

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ:
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Διπλωματική Εργασία
του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του
Πανεπιστημίου Πατρών

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ του ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Αριθμός Μητρώου:
5657

Θέμα

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
SysML ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Επιβλέπων

ΚΛΕΑΝΘΗΣ ΘΡΑΜΠΟΥΛΙΔΗΣ

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:
XXX

Πάτρα, Απρίλιος 2011

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η Διπλωματική Εργασία με θέμα

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SysML ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Τεχνολογίας Υπολογιστών

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ ΚΑΦΕΤΖΗΣτου
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ**

Αριθμός Μπρώου:
5657

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα
Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών
στις
x/ x/ x

Ο Επιβλέπων
ΚΛΕΑΝΘΗΣ ΘΡΑ-
ΜΠΟΥΛΙΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ο Διευθυντής του Τομέα
ΚΛΕΑΝΘΗΣ ΘΡΑ-
ΜΠΟΥΛΙΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:

**Θέμα: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SysML ΣΤΗΝ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Φοιτητής:
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΚΑΦΕΤΖΗΣ

Επιβλέπων:
ΚΛΕΑΝΘΗΣ ΘΡΑ-
ΜΠΟΥΛΙΔΗΣ

Περίληψη

Από τα μέσα του 20ού αιώνα άρχισε να αναπτύσσεται η θεωρία της μηχανικής συστημάτων δίνοντας λύση σε αρκετά προβλήματα που παρουσιάζονταν στην παραγωγή. Μια από τις τελευταίες τεχνικές που αναπτύχθηκαν από τη θεωρία αυτή είναι η Διαγραμματική μοντελοποίηση συστημάτων. Χρησιμοποιώντας διάφορα διαγράμματα περιγράφουμε το σύστημα που μας ενδιαφέρει. Αναλύουμε τη δομή του, τις διάφορες καταστάσεις στις οποίες μπορεί να επέλθει, την συμπεριφορά του στο χρόνο, την αλληλεπίδραση που επιδεικνύει με το περιβάλλον κ.ο.κ.. Ανάμεσα στα εργαλεία που υλοποιούν την γραφική μοντελοποίηση είναι και η Systems Modeling Language (SysML) - Γλώσσα Μοντελοποίησης Συστημάτων ελληνιστί. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάμε τη χρησιμότητα της διαγραμματικής μοντελοποίησης και δει της γλώσσας Sysml στην κατασκευή ενσωματωμένων συστημάτων. Θα προσπαθήσουμε να ελέγξουμε τις δυνατότητές της αναφορικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των συστημάτων συγκεκριμένου πεδίου. Δηλαδή θα εξετάσουμε πως μπορεί η γλώσσα αυτή να περιγράψει συστατικά όπως μηκροεπεξεργαστές, αισθητήρες, ενεργοποιητές αλλά και λογισμικό. Μπορεί η SysML να αναπαραστήσει επαρκώς την

αλληλεπίδραση των δομικών αυτών στοιχείων; Επιπλέον, θα μελετηθεί η δυνατότητά της να μεταφέρει με πιστότητα και ευκρίνεια τα στοιχεία του μοντέλου σε όλους τους εμπλεκόμενους -πλεκτρολόγους, προγραμματιστές, χρήστες κ.λ.π..

Περιεχόμενα

Πρώτη Σελίδα	i
Δεύτερη Σελίδα	iii
Τρίτη Σελίδα	v
Περιεχόμενα	1
Κατάλογος Σχημάτων	5
Κατάλογος Πινάκων	12
Πρόλογος	13
1 Εισαγωγή στα συστήματα και στα μηχανοτρονικά συστήματα	16
1.1 Σύστημα	16
1.1.1 Ιστορική αναδρομή	17
1.1.2 Σύγχρονη κατάσταση	38
1.2 Μηχανοτρονικό σύστημα	38
1.2.1 Ιστορική αναδρομή	38
1.2.2 Σύγχρονη κατάσταση	39
1.3 Σύνοψη	39
1.4 Σημειώσεις	39
1.4.1 Η εξέλιξη των συστημάτων σήμερα	40
1.4.2 Σύνοψη	41
1.4.3 Μηχανοτρονικό σύστημα	41

2 Μοντελοποίηση συστημάτων	44
2.1 Εισαγωγή	44
2.2 Ιστορική αναδρομή	50
2.3 Ανάλυση διαγραμματικής μοντελοποίησης	50
2.4 Σύντομη αναφορά σε υπάρχουσες γλώσσες διαγραμματικής μοντελοποίησης	50
2.5 Αιτιολόγηση επιλογής SysML	50
2.6 Σημειώσεις	50
2.6.1 Χρησιμοποίηση μοντέλων για τον στρατηγικό σχεδιασμό της απόθεσης πυρονικών αποβλήτων.	51
2.6.2 Ακμάζουσες MBSE μεθοδολογίες	52
3 Μηχανοτρονικό σύστημα	53
3.1 Common mechatronic design methodology	56
3.2 The Future	57
3.3 Relative work	59
4 Μοντελοποίηση	60
5 Γιατί τα χρειαζόμαστε όλα αυτά.	61
6 SysML	65
7 Γλώσσα SyML	66
7.1 Εισαγωγή	66
7.2 Ιστορική αναδρομή	66
7.3 Παρουσίαση διαγραμμάτων	66
7.4 Παρουσίαση case studies	66
7.5 Σημειώσεις	66
7.5.1 Παρουσίαση διαγραμμάτων [34]	66
8 Πρώτο πεδίο εφαρμογής :	
Festo MPS®System	68
8.1 Παρουσίαση του συστήματος	68
8.1.1 Σταθμός διανομής [23] [3] [4]	71
8.1.2 Σταθμός ελέγχου [28] [3] [4]	76
8.1.3 Σταθμός επεξεργασίας [26] [3] [4]	83
8.1.4 Σταθμός αποθήκευσης [24] [3] [4]	90
8.2 Επιλογή μεθοδολογίας μοντελοποίησης	93
8.3 Μοντελοποίηση του συστήματος	93
8.3.1 Μοντέλο Σύλληψης - Conception Model	93
8.3.2 Μοντέλο Ανάλυσης - Analysis Model	93

8.3.3	Μοντέλο Υλοποίησης - Implementation Model	94
8.3.4	Μοντέλο Συστήματος Ελέγχου	94
8.4	Υλοποίηση του συστήματος	96
8.5	Έλεγχος του συστήματος ελέγχου του Festo MPS	96
9	Συμπεράσματα	98
9.1	Συμφωνούμε με τα παρακάτω	98
9.2	Σχεδίαση βάσην εξομείωσης	99
9.3	SoC, SysML and SystemC	100
9.4	The processing system paradigm	100
9.5	Ανάπτυξη εργαλείων σύνδεσης διαφορετικών επιστημονικών πεδίων και Έρευνα στο μετασχηματισμό μοντέλων από το ένα εργαλείο στο άλλο.	101
10	Προοπτικές	102
Παραρτήματα		103
A'	Festo MPS®System	104
A'.1	Μοντέλο Σύλληψης - Conception Model	104
A'.1.1	Χώρος υλοποίησης συστήματος - Contex	104
A'.1.2	Πακέτο απαιτήσεων - Requirements package	107
A'.1.3	Πακέτο δομής - Structure package	114
A'.1.4	Πακέτο λειτουργίας - Behaviour package	115
A'.2	Μοντέλο Ανάλυσης - Analysis Model	121
A'.2.1	Χώρος υλοποίησης συστήματος - Contex	121
A'.2.2	Πακέτο απαιτήσεων - Requirements package	126
A'.2.3	Πακέτο δομής - Structure package	137
A'.2.4	Πακέτο λειτουργίας - Behaviour package	148
A'.3	Μοντέλο Υλοποίησης -Design Model	161
A'.3.1	Χώρος υλοποίησης συστήματος - Contex	161
A'.3.2	Πακέτο απαιτήσεων - Requirements package	192
A'.3.3	Πακέτο δομής - Structure package	192
A'.3.4	Πακέτο λειτουργίας - Behaviour package	201
A'.4	Εξομοιωτής Festo MPS®	202
Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία		205
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία		207
Γλωσσάρι		217
Συντομογραφίες		219

Λεξικό αγγλικών όρων	221
Ευρετήριο	223

Κατάλογος σχημάτων

1.1	Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων.[8]	18
1.2	Το ρωμαϊκό υδραγωγείο Pont du gard.[6]	20
8.1	Το πλήρες σύστημα Festo MPS®	69
8.2	Το σύστημα Festo MPS®χωρίς τον τελικό σταθμό αποθήκευσης [44]	69
8.3	Οι πρώτες ύλες της γραμμής παραγωγής	70
8.4	Ο σταθμός διανομής [25]	72
8.5	Η στοίβα αποθήκευσης [27]	72
8.6	Η μονάδα μεταφοράς [22]	73
8.7	Γραφική απεικόνιση της στοίβας αποθήκευσης [3]	74
8.8	Γραφική απεικόνιση της μονάδας μεταφοράς [3]	75
8.9	Ο σταθμός ελέγχου [25]	77
8.10	Η μονάδα αναγνώρισης [28]	79
8.11	Η μονάδα ανύψωσης [28] (στη δεύτερη εικόνα εμφανίζεται ο οδηγός καλωδίων στον οποίο τοποθετούνται τα πλεκτρικά καλώδια και οι σωλήνες μεταφοράς πεπιεσμένου αέρα)	79
8.12	Σχηματική απεικόνιση της μονάδας μέτρησης [3]	80
8.13	Η μονάδα μέτρησης [28]	81
8.14	Η μονάδα κύλισης με εξοικάλυνση αέρα [28]	81
8.15	Σχηματική απεικόνιση της μονάδας κύλισης με εξοικάλυνση αέρα [3]	82
8.16	Η μονάδα κύλισης [28]	82
8.17	Ο σταθμός επεξεργασίας [25]	87
8.18	Η μονάδα διάτροψης [26]	87
8.19	Σχηματική αναπαράσταση της μονάδας διάτροψης [3] Παρατηρείται ότι το τρυπάνι κινείται με τη βοήθεια πνευματικού κυλίδου και όχι με πλεκτρικό κινητήρα όπως αναφέρεται στο κείμενο. Καταγράφαμε την διάταξη όπως αυτή τεκμηριώνεται στο [26]. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα	88

8.20 Η μονάδα ελέγχου http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/project-kits/components-modules/testing-module.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC43MTAuMzk0MQ	88
8.21 Σχηματική αναπαράσταση της μονάδας ελέγχου [3] Παρατηρείται ότι η ακίδα κινείται με τη βούθεια πνευματικού κυλίνδρου και όχι με πλεκτρομαγνητική διάταξη όπως αναφέρεται στο κείμενο. Καταγράφαμε την διάταξη όπως αυτή τεκμηριώνεται στο [26]. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα	89
8.22 Ο σταθμός αποθήκευσης [3] Παρατηρείται ότι η διάταξη μεταφοράς περιλαμβάνει βεντούζα και όχι δαγκάνα όπως αναφέρεται στο κείμενο. Καταγράφαμε την διάταξη ως συνδυασμό των [24] και [3] με σκοπό την χρησιμοποίηση εξαρτημάτων από ποικίλα επιστημονικά πεδία. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα	91
8.23 Ο σταθμός αποθήκευσης [25] Παρατηρείται ότι η διάταξη μεταφοράς κινείται σε έναν άξονα μόνο και αντί για στοίβες διαδέτει πλατφόρμες κύλισης σε αντίθεση με το κείμενο. Καταγράφαμε την διάταξη ως συνδυασμό των [24] και [3] με σκοπό την χρησιμοποίηση εξαρτημάτων από ποικίλα επιστημονικά πεδία. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα	91
A'.1 Η δομή του μοντέλου Σύλληψης	105
A'.2 Ο χώρος υλοποίησης του μοντέλου Σύλληψης	106
A'.3 Οι ρόλοι του μοντέλου Σύλληψης	106
A'.4 Η οργάνωση των απαιτήσεων στο μοντέλο Σύλληψης	108
A'.5 Οι γενικές απαιτήσεις του μοντέλου Σύλληψης	109
A'.6 Οι λειτουργικές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Σύλληψης	110
A'.7 Οι λοιπές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Σύλληψης	111
A'.8 Οι λειτουργικές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Σύλληψης	112
A'.9 Οι λοιπές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Σύλληψης	113
A'.10 Το bdd του συστήματος Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	115
A'.11 Το ibd του συστήματος Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	115
A'.12 Η οργάνωση του πακέτου λειτουργίας του συστήματος Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	116
A'.13 Οι καταστάσεις λειτουργίας του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	117

A'.14 Οι περιπτώσεις χρήσεις του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	118
A'.15 Η οργάνωση των Ενεργειών του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	119
A'.16 Οι ενέργειες του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	119
A'.17 Το αφαιρετικό διάγραμμα ακολουθίας του μοντέλου Σύλληψης	120
A'.18 Το διάγραμμα της κύριας ακολουθίας του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης	120
A'.19 Η δομή του μοντέλου Ανάλυσης	122
A'.20 Ο χώρος υλοποίησης του μοντέλου Ανάλυσης	123
A'.21 Η σχέση του συστήματος με τον χώρο υλοποίησης του στο μοντέλο Ανάλυσης	124
A'.22 Οι ρόλοι του μοντέλου Ανάλυσης	124
A'.23 Οι όψεις του μοντέλου Ανάλυσης	125
A'.24 Οι "απαριθμήσεις" του μοντέλου Ανάλυσης	125
A'.25 Η δομή των απαιτήσεων του μοντέλου Ανάλυσης	127
A'.26 Η δομή των απαιτήσεων του μοντέλου Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης	127
A'.27 Οι γενικές απαιτήσεις του μοντέλου Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο σύλληψης	128
A'.28 Οι λειτουργικές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης	129
A'.29 Οι λοιπές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης	129
A'.30 Οι λειτουργικές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης	130
A'.31 Οι λοιπές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης	131
A'.32 Οι απαιτήσεις του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης	131
A'.33 Οι απαιτήσεις του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	132
A'.34 Οι απαιτήσεις του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης	132
A'.35 Οι απαιτήσεις του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης	133
A'.36 Η πλήρωση των απαιτήσεων του μοντέλου Σύλληψης	133

A'.37Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης	134
A'.38Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	134
A'.39Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης	135
A'.40Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης	135
A'.41Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού κεντρικού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	136
A'.42Η ιεραρχική διάρθρωση των βασικών δομικών στοιχείων στο μοντέλο Ανάλυσης	138
A'.43Η ιεραρχική διάρθρωση των δευτερευόντων δομικών στοιχείων στο μοντέλο Ανάλυσης	139
A'.44Οι τεκμηριώσεις των ροών στο μοντέλο Ανάλυσης	139
A'.45Οι τεκμηριώσεις των διεπαφών στο μοντέλο Ανάλυσης	140
A'.46Το bdd του Festo Mps στο μοντέλο Ανάλυσης	140
A'.47Το ibd του Festo MPS αναφερόμενο στις πρώτες ύλες στο μοντέλο Ανάλυσης	140
A'.48Το ibd του Festo MPS αναφερόμενο στις γραμμές ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	141
A'.49Το ibd του Festo MPS αναφερόμενο στις διεπαφές στο μοντέλο Ανάλυσης	141
A'.50Το ibd του Festo MPS αναφερόμενο στην ενέργεια στο μοντέλο Ανάλυσης	142
A'.51Το bdd του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης	142
A'.52Το ibd του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης	142
A'.53Το bdd του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	143
A'.54Το ibd του σταθμού ελέγχου αναφερόμενο στις πρώτες ύλες στο μοντέλο Ανάλυσης	143
A'.55Το ibd του σταθμού ελέγχου αναφερόμενο στον έλεγχο στο μοντέλο Ανάλυσης	143
A'.56Το ibd της μονάδας αναγνώρισης στο μοντέλο Ανάλυσης .	144
A'.57Το bdd του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης	144
A'.58Το ibd του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης	144
A'.59Το bdd του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης	145
A'.60Το ibd του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης	146
A'.61Το bdd του σταθμού κεντρικού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	146
A'.62Το ibd του σταθμού κεντρικού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	147

A'.63 Οι περιπτώσεις χρήσεις του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης	149
A'.64 Το διάγραμμα καταστάσεων του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης	150
A'.65 Το διάγραμμα ακολουθίας του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης	151
A'.66 Το διάγραμμα ακολουθίας για την ενεργοποίηση του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης	151
A'.67 Το διάγραμμα ακολουθίας για την αρχικοποίηση του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης	152
A'.68 Το διάγραμμα ακολουθίας για τον τερματισμό εκκίνησης του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης	153
A'.69 Το διάγραμμα ακολουθίας για την απενεργοποίηση του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης	153
A'.70 Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης	154
A'.71 Το διάγραμμα ακολουθίας του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης	154
A'.72 Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	155
A'.73 Το διάγραμμα καταστάσεων του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	155
A'.74 Το διάγραμμα ακολουθίας του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	156
A'.75 Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης	156
A'.76 Το διάγραμμα καταστάσεων του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης	157
A'.77 Το διάγραμμα ακολουθίας του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης	158
A'.78 Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης	159
A'.79 Το διάγραμμα ακολουθίας του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης	159
A'.80 Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού ενέργειας στο μοντέλο Ανάλυσης	160
A'.81 Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού κεντρικού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης	161
A'.82Η δομή του μοντέλου Υλοποίησης	162
A'.83Ο χώρος υλοποίησης του μοντέλου Υλοποίησης	163
A'.84Οι ρόλοι του μοντέλου Υλοποίησης	163

A'.85Οι όψεις του μοντέλου Υλοποίησης	164
A'.86Τα λοιπά στοιχεία του μοντέλου Υλοποίησης	165
A'.87Οι "απαριθμήσεις" του μοντέλου Υλοποίησης	165
A'.88Η τεκμηρίωση των ροών του μοντέλου Υλοποίησης	166
A'.89Οι κατηγορίες των υπό μέτρηση μεγεθών του μοντέλου Υλοποίησης	167
A'.90Οι μονάδες μέτρησης του μοντέλου Υλοποίησης	168
A'.91Τα υπό μέτρηση μεγέθη του μοντέλου Υλοποίησης	168
A'.92Το bdd των πρώτων υλών στο μοντέλο Υλοποίησης	168
A'.93Η κατάταξη των συκευών στο μοντέλο Υλοποίησης	169
A'.94Η ιεραρχική διάρθρωση των αισθητήρων στο μοντέλο Υλοποίησης	169
A'.95Οι αναλογικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης	170
A'.96Οι μαγνητικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης	170
A'.97Οι τερματικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης	171
A'.98Οι επαγωγικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης	171
A'.99Οι χωρητικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης	171
A'.10Φι αισθητήρες κενού του μοντέλου Υλοποίησης	172
A'.10Δι αισθητήρες ανάκλασης του μοντέλου Υλοποίησης	172
A'.10Ωι αισθητήρες φωτοκύτταρου του μοντέλου Υλοποίησης .	173
A'.10Θι αισθητήρες διάχυσης του μοντέλου Υλοποίησης	173
A'.10Η ιεραρχική διάρθρωση των ενεργοποιητών στο μοντέλο Υλοποίησης	174
A'.10Φι πνευματικοί κύλινδροι του μοντέλου Υλοποίησης	175
A'.10Θι βαλβίδες χωρίς επιστροφή του μοντέλου Υλοποίησης .	175
A'.10Δι βαλβίδες μίας κατεύθυνσης του μοντέλου Υλοποίησης	176
A'.10Ωι βαλβίδες 5/3 του μοντέλου Υλοποίησης	176
A'.10Φι βαλβίδες 5/2 του μοντέλου Υλοποίησης	176
A'.11Γα πλεκτρικά ρελέ του μοντέλου Υλοποίησης	177
A'.11ΙΟι ελεγκτές πλεκτρικών βαλβίδων του μοντέλου Υλοποί- ησης	177
A'.11ΖΗ ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων μεταφοράς στο μο- ντέλο Υλοποίησης	178
A'.11Ωι μονάδες μεταφοράς με βεντούζα κενού του μοντέλου Υλοποίησης	179
A'.11ΔΙΟι μονάδες μεταφοράς με δαγκάνα του μοντέλου Υλο- ποίησης	179
A'.115Οι μονάδες αινύψωσης του μοντέλου Υλοποίησης	180
A'.116Ωι πλατφόρμες κύλισης του μοντέλου Υλοποίησης	180
A'.117Οι πλατφόρμες κύλισης με εξομάλυνση αέρα του μοντέ- λου Υλοποίησης	181

A'.11Ωι συσκευές επικοινωνίας στο μοντέλο Υλοποίησης	182
A'.11Η ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων λειτουργίας στο μοντέλο Υλοποίησης	183
A'.12Ωι μονάδες διάτροπης του μοντέλου Υλοποίησης	183
A'.12Ιι μονάδες μέτρησης βάθους του μοντέλου Υλοποίησης	184
A'.12Η ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων λογισμικού στο μοντέλο Υλοποίησης	184
A'.12Η ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων αποθήκευσης στο μοντέλο Υλοποίησης	185
A'.12Η ιεραρχική διάρθρωση των λοιπών μονάδων στο μοντέλο Υλοποίησης	186
A'.12Ωι βραχίονες στο μοντέλο Υλοποίησης	186
A'.12Ωι στοίβες στο μοντέλο Υλοποίησης	187
A'.12Ωι βάσεις στοιβών στο μοντέλο Υλοποίησης	187
A'.12Βάσεις στο μοντέλο Υλοποίησης	188
A'.12Ωι βεντούζες στο μοντέλο Υλοποίησης	189
A'.13Ωι συγκριτές στο μοντέλο Υλοποίησης	189
A'.13Ωι μονάδες πεπιεσμένου αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης	189
A'.13Ωι κινητήρες πεπιεσμένου αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης	190
A'.13Ωι πλεκτρικοί κινητήρες στο μοντέλο Υλοποίησης	190
A'.13Τα φύλτρα αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης	190
A'.13Ωι γεννήτριες κενού στο μοντέλο Υλοποίησης	191
A'.13Η δομή του Festo MPS στο μοντέλο Υλοποίησης	192
A'.13Η ιεραρχική διάρθρωση των σταθμών στο μοντέλο Υλοποίησης	193
A'.13Η δομή του σταθμού διανομής στο μοντέλο Υλοποίησης	194
A'.13Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τις πρώτες ύλες στο μοντέλο Υλοποίησης	195
A'.14Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τον έλεγχο στο μοντέλο Υλοποίησης	196
A'.14Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τη διανομή αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης	196
A'.14Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τη διανομή πλεκτρικής ενέργειας στο μοντέλο Υλοποίησης	197
A'.14Η δομή του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Υλοποίησης	198
A'.14Η δομή του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Υλοποίησης	199
A'.14Η δομή του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Υλοποίησης	200
A'.14Η γραφική διεπαφή του εξομοιωτή	203

Κατάλογος πινάκων

8.1	Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού διανομής	75
8.2	Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού ελέγχου	83
8.3	Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού επεξεργασίας	85
8.4	Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού αποθήκευσης	92
8.5	Αισθητήρες και ενεργοποιητές του Festo MPS	94

Πρόλογος

Ο μηχανικός ανέκαθεν είχε και έχει ως αποστολή την παραγωγή συστημάτων και την κατασκευή υλικών σωμάτων -με την ευρεία έννοια για την ικανοποίηση αναγκών και επιθυμιών του ανθρώπου και του κοινωνικού συνόλου. Στη σύγχρονη όμως εποχή, τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από αυξημένη πολυπλοκότητα και τα δομικά τους στοιχεία προέρχονται από πολλαπλά επιστημονικά πεδία. Το γεγονός αυτό συνδυαζόμενο με την απαίτηση για πλήρη ικανοποίηση του σκοπού παραγωγής τους, για μείωση του χρόνου παραγωγής τους, για μείωση των αποτυχιών και των δυσχερειών που παρουσιάζονται στις διάφορες φάσεις υλοποίησης καθώς και στο πέρασμα από τη μία φάση στην άλλη και τέλος λαμβάνοντας υπόψιν την απαίτηση για εύκολη βελτίωση και εξέλιξη των εν λειτουργία συστημάτων αναπτύχθηκε η έννοια του Μηχανικού Συστημάτων.

Από τα μέσα του 20ού αιώνα άρχισε να αναπτύσσεται η θεωρία της μηχανικής συστημάτων δίνοντας λύση σε αρκετά προβλήματα που παρουσιάζονταν στην παραγωγή. Μια από τις τελευταίες τεχνικές που αναπτύχθηκαν από τη θεωρία αυτή είναι η Διαγραμματική μοντελοποίηση συστημάτων. Χρησιμοποιώντας διάφορα διαγράμματα περιγράφουμε το σύστημα που μας ενδιαφέρει. Αναλύουμε τη δομή του, τις διάφορες καταστάσεις στις οποίες μπορεί να επέλθει, την συμπεριφορά του στο χρόνο, την αλληλεπίδραση που επιδεικνύει με το περιβάλλον κ.ο.κ.. Ανάμεσα στα εργαλεία που υλοποιούν την γραφική μοντελοποίηση είναι και η Systems Modeling Language (SysML) - Γλώσσα Μοντελοποίησης Συστημάτων ελληνιστί.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάμε τη χρησιμότητα της διαγραμματικής μοντελοποίησης και δει της γλώσσας SysML στην περιγραφή και κατασκευή μηχανοτρονικών συστημάτων. Θα προσπα-

θήσουμε να ελέγξουμε τις δυνατότητές της αναφορικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών. Δηλαδή θα εξετάσουμε πως μπορεί η γλώσσα αυτή να περιγράψει συστατικά όπως μηχανικά μέρη, μικροεπεξεργαστές, αισθητήρες, ενεργοποιητές αλλά και λογισμικό. Μπορεί η SysML να αναπαραστήσει επαρκώς την αλληλεπίδραση των δομικών αυτών στοιχείων; Επιπλέον, θα μελετηθεί η δυνατότητά της να μεταφέρει με πιστότητα και ευκρίνεια τα στοιχεία του μοντέλου σε όλους τους εμπλεκόμενους ανθρώπους -πλεκτρολόγους, προγραμματιστές, χρήστες κ.λ.π..

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή στα συστήματα και στα μηχανοτρονικά συστήματα Αναλύεται η έννοια του συστήματος και το επιστημονικό πεδίο των μηχανοτρονικών συστημάτων. Επιχειρείται μία ιστορική αναδρομή στην λέξη "σύστημα" και στην έννοιες που της έχουν αποδοθεί ανά τους αιώνες δίνοντας, βέβαια, μεγαλύτερη έμφαση στον 20ό αιώνα. Την περίοδο αυτή η εμφάνιση της γενικής θεωρίας συστημάτων και η ανάπτυξη πολύπλοκων εγχειριδιών δομούν το πεδίο του μηχανικού συστημάτων. Στη συνέχεια περιγράφονται οι σύγχρονες εξελίξεις αναφορικά με την κατασκευή συστημάτων. Αντίστοιχα, το ίδιο επιχειρείται και για τα μηχανοτρονικά συστήματα. Τέλος, παρατίθεται μία σύνοψη σκιαγραφώντας τη σύνδεση του μηχανικού συστημάτων με την παρούσα διπλωματική.

Κεφάλαιο 2 : Μοντελοποίηση συστημάτων Τεκμηριώνεται ο ορισμός της μοντελοποίησης συστημάτων και η χρησιμότητα αυτής στο μηχανικό συστημάτων. Παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνικής αυτής και ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια παρατίθενται οι κυριότερες μεθοδολογίες μοντελοποίησης συστημάτων με μία σύντομη ανάλυση τους. Ως λογική συνέχεια του προηγουμένου κεφαλαίου παρουσιάζονται οι κυριότερες γλώσσες μοντελοποίησης συστημάτων με τα κυριότερα στοιχεία τους τους. Επιπλέον τεκμηριώνεται η επιλογή της SysML για την εργασία αυτή.

Κεφάλαιο 7 : Γλώσσα SysML Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μία αναλυτική εισαγωγή στη SysML. Με μια σύντομη εισαγωγή αναπτύσσεται η λογική και τα δομικά στοιχεία της γλώσσας. Συμπληρωματικά, επιχειρείται ιστορική αναδρομή στη γέννηση και στην εξέλιξη της. Τέλος, παρουσιάζονται εν συντομίᾳ τα διαγράμματα τα οποία αυτή χρησιμοποιεί.

Κεφάλαιο 0

Κεφάλαιο 8 : Πρώτο πεδίο εφαρμογής : MPS System Αρχικά δίνεται μια γενική, αναλυτική, λεκτική περιγραφή του συστήματος Festo MPS και των υποσυστημάτων του. Ακολούθως, επιλέγεται η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την διαγραμματική περιγραφή και κατασκευή του Festo MPS. Στη συνέχεια παρατίθεται η σχεδίαση του συστήματος με τη γλώσσα Sysml και αναπτύσσονται τα μοντέλα που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό. Επιπλέον, αναλύεται και παρουσιάζεται το στάδιο κατασκευής και εν τέλει γίνεται ο έλεγχος του συστήματος.

Κεφάλαιο 9 : Συμπεράσματα Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την διπλωματική εργασία. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που επιβεβαιώθηκαν από την εφαρμογή της Sysml καθώς και οι διαπιστώσεις του γράφοντα από την εμπειρία της κατασκευής των συστημάτων.

Κεφάλαιο 10 : Προοπτικές Καταγράφονται οι προοπτικές της μοντελοποίησης συστημάτων και πιο συγκεκριμένα της γλώσσας περιγραφής Sysml όπως αυτές προκύπτουν από εργασίες επιστημόνων και μπχανικών καθώς και πώς μπορεί να εξελιχθούν τα συμπεράσματα της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Ολοκληρώνοντας, ακολουθούν τα παραστήματα των περιπτώσεων χρήσης όπου παρατίθενται τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν για την υλοποίησή τους και οποιαδήποτε επιπλέον πληροφορία. Ακολουθεί ελληνόγλωσση και ξενόγλωσση βιβλιογραφία -10 και 10-, γλωσσάρι 10, λίστα συντομογραφιών 10, λεξικό αγγλικών όρων 10 και ευρετήριο 10.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στα συστήματα και στα μηχανοτρονικά συστήματα

Άρχη παιδεύσεως ή τῶν ὀνομάτων ἐπίσκεψις (Αντισθένης).

Πριν προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε ανάλυση πρέπει να διασαφηνιστούν οι όροι σύστημα και μηχανοτρονικό σύστημα. Να αναζητηθεί η ιστορική τους προέλευση και η αναγκαιότητα από την οποία οδηγήθηκαν οι μηχανικοί του παρελθόντος στην υιοθέτηση των όρων αυτών. Σε ποια σημαντικά αναφέρονται οι λέξεις αυτές και πώς έχει εξελιχθεί η χρήση τους με το πέρασμα του χρόνου με σύγχρονο αποτέλεσμα τη χρήση της μοντελοποίησης για την παραγωγή τους. Οφείλουμε να κατανοήσουμε στο πληρέστερο δυνατό επίπεδο το αντικείμενο με το οποίο θα ασχοληθούμε.

1.1 Σύστημα

Μία πρώτη προσωπική προσέγγιση του όρου "σύστημα" επιχειρείται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, με αφαιρετική σκοπιά ώστε να εσωκλείσουμε την ουσία του όρου.

Ορισμός Σύστημα αποτελεί οποιοδήποτε υποκείμενο, οποιαδήποτε έννοια η οποία επιδέχεται ανάλυση και παράλληλα αναγνωρίζεται και επιχειρείτε η πολλαπλή θεώρηση της.

Συνοπτικά σύστημα μπορεί να είναι οτιδήποτε έχει εσωτερική δομή ή τουλάχιστον οτιδήποτε μπορεί να χαρακτηριστεί από εσωτερική δομή, π.χ. μία φιλοσοφική σχολή-θεωρία, το σύστημα κυκλοφορίας του αίματος στον ανθρώπινο οργανισμό, το δίκτυο διορυφόρων Gps, η τηλεόραση. Επιπλέον, πρέπει να μπορεί να αναπτυχθεί υπό διαφορετικές οπτικές γωνίες, σε διαφορετικά επίπεδα. Π.χ. το δίκτυο της Δ.Ε.Η. το οποίο σύστημα αναλύεται αναφορικά με το δίκτυο διανομής, αναφορικά με το κοινωνικό αντίκτυπο που έχει σε κάθε περιοχή, αναφορικά με τις τεχνολογίες παραγωγής ρεύματος κ.λ.π.. Συμπληρώνοντας, ένα ακόμα παράδειγμα αποτελεί η πέτρα. Αυτή αποτελεί σύστημα αν και μόνο αν ληφθούν υπόψιν η εσωτερική της μοριακή δομή και η αλληλεπίδραση της με το περιβάλλον σύμφωνα με το οποίο αναλύεται η χρήση της στο φυσικό (π.χ. στήριξη φυτών κ.λ.π.) αλλά και στο ανθρώπινο (π.χ. κατασκευή σπιτιών, εμπόδιο στη διέλευση οχημάτων κ.λ.π.) επίπεδο.

Τονίζεται βέβαια το γεγονός ότι ως συστήματα ο μηχανικός και συγκεκριμένα ο μηχανικός συστημάτων ενδιαφέρεται για υλικά ή άνλα συστήματα, τεχνολογικώς κατασκευάσιμα. Δηλαδή για συστήματα τα οποία εφευρίσκονται από τον άνθρωπο και χρησιμοποιούνται για την εκπλήρωση αναγκών και επιθυμιών προσωπικών και κοινωνικών. Από και στο εξής θα χρησιμοποιηθεί ο ορισμός αυτός μέχρι να συγκεκριμενοποιηθεί για τον μηχανικό και για τη σύγχρονη εποχή. Άλλα ας δούμε την ιστορική εμφάνιση του όρου.

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Ιστορικά, συστήματα υπήρχαν από τη στιγμή που ο άνθρωπος χρησιμοποίησε το λογισμό του για να κατασκευάσει εργαλεία και να ερμηνεύσει το περιβάλλον του. Δηλαδή, με μεθόδους συγκεκριμένες και όχι ασυνείδητα - π.χ. τυχαία ανακάλυψη της φωτιάς, τυχαία ανακάλυψη του τροχού μετά την κύλιση ενός βράχου σε πλαγιά βουνού -, με μεθόδους οργανωτικές και συστηματικές λοιπόν άρχισε να κατασκευάζει συστήματα.

Αρχαιότητα

Αρχικά τα συστήματα αυτά και οι αντίστοιχες χρησιμοποιούμενες

Eισαγωγή στα συστήματα και στα μηχανοτρονικά συστήματα

μέθοδοι βρίσκονταν σε πρωτόλεια ανάπτυξη και κυρίως χαρακτηρίζονταν από την απαίτηση για χειρωνακτική εργασία. Χαρακτηριστικά, είχε κατασκευάσει τόξα και βέλη πολλαπλών ειδών τον 62 αιώνα π.Χ. [12] και είχε ανακαλύψει μεθόδους για την ύφανση ρούχων τον 34 αιώνα π.Χ. [9].

Κατά την πάροδο των αιώνων, με την ανάπτυξη των επιστημών και την εξβάθυνση της ανθρώπινης σκέψης κατασκεύασε περίτεχνα οικοδομήματα, μικρού και μεγάλου μεγέθους στα οποία βρίσκει άρτια εφαρμογή η μηχανική. Παραδείγματα αποτελούν ο Ναός του Παρθενώνα, η Μεγάλη Πυραμίδα του Χέοπτα, οι τριάρεις αλλά και ο μηχανισμός των Αντικυθήρων [1]. Χαρακτηριστικά επιπλέον παραδείγματα αποτελούν τα επονομαζόμενα 7 θαύματα της αρχαιότητας [2] αλλά και οι εφευρέσεις του Αρχιψήδην.



Σχήμα 1.1: Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων.[8]

Παράλληλα ανέπτυξε θεωρίες για τον κόσμο και την ανθρώπινη κοινωνία, οι οποίες αποτελούν πλήρη φιλοσοφικά συστήματα. Μέσα σε

Κεφάλαιο 1

αυτά ο κόσμος μελετάται ως Όλον με τα στοιχεία τα οποία τον αποτελούν να βρίσκονται σε αδιάκοπη αλληλεπίδραση. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα Ορφικά κείμενα, την αντίληψη των Πυθαγορείων για το σύμπαν, τις εργασίες του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη για κάθε τι επιστητού, τη βουδιστική και την αρχαία κινέζικη φιλοσοφία (I Ching -Το βιβλίο των αλλαγών). Τονίζεται, βέβαια, ότι η λέξη "σύστημα" ως αυτούσια λέξη δεν απαντάται στα αναφερθέντα κείμενα¹.

Στο σημείο αυτό παραθέτουμε τον ορισμό της λέξης σύστημα, όπως αυτός διαμορφώνεται αυτή τη χρονική περίοδο. Ως λέξη αποτελεί το ουσιαστικό σταράγωγο του σύνθετου ρήματος "συνίσταμαι" [59] το οποίο ακολουθώς αποτελείται από το πρόθεμα "συν" και τη ρίζα "ίστημ".

Σύμφωνα με το ετυμολογικό λεξικό του Hofmann [47] έχουμε την εξής ετυμολογία :

συν : ομού μετά τινός, ομού, μαζί
ίστημ (δωρ. ίσταμ) : τοποθετώ τι όρθιον

Αντίστοιχα το αγγλο-ελληνικό λεξικό του Πανεπιστημίου Tuft [43] παραθέτει τα εξής :

συνίστημι : A.II combine, associate, unite. A.III put together, organize, frame. A.IV bring together as friends, introduce or recommend one to another. Pass : B.II in hostile sense, to be joined, of battle. B.II.2 of persons, meet in fight, be engaged with. B.III of friends, form a league or union, band together. B.IV to come or be put together, of parts. B.V to be compact, solid, firm².

¹Γνωρίζουμε το ατεκμηρώτο της δήλωσης αυτής. Κατά την προσωπική ανάγνωση μερικών βιβλίων από τα αναφερθέντα και τη διασταύρωση με τις μεταφράσεις των κινέζικων κειμένων στα αγγλικά, σε συνδυασμό με το πνεύμα της φιλοσοφίας που τα διακατέχει, δηλώνουμε ότι η λέξη "σύστημα" δεν έχει αναγνωρισθεί στα κείμενα αυτά. Το λόγο μπορούμε να τον αναζητήσουμε στην έλλειψη αναγκαίτητας για αυτήν. Η σκέψη τους ίσως να ήταν άρρωστα συνδεδεμένη με την έννοια αυτή, σε αντίθεση με το σύγχρονο πολιτισμό ο οποίος αναγκάστηκε να την ανακαλύψει για να λύσει αρκετά προβλήματα.

²[μετ. A.II συνδυάζω, συσχετίζω, ενώνω. A.III βάζω μαζί, οργανώνω, πλαισιώνω.

Eισαγωγή στα συστήματα και στα μηχανοτρονικά συστήματα

Παραπορείται ότι ο άνθρωπος εσωκλείει στη λέξη σύστημα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της μηχανικής συστημάτων. Εισάγει το δίπολο μέρος - όλο και την αδυναμία μελέτης ενός υποκειμένου ανεξάρτητα από το περιβάλλον του. Μελετάει συστήματα ως τμήματα τα οποία συνδυάζονται, λειτουργούν μαζί και αποτελούν ένα στέρεο, πλήρες για το σκοπό του, σύνολο. Εν τέλει, περιγράφεται με άλλους όρους η ανάλυση ενός συστήματος σε υποσυστήματα.

Ρώμη έως Μεσαιώνα

Καθώς ταξιδεύουμε στο χρόνο από τη ρωμαϊκή στη μεσαιωνική εποχή, ο μηχανικός συνεχίζει στο ίδιο μοτίβο παραδίδοντας συστήματα όπως τα ρωμαϊκά υδραγωγεία, οι βυζαντινές εκκλησίες και τα κτίρια γοτθικού χαρακτήρα του μεσαιώνα. Συνεπώς, οι πρώτοι μηχανικοί συστημάτων αναγνωρίζονται οι αρχιτέκτονες και οι πολιτικοί μηχανικοί, όπως παραδέχεται και η INCOSE [48].

Κατά την περίοδο αυτή αναπτύσσονται κατά κόρον τα μαθηματικά, η οπτική και η μηχανική κυρίως μέσω των οχυρωματικών έργων, των κάστρων και των πολεμικών μηχανών. Παράλληλα γνωρίζουν άνθηση η αστρονομία και η ανατομία οι οποίες διαπραγματεύονται τα δυσκολότερα συστήματα της εποχής -τα ουράνια σώματα και τον οργανισμό του ανθρώπου και των έμβιων όντων.



Σχήμα 1.2: Το ρωμαϊκό υδραγωγείο Pont du gard.[6]

A.IV συνδέω δύο ανθρώπους ως φίλους, τους συστήνω μεταξύ τους. Παρελθοντικά : B.II με εχθρική έννοια, μπαίνω σε μάχη. B.II.2 αναφορικά με ανθρώπους, συνέρχονται σε μάχη. B.III αναφορικά με φίλους, φτιάχνω ομάδα ή ένωση. B.IV τοποθετώ τμήματα/κομμάτια μαζί]

Συνεπακόλουθα, η λέξη "σύστημα" την περίοδο αυτή συνδέεται άρχικα με την αστρονομία και την ανατομία. Το σύστημα ταυτίζεται με ολόκληρη τη δημιουργία, με το σύμπαν ως σύνολο πλανητών και αστρικών σωμάτων -στα ύστερα λατινικά- αλλά και με τον έμβιο οργανισμό ως το σύνολο των ζωτικών λειτουργιών του [59].

Επισημαίνεται ότι η λέξη "σύστημα", την εποχή αυτή, μπορεί να συνδυαστεί με τη θεοκρατική φιλοσοφική αντίληψη της εποχής, αφού αυτή πραγματεύεται κάθε πτυχή του κόσμου και της κοινωνίας. Πραγματεύεται τον κόσμο ως μία και μόνη οντότητα, του θέτει κανόνες και νόρμες : ο κόσμος είναι πεπερασμένος και φθαρτός, η σωτηρία της ψυχής είναι ο απώτερος σκοπός του ανθρώπου, η επιστήμη και η κοινωνική ζωή είναι υποτελείς στη θεολογία [69].

Μεσαιώνας έως Αναγέννηση

Κατά την περίοδο αυτή καθιερώθηκε ο σύγχρονος επιστημονικός τρόπος σκέψης, ο βασιζόμενος στην παρατήρηση, την ανάπτυξη θεωρίας και εν τέλει την επαλήθευση μέσω πειραμάτων.

Για να συγκεκριμενοποιήσουμε την αναφορά μας στην περίοδο αυτή πρέπει να αναφέρουμε τις δύο μεγάλες σχολές που αναδύθηκαν και τοποθέτησαν τις βάσεις για την σύγχρονη επιστημονική μέθοδο. Πρώτη είναι ο ορθολογισμός με κυριότερο εκπρόσωπο τον τον Καρτέσιο. Καθιέρωσε τον ορθολογισμό και τον σκεπτικισμό και ανέπτυξε μία μέθοδο σκέψης [33] με βασικά χαρακτηριστικά της να αποτελούν η διαιρέση των δυσκολιών που συναντά κανείς στο λογισμό του σε μικρότερα μέρη και η συλλογιστική διάταξη από τα απλούστερα στα σύνθετα³. Με

³Τα "αξιώματα" της μεθόδου του είναι τα εξής [32] :

- Να μην προσλαμβάνεται τίποτα για αληθινό αν δεν είναι ξεκάθαρα αληθινό, αποκλείοντας τις προκαταλήψεις.
- Κάθε δυσκολία να διαιρείται σε μικρότερες μέχρι να μπορεί να λυθεί.
- Να θεωρούνται πρώτα τα απλούστερα και στη συνέχεια να γνωρίζονται τα συνθετότερα υποθέτοντας πως υπάρχει κάποια τάξη ανάμεσά τους.
- Τέλος, να επανεξετάζεται όλο το αποτέλεσμα με σκοπό να μην παραληφθεί τίποτα.

τη σχολή αυτή οφείλεται να αναφερθεί και η εργασία του Γαλιλαίου του οποίου η αναλυτική μέθοδος συμβαδίζει με το δεύτερο αξίωμα της Μεθόδου του Καρτέσιου. Η δεύτερη είναι ο εμπειρισμός ο οποίος δηλώνει ότι η πηγή και τα συστατικά της ανθρώπινης γνώσης προέρχονται από την εμπειρία που αποκτάται μέσω των αισθήσεων, είτε εξωτερικών -ακοή, θραστή, αφή, οσμή, γεύση- είτε εσωτερικών -πόνος, ευχαρίστηση-.

Κόπτονται τα δεσμά της επιστήμης και ανεξαρτητοποιείται από την Εκκλησία και τον έλεγχο αυτής. Με βάση τον πειραματισμό και τη φιλοσοφική και μαθηματική ανάλυση επιχειρείται να καταστεί ο κόσμος κατανοητός στον ανθρώπινο λογισμό με έννοιες αντίθετες των δοξασιών και των προκαταλήψεων. Δεν υπάρχει το ά-γνωστο. Ότι δεν έχει εξηγηθεί αναμένει να ερμηνευθεί. Τα πάντα υπάγονται σε κανόνες και νόρμες καθορίσμενες από τον ανθρώπινο νου.

Βιομηχανική επανάσταση έως σήμερα

Η απελευθέρωση της επιστήμης ολοκληρώνεται θεωρητικά μέσα στον 19ο αιώνα⁴. Ολοκληρώνεται με τη δημοσίευση της εξελικτικής θεωρίας [30] του Δαρβίνου⁵ και των εργασιών αυτού και του Alfred R. Wallace⁶ [82]. Μέσω αυτών οι φυσικοί νόμοι του Νεύτωνα αποτελούν μέρος της ίδιας της ανθρώπινης ζωής. Γίνονται δηλαδή κοινά της καθημερινότητας αφού ο άνθρωπος πλέον μελετά τη ζωή του έχοντας ως εργαλεία το λογισμό, την παρατήρηση και την πρόβλεψη τη σύμφωνη με τους φυσικούς νόμους [69].

Από το 19 αιώνα αρχίζει η επίσημη ιστορία της μηχανικής συστημάτων. Την περίοδο αυτή παρουσιάζονται οι πρωταρχικές θεωρητικές συλλήψεις και πρακτικές πάνω στη θεωρία συστημάτων και τοποθετούνται οι βάσεις για τον επιστημονικό τομέα που σήμερα ονομάζουμε μηχανική συστημάτων. Διαφαίνεται η διεπιστημονικότητα της θεωρίας αφού μπορούμε να εντοπίσουμε ρίζες της στη μηχανική, στη βιολογία

⁴Ολοκληρώνεται λοιπόν θεωρητικά αφού οι ιδέες του διαχωρισμού θροποκείας και επιστήμης πρέπει να γίνουν κοινά αποδεκτές από ολόκληρο τον κόσμο, γεγονός το οποίο δεν έχει επιτευχθεί ούτε στη σύγχρονη εποχή.

⁵Βιβλιογραφία του Δαρβίνου : <http://darwin-online.org.uk/biography.html>

⁶Βιβλιογραφία του Wallace : <http://wallacefund.info/biography-wallace>

και στη διοίκηση επιχειρηματικών οργανισμών. Θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε τα κοινωνικά σημεία στην εξέλιξη και στη διαμόρφωση της θεωρίας αυτής⁷.

Διαμορφώνεται η ιδέα στο συλλογικό φαντασιακό των ανθρώπων ότι για να ερμηνευθεί ο κόσμος, να προχωρήσουμε στην επεξεργασία πιο πολύπλοκων συστημάτων από τα ήδη θεωρούμενα και να λυθούν τα προβλήματα που παρουσιάζονται στην επιστήμη, είναι απαραίτητη μία καινούρια θεωρία σύμφυτη με τη γενικευμένη, ολιστική θεώρηση του κόσμου. Συνεπώς δεν αρκεί πρώτον, η αναλυτική μελέτη των φαινομένων που εισίγαγε ο Καρτέσιος σύμφωνα με τον οποίο για να λυθεί ένα πρόβλημα έπρεπε να διαιρεθεί σε μικρότερα επιλύσιμα προβλήματα και δεύτερον, η απομόνωση του υπό μελέτη υποκειμένου από το περιβάλλον δράσης του. Παράλληλα, αρχίζουν να εμφανίζονται συστήματα πολύπλοκα -που αφορούν το μηχανικό- που περιλαμβάνουν παραμέτρους κοινωνικούς, πολιτικούς εκτός από παραμέτρους καθαρά τεχνικούς ("μηχανικούς"). Καταγράφονται τα προβλήματα στην υλοποίηση των συστημάτων αυτών, η ανεπάρκεια των εφαρμοζομένων τεχνικών σχεδίασης και παραγωγής με απώτερη συνέπεια την τάχιστη εξέλιξη των συστημάτων και της θεωρίας σχεδίασης αυτών και με τελικό αποτέλεσμα τον ολοκληρωμένο επιστημονικό κλάδο του μηχανικού που γνωρίζουμε στην εποχή μας.

Η τελευταία αυτή περίοδος μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις με κριτήριο την ωρίμανση, τη μεθοδολογία και τις πρακτικές που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό και την υλοποίηση των συστημάτων [55, 48]. Η πρώτη επεκτείνεται από το 19ο αιώνα μέχρι το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η δεύτερη περιλαμβάνει το δεύτερο παγκόσμιο καθώς και την περίοδο του ψυχρού πολέμου και τέλος η τρίτη αναφέρεται στη σύγχρονη μας εποχή ξεκινώντας από το 1990.

⁷Δεν ισχυρίζόμαστε ότι η καταγραφή αυτή της ιστορίας είναι πλήρης. Πραγματικά, δεν είναι αυτός ο σκοπός που επιδιώκεται. Η προσπάθειά μας επικεντρώνεται στη διαύγαση της λέξης σύστημα και της ιστορικής εξέλιξης της θεωρίας συστημάτων και την διαμόρφωση του μηχανικού συστημάτων. Για μια πιο λεπτομερή ιστορική ανάλυση παρακαλείσθε να ανατρέξετε στα συγγράμματα του Ludwig Von Bertalanffy [81] και [80, κεφάλαιο: εισαγωγή], του Strijbos [71], των Pahl, Beitz και Wallace [60, νότια 1.1.2], του Mindell [55], των Gibson και Scherer [38, ενότητα 1.8], του Buende [18] και του Lars Skytner [69].

1800 έως δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο

Συνοπτικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι το μονοπάλιο της αρχιτεκτονικής και της αστρονομίας πάνω στα πολύπλοκα συστήματα καταρρίπτεται και μερίδιο διεκδικούν πλέον και άλλοι επιστημονικοί τομείς. Δύο γεγονότα στιγματίζουν την περίοδο αυτή. Αφενός, η ανεξαρτητοποίηση της επιστημονικής σκέψης από τη θρησκευτική καθοδήγηση και η παγίωση των μεθόδων που αναπτύχθηκαν τους προηγούμενους αιώνες λαμβάνει καθολικές διαστάσεις στην Ευρώπη και την Αμερική. Το αποτέλεσμα της παγίωσης αυτής είναι η περαιτέρω ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης και η εμφάνιση σημαντικών θεωριών σε διάφορους τομείς όπως η μηχανική, η βιολογία και η ψυχολογία. Αφετέρου, με τη συντέλεση της βιομηχανικής επανάστασης (1750 - 1850) και τη διαπίστωση για τη θετική αλλαγή που επέφερε αυτή στον τρόπο διαβίωσης, οδηγούμαστε στην κατασκευή ολοένα και πολυπλοκότερων μηχανών-συστημάτων σε ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες. Τα συστήματα που κυριαρχούν την περίοδο αυτή είναι το σιδηροδρομικό δίκτυο και το δίκτυο τηλεφωνικών επικοινωνιών της AT&T, οι μηχανές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και το αντίστοιχο δίκτυο που εγκαθίστα ο Thomas Edison καθώς και οι γραμμές παραγωγής των εργοστασίων του Henry Ford.

Λόγω κυρίως των δύο προαναφερθέντων γεγονότων διαμορφώνονται δύο τάσεις οι οποίες δομούν την έννοια του συστήματος και το πεδίο του μηχανικού. Οι τάσεις αυτές, ανεξάρτητες αρχικά, θα μας απασχολήσουν καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου αυτής αλλά και μέχρι τη σύγχρονη εποχή. Θα προσπαθήσουμε να τις ιστορίσουμε παραλληλα -διατηρώντας την χρονική δομή αυτής της ενότητας- και να δείξουμε πως αλληλοεξαρτώνται και χαρακτηρίζουν το πεδίον του μηχανικού συστημάτων. Οι δύο αυτές λοιπόν τάσεις είναι οι εξής :

- η προσπάθεια για την ανάπτυξη μιας ολιστικής θεωρίας της επιστήμης και της ανθρώπινης γνώσης. Κατά την προσπάθεια αυτή, διακρίνονται κοινά στοιχεία μεταξύ διαφορετικών επιστημονικών πεδίων για τα οποία προσπαθείται να αναχθούν σε καθολικά στοιχεία θέτοντας τις βάσεις για τη θεωρία συστημάτων.
- η προσπάθεια για βελτίωση της παραγωγής και συγκεκριμένα της ποιότητας των τεχνολογικών προϊόντων και της διαδικασίας παραγωγής αυτών.

Ολιστική θεώρηση Οι πρωταρχικές αναφορές για μία ολιστική θεώρηση του κόσμου, διαφορετική από την κλασσική επιστήμην προέρχονται από πεδία θεωρητικών επιστημών όπως της ιστορίας, της κοινωνιολογίας και της φιλοσοφίας αλλά και από τις θετικές επιστήμες όπως η βιολογία.

Hegel Αρχικά, αναφέρεται η παρατήρηση του D. C. Phillips σύμφωνα με τον οποίο [63, σελ. 5] και τον Stafford Beer οι ιδέες του Hegel⁸ σχετίζονται με τη θεωρία συστημάτων και προετοιμάζουν το έδαφος για αυτήν. Σε αυτό συνηγορεί και ο Von Bertalanffy στην εργασία του για την ιστορική εξέλιξη των συστημάτων [81]. Ο Hegel χρησιμοποιεί τον όρο "Απόλυτο" ("Absolute") για να δηλώσει τον κόσμο όλο και κάθε τι υπαρκτό. Θεωρεί το Απόλυτο, τον ίδιο τον κόσμο ως ένα σύστημα τα μέρη του οποίου αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ή σχετίζονται οργανικά. Δίλωνε ότι αν ένα μέρος απομονωθεί από το σύστημα τότε αλλάζει η φύση του και δεν μπορούμε δια αυτού να μελετήσουμε το ίδιο το σύστημα. Συνεπώς η πραγματικότητα και ο κόσμος δεν μπορούν να μελετηθούν μόνο με την ανάλυση των μερών τους αλλά οφείλεται να ληφθούν υπόψιν και οι σχέσεις και αλληλεπιδράσεις των στοιχείων από τα οποία αποτελούνται και κυρίως με τις καινούριες ιδιότητες που τα μέρη αποκτούν όταν εισέλθουν στο ευρύτερο πεδίον του συστήματος του υποκειμένου προς μελέτη.

Bogdanov Επίσης ο Ρώσος φιλόσοφος και επιστήμονας Alexander A. Bogdanov⁹ με το έργο του "Tektologiya: vseobschaya organizatsionnaya nauka" του 1922 παρουσίασε μία πρώτη σύλληψη πάνω στη θεωρία συστημάτων¹⁰. Ο Bogdanov χρησιμοποίησε τη λέξη tektology για να περιγράψει τη φιλοσοφική του θεωρία και με την οποία προσπαθεί να καταργήσει τη διαχωριστική γραμμή μεταξύ φιλοσοφίας, θετικών και ανθρωπιστικών επιστημών [54]. Ο ίδιος περιγράφει τη λέξη "tektology" ως μία γενικευμένη μελέτη των κανόνων οργάνωσης κάθε στοιχείου της φύσης, σκέψης και πράξης. Προσπαθεί να συστηματοποιήσει της

⁸Βιογραφία του Hegel : <http://www.iep.utm.edu/hegelsoc/#H1>

⁹Βιογραφία του Smuts : http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Alexander_Bogdanov

¹⁰Το έργο αυτό εκδόθηκε στα ρώσικα με τίτλο "Tektologiya: vseobschaya organizatsionnaya nauka" με τον πρώτο τόμο να παρουσιάζεται το 1913, το δεύτερο το 1917 και ο τρίτος και τελευταίος το 1922. Ακολούθησε η γερμανική μετάφραση το 1926-28 και εν τέλει η αγγλική "Essays in tektology : the general science of organization" [15] την οποία και έχουμε υπόψιν μας.

τεχνικές οργάνωσης ώστε αυτές με τη σειρά τους να αναδείξουν τη δομική συγγένεια μεταξύ ετερογενών φαινομένων, και να ανακαλύψει κοινούς νόμους στα διάφορα πεδία γνώσης [36]. Δεν χρησιμοποιεί τη λέξη "σύστημα" αλλά τη λέξη "συγκρότημα" ("complex" στην αγγλική έκδοση) με την οποία περιγράφει το συνδυασμό συστατικών σύμφωνα με κάποια δομή, τα οποία συστατικά βρίσκονται σε αλληλεπίδραση. Υποστηρίζει ότι ένα συγκρότημα μπορεί να αποτελεί συστατικό για ένα άλλο, δηλαδή υποστηρίζει την ανάλυση των συγκροτημάτων σε ολοένα και απλούστερα συστατικά. Τέλος, υποδεικνύει τη σημαντικότητα της αλληλεπίδρασης των επιμέρους συστατικών με τη φράση του "Το όλον διαχωρισμένο στα συστατικά του είναι μικρότερο από το συνδυασμό των μερών του". Εννοεί ότι το όλον το οποίο δεν μπορεί να κρατήσει τη δομή του -τις σχέσεις δηλαδή μεταξύ των μερών του- υπολείπεται από το άθροισμα των μερών του με τις μεταξύ τους σχέσεις. [36].

