το σύστημα του οποίου ο κύκλος ζωής εξετάζεται.

Στο CATIA και NX αυτό υλοποιείται με το **System Context Diagram**, όπου ορίζονται τα όρια και οι αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον.

## 2.4 Πλαίσιο συστήματος

Το πλαίσιο συστήματος αποτελεί ένα διάγραμμα ή αναπαράσταση που αποτυπώνει τις σχέσεις του συστήματος με το περιβάλλον του, εστιάζοντας σε ένα συγκεκριμένο σύστημα ενδιαφέροντος. Μέσα από αυτή την απεικόνιση, αναδεικνύονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του συστήματος και των εξωτερικών παραγόντων που το επηρεάζουν.

Ένα επιμέρους στοιχείο μπορεί να εμφανίζεται σε διαφορετικές προβολές του συστήματος, ανάλογα με την οπτική ή το επίπεδο ανάλυσης που επιλέγεται. Το πλαίσιο μάς επιτρέπει να επικεντρωθούμε σε αυτό το στοιχείο, εντάσσοντάς το στο ευρύτερο σύστημα ενδιαφέροντος και αναδεικνύοντας τον ρόλο και τις σχέσεις του εντός του συστημικού περιβάλλοντος.

Η χρήση του πλαισίου συστήματος είναι κρίσιμη στη σχεδίαση πολύπλοκων ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων, καθώς διευκολύνει την κατανόηση της δομής, της λειτουργίας και των εξαρτήσεων μεταξύ των υποσυστημάτων.

Με εργαλεία όπως το CATIA SysML Diagrams ή το NX Systems Modeling, μπορούμε να δημιουργούμε δυναμικές απεικονίσεις που συνδέονται άμεσα με τις απαιτήσεις και το 3D μοντέλο.

## 2.5 Περιβάλλον

Το περιβάλλον ενός συστήματος ορίζεται ως το υπόλοιπο του σύμπαντος που βρίσκεται εκτός των ορίων του συγκεκριμένου συστήματος. Αποτελείται από εξωτερικά στοιχεία και άλλα συστήματα, τα οποία ενδέχεται να αλληλεπιδρούν —ή όχι— με το σύστημα ενδιαφέροντος.

Η κατανόηση του περιβάλλοντος είναι κρίσιμη στη σχεδίαση ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων, καθώς οι αλληλεπιδράσεις με εξωτερικά συστήματα (όπως π.χ. δίκτυα ενέργειας, συστήματα ελέγχου ή ανθρώπινοι χρήστες) μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη λειτουργία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του προϊόντος. Η σαφής διάκριση μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντός του επιτρέπει στους μηχανικούς να εντοπίζουν τα όρια σχεδίασης, να προβλέπουν εξωτερικές επιδράσεις και να διαμορφώνουν στρατηγικές ολοκλήρωσης και αλληλεπίδρασης.

## 2.6 Όρια/ Σύνορα συστήματος

Τα όρια (ή σύνορα) ενός συστήματος ορίζονται ως η νοητή ή φυσική γραμμή που το διαχωρίζει από το περιβάλλον του. Αποτελούν το πλαίσιο εντός του οποίου το σύστημα λειτουργεί, εξελίσσεται και αλληλεπιδρά με τα εσωτερικά του στοιχεία.

Ο καθορισμός των ορίων είναι κρίσιμος στη σχεδίαση ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων, καθώς επιτρέπει στους μηχανικούς να προσδιορίσουν ποια στοιχεία ανήκουν στο σύστημα και ποια θεωρούνται εξωτερικά. Αυτό διευκολύνει την ανάλυση, την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του προϊόντος, καθώς και τη διαχείριση των αλληλεπιδράσεων με το περιβάλλον του — όπως π.χ. η τροφοδοσία ενέργειας, οι συνθήκες λειτουργίας ή οι ανθρώπινοι χρήστες.

Η σαφής οριοθέτηση του συστήματος είναι το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη ενός συνεκτικού και λειτουργικού σχεδιασμού.

## 2.7 Σύνδεσμοι

Οι σύνδεσμοι αποτελούν τις συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων ενός συστήματος, καθορίζοντας τις μεταξύ τους σχέσεις και αλληλεξαρτήσεις. Μέσω αυτών των συνδέσεων διαμορφώνεται η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος, καθώς οι σύνδεσμοι επηρεάζουν τη λειτουργία, την αλληλεπίδραση και την απόκριση των επιμέρους στοιχείων.

Στο πλαίσιο σχεδίασης ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων, και ειδικότερα στα περιβάλλοντα CAD (Computer-Aided Design) και PLM (Product Lifecycle Management), οι σύνδεσμοι αντιστοιχούν σε τεχνικές οντότητες όπως:

**Constraints** (περιορισμοί): καθορίζουν γεωμετρικές ή λειτουργικές σχέσεις μεταξύ εξαρτημάτων.

**Joints** (αρθρώσεις): ορίζουν κινηματικές συνδέσεις που επιτρέπουν ή περιορίζουν κινήσεις.

**Interfaces** (διεπαφές): περιγράφουν τα σημεία αλληλεπίδρασης μεταξύ υποσυστημάτων ή εξαρτημάτων.

Αυτές οι συνδέσεις ορίζονται σε assemblies (συναρμολογήσεις) και είναι κρίσιμες για την ακρίβεια της προσομοίωσης, την ανάλυση της λειτουργικότητας και την επιτυχή ολοκλήρωση του σχεδιαστικού μοντέλου.

## 2.8 Δομή

Η δομή ενός συστήματος αναφέρεται στη φυσική ή λογική διάταξη των στοιχείων του σχεδιασμού, καθώς και στις εσωτερικές και εξωτερικές συνδέσεις που τα συνδέουν. Αποτελεί τη θεμελιώδη αρχιτεκτονική που καθορίζει πώς τα επιμέρους μέρη συνεργάζονται για να επιτύχουν τη συνολική λειτουργικότητα του συστήματος.

Στα σύγχρονα εργαλεία σχεδίασης, όπως το **CATIA RFLP** (Requirements–Functional–Logical–Physical) και το **NX System Architecture**, η δομή αποτυπώνεται σε διακριτά επίπεδα:

- **Απαιτήσεις (Requirements):** Τι πρέπει να επιτυγχάνει το σύστημα.
- **Λειτουργίες (Functional):** Ποιες λειτουργίες πρέπει να εκτελούνται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων.
- **Λογική (Logical):** Πώς οργανώνονται οι λειτουργίες σε λογικά υποσυστήματα.
- **Φυσική Υλοποίηση (Physical):** Πώς υλοποιούνται τα λογικά στοιχεία σε φυσικά εξαρτήματα και υποσυστήματα.



Αυτή η πολυεπίπεδη προσέγγιση επιτρέπει την ολιστική κατανόηση και διαχείριση της σχεδίασης, διευκολύνοντας τη μετάβαση από την ιδέα στην υλοποίηση, με σαφή ιχνηλασιμότητα και έλεγχο της πολυπλοκότητας.

## 2.9 Συμπεριφορά

Η συμπεριφορά ενός συστήματος αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο ανταποκρίνεται σε μεταβολές του περιβάλλοντός του. Αποτελεί κρίσιμο χαρακτηριστικό στη συστημική ανάλυση, καθώς αποτυπώνει τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του συστήματος και των εξωτερικών παραγόντων.

Ανάλογα με τη φύση και τη σχεδίαση του συστήματος, η συμπεριφορά μπορεί να είναι:

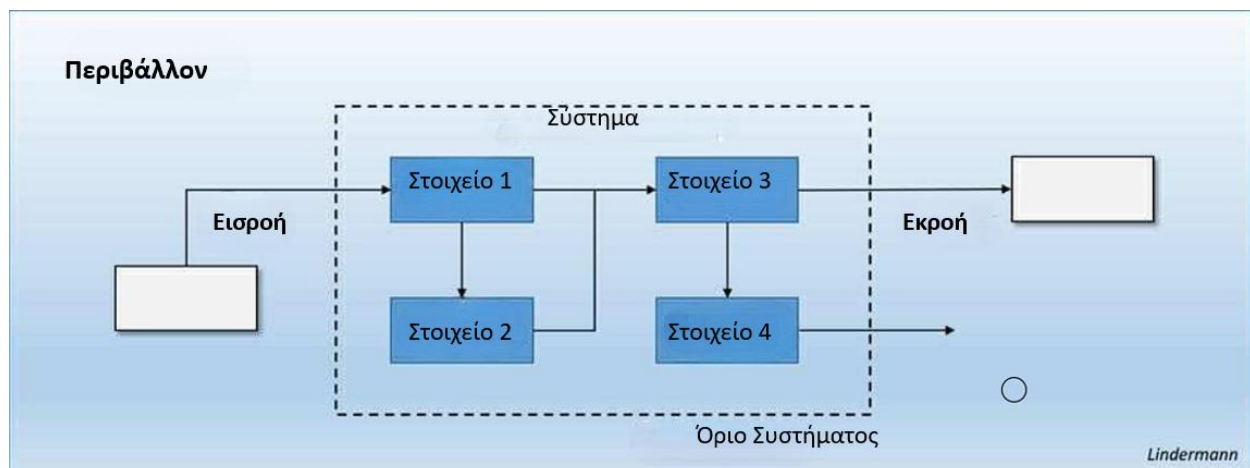
- **Στατική**, όταν το σύστημα παραμένει αμετάβλητο ή λειτουργεί υπό σταθερές συνθήκες.
- **Δυναμική**, όταν το σύστημα μεταβάλλεται, εξελίσσεται ή προσαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο, ως απόκριση σε εξωτερικά ερεθίσματα ή εσωτερικές διεργασίες.

Στη σχεδίαση ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων, η κατανόηση της συμπεριφοράς είναι απαραίτητη για την προσομοίωση, τη βελτιστοποίηση και την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε διαφορετικά σενάρια λειτουργίας.

Αυτό αναλύεται μέσω **προσομοιώσεων**:

- Στο CATIA με τα modules **Analysis & SIMULIA**.
- Στο NX με το **Simcenter** (π.χ. δομική, θερμική, δυναμική συμπεριφορά).

Το σχήμα 2 απεικονίζει το πλαίσιο ενός συγκεκριμένου συστήματος που μας ενδιαφέρει.



Εικόνα 5: Πλαίσιο συστήματος

## Κύριες αρχές

- Ένα σύστημα αποτελεί μια αφηρημένη αναπαράσταση της πραγματικότητας με δική του δομή και συμπεριφορά. Στο Siemens NX, αυτό αντιστοιχεί σε μια ολοκληρωμένη system architecture που περιλαμβάνει λογικά και φυσικά μοντέλα.
- Κάθε σύστημα αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ευρύτερο «σύστημα συστημάτων». Στο NX, οι αλληλεπιδράσεις αυτές μοντελοποιούνται μέσα από interfaces και context diagrams.
- Ο τρόπος με τον οποίο ένα σύστημα σχετίζεται με το περιβάλλον του καθορίζεται από την εσωτερική του οργάνωση. Στο NX αυτό εκφράζεται μέσα από τη σύνδεση της συμπεριφοράς (μέσω προσομοιώσεων στο Simcenter) με τη δομή (assemblies και subsystems).
- Η εσωτερική δομή του συστήματος επιτρέπει την ανάλυσή του σε επιμέρους στοιχεία. Στο NX, αυτή η αποσύνθεση γίνεται μέσω assemblies/subassemblies, τα οποία μπορούν να εξετάζονται σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας.
- Κάθε στοιχείο μπορεί να αντιμετωπιστεί ως αυτόνομο σύστημα. Για παράδειγμα, ένα υποσύστημα που στο επίπεδο του κύριου αναδόχου θεωρείται "component", στο NX μπορεί να αναλυθεί ως ξεχωριστό subsystem model με δικά του requirements και simulations.
- Η αποσύνθεση των συστημάτων είναι ιεραρχική και συνεχίζεται μέχρι το επίπεδο υλοποίησης. Στο NX αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να κατεβαίνουμε από το επίπεδο requirements & functional models μέχρι το τελικό 3D part design, με πλήρη ιχνηλασιμότητα σε όλα τα στάδια.

### 3. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (SYSTEMS ENGINEERING LIFE CYCLE)

Η μηχανική συστημάτων προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ανάπτυξη, τη διαχείριση και την επικύρωση σύνθετων ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων (όπως ρομποτικά συστήματα, μηχανές CNC, αυτόματα συστήματα παραγωγής, οικιακές συσκευές με ηλεκτρονικά ελέγχου κ.ά.). Σε τέτοια προϊόντα, η πολυπλοκότητα αυξάνεται λόγω του συνδυασμού μηχανολογικών, ηλεκτρολογικών και λογισμικών υποσυστημάτων. Ο κύκλος ζωής της μηχανικής συστημάτων επιτρέπει σε μια διεπιστημονική ομάδα να ελέγχει από νωρίς τη συμβατότητα, την απόδοση και την αξιοπιστία του τελικού προϊόντος.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τον κύκλο ζωής της μηχανικής συστημάτων. Αποτελείται από 6 φάσεις και 3 κριτήρια εξόδου, που πρέπει να ικανοποιούνται καθώς το σύστημα προχωρά από φάση σε φάση .



Εικόνα 6: Φάσεις του κύκλου ζωής του συστήματος

#### 3.1 Σύλληψη

Η φάση της σύλληψης είναι η αρχή κάθε προγράμματος ή έργου. Σε αυτή τη φάση, διερευνάται και επεξεργάζεται η ιδέα του προγράμματος ανάπτυξης του προϊόντος. Ως εκ τούτου, αυτή η φάση ονομάζεται μερικές φορές και φάση έναρξης ή φάση σύλληψης της ιδέας. Ο στόχος αυτής της φάσης είναι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της σκοπιμότητας του προγράμματος. Η φάση της σύλληψης περιλαμβάνει σημαντικές διαδικασίες, όπως

- Ορισμός του προγράμματος
- Ορισμός του έργου

Είναι η φάση κατά την οποία προσδιορίζονται τα ενδιαφερόμενα μέρη του συστήματος και ορίζεται το πεδίο εφαρμογής του προγράμματος/έργου. Με βάση την αξιολόγηση των προσδοκιών των ενδιαφερόμενων μερών, προσδιορίζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος/έργου και τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Ειδικά για ηλεκτρομηχανολογικά προϊόντα, η φάση αυτή συνδέεται με:

- **Ανάλυση αναγκών αγοράς και τελικού χρήστη:** π.χ. ζήτηση για πιο αποδοτικούς κινητήρες, ενεργειακή αποδοτικότητα, έξυπνα χαρακτηριστικά με αισθητήρες.
- **Τεχνολογική διερεύνηση:** αξιολόγηση αν θα χρησιμοποιηθούν νέες τεχνολογίες (π.χ. κινητήρες BLDC, IoT modules, 3D printed εξαρτήματα).
- **Προκαταρκτικές προδιαγραφές:** αναφορά σε μέγεθος, βάρος, απαιτήσεις θορύβου, αντοχή υλικών, κόστος παραγωγής.

Εργαλεία όπως **CAD concept modeling** και **προσομοιώσεις 1D (π.χ. Matlab/Simulink)** χρησιμοποιούνται για να αποτυπώσουν γρήγορα σενάρια λειτουργίας πριν ακόμη ξεκινήσει η λεπτομερής σχεδίαση.

## 3.2 Ορισμός

Κατά τη φάση του ορισμού, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην κατανόηση και ενσωμάτωση των προσδοκιών των ενδιαφερόμενων μερών. Τα εμπλεκόμενα μέρη διαφέρουν ανάλογα με τον κλάδο και το είδος του προϊόντος, και μπορεί να περιλαμβάνουν τον κατασκευαστικό οργανισμό, κρατικούς ή ρυθμιστικούς φορείς, προμηθευτές, διανομείς, πελάτες και τελικούς χρήστες, μεταξύ άλλων.

Οι ανάγκες και οι στόχοι αυτών των μερών μετατρέπονται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις, οι οποίες καταγράφονται με σαφήνεια και ακρίβεια. Η τεκμηρίωση αυτή αποτελεί θεμέλιο για την επόμενη φάση, όπου ξεκινά η σύλληψη και η διαμόρφωση του αρχικού σχεδιασμού του συστήματος.

