ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ
& ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΣΠΟΝΔΥΛΩΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΠΙ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑ (MODULAR DESIGN FOR BUILD-TO-ORDER PRODUCTS)

ΧΡΥΣΟΥΛΑ Χ. ΓΟΥΛΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2006

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
026000348924

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ
& ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΣΠΟΝΔΥΛΩΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΠΙ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑ

(MODULAR DESIGN FOR BUILD-TO-ORDER PRODUCTS)

ΧΡΥΣΟΥΛΑ Χ. ΓΟΥΛΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ

Μ Ε Τ Α Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Δ Ι Α Τ Ρ Ι Β Η

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2006

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Αρ. εισ.: 14676 2005

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε το Ακαδημαϊκό έτος 2006 - 2007 στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Μαθηματικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Σωτήρη Παπαχρήστου.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Παπαχρήστος Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής του
Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων Αγροτικών Προϊόντων και Τροφίμων
του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
(Επιβλέπων καθηγητής)

Λάγκαρης Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής του
Τμήματος Μαθηματικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Σκούρη Κωνσταντίνα, Λέκτορας του
Τμήματος Μαθηματικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Τμήμα Μαθηματικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και αποτελεί το τελευταίο μέρος των υποχρεώσεών μου για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στον κλάδο Πιθανοτήτων – Στατιστικής και Επιχειρησιακής Έρευνας που προσφέρει το παραπάνω τμήμα.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σωτήρη Παπαχρήστο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων Αγροτικών Προϊόντων και Τροφίμων, που μου πρότεινε το θέμα της διατριβής και με προθυμία δέχτηκε να αναλάβει την επίβλεψή της. Η καθοδήγηση και οι συμβουλές του υπήρξαν πολύτιμες καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής. Οφείλω ακόμη να ευχαριστήσω τους κ. Χρήστο Λάγκαρη και κ. Κωνσταντίνα Σκούρη για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και τις πολύτιμες υποδείξεις τους που συνέβαλαν στην άρτια παρουσίαση της διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του τομέα Πιθανοτήτων – Στατιστικής και Επιχειρησιακής Έρευνας για τη συνεργασία τους σε όλη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Οφείλω ακόμη ένα μεγάλο ευχαριστώ στη μητέρα μου Πανωραία για τη συμπαράσταση και τη στήριξή της όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Στη μητέρα μου Πανωραία

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή

1.1 Η σημασία των προϊόντων επί παραγγελία και του modular σχεδιασμού.....1

1.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας-περίληψη.....3

2. Προϊόντα επί παραγγελία και μαζική παραγωγή τους

2.1 Εισαγωγική περιγραφή.....7

2.2 Ιστορική αναδρομή-εξέλιξη.....7

2.3 Διαφορές παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία (customization) και μαζικής παραγωγής τυποποιημένων προϊόντων (mass production).....10

2.4 Οργάνωση και εφαρμογή.....15

2.4.1 Ταξινόμηση της εξατομικευμένης παραγωγής (customization).....15

2.4.2 Ρυθμιστικοί παράγοντες που ωθούν τις εταιρίες στην υιοθέτηση παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία και προϋποθέσεις επιτυχούς εφαρμογής της.....18

2.4.3 Στρατηγικές προώθησης-διαφήμισης προϊόντων επί παραγγελία.....23

2.5 Επίδραση-συνέπειες και πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα μιας build-to-order στρατηγικής διαχείρισης της παραγωγής.....24

2.6 Θέματα για περαιτέρω έρευνα.....27

3. Modularity και στρατηγικές αναβολών

3.1 Εισαγωγική περιγραφή.....29

3.2 Η φιλοσοφία των modular προϊόντων.....30

3.3 Ορισμοί και ταξινόμηση.....31

3.3.1 Ταξινόμηση των modules ως προς τις λειτουργίες τους.....32

3.3.2 Ταξινόμηση του modularity ως προς τη συναρμολόγηση και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξαρτημάτων-modules.....33

3.4 Modular σχεδιασμός και διαφορά με τον βασικό τυπικό σχεδιασμό.....35

3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του modular σχεδιασμού.....36