Haldane Αρχικά ψήγματα της θεωρίας συστημάτων μπορούν να αναζητηθούν και στη βιολογία. Αναφορά γίνεται από τον D. C. Phillips στο [63, σελ. 8] στον J.S. Haldane¹¹ (1860 - 1936) ο οποίος παρατίθεται ότι η μηχανιστική αντίληψη του αιτίου-αποτελέσματος καθώς και η αναλυτική μέθοδος της διαίρεσης σε μέρη για τη μελέτη ενός υποκειμένου, δεν επαρκούν για τη μελέτη των σύγχρονων νεο-ανακαλυφθέντων φαινομένων που υπάγονται στην βιολογία, μοριακή βιολογία και στη φυσιολογία. Ο ίδιος στο [42, σελ. 33] γράφει

What is true of the organism and its surroundings looked at as wholes in relation to one another, applies of course equally when the organism is looked at as made up of a number of separate parts. These parts stand to one another and to the surroundings, not in the relation of cause and effect, but in that of reciprocity. The parts of an organism and its surroundings thus form a system, any one of the parts of which constantly acts on the rest, but only does so, qua part of the system, in so far as they at the same time act on it.¹²

¹¹Βιογραφία του J.S. Haldane : <http://www.oxfordshireblueplaques.org.uk/plaques/haldane.html>

¹²Μετάφραση στα ελληνικά : [σ.τ.ψ. Ο Haldane, παρατηρώντας τους έμβιους οργανισμούς και παραθέτοντας ως παραδείγματα το σκουλόκι που επιλέγει με προσοχή τα φύλλα με τα οποία καλύπτει την τρύπα του και την ανάπλαση κομμένων μερών από το σώμα της σαλαμάνδρας, καταλήγει στο γεγονός ότι οι έμβιοι οργανισμοί και

C. Smuts Τον Haldane ακολουθούν και άλλοι όπως οι C. Lloyd Morgan, Edmund Montgomery, E. R. Russell και ο C. Smuts. Ο τελευταίος φιλοσοφώντας πάνω στον κόσμο και στη φύση παρατηρεί το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά μιας οντότητας, ενός συστήματος δεν μπορούν να μελετηθούν τηματικά, αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι αποτελούν μέρος ενός συνόλου, ενός όλου [71, ενότητα : 31.1 Systems science] [53]. Θέλοντας να εκφράσει την θεώρηση αυτή χρησιμοποιεί τη λέξη "ολισμός" (holism στα αγγλικά) η οποία προέρχεται από την ελληνική λέξη "όλος" και αναφέρεται στο βιβλίο του "Holism and evolution" εκδοθέν το 1926 [70].

Μέχρι τώρα παραθέσαμε τους αρχικούς εμπνευστές της θεωρίας συστημάτων, τους παππούδες της. Στις αρχές του 20ού ου αιώνα αρχίζει να διαμορφώνεται παράλληλα από διάφορους ερευνητές η θεωρία συστημάτων, η απόρριψη της μηχανιστικής αντίληψης και η κατάργηση της μελέτης των μερών ενός συστήματος όντας σε απομόνωση.

Bertalanffy Πρώτος λόγος γίνεται για τον Karl Ludwig von Bertalanffy¹³, ο οποίος ξεκινώντας ως βιολόγος παρατηρησε και αναζήτησε περαιτέρω την ύπαρξη γενικών νόμων οργάνωσης και έκφρασης μεταξύ διαφόρων επιστημονικών πεδίων. Αναλυτικότερα, παρατηρεί - όπως είχαν πράξει μέχρι ενός σημείου και διάφοροι προκάτοχοί του όπως ο Köhler, ο Lotka και ο Volterra [80, σελ. 11] [81, σελ. 412] - παρατηρεί, λοιπόν, ότι με τις σύγχρονες αντιλήψεις δεν μπορούν να εξηγηθούν διάφορα φαινόμενα της βιολογίας και εισάγει την έννοια του "ανοιχτού συστήματος" ("open system") και εξελίσσει αυτή της "οργανισμικής"¹⁴

το συγκεκριμένο περιβάλλον στο οποίο ζουν βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και οι ίδιοι οργανισμοί επιδεικνύουν τη συγκεκριμένη συμπεριφορά μόνο και μόνο επειδή βρίσκονται στο συγκεκριμένο περιβάλλον.] Η θεώρηση του οργανισμού και του περιβάλλοντος του ως ένα συμπεριλαμβανομένων και των μεταξύ τους σχέσεων, εφαρμόζεται ισοδύναμα και στον ίδιο τον οργανισμό θεωρούμενος ότι αυτός απαρτίζεται από ξεχωριστά μέρη. Μεταξύ των μερών αυτών και μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντος υπάρχουν σχέσεις όχι αιτίου-αποτελέσματος αλλά αμοιβαίας αλληλοπάθειας. Συνεπώς τα μέρη του οργανισμού και του περιβάλλοντός του αποτελούν σύστημα με το κάθε μέρος του οποίου να δρα πάνω στα υπόλοιπα, και δρα μόνο και μόνο όντας μέρος του συστήματος αυτού, σε τέτοια έκταση που υποδιλώνεται από την ταυτόχρονη επίδραση των υπολοιπών μερών πάνω του.

¹³Βιογραφία του Bertalanffy : <http://www.bertalanffy.org/bertalanffy/>

¹⁴Η αντίληψη αυτή αναπτύχθηκε αρχικά στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ού. Αναφέρεται στην πεποίθηση αρκετών βιολόγων της εποχής ότι η μηχανιστική αντίληψη - η αντίληψη δηλαδή ότι οι βιολογικές διεργασίες και τα αντίστοιχα

(“oragnismic”) αντίληψης. Το ”ανοιχτό σύστημα” έρχεται σε αντιδιαστολή με το κλειστό αφού επιτρέπει τη συνεχή ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος. Εξάλλου το κλειστό σύστημα αποτελεί εξειδίκευση του ανοιχτού θέτοντας τις ροές αυτές ως μηδενικές. Από την άλλη η οργανισμική αντίληψη έρχεται σε αντιδιαστολή με τη μηχανιστική. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι ένα σύστημα για να μελετηθεί υποδιαιρείται σε μέρη, η πρώτη αντίληψη, η οργανισμική, τονίζει την ανάγκη να ληφθούν υπόψιν οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των μερών. Η μηχανιστική υποστηρίζει ότι από τη μελέτη των μερών και μόνο μπορούμε να κατανοήσουμε το σύστημα στο σύνολο του.

Αναλυτικότερα, από το 1930 ο Bertalanffy σταδιακά οδηγείται και διαμορφώνει τη γενική θεωρία συστημάτων [81, σελ. 411]. Σύμφωνα με τον ίδιο ([80, σελ. 13]) αρκετά φαινόμενα της βιολογίας και των κοινωνικών επιστημών μπορούν να μελετηθούν με μαθηματικές εκφράσεις και μοντέλα, τα οποία δεν αναφέρονται σε έννοιες φυσικό-χημικές. Η ομοιότητα των μοντέλων αυτών συσχετίζόμενα με τα θέματα της τάξης, της οργάνωσης, της γενίκευσης κ.ά. έδωσε τις πρώτες νύξεις για μία γενικής θεωρίας συστημάτων.

Συστηματική παραγωγή Εκτός των προσπαθειών για την ανάπτυξη μιας ολιστικής, γενικής θεωρίας, την περίοδο αυτή γίνονται παράλληλα προσπάθειες για τη βελτίωση των μηχανών και των μεθόδων παραγωγής. Οι προσπάθειες αυτές αποτελούν το δεύτερο πόλο στη διαμόρφωση της θεωρίας συστημάτων και των μεθόδων για την ανάπτυξη αυτών.

Ford και Edison Οι μηχανικοί, κατασκευαστές και βιομήχανοι διαπιστώνουν ότι πλέον τα συστήματα έχουν αλλάξει. Δεν αποτελούν απλές

φαινόμενα μπορούν να αναχθούν σε φυσικό-χημικές διεργασίες - δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε όλα τα προβλήματα της βιολογίας. Επιπλέον, η ίδια η φύση της μηχανιστικής (καρτεσιανής) αντίληψης δεν είναι απαραίτητη στη βιολογία αφού έχουν αναπτυχθεί επιτυχώς βιολογικές θεωρίες που δεν συνδέονται με φυσικό-χημικές διεργασίες. Τέλος, οι υποστηρικτές της οργανισμικής αντίληψης δηλώνουν ότι οι ζώντες οργανισμοί δεν μπορούν να μελετηθούν ως απλά σύνολα μερών. Τα μέρη από τα οποία αποτελούνται κυριαρχούνται όντως από φυσικό-χημικές διεργασίες, αλλά τα μέρη αυτά όντας μέρη του οργανισμού δεν μπορούν να μελετηθούν εν απομονώσει, επειδή οι αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των μερών προσδίδουν επιπλέον ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία οφείλεται να μελετηθούν και να εξηγηθούν [57, σελίδες 327-329].

μηχανές αποκομμένες θεωρητικά και λειτουργικά από το περιβάλλον. Στα συστήματα υπεισέρχονται στοιχεία που δεν ανήκουν στη σφαίρα της μηχανικής, που δεν ανήκουν στον ίδιο γεωγραφικό χώρο. Οι σιδηροδρομικές μεταφορές περιλαμβάνουν, εκτός από τις γραμμές και τα τραίνα, γέφυρες, σήραγγες καθώς και εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό, το οποίο λαμβάνεται τελέον ως παραγόντας στην κατασκευή. Ο Henry Ford προσπαθεί να περιγράψει τη νέα μεθοδολογία παραγωγής -τη γραμμή παραγωγής- ως μία καλολαδωμένη μηχανή με συνεκτικά διατεταγμένα μέρη χρησιμοποιώντας όμως έννοιες όπως ροές προϊόντων [55, σελ. 6]. Ο Edison αντιλαμβάνεται ότι δεν μπορούν πλέον τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι υποσταθμοί πλεκτρικής ενέργειας να λύνονται με τη μέθοδο δοκιμής και αποτυχίας (try and error). Ο David Mindell αναφέρει στο [55, σελ. 7] ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα : οι μηχανικοί του Edison αντικαθιστούσαν τις εν λειτουργίᾳ γεννήτριες στο σταθμό της οδού Pearl μόλις αυτές άρχιζαν να συντονίζονται, αντί να αναζητήσουν τις αιτίες συντονισμού και να διορθώσουν το σύστημα. Δηλαδή, την περίοδο αυτή οι μηχανικοί έβλεπαν τα συστήματα ως ένα σύνολο ξεχωριστών συσκευών και μηχανών που έπρεπε να δουλέψουν μαζί χωρίς να μελετούν τις μεταξύ τους σχέσεις και διασυνδέσεις.

Bush και Bell, κύκλωμα και σήμα Καθώς όμως η πολυπλοκότητα και το μέγεθος των συστημάτων αυξανόταν αφού πλέον επεκτείνονταν σε μια τεράστια γεωγραφική ζώνη -το τηλεφωνικό και πλεκτρικό δίκτυο σιγά σιγά θα κάλυπταν τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής- μπορούσαν πλέον να μελετηθούν και να αναλυθούν μόνο ως σύνολο οντότητων. Η συστηματοποίηση της τάσης αυτής έλαβε χώρα από τον Vannevar Bush του MIT και δημοσιεύτηκε το 1929 με το βιβλίο του Operational Circuit Analysis [19]. Ο Bush διέκρινε κοινά στοιχεία σε διαφορετικά πεδία του μηχανικού (υδραυλική, μηχανολογία, πλεκτρισμός), κοινά στοιχεία όσον αφορά τη δυνατότητα περιγραφής και κατανόσης. Άρχισε να σκέφτεται πάνω στη μηχανική και στα συστήματα με τα οποία καταπιανόταν με αφαιρετικό τρόπο. Χρησιμοποίησε τη λέξη "κύκλωμα" την οποία και συνδέει με μια φυσική οντότητα τα μεγέθη της οποίας μπορούν να αναλυθούν με βάση το χρόνο και μονοδιάστατα. Παράλληλα, ανάλογη κατεύθυνση είχε πάρει και η προσπάθεια της AT&T και της θυγατρικής ερευνητικής εταιρίας Bell Telephone Laboratories οι οποίες αναζητούσαν μία προσέγγιση για να λύσουν τα τεχνικά προβλήματα που αντιμετώπιζαν, μία συστη-

Eισαγωγή στα συστήματα και στα μηχανοτρονικά συστήματα

μική λύση. Διαμέσου των εργασιών των Bode¹⁵, Nyquist¹⁶ και Hartley¹⁷ οι γραμμές μεταφοράς δεν αναγνωρίζονταν πλέον ως καλώδια αλλά ως κανάλια μεταγωγής πληροφορίας συγκεκριμένου εύρους. Η έννοια "σήμα" αποτελεί ανάλογο της έννοιας "κύκλωμα" του Vannevar Bush αφού τροφοδότησε τους μηχανικούς με εργαλεία για τη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς ροών εν γένει.

Η έρευνα αυτή οδήγησε τους μηχανικούς να μελετούν διαφορετικά μεταξύ τους επιστημονικά πεδία λόγω των αναλογιών που υπάρχουν ανάμεσα στα διάφορα συστήματα και άρχισαν να τα μελετούν χρησιμοποιώντας έννοιες όπως ενίσχυση, ανατροφοδότηση και ροή. Οι μηχανικοί συστημάτων πλέον κατατάσσονται στις τάξεις των επιστημόνων.

Συστηματική σχεδίαση Παράλληλα με τις προαναφερθείσες εξελίξεις, αρχίζει να αναπτύσσεται και μία τάση για την καλύτερη και συστηματικότερη σχεδίαση μηχανών και συστημάτων. Σύμφωνα με το γερμανικό συλλογικό έργο των Pahl, Beitz, Feldhusen και Grote ([60, κεφ. 1.2.2 Historical Background]), στα τέλη του 19ου αιώνα διακρίνονται συγκεκριμένες αρχές και χαρακτηριστικά -όντας σημαντικές μέχρι και σήμερα- αναφορικά με την κατασκευή μηχανών. Αναφέρεται το έργο "Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus" (Principles of Mechanics and of Machine Construction) του Redtenbacher πρωτοεκδοθέν το 1852. Αξιόλογη συνεισφορά αποτελεί και η παρατίρηση των Bach και Riedler ότι η επιλογή των υλικών, των μεθόδων παραγωγής και η προνόηση για τα τελικά χαρακτηριστικά αποτελούν ίσης σημασίας και αλληλοεξαρτώνται. Ο συστηματικός σχεδιασμός έλαβε την πρώτη του μορφή τη δεκαετία του 1920 από τον Erkens. Παρουσίασε μία μέθοδος η οποία απαιτεί ο σχεδιασμός να γίνεται βίημα βίημα με συνεχόμενες δοκιμές και αξιολογήσεις, λαμβάνοντας υπόψιν τις αλληλοανανεωύμενες απαιτήσεις, μέχρι να ολοκληρωθεί η σχεδίαση. Ένα βίημα παραπέρα πάει ο Wögerbauer ο οποίος διαιρεί την όλη διαδικασία σχεδιασμού σε μικρότερα και εν τέλει σε λειτουργικά ολοκληρώσιμα τμήματα.

¹⁵Βιογραφία του Bode : http://www.ieeeghn.org/wiki/index.php/Hendrik_W._Bode

¹⁶Βιογραφία του Nyquist : http://www.ieeeghn.org/wiki/index.php/Harry_Nyquist

¹⁷Βιογραφία του Hartley : http://www.ieeeghn.org/wiki/index.php/Ralph_Hartley

Taylor W. Frederick, επιστημονική διοίκηση Μία ακόμη αναφορά, για την περίοδο αυτή, αφορά το επιστημονικό πεδίο της διοίκησης. Ο Frederick Winslow Taylor¹⁸ μετέτρεψε την διοίκηση σε επιστημονικό κλάδο καθορίζοντας τους νόμους που τη διέπουν. Μελετώντας τα προβλήματα στη λειτουργία των επιχειρήσεων και των οργανισμών και παρατηρώντας ότι ο εργατικό δυναμικό χαρακτηρίζόταν από αδεξιότητα, αναποτελεσματικότητα σε συνδυασμό με λανθασμένες διαιρετικές πρακτικές, ανέπτυξε μεθόδους για την παραγωγική διαδικασία περιγράφοντας τους ρόλους που πρέπει να υποδυθούν εμπλεκόμενοι σε αυτήν. Χαρακτηριστικά δήλωνε ότι

In the past, the man was first, in the future, the system must be first¹⁹ [72, κεφ. Εισαγωγή].

Ως "σύστημα" ερμήνευε το ίδιο το σύστημα της διοίκησης, δηλαδή το πως έπρεπε να εκδηλώνεται η ανθρώπινη συμπεριφορά. Δεν συμπεριελάμβανε την πραγματική διαδικασία παραγωγής, τις υλικές προεκτάσεις αυτής. Τέλος, δεν περιέγραψε μία καινούρια διαδικασία αναλύοντας και αναμορφώνοντας την παραγωγή στο σύνολό της, αλλά αντίθετα σχεδίασε πρακτικές για τη βελτίωση των ήδη υπαρχουσών μεθοδολογιών παραγωγής.

Οικονομετρία Τέλος, την περίοδο των δεκαετιών του '30 και του '40 αναδύθηκε ένας καινούριος κλάδος της οικονομίας, η οικονομετρία. Στον τομέα αυτό πρωτοπόροι μεταξύ άλλων υπήρξαν οι John Maynard Keynes²⁰, Trygve Haavelmo²¹ και Ragnar Anton Kittil Frisch²², οι οποίοι προσπάθησαν να συνδυάσουν την οικονομική θεωρία, τα μαθηματικά και την στατιστική για να περιγράψουν την πραγματικότητα της οικονομίας. Ανέπτυξαν την οικονομετρία με σκοπό να ενσωματώσουν στην οικονομική θεωρία ποσοτικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τη στατιστική

¹⁸Βιογραφία του Taylor <http://www.stevens.edu/library/fileadmin/library/publications/taylor.pdf>

¹⁹[μτφ. Στο παρελθόν ο άνθρωπος ερχόταν πρώτος, στο μέλλον πρώτο θα είναι το σύστημα]

²⁰Βιογραφία του Keynes : <http://www.econlib.org/library/Enc/bios/Keynes.html>

²¹Βιογραφία του Trygve Haavelmo : http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/1989/haavelmo-bio.html

²²Βιογραφία του Frisch : http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/1969/frisch-autobio.html

μέθοδο [41, κεφ. Πρόλογος]. Χαρακτηριστική είναι ο ορισμός της οικονομετρίας από τον ίδιο τον Frisch :

But there are several aspects of the quantitative approach to economics, and no single one of these aspects, taken by itself, should be confounded with econometrics. Thus, econometrics is by no means the same as economic statistics. Nor is it identical with what we call general economic theory, although a considerable portion of this theory has a definitely quantitative character. Nor should econometrics be taken as synonymous with the application of mathematics to economics. Experience has shown that each of these three view-points, that of statistics, economic theory, and mathematics, is a necessary, but not by itself a sufficient, condition for a real understanding of the quantitative relations in modern economic life. It is the unification of all three that is powerful. And it is this unification that constitutes econometrics²³ [35, κεφ. Editorial].

Συνοψίζοντας, αναγνωρίζεται αφενός, η έλλειψη θεωρητικών μοντέλων και αναλύσεων αναφορικά με την κατασκευή πλεκτρικών και μηχανών και συσκευών. Αφετέρου κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μεθόδων για την καλύτερη και αποδοτικότερη παραγωγή καλύτερων και αποδοτικότερων μηχανών και συσκευών. Τέλος, αρχίζει να γίνεται αντιληπτό η σημαντικότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μερών των συστημάτων και υπεισέρχεται η αφαιρετική θεώρηση αυτών ανοίγοντας το δρόμο για την εξαγωγή κοινών, διεπιστημονικών εννοιών και μοντέλων. Τα γεγονότα αυτά θα διαμορφώσουν την σύγχρονη αντίληψη του σχεδιασμού και της υλοποίησης συστημάτων, μηχανικών και μη.

²³[μτφ.] Υπάρχουν όμως αρκετές πτυχές της ποσοτικής προσέγγισης στα οικονομικά, και καμία από αυτές, από μόνη της, δεν πρέπει να ταυτίζεται με την οικονομετρία. Αυτό επειδή, η οικονομετρία δεν είναι, για κανένα λόγο, ίδια με τα οικονομικά στατιστικά. Ούτε ταυτίζεται με τη λεγόμενη γενική οικονομική θεωρία, παρόλο που ένα υπολογίσιμο τμήμα της θεωρίας αυτής έχει αναμφισβίτητα ποσοτικό χαρακτήρα. Ούτε πρέπει η οικονομετρία να λαμβάνεται ως συνώνυμη με την εφαρμογή των μαθηματικών στην οικονομία. Η εμπειρία έχει δείξει ότι κάθε μία από αυτές τις πτυχές, της στατιστικής, της οικονομίας και των μαθηματικών, είναι απαραίτητη, αλλά όχι ικανή, συνθήκη για την πραγματική κατανόηση των ποσοτικών σχέσεων στη σύγχρονη οικονομική ζωή. Είναι η συνένωση και των τριών που μας το επιτρέπει.

Δεύτερος παγκόσμιος έως 1990

Κατά τη διάρκεια του 2ου παγκοσμίου πολέμου και έπειτα, οι ανακαλύψεις της προηγούμενης περιόδου, οι διαπιστώσεις και οι τάσεις που διαφαίνονταν άρχισαν να καθιερώνονται ως καθημερινές, αποδεκτές πρακτικές. Η πρόοδος στα διάφορα επιστημονικά πεδία -βιολογία, διοικητική επιστήμη, μηχανική και φυσική- συγχωνεύεται σε ένα γνωστικό αντικείμενο, στη θεωρία συστημάτων και στην πρακτική της μηχανικής συστημάτων.

Χαρακτηριστικά στοιχεία της περιόδου αποτελούν δύο αγώνες ανταγωνισμού -και παραλογισμού κρίνοντας εκ του αποτελέσματος-, ο αγώνας για την κατάκτηση του διαστήματος και ο αγώνας για τη στρατιωτική υπεροχή μεταξύ των χωρών, έχοντας ως κύριους πρωταγωνιστές τις Η.Π.Α. και την Ε.Σ.Σ.Δ.. Αναπτύσσονται εξαιρετικά πολύπλοκα συστήματα, όπως αυτόματα πυροβόλα όπλα, το Sage, το Atlas, το Apranet και τα σχετιζόμενα με το διαστημικό πρόγραμμα. Συνεπώς, κυριαρχεί η απαίτηση των κυβερνήσεων και των εταιριών για ολοένα και αποδοτικότερες μεθόδους παραγωγής, μείωση των παρουσιαζόμενων λαθών, αντιμετώπιση της αυξανόμενης πολυπλοκότητας και επιτάχυνση της διαδικασίας σχεδιασμού και υλοποίησης.

Ολιστική θεωρηση και συστηματική παραγωγή Αναλύοντας τα γεγονότα του 19ου αιώνα και των αρχών του 20ού διακρίναμε δυο τάσεις, την βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας και των παραγόμενων προϊόντων και την πρωταρχική σύλληψη μιας γενικής θεωρίας ανάλυσης οργανισμών και συστημάτων γενικώς. Αυτές οι δύο τάσεις, κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής, συνεχίζουν να εξελίσσονται παραλληλα και οι προσπάθειες που εκφράζουν να συνενώνονται και να αποφέρουν από κοινού αποτελέσματα.

Θεωρία της πληροφορίας και Κυβερνητική Συγκεκριμένα, στο τέλος της δεκαετίας του '50, αναπτύσσονται παραλληλα η θεωρία παιγνίων από τους Neumann και Morgestern και η θεωρία της πληροφορίας των Shannon και Weaver βασισμένη στην έρευνα του πρώτου στα εργαστήρια Bell Telephone Laboratories της AT&T. Επιπλέον σταθμό αποτελεί η θεωρία της κυβερνητικής ("cybernetics"), την οποία εισάγει ο Norbert Wiener με το έργο του "Cybernetics or Control and

Eισαγωγή στα συστήματα και στα μηχανοτρονικά συστήματα

Communication in the Animal and the Machine” του 1948. Συνακόλουθα, το 1958 εμφανίζεται και η βιονική (“bionics”) από τον Jack E. Steele. Γίνεται αναφορά στην κυβερνητική και στη βιονική επειδή και τα δύο επιστημονικά πεδία χρησιμοποιούν αναλογίες μεταξύ ζωντανών και τεχνικών συστημάτων. Η κυβερνητική μελετά ζωντανούς οργανισμούς και μηχανικά συστήματα για να εξάγει μια γενικευμένη θεωρία ελέγχου χρησιμοποιώντας έννοιες όπως ανάδραση, μαύρα κουτιά κ.λ.π. Αντίστοιχα η βιονική κατασκευάζει τεχνητά συστήματα παραπορώντας τους ζωντανούς οργανισμούς και εξάγοντας εφικτές, υλοποιήσιμες αναλογίες.

Boulding

GST

Operational research

Hall

System dynamics

The systems view was based on several fundamental ideas. First, all phenomena can be viewed as a web of relationships among elements, or a system. Second, all systems, whether electrical, biological, or social, have common patterns, behaviors, and properties that can be understood and used to develop greater insight into the behavior of complex phenomena and to move closer toward a unity of science. System philosophy, methodology and application are complementary to this science.

Boulding concluded from the effects of the Cold War that abuses of power always prove consequential and that systems theory might address such issues.[15] Since the end of the Cold War, there has been

a renewed interest in systems theory with efforts to strengthen an ethical view. The emergence of the systems movement can now be recapitulated with some often-cited words of Kenneth Boulding from 1956: 'General Systems Theory is the skeleton of science in the sense that it aims to provide a framework or structure of systems on which to hang the flesh and blood of particular disciplines and particular subject matters in an orderly and coherent corpus of knowledge.'

Boulding Early in his scientific career he became convinced that all the social sciences were fundamentally studying the same thing, which is the social system. In his book *The image: knowledge in life and society* (1956a) Boulding introduces the 'image' concept, apparently inspired by Shannon and Weaver's concept of information, serving as a basis for the desired integration of the social sciences. And in a classic article 'General systems theory: the skeleton of science', published in the same year (Boulding 1956b), he pointed out the next step towards a general systems theory, incorporating all the sciences. [71, σελ. 455]

Foerster Initial efforts in the 1960s, in which Heinz von Foerster (1911–2002) played a leading role, employed the concept of self-organization. Self-organization is the phenomenon of self-reference with regard to the structure of a system, that is to say that structural changes are produced by the system itself. Self-reference in a more encompassing way, however, also include the elements composing a system. For this purpose the biologists Humberto Maturana and Francisco. [71, σελ. 455]

Ashby, in his early work [I], independently used the same system equations as von Bertalanffy employed, although deriving different consequences.
[TheHistoryAndStatusOfGeneralSystemsTheory:Bertalanffy] : Ashby, W. R., "Effect of Controls on Stability," *Nature* (London), Vol. 155, No. 3933, pp. 242-243, February 1945.

1946-1953	Macy	conferences
1948	Norbert Wiener publishes <i>Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine</i>	
1954	Ludwig von Bertalanffy, Anatol Rapoport, Ralph W. Gerard, Kenneth Boulding establish Society for the Advancement of General Systems	

Theory, in 1956 renamed to Society for General Systems Research
1955 W. Ross Ashby publishes Introduction to Cybernetics
1968 Ludwig von Bertalanffy publishes General System theory: Foundations, Development, Applications

Συστηματική παραγωγή

- Industrial management, operations research, automatic control system design, and econometrics appear to the systems analyst as precursors to his generalized discipline [38, page 15].

1913 Ο Ford εισάγει τη πρώτη γραμμή παραγωγής μειώνοντας τη διάρκεια συναρμολόγησης των πλασίων από 12μιση ώρες σε 2 και 40 λεπτά.

pre-WWII Taylorism, or “scientific management” as he wished it to be called, made steady progress before World War II and became better known as industrial engineering and industrial management [38, page 15]. The period immediately prior to World War II in Great Britain, circa 1937–1940, saw the development of what was called “operational research”; later, in the United States, this was called “operations research” (OR) [38, p. 15].

WWII Ο Churchill έχοντας περιορισμένη παραγωγικότητα στράφηκε στην ακαδημαϊκή κοινότητα για βοήθεια. Ομάδες στατιστικής ανάλυσης, πειράματα έγιναν. Pattern για τους βομβαρδισμούς ανακαλύφθηκαν, άλλαξαν τα δρομολόγια των πλοίων... Αναδύθηκαν τα statistical analysis, queueing theory, probability theory, and so forth. [38, p. 15].

WWII Βελτίωση του αυτόματου ελέγχου. As weapons became faster, larger, and more powerful, it became increasingly less practical to operate them by hand. The aerodynamic pressures on the control surfaces of large, high-speed bombers grew so great that mechanical boosters were necessary. Multiple machine guns mounted in these bombers were so heavy that gunners could not move them unaided. The gun turrets of naval warships had to be stabilized against ocean-wave motion if the guns were to be effective. Late in the war, automatic navigation systems for aircraft and ships, as well as ways of allowing radar automatically to direct weapons fire, were sought. [38, page 15]. .

Κεφάλαιο 1

- WWII The need for a rational, objective process of analysis of all factors is especially relevant in the development of large weapons systems such as guided missile systems and in private industry in such complex undertakings as long-distance telephone networks and airline operations. The name “operations research,” always rather confining, seems inappropriate for this newer, broader mission, which includes operations as only one portion of the cycle of bringing a new device into being and using it efficiently. Terms such as “system analysis,” “system design,” “systems engineering,” and the “system approach” began to be more commonly used. [38, page 15].
- post-WWII The Air Force set up a system command to study the overall problem of bringing the intercontinental ballistic missile into the U.S. defense arsenal, and in 1948 it sponsored the formation of the RAND Corporation (Smith, 1966). [38, page 18].
- 1948 Franke [1.54] discovered a comprehensive structure for transmission systems using a logical-functional analogy based on elements with different physical effects (electrical, mechanical, hydraulic effects for identical logical functions guiding, coupling and separating). For this reason he is regarded as a representative of those working on the functional comparison of physically different solution elements. Rodenacker in particular used this analogical approach [1.155]. [60, σελ. 12]
- 1950 In 1950, probably the first attempt to teach systems engineering was made at MIT by G. W. Gilman.
- 1957 Goode and Machol of the University of Michigan published Systems Engineering in 1957 in which they observed a phenomena of systems thinking and approaches to designing equipment.
- 1962 Hall introduced for the first time a comprehensive, integrated general methodology for the analysis and synthesis of large-scale systems (based on his work at Bell Labs).

1990 έως σήμερα

Ολιστική θεώρηση

Συστηματική παραγωγή

Four major projects [45]

Από τη NASA έχουμε τον εξής ορισμό [7] :

- 1 The combination of elements that function together to produce the capability to meet a need. The elements include all hardware, software, equipment, facilities, personnel, processes, and procedures needed for this purpose.
- 2 The end product (which performs operational functions) and enabling products (which provide life-cycle support services to the operational end products) that make up a system.

Από τη INCOSE έχουμε τον εξής ορισμό [58] :

A system is a thing built from many other things, components, which interact for a common purpose. If an engineer is to define a system he must describe its context, its behavior or purpose, and its structure.

Από τη EIA έχουμε τον εξής ορισμό [37]:

A system is one or more end products and sets of related enabling products that allow end products, over their life cycle of use, to meet stakeholder needs and expectations

1.1.2 Σύγχρονη κατάσταση

1.2 Μηχανοτρονικό σύστημα

1.2.1 Ιστορική αναδρομή

The name Mechatronics has its origin in the 1969 when a Japanese company used it to define the integration of mechanics ("mecha") with

electronics ("tronics"). [75]

[3] N. Kyura and H. Oho, "Mechatronics-an industrial perspective," Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, vol. 1, no. 1, pp. 10–15, 1996.

[4] T. Mori, "Mecha-tronics," Yaskawa Internal Trademark Application, Tech. Rep. Memo 21.131.01, 1969.

1.2.2 Σύγχρονη κατάσταση

1.3 Σύνοψη

1.4 Σημειώσεις

Systems Engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, and then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem. Systems Engineering considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs. [46]

Multilanguage solutions are required for the design of heterogeneous systems where different parts belong to different application classes e.g. control/data or continuous/discrete. The main problem that needs to be solved when dealing with multilanguage design is the refinement of communication between heterogeneous subsystems. This paper discusses the basic concepts of multilanguage design and introduces MUSIC a Multilanguage design approach. The paper also shows the application of this approach in the case of a mechatronic system. [29]

The use of a multilanguage specification requires new validation techniques able to handle a multiparadigm model. Instead of simulation we will need cosimulation and instead of verification we will need

coverification. Additionally, multilanguage specification brings about the issue of interfacing subsystems which are described in different languages. [67]

The goal of any language designed to support system modeling must be to bring together heterogeneous information in a common language environment. Central to these problems is that different design domains employ radically different knowledge in their representation and reasoning about models. The language must provide modeling support for different design domains employing semantics and syntax appropriate for those domains. At present, there is no complete language available for system modeling but work for developing such a language is in progress. One such language being developed is system modeling language (SysML) [3]. SysML is a new general-purpose modeling language based on UML that can be used for specifying requirements, system structure and functional behavior but SysML doesn't support complete testing, comprehensive verification and validation or fully executable functional behavior. [67]

The Navy in conjunction with Northrop Grumman performed a modularity study focusing on the new cruiser design, CG(X). The study found that systems architecture development is critical for modularity and a necessary step in the design process to meet modularity demands. [73]

The discipline of Systems Engineering has emerged in response to ever increasing system complexity. It drives the balanced development of systems in terms of cost, schedule, performance, and risk and verifies that the technical solutions satisfy customer requirements. Systems Engineering has been proven as an effective way to manage complex and often technologically challenging problems. [73]

1.4.1 Η εξέλιξη των συστημάτων σήμερα

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μία εκθετική αύξηση του μεγέθους και της πολυπλοκότητας των συστημάτων. Στη δεκαετία του 1980 και ιδιαίτερα στις αρχές του 1990 άρχισε μία προσπάθεια συστηματοποίησης των μεθοδολογιών σχεδίασης και κατασκευής συστημάτων. [10]

From interviews with designers in industry :

- Accept any complication in software, if the electro-mechanical design becomes simpler.

[20] p.54.

1.4.2 Σύνοψη

Άρα έχουμε δύο τάσεις : 1.Ολιστική θεώρηση των συστημάτων, 2.Συστηματικός σχεδιασμός... των συστημάτων. Και οι δύο οδήγησαν στη μοντελοποίηση -τουλάχιστον όσον αφορά το μηχανικό- των συστημάτων.

Machine design was established as a science in the 1960's with two main approaches : a functional one in West Germany/DDR and a procedural one in Britain and the US. The main motivation was that systematics could help in obtaining the best solution out of many alternatives, and that a methodical approach could increase efficiency and controllability in the design process.

1.4.3 Μηχανοτρονικό σύστημα

Αναφορές

Model Integrated Mechatronics – Towards a new Paradigm in the Development of Manufacturing Systems [2005] Στο άρθρο αυτό παρουσιάζεται ένας καινούριος τρόπος σύνθεσης συστημάτων παραγωγής, οποίος περιλαμβάνει μεθοδολογία, framework και ένα σύνολο εργαλείων. Κύριο στοιχείο για την κατασκευή μηχανοτρονικών συστημάτων αποτελεί το MIM -μηχανοτρονική ενσωματωμένη στο μοντέλο παράδειγμα με κύριο δομικό τμήμα το μηχανοτρονικό συστατικό. Αυτό γιατί η ανάπτυξη των σημερινών συστημάτων απαιτεί παράλληλη ανάπτυξη των μηχανικών, πλεκτρικών και πλεκτρονικών, και των λογισμικών υποσυστημάτων. Τα MTS αποτελούν δίκτυο MTC. Επιπλέον, εισάγεται στη MIM αρχιτεκτονική ένα μοντέλο ανάπτυξης με 3+1 επίπεδα : Mechatronic-layer, application-layer, resource-layer, mechanical layer. Συγκεκριμένα για το MTC το κάθε ένα επίπεδο αναλύεται ως εξής :

- An application-layer artifact that is an IEC61499 function block (composite or primitive), or a subapplication that represents the software part of the controlling system of the mechatronic component;
- A resource-layer artifact that is the resource or the network of resources that constitute the electronic part of the controlling system and the required infrastructure to provide an IEC61499-compliant interface; and
- A mechanical-layer artifact that is the controlled mechanical part.

Τέλος, κατηγοριοποιούνται τα διάφορα είδη MTC και παρουσιάζεται η πλατφόρμα Archimedes. [76]

Challenges in the Development of Mechatronic Systems : The Mechatronic Component [2008] Το αντικείμενο του άρθρου είναι να διαπιστώσει τα προβλήματα στην κατασκευή μηχανοτρονικών συστημάτων και να υιοθετήσει μία component-based προσέγγιση για να τα ξεπεράσει. Among the main challenges in the development process of Mechatronic systems we discriminate: synergistic integration, size & Complexity, reuse. Συγκεκριμένα αναπτύσσει το μηχανοτρονικό συστατικό -MTC- το οποίο παρουσιάστηκε στο [76]. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εισαγωγή της έννοιας του MTC connector, συνδέσμου που ενώνει δύο MTC.

Επιπλέον τονίζει το στοιχείο της επαναχρησιμοποίησης των MTCs αναφέροντας τις διαδικασίες την κατασκευής, προμήθειας, τροποποίησης και ενσωμάτωσης των MTCs. Γενικά ένα MTC αποτελείται από το πραγματικό MTC, το μοντέλο εξομοίωσης και τα metadata (service interface, QoS, service semantics, etc). [75]

The 3+1 SysML View-Model in Model Integrated Mechatronics [2010] Διαπιστώνει τη δυναμική που εισάγει το λογισμικό στα μηχανοτρονικά συστήματα καθώς και την ανεπάρκεια των υπαρχουσών πρακτικών για την ανάπτυξη αυτών. Εισάγει λοιπόν το 3+1 SysML View model. Ένα profile της SysML κατασκευάζεται και χρησιμοποιείται μαζί με το V-Model και το MIM paradigm για την ανάπτυξη μηχανοτρονικών. [77]

Κεφάλαιο 1

3+1 SysML View Model for IEC61499 Function Block Control Systems [2010] Υλοποιεί το FestoMPS -τον feeder- χρησιμοποιώντας την 3+1 SysML οπτική για το μηχανοτρονικό επίπεδο, το IEC61499 Function Block για το επίπεδο της εφαρμογής-ελέγχου και τη modelica για το μηχανικό μέρος. [74]

Integrating the 3+1 SysML View Model with Safety Engineering [2010] Στην οπτική του 3+1 SysML view model εισάγει την έννοια της ασφάλειας. Εισάγει στο V μοντέλο που χρησιμοποιεί διαδικασίες για τη μοντελοποίηση των θεμάτων ασφαλείας. [78]

The Mechatronic UML Development Process [2011]

Κεφάλαιο 2

Μοντελοποίηση συστημάτων

2.1 Εισαγωγή

Οι παραδοσιακές μεθόδοι που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη συστημάτων οδηγούν σε λύσεις που ανταποκρίνονται σε σταθερές και δυσκολα τροποποιήσιμες προδιαγραφές. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψιν τη δυναμικότητα των σύγχρονων συστημάτων και την ταχύτητα με την οποία αλλάζουν οι προδιαγραφές, τα συστήματα αυτά αποδεικνύνται κοστοβόρα όσον αφορά την συντηρησή τους και τελικά ανεπαρκή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο προυπολογισμός των ανοκλήρωτων και καθυστερημένων έργων. Σύμφωνα λοιπόν με τη δημοσίευση του Mogyorodi στο περιοδικό Crosstalk, the Journal of Defense Software Engineering το 2003 [56] 84 δισεκατομμύρια δολάρια δαπανήθηκαν σε έργα τα οποία ποτέ δεν ολοκληρώθηκαν και 192 δισεκατομμύρια δολλάρια σε έργα τα οποία ξεπέρασαν τα χρονικά όρια και τον προυπολόγισμό τους.

Τονίζοντας ότι τα αποτελέσματα αυτά δεν οφείλονται στην μη σωστή εφαρμογή των παραδοσιακών μεθόδων, αλλά στην ανεπάρκεια των μεθόδων αυτών καθεαυτών [11], τα δεδομένα αποτυχίας υποδεικνύουν ότι οι πρακτικές και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται πρέπει να αλλάξουν. Οφείλουν να αντικατασταθούν από μεθόδους που λαμβάνουν υπόψιν τους το κόστος, τα επιβαλλόμενα χρονοδιαγράμματα, τη δυναμικότητα με την οποία αλλάζουν οι προδιαγραφές και κυρίως την τάχιστη μετεξέλιξη των συστημάτων. Επιπλέον οι καινούριες πρακτικές πρέπει να περιλαμβάνουν στενότερη συνεργασία μεταξύ των δια-

Κεφάλαιο 2

φόρων πεδίων που συμμετέχουν στην ανάπτυξη συστημάτων καθώς και μεταξύ των ίδιων των ανθρώπων που αναπτύσσουν τα συστήματα αυτά.

Οι μηχανικοί συστημάτων χρησιμοποιούν το μοντέλο ως εργαλείο για την καλύτερη κατανόηση του υπό κατασκευή συστήματος, για την ελαχιστοποίηση των διαφορετικών ερμηνειών μεταξύ των εμπλεκόμενων γνωστικών πεδίων, για να εξακριβώσουν την ορθότητα των αποφάσεών τους και εν τέλει για την παράδοση ενός ολοκληρωμένου και σωστού συστήματος. Τ

[66]

The closed loop nature of whole process helps in going back and forth from requirements to concepts and then to solution phase (where functionality is designed) to ensure that the detailed design of the final product/service has characteristics as intended and perceived in the requirements. However effective follow up of this design process by the different participating design teams is a crucial factor in obtaining the final product. This was the major drawback of a document based approach due to inherent difficulties in maintaining the consistency and validity of the documents by the different design teams. The shortcomings of the document based approach are addressed by the concept of model based systems engineering (MBSE), where it is possible to maintain a good synchronization between system requirements and the evolving design (at various phases of the design process). [65]

MBSE has been an initiative of the International Council of Systems Engineers (INCOSE) and promises to be a more rigorous and effective means of developing complex systems. At the heart of MBSE is requirements traceability and enhanced communication. It also has the potential to improve decision making by providing accurate change assessments and by quantifying design options in terms of cost and risk. [73]

One of the primary benefits of systems architecture development and model-based systems engineering is the ability to communicate clearly using a language that reaches out to all stakeholders. Stakeholders

have different experiences and backgrounds, some are subject matter experts and some are not, and using a common system design language will bridge communications gaps between the experts and the systems engineers (or the Navy and the shipbuilder). Often knowing what to build, which includes requirements elicitation, technical specification, and prioritization, is the most difficult systems engineering phase in the life cycle. MBSE serves to mitigate ambiguity and promote consistency of thought and expression across the entire program team. [73]

Models have many purposes, but the primary role in systems architecting is communication. [73]

Purpose. System engineers build models to better understand problems, develop candidate solutions, and validate their decisions. Different kinds of models are built to help focus on the appropriate set of questions that need answering in order to find the most reliable and cost effective solutions and to qualify the design against its requirements. The following model types are commonly used:

- **Schematic Model:** A chart or diagram, having an underlying machine-readable representation, which shows object relationships, structure, time sequencing of actions (e.g., organizational chart, spec tree, operational sequence diagram, interface diagram, state diagram, PERT network diagram, functional-flow block diagram).
- **Performance Model:** An executable structure which represents system response to external stimuli.
- **Design Model:** A machine interrogable version of the system detailed design, usually represented by CAD drawings, VHDL, C, etc.
- **Physical model:** Tangible physical equivalents used for reality experimentation and demonstration (e.g., DNA model or model airplane in a wind tunnel.)

Further, experience has shown that traditional requirements-driven methodologies result in systems that are limited in their capability to self-modify in response to evolving mission or business needs, brittle

and difficult to manage in adapting to new requirements, and expensive to maintain over an entire product life cycle.

Development of a model-driven approach must therefore take into account the interdependencies of “hard” (e.g., engineering, mathematics, computability) and “soft” (e.g., organizational behavior, human-machine interaction, training) areas. [10]

Για τους παραπάνω λόγους άρχισε μία ευρεία προσπάθεια για να βρεθούν μεθοδολογίες και εργαλεία μοντελοποίησης συστημάτων και συγκεκριμένα από το 1998 παρατηρούμε πληθώρα δημοσιεύσεων. Επιχειρείται να μοντελοποιήσουν συστήματα με χρησιμοποιώντας υπάρχοντα εργαλεία. Χαρακτηριστική είναι η εργασία των Gautam Sachdeva et. al. [67] όπου γίνεται προσπάθεια να μοντελοποιηθεί δίκτυο παρακολούθησης της κινητικότητας νεογέννητων βασιζόμενο σε ασύρματους αισθητήρες. Στην εργασία αυτή δεν γίνεται χρήση κάποιας γλώσσας που έχει αναπτυχθεί ειδικά για την ανάπτυξη μοντέλων. Αντίθετα χρησιμοποιείται η γλώσσα SpecC, μία εξέλιξη της Ansi C χρησιμοποιούμενη ειδικά για την τεκμηρίωση και το σχεδιασμό ενσωματωμένων ψηφιακών συστημάτων αποτελούμενα από υλικό και λογισμικό. Η γλώσσα αυτή ανήκει στην κατηγορία SSDL -System-Level Design Languages- και η παραπάνω εργασία καταδεικνύει της ελλείψεις της, την περιορισμένη σημειολογία και την ανεπάρκειά της για την περιγραφή όλων των επιστημονικών πεδίων, όπως των αναλογικών εξαρτημάτων.

Για τις πρακτικές που χρησιμοποιούν σαν δομικό τους στοιχείο το μοντέλο έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς ποικίλοι ορισμοί. π.χ. Mdsd [10],.....

Benefits of MDSD over textual approaches accrue from two essential features of a good model: [10]

- **Expressiveness** This is the power to express complex information in ways that are easily understood. Models can achieve this expressive power through physical representations, graphics, animation, 3-D representations, and the use of color.

- **Rigor** Compared with textual representations, executable models provide clear and unambiguous definitions of behavior, capability or design. This is a consequence of the usual practice of building hierarchical models from primitives that are both rigorous and unambiguous.

Customer Benefits Customers benefit from better overall cost, schedule and technical performance on programs. This primarily from improved customer/supplier communications. Improved communications have the following forms: [10]

- More effective translation of user needs into program requirements via the expressiveness and rigor of models. This means that customers are more likely to get what is needed, as opposed to what is specified in textual documents, which may be both voluminous and flawed.
- Improved visibility into program performance because these results can be available continuously throughout the program; they are not just snapshots which are studied in formal program reviews. There is also the potential for results of executable models to be more intuitively understandable Early problem discovery leads to collaborative solutions between customer and supplier. These solutions can be incorporated much more effectively as the program proceeds, rather than during the crisis atmosphere of final system sell-off.
- Issues and trades are visible to support decision making.
- Greater supplier accountability results from inherent progress visibility.
- Availability of validated models for qualified components encourages reuse.

Supplier Benefits Because of the expressiveness of the models, intra-program communications can improve dramatically. Using text-based processes with IPTs can result in a great amount of time spent reaching a common understanding of the design between and among the different disciplines comprising the IPT. If models are jointly developed in a concurrent engineering environment and shared across an electronic

network, this communications demand on design engineers can be greatly reduced. For the greatest benefit, several modern concepts may be integrated with the modeling process. These include concurrent engineering, object oriented design, and on-line communications between program engineers. Supplier benefits can be enumerated as follows: [10]

- Hierarchical decomposition of models supports visibility of information at its level of relevance. The associated "de-cluttering" of design information is extremely effective in enabling engineers to "see" the critical issues at a particular design level.
- More exhaustive search for optimal solutions is possible.
- Rigor of the models helps to avoid ambiguities, mistakes, and rework.
- Status of designs, processes and compliance is visible and traceable as a direct result of the model.
- Models provide linkage between hardware, software, and other design elements. This is important throughout the life cycle. It enables system level interfacing errors to be identified early and avoids surprises during the Design Qualification phase.
- Reuse benefits are similar to those for the customer.

The purpose for describing the DOD acquisition process is to highlight the fact that the current acquisition strategy is strictly document-driven, based on traditional programmatic review techniques. Figure 7 illustrates the emphasis of documentation in the 2-pass, 6-gate process as the deliverable for decision milestones and gate review. Key acquisition documents include the Initial Capabilities Document (ICD), the Analysis of Alternatives (AoA), the Concept of Operations (CONOPS), the Capabilities Development Document (CDD), the Capabilities Production Document (CPD), the System Design Specification (SDS), the Test and Evaluation Master Plan (TEMP), the Acquisition Program Baseline (APB), and the contract. □The purpose of life-cycle reviews in the traditional development environment was to synchronize a program's cost, schedule, and technical baselines in order to review the program in its entirety. Such reviews necessarily relied upon paper documents because of the inability of early information systems to provide electronic reviews of such programs.

Hence a practice of paper-oriented lifecycle reviews was built around available technology, and this practice continues to this day. [11]

Η μοντελοποίηση πρέπει να σταματάει σε κάποιο επίπεδο λεπτομέρειας. Η μοντελοποίηση δεν είναι αυτοσκοπός. Είναι είναι εργαλείο για την καλύτερη μελέτη, ανάλυση και σχεδίαση του τελικού πραγματικού συστήματος.

2.2 Ιστορική αναδρομή

2.3 Ανάλυση διαγραμματικής μοντελοποίησης

2.4 Σύντομη αναφορά σε υπάρχουσες γλώσσες διαγραμματικής μοντελοποίησης

2.5 Αιτιολόγηση επιλογής SysML

2.6 Σημειώσεις

Η γραφική απεικόνιση συστημάτων και κυρίως των μοντέλων τους αποτελεί τεχνική με στόχο την αντιμετώπιση της αιχανόμενης πολυπλοκότητας που παρουσιάζεται στο σχεδιασμό και συντήρηση μεγάλων και σύνθετων συστημάτων. Ευελπιστεί να βελτιώσει την επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των ομάδων που αλληλεπιδρούν στο σχεδιασμό -μηχανικοί- και στη χρήση -τελικοί χρήστες, εταιρία προώθησης- αυτού. [84]

Για να τονίσουμε την αξία της μοντελοποίησης συστημάτων και μη και κυρίως τα θετικά αποτελέσματα που έχει η εφαρμογή της παραθέτουμε κάποιες περιπτώσεις που αναδεικνύουν τα παραπάνω.

2.6.1 Χρησιμοποίηση μοντέλων για τον στρατηγικό σχεδιασμό της απόθεσης πυρηνικών αποβλήτων.

Σύμφωνα με τον Loyd Baker και τη Vitech Corporation [51] ο σχεδιασμός της απόθεσης πυρηνικών αποβλήτων από της πυρηνικές εγκαταστάσεις του ποταμού Savannah στη Νότια Καρολίνα προσεγγίστηκε με μεθοδολογίες βασιζόμενες στο μοντέλο και σε πρακτικές του μηχανικού συστημάτων.

Τα αποτελέσματα της επιλογής αυτής συνοψίζονται στα παρακάτω :

- Η χρησιμοποίηση μοντέλων βελτίωσε την ιχνηλασμότητα των προδιαγραφών της διαδικασίας σε σχέση με τη χρησιμοποίηση απλού κειμένου. Επίσης είχε σημαντική επίδραση στην εξέλιξη των προδιαγραφών καθώς γίνονταν πιο λεπτομερής και πολύπλοκες και τέλος στο συσχετισμό τους με συγκεκριμένες εσωτερικές ενέργειες της διαδικασίας.
- Η γραφική απεικόνιση της διαδικασίας και της ροής των επιμέρους ενεργειών επέτρεψε την παράλληλη και ταυτόχρονη ενημέρωση των μηχανικών και των μη μηχανικών λόγω της απλότητας και της ευκρίνειας της παρουσίασης.
- Η αποσαφήνιση των ενεργειών και των ροών τους και η ανάθεσή τους σε φυσικές οντότητες (πρόσωπα, μηχανήματα, εξαρτήματα κ.ά.) οδήγησε στην εύκολη και γρήγορη καταγραφή των απαιτούμενων διεπαφών μεταξύ τους.
- Τέλος, η αυτόματη παραγωγή της τεκμηρίωσης του μοντέλου μείωσε αισθητά το χρόνο και το κόστος της συγγραφής αναφορών και διαγραμμάτων.

Μοντέλο και αντίληψη Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στο πώς μπορούν να περιγραφεί ένα σύστημα από διαφορετικές οπτικές γωνίες.

- Ένα μοντέλο και πολλαπλές όψεις (SysML)
- Ένα μοντέλο για κάθε όψη. [83]

2.6.2 Ακμάζουσες MBSE μεθοδολογίες

IBM Telelogic Harmony-SE

INCOSE Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM)

**IBM Rational Unified Process for Systems Engineering (RUP SE)
for Model-Driven Systems Development (MDSD)**

Vitech Model-Based System Engineering (MBSE) Methodology

JPL State Analysis (SA)

Dori Object-Process Methodology (OPM)

Department of Defense Architecture Framework (DoDAF)

Κεφάλαιο 3

Μηχανοτρονικό σύστημα

Design Then Control (DTC) In this strategy, the mechanical structure is usually designed first, and then fitted with off-the-shelf electric motors and drive electronics. Finally, a controller is designed and tuned for the existing physical system until the goal is achieved. Therefore, in this classical mechatronic system design process, the structural parameters are assumed to be fixed, and cannot be changed by excluding considerations for either whole system dynamics or control effort points of view. Consequently, this approach leads to a system with non-optimal dynamic performance. In view of the above reason, the recursive integrated design process, called Iterative Design (ID), as shown in Fig. 1(b) was developed for mechatronic systems. This recursive integrated design concept has been used in aviation, precision machinery, robotic, and hard disk designs.[21]

To handle mechatronic concepts, one needs both a total view of available technologies and a systematic attitude towards technology combination. [20]

System thinking : Mechatronics is a system for transforming and preserving energy and information. (Takeachl, Y: Mec:batronics and software. J Jpn Soc Prec Eng voJ 52 DO 7, July 1986 (in Japanese)). [20] p.15
Machines enhanced with electronic, software and control constructs : Mechatronics is characterized by the use of electronics in controlling mechanical systems to enhance the controlling performance (Itao, K: Mechatronics and mechanism control J Jpn Soc P Eng 'VOl 52 no 7, July 1986 (in Japanese)) [20] p.15
Mechatronics is a technology which combines mechanics with electronics

and information technology to form both functional interaction and spatial integration in components, modules, products and systems.[20] p.18. Αυτός ο ορισμός δίνει πάτημα στο mechatronic component αφού υποστηρίζει το συνδυασμό των τριών τεχνολογιών τόσο λειτουργικά όσο και τμηματικά.

Μεθοδολογία μηχανοτρονικής σχεδίασης When interviewing designers in industry, there are indications that methodology for mechatronics design is missing:

- Designers find it difficult to describe and discuss the way of working of a total mechatronic system.
- To choose the right design concept in mechatronics is regarded as very important, but the decision is often made early in the design process with very few designers involved.
- There are difficulties in dividing the design activities in a mechanical, electronics, and software part, and in managing the interfaces between the three areas.
- The function of the total concept will mostly not be verified until a very late stage of the project ("software design has to be finished first"). At that time alternative concepts are not available for comparison, and only details may be altered.

[20] p27.

For machine design, the set of basic design properties have been listed by Tjalve [79]

- for the total product structure (elements, relations)
- for each part form, dimensions, material, surface quality

[20] p.57

Η ανάλυση μιας λειτουργίας σε υπολειτουργίες είναι εφικτή μόνο όταν έχει γίνει επιλογή του μέσου επίλυσης της λειτουργίας αυτής.

Analogies of electro-mechanical systems The well-developed set of theories for the behavior of electronic circuits can be applied for the analysis of mechanical systems by establishing dynamical analogies, (RASMUSSEN 1970 in Danish). This is based on the fact that mechanical systems can be considered a network of components, which in a dynamical sense have functions analogous to the capacitor, inductor, and resistor etc. of an electronic circuit. [20] p.65

Αύξηση μηχανοτροπικών συστημάτων In response to this call for innovation [31], manufacturers have accelerated their adoption of electronics. Research shows that 92 percent of manufacturers now incorporate electronic elements into their products. [39]

Πώς και αναζωπυρώθηκε το ενδιαφέρον για τη μηχανοτροπική
While mechatronics has been historically associated with system products such as vehicles and manufacturing technologies such as robots, these same mechatronic concepts are now appearing in applications such as healthcare. [17] p.5.