Δημιουργούνται και αξιολογούνται διάφορες εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού του συστήματος με βάση την απόδοση, το χρονοδιάγραμμα, το κόστος και τους δείκτες κινδύνου, και επιλέγεται ο πιο αποδοτικός σχεδιασμός του συστήματος. Ο σχεδιασμός του συστήματος μπορεί να υλοποιηθεί σε διάφορες μορφές, όπως διαγράμματα Visio, 2D/3D CAD κ.λπ. Παράγοντες όπως ο χρόνος σχεδιασμού, η ανάγκη για ταχύτερη διάθεση στην αγορά και τα υψηλά κόστη κατασκευής απαιτούν την οριστικοποίηση του σχεδιασμού μετά από αυτό το στάδιο.

Για τα ηλεκτρομηχανολογικά προϊόντα, οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν:

- **Μηχανολογικές απαιτήσεις:** γεωμετρίες, μηχανική αντοχή, υλικά, θερμική συμπεριφορά.
- **Ηλεκτρολογικές απαιτήσεις:** ισχύς, έλεγχος, ασφάλεια, πρότυπα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC).
- **Λογισμικές απαιτήσεις:** αλγόριθμοι ελέγχου, επικοινωνία μέσω πρωτοκόλλων (CAN, Modbus, Bluetooth).

Η φάση αυτή περιλαμβάνει επίσης:

- **Εξερεύνηση πολλαπλών εναλλακτικών σχεδίων** με χρήση **CAD 3D** και εργαλείων **CAE (Computer Aided Engineering)** για προσομοίωση φορτίων, ροής αέρα/υγρών, και ανάλυση θερμότητας.
- **Συστημική αρχιτεκτονική:** ορισμός πώς τα υποσυστήματα (μηχανικά, ηλεκτρικά, λογισμικά) θα επικοινωνούν και θα συνεργάζονται.
- **Ανάλυση κόστους-οφέλους:** σύγκριση επιλογών με βάση κατανάλωση ενέργειας, κόστος κατασκευής, αξιοπιστία και χρόνος παραγωγής.

Σημαντικό εργαλείο εδώ είναι το **V-Model (System V)**, που δομεί τη μετάβαση από απαιτήσεις σε σχεδιασμό και μετά σε επικύρωση.

### 3.3 Ανάπτυξη

Η φάση του ορισμού ακολουθείται από τη φάση της ανάπτυξης, κατά την οποία οργανώνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την υλοποίηση του προϊόντος. Συγκεντρώνονται όλοι οι προμηθευτές/πωλητές, καταρτίζεται το χρονοδιάγραμμα, παραγγέλλονται τα υλικά και τα εργαλεία κ.λπ. Τα υποσυστήματα υλικού-λογισμικού ενσωματώνονται και πραγματοποιείται η τελική ενσωμάτωση των υποσυστημάτων για την υλοποίηση του ολοκληρωμένου συστήματος.

Στην ανάπτυξη ξεκινά η υλοποίηση του προϊόντος με βάση τις τεκμηριωμένες προδιαγραφές:

- **Λεπτομερής σχεδίαση σε CAD:** κάθε υποσύστημα (μηχανικό πλαίσιο, ηλεκτρική πλακέτα, κινητήρας, αισθητήρες) μοντελοποιείται τρισδιάστατα.
- **Εικονική προσομοίωση (digital twin):** προσομοιώνεται η λειτουργία του συνόλου πριν την κατασκευή.
- **Επιλογή και διαχείριση προμηθευτών:** παραγγελία εξειδικευμένων εξαρτημάτων (κινητήρες, μικροελεγκτές, γρανάζια).

- **Ταχεία πρωτοτυποποίηση (rapid prototyping):** χρήση 3D printing, CNC machining και PCB prototyping.
- **Ενσωμάτωση υλικού–λογισμικού:** ανάπτυξη firmware, έλεγχοι αισθητήρων και επικοινωνιών.

### 3.4 Παραγωγή

Το στάδιο της ανάπτυξης επιτρέπει την επικύρωση του προϊόντος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του, καθώς κατά τη διάρκεια της φάσης ανάπτυξης δημιουργείται ένα φυσικό πρωτότυπο. Η αλλαγή οποιασδήποτε απαίτησης μετά τη φάση ανάπτυξης ενέχει υψηλούς κινδύνους για έναν οργανισμό.

Η παραγωγή περιλαμβάνει τη μετάβαση από το πρωτότυπο στη μαζική κατασκευή. Για ηλεκτρομηχανολογικά προϊόντα απαιτείται:

- **Διαχείριση αλλαγών:** αντιμετώπιση προβλημάτων που εντοπίστηκαν στα πρωτότυπα.
- **Βιομηχανική σχεδίαση (Design for Manufacturing & Assembly – DfMA):** βελτίωση CAD σχεδίων ώστε να είναι πιο εύκολη η συναρμολόγηση και πιο χαμηλό το κόστος.
- **Πρωτοτυποποίηση γραμμής παραγωγής:** σχεδίαση εργαλείων, καλουπιών, και αυτοματισμών για μαζική παραγωγή.
- **Δοκιμές ποιότητας και συμμόρφωσης:** έλεγχος ασφαλείας, ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, αντοχής και διάρκειας ζωής.

### 3.5 Υπηρεσία

Η φάση της υπηρεσίας είναι η φάση κατά την οποία το προϊόν αρχίζει να χρησιμοποιείται από τους τελικούς χρήστες.

Η συγκεκριμένη φάση περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως:

- **Εγκατάσταση και εκπαίδευση** χρηστών.
- **Προληπτική και διορθωτική συντήρηση** με χρήση εργαλείων διάγνωσης.
- **Αναβάθμιση λογισμικού** (firmware updates) για βελτίωση λειτουργίας ή διόρθωση σφαλμάτων.
- **Ανάλυση δεδομένων χρήσης** μέσω IoT/συνδεσιμότητας για πρόβλεψη βλαβών (predictive maintenance).

### 3.6 Απόρριψη – Τέλος Ζωής

Αυτή είναι η τελευταία φάση του κύκλου ζωής του συστήματος, κατά την οποία το προϊόν αποσύρεται και απορρίπτεται. Αναφέρεται επίσης ως φάση απόσυρσης.

Βασικές Λειτουργίες είναι:

- **Ανακύκλωση υλικών:** διαχωρισμός μετάλλων, πλαστικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.
- **Ασφαλής διάθεση μπαταριών και επικίνδυνων υλικών.**
- **Σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση (Design for Disassembly):** ήδη από τα πρώτα στάδια, η σχεδίαση πρέπει να προβλέπει εύκολη αποσυναρμολόγηση για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους.

Όπως ήδη έχει γίνει κατανοητό, οι τρεις πρώτες φάσεις είναι οι φάσεις ανάπτυξης του συστήματος του κύκλου ζωής, ενώ οι επόμενες φάσεις είναι οι φάσεις κατασκευής και χρήσης.

Επί του παρόντος, σε πολλούς οργανισμούς, αυτές οι διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής του συστήματος λειτουργούν σε απομονωμένα τμήματα, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει πολλή μικρή ή καθόλου συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών ομάδων σε αυτές τις φάσεις όσον αφορά την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με το προϊόν. Η διαχείριση του κύκλου ζωής είναι η ενεργός συμμετοχή όλων των ενδιαφερομένων μερών σε ένα σύστημα από τη στιγμή που αρχίζει να λειτουργεί μέχρι τη στιγμή της απόσυρσής του, ώστε να μεγιστοποιηθεί η αξία που αποκομίζεται από την ύπαρξη του συστήματος. Η διαχείριση του κύκλου ζωής ξεκινά από την αρχή.

### 3.7 Κριτήρια Εξόδου

Η ανάπτυξη νέων προϊόντων αποτελεί μια σύνθετη και πολυδιάστατη διαδικασία, η οποία απαιτεί συνδυασμό δημιουργικότητας, τεχνικής αρτιότητας και στρατηγικής σκέψης. Για να διασφαλιστεί ότι ένα προϊόν θα φτάσει επιτυχώς από τη σύλληψη της ιδέας στην αγορά, οι επιχειρήσεις χρειάζονται μια δομημένη μεθοδολογία που μειώνει τους κινδύνους και αυξάνει τις πιθανότητες επιτυχίας. Μία από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις είναι το Stage-Gate Model (ή διαδικασία "σταδίων και πυλών"). Πρόκειται για μια μεθοδική, βηματική διαδικασία που χωρίζει την πορεία από την ιδέα μέχρι την κυκλοφορία του προϊόντος σε **στάδια (stages)** και **πύλες (gates)**.

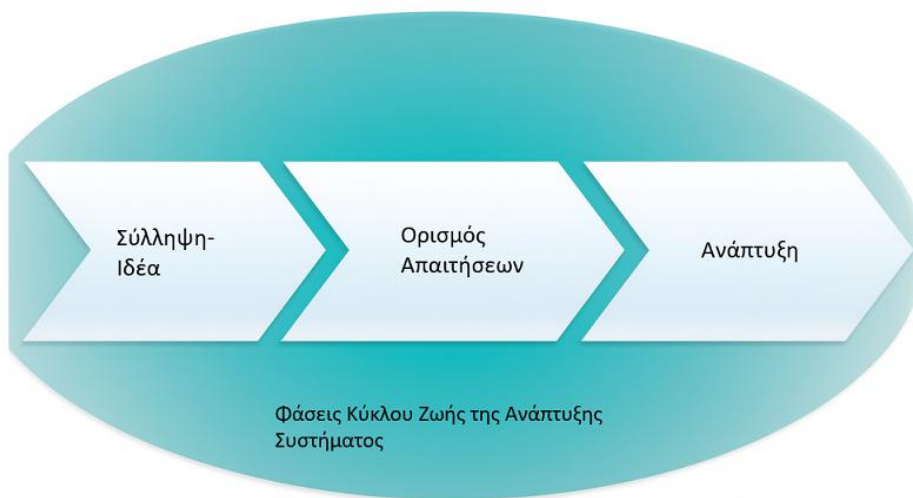
- **Στάδια (Stages):** Σε κάθε στάδιο πραγματοποιούνται συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως έρευνα αγοράς, τεχνική ανάπτυξη, δοκιμές, και προετοιμασία για λανσάρισμα. Τα στάδια είναι διαλειτουργικά, δηλαδή εμπλέκουν διαφορετικά τμήματα (μάρκετινγκ, R&D, παραγωγή, οικονομικά).

- **Πύλες (Gates):** Στο τέλος κάθε σταδίου υπάρχει μια "πύλη" αξιολόγησης. Εκεί, η διοίκηση ή η ομάδα λήψης αποφάσεων εξετάζει την πρόοδο, συγκρίνει τα αποτελέσματα με τα προκαθορισμένα κριτήρια και αποφασίζει αν το έργο θα συνεχιστεί, θα τροποποιηθεί ή θα σταματήσει.

Στη διαδικασία της σχεδίασης μπορούμε να εισάγουμε τα παρακάτω κριτήρια εξόδου που πρέπει να ικανοποιούνται καθώς το σύστημα προχωρά από φάση σε φάση:

- **Program Effectiveness (Αποτελεσματικότητα Προγράμματος),** αξιολογεί αν το πρόγραμμα (project) ικανοποιεί τους στρατηγικούς στόχους και την αποστολή για την οποία ξεκίνησε.
- **System Efficiency (Αποδοτικότητα Συστήματος),** αφορά την τεχνική απόδοση και τη λειτουργικότητα του συστήματος σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους (χρόνος, κόστος, ενέργεια, τεχνολογία).
- **Implemented Product (Υλοποιημένο Προϊόν),** εξετάζεται αν το τελικό παραδοτέο σύστημα είναι πλήρως ανεπτυγμένο, ελεγμένο και έτοιμο για παραγωγή και χρήση.

### 3.8 Υπό-διεργασίες Ανάπτυξης Συστήματος

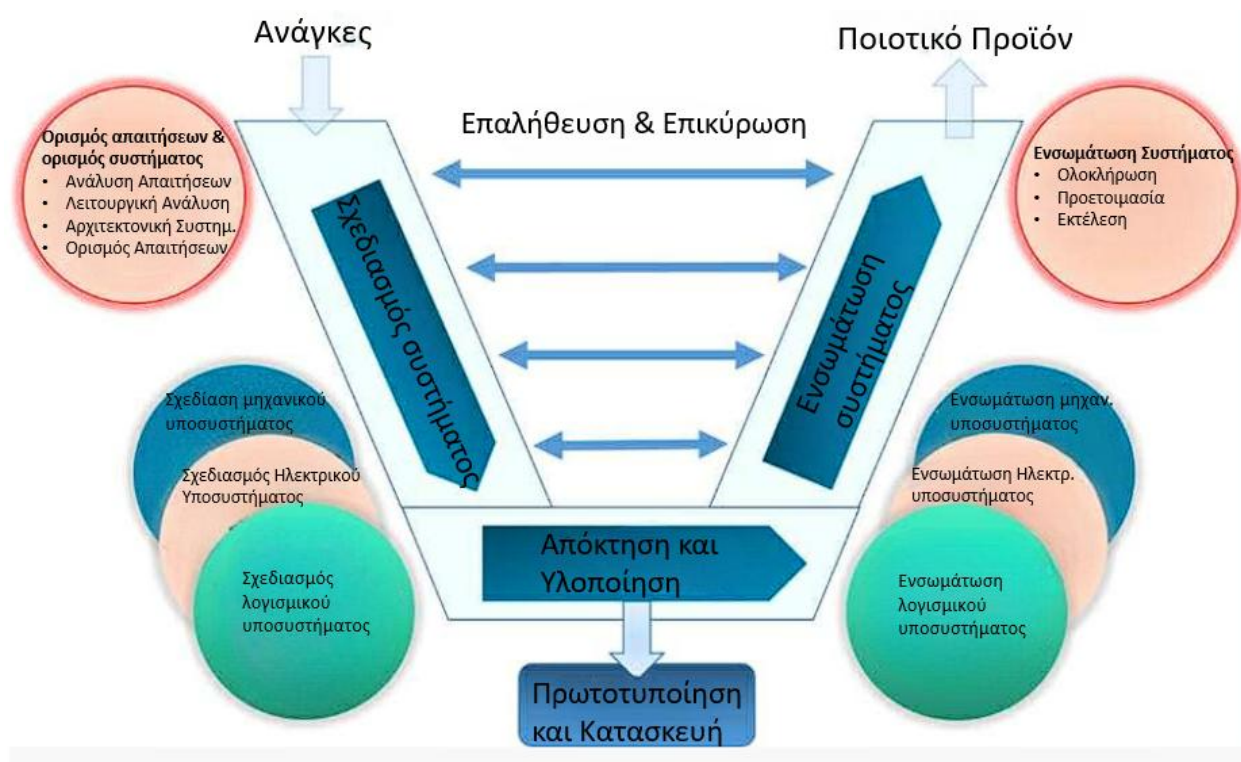


Εικόνα 7 : Φάσεις του κύκλου ζωής της Ανάπτυξης συστήματος

Το διάγραμμα V αποτελεί ένα δομημένο μεθοδολογικό πλαίσιο που καλύπτει όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής ενός ηλεκτρομηχανολογικού προϊόντος — από την αρχική σύλληψη έως την τελική απόσυρση. Παρόλο που υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του



μοντέλου V, οι οποίες προσαρμόζονται ανάλογα με τον εκάστοτε τεχνικό τομέα, τις διαδικασίες ή τις απαιτήσεις του κλάδου, ο πυρήνας της προσέγγισης παραμένει σταθερός: η συστηματική αντιστοίχιση των φάσεων σχεδιασμού με τις φάσεις επαλήθευσης και επικύρωσης, εξασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα και την αξιοπιστία του τελικού προϊόντος. Μια αξιοσημείωτη αναφορά στο μοντέλο V βρίσκεται στην οδηγία VDI 2206 για το σχεδιασμό μηχανικών συστημάτων.