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

3.6 Στρατηγικές αναβολών (postponement strategies) και modularization.....38
3.7 Μοντέλο εκτίμησης κόστους για στρατηγικές αναβολών.....40
3.7.1 Υποθέσεις και συμβολισμοί.....40
3.7.2 Μαθηματική διατύπωση και μοντέλο κόστους.....43
3.8 Εφαρμογή 1 – Στρατηγικές αναβολών με χρήση τυποποιημένου σχεδιασμού.....45
3.8.1 Υποθέσεις.....45
3.8.2 Μαθηματικό μοντέλο.....46
3.8.3 Αριθμητική ανάλυση.....51
3.9 Εφαρμογή 2 – Στρατηγικές αναβολών με χρήση modular σχεδιασμού.....54
3.9.1 Υποθέσεις.....54
3.9.2 Μαθηματικό μοντέλο.....55
3.9.3 Αριθμητική ανάλυση.....61
3.10 Συμπεράσματα και προϋποθέσεις υιοθέτησης στρατηγικών αναβολής.....68
3.11 Θέματα για περαιτέρω έρευνα.....69

4. Βέλτιστη πολιτική επιστροφών και modular σχεδιασμός για προϊόντα επί παραγγελία
4.1 Εισαγωγική περιγραφή.....71
4.2 Προϊόντα επί παραγγελία, modularity και πολιτικές επιστροφών.....72
4.3 Μοντέλο μεγιστοποίησης κέρδους και συνθήκες βελτιστοποίησής του.....73
4.3.1 Διαμόρφωση μοντέλου-υποθέσεις.....73
4.3.2 Συνάρτηση ζήτησης.....74
4.3.3 Συνάρτηση επιστρεφόμενης ποσότητας.....75
4.3.4 Συνάρτηση κόστους.....76
4.3.5 Μοντελοποίηση της συνάρτησης κέρδους για τον πωλητή.....76
4.4 Συμπεράσματα και ανάλυση ευαισθησίας.....77
4.5 Αριθμητική ανάλυση.....85
4.6 Θέματα για περαιτέρω έρευνα.....87

5. Υποστήριξη modular προϊόντων μετά την πώλησή τους
5.1 Εισαγωγική περιγραφή.....89
5.2 Είδη εξαρτημάτων modules-πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που σχετίζονται με τα είδη αυτά.....89

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

5.3 Μοντέλο αποτυχίας και αντικατάστασης για προϊόντα με modular σχεδιασμό.....91
5.3.1 Υποθέσεις και συμβολισμοί.....91
5.3.2 Μελέτη και μαθηματική διατύπωση.....92
5.4 Μοντέλο κόστους ενός κύκλου ζωής (up-down cycle) του συστήματος-προϊόντος.....94
5.4.1 Συμβολισμοί κόστους και παρατηρήσεις-υποθέσεις.....94
5.4.2 Μαθηματική διατύπωση και μοντέλο κόστους.....95
5.4.3 Υποθέσεις για περαιτέρω μελέτη του παραπάνω μοντέλου κόστους.....96
5.4.4 Μελέτη του παραπάνω μοντέλου κόστους και χρήσιμα συμπεράσματα.....96
5.5 Διατήρηση αποθεμάτων και κόστη επισκευής που σχετίζονται με τον modularity.....98
5.5.1 Υποθέσεις και συμβολισμοί.....98
5.5.2 Μελέτη μη επισκευάσιμων integrated modules.....99
5.5.3 Μελέτη επισκευάσιμων subassemblies (assembled modules).....100
5.5.4 Σύγκριση μη επισκευάσιμων integrated και επισκευάσιμων assembled modules..101
5.5.5 Διατήρηση modular προϊόντων, κόστη επισκευής και modularization.....102
5.6 Περίπτωση ύπαρξης δύο μόνο εξαρτημάτων.....103
5.7 Αριθμητικά παραδείγματα για συστήματα-προϊόντα που αποτελούνται από πέντε εξαρτήματα.....105
5.7.1 Υποθέσεις και επιλογή αριθμητικών τιμών για τις διάφορες μεταβλητές.....105
5.7.2 Παράδειγμα 1.....107
5.7.3 Παράδειγμα 2.....107
5.8 Θέματα για περαιτέρω έρευνα.....108

Βιβλιογραφία.....109

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Η σημασία των προϊόντων επί παραγγελία και του modular σχεδιασμού