Καλό παράδειγμα μηχανοτροπικού συστήματος A Mechatronic Design Of A Circular Warp Knitting Machine :

The whole system, including the actuators, software and controls requires synchronization and therefore had to be considered at this conceptual stage. The mechatronic design philosophy then needs to be applied. [5] p.74

Στο [68] p.92 τονίζεται ότι τα μηχανοτροπικά συστήματα αναπτύχθηκαν αρκετά νωρίτερα της ομάδας εξέλιξης και της μηχανικής λογισμικού. Γίνεται αναφορά στα 1970 και 1980 με παράδειγμα το αυτοκίνητο.

The first component to be replaced by mechatronics was the troublesome contact breaker points. From the 1970s onwards, these were replaced by a non-contact sensor inside the distributor that consisted of a rotating toothed armature (one tooth for each cylinder) that induces a signal from an electromagnetic transponder each time a tooth passes in front of it [7]. This

signal was then sent to an electronic ignition control unit that triggered the firing of the coil and hence the spark. This simple innovation produced a stronger and more reliable spark and removed the need for the replacement and maintenance of points. At this stage, the mechanical centrifugal and vacuum advance systems remained.

The real revolution came in the mid-1980s when advances in electronic fuel injection and microprocessor technology enabled complete control over both ignition and fuel delivery to be contained within a single Engine Control Unit (ECU). This allows for a much clearer separation between sensing, processing and actuation in accordance with mechatronic principles. Both the distributor and the carburettor have now become redundant [6, 10].

Mechatronics is a key cornerstone of modern industrial technologies, and it is developed toward more efficient, more convenient, more intelligent, more integrated and human-friendly. [52]

3.1 Common mechatronic design methodology

For mechatronic design, the high level of complexity in integrating domain-specific design concepts is described as a major challenge (Tomiyama et al., 2007; Gausemeier et al., 2009b). According to our investigations, the factors that lead towards a high complexity in integrating domain-specific design concepts are: lack of availability of a methodology for mechatronic design; low level of cross-disciplinary knowledge of designers; low quality of integration between multi-domain models; high level of difficulty in ensuring consistency between design models; and lack of possibilities to manage cross-domain dependencies. Designing mechatronic products is probably not that difficult if the aim is to search for a possible design concept, and develop it without caring for issues such as searching for alternative design concepts, assessing consequences to select between alternative design concepts, optimizing a design concept, and considering integration issues. Such issues are important to consider during mechatronic design, especially during the design of complex mechatronic products. In the aim of optimizing a mechatronic product, it is important that a designer can modify the product design dynamically,

and be able to assess the consequences of different design decisions while trying to find the best among them.[66] p.23

As stated by many of the researchers, the fundamental reason leading to the many challenges is the absence of a common mechatronic design methodology. This is again rooted in the fact that theories building upon different axioms cannot easily be joined to a common theory, as described by Tomiyama et al. (2007).[66] p.25

3.2 The Future

Human-machine cooperation and interaction It is evident from the foregoing description that most of them will base on the capability of human-robot cooperation, to work side by side on common space. This is one of the major trends in the next decade. The next future trend is that humans and machine will be able to intercommunicate through speech using natural language, as well as through gestures and body positions. Robot will be capable of autonomic learning from human via observation and imitation and then transmit the skills they have learned to other robot. It is interesting thing concerns enabling robots to understand, react to, and display emotions. This implies the ability to sense and understand body language, facial expressions, tone of voice, gestures, and other manifestations of emotional states. Furthermore, the expression and understanding of emotional states are important parts of human-robot communication. Further said, to develop esthetic sense and ethical awareness for robot are not only possible, but likely. [52]

Micro- and nanorobots Within the next ten or twenty years, the rapid development in MEMS/NEMS will urge microrobot/nanorobot to be realized and lead to amazing new applications. Even today it is realizable to design a centimeter scale robot, so-called superminirobot, that contains a processor, a camera and one or more other sensors, a motor and controller, a radio, and a battery. We can envision the application that a molecular-sized nanorobots is injected into the bloodstream of a patient. They should be able to locate and destroy tumors, repair aneurisms, and perform a variety of other surgical procedures. [52]

Reconfigurability The self-reconfigurable robots are an autonomous mechatronic systems equipped with control unit, sensors, actuators, power supply, networking unit, and most importantly, reconfigurable modules. In order to meet the demands of the environment, the self-reconfigurable robots can autonomously change their physical reconfigurable modules to join with other modules under computer or human command. With the deformable capability, these robots can go beyond the traditional, fixed-shaped robotic systems, and promise versatile capabilities for a wide range of applications, low cost for constructions, and self-repairing for fault tolerance. The potential applications for self-reconfigurable robots are tremendous. The control issue of a self-reconfigurable robot is a great challenge. In order to execute the desired global action in a given environment, each module, an autonomous and intelligent agent, must cooperate with others. [52]

Self-organization, self-repair, autonomous evolution, and self-replication
The visualizing scenarios of autonomic machine have been the stuff of many science fiction stories for a long time. The question of machine self-replication is the concern of serious scientists who view self-reproduction as the eventual goal of intelligent machines. Whether true self-reproducing will realize on the horizon? Perhaps they should never exist. Self-repair is a much less controversial issue and much more feasible. Along with the technologies of fault diagnosis and self-maintenance developed vigorously, machines will be able to repair their own failures within the next ten to twenty years. To design and implement a sociable machine is the goal that many scientist work diligently allover life. A few key aspects of human social intelligence were characterized to derive a list of core ingredients for sociable machine, such as being there, life-like quality, human aware, being understood, socially situated learning (Cynthia L. Breazeal, 2002). Furthermore, the issue inspired by human societies indicated that very large colonies of robots will require some form of organization. It can be visualized that the development of sociable machine will make it possible for groups of sociable machines to organize themselves into operating units most appropriate to a given task. Finally, several past literatures demonstrate that evolutionary or genetic algorithms are very useful optimization tools that can be used to select appropriate machine parameters to accomplish particular goals. If the goals of autonomous evolution to be set by the machine themselves, or by humans interested in developing supermachines, the results would be unpredictable. [52]

3.3 Relative work

Mechatronic systems controlled by plc [13] Complements VDI 2206 guideline to provide better support for developing mechatronic systems controlled by a plc. The main concepts that are being introduced are that two more steps in the design process are being used to specify the transition in-between the design phases - from system design to domain specific design and vice versa - for the discussed type of mechatronic system.

Concurrent engineering of structural and control domain. This paper aims at to develop a robust optimization methodology for the mechatronic modules of machine tools by considering all important characteristics from all structural and control domains in one single process. The relationship between these two domains is strongly coupled. In order to reduce the disturbance caused by parameters in either one, the mechanical and controller design domains need to be integrated. Therefore, the concurrent integrated design method Design For Control (DFC), will be employed in this paper. In this connect, it is not only applied to achieve minimal power consumption but also enhance structural performance and system response at same time. [21].

Κεφάλαιο 4

Μοντελοποίηση

Model Integration Two dimensions of model evolution has been proposed by Biehl (2010, chap. 4), a horizontal model evolution, and a vertical model evolution. A horizontal dimension of model evolution involves changing the meta-model that the model conforms to, such as evolution of model from one domain to another. A meta-model of a model describes the abstract syntax that a model must follow (see [14], chap. 2). The vertical model evolution includes operations on models such as adding, deleting, or changing model elements (see [14], chap. 4). [66] p. 31

Based on the two dimensions of model evolution, two types of integration approaches are presented in literature. The first one targets integration of design models existing within different domains. The second type of integration approaches involve a vertical model evolution, such as the integration of UML (Object Management Group, 2010b) and Simulink (Mathworks, 2010) models [66] p.31

Recently, it has been proposed to utilize the system-model for establishing the relationships between the domain-specific design models. This potentially means raising the level of abstraction by going from a domain-specific model towards a system model. To support the evolution of models across different domains, different domain-specific models are raised in abstraction towards the system model, and the system model is utilized to establish relationships between the domain-specific models. Approaches that utilize SysML to establish those relationships include the work by Shah [Multi-view ModelingToSupportEmbeddedSystemsEngineeringII (2010), Paper C, and Paper D. [66] p.32

Κεφάλαιο 5

Γιατί τα χρειαζόμαστε όλα αυτά.

SysML There is an urge to develop such a common language in mechatronics design. We need a common language on three different levels :

- language for determining the functions that the customer needs, "symbolic language for required functions"
- language for the task setting and conceptual design phases, "conceptual phase language"
- language for embodiment and detailed design phases, "expert phase language"

[20] p27.

Θεωρία συστημάτων Η θεωρία συστημάτων αποτελεί αντίληψη και προσφέρει εργαλεία για την αφαιρετική μοντελοποίηση τεχνητών στοιχείων και για την αποσύνθεση τέτοιων στοιχείων σε υπο-στοιχεία σε ιεραρχική βάση. Επειδή μόνο με την αντιμετώπιση των μηχανοτρονικών στοιχείων ως ένα σύνολο από ασαφή (μη απολύτως καθορισμένα) συστήματα είναι εφικτό η σύλληψη εργαλείων με καθολική εφαρμογή σε τέτοιου είδους στοιχεία [20] p.35.

As demonstrated by HEINZL 1984 and CORDES 1984,1986, the function of a mechatronic system not only depends on the combination of input

variables, but also on the previous activities of the system (ie. the 'history' of the system). The same combination of input may cause different functions at different points in time. The functional structure of a mechatronic system seems to be variable and change with the momentary state of the system, BOHME 1978, FURCHERT ET AL 1979. Using state transition diagrams and matrices - tools being borrowed by electronics. [20] p.39.

[83]The development and adoption of a formal mechatronic system design process is an effective way of improving the mechatronic system design process. A benchmark study relating to the design of a similar product within the chosen company indicates that the development time has been reduced from seven years to one year for a high precision oil lubricating system such as the one illustrated in this chapter. This case study clearly demonstrates that the system structure and the effectiveness of the final design are greatly influenced by the design methodology used to create it. Specifically for this case study example, the following process has been used:

- create a working concept supported by working principles and product design elements
- development of functionality through function decomposition in response to perceived user requirements
- detail design and analysis to ensure the concept is fully embodied by using available techniques such as behavioral energy based, kinematic simulations
- prototype testing in lab a using duty cycle
- implementation of a working system in a user environment
- modification in response to actual user requirements.

Στο [17] p.7 τονίζεται η ανάπτυξη των μηχανοτρονικών συστημάτων κυρίως λόγω της παραμετροποίησης των σημερινών γραμμών παραγωγής και της αύξησης της πολυπλοκότητας αυτών. Αναφέρει ως παραδείγματα τις περιπτώσεις αυτοκινητοβιομηχανιών, φαρμακευτικών εταιριών και εταιριών παραγωγής ενέργειας.

With the introduction of the ‘make to order’ paradigm, manufacturing is now far more sophisticated than simply mass producing items for inventory. Buyers now want to customise everything and to do so at almost the unit level. This has necessitated an agility of operations that was previously unimagined. Manufacturing groups can now be created [28] ‘on-the-fly’ in response to job specifications, which may involve autonomous work-cells moving into varying positions as part of a dynamic collaboration. In addition to containing many degrees of freedom, each manufacturing cell may also be multi-faceted and provide a variety of job functions on a piece by piece basis. For example, a unit that is customarily used as a gripper to move completed work-pieces from assembly to a conveyor may also from time to time insert a component, and all within the same production run. Because of the combinational complexity of such systems, the scheduling of flexible architecture work groups has attracted the interest of methodologies that include game theory [29] and self-organisation [30, 31]. The problems associated with flexible groupings are manifold. Any operation that involves autonomous vehicular movement must allow for unobtrusive inactive parking, dynamic path and scene analysis, unit return and recovery strategy, and self reporting of malfunctions and maintenance intervals. All of these are commonplace mechatronic system issues. The pharmaceutical and power generation industries are also heavily dependent on mechatronic devices to provide skilled operations in environments where it is either unsafe or inconvenient for humans to work. This includes the handling of toxic and radioactive materials and maintenance in heavily polluted atmospheric conditions. Automated inspection systems provide 100% control and dramatically outperform humans in such boring and repetitive tasks.

[49]

Creating complex systems from scratch is time consuming and costly, therefore a strategy often chosen by companies is to evolve existing systems. Yet evolving a system is also complicated. Complex systems are usually the result of multidisciplinary teams, therefore it is essential to understand barriers those teams face when evolving a system.

Γιατί τα χρειαζόμαστε όλα αυτά.

From the research carried at Philips Healthcare MRI, we have identified that main evolution barriers employees face are; managing system complexity, communication across disciplines and departments, finding the necessary system information, lack of system overview, and ineffective knowledge sharing. Those barriers were identified as the root cause of many development problems and bad decisions. [16]

Κεφάλαιο 6

SysML

explain the usefulness of SysML in the conceptual design phase of product development. [AComputationalProductModelForConceptualDesignUsingSysML]

SysML not adequate It can be concluded here that the approaches such as SysML, SFSL, and A3 overviews can all prove to be beneficial in eliminating many of the problems faced during the current state of the practice in conceptual design of mechatronics. However, these languages do not serve the complete purpose of a common system-level modeling language for mechatronic design during the conceptual phase of the development process. [66]

Κεφάλαιο 7

Γλώσσα SyML

7.1 Εισαγωγή

7.2 Ιστορική αναδρομή

7.3 Παρουσίαση διαγραμμάτων

7.4 Παρουσίαση case studies

7.5 Σημειώσεις

7.5.1 Παρουσίαση διαγραμμάτων [34]

Activity diagram represents behavior in terms of the ordering of actions based on the availability of Inputs, outputs, and control, and how the actions transform the Inputs to outputs (modification of UML activity diagram)

Sequence diagram represents behavior in terms of a sequence of messages exchanged between parts (same as UML sequence diagram)

State Machine diagram represents behavior of an entity in terms of its transitions between states triggered by events (same as UML state machine diagram)

Use case. diagram represents functionality in terms of how a system or other entity is used by external entities (i.e., actors) to accomplish a set of goals (same as UML use case diagram)

Block definition diagram represents structural elements called blocks, and their composition and classification (modification of UML class diagram)

Internal block diagram represents interconnection and interfaces between the parts of a block (modification of UML composite structure diagram)

Parametric diagram represents constraints on property values, such as $F = \text{min}$, used to support engineering analysis (not in UML)

Package diagram represents the organization of a model in terms of packages that contain model elements (same as UML package diagram)

Κεφάλαιο 8

Πρώτο πεδίο εφαρμογής : Festo MPS®System

8.1 Παρουσίαση του συστήματος

Εισαγωγή Το πρώτο σύστημα που θα εξετάσουμε αποτελεί μικρογραφία μιας γραμμής παραγωγής (βλπ. σχ. 8.1 και 8.2). Στην παρούσα εργασία θα υποθέσουμε ότι πρόκριται για μία πραγματική και λειτουργική γραμμή παραγωγής η οποία αποτελείται από τέσσερα διακριτά μέρη, τα εξής :

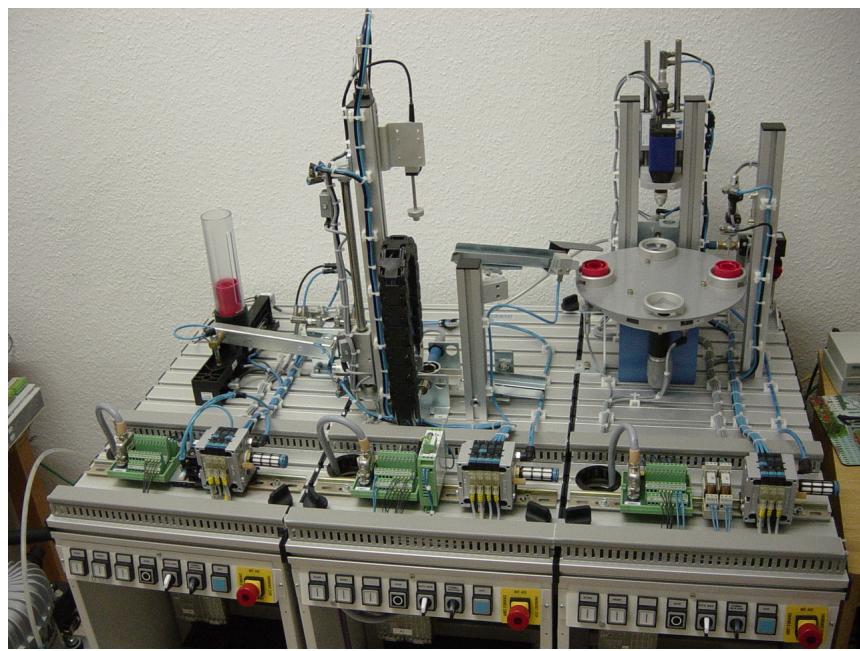
- σταθμό διανομής
- σταθμό ελέγχου
- σταθμό επεξεργασίας και
- σταθμό αποθήκευσης

Κατασκευή Το σύστημα έχει κατασκευαστεί από την εταιρεία Festo Didactic¹. Συγκεκριμένα η εταιρεία αυτή ειδικεύεται στη διδασκαλία συστημάτων αυτοματισμού. Για το σκοπό κατασκευάζει μικρογραφίες εξαρτημάτων όπως βαλβίδες πίεσης, κινητήρες, ρομποτικούς βραχίονες κ.ά. τα οποία συνδυαζόμενα μεταξύ τους αποδίδουν πληθώρα βιομηχανικών διεργασιών και συστημάτων παραγωγής. Ένα τέτοιο σύστημα

¹<http://www.festo-didactic.com>



Σχήμα 8.1: Το πλήρες σύστημα Festo MPS®



Σχήμα 8.2: Το σύστημα Festo MPS® χωρίς τον τελικό σταθμό αποθήκευσης [44]

αποτελεί και το συγκεκριμένο που θα αναλυθεί στη συνέχεια για τις ανάγκες της εργασίας.

Αιτιολόγηση επιλογής Επιλέξαμε το συγκεκριμένο σύστημα ως περίπτωση εφαρμογής για τη SysML επειδή διαθέτει πολλά ενδιαφέροντα στοιχεία για έναν μηχανικό συστημάτων αφού αποτελείται από εξαρτήματα που ανήκουν σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία. Συγκεκριμένα διαθέτει αισθητήρες που η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται σε οπτική, επαγωγική, χωροτική και μηχανική μέτρηση. Επιπλέον περιλαμβάνει πλεκτρικά, πλεκτρονικά και μηχανικά μέρη, ρομποτικούς βραχίονες, βαλβίδες πίεσης, πνευματικές συσκευές κ.ά.. Μην ξεχνάμε ότι στο όλο σύστημα συμπεριλαμβάνεται και το λογισμικό ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας. Συνεπώς για την κατανόηση του απαιτούνται γνώσεις πλεκτρολόγου, πλεκτρονικού και μηχανολόγου μηχανικού καθώς και μηχανικού λογισμικού.

Πρώτες ύλες Ως πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται κυλινδρικά αντικείμενα διαφορετικού χρώματος, υλικού και ύψους. Μπορεί να είναι χρώματος κόκκινο, μαύρο ή ασημί και κατασκευασμένα από αλουμίνιο ή πλαστικό. Όσον αφορά το ύψος τους, τα κόκκινα και μεταλλικά τεμάχια είναι κατά 2,5 χιλιοστά ψηλότερα των αντίστοιχων μαύρων.



Σχήμα 8.3: Οι πρώτες ύλες της γραμμής παραγωγής

Παραγωγική διαδικασία Η παραγωγική διαδικασία που αναπαριστάμε έχει ως βάση της κυλινδρικά τεμάχια διάφορων χρωμάτων, υλικών και ύψους. Τα τεμάχια αυτά είναι αποθηκευμένα σε μία στοίβα στο σταθμό διανομής (βλπ ενότ. 8.1.1). Με τη βοήθεια ενός βραχίονα μεταφέρονται στο σταθμό ελέγχου (βλπ ενότ. 8.1.2) όπου αναγνωρίζεται το χρώμα και το υλικό των κυλίνδρων και ελέγχονται για το ύψος τους. Αν κάποιος κύλινδρος διαθέτει μία ή και περισσότερες μη αποδεκτές ιδιότητες τότε απομακρύνεται από τη γραμμή παραγωγής. Οι αποδεκτοί πλέον κύλινδροι μεταβαίνουν στο σταθμό επεξεργασίας (βλπ ενότ. 8.1.3). Στο σταθμό αυτό δημιουργείται μία οπή στο κέντρο των κυλίνδρων.

Στη συνέχεια ελέγχεται αν η διάτροπη ήταν επιτυχής και εν τέλει αποθηκεύονται στο σταθμό αποθήκευσης (βλπ ενότ. 8.1.4) σε μία από τρεις στοίβες ανάλογα με το χρώμα και το υλικό τους. [4]

Ακολουθεί η λειτουργική ανάλυση της κάθε μονάδας παραγωγής και η καταγραφή των επιμέρους μερών τους.

8.1.1 Σταθμός διανομής [23] [3] [4]

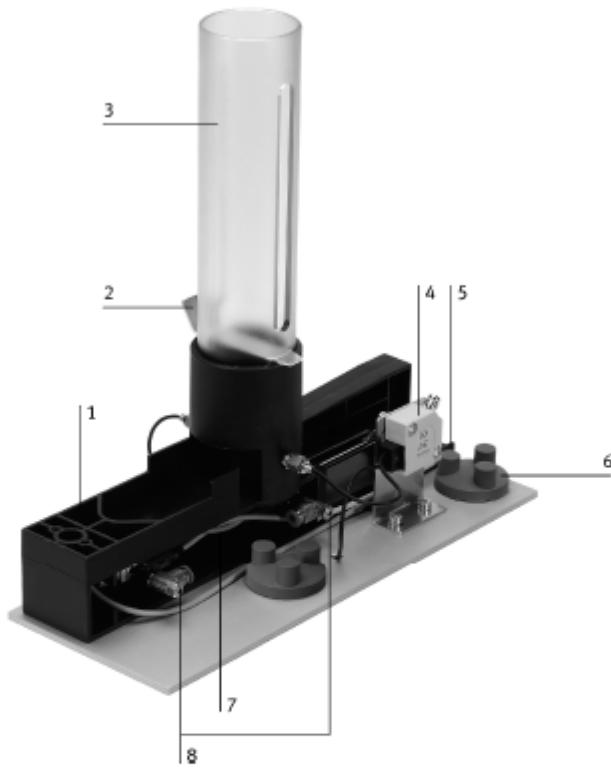
Εισαγωγή Ο σταθμός διανομής αναλαμβάνει την εισαγωγή των πρώτων υλών στη γραμμή παραγωγής από μία στοίβα αποθήκευσης και τη διανομή τους με τη χρήση βραχίονα και βεντούζας. Αποτελείται από τα εξαρτήματα :

- στοίβα αποθήκευσης (βλπ. σχ.8.5)
- μονάδα μεταφοράς (βλπ. σχ.8.6)
- βάση εγκατάστασης
- συσκευή ελέγχου
- πλακέτα plc

Ο σταθμός διανομής διαχωρίζει τα κυλινδρικά τεμάχια από τη στοίβα αποθήκευσης η οποία διατηρεί μέχρι 8 κομμάτια. Το επίπεδο πλήρωσης της στοίβας ελέγχεται μέσω ενός φωτοκυττάρου. Οι κύλινδροι αφαιρούνται ένας-ένας από τη στοίβα μέσω ενός εμβόλου πεπιεσμένου αέρα δύο κατευθύνσεων. Στη συνέχεια η μονάδα μεταφοράς παραλαμβάνει τα τεμάχια και τα παραδίδει στον επόμενο σταθμό της γραμμής παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός ρομποτικού βραχίονα και μιας βεντούζας. Η βεντούζα δεσμεύει το τεμάχιο με μία βαλβίδα κενού και ένας αισθητήρας κενού ανιχνεύει τη δέσμευση του. Τότε ο βραχίονας μεταφοράς, οδηγούμενος από έναν κινητήρα περιστροφικής κίνησης, παραδίδει τον κύλινδρο στην επόμενη μονάδα.



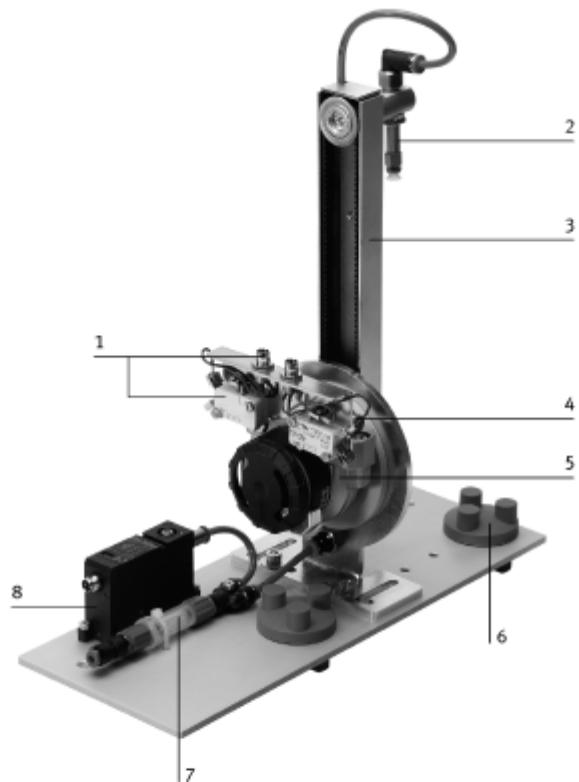
Σχήμα 8.4: Ο σταθμός διανομής [25]



- | | |
|---|---|
| 1 | Magazine holder |
| 2 | Blocking bracket |
| 3 | Magazine barrel |
| 4 | Through-beam sensor with 4-pin M8 plug |
| 5 | Inductive end position sensors with 3-pin M8 plug |
| 6 | Mounting components with latching mechanism |
| 7 | Double-acting cylinder |
| 8 | One-way flow control valves |

Σχήμα 8.5: Η στοίβα αποθήκευσης [27]

Κεφάλαιο 8

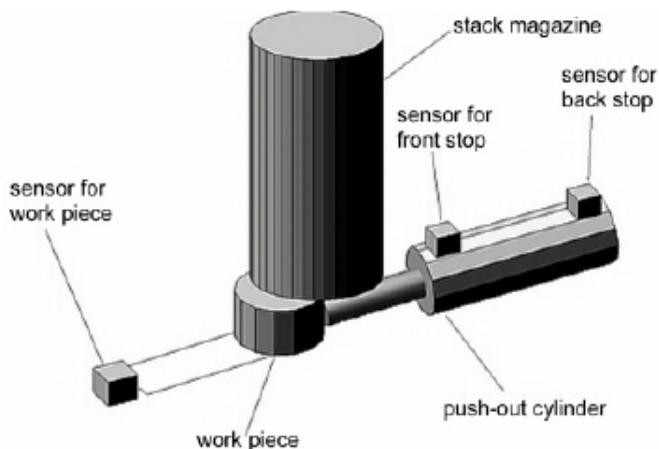


- 1 Microswitch with 3-pin M8 plug
- 2 Vacuum suction cup
- 3 Swivel arm
- 4 One-way flow control valves
- 5 Swivel drive
- 6 Mounting components with snap-in system
- 7 Vacuum filter
- 8 Pressure switch with 4-pin M8 plug

Σχήμα 8.6: Η μονάδα μεταφοράς [22]

Στοίβα αποθήκευσης βλπ. σχ. 8.7 και 8.5 Όπως προαναφέρθηκε η στοίβα αποθήκευσης χωράει μέχρι 8 τεμάχια. Ένα πναυματικό έμβολο διπλής κατεύθυνσης μεταφέρει τα κομμάτια στην άκρη της μονάδας αυτής. Τα τεμάχια σταματάνε στο σημείο αυτό επειδή υπάρχει κυκλικό τοιχίο που εμποδίζει οποιαδήποτε άλλη τοποθέτηση. Στη θέση αυτή χωράει μόνο ένα τεμάχιο και αποτελεί τη θέση από την οποία μεταφέρεται ο κύλινδρος στην επόμενη μονάδα. Το επόμενο τεμάχιο τοποθετείται αυτόματα μπροστά από το έμβολο με τη βοήθεια της βαρύτητας.

Η διαθεσιμότητα των τεμαχίων μέσα στη στοίβα διαπιστώνεται μέσω ενός φωτοκυττάρου τοποθετούμενο στο κάτω μέρος αυτής. Η θέση του εμβόλου διαπιστώνεται μαγνητικά μέσω δύο επαγωγικών αισθητήρων -ο ένας αισθητήρας τοποθετείται στο πίσω μέρος και ο άλλος στο μπροστινό. Η ταχύτητα εκτόνωσης και επαναφοράς του εμβόλου καθορίζεται με μεγάλη ακρίβεια από βαλβίδα ελέγχου πεπιεσμένου αέρα μίας κατεύθυνσης.

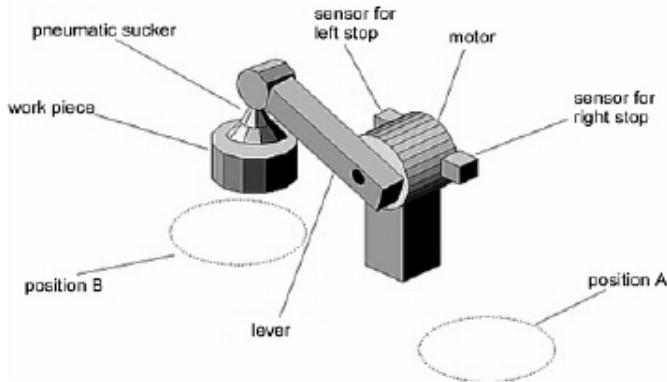


Σχήμα 8.7: Γραφική απεικόνιση της στοίβας αποθήκευσης [3]

Μονάδα μεταφοράς βλπ. σχ. 8.8 και 8.5 Η μονάδα αυτή αποτελεί μία πνευματική συσκευή. Μέσω μίας βεντούζας που είναι τοποθετημένη πάνω σε ρομποτικό βραχίονα τα τεμάχια μεταφέρονται με περιστροφική κίνηση στην επόμενη μονάδα. Η περιστροφική κίνηση υλοποιείται από έναν πνευματικό κινητήρα. Το εύρος της περιστροφικής κίνησης

Κεφάλαιο 8

καθορίζεται μηχανικά μεταξύ 0 και 180 μοιρών. Οι τελικές θέσεις που λαμβάνει ο βραχίονας ελέγχονται μέσω μικροδιακοπτών. Τέλος μέσω ενός αισθητήρα κενού συνδεδεμένο με τη βεντούζα ανιχνεύεται αν η τελευταία έχει παραλάβει το κυλινδρικό τεμάχιο.



Σχήμα 8.8: Γραφική απεικόνιση της μονάδας μεταφοράς [3]

Ανάλυση λειτουργίας Λεπτομερέστερα οι προϋποθέσεις για να λειτουργίσει ο σταθμός αυτός και η σειρά με την οποία εκτελούνται οι επιμέρους ενέργειες απαριθμούνται στον πίνακα 8.1:

Πίνακας 8.1: Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού διανομής [23]

Προαπαιτήσεις

-
- 1 Η στοίβα να διαθέτει τεμάχια προς επεξεργασία
-

Αρχική κατάσταση

- 1 Το έμβολο διπλής κατεύθυνσης είναι σε κατάσταση εκτόνωσης
- 2 Το σύστημα βραχίονα-κινητήρα βρίσκεται στη μεριά της στοίβας
- 3 Η βεντούζα είναι ανενεργή
-

Ακολουθία ενεργειών

- Ο κινητήρας μεταβαίνει στη θέση του επόμενου σταθμού εάν υπάρχουν τεμάχια μέσα στη στοίβα και το πλήκτρο Εκκίνησης έχει πατηθεί
-

ο πίνακας συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

συνέχεια του πίνακα 8.1

-
- 2 Το έμβολο επανέρχεται και βγάζει ένα τεμάχιο έξω από τη στοίβα
3 Ο κινητήρας μεταβαίνει στη θέση της στοίβας αποθήκευσης
4 Η βαλβίδα κενού ενεργοποιείται και μόλις πιαστεί το τεμάχιο ο διακόπτης κενού στέλνει το απαραίτητο σήμα
5 Το έμβολο επανέρχεται και ελευθερώνει το τεμάχιο
6 Ο κινητήρας μεταβαίνει στη θέση του επόμενου σταθμού
7 Η βαλβίδα κενού απενεργοποιείται
8 Ο κινητήρας μεταβαίνει στη θέση της στοίβας
-

ολοκληρώθηκε ο πίνακας 8.1

8.1.2 Σταθμός ελέγχου [28] [3] [4]

Εισαγωγή Ο σταθμός ελέγχου αναλαμβάνει να διαπιστώσει αν το τεμάχιο που παρέλαβε από το σταθμό διανομής βλπ. ενοτ.8.1.1 είναι κατάλληλο επεξεργασίας από τον επόμενο σταθμό -σταθμός επεξεργασίας βλπ. ενοτ.8.1.3. Συγκεκριμένα πρέπει να αναγνωρίσει το υλικό κατασκευής των κυλίνδρων, να ελέγξει το ύψος των τεμαχίων και ανάλογα με αυτό να τον απορρίψει ή να τον προωθήσει στον επόμενο σταθμό της γραμμής παραγωγής. Αποτελείται από τα εξαρτήματα :

- μονάδα αναγνώρισης
- μονάδα ανύψωσης
- μονάδα μέτρησης
- μονάδα κύλισης με αέρα
- μονάδα κύλισης
- βάση εγκατάστασης
- συσκευή ελέγχου
- πλακέτα plc

Ο σταθμός ελέγχου εξακριβώνει τα χαρακτηριστικά των κυλινδρικών τεμαχίων. Η μονάδα αναγνώρισης διατίστωνται το χρώμα του κυλίνδρου και την παρουσία τεμαχίου. Με αισθητήρα ανάκλασης ελέγχουμε αν η θέση μέτρησης είναι διαθέσιμη ώστε να αποφασιστεί αν θα ανυψωθεί το κυλινδρικό αντικείμενο ή όχι. Επιπλέον, ένας αναλογικός αισθητήρας μετράει το ύψος του κυλίνδρου. Το σήμα εξόδου του αισθητήρα μετατρέπεται σε ψηφιακό μέσω ενός τελεστή με ρυθμιζόμενο κατώφλι ή μπορεί να εισαχθεί σε ένα PLC ως αναλογικό σήμα. Τέλος αν οι κύλινδροι είναι αποδεκτοί οδηγούνται από το επίπεδο που είναι με ένα πνευματικό γραμμικό έμβολο δύο κατευθύνσεων προς τον σταθμό επεξεργασίας διαμέσου μιας . Τα υπόλοιπα κομμάτια "κατεβαίνουν" πίσω με τον ανελκυστήρα και τοποθετούνται σε μία διπλανή πλατφόρμα κύλισης.



Σχήμα 8.9: Ο σταθμός ελέγχου [25]

Μονάδα αναγνώρισης βλπ. σχ. 8.10 Η μονάδα αυτή αποτελείται από 2 αισθητήρες προσέγγισης με ψηφιακή έξοδο, έναν χωροποικό και έναν οπτικό. Ο χωροποικός ανιχνεύει την παρουσία τεμαχίου ανεξαρτήτως χρώματος. Αντίστοιχα ο οπτικός αισθητήρας διάχυσης ανιχνεύει το χρώμα των αντικειμένων. Επειδή η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ποσότητα του επιστρεφόμενου φωτός, δεν μπορούν να ανιχνευθούν τα μαύρα τεμάχια. Ο οπτικός αισθητήρας τοποθετείται πάνω στην πλατφόρμα ανύψωσης.

Μονάδα ανύψωσης βλπ. σχ. 8.11 Η ανύψωση πραγματοποιείται με ένα πνευματικό έμβολο δύο κατευθύνσεων. Η χαμηλή και ψηλή θέση του εντοπίζονται μέσω μαγνητικών αισθητήρων ή επαγωγικών αισθητήρων. Επιπλέον, διαθέτει ένα πνευματικό έμβολο εκτίναξης δύο κατευθύνσεων για την απομάκρυνση των αποδεκτών τεμαχίων στην μονάδα κύλισης με εξομάλυνση αέρα και των απορριφθέντων τεμαχίων στην

απλή μονάδα κύλισης. Η θέση του εμβόλου αυτού διαπιστώνεται μέσω δύο μαγνητικών αισθητήρων, έναν στο μπροστινό τμήμα του και ένα στο πίσω. Τέλος, για την καλύτερη και ασφαλέστερη εγκατάσταση των εξαρτημάτων αυτών χρονισμοποιείται και ένας οδηγός τύπου αλυσίδας για ενθυλακώσει τα πλεκτρικά καλώδια και τους σωλήνες μεταφοράς πεπιεσμένου αέρα της διάταξης. Επισημαίνουμε ότι ο οπτικός αισθητήρας της μονάδας αναγνώρισης ενσωματώνεται πάνω στην πλατφόρμα ανύψωσης.

Μονάδα μέτρησης βλπ. σχ. 8.13 και 8.12 Αποτελείται από ένα αναλογικό αισθητήρα για τη μέτρηση του ύψους των τεμαχίων. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται σε έναν γραμμικό ποτενσιόμετρο και ένα διαιρέτη τάσης. Η αναλογική μέτρηση μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακή μέσω ενός τελεστή ή να τροφοδοτηθεί σε μία plc συσκευή. Τέλος υπάρχει αποσβέστης ταλαντώσεων που δημιουργούνται από την ανύψωση του αντικειμένου στην τελική του θέση.

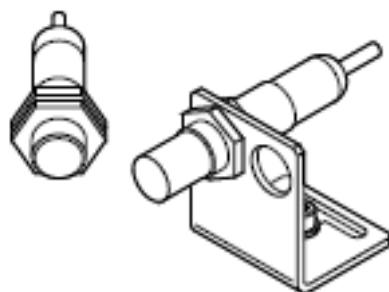
Επισημαίνουμε ότι τα κόκκινα και μεταλλικά τεμάχια είναι κατά 2,5 χιλιοστά ψηλότερα των αντίστοιχων μαύρων.

Μονάδα κύλισης με εξομάλυνση αέρα βλπ. σχ. 8.14 και 8.15 Η μονάδα κύλισης με εξομάλυνση αέρα χρονισμοποιείται για τη μεταφορά των κυλίνδρων με μέγιστη χωροπικότητα πέντε (5). Η εξομάλυνση από τον αέρα μειώνει την τριβή μεταξύ των τεμαχίων και της πλατφόρμας. Η γωνία κλίσης της πλατφόρμας είναι ρυθμιζόμενη. Στο τέλος της πλατφόρμας δεν υπάρχει τοιχίο για να εμποδίζει την κύλιση των κυλίνδρων. Επιθυμούμε την απρόσκοπτη κύλιση τους στον επόμενο σταθμό.

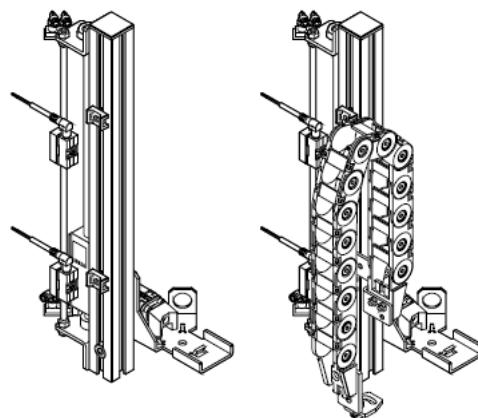
Μονάδα κύλισης βλπ. σχ. 8.16 Η μονάδα κύλισης χρονισμοποιείται για τη μεταφορά των κυλίνδρων. Τέσσερα (4) στο σύνολο μπορούν να τοποθετηθούν στην πλατφόρμα. Η γωνία κλίσης είναι ρυθμιζόμενη.

Ανάλυση λειτουργίας Λεπτομερέστερα οι προϋποθέσεις για να λειτουργήσει ο σταθμός αυτός και η σειρά με την οποία εκτελούνται οι επιμέρους ενέργειες απαριθμούνται στον πίνακα 8.2:

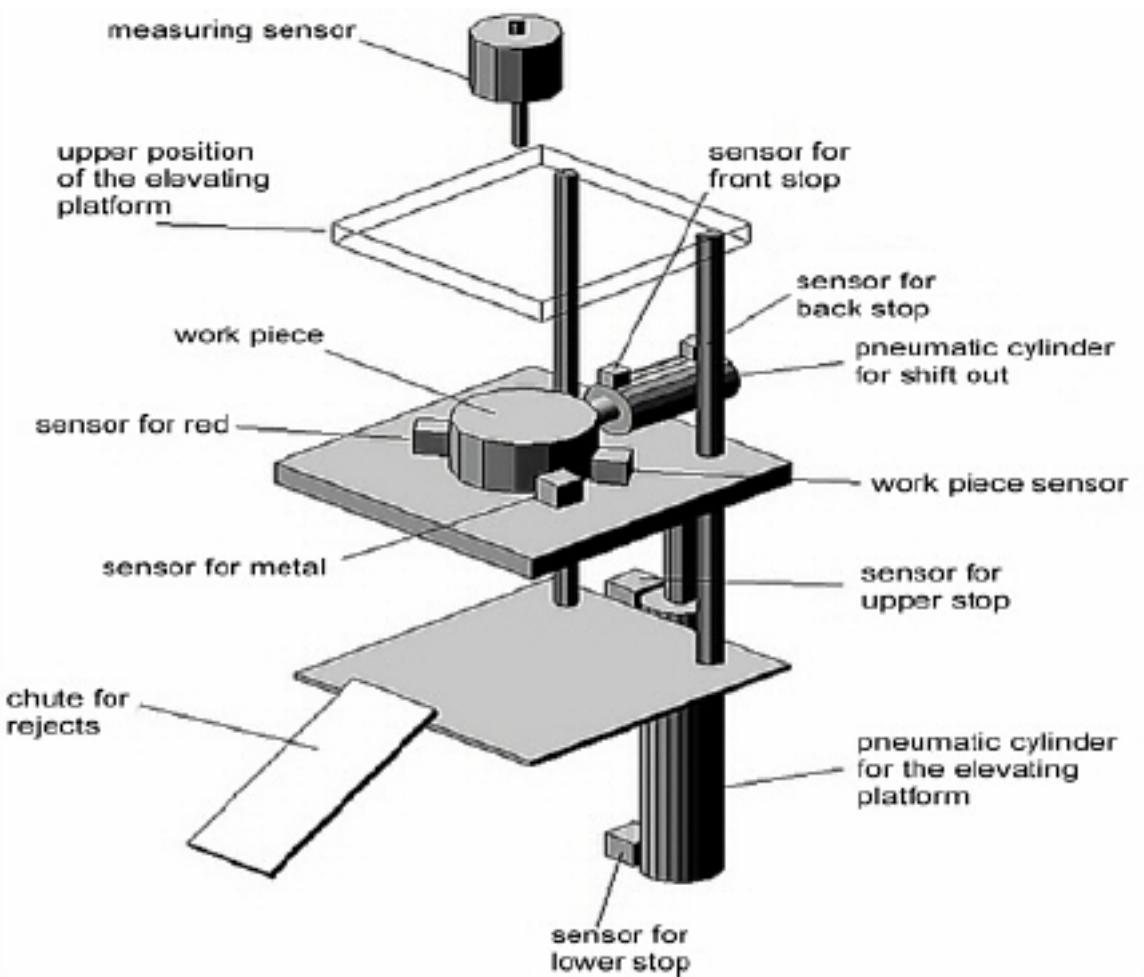
Κεφάλαιο 8



Σχήμα 8.10: Η μονάδα αναγνώρισης [28]

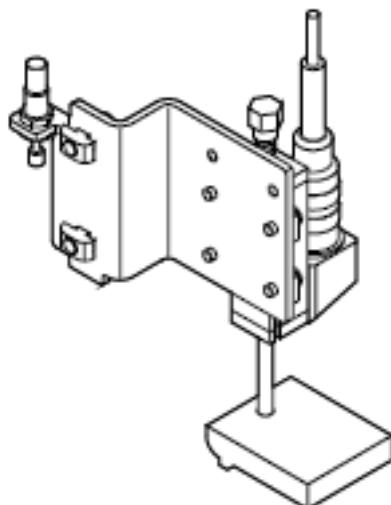


Σχήμα 8.11: Η μονάδα ανύψωσης [28] (στη δεύτερη εικόνα εμφανίζεται ο οδηγός καλωδίων στον οποίο τοποθετούνται τα πλεκτρικά καλώδια και οι σωλήνες μεταφοράς πεπιεσμένου αέρα)

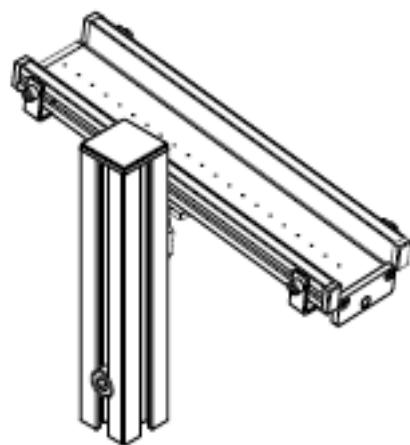


Σχήμα 8.12: Σχηματική απεικόνιση της μονάδας μέτρησης [3]

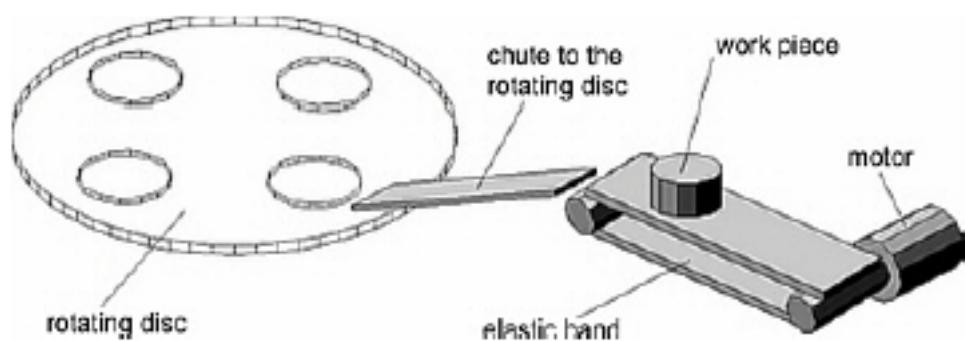
Κεφάλαιο 8



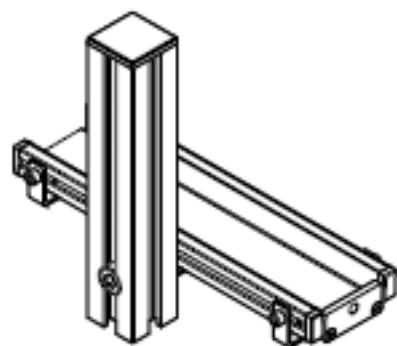
Σχήμα 8.13: Η μονάδα μέτρησης [28]



Σχήμα 8.14: Η μονάδα κύλισης με εξομάλυνση αέρα [28]



Σχήμα 8.15: Σχηματική απεικόνιση της μονάδας κύλισης με εξομάλυνση αέρα [3]



Σχήμα 8.16: Η μονάδα κύλισης [28]

Κεφάλαιο 8

Πίνακας 8.2: Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού ελέγχου [28]

Προαπαιτήσεις

- 1 Ένα τεμάχιο βρίσκεται έτοιμο για παραλαβή στο σταθμό διανομής
 - 2 Κανένα άλλο τεμάχιο δεν καταλαμβάνει την θέση αναγνώρισης
-

Αρχική κατάσταση

- 1 Ο ανελκυστήρας μεταβαίνει στην χαμηλή θέση
 - 2 Το έμβολο εκτίναξης συμπτύσσεται
 - 3 Απενεργοποίηση της πλατφόρμας κύλισης με εξομάλυνση αέρα
-

Ακολουθία ενεργειών

- 1 Αναγνώριση χρώματος και υλικού των τεμαχίων
 - 2 Ο ανελκυστήρας ανέρχεται στην πάνω θέση
 - 3 Γίνεται έλεγχος του ύψους
Αποδεκτό κυλινδρικό τεμάχιο
 - 4 Ενεργοποίηση της πλατφόρμας κύλισης με εξομάλυνση αέρα
 - 5 Έκταση του εμβόλου εκτίναξης
 - 6 Σύμπτυξη του εμβόλου εκτίναξης
 - 7 Απενεργοποίηση της πλατφόρμας κύλισης με εξομάλυνση αέρα
 - 8 Ο ανελκυστήρας κατέρχεται στην χαμηλή θέση
 - 9 Αρχική θέση
Μη αποδεκτό κυλινδρικό τεμάχιο
 - 10 Ο ανελκυστήρας κατέρχεται στην χαμηλή θέση
 - 11 Έκταση του εμβόλου εκτίναξης
 - 12 Σύμπτυξη του εμβόλου εκτίναξης
 - 13 Αρχική θέση
-

ολοκληρώθηκε ο πίνακας 8.2

8.1.3 Σταθμός επεξεργασίας [26] [3] [4]

Εισαγωγή Ο σταθμός επεξεργασίας αναλαμβάνει να επεξεργαστεί τα κυλινδρικά τεμάχια. Συγκεκριμένα πρέπει να τους επιφέρει μία οπή στο πάνω μέρος τους. Αποτελείται από τα εξαρτήματα :

- μονάδα περιστροφής
- μονάδα διάτροπης
- μονάδα ελέγχου
- βάση εγκατάστασης
- συσκευή ελέγχου
- πλακέτα plc

Ο σταθμός αυτός διαθέτει ένα περιστρεφόμενο δίσκο με τέσσερις (4) θέσεις για τα κυλινδρικά τεμάχια. Η θέση του δίσκου διαπιστώνεται με έναν επαγωγικό αισθητήρα, ο οποίος ανιχνεύει μεταλλική βίδα που υπάρχει σε κάθε μία από τις τέσσερις θέσεις. Αρχικά εισέρχεται κύλινδρος προς επεξεργασία. Ο δίσκος περιστρέφεται κατά 90° στη θέση όπου βρίσκεται το τρυπάνι. Στη θέση αυτή το τεμάχιο ακινητοποιείται με τη βοήθεια ενός πλεκτρομαγνητικού εμβόλου δύο κατευθύνσεων. Στη συνέχεια το τρυπάνι επιφέρει μία οπή στο τεμάχιο. Έπειτα ο δίσκος περιστρέφεται άλλες 90°. Στη θέση αυτή ελέγχεται αν η οπή είναι αποδεκτή. Ο έλεγχος γίνεται με μία ακίδα η οποία κινείται με μία πλεκτρομαγνητική διάταξη. Τέλος, ο δίσκος περιστρέφεται κατά 90° αναμένοντας το σταθμό αποθήκευσης να παραλάβει το επεξεργασμένο πλέον τεμάχιο.

Οι δύο διεργασίες του σταθμού αυτού -η διάτροπη και ο έλεγχος της οπής- γίνονται παράλληλα. Στον περιστεροφόμενο δίσκο δεν εισέρχεται ένα τεμάχιο, επεξεργάζεται, ελέγχεται και μεταβαίνει στη μονάδα αποθήκευσης και έπειτα ένα δεύτερο. Αντίθετα, μπορεί και οι τέσσερις θέσεις να είναι κατεύλημμένες ταυτόχρονα από κυλινδρικά τεμάχια. Φυσικά κάθε τεμάχιο θα συμμετέχει και σε διαφορετική διεργασία.

Μονάδα περιστροφής Η μονάδα αυτή ελέγχεται από μία μηχανή γραναζωτής σύμπλεξης συνεχούς ρεύματως. Διαθέτει τέσσερις (4) θέσεις για να τις καταλάβουν τα τεμάχια. Σε κάθε θέση υπάρχει ένας χωροπικός αισθητήρας προσέγγισης για να διευκρινίζεται αν η θέση είναι πλήρως ή όχι.

Κεφάλαιο 8

Μονάδα διάτροπης (βλπ. σχ. 8.18 και 8.19) Στη θέση αυτή όταν διαπιστωθεί η ύπαρξη τεμαχίου ενεργοποιείται ένα πνευματικό έμβολο δύο κατευθύνσεων για να το συγκρατήσει ακίνητο. Για τη καταγραφή της θέσης του εμβόλου χρησιμοποιούνται και πάλι δύο μαγνητικοί αισθητήρες, ένας μπροστά και ο δεύτερος στο πίσω μέρος. Στη συνέχεια το τρυπάνι τρυπάει το τεμάχιο αυτό. Το τρυπάνι κινείται με τη βοήθεια ενός κινητήρα και η σύμπλεξη κινητήρα-τρυπανιού γίνεται μέσω οδοντωτού ψάντα. Η θέση του τρυπανιού ρυθμίζεται από δύο (2) πλεκτρικούς τερματικούς διακόπτες που βρίσκονται στις δύο ακραίες θέσεις του τρυπανιού. Κάθε φορά που το σώμα από το τρυπάνι πλησιάζει έναν από τους δύο τερματικούς διακόπτες η κίνησή του αντιστρέφεται. Δηλαδή άμα κατέρχεται αλλάζει φορά και ανέρχεται και αντίστροφα. Υπενθυμίζεται ότι στη θέση αυτή υπάρχει χωροπικός αισθητήρας για να εξακριβωθεί ότι η θέση είναι κατειλημμένη.

Μονάδα ελέγχου (βλπ. σχ. 8.20 και 8.21) Η μονάδα ελέγχου αποτελεί μία πλεκτρομαγνητική διάταξη. Υπάρχει ένα πνίγιο το οποίο παραμένει πακτωμένο στο πάνω μέρος του κορμού στήριξης. Όταν το πνίγιο διαρρέεται από ρεύμα τότε, ο οπλισμός κατέρχεται και συνεπώς η ακίδα ελέγχου προσεγγίζει το επίπεδο του περιστρεφόμενου δίσκου, το επίπεδο δηλαδή του προς εξέταση κυλίνδρου. Για την διαπίστωση της θέσης του συστήματος ακίδας-οπλισμού χρησιμοποιούνται δύο επαγωγικοί αισθητήρες προσέγγισης οι οποίοι ενεργοποιούνται μέσω ενός μεταλλικού παξιμαδιού βρισκόμενο στο πάνω μέρος του συστήματος ακίδας-οπλισμού. Για τη διαπίστωση της ορθότητας της τρύπας, η ακίδα της διάταξης αποτελεί ένα επαγωγικός αισθητήρας προσέγγισης. Υπενθυμίζεται ότι στη θέση αυτή υπάρχει χωροπικός αισθητήρας για να εξακριβωθεί ότι η θέση είναι κατειλημμένη.

Ανάλυση λειτουργίας Λεπτομερέστερα οι προϋποθέσεις για να λειτουργήσει ο σταθμός αυτός και η σειρά με την οποία εκτελούνται οι επιμέρους ενέργειες απαριθμούνται στον πίνακα 8.3:

Πίνακας 8.3: Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού επεξεργασίας [26]

Προαπαιτήσεις
ο πίνακας συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

συνέχεια του πίνακα 8.3

-
- 1 Κυλινδρικό τεμάχιο υπάρχει στην θέση υποδοχής του περιστρεφόμενου δίσκου**
-

Αρχική κατάσταση

- 1 Διαπιστώνεται η θέση του δίσκου**
 - 2 Η ακίδα ελέγχου βρίσκεται στην υψηλότερη θέση.**
 - 3 Το τρυπάνι διάτροπης βρίσκεται στην υψηλότερη θέση.**
 - 4 Το τρυπάνι είναι απενεργοποιημένο.**
 - 5 Το έμβολο συγκράτησης των κυλίνδρων στη θέση διάτροπης είναι σε κατάσταση σύμπτυξης.**
-

Ακολουθία ενεργειών

Η ακολουθία αυτή αναφέρεται στην περίπτωση που ένα μόνο τεμάχιο βρίσκεται σε όλο τον περιστρεφόμενο δίσκο.