Εικόνα 8: Βασικό διάγραμμα συστήματος V

Η αριστερή πλευρά του «V» αντιπροσωπεύει τη φάση της ανάλυσης των απαιτήσεων και της διαμόρφωσης των προδιαγραφών του συστήματος. Σε αυτό το στάδιο, εξετάζονται οι ανάγκες του τελικού χρήστη ή του πελάτη και μετατρέπονται σε τεχνικές απαιτήσεις, οι οποίες καθορίζουν τι πρέπει να επιτυγχάνει το σύστημα. Καθώς το σύστημα αποτελείται από επιμέρους υποσυστήματα, τα οποία συνθέτουν ένα ευρύτερο «σύστημα συστημάτων», η κάθοδος στην αριστερή πλευρά περιλαμβάνει την αποδόμηση του συνολικού συστήματος σε αυτά τα υποσυστήματα, τον προσδιορισμό των επιμέρους απαιτήσεων και τη δημιουργία των αντίστοιχων προδιαγραφών. Κάθε

υποσύστημα ακολουθεί τη δική του διαδικασία ανάπτυξης, η οποία μπορεί να απεικονιστεί με ένα μικρότερο «V».

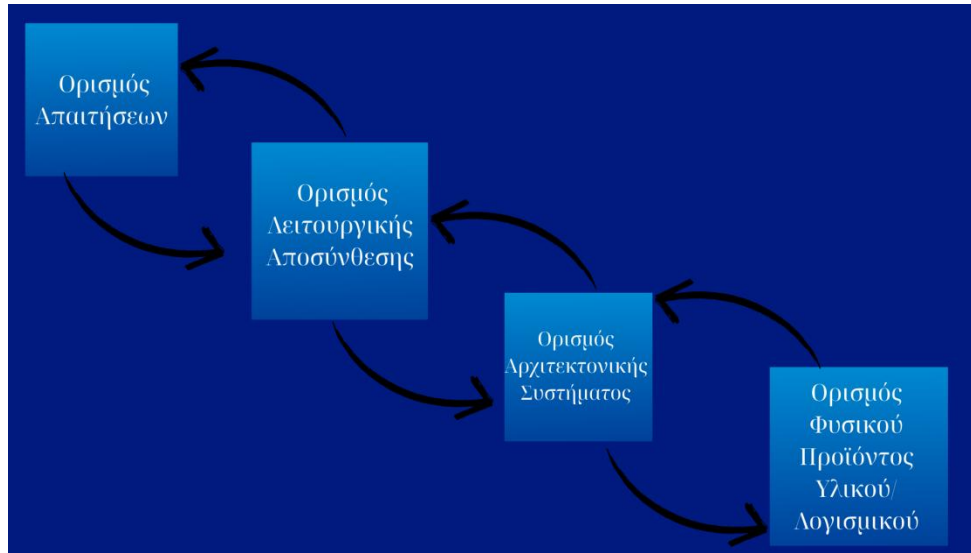
Το κάτω μέρος του «V» συμβολίζει τη φάση της υλοποίησης και της απόκτησης, όπου συγκεντρώνονται όλοι οι απαραίτητοι πόροι — υλικά, εργαλεία, διαδικασίες και ανθρώπινο δυναμικό — για την κατασκευή των πρωτοτύπων του προϊόντος. Σε αυτό το σημείο, τα υποσυστήματα αρχίζουν να παίρνουν φυσική μορφή, είτε ως λογισμικά είτε ως υλικά εξαρτήματα, και πραγματοποιούνται οι πρώτες εσωτερικές δοκιμές για να διασφαλιστεί ότι ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές τους.

Η δεξιά πλευρά του «V» αντιπροσωπεύει τη φάση της ενσωμάτωσης και της επικύρωσης. Αρχικά, κάθε υποσύστημα ενσωματώνεται στο ευρύτερο σύστημα και υποβάλλεται σε δοκιμές επικύρωσης, οι οποίες έχουν ως στόχο να επιβεβαιώσουν ότι το υποσύστημα λειτουργεί όπως προβλέπεται και ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις που είχαν τεθεί στην αρχή. Η επικύρωση δεν περιορίζεται μόνο στη δεξιά πλευρά του «V». Ήδη από την αριστερή πλευρά, πραγματοποιούνται προσομοιώσεις και ελέγχοι μέσω μοντέλων συστημάτων, όπως μοντέλα 1D (π.χ. Simulink) και τρισδιάστατα μοντέλα CAD, τα οποία αξιολογούνται ως προς την ικανότητά τους να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις.

Μετά την επιτυχή επικύρωση των επιμέρους υποσυστημάτων, ακολουθεί η συνολική ενσωμάτωση του συστήματος. Σε αυτό το στάδιο, όλα τα υποσυστήματα συνδέονται και συνεργάζονται ως ένα ενιαίο σύνολο, και πραγματοποιούνται τελικές δοκιμές για να διασφαλιστεί ότι το τελικό προϊόν ανταποκρίνεται πλήρως στις αρχικές απαιτήσεις και είναι έτοιμο για παράδοση ή χρήση.

Στην μηχανική συστημάτων, η κύρια ροή εργασιών για την ανάπτυξη συστημάτων έχει ως εξής:

- Ορισμός απαιτήσεων → τεκμηρίωση σε έγγραφα και μοντέλα.
- Λειτουργική ανάλυση → μοντελοποίηση ροών ενέργειας, σήματος και μηχανικών φορτίων.
- Ορισμός αρχιτεκτονικής → κατανομή λειτουργιών σε μηχανικά, ηλεκτρικά και λογισμικά υποσυστήματα.
- Ορισμός φυσικού προϊόντος → 3D CAD, διασυνδέσεις, υλικά, εργονομία, αισθητική.



Εικόνα 9: Κύρια ροή εργασιών για την ανάπτυξη συστημάτων

Η ροή εργασίας ανάπτυξης είναι επαναληπτική λόγω των αναδρομικών επαναλήψεων στο σχεδιασμό και τις αρχιτεκτονικές του συστήματος και απαιτεί συνεχή επαλήθευση και επικύρωση των απαιτήσεων και αρχιτεκτονικών.

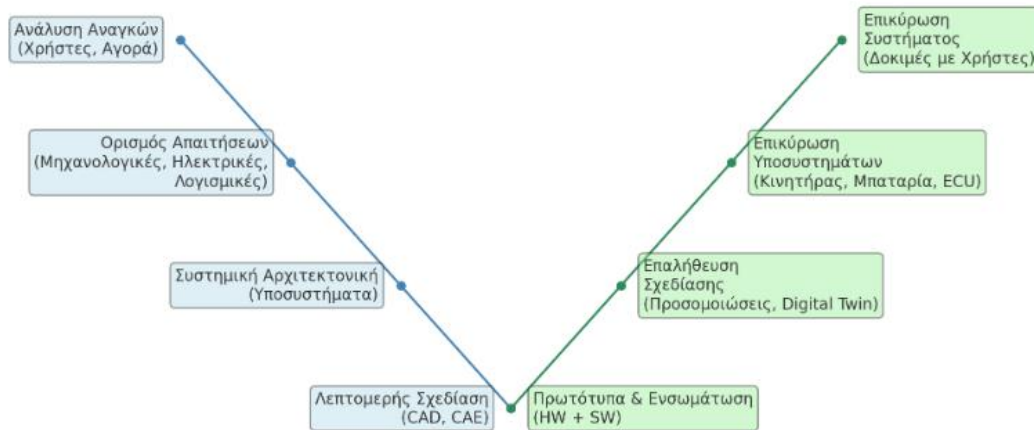
### 3.9 Εφαρμογή σε Κύκλου Ζωής στην Ανάπτυξη Ηλεκτρικού Ποδήλατου

Το **ηλεκτρικό ποδήλατο** (e-bike) είναι κλασικό παράδειγμα ηλεκτρομηχανολογικού προϊόντος, γιατί συνδυάζει:

- **Μηχανολογικά υποσυστήματα** (σασί, τροχοί, μετάδοση κίνησης, φρένα).
- **Ηλεκτρικά υποσυστήματα** (κινητήρας, μπαταρία, αισθητήρες).
- **Λογισμικό ελέγχου** (σύστημα ελέγχου ταχύτητας, υποβοήθησης, Bluetooth εφαρμογές).

Ανάπτυξη του κύκλου ζωής του Ηλεκτρικού ποδήλατου

### V-Model για το Ηλεκτρικό Ποδήλατο



Εικόνα 10: Διάγραμμα V για ηλεκτρικό ποδήλατο

#### 1. Σύλληψη (Ηλεκτρικό ποδήλατο)

- **Ανάλυση αναγκών:** αύξηση ζήτησης για βιώσιμη κινητικότητα στις πόλεις. Οι χρήστες θέλουν χαμηλό κόστος μετακίνησης, ευκολία φόρτισης, χαμηλό βάρος.
- **Αξιολόγηση τεχνολογιών:** κινητήρας hub ή mid-drive; μπαταρία 36V ή 48V; χρήση αναγεννητικής πέδησης;
- **Προκαταρκτικά μοντέλα:** 2D/3D concept CAD για σκελετό, εκτίμηση θέσης κινητήρα και μπαταρίας.
- **Σενάρια χρήσης:** αστική μετακίνηση, αναψυχή, delivery.

#### 2. Ορισμός

- **Μηχανολογικές απαιτήσεις:** σκελετός αλουμινίου  $\leq 25$  kg, ροπή κινητήρα  $\geq 50$  Nm, αντοχή σε δονήσεις/κραδασμούς.
- **Ηλεκτρικές απαιτήσεις:** αυτονομία  $\geq 60$  km, μπαταρία Li-Ion με κύκλο ζωής  $> 500$  φορτίσεις, σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (BMS).
- **Λογισμικές απαιτήσεις:** 3 επίπεδα υποβοήθησης, εφαρμογή κινητού για ρυθμίσεις & παρακολούθηση.
- **Συστημική αρχιτεκτονική:**
  - Υποσύστημα μηχανικό (σασί, μετάδοση, φρένα).

- Υποσύστημα ισχύος (μπαταρία + BMS).
- Υποσύστημα ελέγχου (αισθητήρες ροπής/ταχύτητας, ECU).
- Διεπαφή χρήστη (οθόνη, mobile app).

Με το **V-Model**, οι απαιτήσεις τεκμηριώνονται και σχεδιάζονται CAD μοντέλα που ελέγχονται με προσομοιώσεις (CAE – δομική ανάλυση σκελετού, θερμική ανάλυση μπαταρίας).

### 3. Ανάπτυξη

- **Λεπτομερής CAD σχεδίαση:** 3D μοντέλο σκελετού με ενσωματωμένη θέση για μπαταρία, mounts για κινητήρα.
- **CAE προσομοιώσεις:**
  - Δομική ανάλυση (αντοχή σε φορτία/δονήσεις).
  - Θερμική ανάλυση μπαταρίας.
  - CFD για αεροδυναμική αντίσταση.
- **Πρωτότυπα:**
  - Εκτύπωση 3D για προστατευτικά καλύμματα.
  - Κατασκευή πρωτοτύπου σκελετού.
  - Συναρμολόγηση με επιλεγμένα εξαρτήματα (κινητήρας, BMS, controller).
- **Ενσωμάτωση υλικού–λογισμικού:** έλεγχος λειτουργίας κινητήρα, επικοινωνία αισθητήρων με το ECU, δοκιμή εφαρμογής κινητού.

### 4. Παραγωγή

- **DfMA (Design for Manufacturing & Assembly):** σκελετός με τυποποιημένες κολλήσεις και απλά εξαρτήματα για γρήγορη συναρμολόγηση.
- **Βιομηχανική παραγωγή:** παραγγελία μπαταριών, ελεγκτών και τροχών.
- **Ποιοτικός έλεγχος:** δοκιμή φόρτισης/εκφόρτισης μπαταρίας, δοκιμές φρένων και συστήματος ελέγχου.
- **Συμμόρφωση με κανονισμούς:** π.χ. EN 15194 για ηλεκτρικά ποδήλατα στην Ευρώπη.

### 5. Υπηρεσία

- **Υποστήριξη χρηστών:** οδηγίες φόρτισης, εφαρμογή για ενημέρωση λογισμικού.

- **Συντήρηση:** αντικατάσταση φθαρμένων μπαταριών, service φρένων/αλυσίδας.
- **Δεδομένα χρήσης (IoT):** συλλογή στοιχείων για την αυτονομία και τη συμπεριφορά μπαταριών για μελλοντικές βελτιώσεις.

## **6. Απόρριψη / Ανακύκλωση**

- **Ανακύκλωση μπαταριών** σε ειδικές εγκαταστάσεις.
- **Επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων** (τροχοί, σκελετός).
- **Σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση:** εύκολη αφαίρεση μπαταρίας και ηλεκτρονικών.

## 4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ SYSTEM DRIVEN PRODUCT DEVELOPMENT/ MODEL BASED SYSTEMS ENGINEERING

### 4.1 Μηχανική Συστημάτων Βασισμένη Σε Μοντέλα (MBSE)

Η μηχανική συστημάτων, όπως περιεγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες, αποτελεί ένα σύνολο μεθοδολογιών που επιτρέπουν την ανάπτυξη, ανάλυση και διαχείριση σύνθετων προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Παραδοσιακά, πολλές βιομηχανίες (αεροδιαστημική, άμυνα, αυτοκινητοβιομηχανία) ακολούθησαν τη **document-based systems engineering**, δηλαδή μια προσέγγιση που βασίζεται κυρίως σε έγγραφα.

Σε αυτή την παραδοσιακή μορφή:

- Οι απαιτήσεις, οι προδιαγραφές και τα αποτελέσματα του σχεδιασμού καταγράφονται σε έγγραφα (έντυπα ή ψηφιακά).
- Οι ομάδες έργου ανταλλάσσουν αυτά τα έγγραφα μεταξύ πελατών, προμηθευτών, μηχανικών λογισμικού και ομάδων δοκιμών.
- Οι πληροφορίες εκφράζονται με κείμενο, διαγράμματα, πίνακες ή αναφορές που προκύπτουν από εργαλεία ανάλυσης.

Ωστόσο, αυτή η μεθοδολογία έχει σημαντικούς περιορισμούς:

- Οι πληροφορίες συχνά είναι **ασυνεπείς, ελλιπείς ή διπλές**, αφού κάθε τομέας (μηχανολογικός, ηλεκτρολογικός, λογισμικού) συντάσσει τις δικές του προδιαγραφές.
- Δεν υπάρχει ενιαίος χώρος συγκέντρωσης των δεδομένων, με αποτέλεσμα η **επικύρωση και η επαλήθευση** να είναι δυσκολότερες.
- Αποτυχίες στη συνεργασία οδηγούν σε **κακή ενσωμάτωση** των υποσυστημάτων, που μπορεί να σημαίνει μειωμένη απόδοση, αυξημένο κόστος, προβλήματα ασφάλειας ή ακόμη και δαπανηρές ανακλήσεις προϊόντων.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, αναπτύχθηκε η **Model-Based Systems Engineering (MBSE)**.

Η Μηχανική Συστημάτων Βασισμένη σε Μοντέλα (MBSE) είναι η τυποποιημένη χρήση **μοντέλων** αντί για έγγραφα ως κύριο μέσο αναπαράστασης και διαχείρισης των πληροφοριών του συστήματος.

Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι:

- Από τη **φάση εννοιολογικού σχεδιασμού** και σε όλο τον κύκλο ζωής, το προϊόν περιγράφεται μέσα από **ενιαία, συνεκτικά μοντέλα**.
- Το μοντέλο συστήματος αποτελεί τη **μοναδική πηγή αλήθειας (single source of truth)** για όλες τις πληροφορίες: απαιτήσεις, λειτουργίες, αρχιτεκτονική, φυσικός σχεδιασμός, δοκιμές, επικύρωση.
- Τα μοντέλα δεν είναι στατικά. Εξελίσσονται συνεχώς και επικαιροποιούνται σε πραγματικό χρόνο καθώς το προϊόν περνά από τη σύλληψη στην ανάπτυξη, στην παραγωγή και στη χρήση.

Η MBSE **δεν αντικαθιστά** τα εργαλεία CAD/CAE/EDA/PLM που χρησιμοποιούνται από τους ειδικούς κάθε τομέα, αλλά λειτουργεί ως **συνολικός κορμός** που ενσωματώνει και συντονίζει όλα τα επιμέρους εργαλεία και δεδομένα.