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια στροφή στον τρόπο διαχείρισης και οργάνωσης της παραγωγής. Από την μαζική τυποποιημένη παραγωγή (mass production) περνάμε στην κατασκευή περισσότερο εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία (build-to-order), τα οποία ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις και ανάγκες των πελατών. Έτσι, οι εταιρίες αναπτύσσουν μια build-to-order εφοδιαστική αλυσίδα (BOSC, build-to-order supply chain), η οποία περιλαμβάνει όλους εκείνους τους παράγοντες που συμμετέχουν, άμεσα ή έμμεσα, στην προμήθεια πρώτων υλών και εξοπλισμού, στην παραγωγή και τη διανομή των προϊόντων, και στοχεύουν στην πλήρη ικανοποίηση του καταναλωτή. Ο βασικότερος λόγος για αυτήν την αλλαγή, είναι η επιθυμία των πελατών να "συμμετέχουν" στη διαδικασία παραγωγής και στη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος. Με τον τρόπο αυτό, η παραγωγή ξεκινά αμέσως μετά την παραγγελία από τον πελάτη, και δεν ενεργοποιείται σαν αντίδραση στην μελλοντική προβλεπόμενη ζήτηση. Οι εταιρίες μπορούν, τότε, να προσφέρουν αγαθά με ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και λειτουργιών σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των καταναλωτών τους. Παράλληλα, μειώνουν το επίπεδο αποθεμάτων και το κόστος απαξίωσης, το οποίο προέρχεται από προϊόντα που χάνουν σταδιακά την αξία τους για όσο διάστημα μένουν αποθηκευμένα. Η χρήση καινούριων τεχνολογιών και ευέλικτων συστημάτων παραγωγής βελτιώνει την απόδοση των προϊόντων και μειώνει τα κόστη κατασκευής. Η επικοινωνία μεταξύ των μελών μιας build-to-order εφοδιαστικής αλυσίδας διευκολύνεται μέσω του διαδικτύου και οι πελάτες μπορούν να ενημερώνονται γρήγορα, φθηνά και άμεσα για τις υπηρεσίες και τα προϊόντα που τους παρέχονται. Έτσι, μία παραγγελία δίνεται μέσα σε λίγα μόνο λεπτά, επιτυγχάνεται καλύτερος συντονισμός μεταξύ προμηθευτών, κατασκευαστών και καταναλωτών, και αναπτύσσονται σχέσεις εμπιστοσύνης και συνεργασίας με τους πελάτες.

Για την αποτελεσματικότερη εφαρμογή μιας build-to-order στρατηγικής, οι εταιρίες χρησιμοποιούν σπονδυλωτό σχεδιασμό (modular design) στα εξατομικευμένα προϊόντα. Με

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

αυτόν τον τρόπο, απλοποιούν τη δομή ενός συστήματος-προϊόντος, μειώνουν την πολυπλοκότητά του (complexity) και το "αναλύουν" στις συνιστώσες που το αποτελούν. Προκύπτουν, τότε, ευδιάκριτα, ανεξάρτητα μεταξύ τους, κομμάτια και εξαρτήματα, που ονομάζουμε modules, τα οποία μπορούν να ταιριάξουν σε πληθώρα προϊόντων ή να δώσουν πολλές διαφοροποιήσεις και ποικιλία χαρακτηριστικών στο ίδιο προϊόν. Η παραπάνω δομή σχεδιασμού μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τις στρατηγικές αναβολών και "σκόπιμων καθυστερήσεων" (postponement strategies) στα διάφορα στάδια παραγωγής, οπότε να έχουμε άμεση ανταπόκριση σε ενδεχόμενες αλλαγές και τάσεις που αφορούν, κυρίως, επιδράσεις εξωτερικού περιβάλλοντος.

Στην περίπτωση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, όπου οι εμπορικές συναλλαγές γίνονται μέσω Internet, οι πελάτες δεν έχουν την ευκαιρία να εξετάσουν το προϊόν, συνεπώς η πιθανότητα να μην ανταποκρίνεται πλήρως στις προτιμήσεις τους είναι μεγάλη και παρατηρείται αύξηση του ρυθμού επιστροφών. Γενικά, οι εταιρίες δεν επιτρέπουν πολιτική επιστροφών (returns policy) σε εξατομικευμένα προϊόντα που κατασκευάζονται επί παραγγελία (build-to-order προϊόντα), γιατί το επιστρεφόμενο προϊόν δεν μπορεί πρακτικά να χρησιμοποιηθεί ξανά, εφόσον είναι προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του συγκεκριμένου, κάθε φορά, πελάτη. Εάν, όμως, η εταιρία εφαρμόσει modularity στο σχεδιασμό των εξατομικευμένων προϊόντων, τότε, αυτά μπορούν εύκολα να αποσυναρμολογηθούν στα μέρη από τα οποία αποτελούνται και να χρησιμοποιηθούν ξανά, οπότε να προκύψουν καινούρια προϊόντα.

Βασικά χαρακτηριστικά του modularity είναι η ανεξαρτησία που αφορά στην επικοινωνία μεταξύ των μερών του προϊόντος και η δυνατότητα ανάλυσης του συστήματος στις διάφορες συνιστώσες του (decomposability). Συνεπώς, ο σπονδυλωτός σχεδιασμός (modular design) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια αποτελεσματική στρατηγική υποστήριξης προϊόντων ή συστημάτων, στην περίπτωση που αυτά "αποτύχουν" μετά την πώληση και χρήση τους. Η ευκολία διάγνωσης της βλάβης, όταν αυτή συμβεί, και η γρήγορη αντικατάσταση ή επισκευή του χαλασμένου μόνο module ελαττώνει το κόστος συντήρησης του προϊόντος.