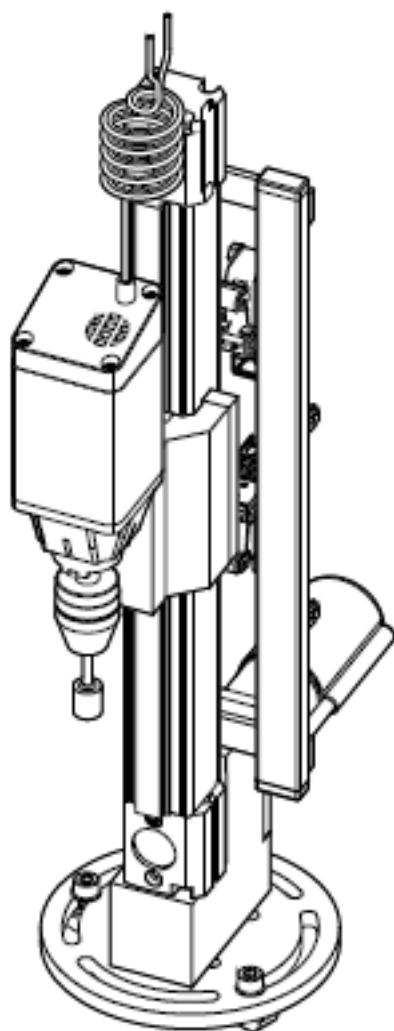
- 1 Ο δίσκος περιστρέφεται κατά 90° εάν ανιχνευθεί τεμάχιο στη θέση υποδοχής, και το πλήκτρο εκκίνησης έχει πατηθεί.**
Το έμβολο συγκράτησης εκτείνεται αφού πλέον το τεμάχιο
 - 2 βρίσκεται στη θέση διάτροπης. Το τρυπάνι ενεργοποιείται και κατέρχεται.**
Μόλις το τρυπάνι φτάσει την κατώτατη θέση του, αυτόματα επανέρχεται στην ανώτερή του θέση.
 - 3 Το τρυπάνι απενεργοποιείται και το έμβολο συγκράτησης συμπτύσεται.**
 - 4 Ο δίσκος περιστρέφεται κατά 90°.**
 - 5 Η ακίδα ελέγχου κατέρχεται και ελέγχει αν η οπή είναι η επιθυμητή.**
 - 6 Ο δίσκος περιστρέφεται κατά 90° με αποτέλεσμα το τεμάχιο να μεταβεί στη θέση παραλαβής του από τον επόμενο σταθμό.**
-

ολοκληρώθηκε ο πίνακας 8.3

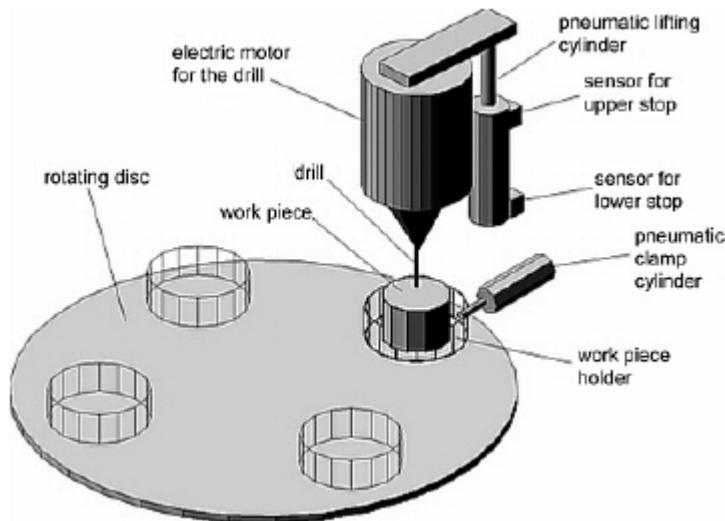
Κεφάλαιο 8



Σχήμα 8.17: Ο σταθμός επεξεργασίας [25]



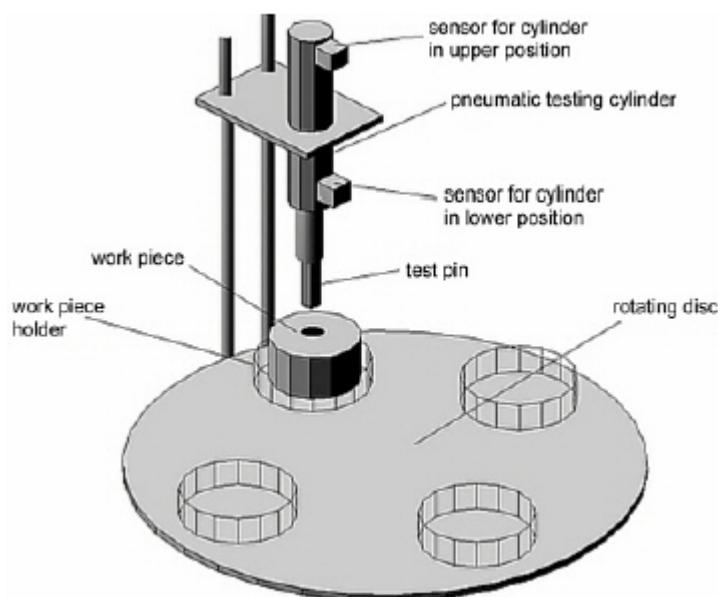
Σχήμα 8.18: Η μονάδα διάτρησης [26]



Σχήμα 8.19: Σχηματική αναπαράσταση της μονάδας διάτρησης [3] Παρατηρείται ότι το τρυπάνι κινείται με τη βούθεια πνευματικού κυλίνδρου και όχι με ηλεκτρικό κινητήρα όπως αναφέρεται στο κείμενο. Καταγράψαμε την διάτοξη όπως αυτή τεκμηριώνεται στο [26]. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα



Σχήμα 8.20: Η μονάδα ελέγχου <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/project-kits/components-modules/testing-module.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC43MTAuMzk0MQ>



Σχήμα 8.21: Σχηματική αναπαράσταση της μονάδας ελέγχου [3] Παρατηρείται ότι η ακίδα κινείται με τη βούθεια πνευματικού κυλίνδρου και όχι με ηλεκτρομαγνητική διάταξη όπως αναφέρεται στο κείμενο. Καταγράφαμε την διάταξη όπως αυτή τεκμηριώνεται στο [26]. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα

8.1.4 Σταθμός αποθήκευσης [24] [3] [4]

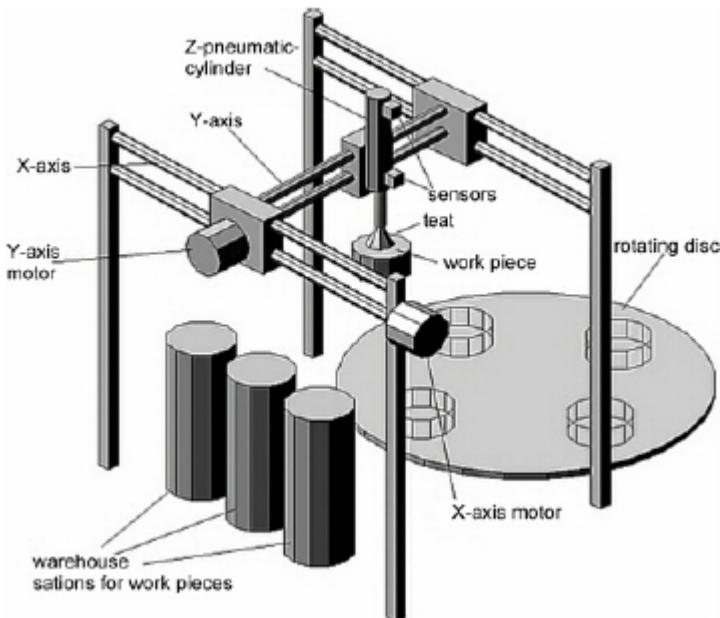
Εισαγωγή Ο σταθμός αποθήκευσης αναλαμβάνει να μεταφέρει τα κυλινδρικά τεμάχια από τον περιστρεφόμενο δίσκο στις στοίβες αποθήκευσης. Αποτελείται από τα εξαρτήματα :

- μονάδα μεταφοράς
- μονάδα αποθήκευσης
- βάση εγκατάστασης
- συσκευή ελέγχου
- πλακέτα plc

Το κυλινδρικό τεμάχιο το οποίο είναι έτοιμο για αποθήκευση παραλαμβάνεται από μία δαγκάνα με πνευματική αρχή λειτουργίας που κινείται με ένα σύστημα μεταφοράς δύο αξόνων. Ανάλογα με το είδος του κυλίνδρου και το γεγονός ότι η διάτροση ήταν επιτυχής ή όχι, οι κύλινδροι μεταφέρονται σε τρεις (3) στοίβες. Αν το τεμάχιο είναι μαύρο τότε αποθηκεύεται στην πρώτη (εσωτερική) στοίβα. Αν το αντικείμενο είναι κόκκινου ή ασπρί χρώματος τότε εναποτίθεται στην δεύτερη (μεσαία) στοίβα. Τέλος, αν η οπή δεν είναι η επιθυμητή τότε μεταφέρεται στην τρίτη (εξωτερική) στοίβα.

Μονάδα μεταφοράς Η μονάδα αυτή αποτελείται από ένα σύστημα μετακίνησης σε τρεις άξονες. Η μετακίνηση στο οριζόντιο επίπεδο επιτυγχάνεται με πλεκτρικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Για την μετακίνηση στον κάθετο άξονα χρησιμοποιείται ένα πνευματικό έμβολο δύο κατευθύνσεων το οποίο διαθέτει μία δαγκάνα στο άκρο του. Το έμβολο αυτό διαθέτει δύο μαγνητικούς αισθητήρες για την διαπίστωση των ακραίων θέσεων του. Η δαγκάνα κλείνει και ανοίγει με πεπιεσμένο αέρα διαθέτοντας επιτίλεον και ένα οπτικό αισθητήρα ενσωματωμένο στο σώμα της για να ανιχνεύεται το κυλινδρικό τεμάχιο και το χρώμα αυτού.

Μονάδα αποθήκευσης Η μονάδα αυτή αποτελείται απλούστατα από τρεις (3) στοίβες όπως φαίνονται και στην εικόνα 8.22 χωρητικότητας οχτώ (8) τεμαχίων η καθεμία.



Σχήμα 8.22: Ο σταθμός αποθήκευσης [3] Παρατηρείται ότι η διάταξη μεταφοράς περιλαμβάνει βεντούζα και όχι δαγκάνα όπως αναφέρεται στο κείμενο. Καταγράφαμε την διάταξη ως συνδυασμό των [24] και [3] με σκοπό την χρησιμοποίηση εξαρτημάτων από ποικίλα επιστημονικά πεδία. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα



Σχήμα 8.23: Ο σταθμός αποθήκευσης [25] Παρατηρείται ότι η διάταξη μεταφοράς κινείται σε έναν άξονα μόνο και αντί για στοίβες διαθέτει πλατφόρμες κύλισης σε αντίθεση με το κείμενο. Καταγράφαμε την διάταξη ως συνδυασμό των [24] και [3] με σκοπό την χρησιμοποίηση εξαρτημάτων από ποικίλα επιστημονικά πεδία. Η εικόνα παρατίθεται μόνο για να βοηθήσει να οπτικοποιηθεί το εν λόγω σύστημα

Ανάλυση λειτουργίας Λεπτομερέστερα οι προϋποθέσεις για να λειτουργήσει ο σταθμός αυτός και η σειρά με την οποία εκτελούνται οι επιμέρους ενέργειες απαριθμούνται στον πίνακα 8.4:

Πίνακας 8.4: Ανάλυση λειτουργίας του σταθμού αποθήκευσης [24]

Προαπαιτήσεις

- 1 Κυλινδρικό τεμάχιο υπάρχει στην θέση παραδοσης του περιστρεφόμενου δίσκου
-

Αρχική κατάσταση

- 1 Το έμβολο του πνευματικού κυλίνδρου βρίσκεται σε θέση σύρτυξης
2 Η διάταξη βεντούζας-εμβόλου βρίσκεται στη θέση ηρεμίας.
-

Ακολουθία ενεργειών

- 1 Εντοπίζεται τεμάχιο έτοιμο προς αποθήκευση.
2 Η διάταξη μεταφοράς μεταβαίνει στη θέση παραδοσης του δίσκου, εφόσον έχει πατηθεί και το πλίκτρο της εκκίνησης.
3 Το έμβολο αναπτύσσεται.
4 Η δαγκάνα κλείνει.
5 Το έμβολο συμπτύσσεται.
Περίπτωση μαύρου τεμαχίου.
6 Η διάταξη μεταφοράς μεταβαίνει στη στοίβα 1 (εσωτερική).
7 Το έμβολο αναπτύσσεται.
8 Η δαγκάνα ανοίγει και το τεμάχιο πέφτει μέσα στη στοίβα.
9 Το έμβολο συμπτύσσεται.
10 Η διάταξη μεταφοράς μεταβαίνει στη θέση ηρεμίας.
Περίπτωση κόκκινο ή ασημένιου στο χρώμα τεμαχίου.
11 Η διάταξη μεταφοράς μεταβαίνει στη στοίβα 2 (μεσαία).
12 Το έμβολο αναπτύσσεται.
13 Η δαγκάνα ανοίγει και το τεμάχιο πέφτει μέσα στη στοίβα.
14 Το έμβολο συμπτύσσεται.
15 Η διάταξη μεταφοράς μεταβαίνει στη θέση ηρεμίας.
Περίπτωση μη αποδεκτής διάτροπης.
16 Η διάταξη μεταφοράς μεταβαίνει στη στοίβα 3 (εξωτερική).
17 Το έμβολο αναπτύσσεται.
18 Η δαγκάνα ανοίγει και το τεμάχιο πέφτει μέσα στη στοίβα.
-

ο πίνακας συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

συνέχεια του πίνακα 8.4

- | | |
|----|--|
| 19 | Το έμβολο συμπτύσεται. |
| 20 | Η διάταξη μεταφοράς μεταβαίνει στη θέση ηρεμίας. |
- ολοκληρώθηκε ο πίνακας 8.4

8.2 Επιλογή μεθοδολογίας μοντελοποίησης

8.3 Μοντελοποίηση του συστήματος

Για τη μοντελοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήσαμε μία παραλλαγή του V μοντέλου. Στο πρώτο στάδιο καταγράψαμε τις απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας. Στο δεύτερο κατασκευάσαμε ένα γενικό λογικό μοντέλο του συστήματος. Το μοντέλο αυτό κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ανεξάρτητο των τεχνολογίών υλοποίησης. Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει το μοντέλο υλοποίησης στο οποίο περιγράφεται λεπτομερώς το σύστημα. Σε αυτό καταγράφονται οι τεχνολογίες υλοποίησης ώστε να απεικονίζεται η αλληλεπίδραση των διαφόρων επιστημονικών πεδιών.

8.3.1 Μοντέλο Σύλληψης - Conception Model

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την πρωταρχική περιγραφή του συστήματος και την καταγραφή των απαιτήσεων της ομάδας παραγγελίας.

8.3.2 Μοντέλο Ανάλυσης - Analysis Model

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την περαιτέρω ανάλυση του συστήματος. Στο μοντέλο αυτό δεν καταγράφονται αποφάσεις για την τελική υλοποίησή του. Συνεπώς, υπόκειται εύκολα σε τροποποίησης και αλλαγές στη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στο μοντέλο υλοποίησης.

8.3.3 Μοντέλο Υλοποίησης - Implementation Model

Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει το σύστημα όπως πρέπει να κατασκευαστεί. Περιλαμβάνει λεπτομέρειες για τα τελικώς χρησιμοποιούμενα εξαρτήματα καθώς και για τις τεχνολογίες που υλοποιούνται στις βιομηχανικές διεργασίες και διεργασίες ελέγχου του συστήματος. Καταγράφει όλες τις απαραίτητες κατευθύνσεις που πρέπει να δοθούν στους μηχανικούς -πλεκτρολόγους, μηχανολόγους, μηχανικούς λογισμικού- για να κατασκευαστούν τα ανάλογα υποσυστήματα.

Σημείωση Στο μοτνέλο αυτό θα παρατηρήσετε ότι σε κάθε σταθμό υπάρχει ένα υποσύστημα ελέγχου το οποίο συλλέγει τις πληροφορίες από τους αισθητήρες και ελέγχει τους ενεργοποιητές και τις μονάδες λειτουργιας. Το σύστημα αυτό έχει μοντελοποιηθεί ως σύστημα που εκτελεί Java κώδικα. Αυτό δεν ισχύει στο πραγματικό σύστημα. Αντίθέτως, στην πραγματικότητα χρησιμοποιείται μία μονάδα PLC. Στο κατασκευασθέν μοντέλο χρησιμοποιήθηκε η Java μονάδα λόγω συμβατότητας με τον εξομοιωτή FestoMPS. Επεξηγώντας, το πραγματικό σύστημα δεν είναι διαθέσιμο σε εμάς. Συνεπώς, κατασκευάστηκε σε λογισμικό ένας εξομοιωτής του συστήματος που χρησιμοποιεί java τεχνολογίες (βλπ. 8.5)

8.3.4 Μοντέλο Συστήματος Ελέγχου

Χάρη στο μοντέλο υλοποίησης το οποίο διαθέτουμε ως είσοδο στο μοντέλο του συστήματος ελέγχου του Festo MPS®, διακρίνουμε τα παρακάτω στοιχεία αλληλεπίδρασης του συστήματος ελέγχου και των υπολοίπων μονάδων.

Πίνακας 8.5: Αισθητήρες και ενεργοποιητές του Festo MPS

Σταθμός διανομής

Στοίβα με πνευματικό έμβολο

Αισθητήρας πίσω θέσης του εμβόλου

Αισθητήρες Αισθητήρας μπροστινής θέσης του εμβόλου

Αισθητήρας κυλινδρικού τεμαχίου

ο πίνακας συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

Κεφάλαιο 8

συνέχεια του πίνακα 8.5

Ενεργοποιητές Βαλβίδα 5/2

Μονάδα μεταφοράς

Αισθητήρας κενού

Αισθητήρες Αισθητήρας αριστερής τοποθέτησης του βραχίονα

Αισθητήρας δεξιάς τοποθέτησης του βραχίονα

Βαλβίδα μη επιστροφής

Ενεργοποιητές Ενεργοποίηση της βαλβίδας 5/3 για αριστερή τοποθέτηση του βραχίονα

Ενεργοποίηση της βαλβίδας 5/3 για δεξιά τοποθέτηση του βραχίονα

Σταθμός ελέγχου

Ανελκυστήρας

Αισθητήρας άνω θέσης του ανελκυστήρα

Αισθητήρας χαμηλής θέσης του ανελκυστήρα

Αισθητήρας διάχυσης

Αισθητήρες

Αισθητήρας χωροπτικός

Αισθητήρας ανακλαστικός

Αισθητήρας μπροστινής θέσης του εμβόλου

Αισθητήρας πίσω θέσης του εμβόλου

Βαλβίδα 5/2 ανελκυστήρα

Ενεργοποιητές

Βαλβίδα 5/2 εμβόλου

Σταθμός επεξεργασίας

Περιστρεφόμενος δίσκος

Αισθητήρας επαγωγικός

Αισθητήρες

Αισθητήρας χωροπτικός θέσης υποδοχής

Αισθητήρας χωροπτικός θέσης διάτροπης

Αισθητήρας χωροπτικός θέσης μέτρησης

Ενεργοποιητές Ηλεκτρικό ρελέ

Μονάδα διάτροπης

Αισθητήρας μπροστινής θέσης του εμβόλου

Αισθητήρες

Αισθητήρας πίσω θέσης του εμβόλου

Αισθητήρας άνω θέσης του τρυπανιού

ο πίνακας συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

συνέχεια του πίνακα 8.5

Αισθητήρας χαμηλής θέσης του τρυπανιού
Ηλεκτρικό φελέ τρυπανιού
Ενεργοποιητές
Ηλεκτρικό φελέ ανερχόμενης κίνησης τρυπανιού
Ηλεκτρικό φελέ κατερχόμενης κίνησης τρυπανιού
Βαλβίδα 5/2 εμβόλου

Μονάδα μέτρησης
Αισθητήρας άνω θέσης της ακίδας
Αισθητήρας χωροποιητικός ως ακίδα
Ενεργοποιητές Ηλεκτρικό φελέ κατερχόμενης κίνησης της ακίδας

Σταθμιός αποθήκευσης

Μονάδα μεταφοράς
Αισθητήρας διάχυσης
Αισθητήρας χαμηλής θέσης του εμβόλου
Αισθητήρας άνω θέσης του εμβόλου
Ηλεκτρικό φελέ ορθής κίνησης κινητήρα X διεύθυνσης
Ηλεκτρικό φελέ ανάστροφης κίνησης κινητήρα X
Ενεργοποιητές διεύθυνσης
Ηλεκτρικό φελέ ορθής κίνησης κινητήρα Y διεύθυνσης
Ηλεκτρικό φελέ ανάστροφής κίνησης κινητήρα Y διεύθυνσης
Βαλβίδα 5/2 εμβόλου
Βαλβίδα 5/2 δαγκάνας

ολοκληρώθηκε ο πίνακας 8.5

8.4 Υλοποίηση του συστήματος

8.5 Έλεγχος του συστήματος ελέγχου του Festo MPS

Για τον εξακρίβωση της ορθής λειτουργίας του συστήματος ελέγχου αναπτύχθηκε ένας εξομοιωτής του Festo MPS®λόγω της αδιαθεσιμό-

Κεφάλαιο 8

τητας του προγραμματικού συστήματος. Ο εξομοιωτής έχει υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Java στο περιβάλλον Netbeans². Για την επικοινωνία του συστήματος ελέγχου με τον εξομοιωτή έγινε χρήση της τεχνολογίας των sockets, που υποστηρίζει η Java ως μέθοδος επικοινωνίας μέταξύ εφαρμογών που τρέχουν πάνω σε διαφορετικά συστήματα του ίδιου δικτύου.

²<http://www.netbeans.org/>

Κεφάλαιο 9

Συμπεράσματα

9.1 Συμφωνούμε με τα παρακάτω

- The main challenge in the case study was to understand the requirements and the functional design of the PTME system from the documents that were provided as input for the case study. Once these were understood, it was a relatively easy task to create the SysML model. [84]
- Modelling the structure of the PTME system using block definition diagrams and internal block diagrams was straight forward and consumed relative little time. [84]
- Capturing the behavioural aspects of the system was the most time-consuming part of the work. For each block diagram, several actions were modelled using activity diagrams. The activity diagrams provided an efficient means for modelling data flow and interactions between different blocks. [84]
- SysML follows a profile based approach to extend the language, this feature enhance the capability of system to add more domain-specific stereotypes to customize the language and reuse purposes. To expand the profile it's very important to create meaningful stereotypes. Knowledge and experiences of system engineering are needed to define these new constructs. [84]
- Allocation of the system requirements and mapping them to each other as well blocks and activities enhances traceability. This capability

of SysML is used to keep track of changes either in the requirement's specification or the component models. The language does not provide any guidance for how to map requirements to model elements, so the modeller should preferably be an expert in the field of requirements engineering. Sometimes it is awkward to capture requirements as a block in a Requirements diagram. The alternative is to use the tables and matrixes. There, we can capture the relation just by adding more columns. [84]

- Traceability of Requirements, Specification for Sub-Systems, Verification and Validation (If the interfaces to the sub-systems and the delivered data are speci

ed, the SysML model can be used to check whether this is enough to ful

ll the requirements. In TopCased, this is done via formal analysis of the system using a transformation into the formal immediate language FIACRE and using model checking techniques to verify the desired properties.), Testing and Test Case Generation, Benefits for Digital Engineering (Overall, all these reasons are very beneficial for digital engineering. The rigorous specification of interfaces and exchanged information as well as the specification of the information flow, minimizes the possibility of incompatible subsystem development. The resulting systems can easily be used for simulation and testing purpose in a virtual environment, as far as the dynamic behavior of the system is specified. This allows for hardware in the loop tests for external sub-systems e.g., for the camera systems or software in the loop tests, delivering test data for the secure data storage system. The requirements mapping defines in which system components the desired requirements (and sub-requirements) are implemented, therefore creating clarity about responsibilities for the correct implementation and specification of the interfaces and desired behavior. This makes it an and wellsuited approach for interdisciplinary systems development.).[40].

9.2 Σχεδίαση βάση εξομείωσης

Η σχεδίαση βάση εξομείωσης ή κατά την αγγλική ορολογία simulation-based design μπορεί να βασιστεί στα διαγράμματα παραμέτρων που

παραγόνται με τη SysML και να εξομειωθούν με τα κατάλληλα εργαλία. [61] και [62]

9.3 SoC, SysML and SystemC

Copying from [64] : In this paper we have presented a SysML profile for modeling Systems on a Chip oriented to SystemC transformation. We have shown that by means of SysML diagrams like BDD, IBD, and Activity allocations it is possible to describe a SoC and then map the SoC descriptions to a SystemC code template which contains module definitions, port- and process declarations. We also described a possible SysML to SystemC transformation procedure based on XMI and XSLT rules that we would like to automate within our future work. The SysML-SystemC mapping has been also evaluated by means of a case study in the field of WSN and a possible SystemC code has been derived from SysML diagrams describing a Sensor Node. This work would like to give a first contribution towards a research topic that has not been investigated so far, namely SysML to SystemC transformation. In fact there is a lot of research works available in the field of UML to SystemC, but nothing within SysML to SystemC. Since we strongly believe that SysML is a very suitable modeling language for SoC design, we think that the transformation from SysML to SystemC is a very important step within an early system design phase.

9.4 The processing system paradigm

Copying from [50] Model-based systems engineering and graphical notations have an enormous potential for increasing design productivity, system quality and lifetime by shifting the bulk of design efforts to early phases. In spite of that this is hardly questioned, the shift towards model-based approaches has not come to a break through, as we are experiencing in software engineering. It is believed that a major reason is lack of a common system view that can act as a framework for developing modelling languages and methods for a broad community of system engineers. This paper suggests such a framework. It identifies the systems of concern as a processing system that consist of a process control system and a resource system, and applies two related views

on processing systems: A functional view and a solution view. The framework has been successfully tested on telecommunication systems and networks for some years. It is believed that it holds for many other system domains as well.

9.5 Ανάπτυξη εργαλείων σύνδεσης διαφορετικών επιστημονικών πεδίων και Έρευνα στο μετασχηματισμό μοντέλων από το ένα εργαλείο στο άλλο.

Κεφάλαιο 10

Προοπτικές

Παρατήματα

Παράρτημα Α'

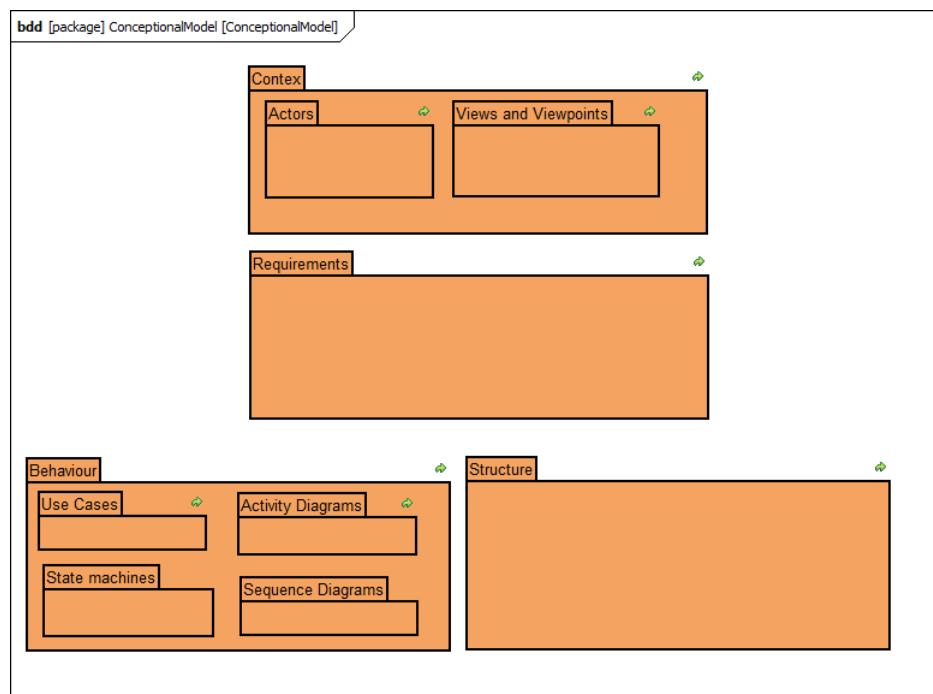
Festo MPS®System

Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν κατά την υλοποίηση του συστήματος Festo MPS®. Υπενθυμίζεται ότι σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατασκευάστηκαν τρία μοντέλα. Το μοντέλο Σύλληψης για την αρχική και τελείως αφαιρετική υλοποίηση του συστήματος. Το μοντέλο ανάλυσης κατά το οποίο αναπτύσσεται το σύστημα και λαμβάνονται αποφάσεις ανεξαρτήτως μεθόδου και τρόπου τελικής υλοποίησης. Και τέλος το μοντέλο Υλοποίησης στο οποίο περιγράφεται το σύστημα όπως πρέπει να κατασκευαστεί με όλες τις βασικές προδιαγραφές για τις τεχνολογίες και μεθόδους υλοποίησης.

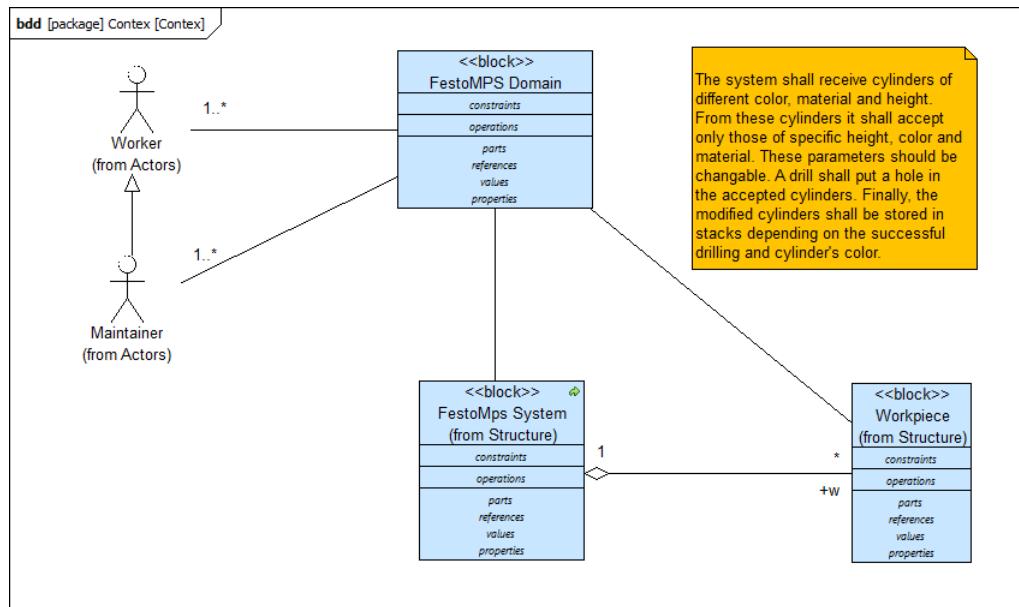
A'.1 Μοντέλο Σύλληψης - Conception Model

A'.1.1 Χώρος υλοποίησης συστήματος - Context

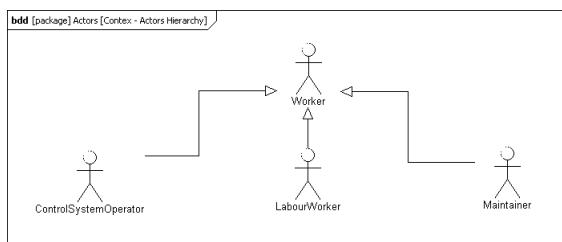
Κεφάλαιο A'



Σχήμα A'.1: Η δομή του μοντέλου Σύλληψης

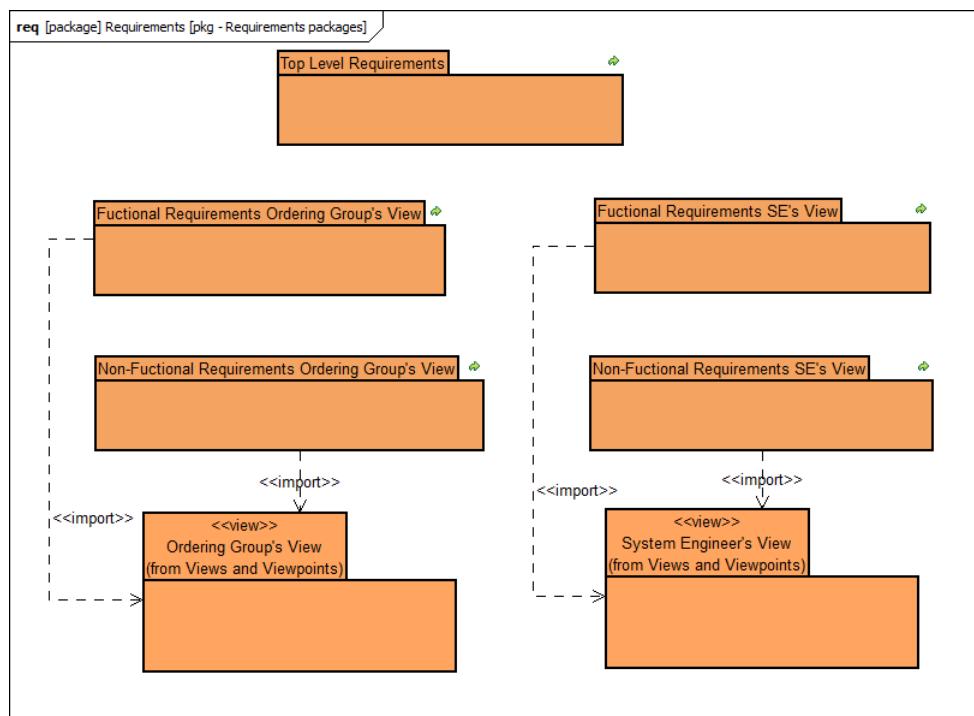


Σχήμα Α'.2: Ο χώρος υλοποίησης του μοντέλου Σύλληψης



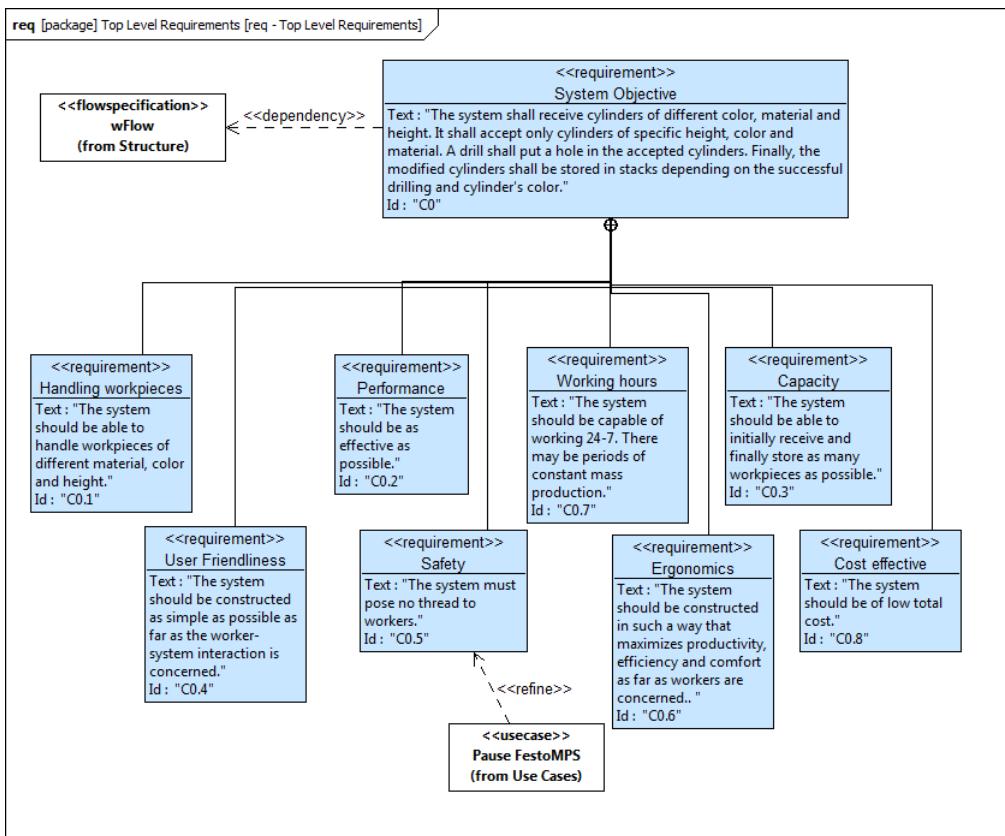
Σχήμα Α'.3: Οι ρόλοι του μοντέλου Σύλληψης

A'.1.2 Πακέτο απαιτήσεων - Requirements package

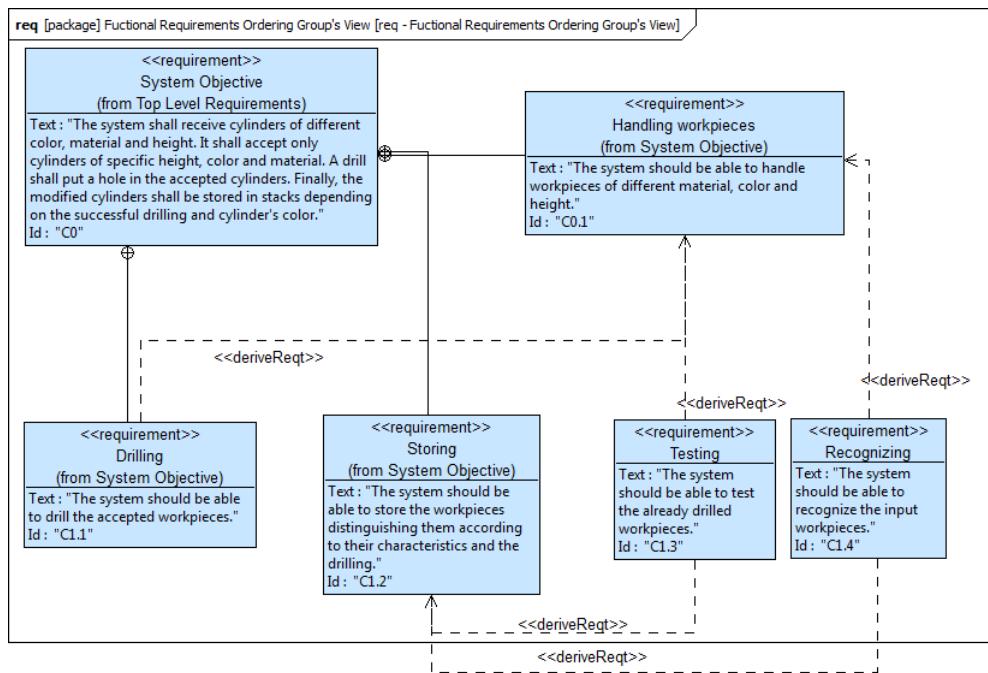


Σχήμα A.4: Η οργάνωση των απαιτήσεων στο μοντέλο Σύλληψης

Κεφάλαιο Α'

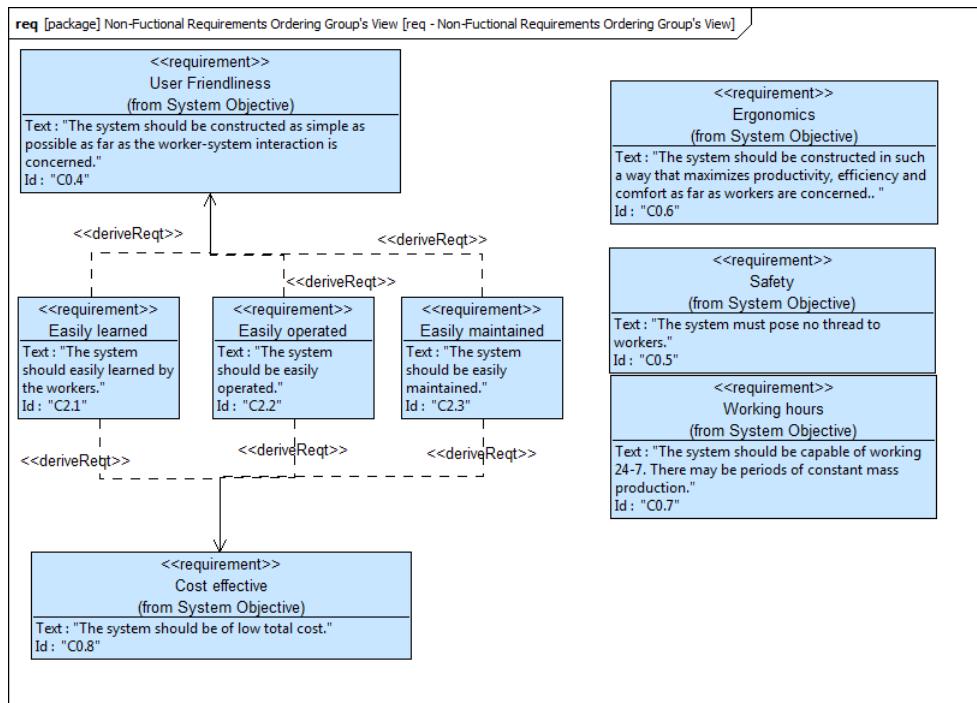


Σχήμα Α'.5: Οι γενικές απαιτήσεις του μοντέλου Σύλληψης

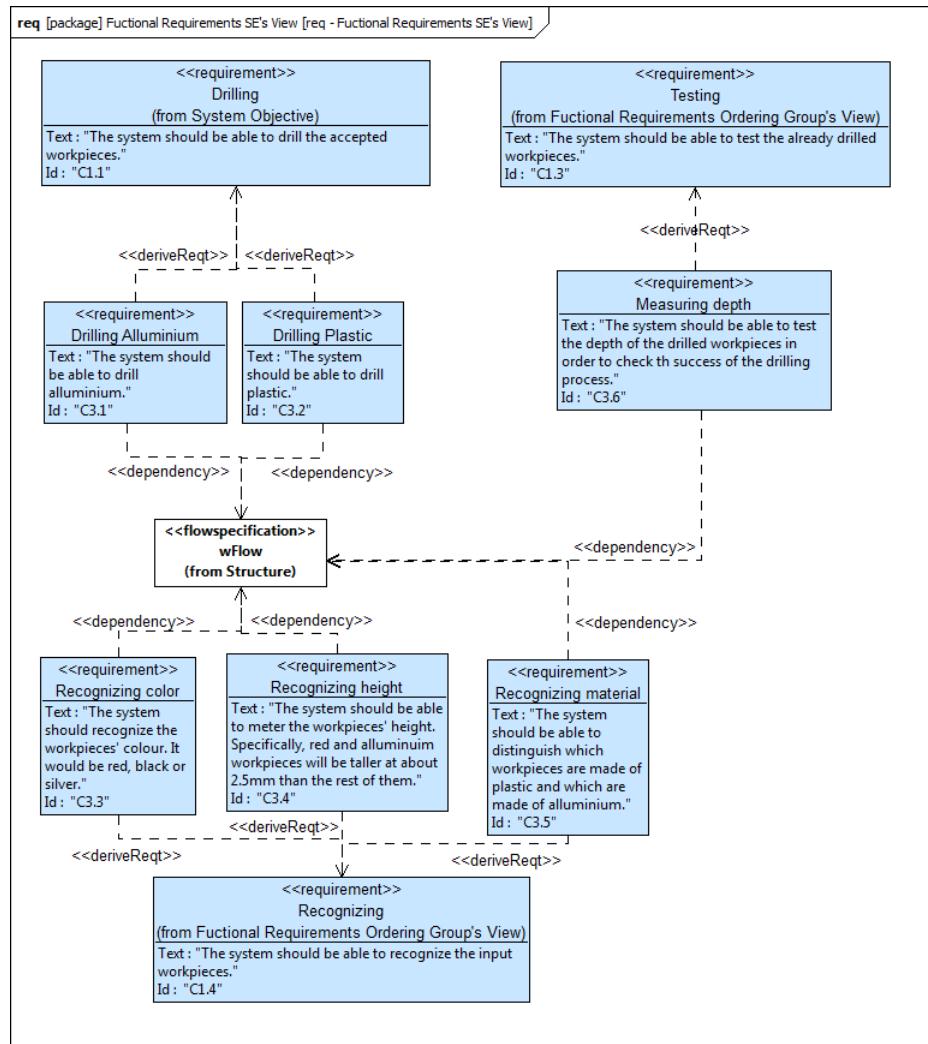


Σχήμα Α'.6: Οι λειτουργικές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Σύλληψης

Κεφάλαιο Α'

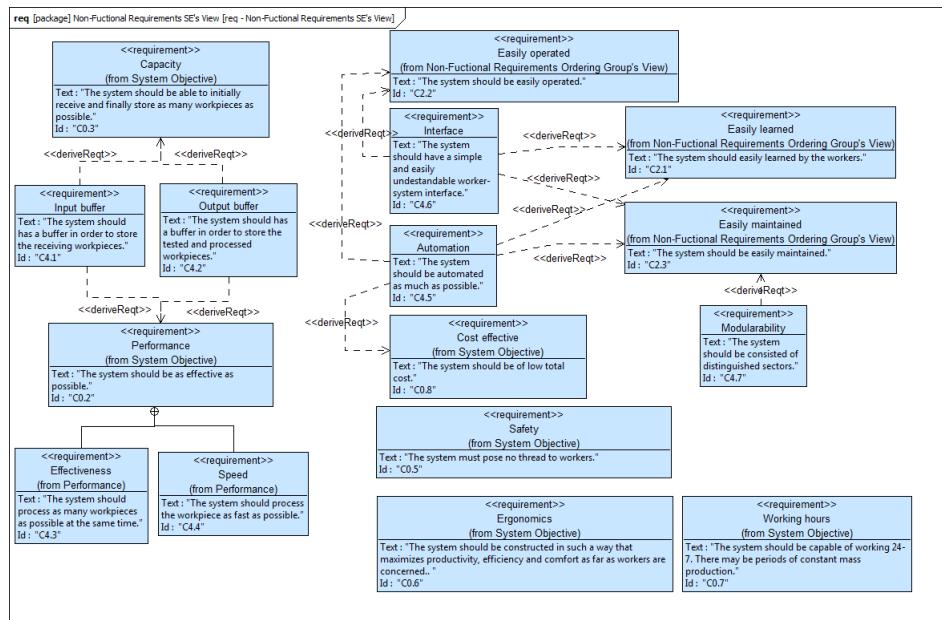


Σχήμα Α'.7: Οι λοιπές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Σύλληψης



Σχήμα Α'.8: Οι λειτουργικές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Σύλληψης

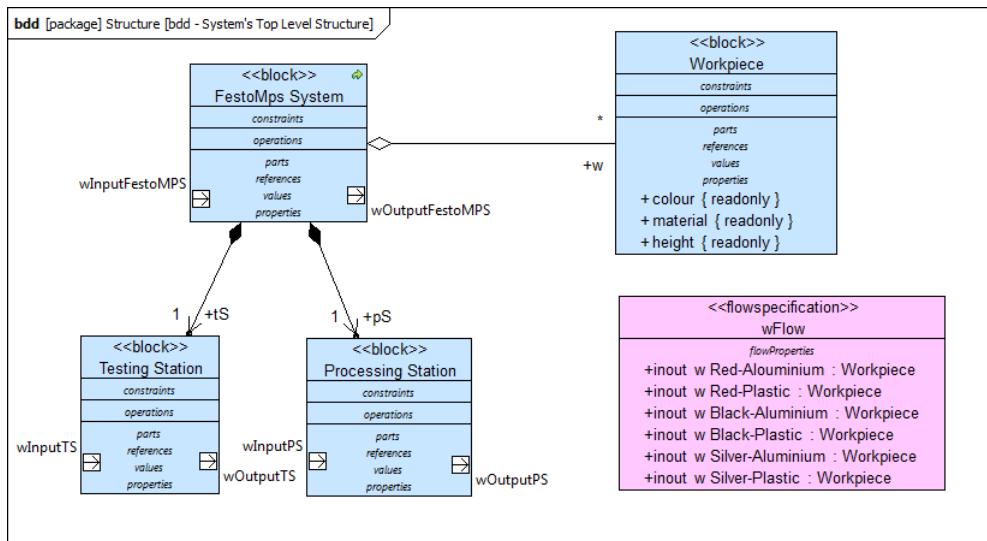
Κεφάλαιο Α'



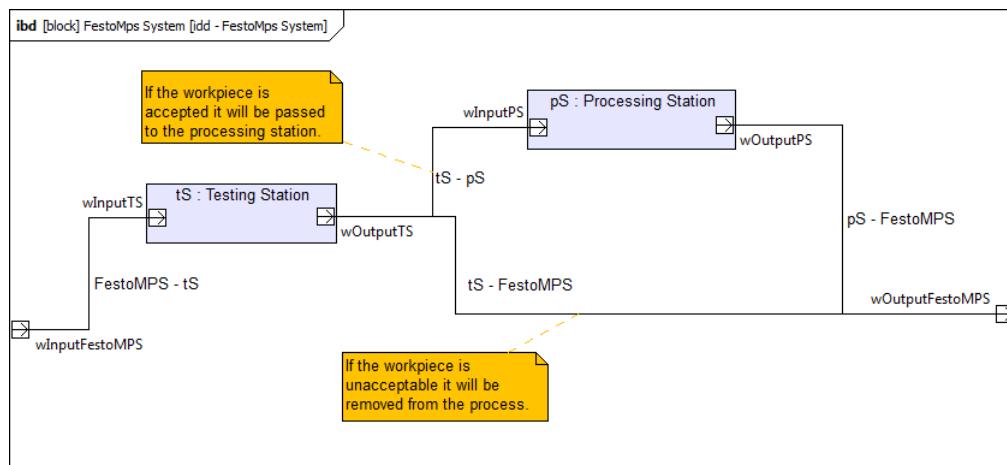
Σχήμα Α'.9: Οι λοιπές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Σύλληψης

A'.1.3 Πακέτο δομής - Structure package

Κεφάλαιο Α'

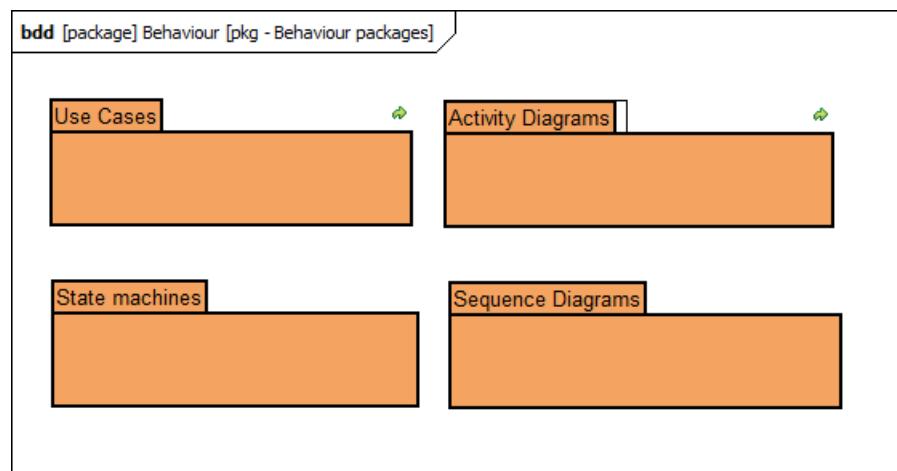


Σχήμα Α'.10: To bdd του συστήματος Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης

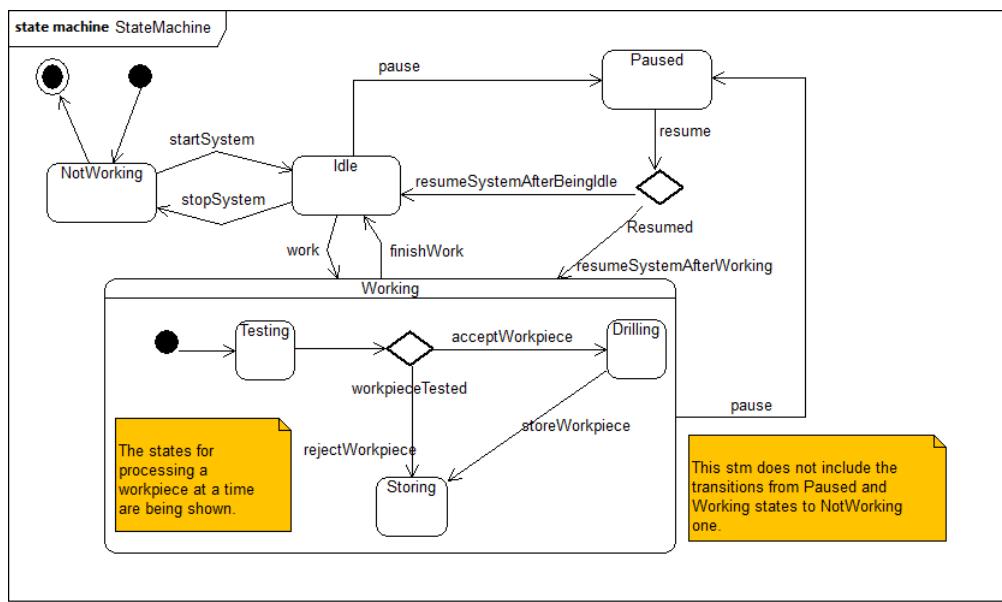


Σχήμα Α'.11: To ibd του συστήματος Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης

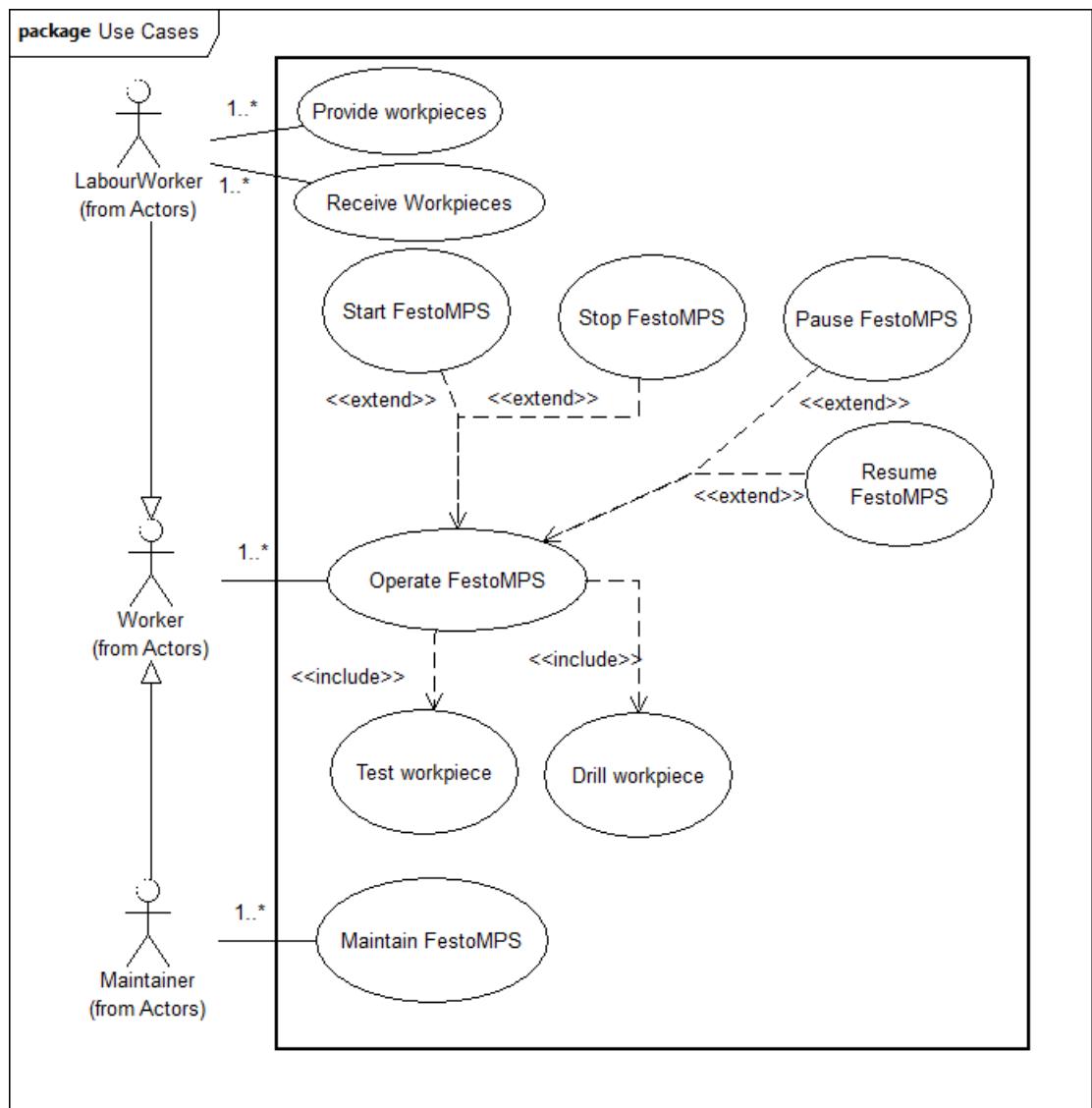
A'.1.4 Πακέτο λειτουργίας - Behaviour package



Σχήμα A'.12: Η οργάνωση του πακέτου λειτουργίας του συστήματος Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης

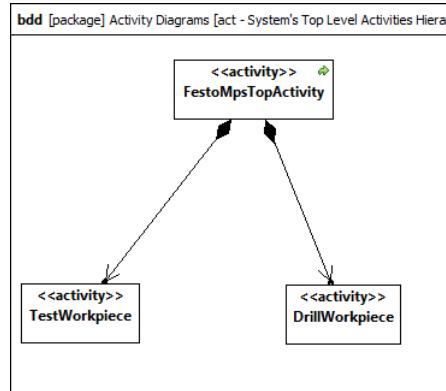


Σχήμα Α'.13: Οι καταστάσεις λειτουργίας του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης

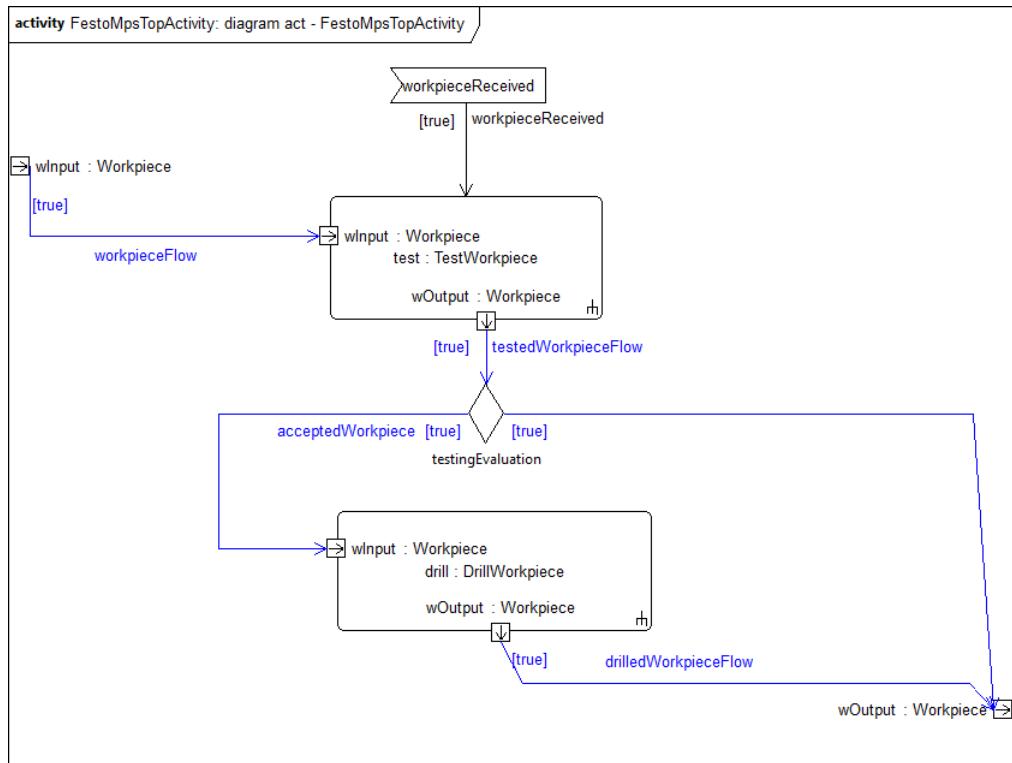


Σχήμα Α'.14: Οι περιπτώσεις χρήσεις του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης

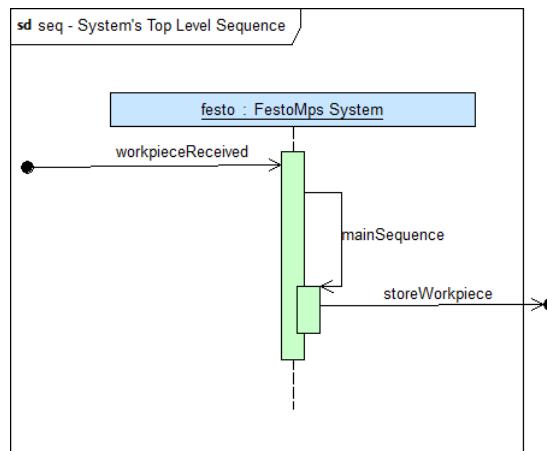
Κεφάλαιο Α'



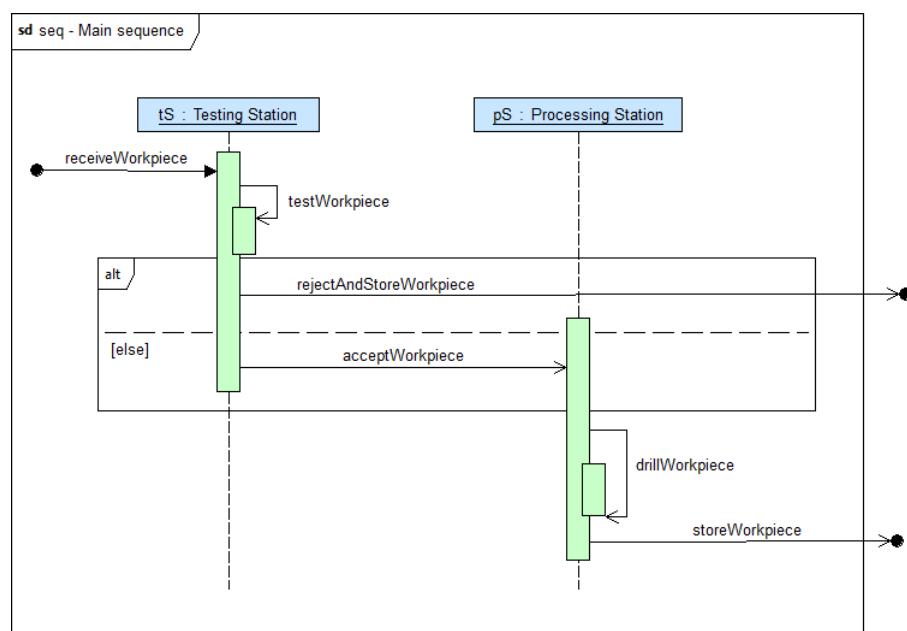
Σχήμα Α'.15: Η οργάνωση των Ενεργειών του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης



Σχήμα Α'.16: Οι ενέργειες του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης



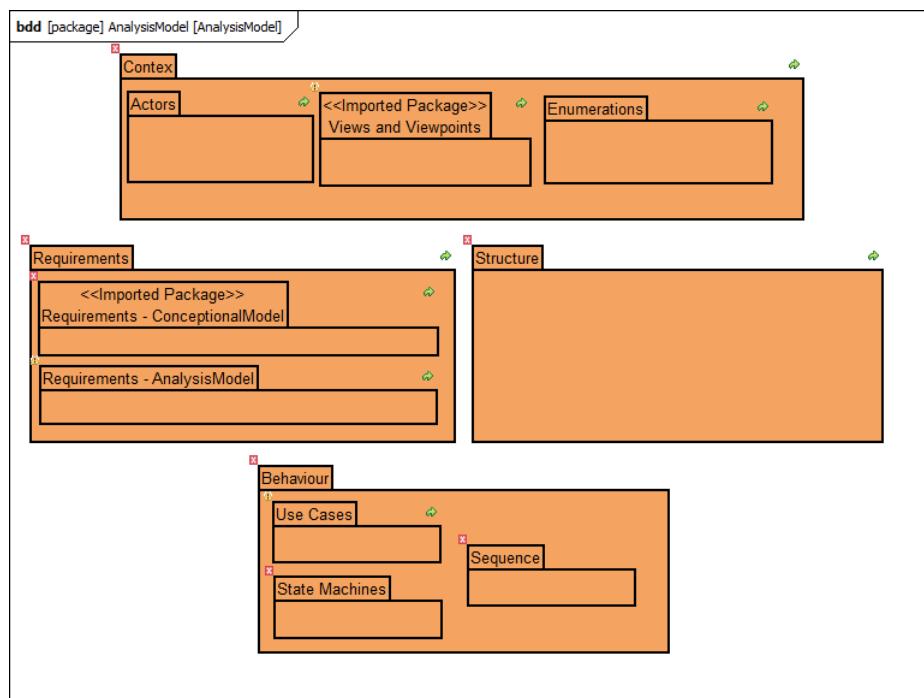
Σχήμα A'.17: Το αφαιρετικό διάγραμμα ακολουθίας του μοντέλου Σύλληψης



Σχήμα A'.18: Το διάγραμμα της κύριας ακολουθίας του Festo MPS στο μοντέλο Σύλληψης

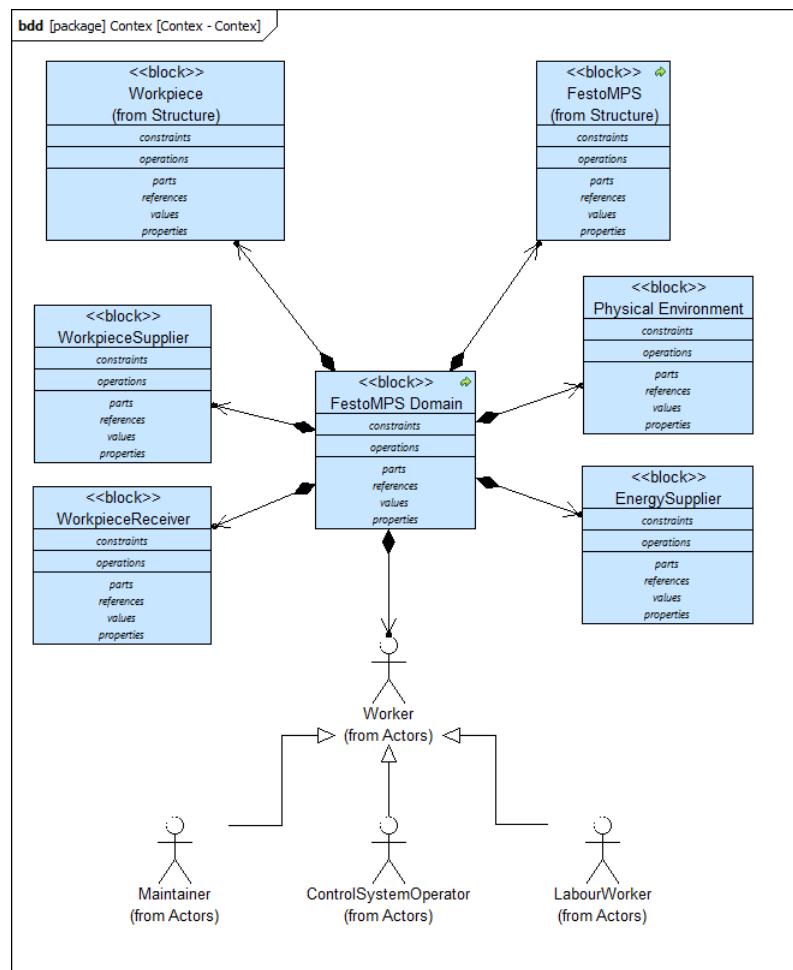
A'.2 Μοντέλο Ανάλυσης - Analysis Model

A'.2.1 Χώρος υλοποίησης συστήματος - Contex

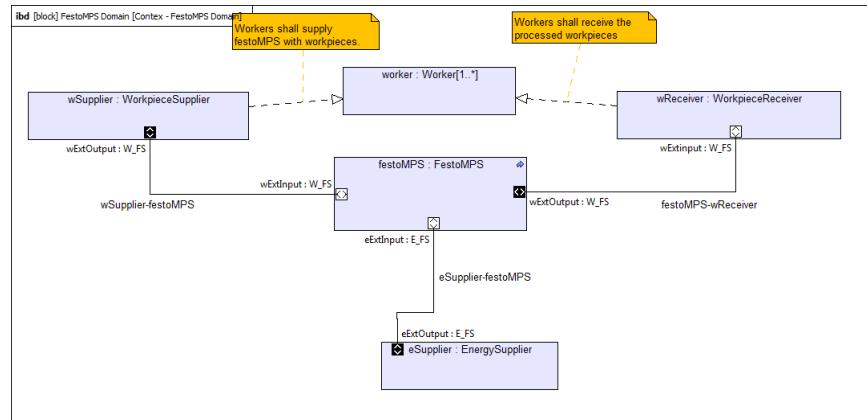


Σχήμα A'.19: Η δομή του μοντέλου Ανάλυσης

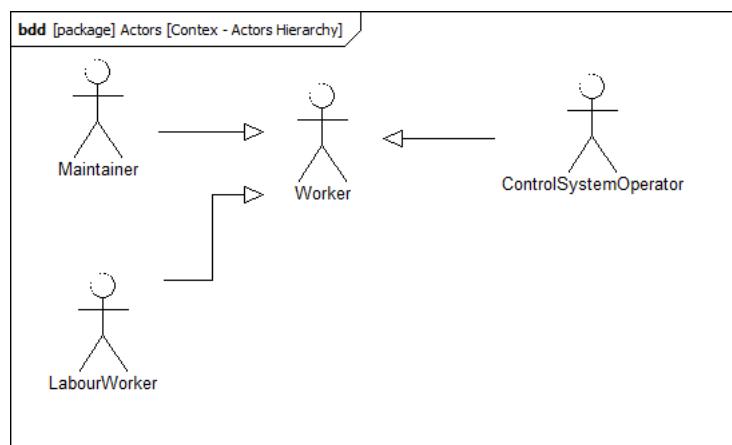
Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.20: Ο χώρος υλοποίησης του μοντέλου Ανάλυσης

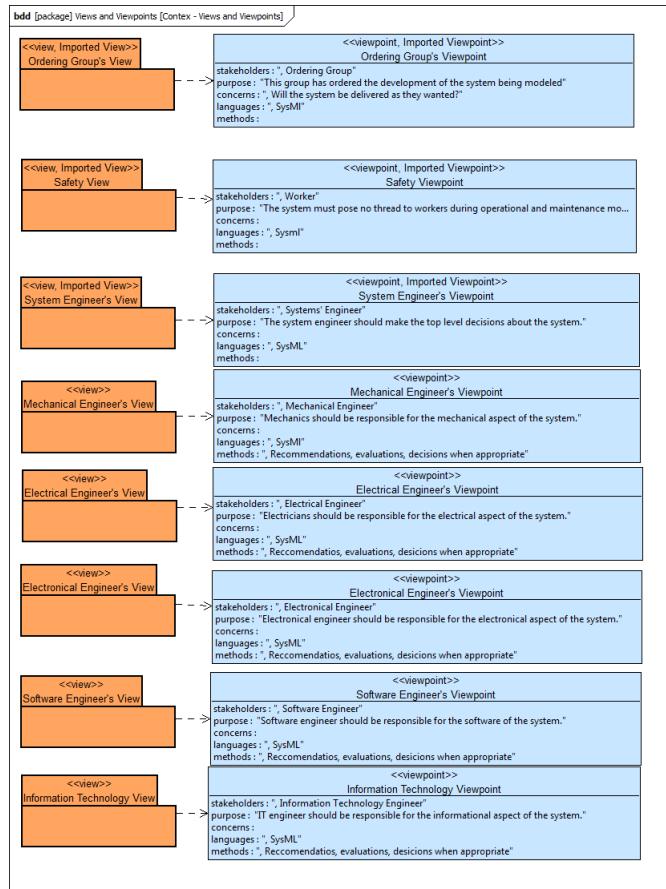


Σχήμα A'.21: Η σχέση του συστήματος με τον χώρο υλοποίησης του στο μοντέλο Ανάλυσης

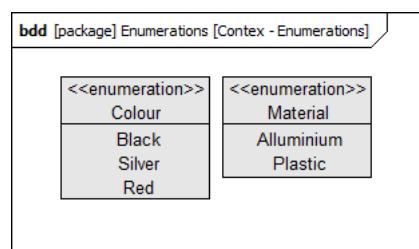


Σχήμα A'.22: Οι ρόλοι του μοντέλου Ανάλυσης

Κεφάλαιο Α'



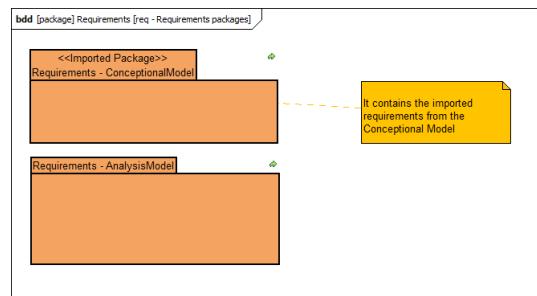
Σχήμα Α'.23: Οι όψεις του μοντέλου Ανάλυσης



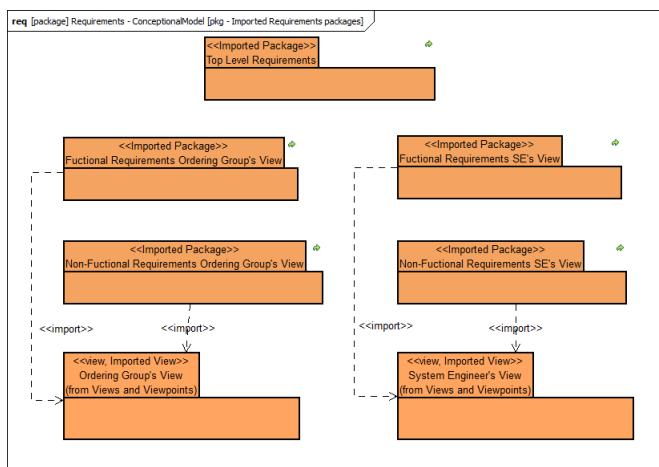
Σχήμα Α'.24: Οι "απαριθμήσεις" του μοντέλου Ανάλυσης

A'.2.2 Πακέτο απαιτήσεων - Requirements package

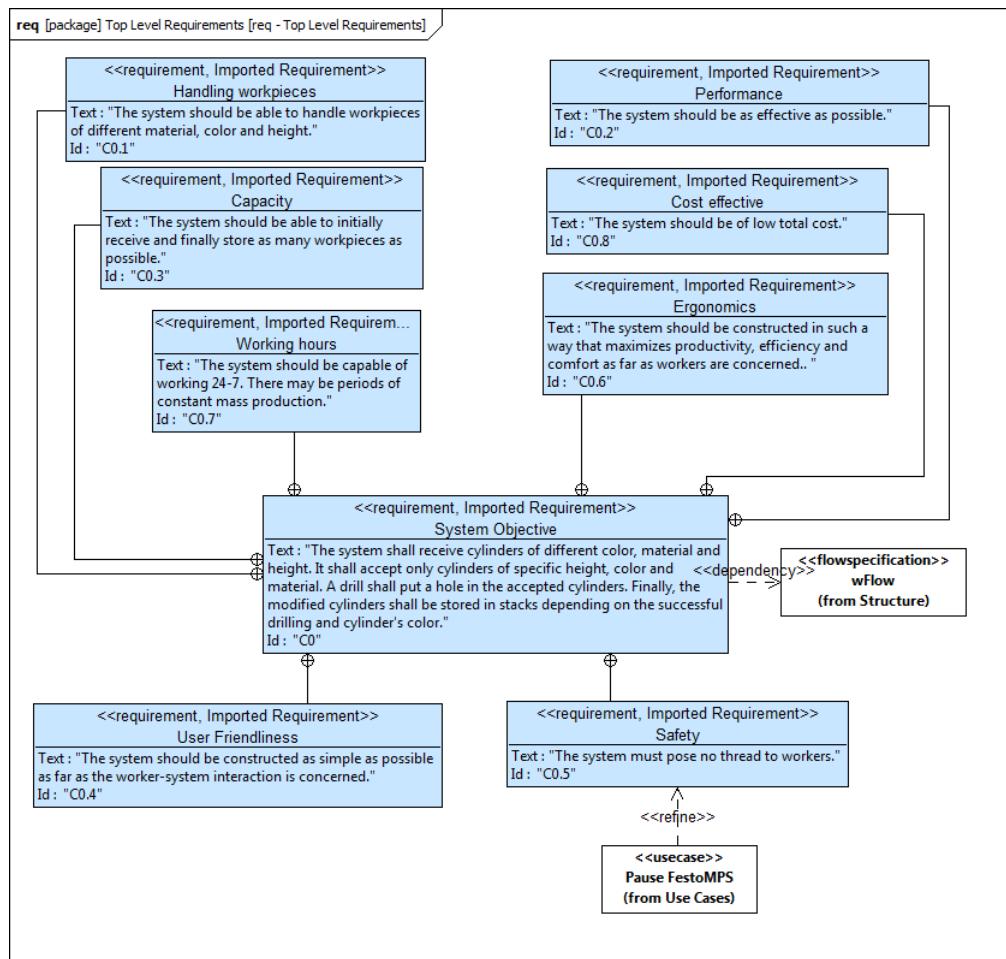
Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.25: Η δομή των απαιτήσεων του μοντέλου Ανάλυσης

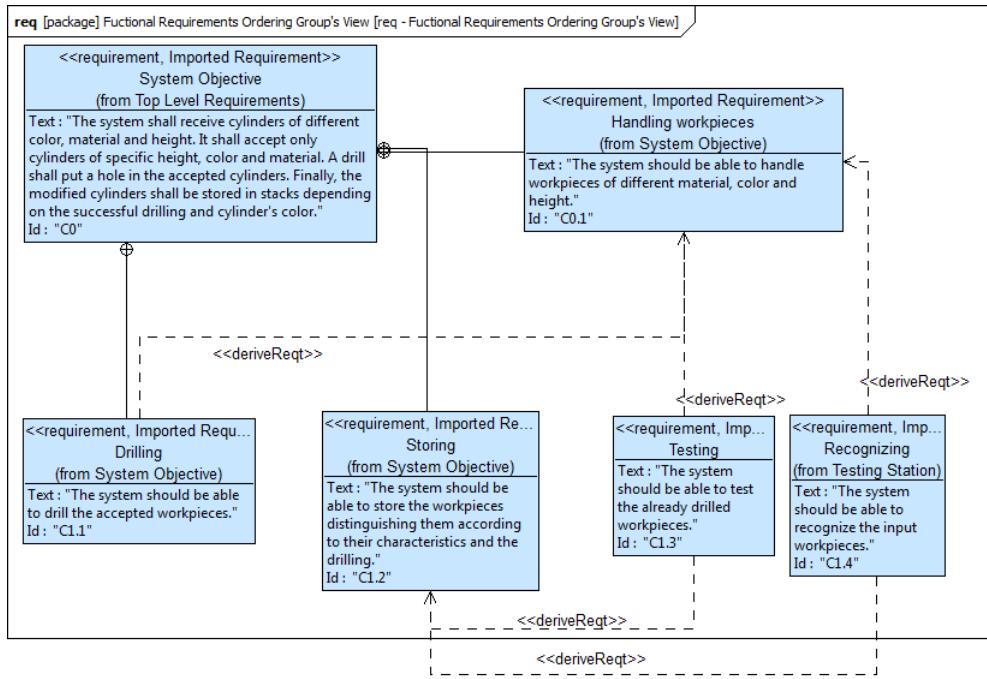


Σχήμα Α'.26: Η δομή των απαιτήσεων του μοντέλου Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης

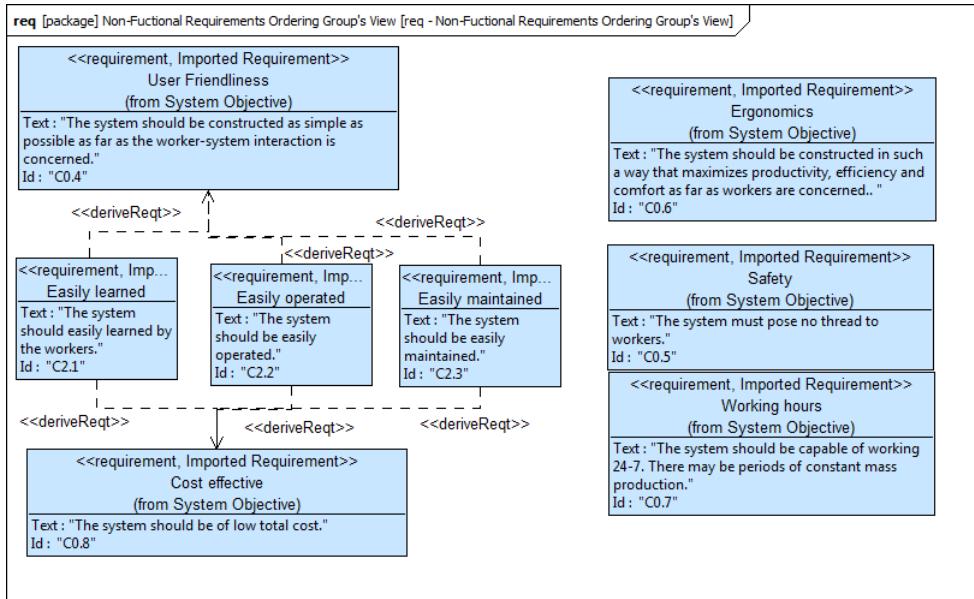


Σχήμα Α'.27: Οι γενικές απαιτήσεις του μοντέλου Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο σύλληψης

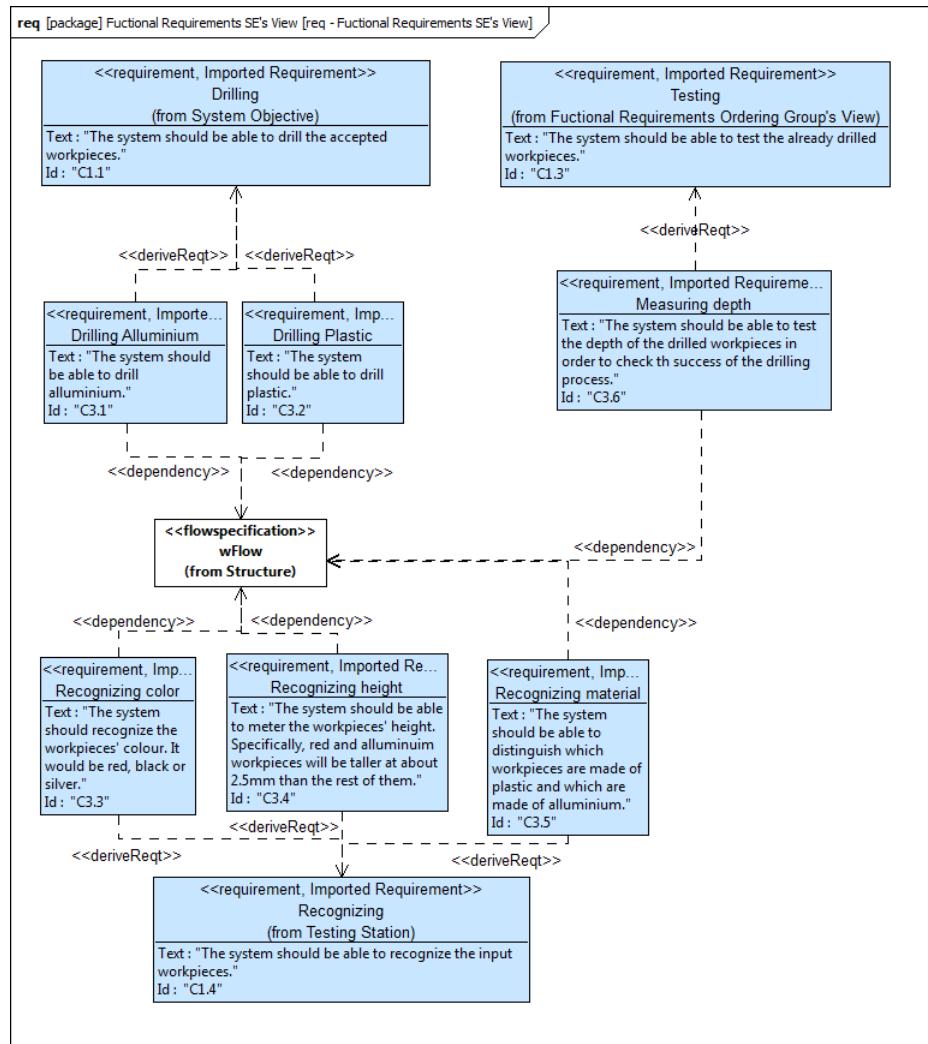
Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.28: Οι λειτουργικές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης

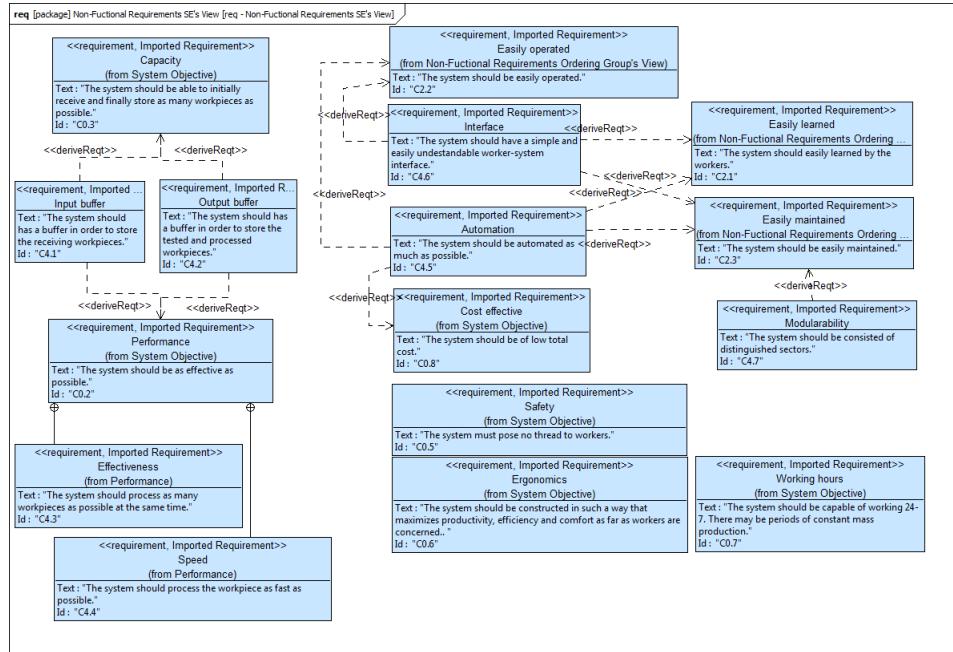


Σχήμα Α'.29: Οι λοιπές απαιτήσεις της ομάδας παραγγελίας στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης

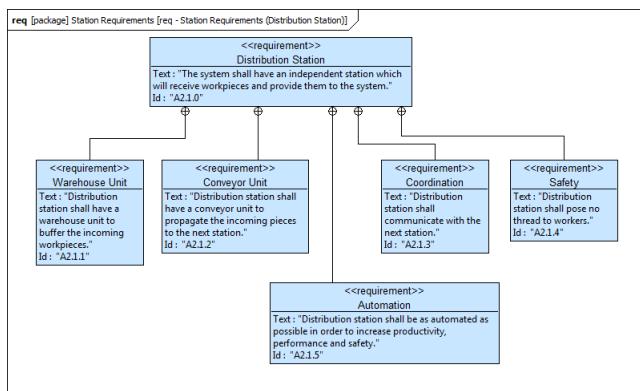


Σχήμα Α'.30: Οι λειτουργικές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλλογης

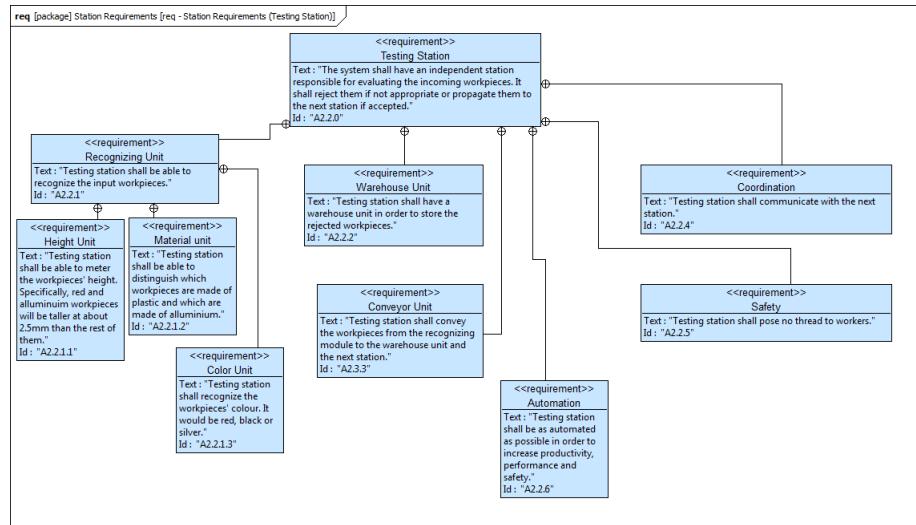
Κεφάλαιο Α'



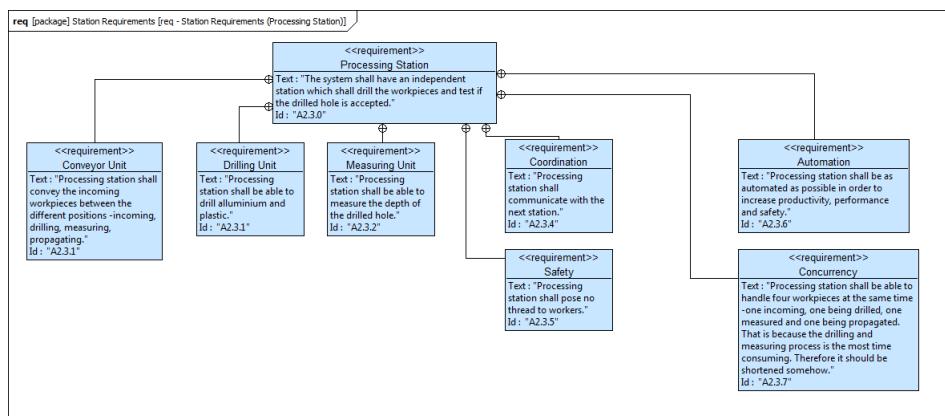
Σχήμα Α'.31: Οι λοιπές απαιτήσεις του μηχανικού συστημάτων στο μοντέλο Ανάλυσης που έχουν εισαχθεί από το μοντέλο Σύλληψης



Σχήμα Α'.32: Οι απαιτήσεις του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης

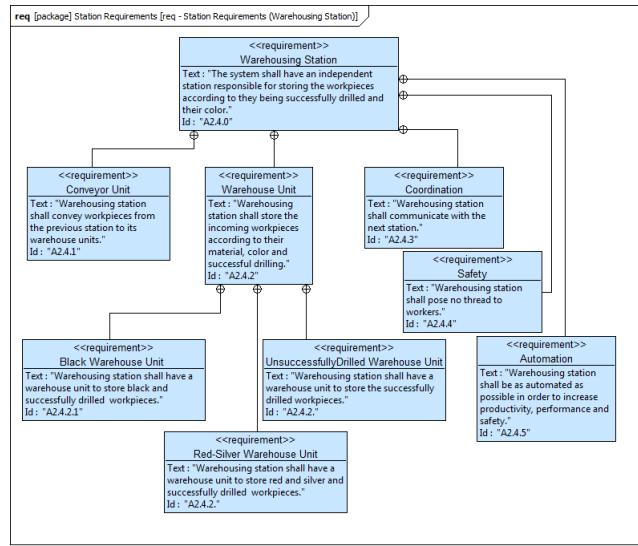


Σχήμα Α'.33: Οι απαιτήσεις του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης

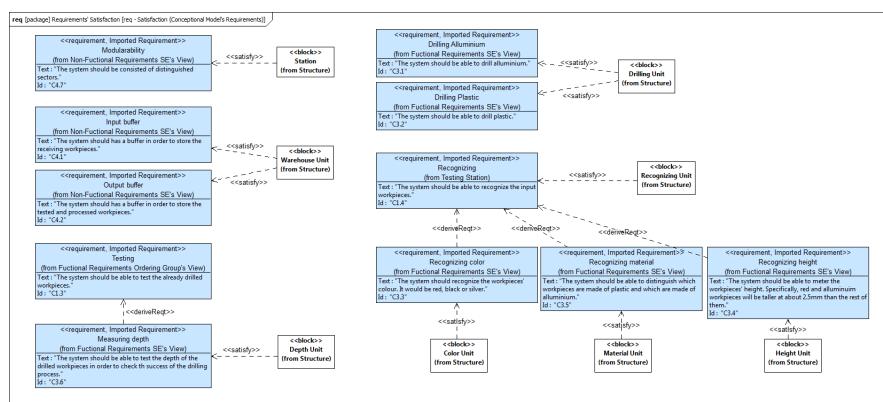


Σχήμα Α'.34: Οι απαιτήσεις του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης

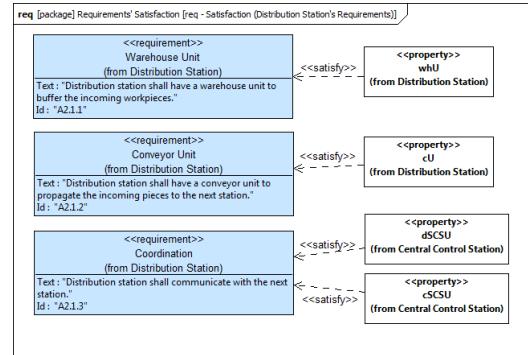
Κεφάλαιο Α'



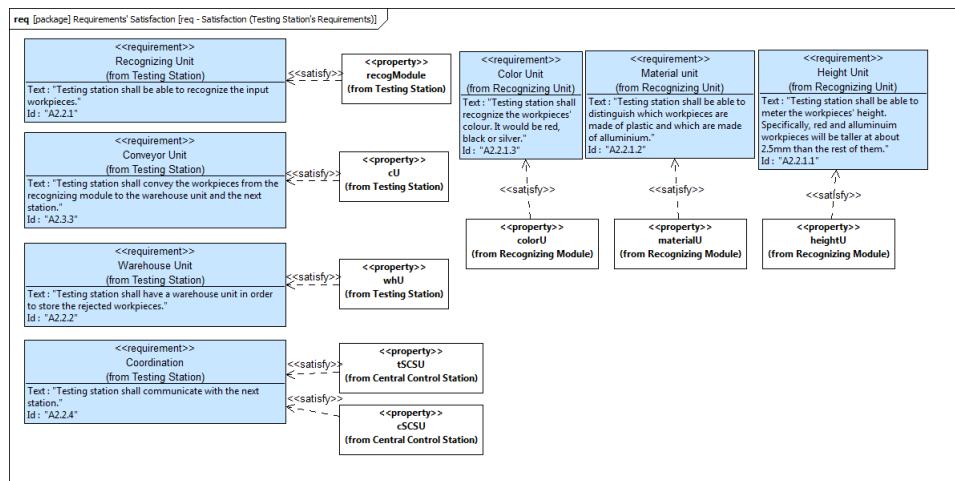
Σχήμα Α'.35: Οι απαιτήσεις του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα Α'.36: Η πλήρωση των απαιτήσεων του μοντέλου Σύλληψης

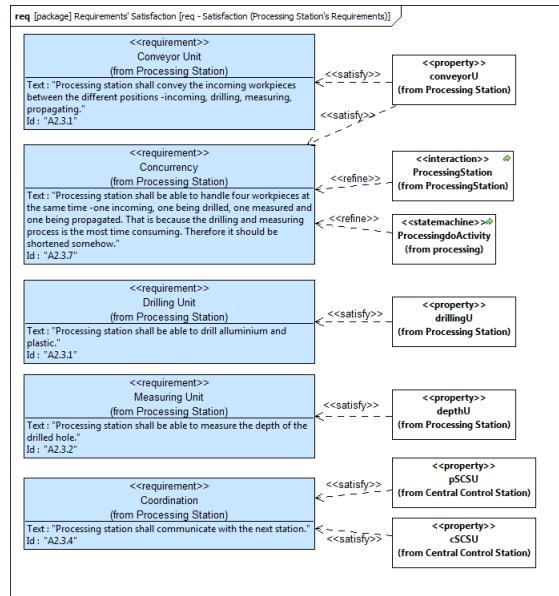


Σχήμα Α'.37: Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης

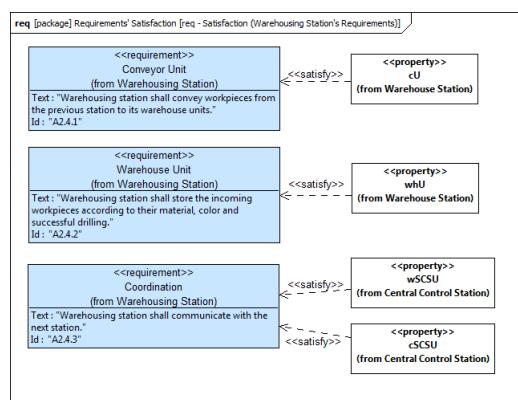


Σχήμα Α'.38: Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης

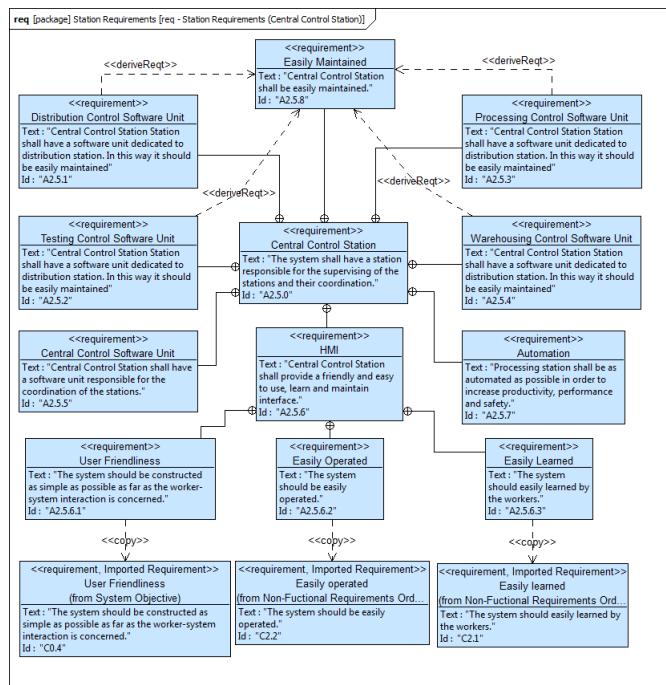
Κεφάλαιο A'



Σχήμα A'.39: Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης

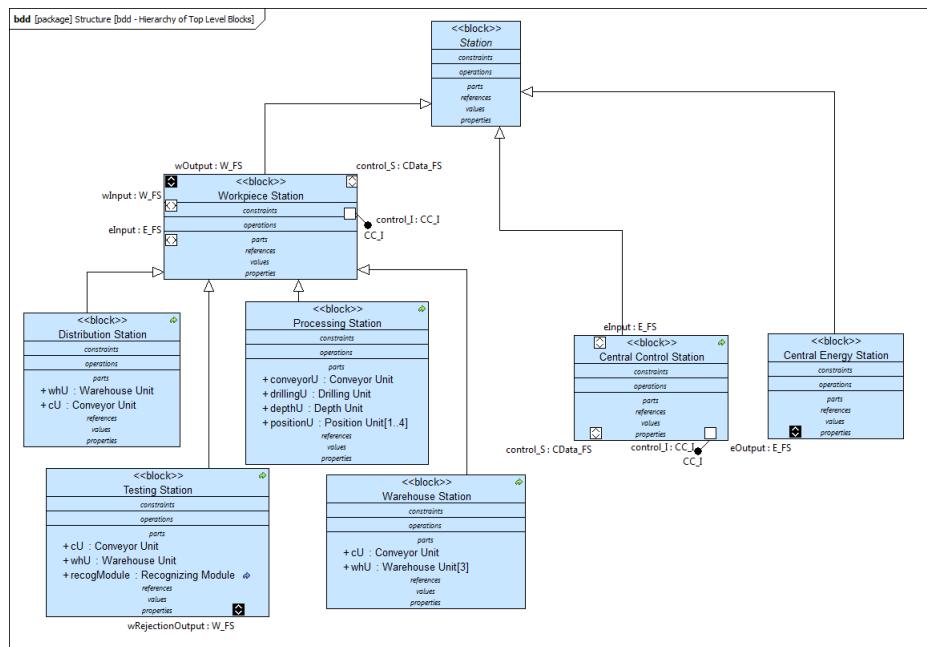


Σχήμα A'.40: Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης

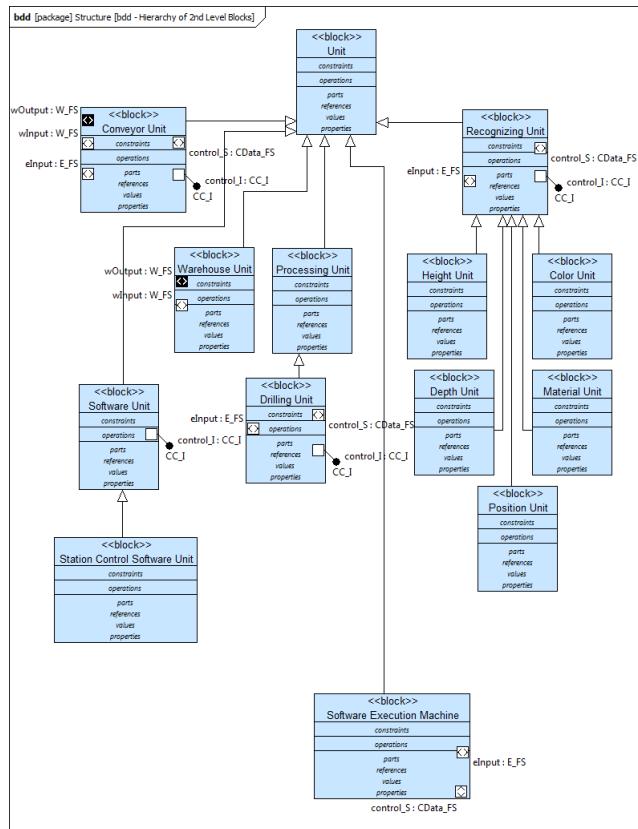


Σχήμα A.41: Η πλήρωση των απαιτήσεων του σταθμού κεντρικού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης

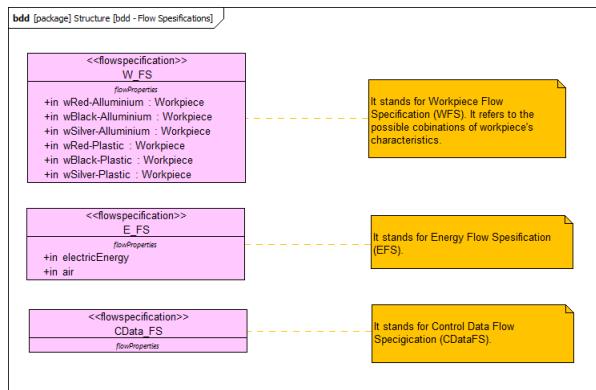
A'.2.3 Πακέτο δομής - Structure package



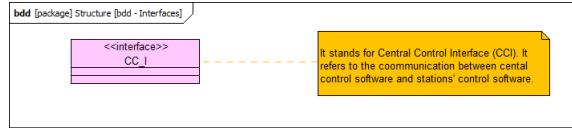
Σχήμα Α'42: Η ιεραρχική διάρθρωση των βασικών δομικών στοιχείων στο μοντέλο Ανάλυσης



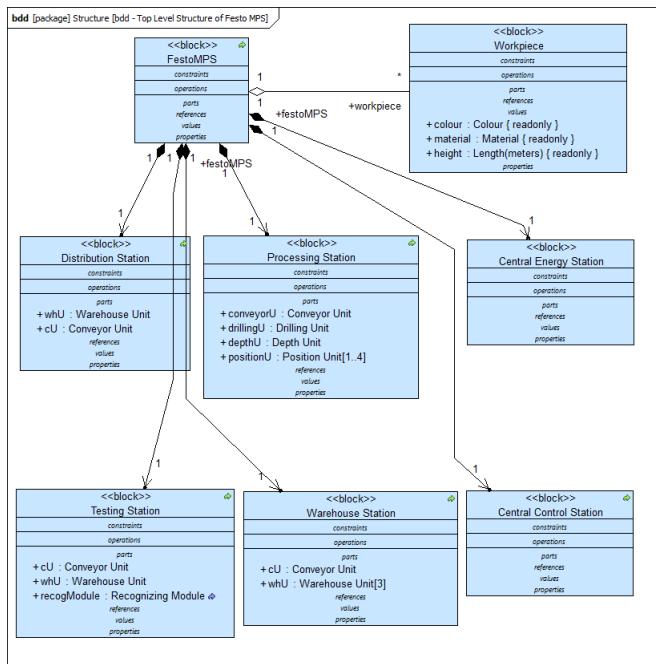
Σχήμα A'.43: Η ιεραρχική διάρθρωση των δευτερευόντων δομικών στοιχείων στο μοντέλο Ανάλυσης



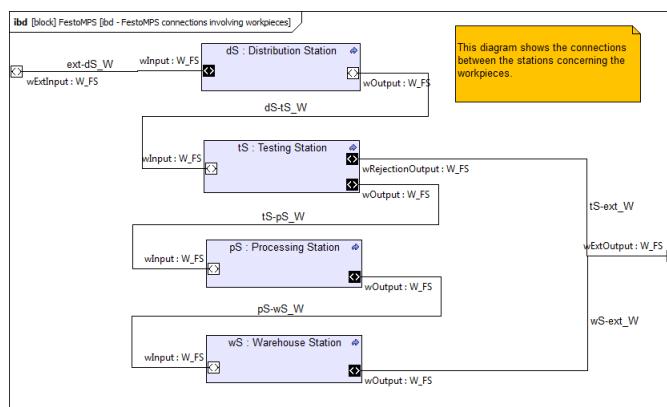
Σχήμα A'.44: Οι τεκμηριώσεις των ροών στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα Α'.45: Οι τεκμηριώσεις των διεπαφών στο μοντέλο Ανάλυσης

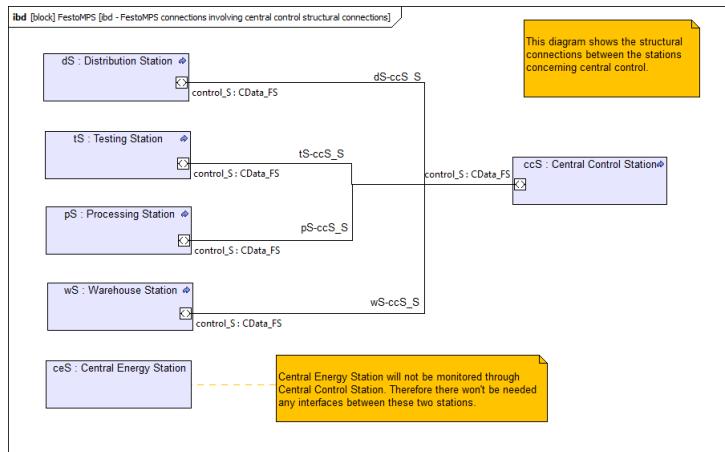


Σχήμα Α'.46: To bdd του Festo Mps στο μοντέλο Ανάλυσης

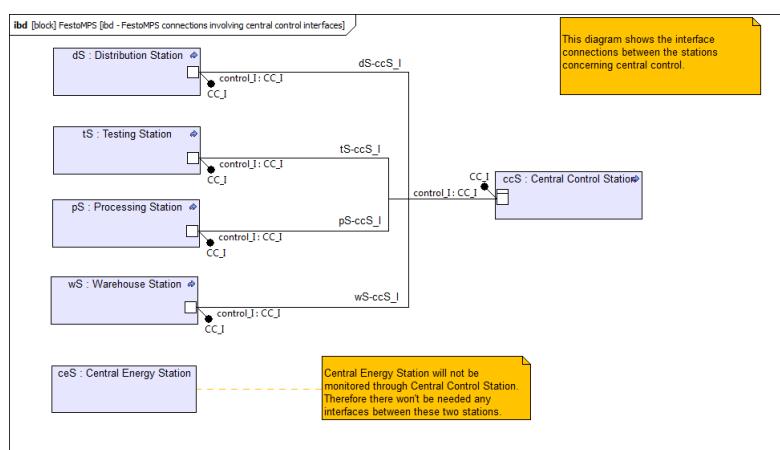


Σχήμα Α'.47: To ibd του Festo MPS αναφερόμενο στις πρώτες ύλες στο μοντέλο Ανάλυσης

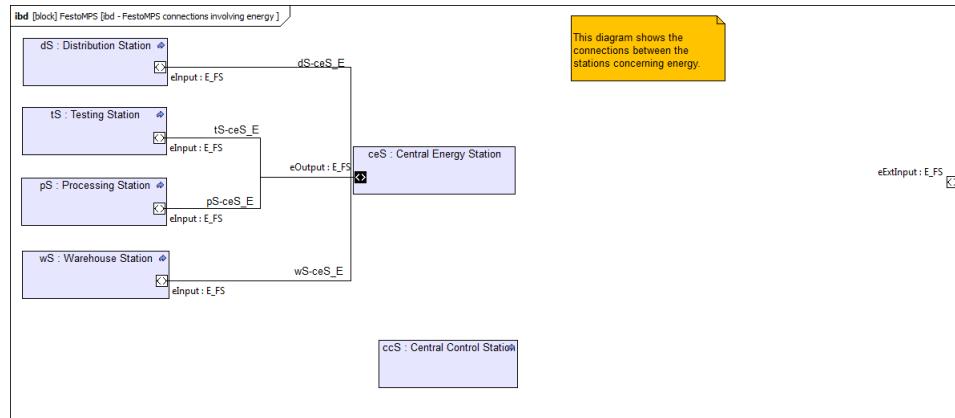
Κεφάλαιο A'



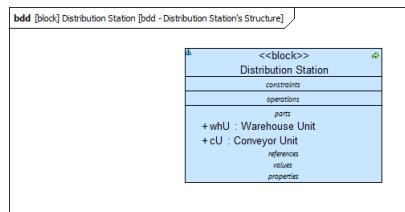
Σχήμα A'.48: Το ibd του Festo MPS αναφερόμενο στις γραμμές ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης



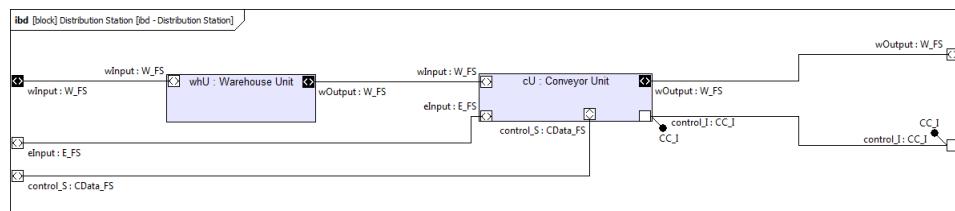
Σχήμα A'.49: Το ibd του Festo MPS αναφερόμενο στις διεπαφές στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα A'.50: Το ibd του Festo MPS αναφερόμενο στην ενέργεια στο μοντέλο Ανάλυσης

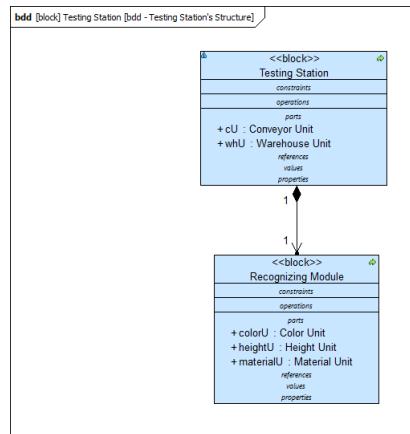


Σχήμα A'.51: Το bdd του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης

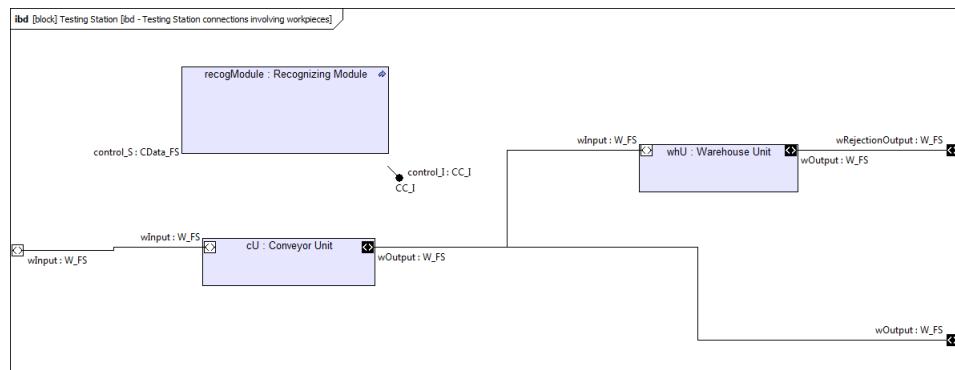


Σχήμα A'.52: Το ibd του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης

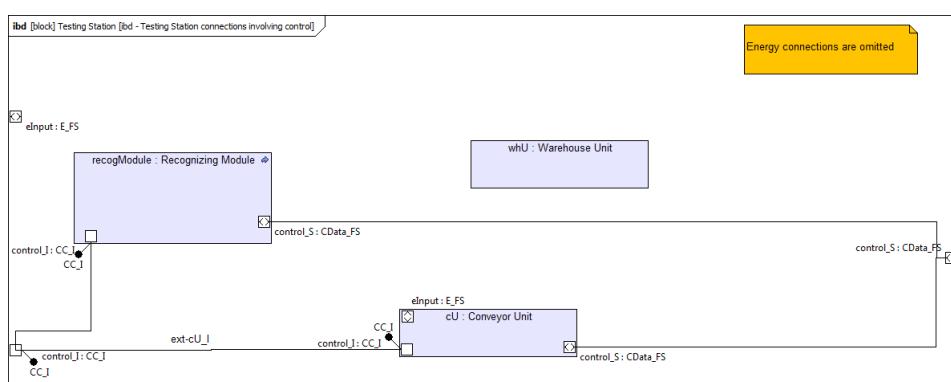
Κεφάλαιο Α'



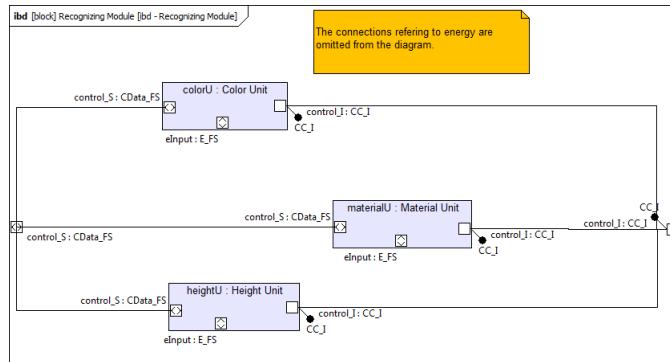
Σχήμα Α'.53: Το bdd του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης



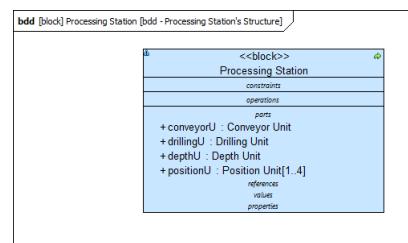
Σχήμα Α'.54: Το ibd του σταθμού ελέγχου αναφερόμενο στις πρώτες ύλες στο μοντέλο Ανάλυσης