Η συνεχής εισαγωγή νέων τεχνολογιών (ηλεκτρονικά, έξυπνοι αισθητήρες, συνδεσιμότητα IoT, νέες μέθοδοι παραγωγής όπως 3D printing) έχει αυξήσει κατακόρυφα την πολυπλοκότητα των προϊόντων. Ένα σύγχρονο ηλεκτρομηχανολογικό προϊόν – όπως ένα ηλεκτρικό ποδήλατο, ένα ρομποτικό σύστημα ή ένα όχημα με αυτόματα συστήματα υποβοήθησης – απαιτεί τη συνεργασία πολλών ειδικοτήτων:

- **Μηχανικών** (σκελετός, κινούμενα μέρη, αντοχή).
- **Ηλεκτρολόγων** (ισχύς, καλωδιώσεις, μπαταρίες, αισθητήρες).
- **Μηχανικών λογισμικού** (έλεγχος, επικοινωνίες, εφαρμογές).
- **Ειδικών προσομοίωσης** (ανάλυση συστημάτων, digital twins).

Σε πολυτομεακά έργα μηχανολογικής σχεδίασης, κάθε ειδικότητα χρησιμοποιεί διαφορετικά εργαλεία, πρότυπα και τεχνική ορολογία. Η απουσία ενός ενιαίου πλαισίου επικοινωνίας ενέχει σοβαρούς κινδύνους για ασυνέπειες, ελλιπή συντονισμό και αποτυχία στην ενσωμάτωση των επιμέρους συστημάτων. Η προσέγγιση MBSE λειτουργεί ως κοινή «γλώσσα» μεταξύ των τομέων, διασφαλίζοντας ότι όλα τα δεδομένα είναι δομημένα, συνδεδεμένα και πλήρως ιχνηλατήσιμα καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος.

Μέσω της κεντρικής διαχείρισης προδιαγραφών και απαιτήσεων, διευκολύνεται η ακριβής επαλήθευση και επικύρωση του τελικού συστήματος. Κίνδυνοι από την απουσία MBSE:

- Ασυνέπειες στα σημεία διασύνδεσης μεταξύ τομέων
- Μειωμένη απόδοση και ποιότητα του προϊόντος
- Δυσaréσκεια πελατών λόγω λειτουργικών προβλημάτων

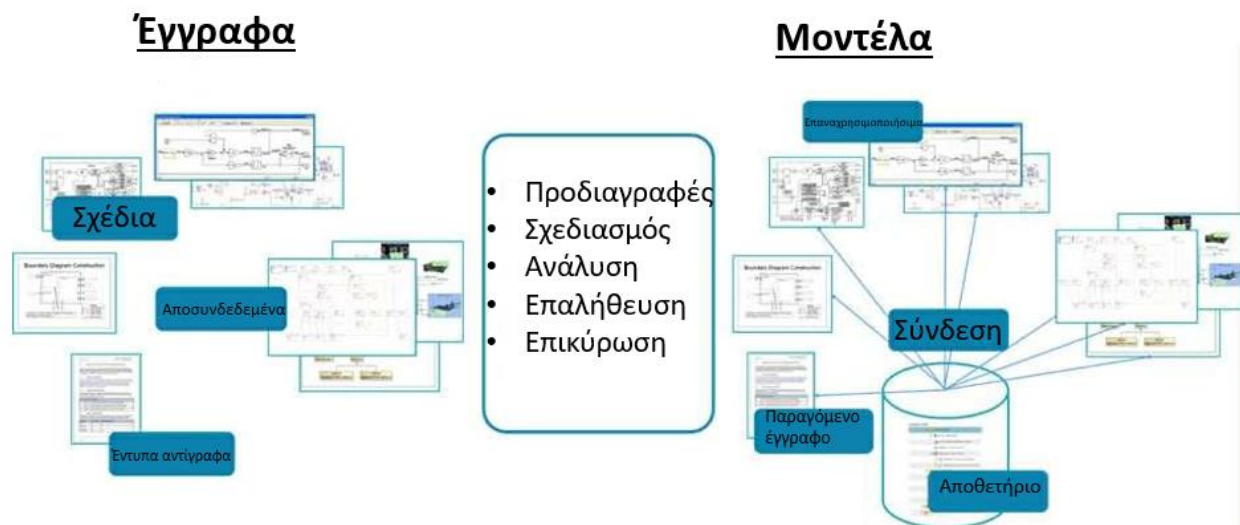


- Πιθανές ανησυχίες για την ασφάλεια ή δαπανηρές ανακλήσεις

Η συντονισμένη μοντελοποίηση συστημάτων διατηρεί τις εταιρείες και τους προμηθευτές τους συγχρονισμένους, επιτρέποντας στους τομείς να αναπτύσσουν τις τεχνολογίες τους όσο το δυνατόν πιο ανεξάρτητα, ενώ παράλληλα μειώνουν ή εξαλείφουν τις αστοχίες ενσωμάτωσης.

Η υιοθέτηση της MBSE προσφέρει:

- **Βελτιωμένη επικοινωνία:** όλοι οι εμπλεκόμενοι βλέπουν το ίδιο μοντέλο.
- **Καλύτερη ποιότητα προϊόντων:** λιγότερα λάθη ενσωμάτωσης, περισσότερη συνέπεια.
- **Επαναχρησιμοποίηση γνώσης:** οι προδιαγραφές και τα υποσυστήματα μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν σε μελλοντικά έργα.
- **Μείωση κόστους και κινδύνου:** πρώιμες προσομοιώσεις και επικυρώσεις μειώνουν τις αστοχίες στα πρωτότυπα.
- **Ενίσχυση παραγωγικότητας:** λιγότερος χρόνος σε «διορθώσεις» και περισσότερη δημιουργική ανάπτυξη.
- **Μεταφορά γνώσης:** ακόμη κι αν αλλάξουν τα μέλη της ομάδας, το μοντέλο καταγράφει όλη την ιστορία του έργου.

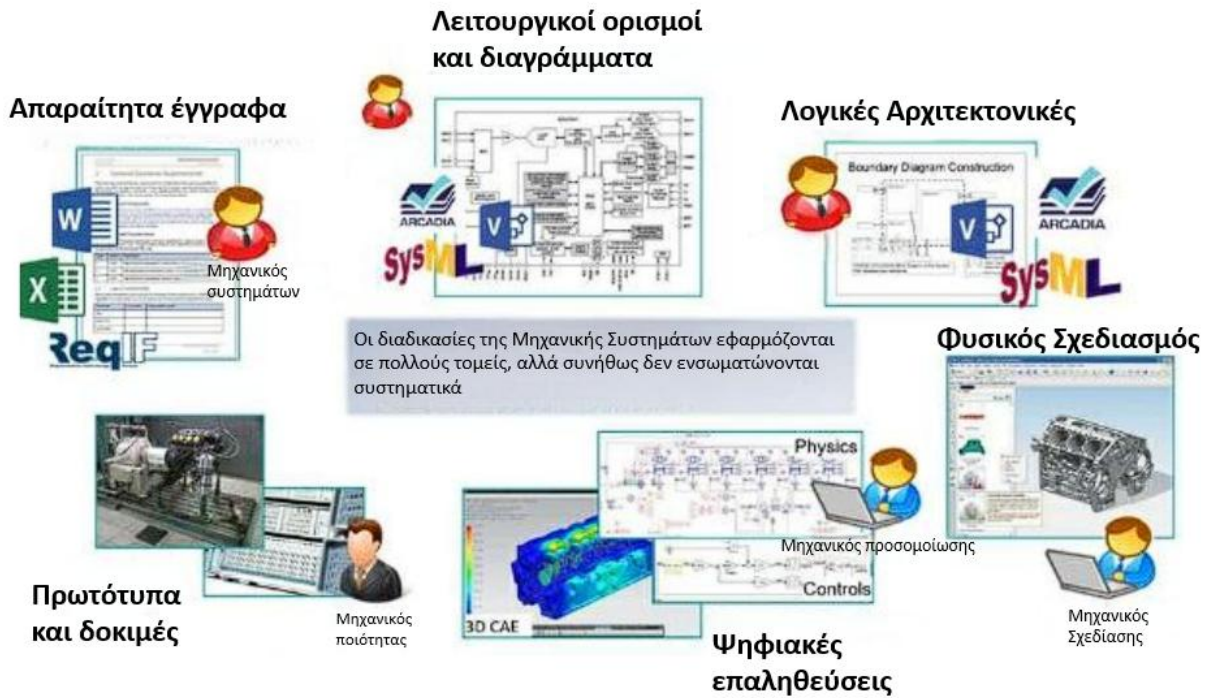


Εικόνα 11: Απεικόνιση από έγγραφα σε μοντέλα

Η παραδοσιακή μηχανική συστημάτων βασισμένη σε μοντέλα είχε ως αποτέλεσμα μεγάλες ιεραρχίες που ήταν δύσκολο να συντηρηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Τα μοντέλα συστημάτων βοηθούν τα προγράμματα να βελτιωθούν χάρη στη διαρθρωσιμότητας και της άρθρωτης μορφής τους. Επιπλέον, με το σχεδιασμό συστημάτων χρησιμοποιώντας μοντελοποίηση συστημάτων και ανάλυση μέσω προσομοίωσης, οι ενδιαφερόμενοι αποκτούν νωρίς μια εικόνα των επιτευγμάτων της ανάπτυξης προϊόντων στο στάδιο του εννοιολογικού σχεδιασμού, συμβάλλοντας στη μείωση του συνολικού κινδύνου και του κόστους του προγράμματος.

Παρά τα οφέλη, υπάρχουν και προκλήσεις στην πλήρη αξιοποίησή της:

- **Ιχνηλασιμότητα απαιτήσεων end-to-end:** όλες οι απαιτήσεις πρέπει να παρακολουθούνται από τη σύλληψη μέχρι την υλοποίηση και τις δοκιμές.
- **Διαθεσιμότητα αποτελεσμάτων σε όλο τον κύκλο ζωής:** το μοντέλο πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς, όχι μόνο στη φάση σχεδίασης.
- **Επικύρωση πρώιμων αποφάσεων:** απαιτείται χρήση προσομοιώσεων ώστε να επαληθεύονται οι αρχικές επιλογές πριν προχωρήσει η κατασκευή.
- **Κοινή γλώσσα και πρότυπα:** διαφορετικοί τομείς πρέπει να συντονίζονται με βάση διεθνή πρότυπα και όχι ιδιόκτητα formats.
- **Ανοιχτή και επεκτάσιμη εργαλείο-αλυσίδα:** τα εργαλεία MBSE πρέπει να συνδέονται με CAD, CAE, PLM, ERP χωρίς τεχνολογικούς περιορισμούς.



Εικόνα 12: Ανάπτυξη βάσει μοντέλων

Το MBSE παρέχει ένα διατομεακό πλαίσιο για την καταγραφή και απεικόνιση των σχέσεων που απαιτούνται για τη λήψη παγκόσμιων και διατομεακών αποφάσεων σχεδιασμού που απαιτούνται για την ανάπτυξη σύγχρονων προϊόντων πολλαπλών τομέων. Ακολουθεί ένας πιο ακριβής ορισμός του MBSE:

Η Μηχανική Συστημάτων Βάσει Μοντέλων (Model-Based Systems Engineering) είναι ένα ανοιχτό και αρθρωτής μορφής πλαίσιο που ενσωματώνει εργαλεία μοντελοποίησης και προσομοίωσης για την πρόβλεψη της απόδοσης προϊόντων και διαδικασιών σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων και τομέων, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών, ηλεκτρικών, λογισμικών και συστημάτων ελέγχου.

Το MBSE επιτρέπει :

- Καταγραφή των απαιτήσεων των πελατών
- Υποστήριξη των λειτουργιών σχεδιασμού, κατασκευής και εξυπηρέτησης
- Διαχείριση των επιχειρηματικών προγραμμάτων, αλλαγών και προβλημάτων καθώς και την διαχείριση διαμορφώσεων.
- Εξασφάλιση συνεπών διαδικασιών δεδομένων και επιχειρηματικών διαδικασιών
- Ενσωμάτωση και συντονισμός γνωστικών αντικειμένων σχεδιασμού : υπάρχοντα εργαλεία, υπάρχουσες διαδικασίες και άτομα.



Εικόνα 13: Πλατφόρμα συνεργασίας SDPD/ MBSE

Με την αξιοποίηση του MBSE, οποιοσδήποτε ασχολείται με τον φυσικό σχεδιασμό μπορεί να κατανοήσει ποιες λειτουργίες υποστηρίζει ο σχεδιασμός και τον ρόλο που διαδραματίζει κάθε στοιχείο στην εκπλήρωση μιας απαίτησης. Αυτό είναι ιδιαίτερα πολύτιμο σε έργα που καλύπτουν τη μηχανική, την ηλεκτρολογία και τη μηχανική λογισμικού, στα οποία η πλήρης ιχνηλασιμότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη διευκόλυνση της συνεργασίας και της επαναχρησιμοποίησης γνώσεων.

## 4.2 MBSE στην Ανάπτυξη Ηλεκτρικού Ποδηλάτου

Με τη χρήση μοντέλων (System Modeling Language, CAD 3D, προσομοιώσεις):

- Οι **απαιτήσεις** καταγράφονται με ιχνηλασιμότητα (π.χ. αυτονομία σε σχέση με τη χωρητικότητα μπαταρίας και το βάρος).
- Η **λειτουργική ανάλυση** δείχνει πώς ο ποδηλάτης, ο κινητήρας και η μπαταρία συνεργάζονται.
- Η **αρχιτεκτονική του συστήματος** περιγράφει τα υποσυστήματα και τις διεπαφές τους (π.χ. Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου σε σχέση με τον κινητήρα και τους αισθητήρες).

- Η **προσομοίωση** επιτρέπει έγκαιρη αξιολόγηση (π.χ. κατανάλωση ενέργειας σε ανηφόρες, θερμική φόρτιση μπαταρίας).
- Η **επικύρωση** γίνεται τόσο ψηφιακά (digital twin) όσο και με πρωτότυπα.

### **Οφέλη από τη Χρήση της MBSE**

Η υιοθέτηση της μεθοδολογίας MBSE στην ανάπτυξη ηλεκτρικών ποδηλάτων οδηγεί σε:

- Καλύτερη επικοινωνία μεταξύ μηχανολόγων, ηλεκτρολόγων και λογισμικού.
- Ελάττωση λαθών ενσωμάτωσης (π.χ. ασυμβατότητα κινητήρα–μπαταρίας).
- Μείωση κόστους και χρόνου ανάπτυξης με έγκαιρη αναγνώριση προβλημάτων.
- Επαναχρησιμοποίηση μοντέλων και γνώσης για επόμενα προϊόντα (π.χ. σκούτερ).

## 5 SDPD/MBSE ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ PLM

### Η Διαχείριση Κύκλου Ζωής Προϊόντος (PLM – Product Lifecycle Management)

αποτελεί σήμερα τον ακρογωνιαίο λίθο της βιομηχανικής παραγωγής και της καινοτομίας. Το PLM δεν αφορά μόνο τη διαχείριση δεδομένων προϊόντος (PDM), αλλά προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που καλύπτει **όλο τον κύκλο ζωής**, από τη σύλληψη της ιδέας, τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, μέχρι την παραγωγή, τη συντήρηση και τελικά την απόσυρση ή ανακύκλωση του προϊόντος.

Τα σύγχρονα εργαλεία PLM, όπως το **Siemens Teamcenter σε συνδυασμό με το Siemens NX**, ενοποιούν ανθρώπους, δεδομένα, διαδικασίες και επιχειρηματικά συστήματα, επιτρέποντας σε έναν οργανισμό να έχει **μία και μοναδική πηγή αλήθειας (single source of truth)** για όλα τα δεδομένα προϊόντων. Έτσι, διασφαλίζεται ότι οι ομάδες μηχανικών, σχεδιαστών, αναλυτών και διοίκησης εργάζονται πάντα με τις ίδιες ενημερωμένες πληροφορίες.

### 5.1 PLM και MBSE: δύο κόσμοι που συγκλίνουν

Παραδοσιακά, το **MBSE (Model-Based Systems Engineering)** εφαρμόζεται στα αρχικά στάδια ανάπτυξης συστημάτων, με στόχο την **κατανόηση απαιτήσεων, τη δημιουργία αρχιτεκτονικών και την προσομοίωση**. Αντίθετα, το **PLM** επικεντρώνεται στη διαχείριση δεδομένων σε όλο τον κύκλο ζωής. Στην πράξη, οι δύο προσεγγίσεις λειτουργούσαν ξεχωριστά: το MBSE στα πρώτα βήματα, και το PLM σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια ζωής.