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι η παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία δίνει την ευκαιρία στους πελάτες να "συμμετέχουν" στο σχεδιασμό, και συνεπώς ικανοποιούνται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις και ανάγκες τους, οπότε η ζήτηση αυξάνεται. Συγχρόνως, οι εταιρίες βελτιστοποιούν τον τρόπο οργάνωσης και λειτουργίας τους με τη χρήση modular σχεδιασμού, μειώνουν τα κόστη κατασκευής, αυξάνουν τα κέρδη τους, και η παραγωγή γίνεται αποτελεσματικότερη με την εφαρμογή στρατηγικής αναβολών.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

1.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας-περίληψη

Πολλά είναι τα άρθρα που απασχόλησαν τη βιβλιογραφία και αφορούν στη διαχείριση οργάνωσης της παραγωγής. Τα περισσότερα από αυτά, όμως, αναφέρονται στην οργάνωση της παραδοσιακής τυποποιημένης μαζικής παραγωγής. Οι **Croom et al. (2000)** έχουν κάνει μια ταξινόμηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη διαχείριση μιας παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας και αναφέρουν τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματά της. Νωρίτερα, οι **Vidal and Goetschalckx (1997)** ανέπτυξαν μοντέλα βελτιστοποίησης και προγραμματισμού, και ανέλυσαν την οργανωτική δομή και συμπεριφορά μιας τέτοιας εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στην παρούσα εργασία, θα ασχοληθούμε με τη διαχείριση μιας build-to-order εφοδιαστικής αλυσίδας (BOSC, build-to-order supply chain) και την οργανωτική δομή που θα πρέπει να έχει μια εταιρία για την αποτελεσματικότερη εφαρμογή αυτού του τρόπου παραγωγής. Ο **Berman (2002)** και πιο πρόσφατα οι **Gunasekaran and Ngai (2005)** εντόπισαν τις βασικότερες διαφορές ανάμεσα στον μαζικό τυποποιημένο τρόπο παραγωγής και στην παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων, στα οποία η κατασκευή και η τελική διαμόρφωσή τους γίνεται μετά τη λήψη της παραγγελίας από τον πελάτη. Η έννοια της μαζικής παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων αναφέρθηκε για πρώτη φορά στο "Future Shok" από τον **Toffler (1970)** και αργότερα στο "Future Perfect" από τον **Davis (1987)**, αλλά η εφαρμογή αυτής της μεθόδου παραγωγής ξεκίνησε στα μέσα, περίπου, της δεκαετίας του '90 και το βασικό ορισμό της έδωσαν οι **Pine (1999)** και **Svensson and Barfod (2002)**. Οι **Lampel and Mintzberg (1996)** κατασκεύασαν ένα σύστημα ταξινόμησης της εξατομικευμένης παραγωγής, το οποίο βασίζεται στο βαθμό της συμμετοχής των πελατών στη διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής, συναρμολόγησης και διανομής του προϊόντος, και οι **Svensson and Barfod (2002)**, αργότερα, εμπλούτισαν την παραπάνω κατηγοριοποίηση. Το ίδιο έτος, ο **Duray (2002)** θεώρησε δύο βασικές παραμέτρους επιτυχούς εφαρμογής μιας customized παραγωγής : τη συμμετοχή των πελατών (customer involvement) και τη χρήση του σπονδυλωτού σχεδιασμού (modularity) στη διαδικασία παραγωγής, και με αυτόν τον τρόπο όρισε τέσσερα αρχέτυπα της customization. Οι **Sharma and La Placa (2005)** συγκέντρωσαν τους βασικούς παράγοντες που ωθούν τις εταιρίες στην υιοθέτηση μιας build-to-order παραγωγής, καθώς επίσης και τις κυριότερες επιδράσεις που θα έχει η εφαρμογή της στην αγορά, και διέκριναν δύο βασικούς τρόπους προώθησης και διαφήμισης εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία. Ο **Berman (2002)** και ο **Sellandurai (2004)** πρότειναν μεθόδους και προϋποθέσεις που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της

μαζικής παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων. Νωρίτερα, οι **Lancioni et al. (2000)** και **Ghiassi and Spera (2003)** αναφέρθηκαν στο ρόλο που επιτελεί το Internet στην επικοινωνία μεταξύ των μελών μιας build-to-order εφοδιαστικής αλυσίδας και των καταναλωτών, στα οφέλη που προέρχονται από τη χρήση του διαδικτύου, στις ευκολίες που παρέχουν οι online εμπορικές συναλλαγές, και ανέπτυξαν ένα σύστημα λογισμικού (software) που ικανοποιεί αυτές τις ιδιότητες.