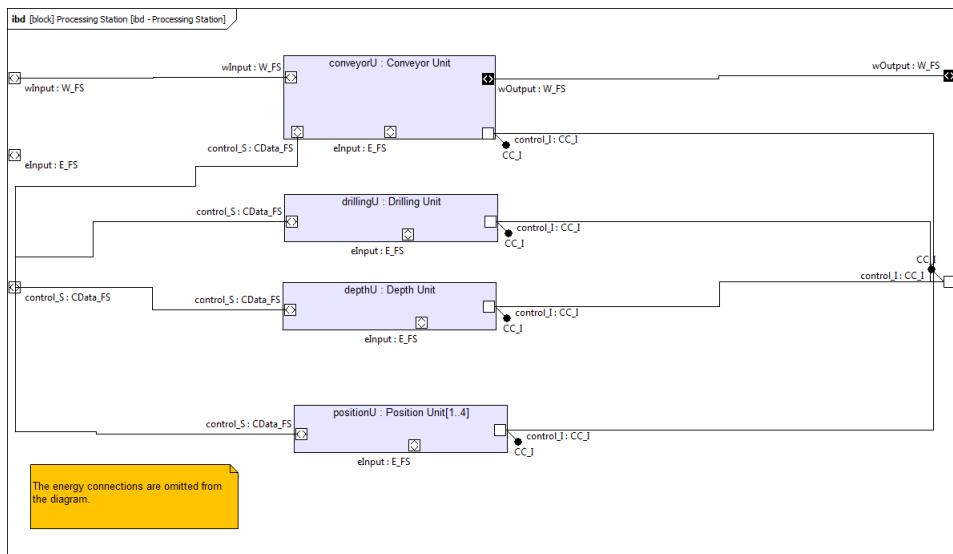
Σχήμα Α'.55: Το ibd του σταθμού ελέγχου αναφερόμενο στον έλεγχο στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα A'.56: Το ibd της μονάδας αναγνώρισης στο μοντέλο Ανάλυσης

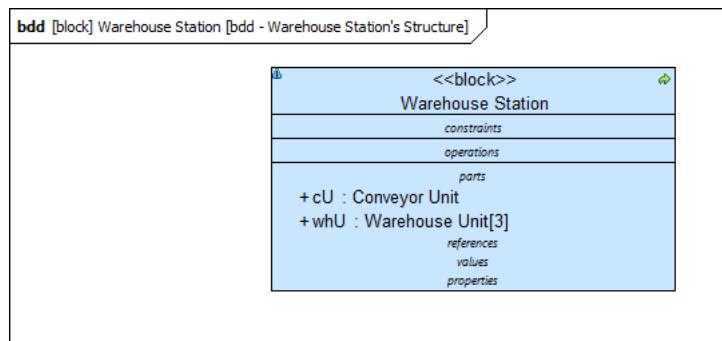


Σχήμα A'.57: Το bdd του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης

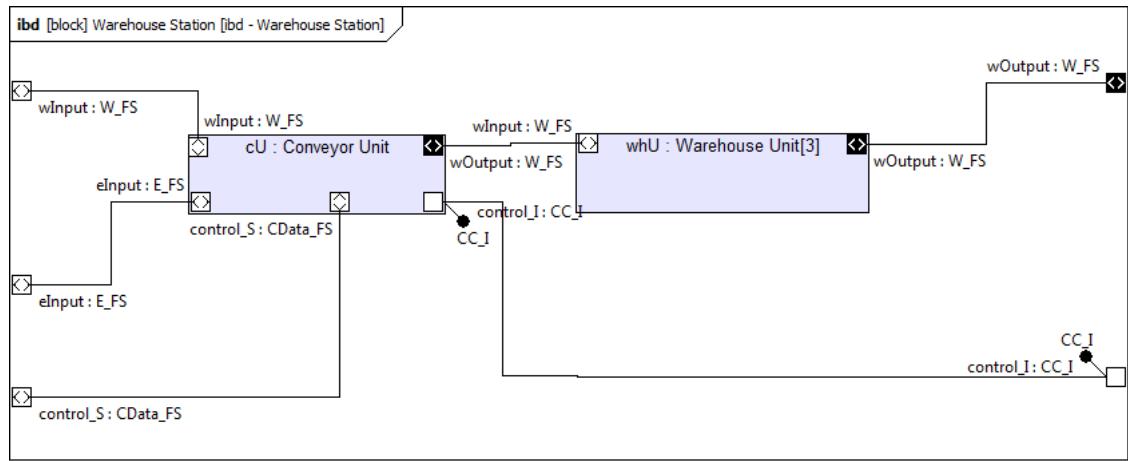


Σχήμα A'.58: Το ibd του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης

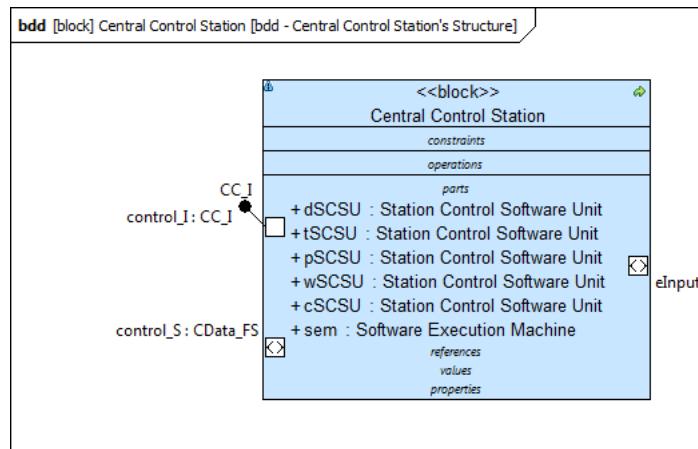
Κεφάλαιο Α'



Σχήμα A'.59: Το bdd του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης

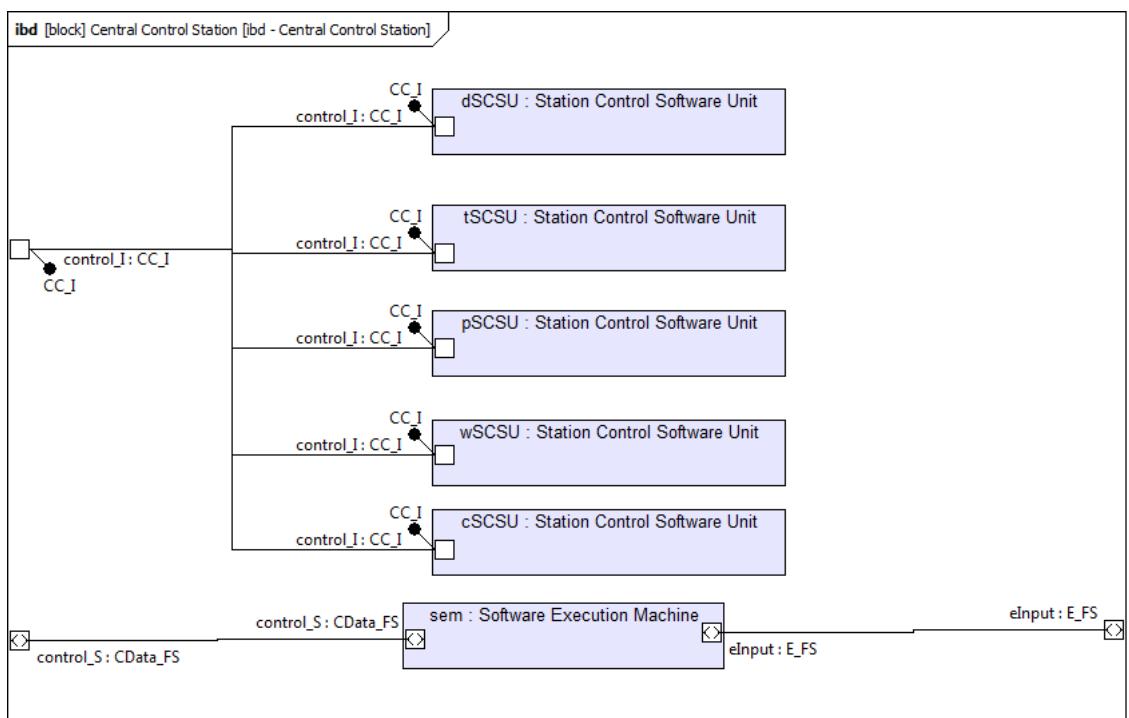


Σχήμα A'.60: Το ibd του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα A'.61: Το bdd του σταθμού κεντρικού ελέχου στο μοντέλο Ανάλυσης

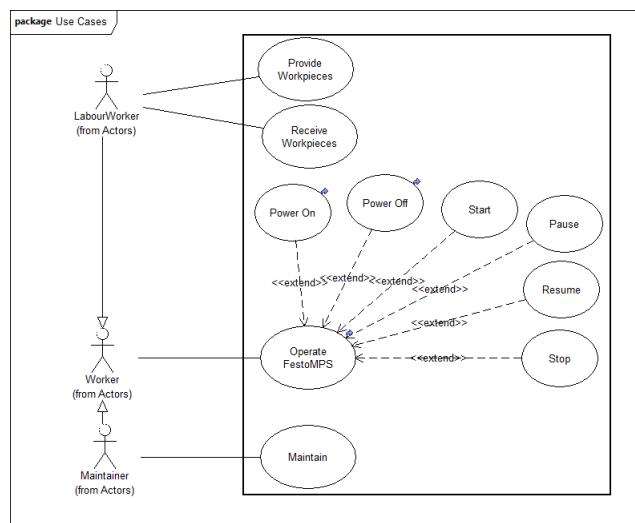
Κεφάλαιο A'



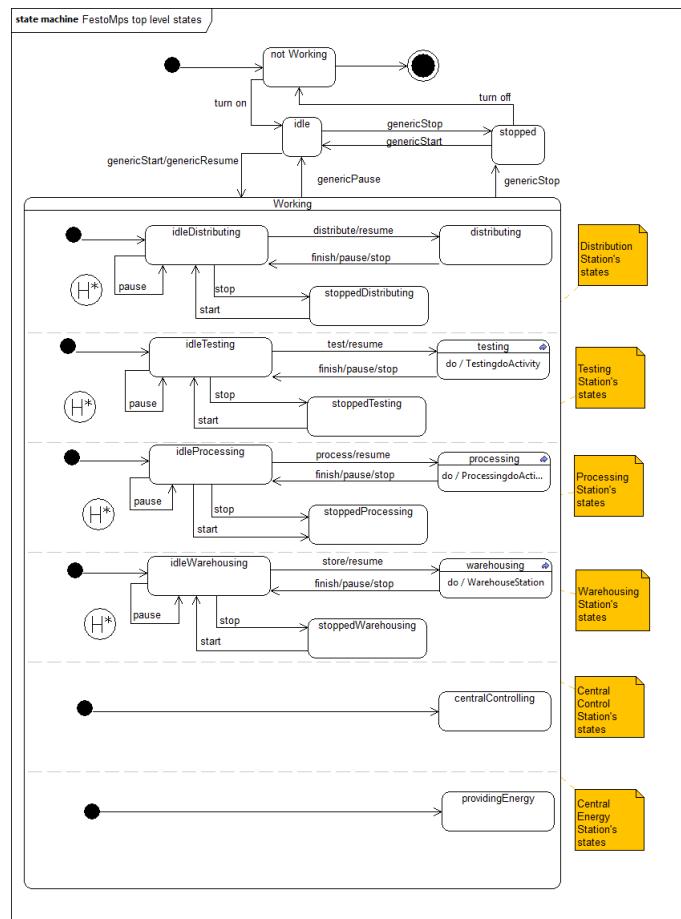
Σχήμα A'.62: Το ibd του σταθμού κεντρικού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης

A'.2.4 Πακέτο λειτουργίας - Behaviour package

Κεφάλαιο A'

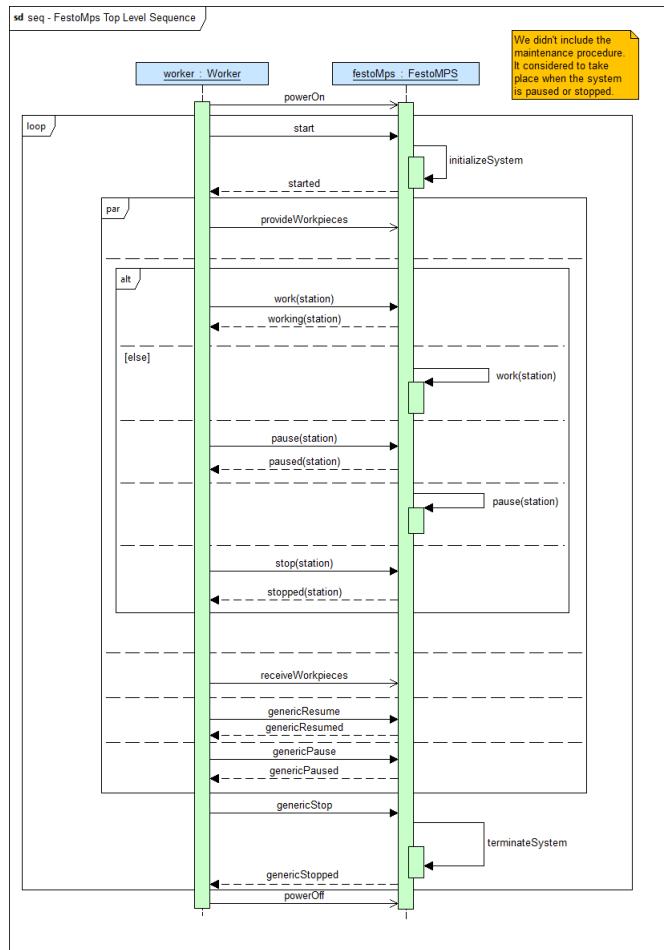


Σχήμα A'.63: Οι περιπτώσεις χρήσεις του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης

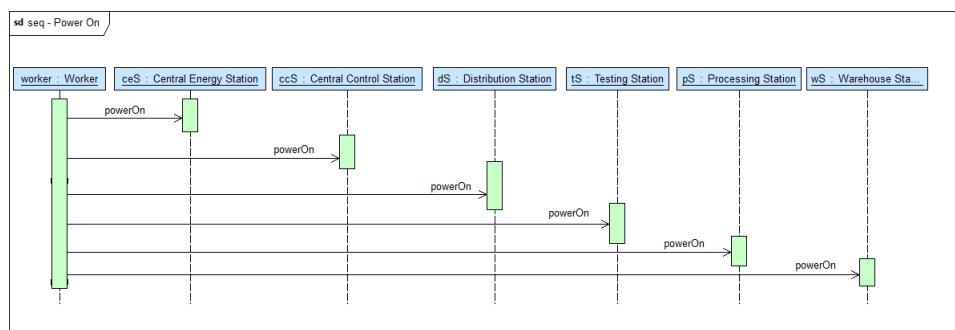


Σχήμα Α'.64: Το διάγραμμα καταστάσεων του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης

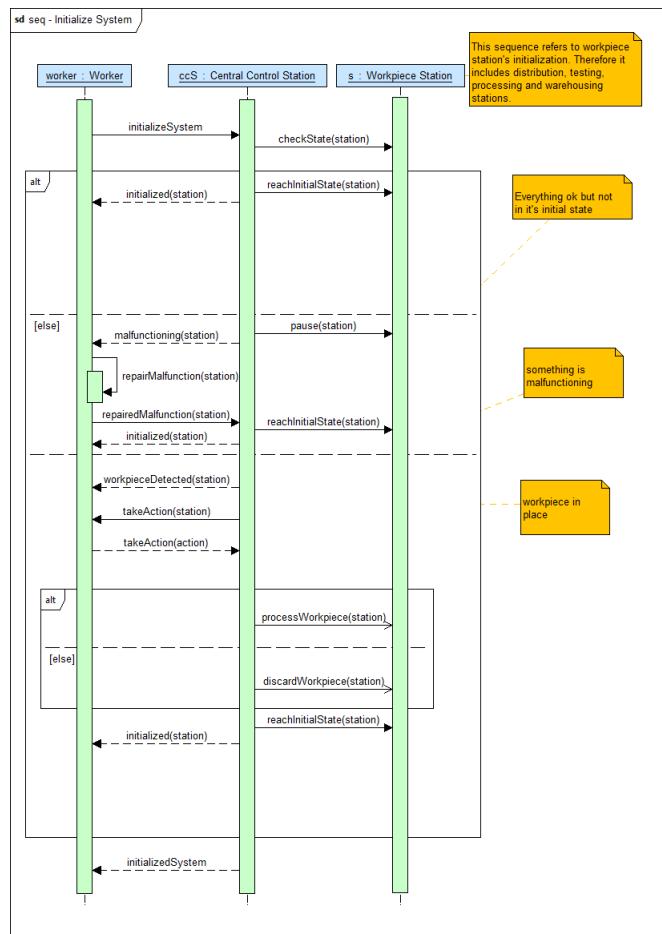
Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.65: Το διάγραμμα ακολουθίας του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης

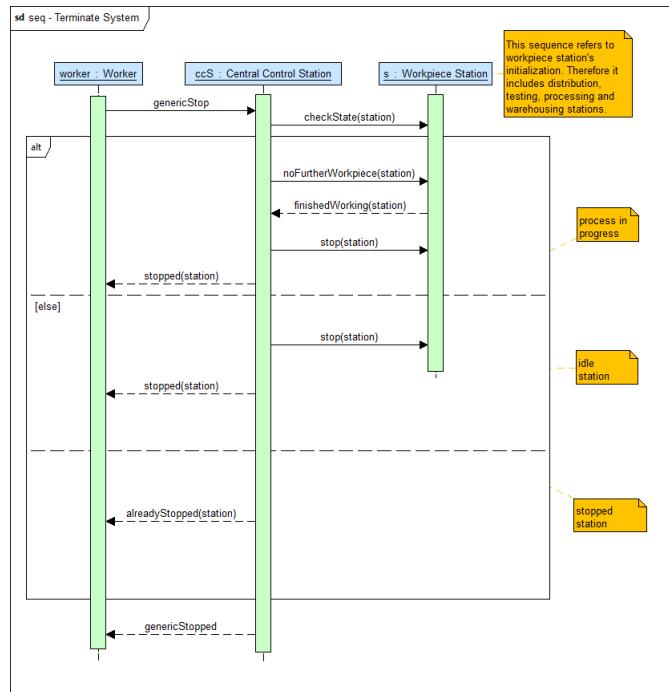


Σχήμα Α'.66: Το διάγραμμα ακολουθίας για την ενεργοποίηση του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης

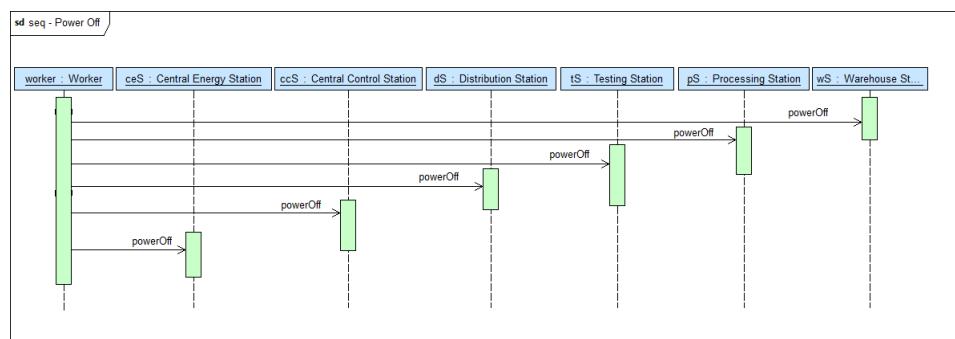


Σχήμα A'.67: Το διάγραμμα ακολουθίας για την αρχικοποίηση του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης

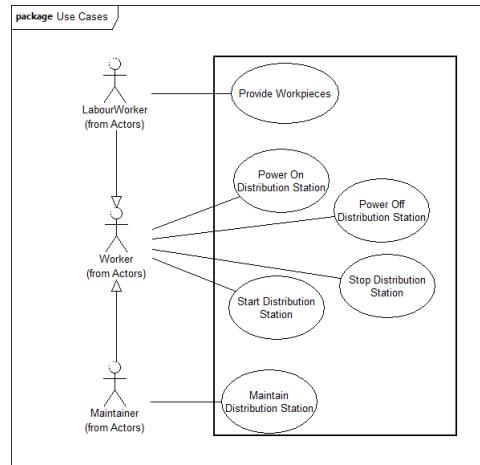
Kεφάλαιο A'



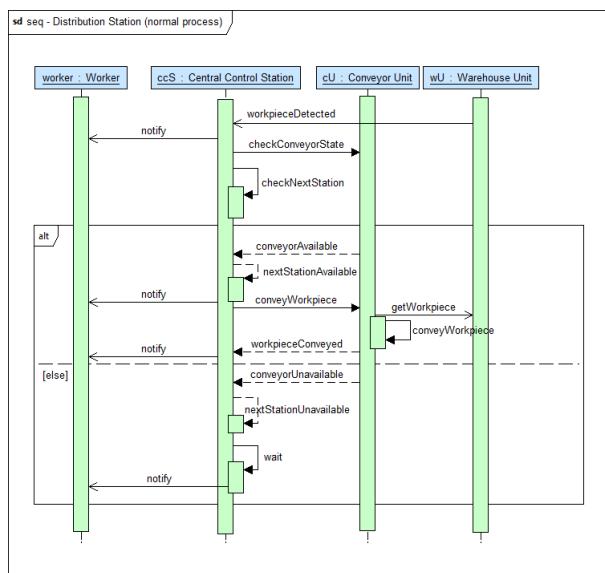
Σχήμα A'.68: Το διάγραμμα ακολουθίας για τον τερματισμό εκκίνησης του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα A'.69: Το διάγραμμα ακολουθίας για την απενεργοποίηση του Festo MPS στο μοντέλο Ανάλυσης

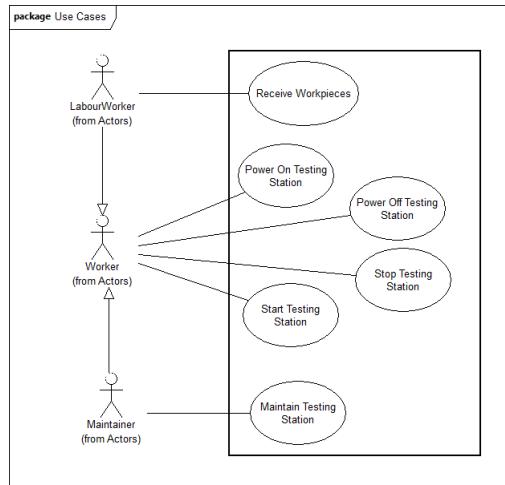


Σχήμα Α'.70: Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης

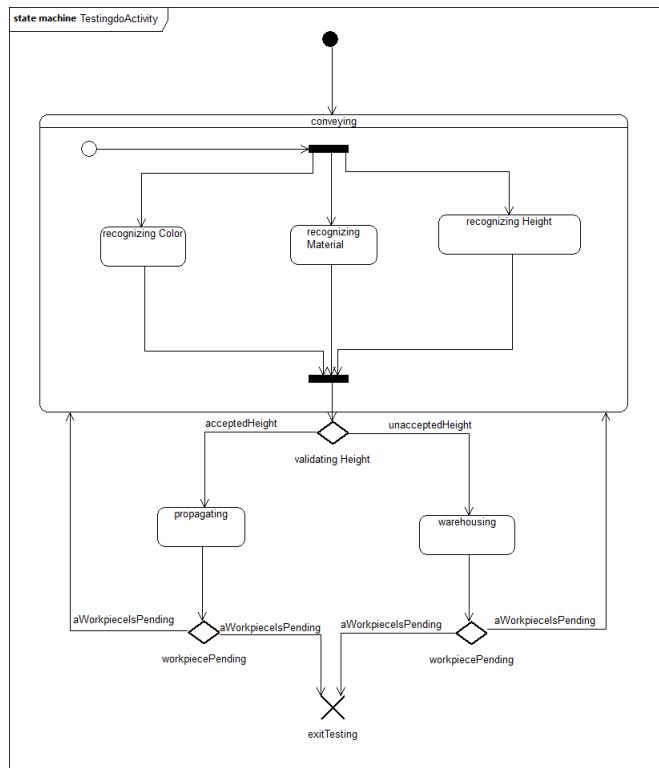


Σχήμα Α'.71: Το διάγραμμα ακολουθίας του σταθμού διανομής στο μοντέλο Ανάλυσης

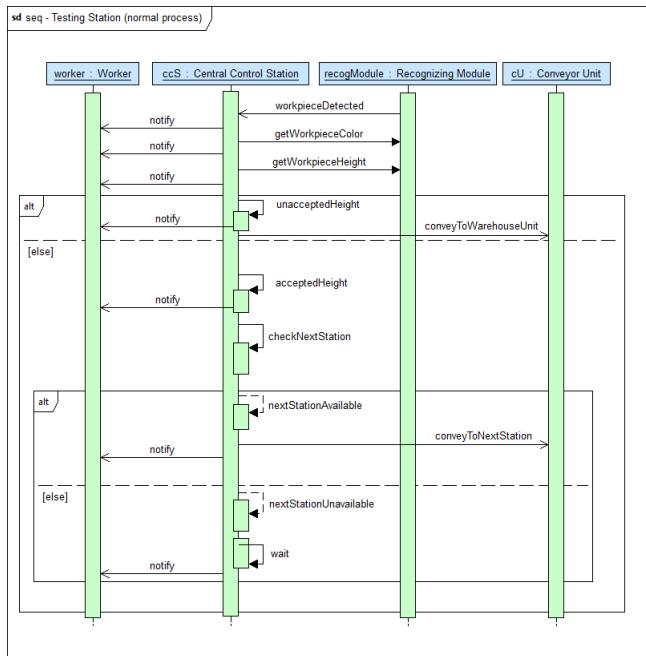
Κεφάλαιο Α'



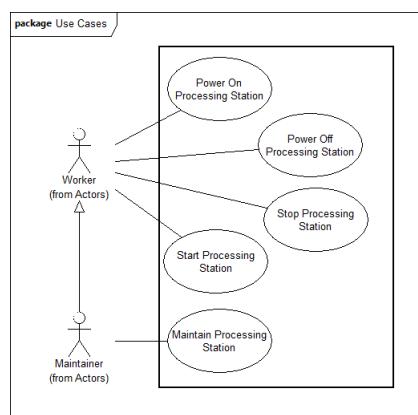
Σχήμα Α'.72: Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταδιού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης



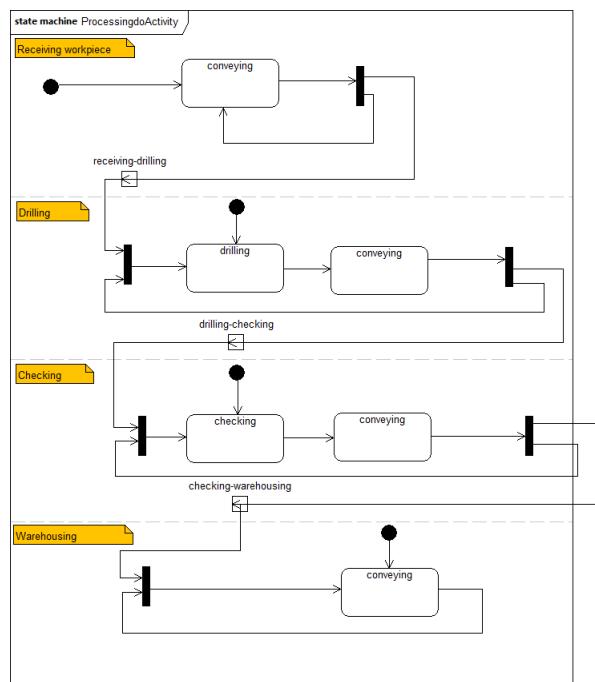
Σχήμα Α'.73: Το διάγραμμα καταστάσεων του σταδιού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης



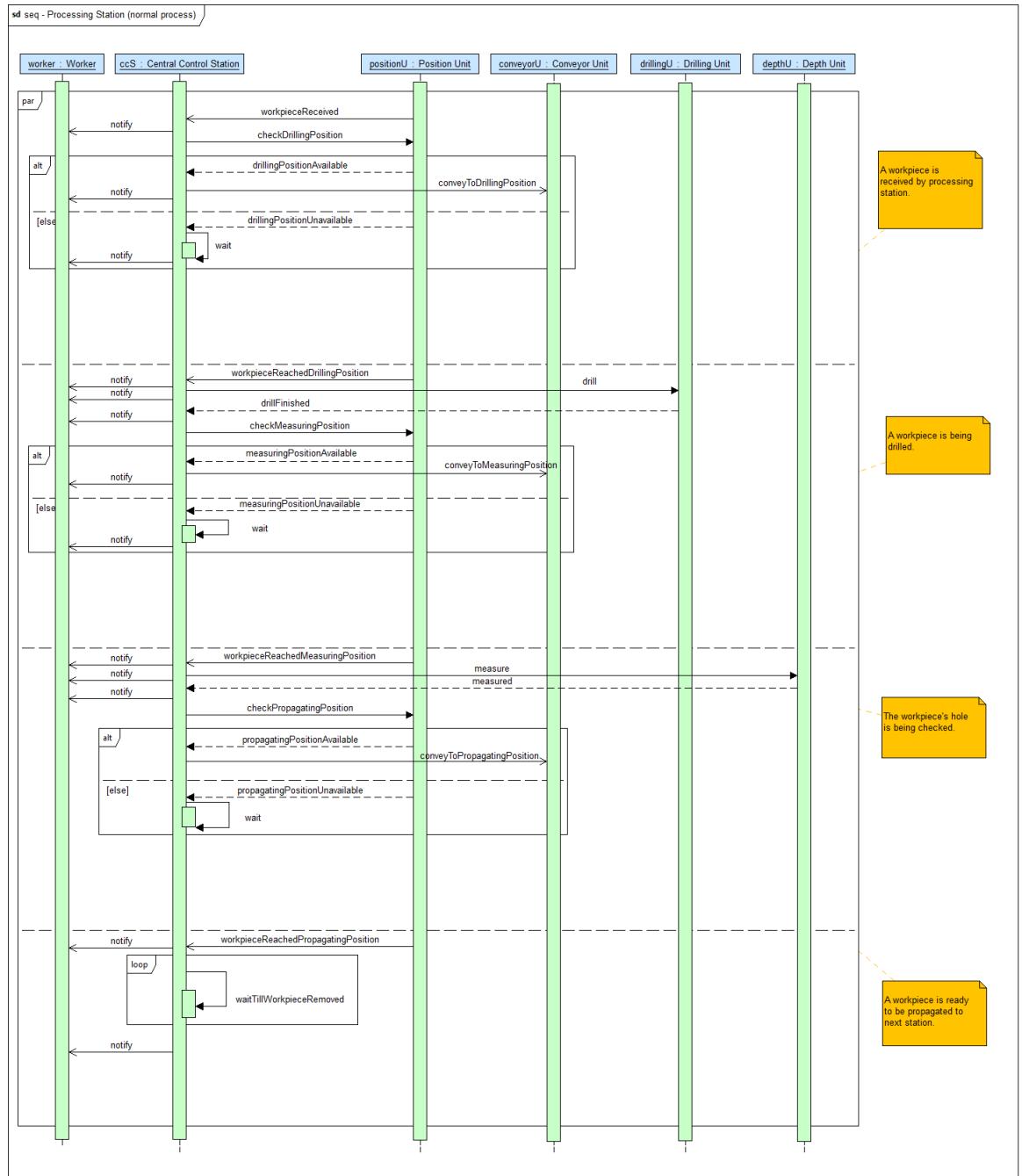
Σχήμα Α'.74: Το διάγραμμα ακολουθίας του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης



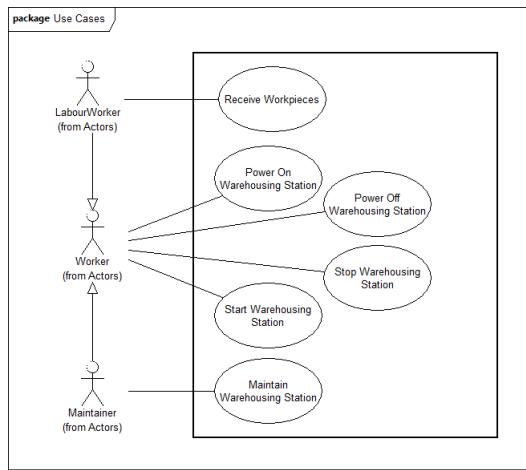
Σχήμα Α'.75: Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης



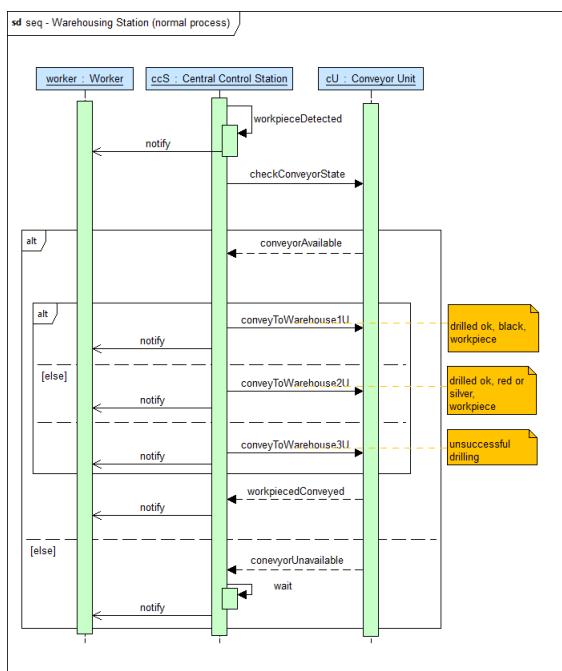
Σχήμα Α'.76: Το διάγραμμα καταστάσεων του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης



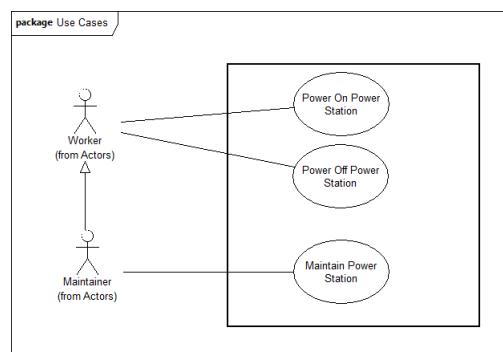
Σχήμα Α'77: Το διάγραμμα ακολουθίας του σταδιού επεξεργασίας στο μοντέλο Ανάλυσης



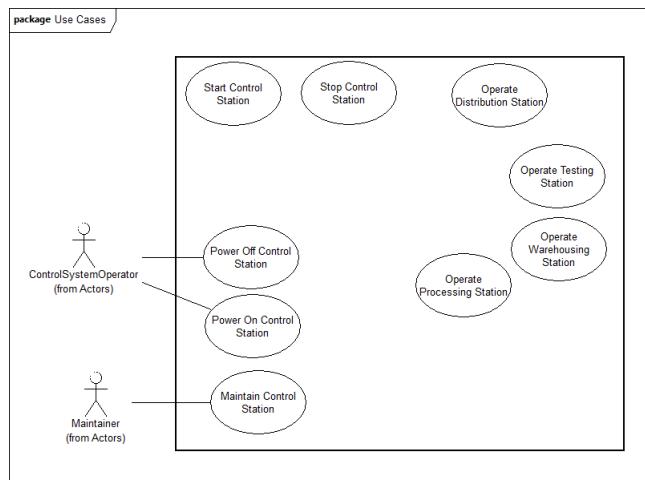
Σχήμα A'.78: Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα A'.79: Το διάγραμμα ακολουθίας του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Ανάλυσης



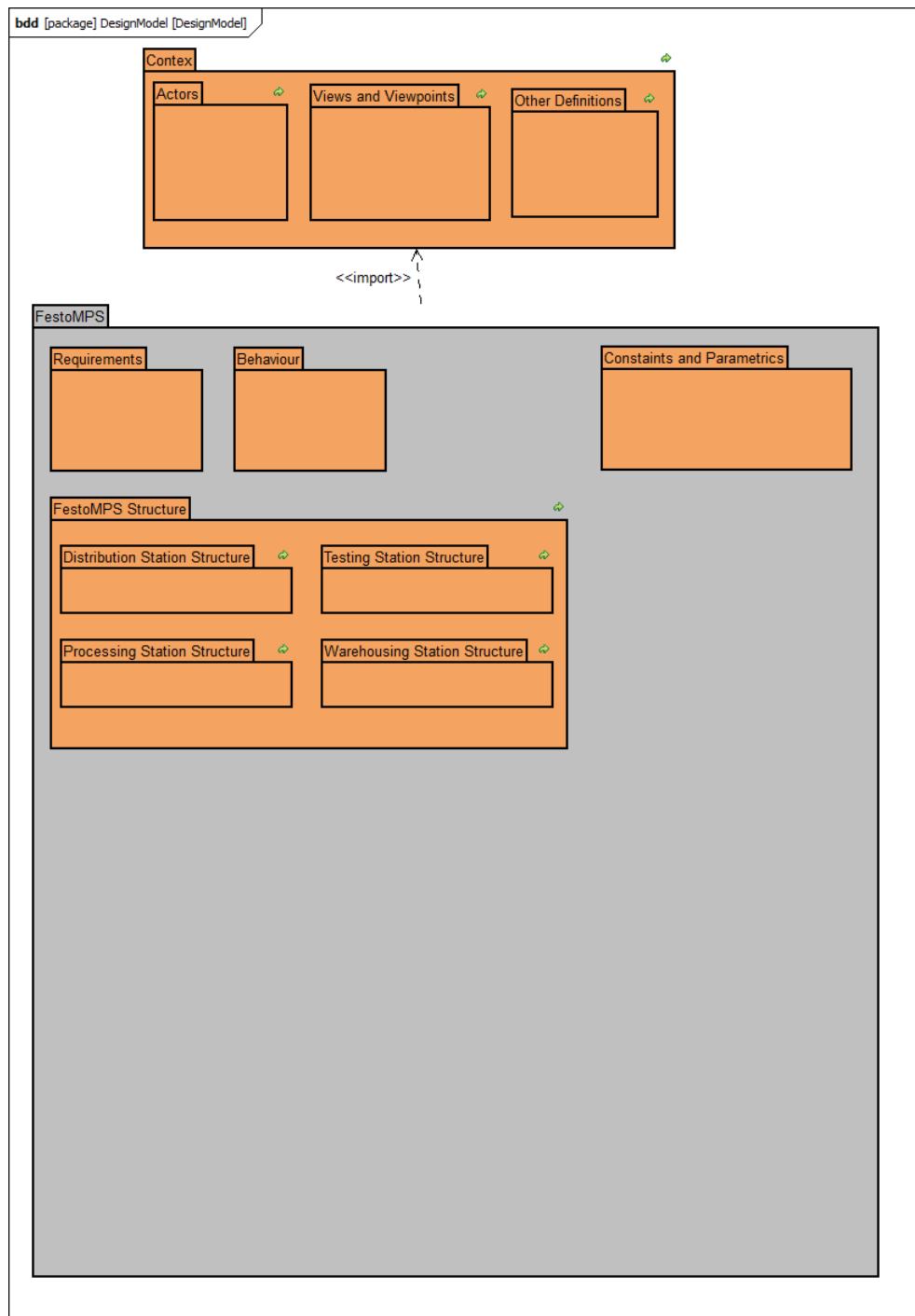
Σχήμα Α'.80: Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού ενέργειας στο μοντέλο Ανάλυσης



Σχήμα Α'.81: Οι περιπτώσεις χρήσεις του σταθμού κεντρικού ελέγχου στο μοντέλο Ανάλυσης

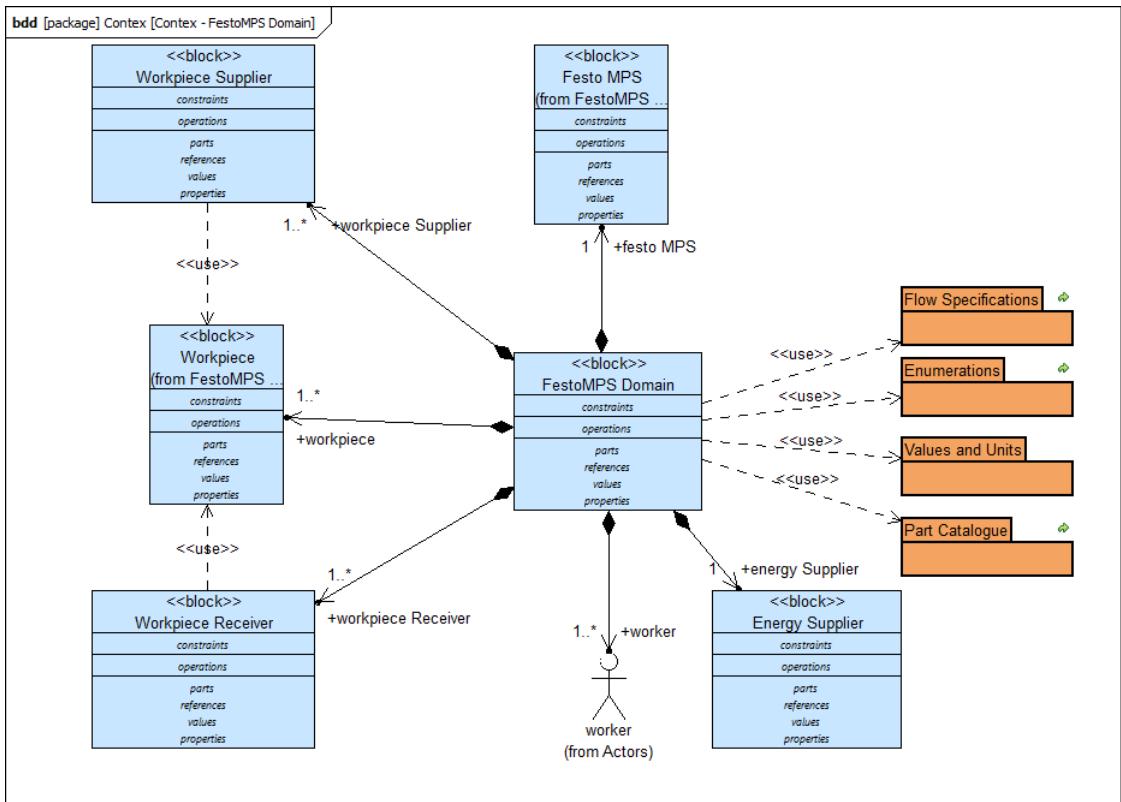
A'.3 Μοντέλο Υλοποίησης -Design Model

A'.3.1 Χώρος υλοποίησης συστήματος - Context

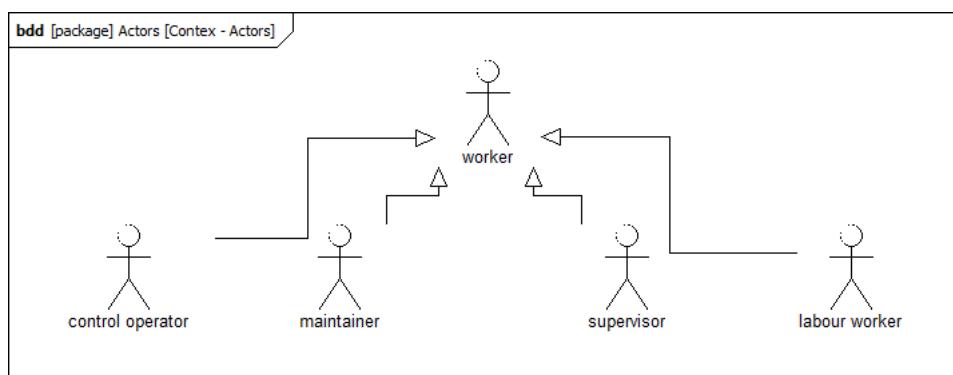


Σχήμα A'.82: Η δομή του μοντέλου Υλοποίησης

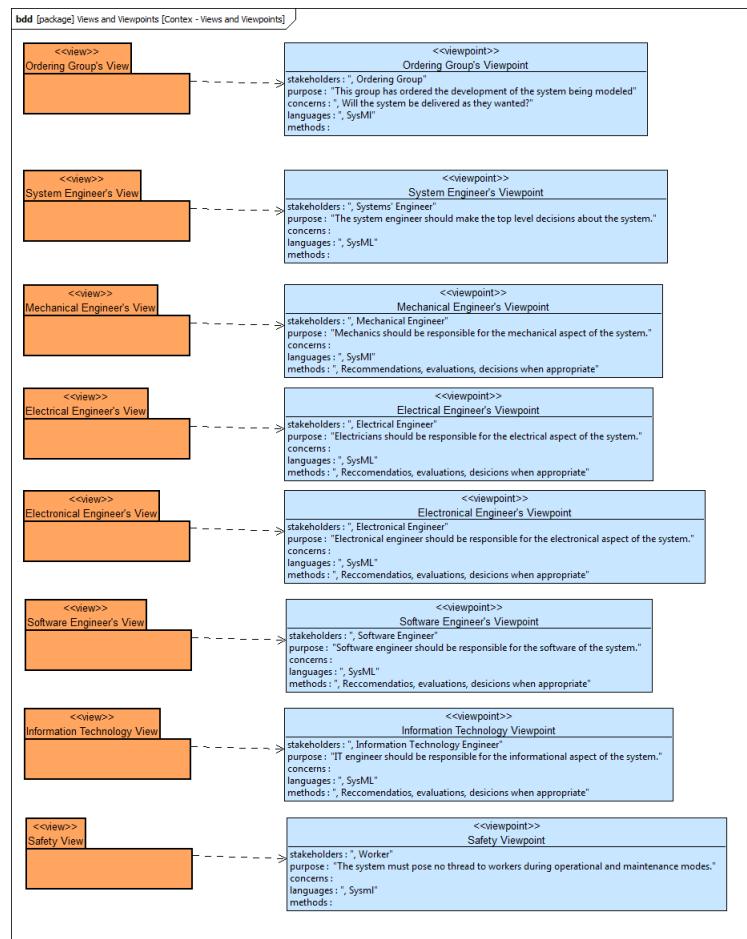
Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.83: Ο χώρος υλοποίησης του μοντέλου Υλοποίησης

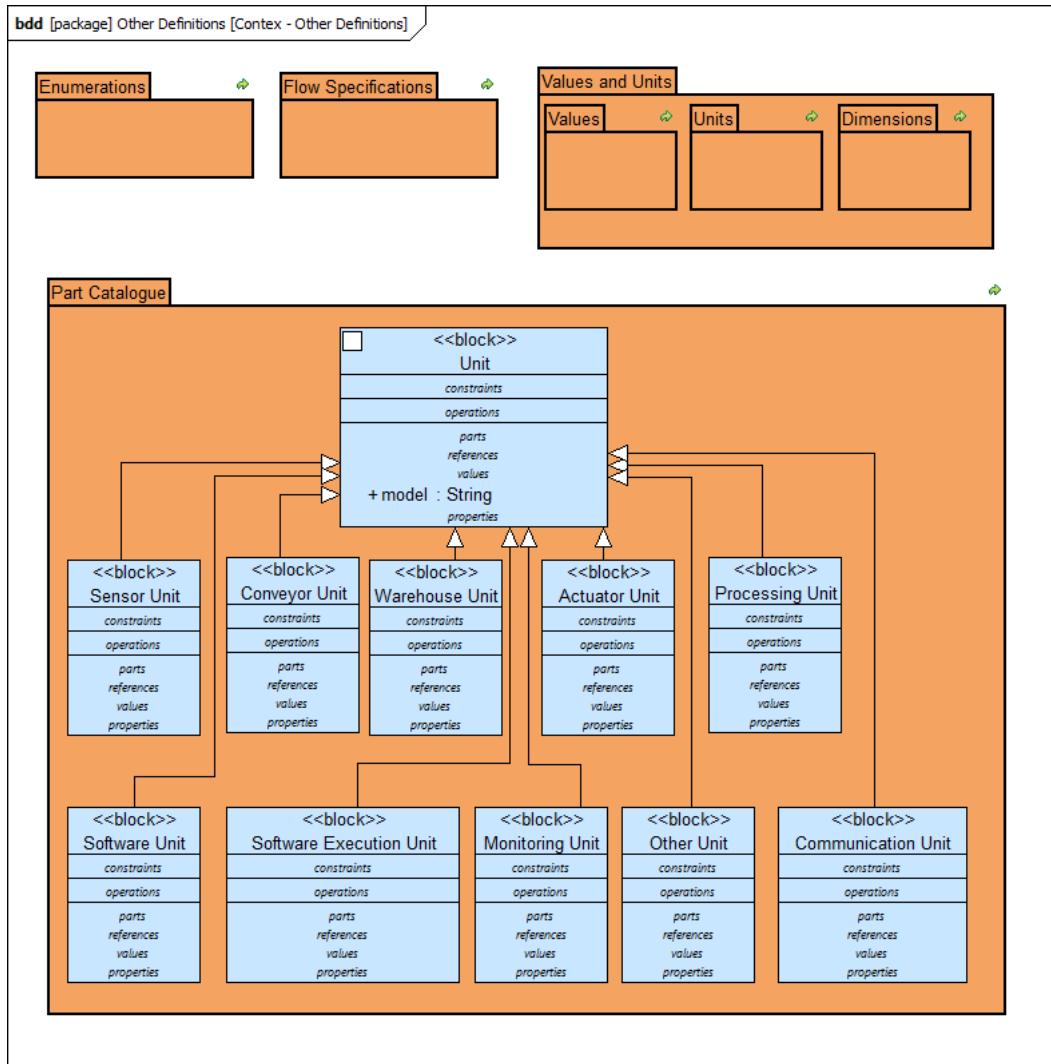


Σχήμα Α'.84: Οι ρόλοι του μοντέλου Υλοποίησης

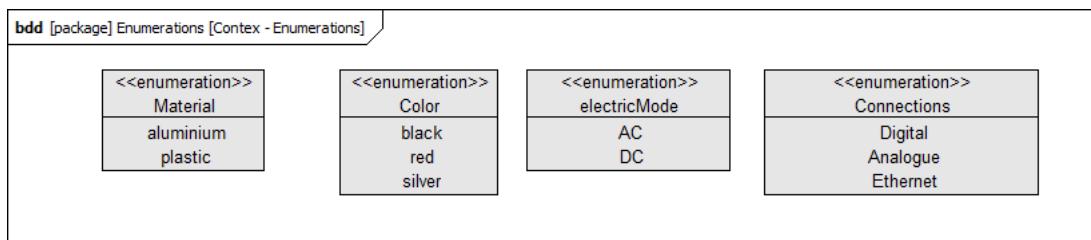


Σχήμα A'.85: Οι όψεις του μοντέλου Υλοποίησης

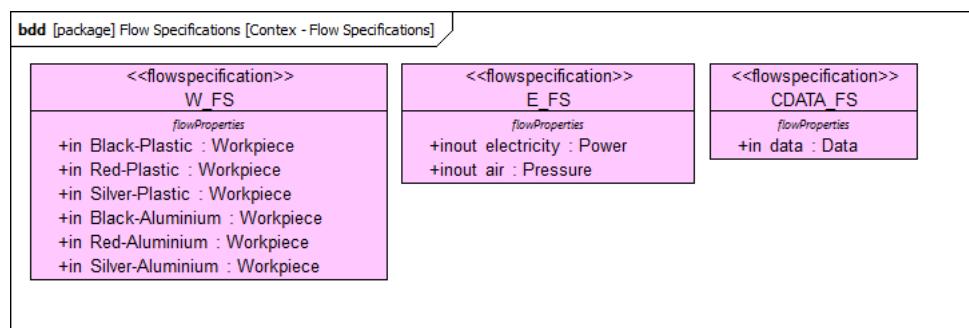
Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.86: Τα λοιπά στοιχεία του μοντέλου Υλοποίησης

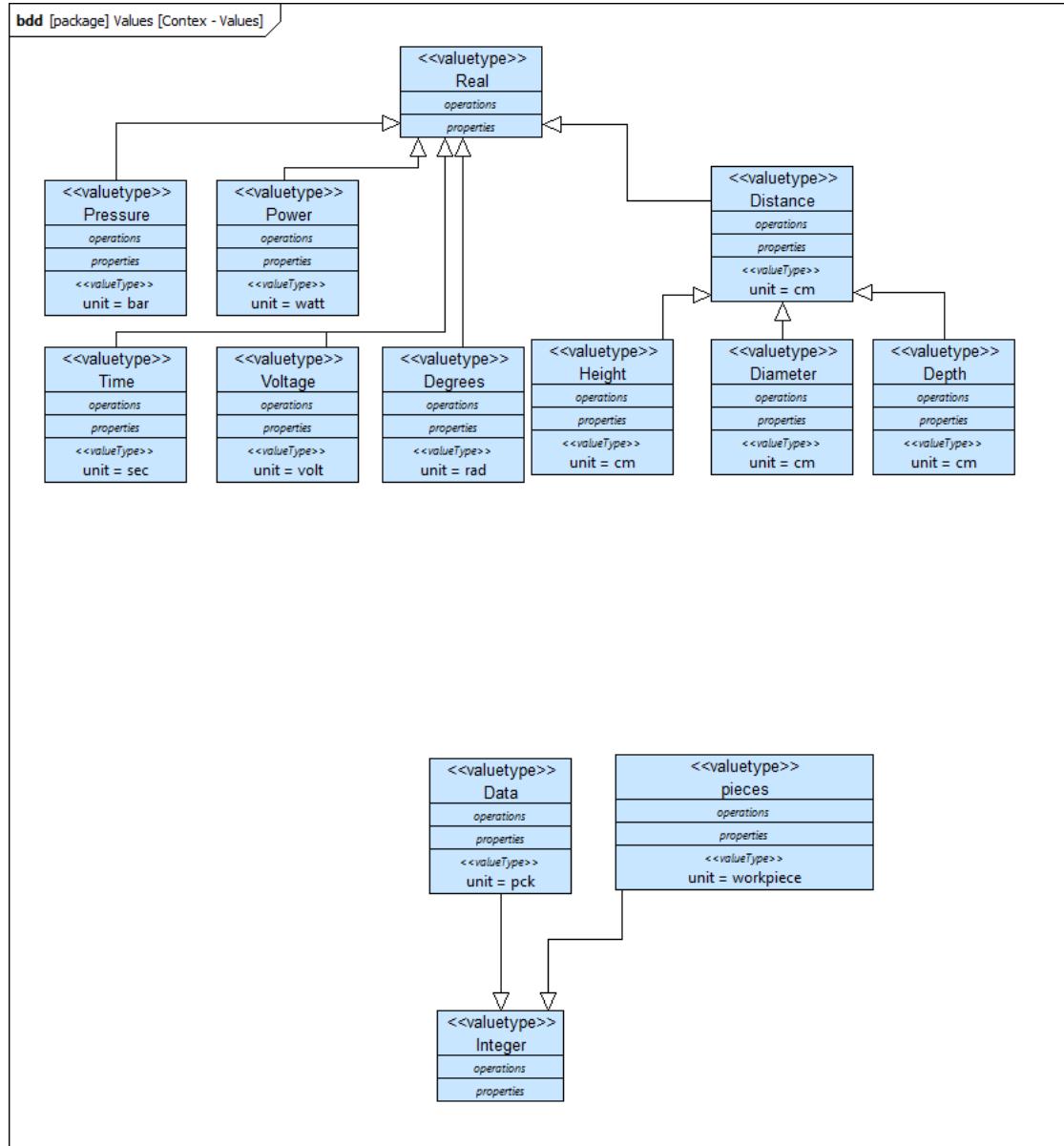


Σχήμα Α'.87: Οι "απαριθμήσεις" του μοντέλου Υλοποίησης

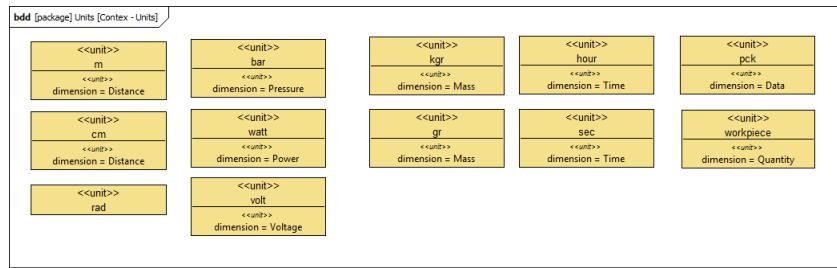


Σχήμα A.88: Η τεκμηρίωση των ροών του μοντέλου Υλοποίησης

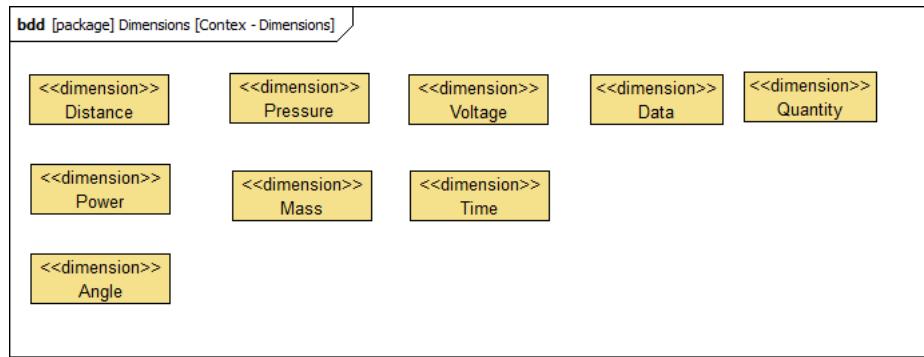
Κεφάλαιο Α'