Ωστόσο, καθώς η πολυπλοκότητα προϊόντων αυξάνεται (π.χ. έξυπνα οχήματα, αεροναυπηγικά συστήματα, σύνθετα ηλεκτρονικά προϊόντα), γίνεται εμφανής η ανάγκη οι δύο κόσμοι να συνδεθούν. Η διαχείριση συστημικών μοντέλων (System Models) **μαζί με τα μεταδεδομένα τους** καθ' όλη τη διάρκεια ζωής είναι απαραίτητη, έτσι ώστε τα μοντέλα να είναι διαθέσιμα σε όλους τους εμπλεκόμενους, από την ανάλυση απαιτήσεων μέχρι την παραγωγή και το εξυπηρετήση μετά την πώληση.

Εδώ εισέρχεται η έννοια του **System Lifecycle Management (SLM)**: μια φυσική επέκταση του PLM που ενσωματώνει τις αρχές του MBSE. Έτσι, η νέα γενιά PLM δεν είναι μόνο «βασισμένη σε έγγραφα» (document-based), αλλά γίνεται **πλήρως βασισμένη σε μοντέλα (model-based)**.

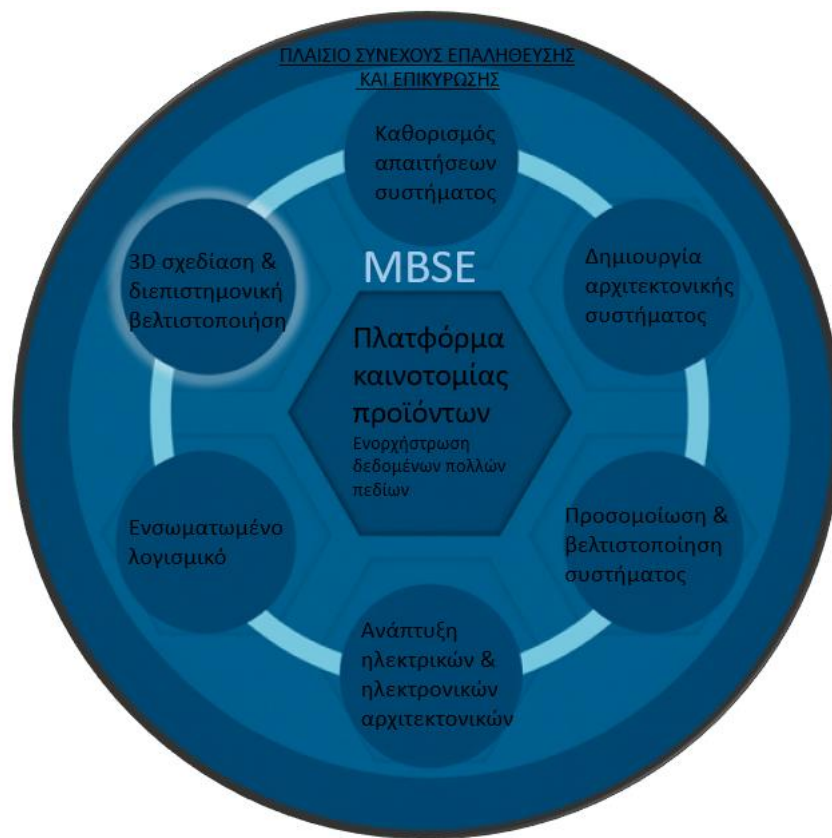
Παράδειγμα με Siemens NX / Teamcenter:

Στην πράξη, σε ένα περιβάλλον Siemens, τα **συστημικά μοντέλα (SysML)** μπορούν να συνδεθούν με 3D CAD δεδομένα από το NX, με αρχεία λογισμικού, με ηλεκτρολογικά

σχέδια ή με BOMs (Bill of Materials) μέσα στο Teamcenter. Έτσι, μια αλλαγή σε μία απαίτηση (π.χ. “το σύστημα πρέπει να λειτουργεί σε θερμοκρασίες -20°C έως 60°C”) αντικατοπτρίζεται αυτόματα στα σχετικά σχέδια NX, στις προσομοιώσεις θερμικής ανάλυσης, αλλά και στις διαδικασίες παραγωγής.

## 5.2 Οι έξι φάσεις του MBSE στο πλαίσιο PLM

Η τυπική διαδικασία MBSE, ενταγμένη σε ένα PLM περιβάλλον όπως το Siemens, περιλαμβάνει τα εξής βήματα:



Εικόνα 14: Φάσεις του MBSE στο πλαίσιο PLM

### 1. Καθορισμός απαιτήσεων συστήματος

- Συλλογή, ανάλυση και διαχείριση απαιτήσεων (π.χ. μέσα από Teamcenter Requirements Management).
- Παρακολούθηση ιχνηλασιμότητας (traceability) από τις απαιτήσεις μέχρι τα σχέδια και τα τελικά προϊόντα.



## **2. Δημιουργία αρχιτεκτονικής συστήματος**

- Χρήση SysML/UML για την ανάπτυξη λειτουργικών και φυσικών αρχιτεκτονικών.
- Σύνδεση με το PLM ώστε η αρχιτεκτονική να παραμένει «ζωντανή» σε όλο τον κύκλο ζωής.

## **3. Προσομοίωση και βελτιστοποίηση συστήματος**

- Εργαλεία όπως το Siemens Simcenter ενσωματώνονται στο PLM και επιτρέπουν simulations για απόδοση, αντοχή, θερμοκρασία, δυναμική συμπεριφορά.
- Οι προσομοιώσεις δεν παραμένουν μεμονωμένα αρχεία, αλλά καταγράφονται και συνδέονται στο PLM ως μέρος της ιχνηλασιμότητας.

## **4. Ανάπτυξη ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αρχιτεκτονικών**

- Χρήση Capital (Siemens E/E architecture) συνδεδεμένου με Teamcenter.
- Διαχείριση καλωδιώσεων, πλακετών και embedded λογισμικού σε κοινό περιβάλλον.

## **5. Ανάπτυξη ενσωματωμένου λογισμικού**

- Μέσω ενσωμάτωσης εργαλείων ALM (Application Lifecycle Management) στο PLM.
- Διαχείριση εκδόσεων, δοκιμών, αλλαγών λογισμικού συνδεδεμένων με τις απαιτήσεις.

## **6. Σχεδίαση προϊόντων 3D & διεπιστημονική βελτιστοποίηση**

- Χρήση Siemens NX για τη δημιουργία 3D μοντέλων, με συνεχή σύνδεση με απαιτήσεις, BOMs και προσομοιώσεων.
- Εφαρμογή βρογχων βελτιστοποίησης (optimization loops) που αξιοποιούν δεδομένα από μηχανικούς διαφόρων κλάδων (μηχανολόγους, ηλεκτρολόγους, λογισμικού).

### **5.3 Ρόλοι SDPD/MBSE**

Πρέπει να σημειωθεί ότι το MBSE είναι ένα πλαίσιο, επομένως για την επιτυχή εφαρμογή αυτού του πλαισίου, απαιτείται η συνεργασία ατόμων με διαφορετικούς ρόλους σε έναν οργανισμό που καλύπτει πολλαπλούς τομείς. Οι ακόλουθοι ρόλοι συμμετέχουν στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων με βάση τα συστήματα (SDPD):



## **Αναλυτής συστημάτων**

Υπεύθυνος για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση συστημάτων. Εξετάζει τις ανάγκες των πελατών, εντοπίζει περιπτώσεις χρήσης, αντλεί και προσδιορίζει τις απαιτήσεις του συστήματος και εκτελεί ανάλυση λειτουργικής συμπεριφοράς.

## **Αρχιτέκτονας συστημάτων**

Υπεύθυνος για τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής και τον καθορισμό της επαναχρησιμοποίησης εξαρτημάτων και συγκροτημάτων. Έχει επίγνωση των συγκροτημάτων που χρησιμοποιούνται και διαχειρίζεται την αρχιτεκτονική του διαμορφώσιμου συστήματος συμπεριλαμβανομένης της δομής, της επιτρεπόμενης μεταβλητότητας και των προβολών/απόψεων. Μερικές φορές αναφέρεται ως τεχνικός αρχιτέκτονας.

## **Σχεδιαστής Συστημάτων**

Υπεύθυνος για την εφαρμογή των αρχιτεκτονικών, λογικών και φυσικών σχεδίων του συστήματος. Δημιουργεί και διαχειρίζεται συστήματα, εκτελεί λειτουργικές κατανομές και μοντελοποιεί τις αλληλεπιδράσεις του συστήματος. Μερικές φορές αναφέρεται ως μηχανικός συστημάτων.

## **Ελεγκτής Συστημάτων**

Υπεύθυνος για την επαλήθευση ότι το σύστημα πληροί τις καθορισμένες απαιτήσεις. Εξετάζει τα αποτελέσματα του αναλυτή συστημάτων και του σχεδιαστή συστημάτων για να καθορίσει τις κατάλληλες υποθέσεις δοκιμής για των συστημάτων.

## **Μηχανικοί Τομέων**

Υλοποιεί το μοντέλο του συστήματος σύμφωνα με έναν τομέα εξειδίκευσης ( λογισμικό, ηλεκτρική, προσομοίωση κλπ) για την περαιτέρω ανάλυση και καταγραφή του συστήματος. Ο ρόλος του μηχανικού τομέα εκπληρώνεται από έναν από τους παρακάτω:

- **Σχεδιαστής ή Ηλεκτρολόγος/Ηλεκτρονικός μηχανικός**

Είναι υπεύθυνος για τον σχεδιασμό πλακετών κυκλωμάτων (PWB), γράφει υλικολογισμικό και εφαρμόζει την αρχιτεκτονική του μοντέλου του συστήματος σε ηλεκτρικό, ηλεκτρονικό και υλικολογισμικό επίπεδο.

- **Σχεδιαστής ή μηχανολόγος μηχανικός (MCAD)**

Είναι υπεύθυνος για τον καθορισμό των δομικών ιδιοτήτων ενός σχεδιασμού προϊόντος και τον σχεδιασμό υλικών, δομών και συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που επιβάλλονται από την πρακτικότητα, τους κανονισμούς, την ασφάλεια και το κόστος. Εφαρμόζει την φυσική αρχιτεκτονική του συστήματος.

- **Μηχανικός λογισμικού**

Αποδίδει απαιτήσεις λογισμικού βασικού επιπέδου με βάση τις προδιαγραφές του υποσυστήματος. Αναπτύσσει λογισμικό, εκτελεί ανάλυση λογισμικού, δημιουργεί αιτήματα αλλαγών λογισμικού και διαχειρίζεται τις αλλαγές καθώς και υλοποιεί το ανεπτυγμένο λογισμικό.

- **Μηχανικός προσομοίωσης**

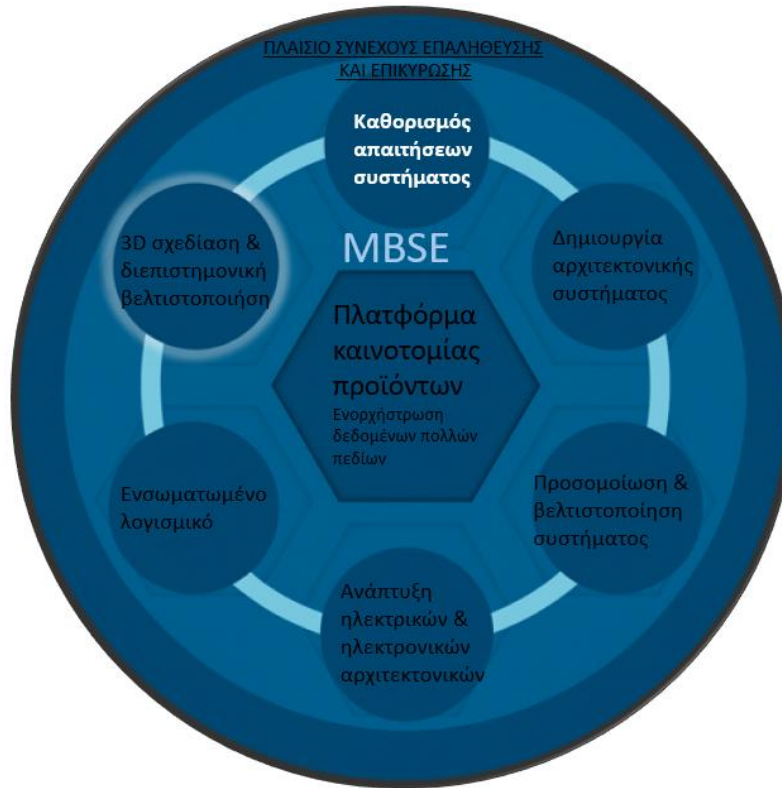
Διαμορφώνει και λειτουργεί μοντέλα προσομοίωσης βασισμένα στον υπολογιστή. Παρέχει ανάλυση ενός λειτουργικού τομέα και συμβουλεύει με τις καλύτερες μεθόδους υλοποίησης μια σειράς ενεργειών, λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης. Τέλος, εκτελεί προσομοιώσεις σε σχέση με μοντέλα και απαιτήσεις.

### **Διαχειριστής εφαρμογών**

Είναι υπεύθυνος για τη διαμόρφωση του λογισμικού και των δεδομένων ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις της εταιρίας και τις ανάγκες των χρηστών

## **5.4 Προδιαγραφές/ Ορισμός Χαρακτηριστικών**

Κατά τη φάση της Μοντελοποιημένης Μηχανικής Συστημάτων (MBSE) στην ανάπτυξη προϊόντων, καθοριστικός είναι ο ρόλος του αναλυτή συστημάτων, ο οποίος μεταφράζει τις ανάγκες και τις προσδοκίες σε συγκεκριμένες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές εκφράζουν με σαφήνεια τι ακριβώς πρέπει να υλοποιηθεί, ώστε το προϊόν ή το σύστημα να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του πελάτη και να πληροί τις τεχνικές και εμπορικές δεσμεύσεις. Με άλλα λόγια, αποτελούν το θεμέλιο πάνω στο οποίο οικοδομείται το σύνολο της ανάπτυξης.



Εικόνα 15:Πρώτη φάση- Απαιτήσεις και προδιαγραφές συστήματος

Οι απαιτήσεις του προϊόντος προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως βιομηχανικά πρότυπα, εταιρικές εντολές, ανάγκες της αγοράς, συμβατικές δεσμεύσεις και προσδοκίες των καταναλωτών. Οι απαιτήσεις μπορούν να λάβουν πολλές μορφές:

- Λειτουργικές απαιτήσεις για να διασφαλιστεί ότι ένα προϊόν λειτουργεί όπως έχει σχεδιαστεί.
- Απαιτήσεις των πελατών για να διασφαλιστεί ότι οι πελάτες σας λαμβάνουν τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες που απαιτούν. Ορισμένες απαιτήσεις σχετίζονται με πρότυπα, συγκεκριμένες γραμμές και κανονισμούς.
- Επιχειρηματικές και εμπορικές απαιτήσεις για να διασφαλιστεί ότι τα προϊόντα πληρούν τους στόχους πωλήσεων και ταιριάζουν στις εξειδικευμένες αγορές.

Η διαχείριση των απαιτήσεων των προϊόντων διαδραματίζει βασικό ρόλο στη διαδικασία της μοντελοποιημένης μηχανικής συστημάτων. Οι αναλυτές συστημάτων ενσωματώνουν τη φωνή του πελάτη μέσω των απαιτήσεων. Για να είναι αποτελεσματική η διαδικασία μηχανικής απαιτήσεων, η ομάδα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελεί τα εξής:

- Να καταγράφει, να μοιράζεται και να διατηρεί τις απαιτήσεις χρησιμοποιώντας γνωστά εργαλεία και σε ένα περιβάλλον μίας πηγής.

- Σύνδεση των απαιτήσεων με το προϊόν και όλες τις διαμορφώσεις και διαδικασίες του σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.
- Επαλήθευση των απαιτήσεων σε σχέση με τα μοντέλα προϊόντων και αξιολόγηση του αντίκτυπου των αλλαγών στις απαιτήσεις ή στα μοντέλα.