Οι **Salvador et al (Business Horizons, 2002)** μελέτησαν τον τρόπο που ο όγκος παραγωγής και η ποικιλία στις διαφοροποιήσεις των προϊόντων λειτουργούν ως στοιχεία "κλειδιά" για την modular αρχιτεκτονική ενός προϊόντος επί παραγγελία, προκειμένου αυτή να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στην εφαρμογή στρατηγικών αναβολής (postponement strategies). Οι **Krajewski et al. (2005)** ανέπτυξαν δύο βασικές τεχνικές αντιμετώπισης της αβεβαιότητας στη ζήτηση, "cope with uncertainty" και "reduce uncertainty", τις οποίες ακολουθούν τα μέλη μιας build-to-order εφοδιαστικής αλυσίδας, και συγκεκριμένα οι προμηθευτές. Ακόμη, αρκετοί είναι εκείνοι που μελέτησαν τη ζήτηση εποχιακών (με μικρή διάρκεια ζωής) προϊόντων επί παραγγελία. Οι **Weng and Parlar (1999)**, για παράδειγμα, παρουσίασαν ένα μοντέλο στο οποίο χρησιμοποιούνται εκπτώσεις και άλλα κίνητρα τιμών και προσφορών, που αφορούν προ-εποχιακά προϊόντα, τα οποία κατασκευάζονται μετά την έναρξη της παραγγελίας. Οι παραπάνω συγγραφείς, θεώρησαν τον αριθμό των πελατών που "ενδίδουν", σε αυτά τα κίνητρα τιμών, προσδιοριστική μεταβλητή, ενώ η ζήτηση που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης εποχής θεωρείται τυχαία μεταβλητή. Αργότερα, οι **Tang et al. (2004)** επέκτειναν το μοντέλο αυτό και θεώρησαν ότι η ζήτηση που δημιουργείται πριν και μετά την παρουσίαση των εκπτώσεων ακολουθεί μια τυχαία κατανομή. Πιο πρόσφατα, οι **Weng and Parlar (2005)** ανέπτυξαν ένα στοχαστικό μοντέλο δυναμικού προγραμματισμού, προκειμένου να μελετήσουν τις επιδράσεις που έχει η προσφορά προϊόντων επί παραγγελία με προ-εποχιακά κίνητρα τιμών (εκπτώσεις), στη ζήτηση.

Στη συνέχεια, θα δούμε τη φιλοσοφία του modular σχεδιασμού, τη διαφορά του με τον βασικό τυπικό σχεδιασμό και τέλος, θα συνδυάσουμε αυτήν την καινούρια δομή σχεδιασμού με τις στρατηγικές αναβολών. Οι **Baldwin and Clark (1997)** όρισαν την modularization μέσω της αρχιτεκτονικής (architecture), της επικοινωνίας (interfaces) και το επίπεδο ελέγχου (standards), που αποτελούν τους τρεις βασικότερους κανόνες σχεδιασμού. Ο **Langlois (2002)** και οι **Hellstrom and Wikstrom (2005)** όρισαν το modular σχεδιασμό με βάση το βαθμό, στον οποίο ένα modular προϊόν μπορεί να "αναλυθεί" και να "σπάσει" σε φυσικά δομημένα, ανεξάρτητα