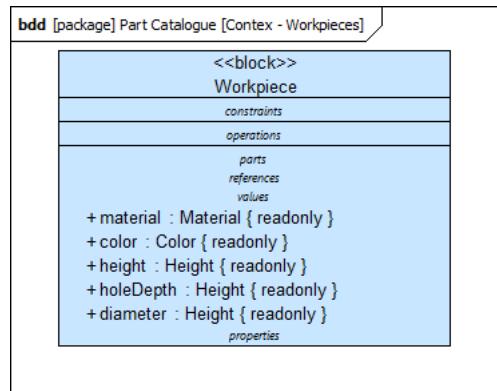
Σχήμα Α'.89: Οι κατηγορίες των υπό μέτρηση μεγεθών του μοντέλου Υλοποίησης



Σχήμα Α'.90: Οι μονάδες μέτρησης του μοντέλου Υλοποίησης

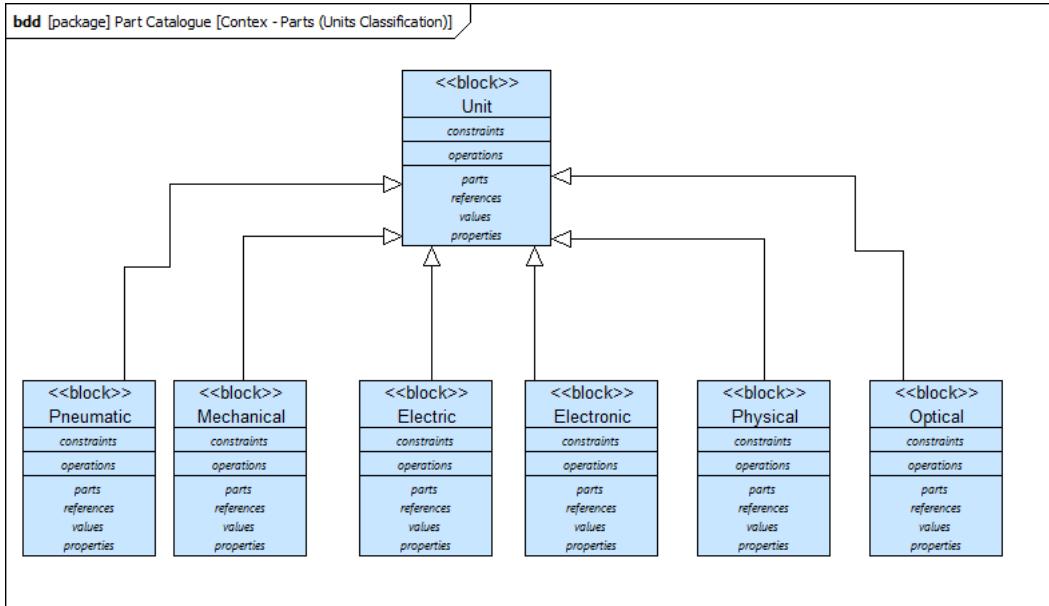


Σχήμα Α'.91: Τα υπό μέτρηση μεγέθη του μοντέλου Υλοποίησης

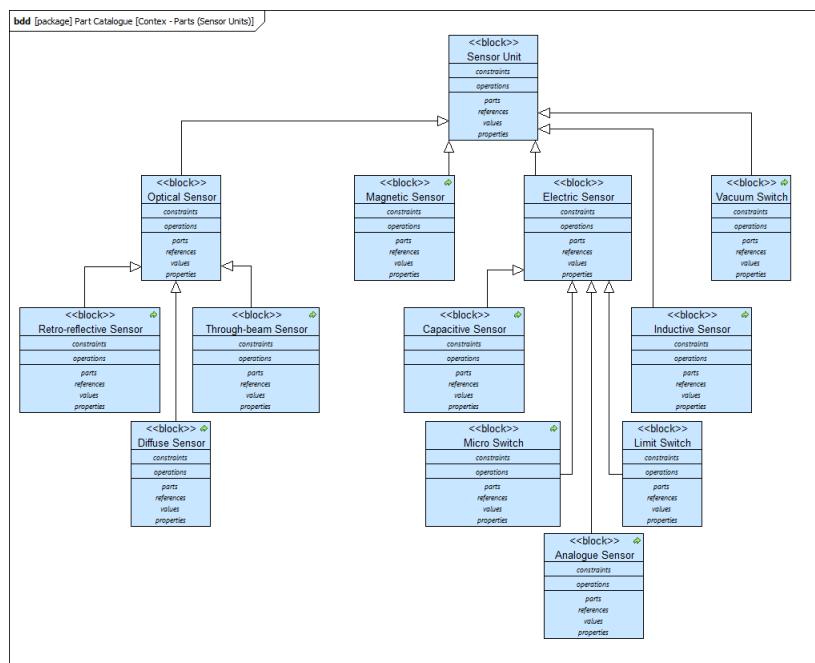


Σχήμα Α'.92: Το bdd των πρώτων υλών στο μοντέλο Υλοποίησης

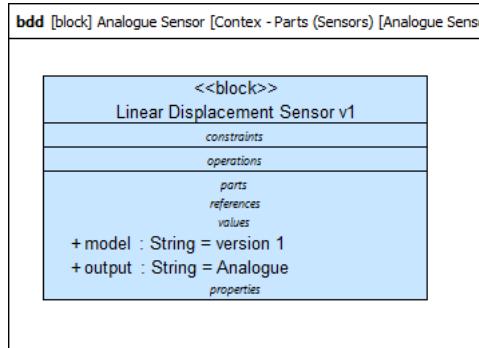
Κεφάλαιο Α'



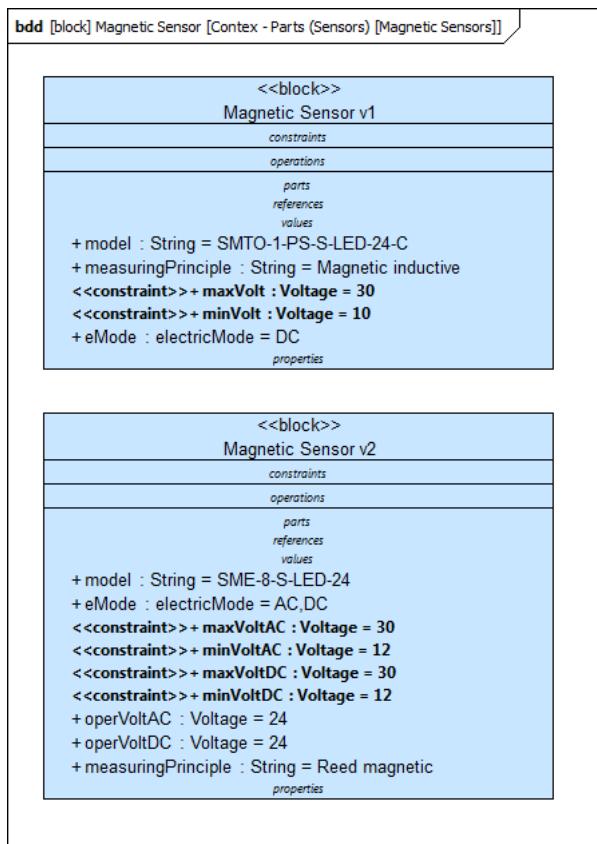
Σχήμα Α'.93: Η κατάταξη των συκευών στο μοντέλο Υλοποίησης



Σχήμα Α'.94: Η ιεραρχική διάρθρωση των αισθητήρων στο μοντέλο Υλοποίησης

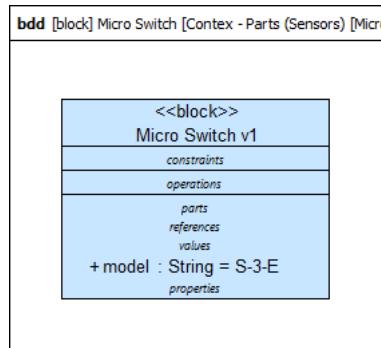


Σχήμα Α'.95: Οι αναλογικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης

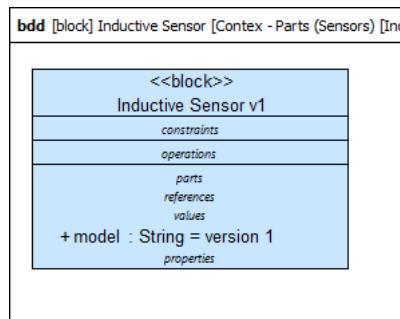


Σχήμα Α'.96: Οι μαγνητικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης

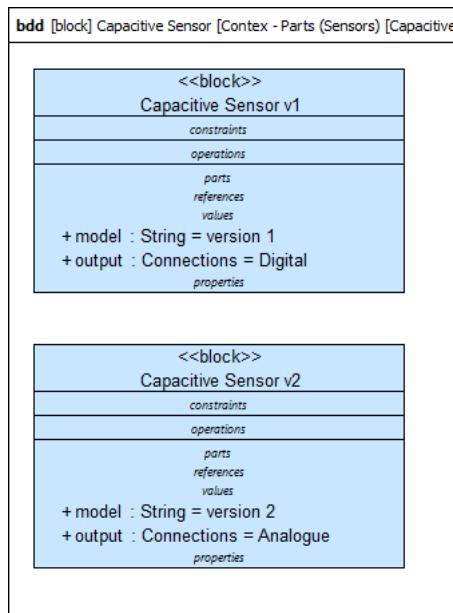
Κεφάλαιο A'



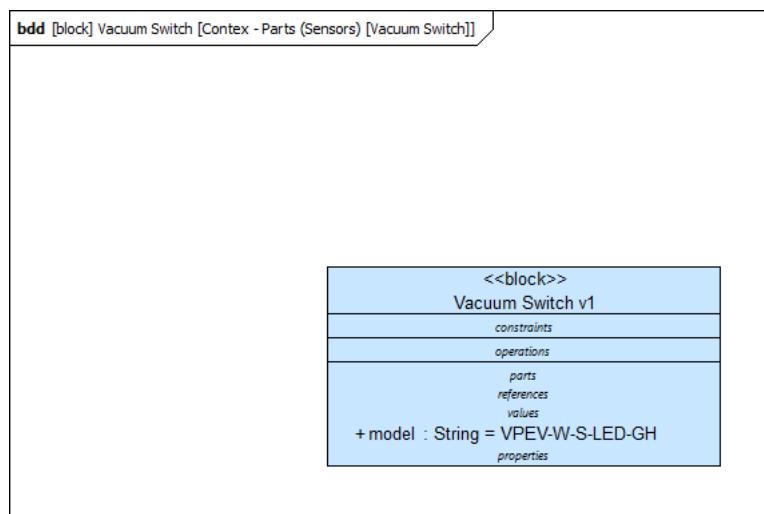
Σχήμα Α'.97: Οι τερματικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης



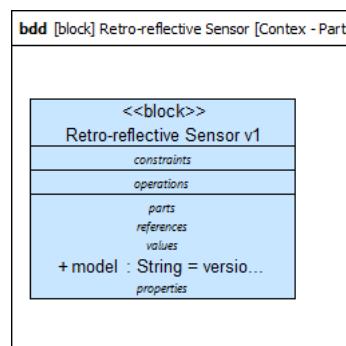
Σχήμα Α'.98: Οι επαγωγικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης



Σχήμα Α'.99: Οι χωρητικοί αισθητήρες του μοντέλου Υλοποίησης

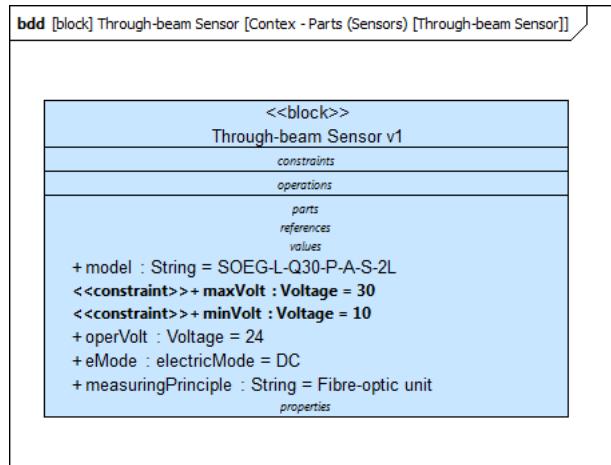


Σχήμα A'.100: Οι αισθητήρες κενού του μοντέλου Υλοποίησης

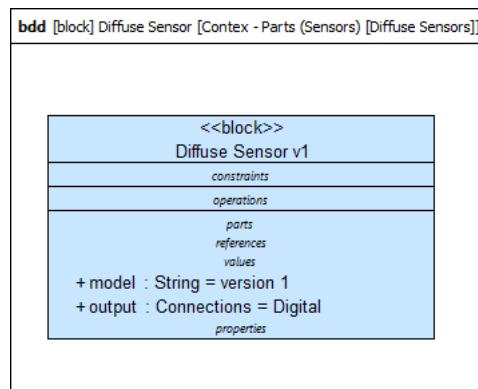


Σχήμα A'.101: Οι αισθητήρες ανάκλασης του μοντέλου Υλοποίησης

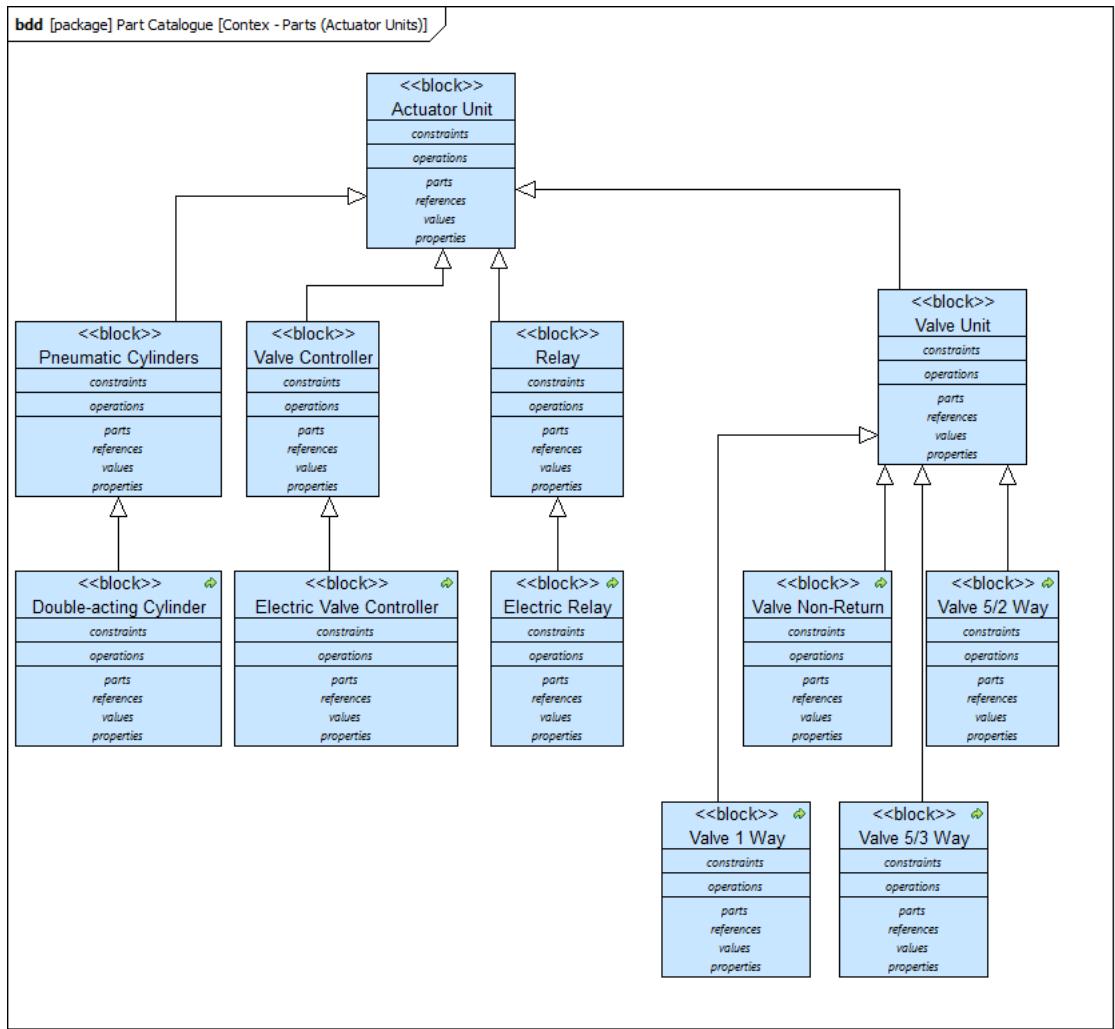
Κεφάλαιο A'



Σχήμα A'.102: Οι αισθητήρες φωτοκύτταρου του μοντέλου Υλοποίησης

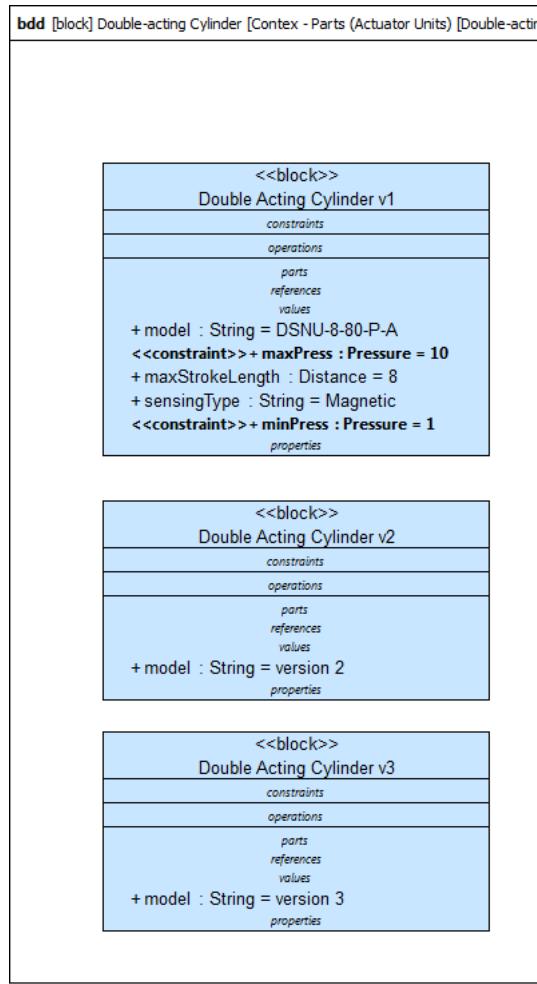


Σχήμα A'.103: Οι αισθητήρες διάχυσης του μοντέλου Υλοποίησης

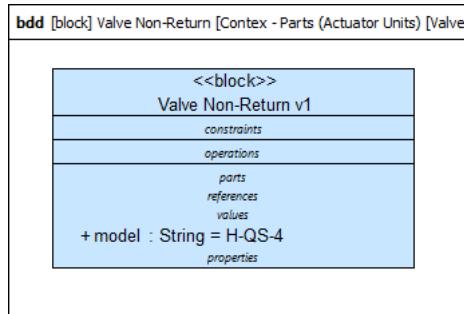


Σχήμα A.104: Η ιεραρχική διάρθρωση των ενεργοποιητών στο μοντέλο Υλοποίησης

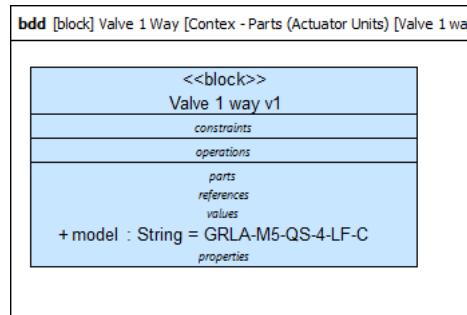
Κεφάλαιο A'



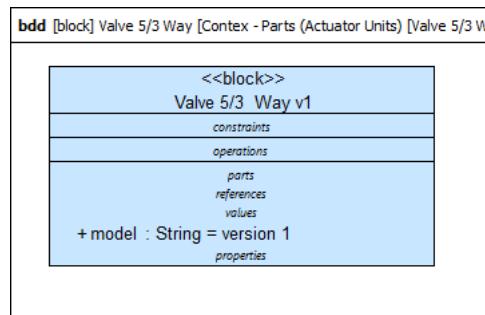
Σχήμα A'.105: Οι πνευματικοί κύλινδροι του μοντέλου Υλοποίησης



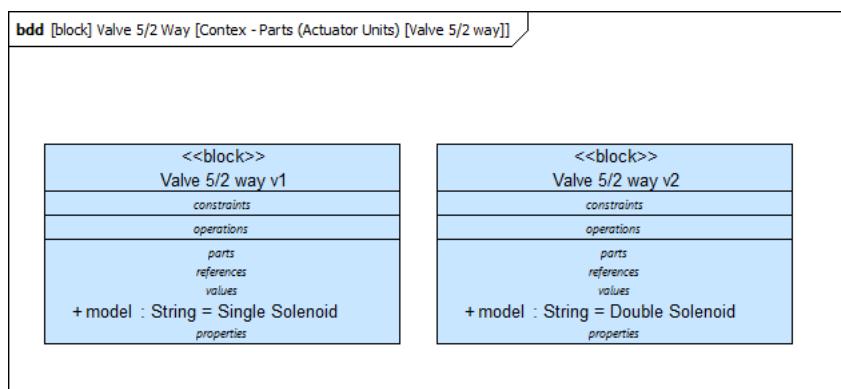
Σχήμα A'.106: Οι βαλβίδες χωρίς επιστροφή του μοντέλου Υλοποίησης



Σχήμα Α'.107: Οι βαλβίδες μίας κατεύθυνσης του μοντέλου Υλοποίησης

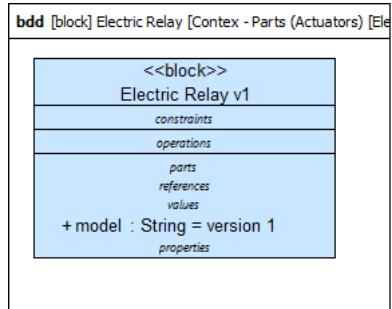


Σχήμα Α'.108: Οι βαλβίδες 5/3 του μοντέλου Υλοποίησης

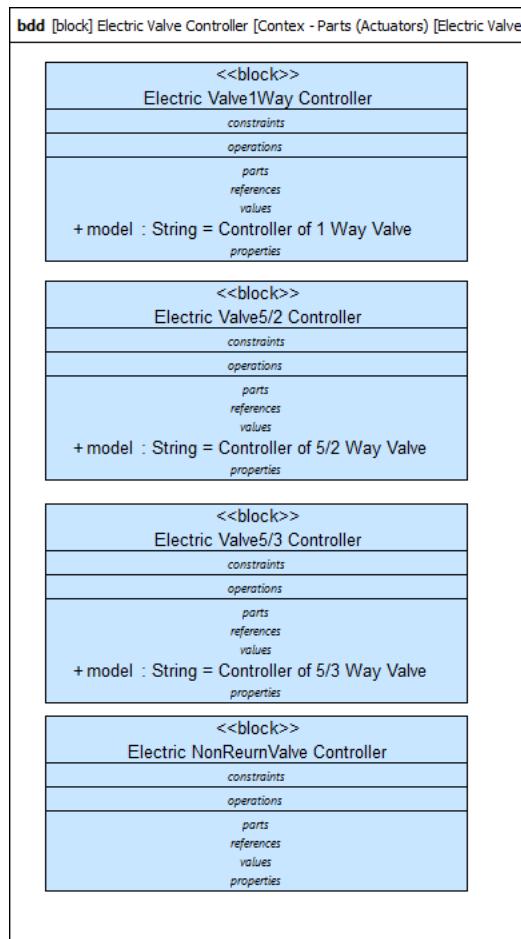


Σχήμα Α'.109: Οι βαλβίδες 5/2 του μοντέλου Υλοποίησης

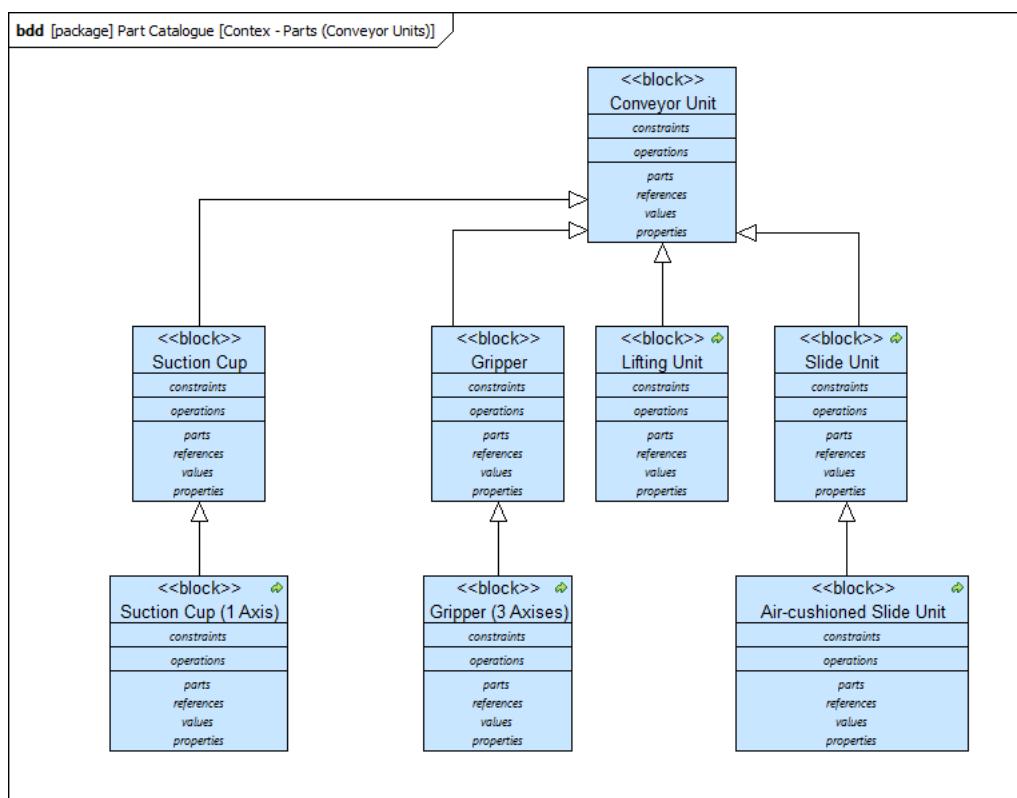
Κεφάλαιο A'



Σχήμα Α'.110: Τα πλεκτρικά ρελέ του μοντέλου Υλοποίησης

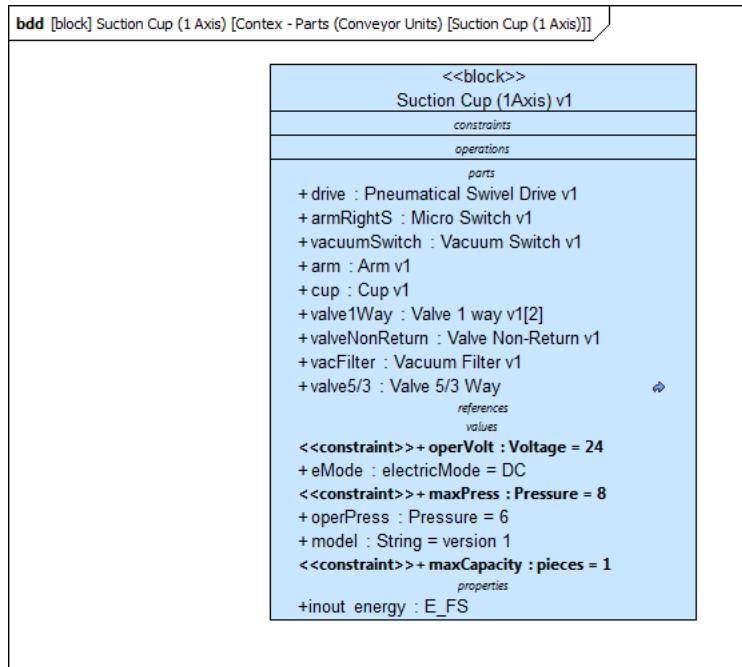


Σχήμα Α'.111: Οι ελεγκτές πλεκτρικών βαλβίδων του μοντέλου Υλοποίησης

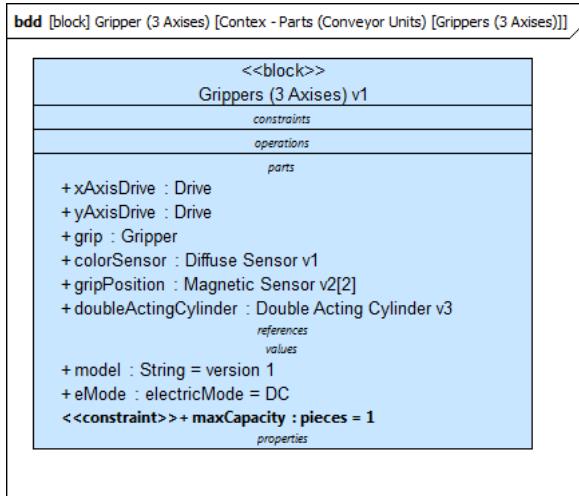


Σχήμα A.112: Η ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων μεταφοράς στο μοντέλο Υλοποίησης

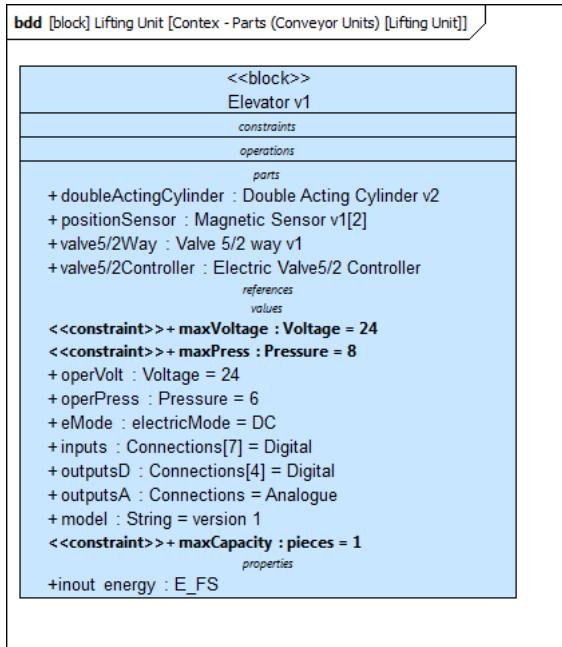
Κεφάλαιο A'



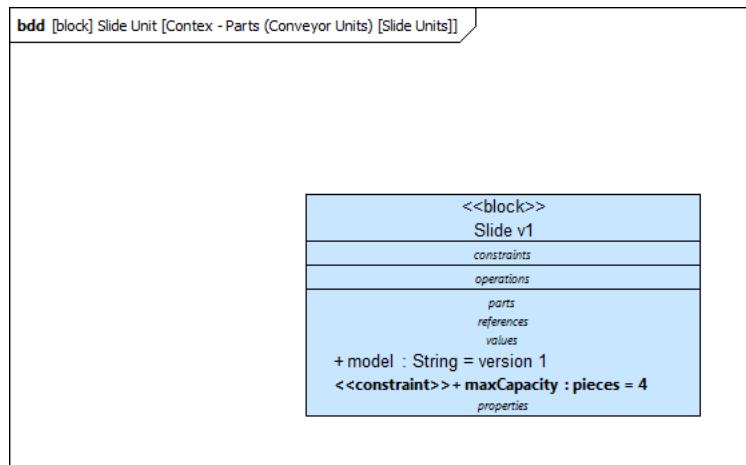
Σχήμα Α'.113: Οι μονάδες μεταφοράς με βεντούζα κενού του μοντέλου Υλοποίησης



Σχήμα Α'.114: Οι μονάδες μεταφοράς με δαγκάνα του μοντέλου Υλοποίησης

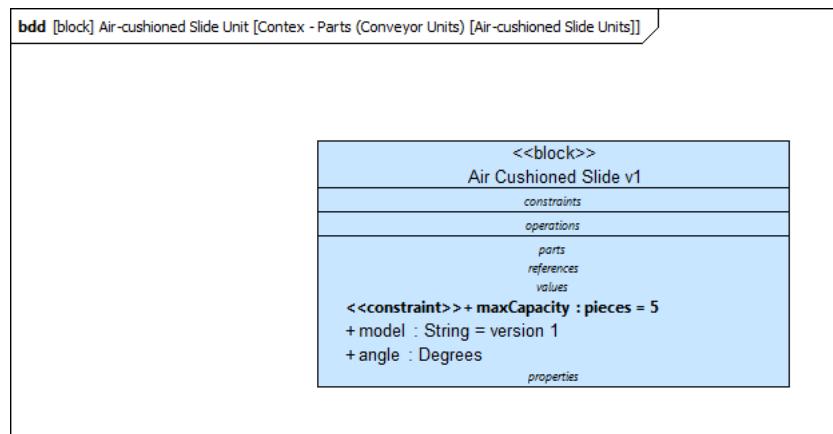


Σχήμα A'.115: Οι μονάδες ανύψωσης του μοντέλου Υλοποίησης

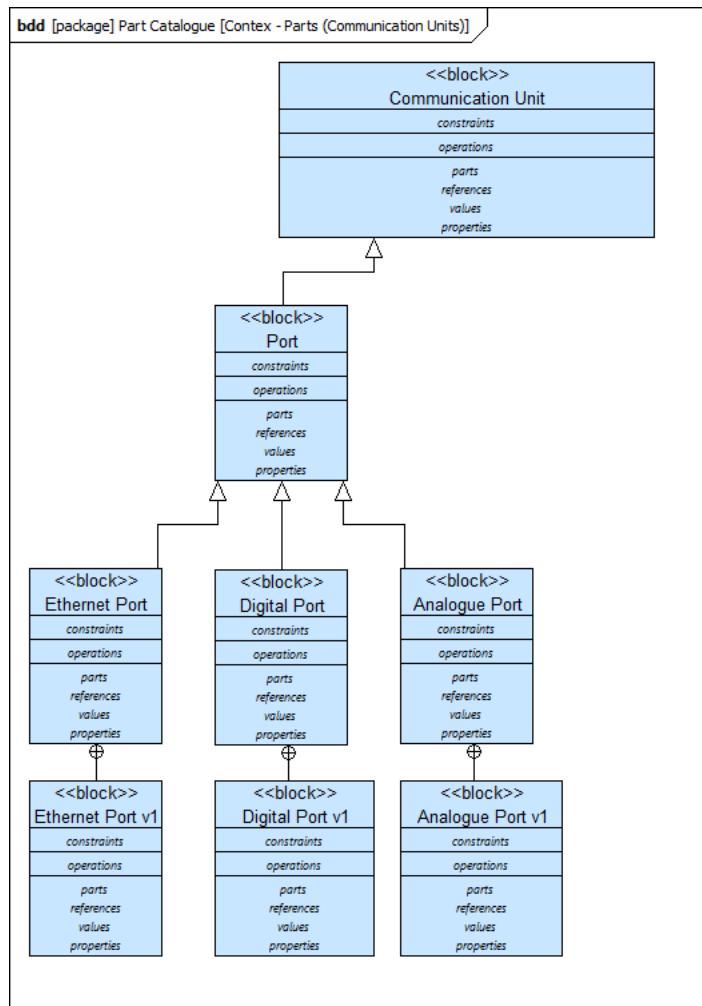


Σχήμα A'.116: Οι πλατφόρμες κύλισης του μοντέλου Υλοποίησης

Κεφάλαιο Α'

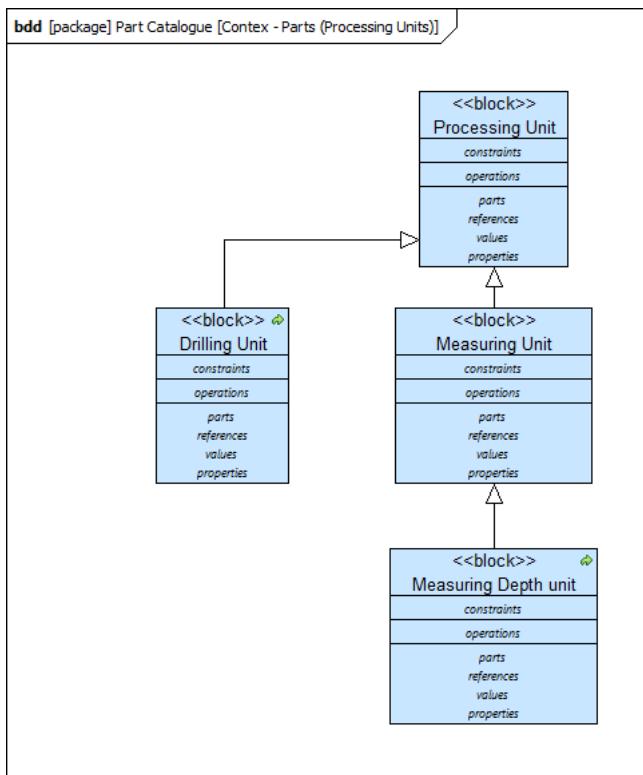


Σχήμα Α'.117: Οι πλατφόρμες κύλισης με εξομάλυνση αέρα του μοντέλου Υλοποίησης

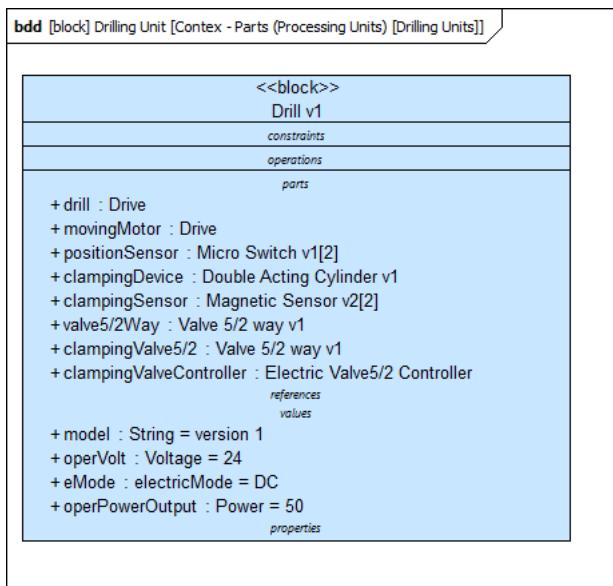


Σχήμα A.118: Οι συσκευές επικοινωνίας στο μοντέλο Υλοποίησης

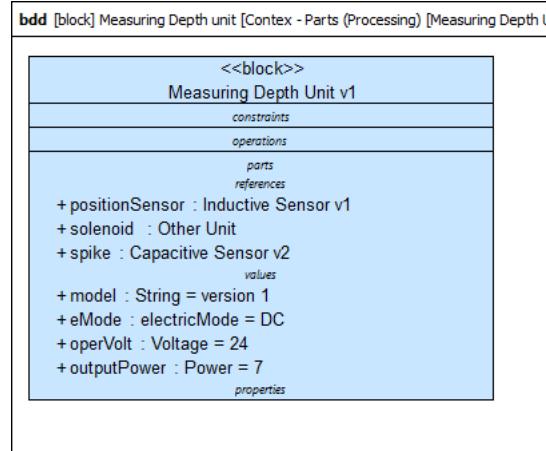
Κεφάλαιο A'



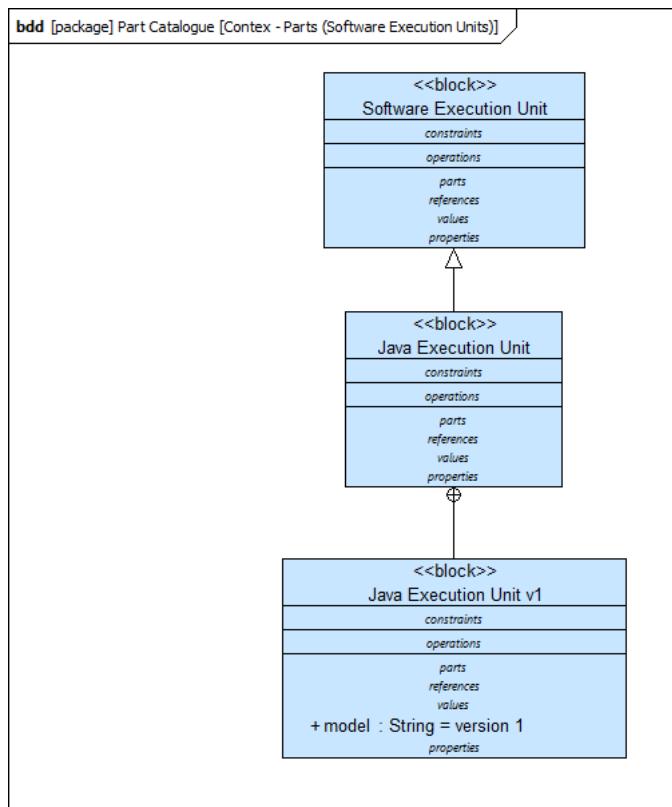
Σχήμα A'.119: Η ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων λειτουργίας στο μοντέλο Υλοποίησης



Σχήμα A'.120: Οι μονάδες διάτροπης του μοντέλου Υλοποίησης

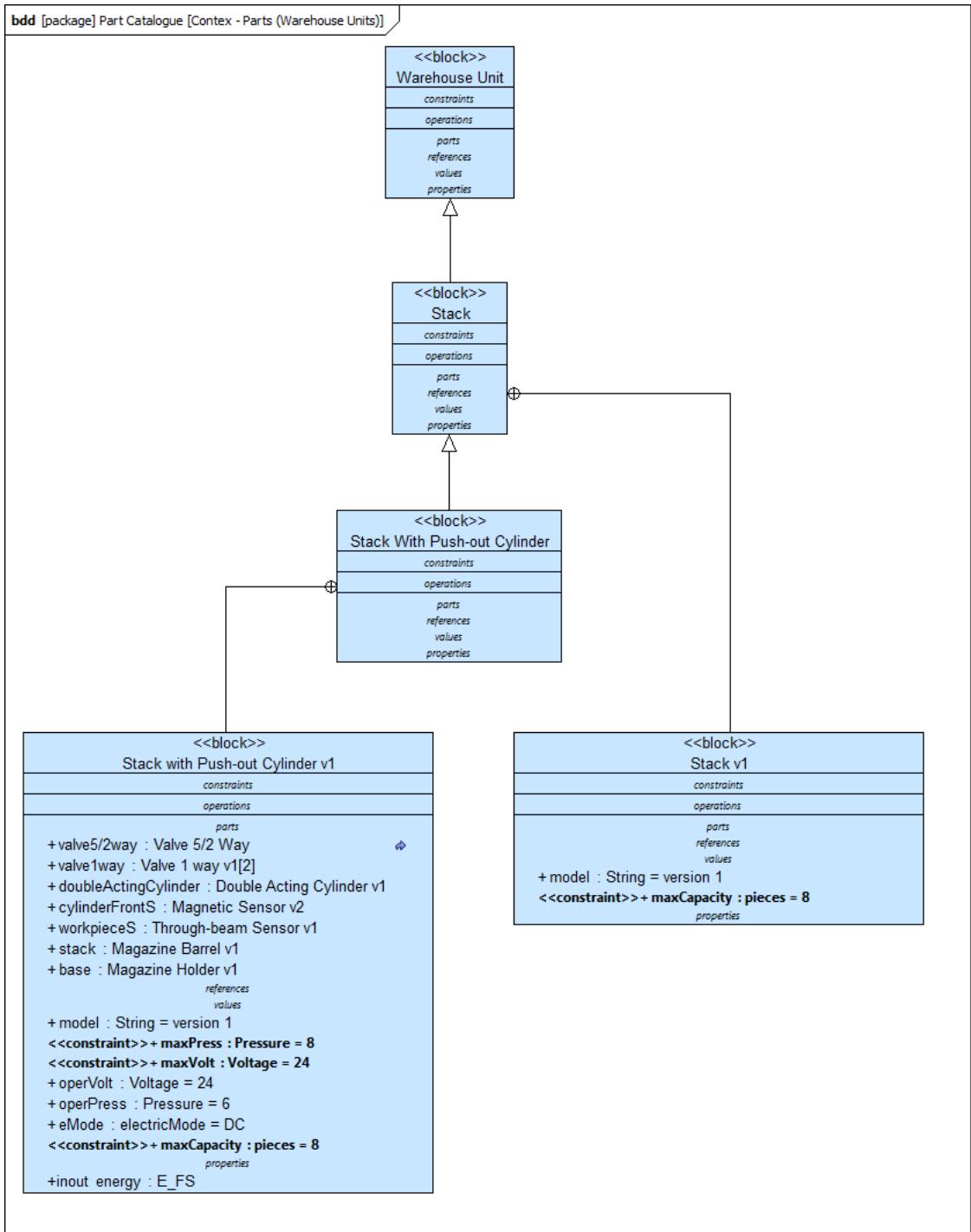


Σχήμα Α'.121: Οι μονάδες μέτρησης βάθους του μοντέλου Υλοποίησης

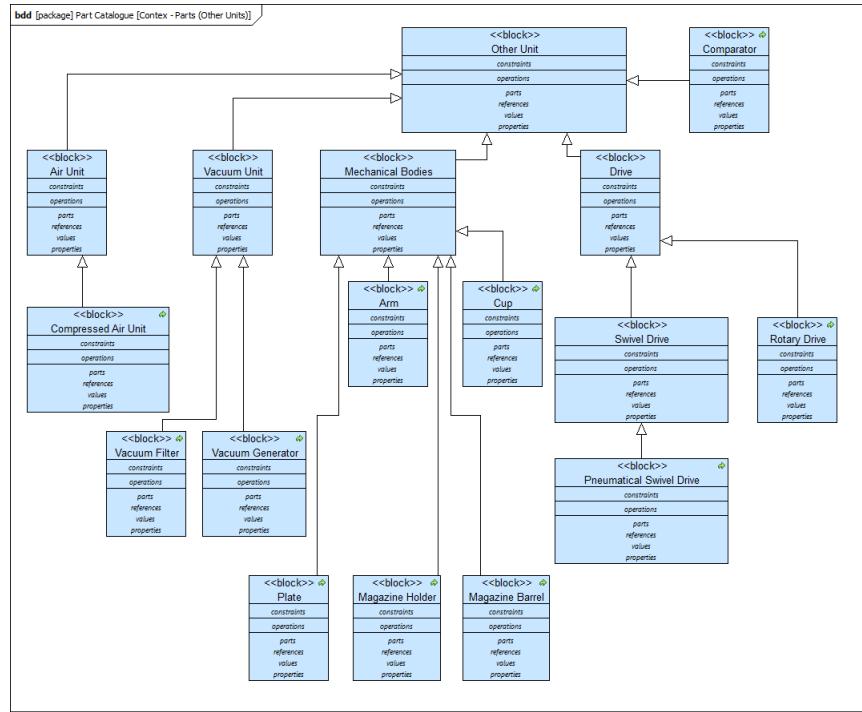


Σχήμα Α'.122: Η ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων λογισμικού στο μοντέλο Υλοποίησης

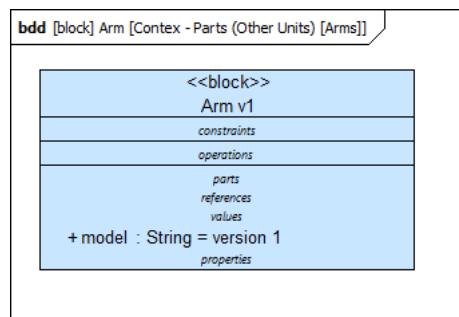
Κεφάλαιο Α'



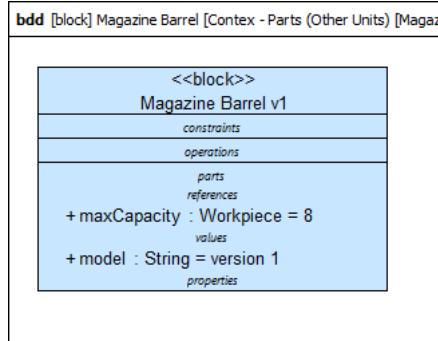
Σχήμα Α'.123: Η ιεραρχική διάρθρωση των μονάδων αποθήκευσης στο μοντέλο Υλοποίησης



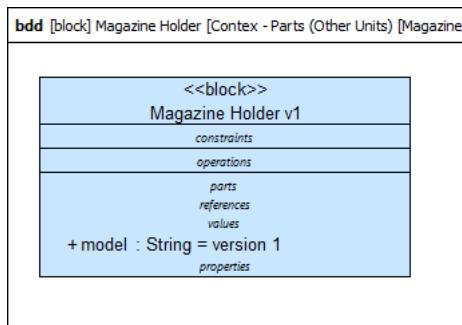
Σχήμα A'.124: Η ιεραρχική διάρθρωση των λοιπών μονάδων στο μοντέλο Υλοποίησης



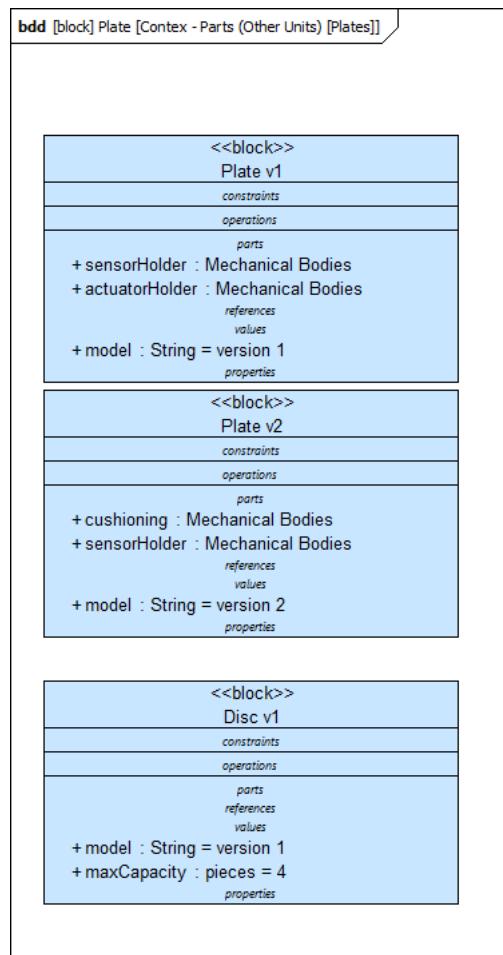
Σχήμα A'.125: Οι βραχίονες στο μοντέλο Υλοποίησης



Σχήμα A'.126: Οι στοιβες στο μοντέλο Υλοποίησης

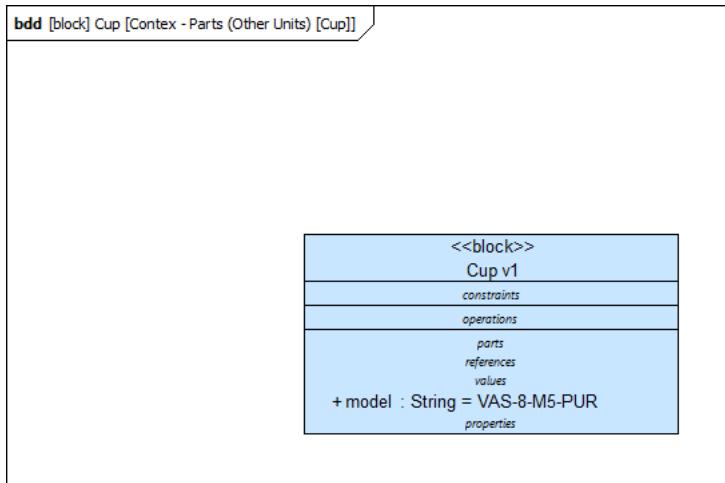


Σχήμα A'.127: Οι βάσεις στοιβών στο μοντέλο Υλοποίησης

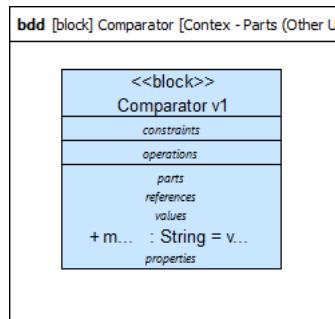


Σχήμα A'.128: Βάσεις στο μοντέλο Υλοποίησης

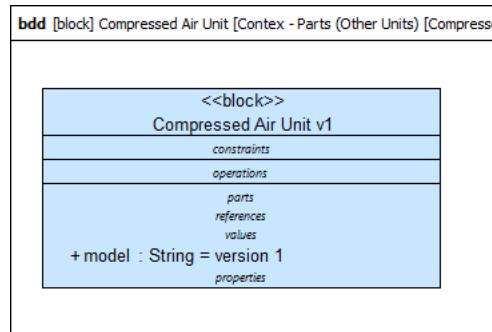
Κεφάλαιο A'



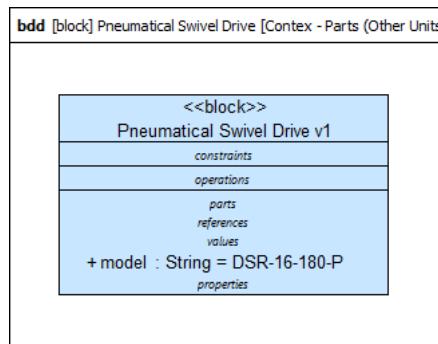
Σχήμα A'.129: Οι βεντούζες στο μοντέλο Υλοποίησης



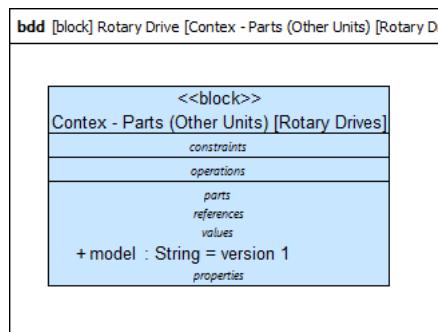
Σχήμα A'.130: Οι συγκριτές στο μοντέλο Υλοποίησης



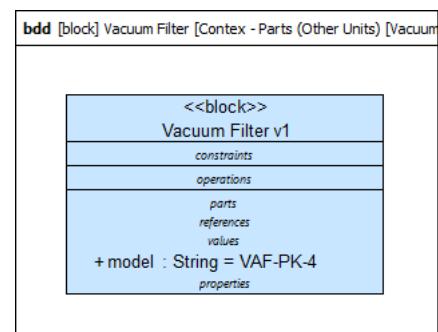
Σχήμα A'.131: Οι μονάδες πεπιεσμένου αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης



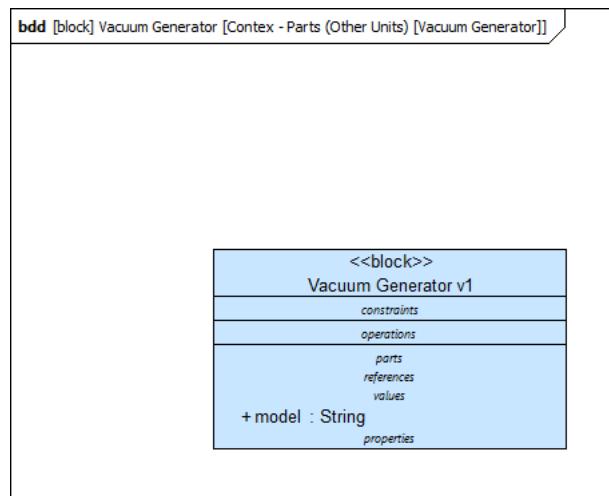
Σχήμα Α'.132: Οι κινητήρες πεπιεσμένου αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης



Σχήμα Α'.133: Οι ηλεκτρικοί κινητήρες στο μοντέλο Υλοποίησης



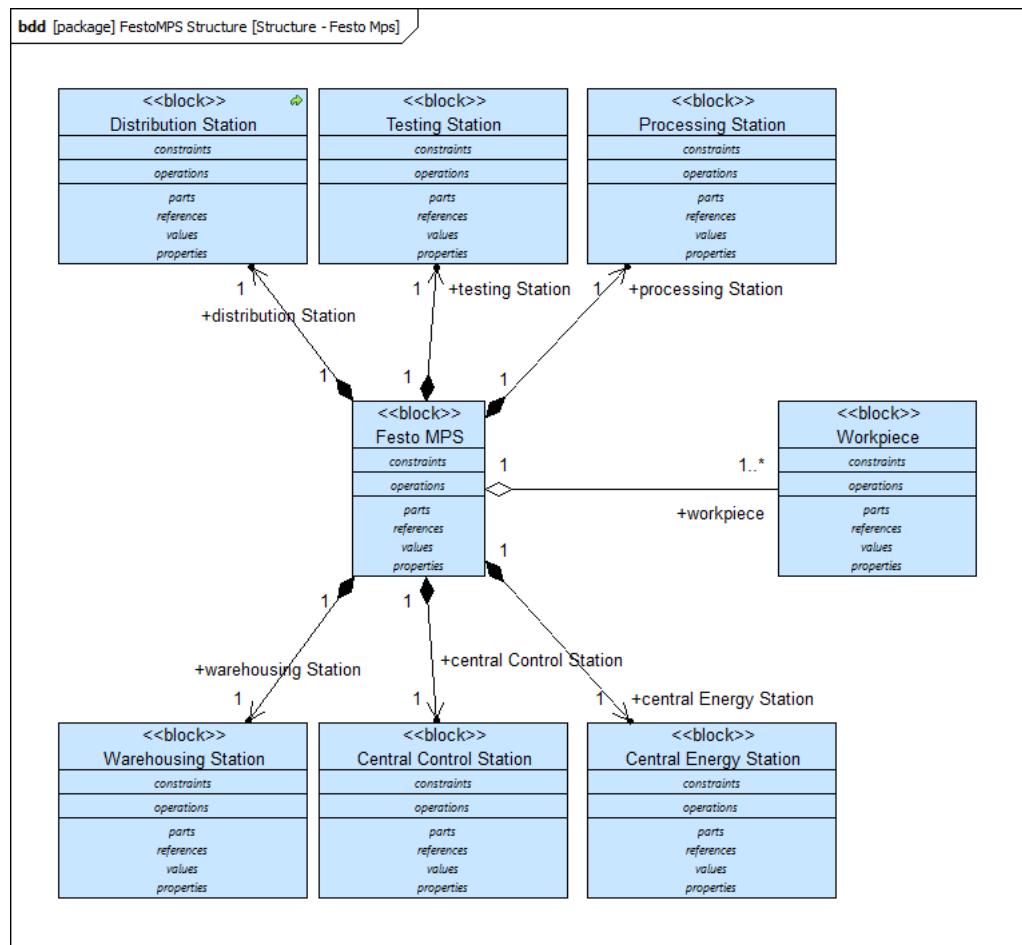
Σχήμα Α'.134: Τα φίλτρα αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης



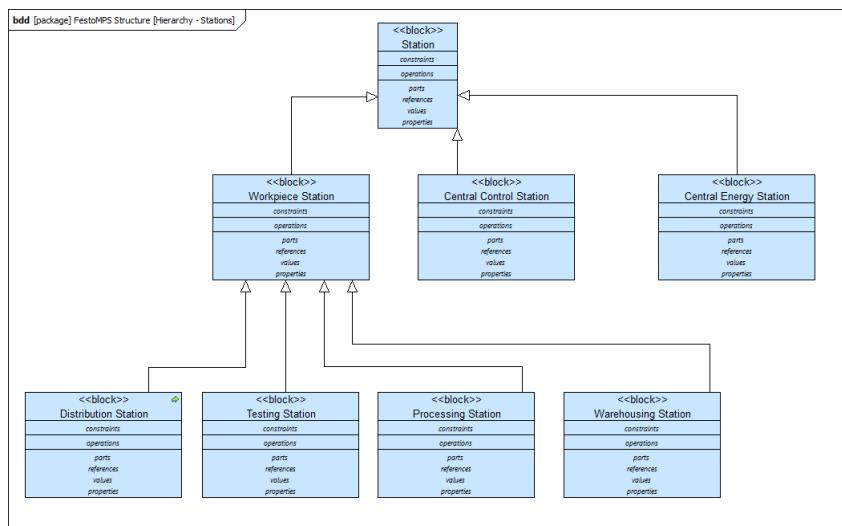
Σχήμα Α'.135: Οι γεννήτριες κενού στο μοντέλο Υλοποίησης

A'.3.2 Πακέτο απαιτήσεων - Requirements package

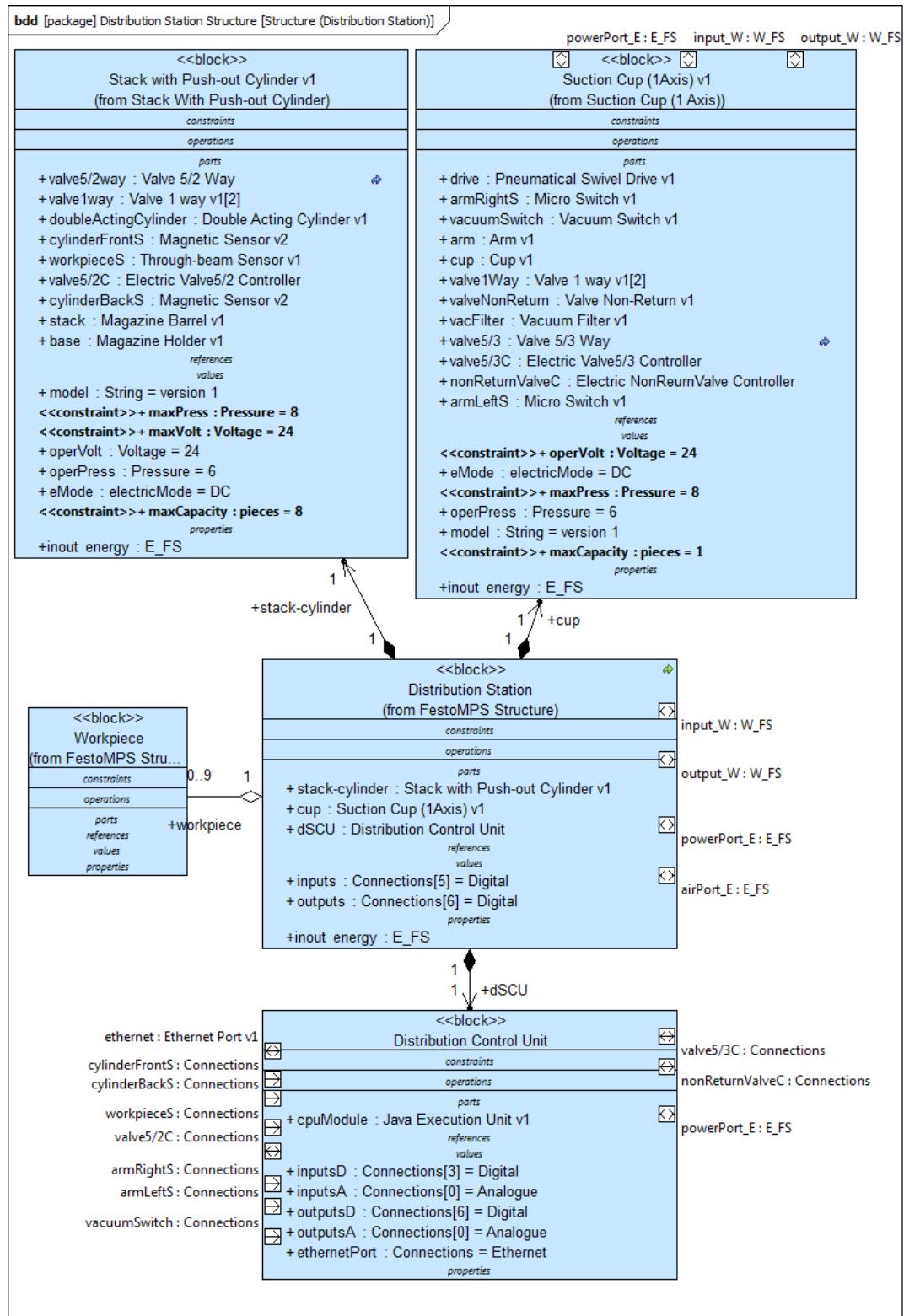
A'.3.3 Πακέτο δομής - Structure package



Σχήμα A'.136: Η δομή του Festo MPS στο μοντέλο Υλοποίησης

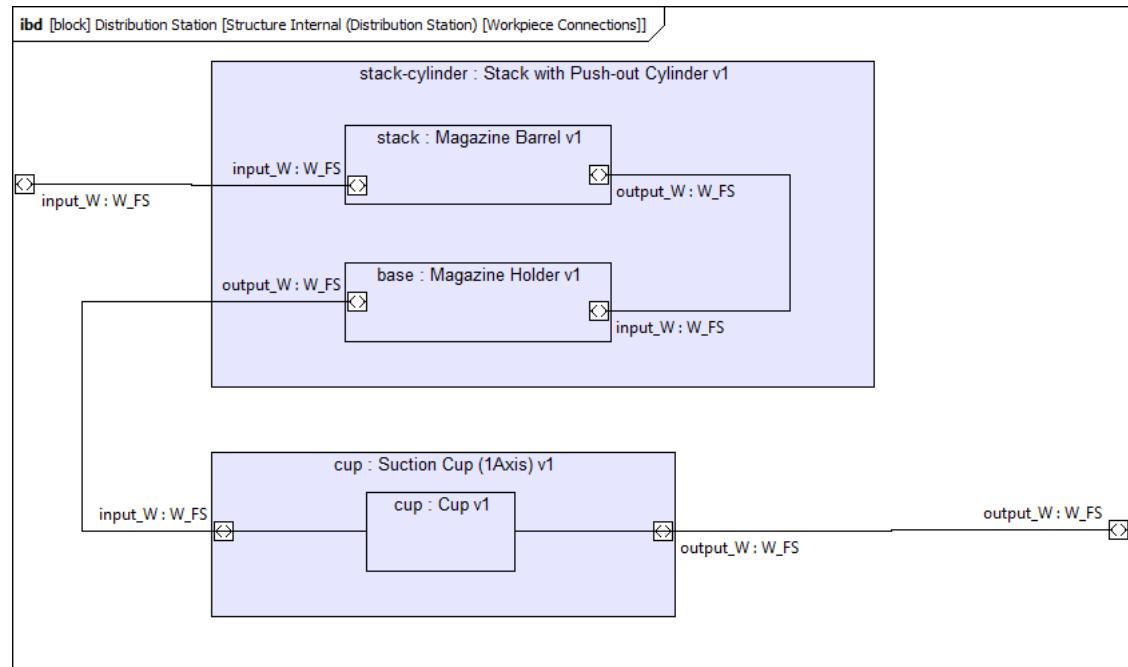


Σχήμα Α'.137: Η ιεραρχική διάρθρωση των σταθμών στο μοντέλο Υλοποίησης

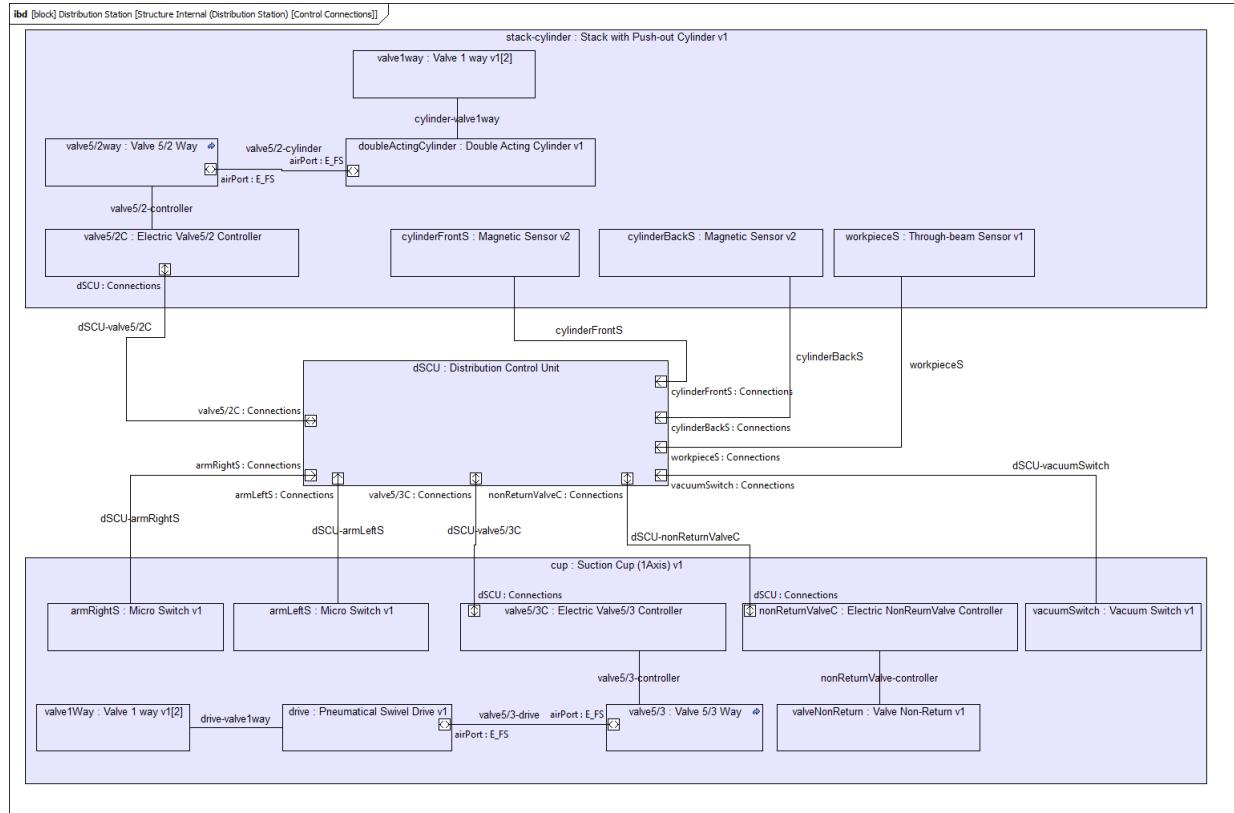


Σχήμα A'138: Η δομή του σταθμού διανομής στο μοντέλο Υλοποίησης
194

Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.139: Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τις πρώτες ύλες στο μοντέλο Υλοποίησης

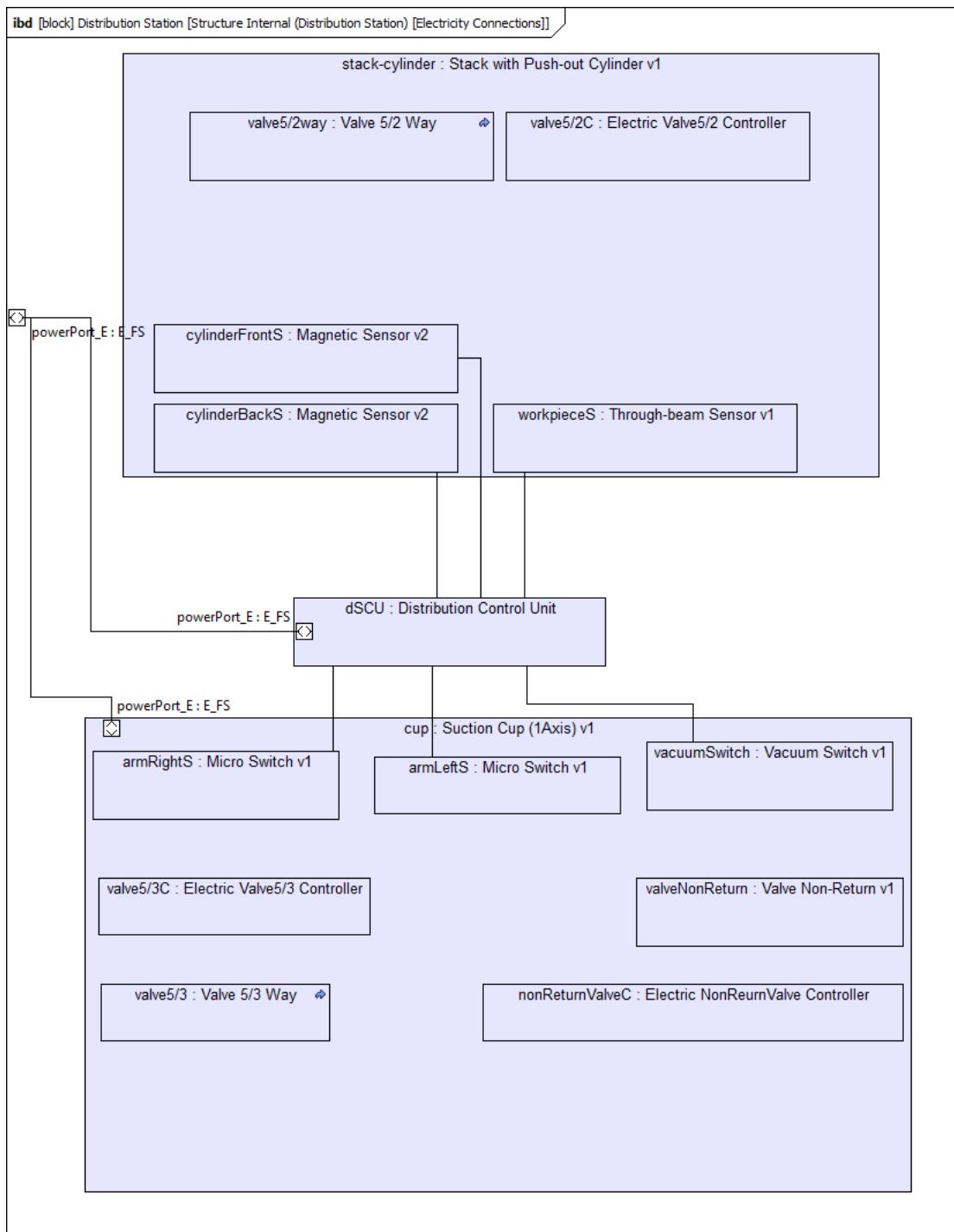


Σχήμα Α'.140: Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τον έλεγχο στο μοντέλο Υλοποίησης

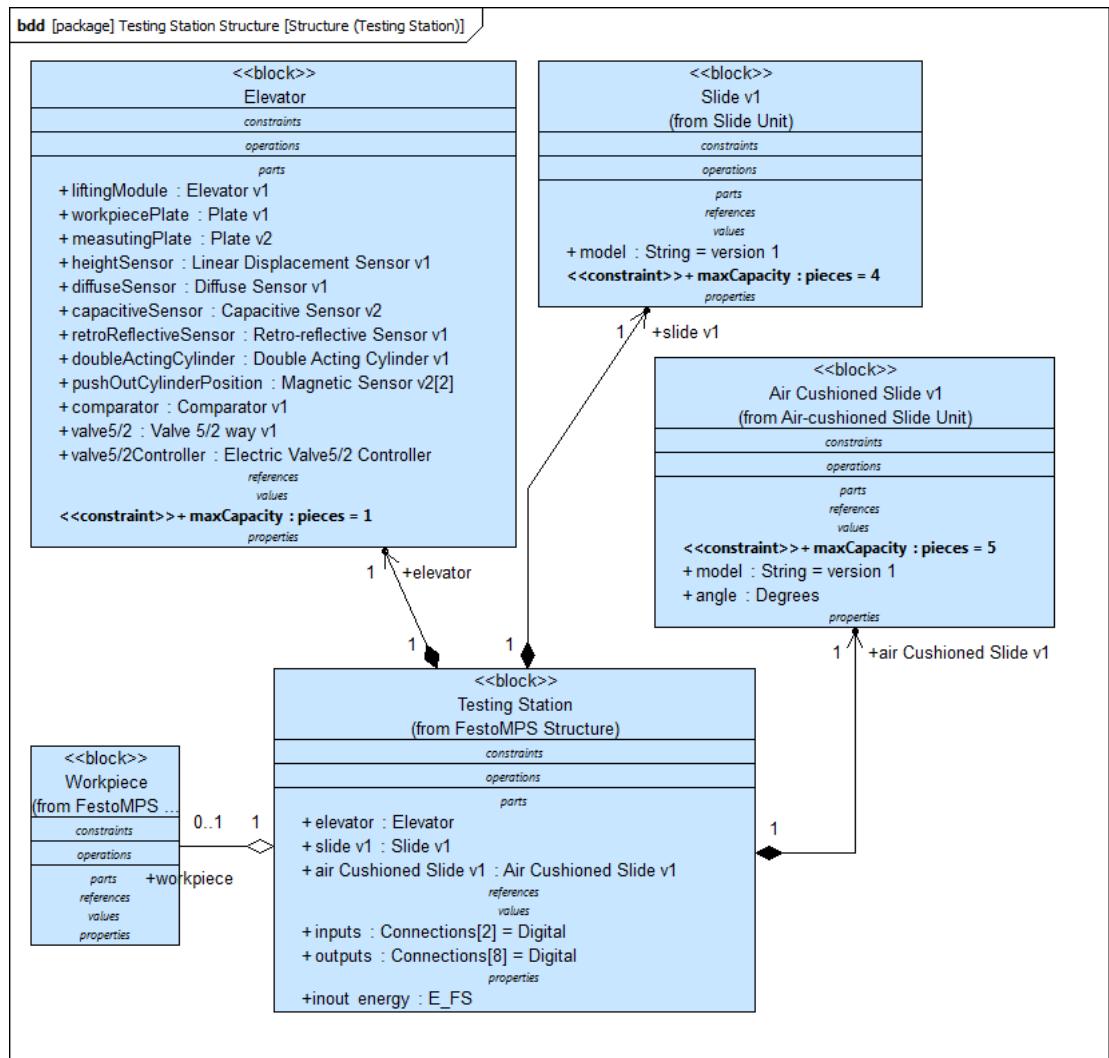


Σχήμα Α'.141: Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τη διανομή αέρα στο μοντέλο Υλοποίησης

Κεφάλαιο Α'

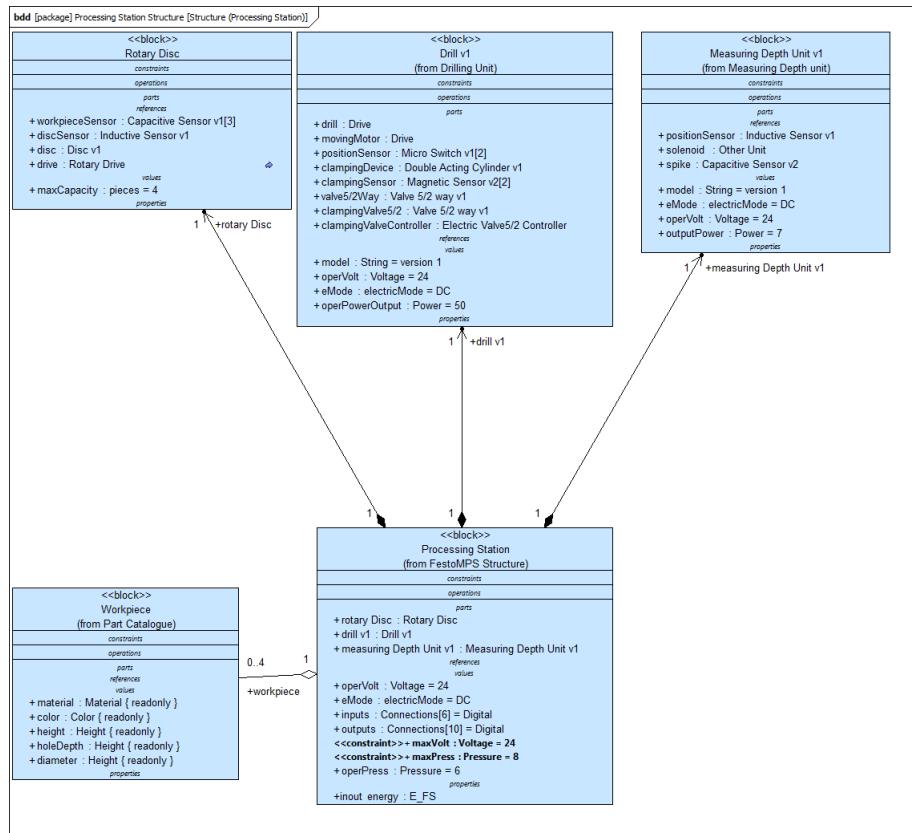


Σχήμα Α'.142: Η εσωτερική δομή του σταθμού διανομής αναφορικά με τη διανομή πλεκτρικής ενέργειας στο μοντέλο Υλοποίησης

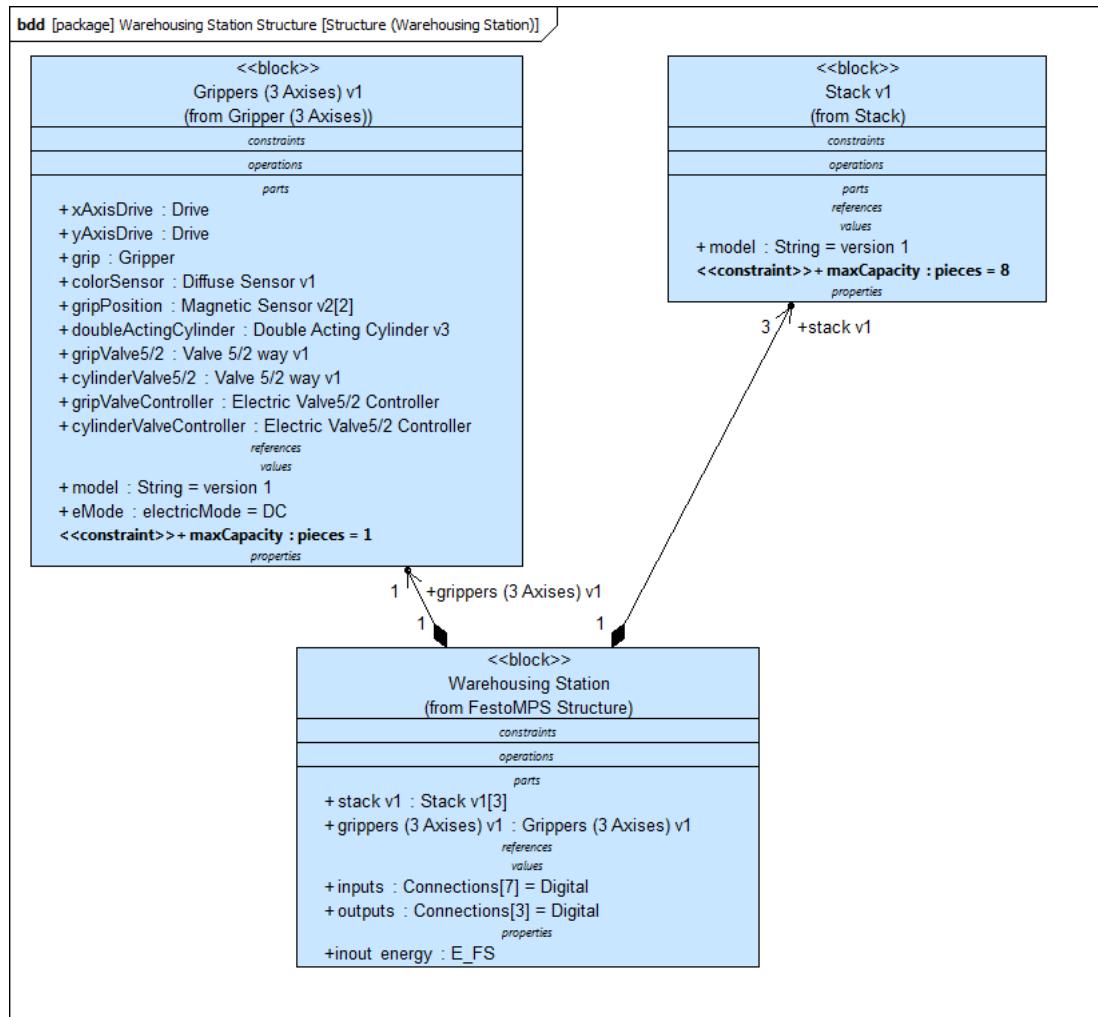


Σχήμα Α'143: Η δομή του σταθμού ελέγχου στο μοντέλο Υλοποίησης

Κεφάλαιο Α'



Σχήμα Α'.144: Η δομή του σταθμού επεξεργασίας στο μοντέλο Υλοποίησης



Σχήμα A'.145: Η δομή του σταθμού αποθήκευσης στο μοντέλο Υλοποίησης

A'.3.4 Πακέτο λειτουργίας - Behaviour package

A'.4 Εξομοιωτής Festo MPS®

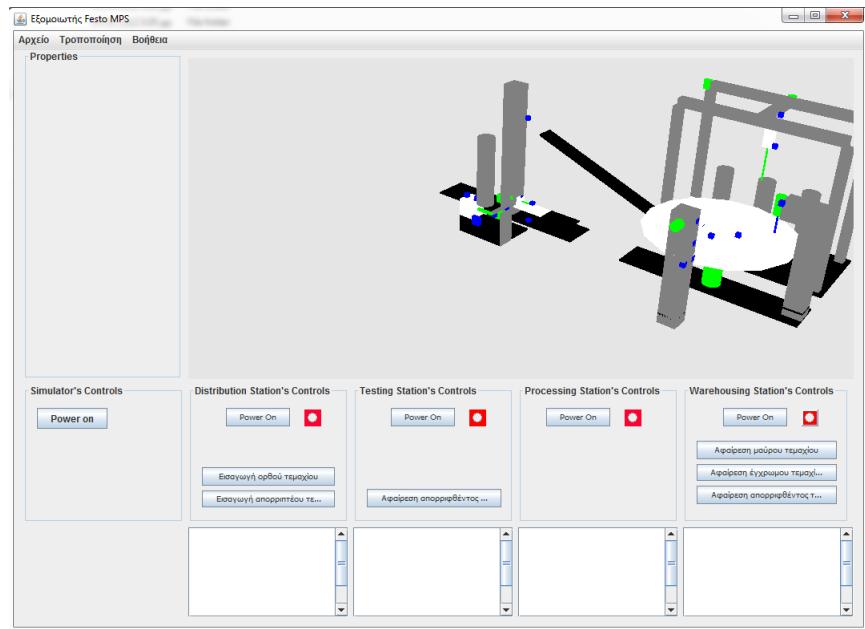
Κεφάλαιο 10

Ο εξομοιωτής αποτελείται από τρία τμήματα το καθένα από τα οποία είναι και πακέτο (package) στο java κώδικα του λογισμικού.

Simulator Το πακέτο αυτό περιέχει τη πρώτη κλάση του λογισμικού. Αναλαμβάνει την αρχικοποίηση των υποσυστημάτων, την ενεργοποίηση των νημάτων λειτουργίας και τέλος την κατασκευή και διαχείριση του γραφικού περιβάλλοντος.

FestoMPS Περιλαμβάνει τις κλάσεις που αναπαριστούν τις μονάδες και τα εξαρτήματα του πραγματικού συστήματος. Στις κλάσεις αυτές ενθυλακώνεται μόνο η λειτουργική συμπεριφορά των μονάδων. Δεν υλοποιείται καμία γραφική απεικόνιση αυτών.

FestoMPS3D Περιλαμβάνει όλες τις κλάσεις που αναπαριστούν τρισδιάστατα τις μονάδες και τα εξαρτήματα του πραγματικού συστήματος.



Σχήμα A.146: Η γραφική διεπαφή του εξομοιωτή

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- [1] *Μηχανισμός των Αντικυθήρων.* τελευταία προσπέλαση : 08-2012. URL: <http://www.antikythera-mechanism.gr/> (cit. on p. 18).
- [2] *Επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου.* τελευταία προσπέλαση : 08-2012. URL: http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CF%84%CE%AC_%CE%B8%CE%B1%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%85_%CE%BA%CF%8C%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%85 (cit. on p. 18).
- [3] Κλεάνθης Θραυπουλίδης. *Κεφάλαιο 5: Το φυσικό σύστημα.* τελευταία προσπέλαση : 08-2011. URL: <http://seg.ece.upatras.gr/Courses/SE/docs/FestoMPSDescription.pdf> (cit. on pp. 71, 74–76, 80, 82, 83, 88–91).
- [4] Αικατερίνη Αρετάκη. “Η UML στην ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων”. Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2009 (cit. on pp. 71, 76, 83, 90).

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- [5] Memiş Acar. “A Mechatronic Design of a Circular Warp Knitting Machine”. In: *Mechatronics in Action: Case Studies in Mechatronics : Applications and Education*. Ed. by David W. Russell. Springer, 2010, pp. 71–81. ISBN: 9781849960809 (cit. on p. 55).
- [6] *Adequeduct of Pont du Gard*. τελευταία προσπέλαση : 08-2012. URL: <http://www.pontdugard.fr/en> (cit. on p. 20).
- [7] National Aeronautics and Space Administration (NASA). *Systems Engineering Handbook. SP-2007-6105 Rev 1*. NASA, 12/2007 (cit. on p. 38).
- [8] *Anticythira Mechanism*. τελευταία προσπέλαση : 08-2012. URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:NAMA_Machine_d%27Anticyth%C3%A8re_1.jpg (cit. on p. 18).
- [9] Lucinda Backwell, Francesco d'Errico, and Lyn Wadley. “Middle Stone Age bone tools from the Howiesons Poort layers, Sibudu Cave, South Africa”. In: *Journal of Archaeological Science* 35.6 (2008). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440307002142> (cit. on p. 18).
- [10] Loyd Baker et al. *Foundational Concepts for Model Driven System Design*. paper. Model Driven System Design Working Group, INCOSE, 1996 (cit. on pp. 40, 47–49).
- [11] L. Balmelli et al. “Model-driven systems development”. In: *IBM Systems Journal* 45.3 (2006) (cit. on pp. 44, 50).
- [12] Michael Balter. “Clothes Make the (Hu) Man”. In: *Science* 325.5946 (2009). URL: <http://www.sciencemag.org/content/325/5946/1329.1.full> (cit. on p. 18).

- [13] Jens Bathelt et al. “Applying the New Design Guideline 2206 on Mecahtronic Systems Controlled by a PLC”. English. In: *International Conference on Engineering Design*. Melbourne, Australia, 2005 (cit. on p. 59).
- [14] Matthias Biehl. “Supporting model evolution in model-driven development of automotive embedded system”. KTH, Mechatronics, 2010 (cit. on p. 60).
- [15] Alexander Bogdanov. *Essays in tektology : the general science of organization*. Trans. from the German by George Gorelik. 2nd. The Systems inquiry series. Intersystems Publications, 1984 (cit. on p. 25).
- [16] P. Daniel Borches and G. Maarten Bonnema. “System Evolution Barriers and How to Overcome Them!” In: *8th Conference on Systems Engineering Research, CSER*. 2010. url: <http://doc.utwente.nl/77043/> (cit. on p. 64).
- [17] D.A. Bradley and D.W. Russell. *Mechatronics in Action: Case Studies in Mechatronics : Applications and Education*. Springer London, 2010. ISBN: 9781849960809 (cit. on pp. 55, 62).
- [18] D.M. Buede. *The Engineering Design of Systems: Models and Methods*. Wiley Series in Systems Engineering and Management. Wiley, 2011. ISBN: 9781118210376. url: <http://books.google.gr/books?id=4gHqQIaVncMC> (cit. on p. 23).
- [19] V. Bush and N. Wiener. *Operational circuit analysis*. J. Wiley & sons, inc., 1929. url: <http://books.google.gr/books?id=6hVHAAAAIAAJ> (cit. on p. 29).
- [20] J. Buur. “A theoretical approach to mechatronics design”. Lyungby: Institute of Engineering Design, 1990 (cit. on pp. 41, 53–55, 61, 62).
- [21] Chin-Yin Chen and Chi-Cheng Cheng. “Integrated design for a mechatronic feed drive system of machine tools”. In: *Advanced Intelligent Mechatronics. Proceedings, 2005 IEEE/ASME International Conference on*. 2005, pp. 588–593. doi: 10.1109/AIM.2005.1511046 (cit. on pp. 53, 59).
- [22] Festo Didactic GmbH & Co. *Changer module Manual 527435*. manual. url: <http://www.festo-didactic.com/int-en/services/printed-media/data-sheets/mps-mechatronics/changer-module-manual-527435.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4zMj4xMDkzLjU2MjQ> (cit. on p. 73).

- [23] Festo Didactic GmbH & Co. *Distribution Station Manual 648811.* manual. URL: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/courseware/mechatronic-learning-systems/training-documentation/training-documentation-mps-distribution-station.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4x0C41MjYuNDQ1NQ> (cit. on pp. 71, 75).
- [24] Festo Didactic GmbH & Co. *Handling Station Manual 655633.* manual. URL: http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/stations/handling-station_pneumatic-all-round-with-pneumatic-linear-drive.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4x0C42MDYuMzk0Ng (cit. on pp. 90–92).
- [25] Festo Didactic GmbH & Co. *Overview of MPS®Stations.* technical paper. URL: <http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/00429303001075223804.pdf> (cit. on pp. 72, 77, 87, 91).
- [26] Festo Didactic GmbH & Co. *Processing Station Manual 648813.* manual. URL: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/stations/processing-station-purely-electrical.htm> (cit. on pp. 83, 85, 87–89).
- [27] Festo Didactic GmbH & Co. *Stack magazine module Manual 527434.* manual. URL: <http://www.festo-didactic.com/int-en/services/printed-media/data-sheets/mps-mechtronics/stack-magazine-module-manual-527434.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4zMi4xMDkzLjU2MjM> (cit. on p. 72).
- [28] Festo Didactic GmbH & Co. *Testing Station Manual 648812.* manual. URL: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/stations/focus-on-sensors-testing-station.htm> (cit. on pp. 76, 79, 81–83).
- [29] P. Coste et al. “Multilanguage Design of Heterogeneous Systems”. In: *Proceedings of the Seventh International Workshop on Hardware/Software Codesign.* CODES'99. Ed. by IEEE. Rome, Italy, 1999, pp. 54–58 (cit. on p. 39).
- [30] Charles Darwin. *On the origin of species by means of natural selection: Or, the preservation of favored races in the struggle for life.* 1st ed. John Murray, 1859 (cit. on p. 22).
- [31] N.Y.) Deloitte Research (New York. *Mastering Innovation: Exploiting Ideas for Profitable Growth.* Deloitte, 2005. URL: <http://books.google.gr/books?id=jHpHygAACAAJ> (cit. on p. 55).

- [32] Rene Descartes. *Λόγος περὶ τῆς μεθόδου : για την καλή καθοδίγηση του λογικού μας και την αναζήτηση της αλίθειας στις επιστήμες*. Greek. Trans. from the French by Χρ. Χροστίδης. 2n éκδ. αναθ. Παπαζήσης, 1976 (cit. on p. 21).
- [33] Rene Descartes. *Discourse on Method*, 1637. Booksurge Llc, 2006. ISBN: 9781425009205. URL: http://books.google.gr/books?id=XnX3xsR_cvcC (cit. on p. 21).
- [34] Sanford Friedenthal, Alan Moore, and Rick Steiner. *A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language*. Elsevier Inc., 08/07/2008. ISBN: 978-0123743794 (cit. on p. 66).
- [35] Ragnar Frisch. “Editor’s Note”. In: *Econometrica* 1.1 (1933), pp. 1–4. ISSN: 00129682. URL: <http://www.jstor.org/stable/1912224> (cit. on p. 32).
- [36] Arran Gare. “Aleksandr Bogdanov and Systems Theory”. In: *Democracy & Nature* 6.3 (2000), pp. 341–359. DOI: 10.1080/10855660020020230. eprint: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10855660020020230>. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10855660020020230> (cit. on p. 26).
- [37] Geia. *EIA-632*. Standard. Geia, A Sector of the Electronic Industries Alliance, 1999 (cit. on p. 38).
- [38] J.E. Gibson, W.T. Scherer, and W.F. Gibson. *How to Do Systems Analysis*. Wiley Series in Systems Engineering and Management. Wiley, 2007. ISBN: 9780470130582. URL: <http://books.google.gr/books?id=QAVgtzXbiDgC> (cit. on pp. 23, 36, 37).
- [39] Aberdeen Group. “The Mechatronics System Design Benchmark Report - Coordinating Engineering Disciplines”. In: (2006). URL: http://m.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/aberdeen_-_the_mechatronics_system_design_benchmark_report_06-08-31_tcm1224-4642.pdf (cit. on p. 55).
- [40] Matthias Güdemann et al. “SysML in Digital Engineering”. In: *Proceedings of the First International Workshop on Digital Engineering*. IWDE ’10. 2010, pp. 1–8. ISBN: 978-1-60558-992-3 (cit. on p. 99).
- [41] Trygve Haavelmo. “The Probability Approach in Econometrics”. In: *Econometrica* 12 (1944), pp. iii–vi+1–115. ISSN: 00129682. URL: <http://www.jstor.org/stable/1906935> (cit. on p. 32).
- [42] J. S. Haldane. “Life and Mechanism”. In: *Mind* 9.33 (1884), pp. 27–47. ISSN: 00264423. URL: <http://www.jstor.org/stable/2246789> (cit. on p. 26).

- [43] “Henry George Liddell, Robert Scott, A Greek-English Lexicon”. In: (2012). URL: <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/> (cit. on p. 19).
- [44] Martin Hirsch and Marco Helwig. *FESTO - Modular Production System*. lastly accessed : 08-2011. 2005. URL: <http://www.ece.auckland.ac.nz/~vyatkin/halle/index.htm> (cit. on p. 69).
- [45] Thomas Parke Hughes. *Rescuing Prometheus*. English. 1st ed. Pantheon Books, New York, 1998, 372 p. ISBN: 0679411518 (cit. on p. 38).
- [46] Incose. *Systems Engineering Handbook v.3. A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. 2006 (cit. on p. 39).
- [47] Hofman J.B. *Etymologisches Wörterbuch des Griechischen*. Greek. Trans. from the German by Παπανικολάου Αυτώνιος. McGraw-Hill, 1950 (cit. on p. 19).
- [48] Hofman J.B. “OriginAndEvolutionOfSystemsEngineering”. In: *Systems Engineering Handbook*. Incose, 2000 (cit. on pp. 20, 23).
- [49] Reuven Katz. “Design principles of reconfigurable machines”. English. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 34.5-6 (2007), pp. 430–439. ISSN: 0268-3768. doi: 10.1007/s00170-006-0615-2 (cit. on p. 63).
- [50] Jens Larsen, Thomas Muth, and Dominikus Herzberg. *A fresh view on model-based systems engineering: The processing system paradigm*. AB Vascaia, Ericsson Eurolab Deutschland GmbH, and Ericsson Research Canada (cit. on p. 100).
- [51] Jr. Loyd Baker. *Lessons Learned Applying Model-Based System Engineering Methods to a Strategic Planning Activity*. Vitech Corporation, Huntsville, Alabama (cit. on p. 51).
- [52] Ren C. Luoa and Chin F. Linb. “A review of mechatronics and bio-inspired mechatronics system”. English. In: *Journal of Biomechatronics Engineering* 1.1 (2008), pp. 1–36 (cit. on pp. 56–58).
- [53] S. Marks. *Before "the White Man was Master and All White Men's Values Prevailed"? Jan Smuts, Race and the South African War ; [lecture Given on the Invitation of the Institute of Economic and Social History and the Institute of Africanistic Studies, Both at University of Vienna, and the Southern Africa Documentation and Cooperation Centre (SADOCC) on 24th October 2000 in Vienna]*. Studien zum südlichen Afrika / Studien zum südlichen Afrika.

- Southern Africa Documentation and Cooperation Centre (SADOCC), 2000. ISBN: 9783901446061. URL: <http://www.sadocc.at/publ/marks.pdf> (cit. on p. 27).
- [54] R. Mattessich. *Instrumental Reasoning and Systems Methodology: An Epistemology of the Applied and Social Sciences*. Theory and Decision Library. D. Reidel Publishing Company, 1978. ISBN: 9789027710819. URL: <http://books.google.gr/books?id=hFylPwAACAAJ> (cit. on p. 25).
- [55] David A. Mindell. *Bodies, ideas and dynamics : Historical Perspectives on Systems Thinking in Engineering*. internal symposium. Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division, 2002 (cit. on pp. 23, 29).
- [56] G. E. Mogyorodi. “What Is Requirements-Based Testing?” In: *Crosstalk, The Journal of Defense Software Engineering* 16.3 (03–2003) (cit. on p. 44).
- [57] Ernest Nagel. “Mechanistic Explanation and Organismic Biology”. In: *Philosophy and Phenomenological Research* 11.3 (1951), pp. 327–338. ISSN: 00318205. URL: <http://www.jstor.org/stable/2103537> (cit. on p. 28).
- [58] David W. Oliver, Timothy P. Kelliher, and James G. Keegan. *Engineering Complex Systems with Models and Objects*. McGraw-Hill, 1997 (cit. on p. 38).
- [59] “Online Etymology Dictionary”. In: (2012). URL: <http://dictionary.reference.com/> (cit. on pp. 19, 21).
- [60] G. Pahl, W. Beitz, and K. Wallace. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer, 1996. ISBN: 9783540199175. URL: <http://books.google.gr/books?id=8fuhesYeJmkC> (cit. on pp. 23, 30, 37).
- [61] Russell S. Peak et al. “Simulation-Based Design Using SysML Part 1- A Parametrics Primer”. In: INCOSE Intl. Symposium, San Diego. INCOSE, 2007 (cit. on p. 100).
- [62] Russell S. Peak et al. “Simulation-Based Design Using SysML Part 2- Celebrating Diversity by Example”. In: INCOSE Intl. Symposium, San Diego. INCOSE, 2007 (cit. on p. 100).
- [63] D.C. Phillips. “Systems Theory – A Discredited Philosophy”. In: *Abacus* 5.1 (1969), pp. 3–15. doi: 10.1111/j.1467-6281.1969.tb00157.x (cit. on pp. 25, 26).

- [64] Mauro Prevostini and Elena Zamsa. *SysML Profile for SoC Design and SystemC Transformation*. Faculty of Informatics, University of Lugano, 05/11/2007 (cit. on p. 100).
- [65] A. Qamar, C. During, and J. Wikander. “Designing mechatronic systems, a model-based perspective, an attempt to achieve SysML-Matlab/Simulink model integration”. In: *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. AIM 2009. Ed. by IEEE. Singapore, 07/14/2009, pp. 1306–1311. ISBN: 978-1-4244-2852-6 (cit. on p. 45).
- [66] Ahsan Qamar. “An Integrated Approach towards Model-Based Mechatronic Design”. masterthesis. Stockholm, Sweden: Division of Mechatronics, Department of Machine Design, KTH-Royal Institute of Technology, 2011 (cit. on pp. 45, 57, 60, 65).
- [67] Gautam Sachdeva, Rainer Dömer, and Pai Chou. *System Modeling : A Case Study on a Wireless Sensor Network*. Technical Report. CECS-TR-05-12. Center for Embedded Computer System, University of California, Irvine USA, 06/15/2005 (cit. on pp. 40, 47).
- [68] Derek Seward. “Mechatronics and the Motor Car”. In: *Mechatronics in Action: Case Studies in Mechatronics : Applications and Education*. Ed. by David W. Russell. Springer, 2010, pp. 83–103. ISBN: 9781849960809 (cit. on p. 55).
- [69] Lars Skyttner. *General Systems Theory. Problems, Perspectives, Practice*. 2nd. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005. URL: <http://books.google.gr/books?id=tG6QKNgYs9sC> (cit. on pp. 21–23).
- [70] Jan Christiaan Smuts. *Holism and Evolution*. Macmillan and Co., 1926 (cit. on p. 27).
- [71] Sytse Stribbos. “Systems thinking”. In: *Oxford Handbook of Interdisciplinarity*. Ed. by Robert Frodeman, Julie Thompson Klein, and Carl Mitcham. Oxford University Press, 2010, pp. 457–460 (cit. on pp. 23, 27, 35).
- [72] F.W. Taylor. *The Principles Of Scientific Management*. Kessinger Publishing, 2004. ISBN: 9781419178849. URL: <http://books.google.gr/books?id=5lwuQxr2-jYC> (cit. on p. 31).
- [73] Nadia A. Tepper. “Exploring the use of Model-Based Systems Engineering (MBSE) to develop Systems Architectures in Naval Ship Design”. masterthesis. Department of Mechanical Engineering, MIT, 2010 (cit. on pp. 40, 45, 46).

- [74] K. Thramboulidis and A. Buda. “3+1 SysML view model for IEC61499 Function Block control systems”. In: *Industrial Informatics (INDIN), 2010 8th IEEE International Conference on*. 2010, pp. 175 –180. doi: 10.1109/INDIN.2010.5549440 (cit. on p. 43).
- [75] Kleanthis Thramboulidis. “Challenges in the development of Mechatronic systems: The Mechatronic Component”. In: *Proceedings of 13th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2008, September 15-18, 2008, Hamburg, Germany*. IEEE, 2008, pp. 624–631. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ETFA.2008.4638462> (cit. on pp. 39, 42).
- [76] Kleanthis Thramboulidis. “Model-Integrated Mechatronics – Toward a New Paradigm in the Development of Manufacturing Systems”. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 1 (2005), pp. 54–61 (cit. on p. 42).
- [77] Kleanthis Thramboulidis. “The 3+1 SysML View-Model in Model Integrated Mechatronics”. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (2010), pp. 109–118 (cit. on p. 42).
- [78] Kleanthis Thramboulidis and Sven Scholz. “Integrating the 3+1 SysML view model with safety engineering”. In: *ETFA*. 2010, pp. 1–8 (cit. on p. 43).
- [79] E. Tjerve. *A Short course in industrial design*. Newnes-Butterworths, 1979. ISBN: 9780408003889 (cit. on p. 54).
- [80] Ludwig Von Bertalanffy. *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. 3rd. George Braziller, Inc, 1972 (cit. on pp. 23, 27, 28).
- [81] Ludwig Von Bertalanffy. “The History and Status of General Systems Theory”. In: *The Academy of Management Journal* 15.4 (1972) (cit. on pp. 23, 25, 27, 28).
- [82] Alfred Russel Wallace. “On the Law which has regulated the Introduction of New Species”. In: *Annals and Magazine of Natural History* 2nd ser. v.16 (1855), pp. 184–196 (cit. on p. 22).
- [83] Yan Xiu-Tian and Zante Rémi. “A Mechatronic Design Process and Its Application”. In: *Mechatronics in Action: Case Studies in Mechatronics : Applications and Education*. Springer London, 2010, pp. 55–70. ISBN: 9781849960809 (cit. on pp. 51, 62).

- [84] Fatemeh Zarvani. “System Modelling for Spacecraft On-Board Computers. Master of Science Thesis in the Programme Networks and Distributed Systems”. masterthesis. Göteborg, Sweden: Department of Computer Science and Engineering, Chalmes University of Technology, 2010 (cit. on pp. 50, 98, 99).

Γλωσσάρι

Model Driven System Design Σχεδιασμός συστημάτων βασιζόμενος στην χρήση μοντέλων. 47, 217

Systems Modeling Language Γλώσσα μοντελοποίησης συστημάτων. v, 13, 217

Διαγραμματική μοντελοποίηση συστημάτων Αποτελεί την καινούρια τεχνική για τη σύλληψη, σχεδιασμό, υλοποίηση και επαλήθευση συστημάτων. Χρησιμοποιεί διαγράμματα για να περιγράψει τη δομή του συστήματος, τις διαφορετικές καταστασεις στις οποίες εισέρχεται, την εξέλιξη του στο χρόνο καθώς και την αλλεπίδρασή του με το περιβάλλον του. v, 13

Μηχανικός συστημάτων Νέα έννοια που οποία δηλώνει τον ειδικευμένο μηχανικό στη θεωρία συστημάτων. 71

εμπειρισμός Ονομάζεται η θεωρία που υποστηρίζει πως η πηγή και τα συστατικά της ανθρώπινης γνώσης προέρχονται από την εμπειρία που αποκτάται μέσω των αισθήσεων. Αυτές μπορεί να είναι είτε οι πέντε (5) παραδοσιακές αισθήσεις (ακοή, όραση, αφή, οσμή, γεύση) ή εσωτερικές αισθήσεις όπως ο πόνος και η ευχαρίστηση.. 22

ορθολογισμός Είναι η συνολική φιλοσοφική κατεύθυνση που αποδέχεται ως γνώμονα και αφετηρία της γνώσεως τη λογική σκέψη. Από την περίοδο του Διαφωτισμού ο ορθολογισμός συνδέεται συνήθως με την εισαγωγή των μαθηματικών μεθόδων στη φιλοσοφία, αρχικά με το έργο των Ντεκάρτ, Λάμπτιντς και Σπινόζα.. 21

Συντομογραφίες

EIA Electronic Industries Alliance. 38

INCOSE International Council on Systems Engineering. 20, 38

Mdsd Model Driven System Design. βλπ γλωσσάρι. 47

MIT Massachusetts Institute of Technology. 29

NASA National Aeronautics and Space Administration. 38

SysML Systems Modeling Language. βλπ γλωσσάρι. 71

Ε.Σ.Σ.Δ. Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατιών. 33

Η.Π.Α. Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. 33

Λεξικό αγγλικών όρων

organismic οργανισμικός. 28

reciprocity αμοιβαιότητα. Επιπλέον σύμφωνα με το thefreedictionary.com η λέξη ερμηνεύεται ως "a mutual exchange of commercial or other privileges". 26

έμβολο εκτίναξης ejecting cylinder. 78

έμβολο πεπιεσμένου αέρα δύο κατευθύνσεων double-acting cylinder.
72

αισθητήρας ανάκλασης retro-reflective sensor. 78

αισθητήρας κενού vacuum switch. 72

αισθητήρας προσέγγισης proximity sensor. 78

αναλογικός αισθητήρας analogue sensor. 78

βαλβίδα ελέγχου πεπιεσμένου αέρα μίας κατεύθυνσης one-way flow control valves. 75

βεντούζα suction cup. 72

γραμμικό έμβολο linear cylinder. 78

επαγωγικός αισθητήρας inductive sensor. 78

ηλεκτρομαγνητική διάταξη solenoid. 86

μαγνητικός αισθητήρας magnetic sensor. 78

μηχανή γραναζωτής σύμπλεξης συνεχούς ρεύματως dc gear motor.
85

- μικροδιακόπτης** micro switch. 76
- μονάδα μεταφοράς** changer module. 72
- οικονομετρία** econometrics. 31
- πλατφόρμα κύλισης** slide. 78
- πλατφόρμα κύλισης με εξομάλυνση αέρα** air cushioned slide. 78
- πνευματικό έμβολο** pneumatic cylinder. 78
- φωτοκύτταρο** through-beam sensor. 72

Ευρετήριο

- Ansi C, 47
AT&T, 29, 33
- Bach, 30
behavioural
 package, 116, 149, 202
Beitz, 30
Bell Telephone Laboratories, 29,
 33
bionics, 34
Bode, 30
Bush Vannevar, 29
- complex, 26
context, 105, 122, 162
cybernetics, 33
- Darwin, 22
Descartes René, 21
- Edison Thomas, 24
Erken, 30
- Feldhusen, 30
Festo Didactic, 69
Ford Henry, 24
Frisch Ragnar Anton Kittil, 31
- Galileo Galilei, 22
Grote, 30
- Haldane J.S., 26
Hartley, 30
- Hegel, 25
holism, 27
- Keynes Maynard John, 31
- MIT, 29
model
 analysis, 94, 122
 conception, 94, 105
 design, 162
 implementation, 95
Morgestern, 33
- Neumann, 33
Norbert Wiener, 33
Nyquist, 30
- open system, 27
organismic, 28
- package
 behaviour, 116, 149, 202
 requirements, 108, 127, 193
 structure, 115, 138, 193
Pahl, 30
Phillips Bogdanov Alexander, 25
Phillips D.C., 25
- Redtenbacher, 30
requirements
 package, 108, 127, 193
Riedler, 30

- Shannon Claude E., 33
SLDL, 47
SpecC, 47
Stafford Beer, 25
Steele Jack E., 34
structure
 package, 115, 138, 193
System-Level Design Languages, 47
Taylor W. Frederick, 31
tektology, 25
Trygve Haavelmo, 31
Wögerbauer, 30
wallace Russel Alfred, 22
Weaver Warren, 33
Γαλιλαίος Γαλιλέι, 22
Δαρβίνος, 22
Καρτέσιος, 21
έμβολο
 γραμμικό, 78
 διπλίς κατεύθυνσης, 75
 εκτίναξης, 78
 ηλεκτρικό, 86
 πνευματικό, 78, 91
αισθητήρας
 ανάκλασης, 78
 αναλογικός, 78
 επαγωγικός, 75, 78, 86
 κενού, 76
 μαγνητικός, 78
 οπτικός, 78
 προσέγγισης, 78, 86
ανοιχτό σύστημα, 27
απαιτήσεις
 πακέτο, 108, 127, 193
βαλβίδα, 75
βεντούζα, 72
βιομηχανική επανάσταση, 24
βιονική, 34
βραχίονας, 72
δαγκάνα
 πνευματική, 91
διακόπτης
 ηλεκτρικός, 86
 τερματικός, 86
διοίκηση
 επιστημονική, 31
δομή¹
 πακέτο, 115, 138, 193
εμπειρισμός, 22
εξομοιωτής, 203
επαγωγικός αισθητήρας, 75
ηλεκτρομαγνητική διάταξη, 86
ιμάντας, 86
ιχνηλασιμότητα, 51
κινητήρας
 πνευματικός, 75
κυβερνητική, 33
κυλινδρικά τεμάχια, 71
κύκλωμα, 29
λειτουργία
 πακέτο, 116, 149, 202
μέθοδος
 παραδοσιακή, 44
μηχανή²
 συνεχούς ρεύματος, 85
μικροδιακόπτης, 76
μονάδα
 αναγνώρισης, 78
 ανύψωσης, 78
 αποθήκευσης, 91
 διάτροσης, 86
 ελέγχου, 86
 κύλισης, 79
 κύλισης με εξομάλυνση³
 αέρα, 79
 μέτρησης, 79
 μεταφοράς, 75, 91
 περιστροφής, 85
μοντέλο, 51

- ανάλυσης, 94, 122
συστήματος ελέγχου, 95
σύλληψης, 94, 105
υλοποίησης, 95, 162
οδοντωτός ψάντας, 86
οικονομετρία, 31
ολισμός, 27
οργανισμική, 28
ορθολογισμός, 21
- πακέτο
απαιτήσεις, 108, 127, 193
δομής, 115, 138, 193
λειτουργίας, 116, 149, 202
- παραδοσιακή μέθοδος, 44
περιστροφική κίνηση, 75
πλατφόρμα κύλισης
- εξομάλυνση αέρα, 78
προδιαγραφές, 44
πρώτη ύλη, 71
πυρηνικά απόβλητα, 51
σήμα, 30
σταθμός
αποθήκευσης, 91
διανομής, 72
ελέγχου, 77
επεξεργασίας, 84
στοίβα αποθήκευσης, 72
συγκρότημα, 26
σύστημα:ορισμός, 16, 19, 21
τεμάχια, 71
τρυπάνι, 86
φωτοκύτταρο, 75
χώρος υλοποίησης, 105, 122, 162