Ο σχεδιασμός των χαρακτηριστικών προηγείται χρονικά της πλήρους διαμόρφωσης των απαιτήσεων και εντάσσεται στο πλαίσιο του αρχικού σχεδιασμού και της διοίκησης έργου. Η διαδικασία αυτή συνδέεται στενά με τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση του συστήματος, δεδομένου ότι οι προδιαγραφές δεν παραμένουν θεωρητικές, αλλά επαληθεύονται σταδιακά μέσα από την αλληλεπίδραση με λειτουργικά μοντέλα. Το επικυρωμένο μοντέλο συστήματος μπορεί έτσι να αποτελέσει τη βάση για τη μετάβαση σε φυσικές λύσεις και την περαιτέρω ανάπτυξη προϊόντων.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα συστήματα δεν αναπτύσσονται σε ένα και μόνο επίπεδο. Συχνά, ομάδες αναλυτών εργάζονται σε υποσυστήματα χαμηλότερου επιπέδου, τα οποία στη συνέχεια συνδέονται σε ανώτερα συστήματα, με δικούς τους υπεύθυνους ανάλυσης. Αυτή η πολυεπίπεδη ανάπτυξη καθιστά κρίσιμη την ιχνηλασιμότητα και τη σαφήνεια των προδιαγραφών, ώστε να αποφευχθούν παρεξηγήσεις και αντικρουόμενες προσδοκίες.

Η εμπειρία δείχνει ότι περισσότερα από τα δύο τρίτα των έργων ανάπτυξης προϊόντων επηρεάζονται αρνητικά από ανεπαρκή σχεδιασμό και ασαφείς απαιτήσεις. Σε αυτό το σημείο, η ανάπτυξη με βάση τα συστήματα (SDPD) προσφέρει σημαντική αξία, καθώς ενισχύει τη λήψη αποφάσεων και επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση και επίλυση προβλημάτων.

Παραδοσιακά, οι οργανισμοί χρησιμοποιούσαν αποσπασματικά μέσα για τη διαχείριση απαιτήσεων, όπως υπολογιστικά φύλλα, ανεξάρτητα έγγραφα ή εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων. Αυτές οι μέθοδοι οδηγούν συχνά σε απομόνωση δεδομένων, περιορισμένη πρόσβαση και έλλειψη συσχέτισης με τη δομή του προϊόντος. Επιπλέον, τα εργαλεία αυτά χαρακτηρίζονται συχνά από περίπλοκες διεπαφές που αυξάνουν την καμπύλη μάθησης. Η προσέγγιση SDPD έρχεται να ξεπεράσει αυτά τα εμπόδια, ενσωματώνοντας τις απαιτήσεις απευθείας στον κύκλο ζωής του προϊόντος και παρέχοντας μια ενοποιημένη βάση δεδομένων με φιλικότερη πρόσβαση, μεγαλύτερη διαφάνεια και ουσιαστικά μειωμένη δυσκολία χρήσης.

## 5.5 Παράδειγμα – Ανάπτυξη Ηλεκτρική Σανίδα Στείτ

Εταιρεία που ήδη δραστηριοποιείται στον χώρο των skateboards αποφασίζει να επεκτείνει το χαρτοφυλάκιό της με την παραγωγή ενός ηλεκτρικού longboard. Η απόφαση αυτή προκύπτει από μια σαφή τάση της αγοράς: οι μαθητές λυκείου και οι φοιτητές επιλέγουν όλο και περισσότερο τα longboards ως μέσο μεταφοράς μικρών

αποστάσεων. Το πλαίσιο αυτό θέτει αμέσως επιχειρηματικές και τεχνικές απαιτήσεις που πρέπει να καταγραφούν και να διαχειριστούν συστηματικά.

Σύμφωνα με την προσέγγιση της Μοντελοποιημένης Μηχανικής Συστημάτων (MBSE), το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός απαιτήσεων. Στην περίπτωση του ηλεκτρικού longboard, οι απαιτήσεις προέρχονται από την αγορά, από τεχνικά δεδομένα, αλλά και από τη στρατηγική της εταιρείας.

- Οι λειτουργικές απαιτήσεις καθορίζουν ότι το όχημα πρέπει να έχει ελάχιστη αυτονομία 12 μιλίων, με οικονομική οδήγηση. Αυτό μεταφράζεται σε τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταρίας, απόδοσης μοτέρ και ενεργειακής απόδοσης του συνολικού συστήματος.
- Οι απαιτήσεις ποιότητας ορίζουν ότι το προϊόν πρέπει να είναι χωρίς ανάγκη συντήρησης για τουλάχιστον ένα έτος και ότι η διάρκεια ζωής των βασικών εξαρτημάτων θα ξεπερνά τα τρία χρόνια. Οι απαιτήσεις αυτές συνδέονται με την επιλογή υλικών, τη σχεδίαση εξαρτημάτων υψηλής αξιοπιστίας και τον καθορισμό διαδικασιών δοκιμών αντοχής.
- Από την πλευρά των επιχειρηματικών απαιτήσεων, ορίζεται ένα αυστηρό χρονοδιάγραμμα έξι μηνών και ένα προϋπολογισμένο κόστος ανάπτυξης της τάξης του ενός εκατομμυρίου δολαρίων.
- Επιπλέον, υπάρχει η στρατηγική στόχευση για ανάπτυξη **ψηφιακού διδύμου (digital twin)**, το οποίο θα επιτρέψει προσομοιώσεις και βελτιστοποίηση του σχεδιασμού πριν από τη μαζική παραγωγή, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση πόρων και ενισχύοντας τη συμμετοχή των εργαζομένων.

Η προσέγγιση **SDPD (System Driven Product Development)**, όταν εφαρμόζεται μέσω των εργαλείων της **Siemens PLM Software Suite**, επιτρέπει την ενοποίηση όλων αυτών των απαιτήσεων σε μια ενιαία πλατφόρμα. Στο **Teamcenter**, οι απαιτήσεις καταγράφονται και ιχνηλατούνται από την αρχή μέχρι το τελικό προϊόν. Κάθε απαίτηση μπορεί να συνδεθεί άμεσα με στοιχεία σχεδίασης στο **Siemens NX** (π.χ. γεωμετρία πλαισίου, θέση και μέγεθος μπαταρίας, διάσταση τροχών) ή με αποτελέσματα προσομοιώσεων από το **Simcenter** (π.χ. ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς μπαταρίας, δοκιμή αντοχής πλαισίου σε φορτία, δυναμική απόκριση μοτέρ). Έτσι διασφαλίζεται ότι κάθε λειτουργική ή ποιοτική απαίτηση έχει συγκεκριμένο τεχνικό αντίκρισμα και μπορεί να επαληθευτεί πριν από τη φάση παραγωγής.

Η έννοια του **digital twin** είναι κεντρική. Το ψηφιακό δίδυμο του ηλεκτρικού longboard δεν είναι απλώς ένα 3D CAD μοντέλο στο NX, αλλά ένας ολοκληρωμένος συνδυασμός δεδομένων: γεωμετρία, ηλεκτρολογική σχεδίαση, λογισμικό ελέγχου, δυναμικές προσομοιώσεις και συνδεδεμένες απαιτήσεις. Μέσα από αυτό το ψηφιακό αντίγραφο, η ομάδα ανάπτυξης μπορεί να δοκιμάσει σενάρια χρήσης, να αξιολογήσει εναλλακτικές διαμορφώσεις και να εντοπίσει αδύναμα σημεία σε πρώιμο στάδιο. Για παράδειγμα, μια

προσομοίωση θερμικής ανάλυσης στο Simcenter μπορεί να αποκαλύψει υπερθέρμανση της μπαταρίας σε μεγάλες ταχύτητες, γεγονός που οδηγεί σε αλλαγές στη διάταξη ψύξης στο NX, πριν καν κατασκευαστεί πρωτότυπο.

Επιπλέον, η σύνδεση των απαιτήσεων με το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό μέσα στο PLM δίνει στην εταιρεία τη δυνατότητα να αξιολογεί άμεσα τις επιπτώσεις κάθε αλλαγής. Αν, για παράδειγμα, οι πελάτες ζητήσουν αυτονομία 15 αντί για 12 μίλια, το Teamcenter μπορεί να δείξει πώς αυτό επηρεάζει το μέγεθος της μπαταρίας, το βάρος του συστήματος, το κόστος παραγωγής και τελικά τον συνολικό προϋπολογισμό. Έτσι, οι αποφάσεις λαμβάνονται τεκμηριωμένα και με πλήρη ορατότητα.

Η χρήση της SDPD μέσα από την πλατφόρμα Siemens δημιουργεί, τέλος, έναν **ψηφιακό εννοποιημένο ιστό (digital thread)**. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι πληροφορίες – από τις αρχικές απαιτήσεις, τις προσομοιώσεις, τα CAD μοντέλα, μέχρι τις διαδικασίες παραγωγής και τη συντήρηση – είναι συνδεδεμένες σε μια ενιαία βάση. Το αποτέλεσμα είναι ένα προϊόν που φτάνει στην αγορά πιο γρήγορα, με λιγότερο κόστος ανάπτυξης και με μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην απόδοση και την ποιότητά του.

## 5.6 Ορισμός Αρχιτεκτονικής

Η μοντελοποίηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος αποτελεί μια μεθοδολογική προσέγγιση που εστιάζει στον εννοιολογικό σχεδιασμό στα αρχικά στάδια της μηχανικής μιας σειράς προϊόντων. Παράλληλα, αξιοποιεί και επαναχρησιμοποιεί την υπάρχουσα μηχανική γνώση. Στο πλαίσιο αυτό καθορίζονται τρία βασικά επίπεδα προδιαγραφών:



Εικόνα 16: Δεύτερη φάση- Ορισμός αρχιτεκτονικής

- Απαιτήσεις (ποιος είναι ο σκοπός του συστήματος)
- Λειτουργικές (ποιες είναι οι αρχές που διέπουν το σύστημα)
- Λογικές (ποιο είναι το μοντέλο του συστήματος)

Η διαδικασία της μοντελοποίησης παράγει ένα λειτουργικό μοντέλο συστήματος, το οποίο συνήθως παρουσιάζεται ως ένα «μοντέλο κουτιού» με σαφείς προδιαγραφές διεπαφής. Το μοντέλο αυτό δεν είναι ένα απλό διάγραμμα, αλλά λειτουργεί ως κανόνας που κατευθύνει τις επόμενες δραστηριότητες του φυσικού σχεδιασμού και της ανάλυσης. Σε αυτό το σημείο εμπλέκονται πολλοί εξειδικευμένοι τομείς, όπως η ανάπτυξη λογισμικού, τα ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά συστήματα, ο τρισδιάστατος μηχανολογικός σχεδιασμός (3D MCAD), η ανάλυση με μεθόδους CAE και οι προσομοιώσεις 1D. Το μοντέλο συστήματος αντιπροσωπεύει έτσι τη λύση που δίνεται σε έναν συγκεκριμένο στόχο ή απαίτηση, αποτυπώνοντας με ακρίβεια τους περιορισμούς και τα όρια που το διέπουν. Για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας, ειδικά όταν πρόκειται για συστήματα-συστημάτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός πολλών μοντέλων που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ορισμένων διεπαφών, προκειμένου να καθοριστούν με σαφήνεια οι αλληλεπιδράσεις.

### 5.6.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική

Η λειτουργική αρχιτεκτονική είναι μια δομημένη αναπαράσταση των λειτουργιών, των συμπεριφορών και των διαδικασιών ενός συστήματος ή προϊόντος. Σε αυτή τη φάση δεν εξετάζεται πώς θα υλοποιηθεί τεχνολογικά το προϊόν, αλλά τι πρέπει να κάνει για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις. Με τον τρόπο αυτό, το λειτουργικό μοντέλο συμβάλλει στον εντοπισμό νέων ή κρυφών απαιτήσεων, δημιουργεί μια βάση για τον υπολογισμό του κόστους ανάπτυξης και συντήρησης, ενώ διευκολύνει και την αξιολόγηση πιθανών εναλλακτικών λύσεων.

Το λειτουργικό μοντέλο μπορεί να περιλαμβάνει μια ποικιλία στοιχείων, όπως δραστηριότητες, ενέργειες, διεργασίες και μετασχηματισμούς. Οι αναλυτές σχεδιασμού δημιουργούν διαγράμματα ροής δεδομένων ή άλλα διαγράμματα αναπαράστασης, ώστε να καταγράψουν πώς συνδέονται μεταξύ τους αυτά τα στοιχεία. Μέσω των συνδέσεων αυτών είναι δυνατή η δημιουργία ιχνών (traceability) που δείχνουν με σαφήνεια τη σχέση κάθε στοιχείου με τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να γίνει αντιστοίχιση κάθε λειτουργίας σε μία ή περισσότερες λειτουργικές απαιτήσεις του προϊόντος.

Η λειτουργική αρχιτεκτονική δεν εξαρτάται από το επιστημονικό πεδίο στο οποίο θα εφαρμοστεί. Αποτελεί, επομένως, ένα εργαλείο συνεργασίας που ενοποιεί διαφορετικές ειδικότητες, προσφέροντας ένα κοινό σημείο αναφοράς. Το λειτουργικό μοντέλο καθορίζει «τι» πρέπει να κάνει το προϊόν χωρίς να επιβάλλει περιορισμούς ως προς το «πώς» θα γίνει αυτό. Επιπλέον, μπορεί να εμπλουτιστεί με μαθηματικές τεχνικές ή μεθόδους προσομοίωσης, ώστε να αναλυθούν καλύτερα οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων και να αξιολογηθεί η δυναμική τους αλληλεπίδραση. Σε αυτό το στάδιο, η δημιουργία λειτουργικής αποσύνθεσης βοηθά στη διάσπαση της πολυπλοκότητας και στη σταδιακή κατανόηση του συστήματος.

### 5.6.2 Λογική αρχιτεκτονική

Μετά τον προσδιορισμό των λειτουργιών, ακολουθεί η ανάπτυξη της λογικής αρχιτεκτονικής. Εδώ ο σχεδιασμός επικεντρώνεται στον καθορισμό των στοιχείων του συστήματος με βάση τη λειτουργική αναπαράσταση και στη διατύπωση των αντίστοιχων απαιτήσεων για το καθένα. Η λογική αρχιτεκτονική αποτελεί ένα αφηρημένο μοντέλο, το οποίο δεν είναι δεσμευμένο από συγκεκριμένες τεχνολογίες. Επικεντρώνεται στη σύλληψη της ιδέας, στη διαχείριση των εννοιών του κύκλου ζωής του συστήματος και στη διαμόρφωση μιας συνολικής εικόνας της δομής υψηλού επιπέδου.

Στην πράξη, η λογική αρχιτεκτονική περιγράφει τις σχέσεις, τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του συστήματος σε γενικό επίπεδο. Αποτελεί το βήμα πριν από τον



φυσικό σχεδιασμό, όπου πλέον υιοθετούνται συγκεκριμένες τεχνολογικές λύσεις. Με άλλα λόγια, η λογική αρχιτεκτονική προσδιορίζει το «πλαίσιο» μέσα στο οποίο θα κινηθούν οι τελικές αποφάσεις σχεδιασμού.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της γεννήτριας ροπής. Σε ένα λογικό μοντέλο η γεννήτρια αυτή περιγράφεται απλώς ως στοιχείο του συστήματος που πρέπει να παράγει ροπή. Στη φάση της φυσικής υλοποίησης, όμως, μπορεί να υλοποιηθεί είτε ως κινητήρας εσωτερικής καύσης είτε ως ηλεκτροκινητήρας, ανάλογα με την τεχνολογία που θα επιλεγεί. Έτσι, η λογική αρχιτεκτονική διατηρεί την ανεξαρτησία της από τεχνολογίες και επιτρέπει την αξιολόγηση εναλλακτικών φυσικών λύσεων χωρίς να περιορίζει τον σχεδιασμό σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση.