μεταξύ τους, τεμάχια (modules). Οι **Pahl and Beitz (1984)** ταξινόμησαν τα διάφορα modules σύμφωνα με τις λειτουργίες τους, οι οποίες καθορίζονται από τα εξαρτήματα που τα αποτελούν, και αργότερα, το **1988**, για λόγους ευκολίας, οι ίδιοι συγγραφείς, συμπλήρωσαν και επέκτειναν την παραπάνω κατηγοριοποίηση. Οι **Ulrich and Tung (1991)** πρότειναν μια ταξινόμηση για τους διάφορους τύπους της modularity, η οποία βασίζεται στη "γεωμετρική" συναρμολόγηση των εξαρτημάτων-modules που αποτελούν ένα προϊόν ή ένα σύστημα. Λίγα χρόνια μετά, ο **Ulrich (1995)** πρότεινε ένα τυπολόγιο ταξινόμησης της modularity σύμφωνα με τον τρόπο επικοινωνίας (interface) και αλληλεπίδρασης μεταξύ των εξαρτημάτων-modules, και οι **Salvador et al (Journal of Operations Management, 2002)** έδωσαν παραδείγματα των τύπων αυτών, με τη βοήθεια γραφικής αναπαράστασης. Ο **Chun-Che Huang (2000)** παρουσίασε τη βασική ιδέα της modularity και ασχολήθηκε με την ανάπτυξη των modular προϊόντων. Οι **Bi and Zhang (2001)** περιέγραψαν τα βασικά χαρακτηριστικά της modularity, και στηριζόμενοι στην εργασία του **Chun-Che Huang (2000)** εντόπισαν τις βασικότερες διαφορές σε σχέση με τον παραδοσιακό τυποποιημένο σχεδιασμό. Οι **Lee and Tang (1997)** παρουσίασαν ένα μοντέλο κόστους το οποίο μελετά τις αλλαγές που υφίστανται στα σταθερά και μεταβλητά κόστη, τα οποία σχετίζονται με τον επανασχεδιασμό (redesign) των προϊόντων και των λειτουργιών τους. Ο **Huang Yu-Ying (2006, Article in press)** σε πρόσφατο άρθρο του επέκτεινε το παραπάνω μοντέλο κόστους, λαμβάνοντας υπόψη του τις εξωτερικές επιδράσεις και μεταβολές, συνδύασε το modular σχεδιασμό με τη στρατηγική αναβολών, σύγκρινε την modularization με την τυποποίηση (standardization) και ανέλυσε τις προϋποθέσεις εφαρμογής της.

Η δυνατότητα επιστροφής ενός προϊόντος, το οποίο τελικά δεν ικανοποιεί τις ιδιαίτερες απαιτήσεις και ανάγκες του πελάτη, αποτελεί βασικό κίνητρο ανταγωνισμού στην αγορά και επηρεάζει σημαντικά τις πωλήσεις σε μια εταιρία. Αρκετές πρόσφατες μελέτες, όπως αυτές των **Pinkerton (1997)**, **Trager (2000)** και **Wood (2001)**, έδειξαν ότι οι πελάτες αποφασίζουν να αγοράσουν ένα προϊόν, με μεγαλύτερη ευκολία, όταν μπορούν να το επιστρέψουν, στην περίπτωση που αυτό δεν ανταποκρίνεται στις προτιμήσεις τους. Οι **Rogers and Tibben-Lemke (1999)** ανέφεραν, μάλιστα, πως οι πωλήσεις μέσω του ηλεκτρονικού εμπορίου, όπου ο καταναλωτής δεν έχει την ευκαιρία να εξετάσει το προϊόν, αυξάνουν την πιθανότητα επιστροφών. Ανασκόπηση για τις υπάρχουσες πολιτικές επιστροφών που εφαρμόζονται υπάρχει σε άρθρα των **Hess and Mayhew (1997)**, **Davis et al. (1998)** και των **Rogers and Tibben-Lemke (1999)**. Βέβαια, όπως υποστήριξαν και οι **Padmanabhan and Png (1995, 1997)**, μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών αυξάνει τον αριθμό των επιστρεφόμενων εμπορευμάτων, και

για το λόγο αυτό, θα πρέπει οι κατασκευαστές να δέχονται μια τέτοια πολιτική υπό περιορισμούς και κατάλληλες συνθήκες ζήτησης και κόστους. Εξάλλου, στην περίπτωση μιας build-to-order παραγωγής, η εταιρία είναι, συνήθως, απρόθυμη να εφαρμόσει μια πολιτική επιστροφών, εφόσον το επιστρεφόμενο προϊόν δεν μπορεί πρακτικά να χρησιμοποιηθεί ξανά, αφού είναι σχεδιασμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε πελάτη, και σύμφωνα με τον **Davis (1998)**, αυτό δεν θα έχει διασωθείσα τιμή. Έτσι, οι εταιρίες θα πρέπει να αναπτύξουν μια συγκεκριμένη πολιτική επιστροφών, η οποία θα αφορά στην καλύτερη διαχείριση των επιστρεφόμενων εμπορευμάτων. Οι **Chakravarty and Balakrishnan (2001)** κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι ένας modular σχεδιασμός βελτιώνει την απόδοση των προϊόντων, χωρίς να αυξάνει τα κόστη κατασκευής, και επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα αποσυναρμολόγησής τους. Οι **Mukhopadhyay and Setoputro (2005)** συνδύασαν για πρώτη φορά τη modularity και την πολιτική επιστροφών στο ίδιο μοντέλο, σαν μεταβλητές απόφασης, και έκαναν ανάλυση σχετικά με την επίδρασή τους στη ζήτηση του προϊόντος, στο επιστρεφόμενο στον πελάτη ποσό και στο κέρδος για την εταιρία.