### 5.6.3 Σύνδεση Λειτουργικής και Λογικής Αρχιτεκτονικής

Η λειτουργική και η λογική αρχιτεκτονική δεν αναπτύσσονται απομονωμένα αλλά εξελίσσονται παράλληλα. Το λειτουργικό μοντέλο ορίζει τις βασικές απαιτήσεις και λειτουργίες, ενώ η λογική αρχιτεκτονική τις μεταφράζει σε αφηρημένες λύσεις που μπορούν να αναπτυχθούν σε διάφορα επιστημονικά πεδία. Καθώς τα δύο μοντέλα εξελίσσονται μαζί, είναι δυνατό να προκύψουν πρόσθετοι τεχνικοί περιορισμοί ή νέες απαιτήσεις, που οδηγούν σε πιο λεπτομερή κατανόηση του συστήματος. Η συνδυαστική αυτή ανάπτυξη συμβάλλει στην καλύτερη επικοινωνία ανάμεσα στις ομάδες σχεδιασμού και στη μείωση του κινδύνου λαθών ή παρανοήσεων κατά τα επόμενα στάδια της ανάπτυξης.

#### 5.6.4 Ορισμός Προσομοίωσης/ simulation definition



Εικόνα 17: Τρίτη φάση- Ορισμός προσομοίωσης

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης συστημάτων που βασίζονται σε λειτουργικές και λογικές αρχιτεκτονικές, το **Siemens NX** σε συνδυασμό με το **Teamcenter** προσφέρει μία ενιαία πλατφόρμα για τη δημιουργία και διαχείριση **Simulation Definitions**. Ο μηχανισμός προσομοίωσης, με βάση τον ορισμό της συστημικής αρχιτεκτονικής, διαμορφώνει ένα περιβάλλον προσομοίωσης πολλαπλών τομέων (multi-domain simulation), το οποίο επιτρέπει την έγκαιρη αξιολόγηση της σκοπιμότητας και της λειτουργικότητας της αρχικής σχεδίασης.

Ένας **Simulation Definition** στο NX περιλαμβάνει:

- **Μοντέλα υποσυστημάτων** που βασίζονται στη φυσική (physics-based models), τα οποία μπορεί να ανήκουν σε διάφορους τεχνικούς τομείς: μηχανικούς, ηλεκτρικούς, υδραυλικούς, πνευματικούς, θερμικούς ή συστήματα ελέγχου.
- **Συνδέσεις μέσω θυρών και διεπαφών (ports & interfaces)**, που διασφαλίζουν την επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ των υποσυστημάτων.

- **Διαλειτουργικότητα** με εργαλεία τρίτων μέσω τυποποιημένων προτύπων (π.χ. Functional Mock-up Interface (FMI) και το Functional Mock-up Unit (FMU), ώστε τα μοντέλα να μπορούν να εισαχθούν απευθείας στο περιβάλλον προσομοίωσης του NX.

### **Τρέχουσες Προκλήσεις (χωρίς ολοκληρωμένο Simulation Definition):**

1. **Αποσπασματικότητα δεδομένων:** Τα δεδομένα μοντέλων βρίσκονται διασκορπισμένα σε διαφορετικά εργαλεία και αποθετήρια, οδηγώντας σε "data hunting/ σαφάρι δεδομένων" και καθυστέρηση της ανάλυσης.
2. **Συναρμολόγηση υποσυστημάτων:** Τα μοντέλα δημιουργούνται σε ετερογενή περιβάλλοντα, καθιστώντας τη συναρμολόγηση χρονοβόρα, ευάλωτη σε ασυμβατότητες και με υψηλό κόστος εντοπισμού σφαλμάτων.
3. **Διαχείριση πολλαπλών παραλλαγών:** Η ανάγκη αξιολόγησης διαφορετικών εκδοχών ενός συστήματος οδηγεί σε πολυπλοκότητα που δύσκολα ελέγχεται.
4. **Συνεργασία σε απομονωμένα σιλό:** Οι ομάδες μηχανικών φυσικών συστημάτων και ελέγχου εργάζονται συχνά ανεξάρτητα, περιορίζοντας την επαναχρησιμοποίηση μοντέλων και την ενσωμάτωση γνώσης.
5. **Μεταφορά αλλαγών:** Οι τροποποιήσεις στο design δεν ενημερώνουν ομοιόμορφα όλα τα υποσυστήματα και ρόλους, οδηγώντας σε ασυνέπειες.

Συνεπώς, σήμερα η **χειροκίνητη ενσωμάτωση** καταναλώνει έως και το 80% του διαθέσιμου χρόνου, αφήνοντας μόνο ~20% για ουσιαστική ανάλυση, βελτιστοποίηση και διερεύνηση σχεδιαστικών εναλλακτικών.

### **Ρόλος του Siemens NX στο Simulation Definition**

Το **NX Mechatronics Concept Designer (MCD)** σε συνδυασμό με το **Teamcenter Simulation** προσφέρουν μία ενοποιημένη λύση SDPD/MBSE, που επιτρέπει:

- **Δημιουργία Simulation Definition:** Μοντελοποίηση και σύνδεση ετερογενών υποσυστημάτων σε ενιαίο ψηφιακό δίδυμο.
- **Multi-domain simulation environment:** Προσομοίωση σε επίπεδο συστήματος, με συνεκτίμηση αλληλεπιδράσεων μηχανικών, ηλεκτρικών και λογικών στοιχείων.
- **Διαχείριση κύκλου ζωής:** Η σύνδεση με το **PLM (Teamcenter)** εξασφαλίζει πλήρη ιχνηλασιμότητα δεδομένων προσομοίωσης, διαχείριση εκδόσεων και real-time feedback με την αρχιτεκτονική συστήματος.

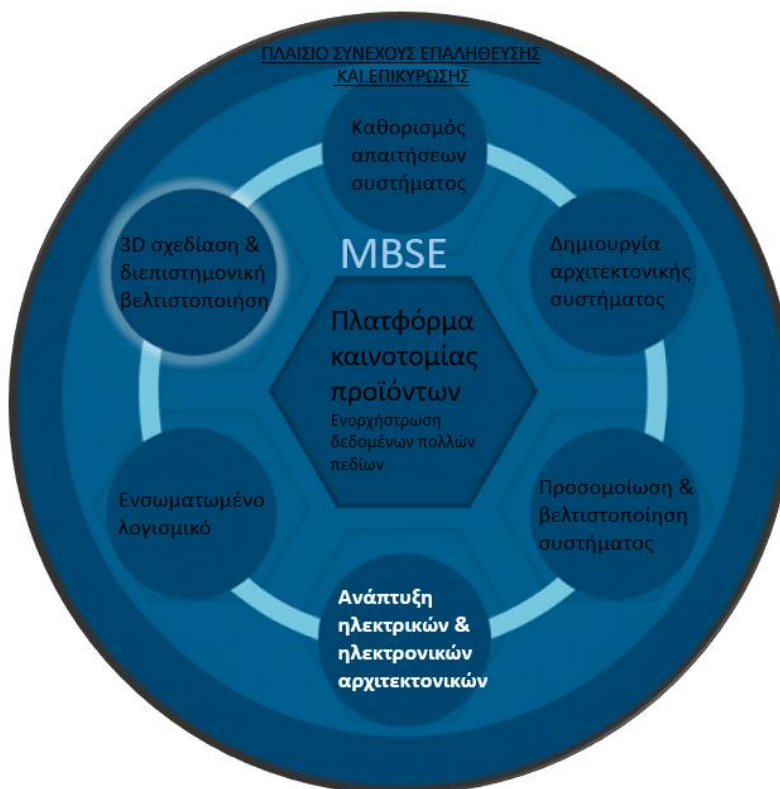
- **Διαλειτουργικότητα με άλλες πλατφόρμες:** Ενσωμάτωση μοντέλων Simulink, Amesim, Modelica κ.λπ. απευθείας στο NX, δημιουργώντας ένα **co-simulation environment**.

Η χρήση Simulation Definition στο Siemens NX και Teamcenter επιτρέπει στους οργανισμούς:

- **Γρήγορη αξιολόγηση εννοιών:** Δυνατότητα δημιουργίας και δοκιμής σεναρίων με άμεση ανάλυση επιδόσεων.
- **Επαναχρησιμοποίηση μοντέλων:** Κεντρική βιβλιοθήκη που μειώνει τον χρόνο ανάπτυξης και αυξάνει τη συνέπεια.
- **Ανάλυση λειτουργικής απόδοσης από τα πρώιμα στάδια:** Εκτίμηση συμπεριφοράς μηχανικών συστημάτων πριν την ύπαρξη φυσικού πρωτοτύπου.
- **Βελτιστοποίηση σύνθετων αλληλεπιδράσεων:** Προσομοίωση συνδυασμένων μηχανικών, υδραυλικών, πνευματικών, θερμικών και ηλεκτρονικών στοιχείων.
- **Εντοπισμός και πρόληψη σφαλμάτων σχεδίασης:** Εξερεύνηση πολλαπλών αρχιτεκτονικών και καινοτόμων λύσεων με μικρότερο ρίσκο.
- **Βελτίωση ποιότητας προϊόντος:** Ακριβέστερη πρόβλεψη απόδοσης και μειωμένα σφάλματα στο τελικό στάδιο παραγωγής.
- **Επιτάχυνση Time-to-Market:** Σημαντική μείωση κόστους και χρόνου μέσω έγκαιρης επικύρωσης και βελτιστοποίησης.

Συνεπώς, το **Siemens NX**, σε συνδυασμό με το **Teamcenter Simulation** και το πλαίσιο **SDPD/MBSE**, μετατρέπει την προσομοίωση από ένα απομονωμένο στάδιο σε έναν **κεντρικό μηχανισμό ανάπτυξης προϊόντων**, όπου η ανάλυση, η βελτιστοποίηση και η συνεργασία γίνονται δομικά στοιχεία της διαδικασίας.

### 5.6.5 Ηλεκτρικά/ Ηλεκτρονικά



Εικόνα 18: Τέταρτη Φάση-Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά υποσυστήματα

Η ανάπτυξη ενός σύνθετου συστήματος περιλαμβάνει την ενσωμάτωση **ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών (E/E) υποσυστημάτων** τα οποία πρέπει να οριστούν, να αναλυθούν και να επαληθευθούν με βάση τις αρχικές προδιαγραφές του συστήματος. Τα υποσυστήματα αυτά έχουν ανεξάρτητους κύκλους ζωής ανάπτυξης και συχνά προέρχονται από διαφορετικές ομάδες ή συνεργάτες/προμηθευτές.

Στο πλαίσιο του SDPD/MBSE, το Siemens NX σε συνδυασμό με τις λύσεις Teamcenter και Capital (Siemens E/E Systems Development portfolio) παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για:

- **Σχεδιασμό ηλεκτρικής/ηλεκτρονικής αρχιτεκτονικής** (Electrical/Electronic Architecture Design).
- **Ενσωμάτωση συστημάτων** (System Integration) βάσει PLM.

- **Βελτιστοποίηση λειτουργικής και φυσικής τοπολογίας** μέσω κανόνων και αυτοματισμών.

Η μεθοδολογία System Driven Product Development (SDPD) σε συνδυασμό με το Model-Based Systems Engineering (MBSE) εισάγει μια ολιστική προσέγγιση σχεδιασμού, ενσωματώνοντας την ηλεκτρική/ηλεκτρονική αρχιτεκτονική μέσα σε ένα κοινό πλαίσιο PLM (Product Lifecycle Management). Έτσι εξασφαλίζεται η ιχνηλασιμότητα, η συνεκτικότητα των δεδομένων και η διαλειτουργικότητα σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος.

Κύρια Χαρακτηριστικά της Φάσης Ηλεκτρικής/Ηλεκτρονικής Αρχιτεκτονικής

- Ολιστικός και Συνεκτικός Σχεδιασμός, επιτυγχάνοντας ενοποίηση λειτουργικής, λογικής και φυσικής τοπολογίας σε ένα περιβάλλον PLM και διασφάλιση συνέπειας μεταξύ απαιτήσεων, αρχιτεκτονικής και υλοποίησης.
- Αυτοματοποιημένος Σχεδιασμός Συστήματος Ηλεκτρικής Διανομής (EDS), χρησιμοποιώντας κανόνες (rule-based automation) για δημιουργία, ενημέρωση και επικύρωση δικτύου καλωδιώσεων και harnesses που οδηγεί σε μείωση λαθών και ταχύτερη επικύρωση.
- Ολοκληρωμένη Αρχιτεκτονική Λογισμικού και Δικτύων, επιτυγχάνοντας σύνδεση της ηλεκτρικής αρχιτεκτονικής με την αρχιτεκτονική λογισμικού και σχεδίαση και βελτιστοποίηση επικοινωνιακών δικτύων (CAN, LIN, Ethernet κ.λπ.).

Ο μηχανικός που εργάζεται στον τομέα των ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών συστημάτων λαμβάνει τις απαιτήσεις μέσω του κοινού PLM περιβάλλοντος. Εκεί σχεδιάζει, αναλύει και επικυρώνει το υποσύστημα, με πλήρη συσχέτιση με τις υπόλοιπες ομάδες. Αυτό επιτρέπει:

- Συνεργατικότητα μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων.
- Διαμοιρασμό προδιαγραφών με σαφήνεια και χωρίς ασυνέπειες.
- Επαναχρησιμοποίηση δεδομένων σε διαφορετικά έργα ή παραλλαγές προϊόντων.

Τα οφέλη για την Επιχείρηση από την Ενσωμάτωση στο PLM

- Ανάλυση σκοπιμότητας και βελτιστοποίηση σε πρώιμα στάδια.
- Τεκμηριωμένες αποφάσεις σχεδιασμού και έγκαιρη εκτέλεση trade-off studies.
- Βελτίωση κόστους έναντι απόδοσης με δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης.
- Αυτοματοποιημένη δημιουργία και επικύρωση σχεδιαστικών αποτελεσμάτων.
- Ακριβής τεκμηρίωση για downstream διαδικασίες (ECAD, PCB design, service documentation).

- Αποτελεσματική συνεργασία με προμηθευτές και διαχείριση αλλαγών.
- Βελτιστοποίηση multiplexed δικτύων μέσω χειροκίνητης ή αυτοματοποιημένης σύνθεσης με βάση απαιτήσεις χρονισμού.
- Ενσωμάτωση λογισμικού και hardware domains για επαναχρησιμοποίηση σε μονάδες ελέγχου και ανάπτυξη εφαρμογών.

Συνεπώς, η ένταξη του σχεδιασμού E/E αρχιτεκτονικής σε περιβάλλον PLM επιτρέπει στους μηχανικούς συστημάτων:

- Να επαληθεύουν τις απαιτήσεις του υποσυστήματος σε αρχικά στάδια.
- Να παραδίδουν βέλτιστες προδιαγραφές στους ECAD/PCB μηχανικούς.
- Να μειώνουν τους κινδύνους λαθών στην υλοποίηση.
- Να επιτυγχάνουν υψηλότερη ποιότητα προϊόντος με μικρότερο χρόνο και κόστος.

Με αυτό τον τρόπο, το PLM μετατρέπεται σε κεντρικό άξονα διαχείρισης E/E συστημάτων, εξασφαλίζοντας πλήρη διαφάνεια, ιχνηλασιμότητα και βιώσιμη ανάπτυξη πολύπλοκων προϊόντων.

### 5.6.6 Ενσωματωμένο Λογισμικό



Εικόνα 19: Πέμπτη φάση- Ενσωματωμένο λογισμικό

Η Πέμπτη φάση της μεθοδολογίας System Driven Product Development (SDPD) και Model-Based Systems Engineering (MBSE) αφορά την ανάπτυξη, διαχείριση και επικύρωση ενσωματωμένου λογισμικού (Embedded Software Development – ESD). Η φάση αυτή είναι κρίσιμη καθώς γεφυρώνει τη συστημική αρχιτεκτονική με την τελική υλοποίηση του λογισμικού που εκτελείται σε μονάδες ελέγχου (ECUs).

Στο πλαίσιο του Siemens NX και του οικοσυστήματος Teamcenter – Polarion – Active Workspace, η ανάπτυξη ενσωματωμένου λογισμικού γίνεται πλήρως ενσωματωμένα με τον κύκλο ζωής του προϊόντος (PLM).

#### Κύρια Χαρακτηριστικά της Φάσης ESD

- Ανάλυση λογισμικού: Εκτέλεση αξιολόγησης και verification του κώδικα σε σχέση με τις προδιαγραφές συστήματος.
- Software change in the loop: Υλοποίηση αλλαγών στο λογισμικό και ενσωμάτωση τους σε κλειστό βρόχο δοκιμών.