Ένας modular σχεδιασμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την υποστήριξη του προϊόντος μετά την πώλησή του. Δηλαδή, όταν ένα προϊόν ή ένα σύστημα αποτύχει, τότε ο χρόνος επισκευής /αντικατάστασής του μπορεί να μειωθεί σημαντικά, εάν χρησιμοποιήσουμε ένα modular ανταλλακτικό. Ο τρόπος, με τον οποίο ένα προϊόν συναρμολογείται, επηρεάζει το κόστος κατασκευής του, καθώς επίσης και το κόστος διατήρησης αποθεμάτων για την υποστήριξη παρόμοιων συστημάτων. Ο **Rutenberg (1971)**, οι **Rutenberg and Shaftel (1971)**, ο **Dogramaci (1973)**, ο **O'Reilly (1975)** και οι **Biegel and Bulcha (1976)** ασχολήθηκαν με τα θέματα αυτά. Οι **Lele and Karmarkar (1983)** μελέτησαν τη διανομή διαθέσιμων αποθεμάτων modules, και αναφέρθηκαν στις υπηρεσίες-ευκολίες που παρέχονται στην επισκευή ενός αποτυχημένου modular προϊόντος. Κατέληξαν, έτσι, στο συμπέρασμα ότι η σπονδυλωτή σχεδίαση (modularization) αποτελεί μια βασική στρατηγική υποστήριξης προϊόντων σε περίπτωση αποτυχίας μετά την πώλησή τους. Αρκετοί είναι εκείνοι που έχουν ασχοληθεί με τη διαχείριση διαθέσιμων αποθεμάτων, και αναφέρουμε χαρακτηριστικά τον **Nahmias (1981)**. Ο **Muckstadt (1973)** και οι **Kohlas and Pasquier (1981)** έχουν, όμως, καταφέρει να συνδυάσουν τα παραπάνω με τον modular σχεδιασμό. Μοντέλα κόστους αποτυχίας και αντικατάστασης ελαττωματικών προϊόντων, μετά τη χρήση τους, που αφορούν στην εκτίμηση ενός modular σχεδιασμού έχουν αναπτύξει οι **Karmarkar and Kubat (1987)**, και μ' αυτά θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Προϊόντα επί παραγγελία και μαζική παραγωγή τους

2.1 Εισαγωγική περιγραφή

Το σύγχρονο αγοραστικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από την ποικιλία προτιμήσεων και ιδιαίτερων απαιτήσεων των πελατών, καθώς επίσης και από τους γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης της τεχνολογίας. Η φύση της αγοράς και ο διαρκής ανταγωνισμός επιβάλλουν στις εταιρίες να προσαρμόσουν κατάλληλα τον τρόπο παραγωγής τους, ώστε να προσφέρουν προϊόντα "ευέλικτα" σε διαφοροποιήσεις, με ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και λειτουργιών, που θα συναντούν τις ανάγκες του αγοραστικού κοινού. Για τους παραπάνω λόγους, οι κατασκευαστές επανασχεδιάζουν τα προϊόντα τους, απλοποιούν τη δομή τους, ελαττώνοντας την πολυπλοκότητά τους, και με τον τρόπο αυτό μπορούν να βελτιώσουν την πιθανή αρνητική επίδραση που θα έχει η παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων (customized products) στη γενικότερη οργάνωση μιας εταιρίας. Έτσι, οι εταιρίες αναπτύσσουν μια build-to-order εφοδιαστική αλυσίδα (BOSC, build-to-order supply chain), η οποία επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων που ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες προτιμήσεις των πελατών τους (Gunasekaran and Ngai, 2005).

Στο κεφάλαιο αυτό, θα δούμε τους παράγοντες που ώθησαν τις κατασκευαστικές βιομηχανίες στην εφαρμογή μιας τέτοιας στρατηγικής διαχείρισης της παραγωγής τους και τις βασικότερες διαφορές που αυτή έχει με τον τυποποιημένο τρόπο μαζικής παραγωγής προϊόντων. Στη συνέχεια, θα αναλύσουμε την οργανωτική δομή που πρέπει να υιοθετήσει μια εταιρία, καθώς και τις επιδράσεις που θα έχει αυτός ο τρόπος παραγωγής στην αγορά.