- Μεταγλώττιση και επαλήθευση: Αυτόματη παραγωγή εκτελέσιμου κώδικα, με επαλήθευση μέσω Software-in-the-Loop (SIL).

Οφέλη από τη Διαχείριση Ενσωματωμένου Λογισμικού στο NX / Teamcenter

- Ενορχήστρωση ανάπτυξης λογισμικού σε όλο τον κύκλο ζωής της εφαρμογής, σε πλήρη ευθυγράμμιση με τον ορισμό συστήματος.
- Αξιοποίηση ανοικτού πλαισίου (open framework): Ενοποίηση ανάπτυξης λογισμικού με τη διαχείριση κύκλου ζωής προϊόντος (PLM).
- Υποστήριξη agile μεθοδολογιών: Διευκόλυνση της ευέλικτης ανάπτυξης (agile development) και συνεργατική διαχείριση αλλαγών.
- Ιχνηλασιμότητα (traceability): Από τις απαιτήσεις στο Polarion έως την αρχιτεκτονική λογισμικού στο Teamcenter και την υλοποίηση στο NX.

Αυτή η φάση MBSE υποστηρίζεται από λογισμικά όπως

- Polarion ALM, Λογισμικό για Application Lifecycle Management, που διαχειρίζεται τις απαιτήσεις λογισμικού, τις αλλαγές και τα test cases.
- Teamcenter Active Workspace (PLM), που επιτρέπει την αναπαράσταση αντικειμένων λογισμικού ως στοιχεία PLM και υποστηρίζει τη σύνδεση με το Polarion για ενοποιημένη διαχείριση.
- Linked Data Framework (LDF), τεχνολογία που επιτρέπει τη σύνδεση αντικειμένων λογισμικού Teamcenter με εκδόσεις λογισμικού Polarion, εξασφαλίζοντας την διαλειτουργικότητα και ιχνηλασιμότητα.
- Embedded Software Manager (ESM), Υποσύστημα του Teamcenter που διαχειρίζεται αντικείμενα ενσωματωμένου λογισμικού και επιτρέπει τη δημιουργία στοιχείων αρχιτεκτονικής λογισμικού και placeholders, τα οποία συνδέονται με αντίστοιχες εκδόσεις λογισμικού στο Polarion.

Ροή Εργασίας (Workflow)

- Ο μηχανικός δημιουργεί Software Architecture Elements στο Teamcenter για να ορίσει την αρχιτεκτονική του embedded software.
- Γίνονται placeholders για επιμέρους λογικά στοιχεία (π.χ. components, modules).
- Αυτά τα placeholders συνδέονται με συγκεκριμένες εκδόσεις λογισμικού στο Polarion.
- Το Linked Data Framework ενοποιεί τα δεδομένα και παρέχει αμφίδρομη ιχνηλασιμότητα:

- Ο Embedded Software Manager διασφαλίζει ότι οι αλλαγές παρακολουθούνται και επαληθεύονται σε κάθε στάδιο.

Η ενσωμάτωση της ανάπτυξης ενσωματωμένου λογισμικού στο Siemens NX και το πλαίσιο PLM με Teamcenter/Polarion:

- Εξασφαλίζει ενιαία διαχείριση κύκλου ζωής για hardware και software.
- Ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ μηχανικών λογισμικού και μηχανολόγων.
- Υποστηρίζει πλήρη ιχνηλασιμότητα και συμμόρφωση με πρότυπα.
- Μειώνει κόστος και χρόνο ανάπτυξης, επιτρέποντας ασφαλή και αξιόπιστη υλοποίηση λογισμικού σε πολυτομεακά προϊόντα.

Αυτή η φάση MBSE υποστηρίζεται από λογισμικά όπως :

- Λογισμικό Polarion για Διαχείριση Κύκλου Ζωής Εφαρμογών (ALM)
- Λογισμικό Teamcenter Active Workspace για PLM

#### 5.6.7 3D/CAE και Πολυεπισημονική Βελτιστοποίηση



Εικόνα 20: Έκτη φάση-3D σχεδίαση και πολυεπιστημονική βελτιστοποίηση

Αυτή είναι η φάση του σχεδιασμού φυσικού προϊόντος στο πλαίσιο του System Driven Product Development (SDPD) και του Model-Based Systems Engineering (MBSE) αποτελεί το στάδιο όπου οι λογικοί ορισμοί του συστήματος μεταφράζονται σε πραγματικά 3D στοιχεία προϊόντος.

Σε αυτό το στάδιο:

- Οι μηχανικοί **ECAD/MCAD** αναπτύσσουν τα φυσικά εξαρτήματα και υποσυστήματα με βάση τη δομή προϊόντος που έχει ορίσει ο μηχανικός συστημάτων.
- Οι μηχανικοί προσομοίωσης χρησιμοποιούν τα εργαλεία **NX** και **Simcenter 3D** για να αναλύσουν τη συμπεριφορά του συστήματος, να ελέγξουν την επίδοση και να πραγματοποιήσουν **διεπιστημονική βελτιστοποίηση (multidisciplinary optimization)**.

Βασικές δραστηριότητες σε αυτή την διαδικασία περιλαμβάνουν:

- Ορισμός φυσικών λύσεων προϊόντος, που περιλαμβάνει τον Εντοπισμός έτοιμων εξαρτημάτων ή δημιουργία νέων. Έκδοση και διαχείριση λύσεων προϊόντος στο Teamcenter PLM.
- Μηχανολογική Σχεδίαση (MCAD), με τη δημιουργία 3D διατάξεων στο Siemens NX και διαχείριση δεδομένων CAD, συμπεριλαμβανομένου του PMI (Product Manufacturing Information).
- Ηλεκτρολογική Σχεδίαση (ECAD), δημιουργία ηλεκτρικής διάταξης, καλωδιώσεων, δικτύων επικοινωνίας και PCB. Ενσωμάτωση δεδομένων ECAD/MCAD σε κοινό περιβάλλον PLM.
- Ενσωματωμένο Λογισμικό, Διαχείριση και ανάπτυξη μέσω του Embedded Software Manager, σύνδεση με εκδόσεις λογισμικού στο Polarion ALM.
- Διαχείριση παραμέτρων & συμβατότητας, καθολικές παράμετροι, calibration data και version control.

Η πρώτη προσέγγιση σε αυτή τη μεθοδολογία ήταν μέσα από τη Διαχείριση Δεδομένων Προϊόντος. Η παραδοσιακή Διαχείριση Δεδομένων Προϊόντος (PDM) εξυπηρετούσε κυρίως τη διαχείριση 3D CAD. Παρόλο που το PDM πέτυχε στην επίτευξη των στόχων, η πολυπλοκότητα των σύγχρονων προϊόντων έκανε τις βιομηχανίες να συνειδητοποιήσουν την ανάγκη για μια πιο ισχυρή αρχιτεκτονική που θα επέτρεπε την

ανταλλαγή δεδομένων δομής προϊόντος που επιτεύχθηκε μέσα από τη μετάβαση σε πιο ισχυρό πλαίσιο, το Product Lifecycle Management.

Στο SDPD, η δομή προϊόντος (product structure) δημιουργείται και αποθηκεύεται κεντρικά στο Teamcenter PLM, καθοδηγώντας τον σχεδιασμό των φυσικών στοιχείων.

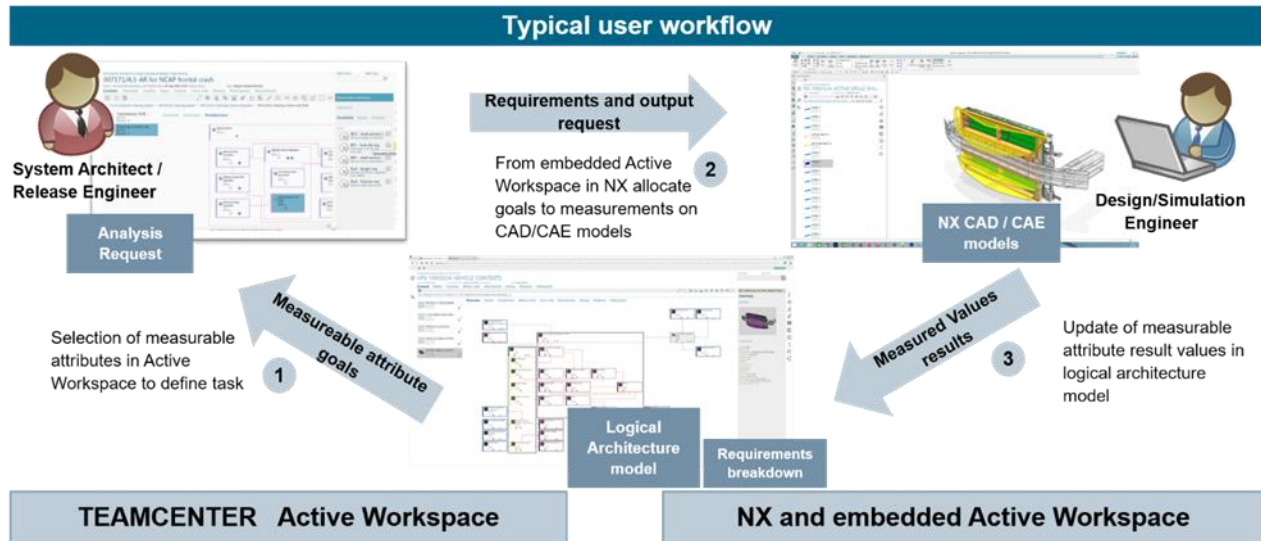
- Η δομή προϊόντος συνδέεται άμεσα με απαιτήσεις, λειτουργίες και λογικά στοιχεία.
- Δημιουργείται πλήρης ιχνηλασιμότητα (closed-loop traceability) μεταξύ ορισμού συστήματος και φυσικού 3D CAD.

Επίσης, ως μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού, χρειάζεται να επιβεβαιωθεί ότι ένα τελικό προϊόν πληροί τις απαιτήσεις σχεδιασμού σας, και για να επιβεβαιωθεί ότι το τελικό προϊόν πληροί τις απαιτήσεις, εκτελούνται:

- Μετρήσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών και έλεγχος ανοχών.
- Ανάλυση τάσεων, παραμορφώσεων και κινήσεων.
- Βελτιστοποιήσεις κατασκευασιμότητας και απόδοσης.
- Τεκμηρίωση και κοινοποίηση αποτελεσμάτων σε κοινό περιβάλλον PLM.

Η Siemens PLM παρέχει μια τέτοια λύση χρησιμοποιώντας μια ενσωματωμένη σουίτα εργαλείων που περιλαμβάνει:

- Teamcenter Active Workspace (κεντρική διαχείριση δεδομένων SDPD).
- NX CAD/CAE (σχεδίαση και ανάλυση).
- Simcenter 3D (προσομοίωση & επαλήθευση).
- 1D Simulation Integrations (σύνδεση με πολυτομεακές προσομοιώσεις).



Εικόνα 21: Τυπική ροή εργασιών χρήστη

Μερικές βασικές πτυχές αυτής της λύσης περιλαμβάνουν τη Διαχείριση Μετρήσιμων Χαρακτηριστικών

- Μέσω αιτημάτων ανάλυσης (Analysis Requests) στο Active Workspace:
  - Εξαγωγή στόχων απόδοσης από το Teamcenter SDPD.
  - Σύνδεση με μετρήσεις στο NX.
  - Συσχέτιση ανάλυσης με φυσική γεωμετρία.
  - Επιστροφή αποτελεσμάτων στο Teamcenter.
- Στο NX:
  - Καθορισμός διεπαφών και KPIs.
  - Δημιουργία οπτικών αναφορών κατάστασης.
- Λογική – Φυσική Διασταυρούμενη Ιχνηλασιμότητα
  - Δυναμική οπτική σύνδεση λογικών μοντέλων (Active Workspace) με φυσικά CAD μοντέλα (NX).
  - Ιχνηλασιμότητα αιτημάτων ανάλυσης σε ετερογενή περιβάλλοντα.

Αυτή η λύση παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Επικύρωση βασικών τιμών σχεδιασμού απευθείας στο NX και μεταφορά στο Teamcenter.
- Οπτική διασταύρωση μεταξύ λογικής και φυσικής αρχιτεκτονικής.
- Παρακολούθηση KPIs μέσω κεντρικής βάσης δεδομένων.
- Βελτιωμένη συνεργασία και επικοινωνία.
- Πλήρης και αξιόπιστη εικόνα της ωριμότητας προϊόντος.

- Ανάλυση επιπτώσεων και συνεχής επικύρωση.
- Απλοποιημένη τεκμηρίωση και αυξημένη εμπιστοσύνη στον σχεδιασμό.

Το **Siemens NX** σε συνδυασμό με **Teamcenter** και **Simcenter** υποστηρίζει την πλήρη ροή του **σχεδιασμού φυσικού προϊόντος** στο SDPD/MBSE, από τον ορισμό συστήματος μέχρι την επικύρωση, με κλειστό βρόχο ιχνηλασιμότητας και διαχείριση πολυτομεακής πολυπλοκότητας.

## 6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Η εργασία αυτή είναι κύρια θεωρητική και κάνει μια παρουσίαση της μεθοδολογίας MBSE με βάση κύρια το σύστημα SIEMENS NX και το περιβάλλον TEAMCENTER. Προτείνει παραδείγματα εφαρμογών για να γίνουν πιο κατανοητές οι έννοιες, αλλά η εφαρμογή τους δεν έχει υλοποιηθεί.

Προτείνεται σε μελλοντικές εργασίες να γίνει πλήρη εφαρμογή του πλαισίου εργασίας σε απλά προϊόντα, όπως αυτά που αναφέρονται στην εργασία, με χρήση σχεδίασης και ανάλυσης, σχεδίασης και Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών τμημάτων, ώστε να γίνει μια πλήρη παρουσίαση της διαδικασίας.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ροντογιάννης, Χ. (2022). *Συνεργατική Σχεδίαση με χρήση του συστήματος Active Workspace NX* (Διπλωματική εργασία).
2. Habib, M. K. (2007). *Handbook of research on advances in mechatronics and applications*. IGI Global.
3. Pahl, G., & Beitz, W. (1996). *Engineering design: A systematic approach* (2η έκδ.). Springer.
4. Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2015). *Product design and development* (7η έκδ.). McGraw-Hill.
5. Ullman, D. G. (2017). *The mechanical design process* (Vol. 6). McGraw-Hill.
6. von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. George Braziller.
7. Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2014). *Systems engineering and analysis* (5η έκδ.). Pearson.
8. Dassault Systèmes. (2020). *CATIA systems engineering – RFLP approach* [White paper]. Dassault Systèmes.
9. Dassault Systèmes. (2021). *CATIA systems engineering: Bridging the gap between requirements and 3D design*. Ανακτήθηκε από <https://www.3ds.com/catia/systems-engineering>
10. Dori, D. (2002). *Object-process methodology: A holistic systems paradigm*. Springer.
11. INCOSE. (2015). *INCOSE systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities* (4η έκδ.). Wiley.
12. Rechtin, E. (2000). *Systems architecting of organizations: Why eagles can't swim*. CRC Press.
13. Siemens Digital Industries Software. (2022a). *NX for systems engineering and requirements management* [Technical documentation]. Siemens.
14. Siemens Digital Industries Software. (2022b). *Teamcenter for systems engineering*. Ανακτήθηκε από <https://www.plm.automation.siemens.com>
15. Siemens Digital Industries Software. (2021). *Simcenter portfolio: Multiphysics simulation for systems engineering* [Technical guide]. Siemens.
16. Gausemeier, J., & Moehring, S. (2002). VDI 2206 – A new guideline for the design of mechatronic systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 35(2), 785–790.
17. Cooper, R. (1986). *Winning at new products*. Holt, Rinehart and Winston of Canada.
18. Wikipedia. (χ.χ.). *Product lifecycle*. Ανακτήθηκε από [https://en.wikipedia.org/wiki/Product\\_lifecycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle)
19. Salehi, V. (χ.χ.). *Introduction to SDPD*.
20. Friedenthal, S., Moore, A., & Steiner, R. (2014). *A practical guide to SysML: The systems modeling language*. Morgan Kaufmann.