2.2 Ιστορική αναδρομή-εξέλιξη

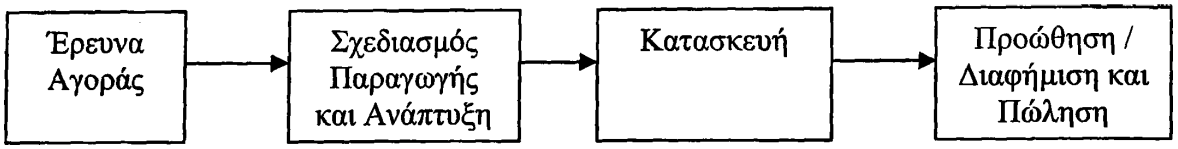
Στις αρχές του 1900 η βασική ιδέα που επικρατούσε για την παραγωγή αγαθών ήταν η "κατασκευή για αγορά" (build-to-market), και αφορά στο σχεδιασμό τυποποιημένων προϊόντων, στην κατασκευή τους, στην αποθήκευση και τέλος στην πώλησή τους. Βασικός στόχος, εδώ,

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

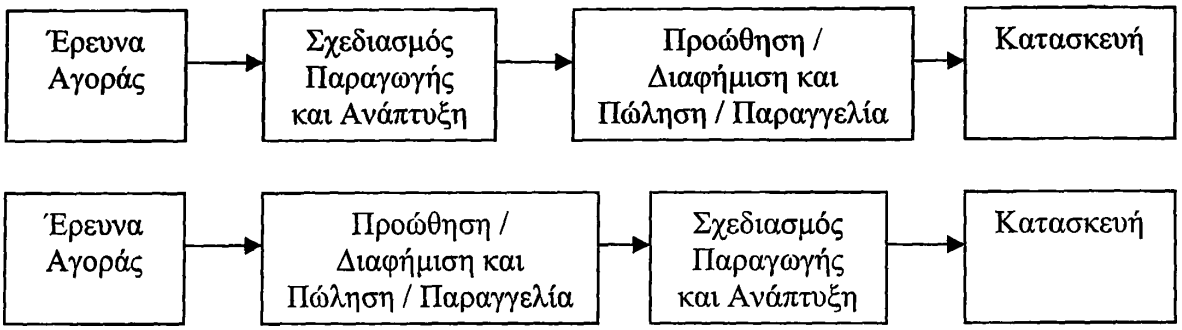
είναι η παραγωγή προϊόντων σύμφωνα με την προβλεπόμενη ζήτηση, χωρίς την ουσιαστική συμμετοχή των καταναλωτών (Sharma and La Placa, 2005). Σε μια build-to-market στρατηγική οι διάφορες λειτουργίες παραγωγής ομαδοποιούνται προκειμένου να απλοποιηθούν, και οι εργάτες ειδικεύονται στο χειρισμό αυτοματοποιημένων μηχανημάτων. Τότε, το κόστος κατασκευής ελαττώνεται, η τιμή πώλησης μειώνεται και έχουμε αύξηση στη ζήτηση.

Η λύση στην αύξηση της ζήτησης είναι η παραγωγή τυποποιημένων προϊόντων σε μεγάλες ποσότητες (mass production). Σε αυτήν τη μέθοδο παραγωγής, οι κατασκευαστές, "αδιαφορώντας" για τις ανάγκες και τις ιδιαίτερες προτιμήσεις των πελατών τους, παράγουν μικρή ποικιλία προϊόντων, σε μεγάλες ποσότητες και με μικρό κόστος, εφόσον επιτυγχάνονται οικονομίες κλίμακος. Η προώθηση και πώληση τέτοιων προϊόντων γίνεται μετά την κατασκευή τους (σχήμα 2.1.a), και η τάση αυτή επικράτησε στις περισσότερες βιομηχανίες παραγωγής έως και το 1970 (Sellandurai, 2004; Sharma and La Placa, 2005).

Όμως, η μαζική παραγωγή τυποποιημένων προϊόντων βασίζεται στην προβλεπόμενη ζήτηση και απαιτεί διατήρηση αποθεμάτων. Το κόστος διατήρησης αυτών των αποθεμάτων (holding cost) είναι αρκετά υψηλό, και το κόστος απαξίωσης από τα αποθηκευμένα προϊόντα, που χάνουν σταδιακά την αξία τους λόγω των νέων τεχνολογικών εξελίξεων, είναι μεγάλο. Επομένως, μια ξαφνική μείωση της ζήτησης επηρεάζει τη γενικότερη οικονομική κατάσταση της εταιρίας. Επιπλέον, οι πελάτες ζητούν τη "συμμετοχή" τους στη διαδικασία σχεδιασμού, προκειμένου τα προϊόντα να ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις και ανάγκες τους (customize). Έτσι, περνάμε στην κατασκευή προϊόντων επί παραγγελία (build-to-order). Με τον όρο build-to-order εννοούμε πως, η διαδικασία παραγωγής ή συναρμολόγησης "ημιτελών" εξαρτημάτων ξεκινάει αμέσως μετά την παραγγελία από τον κάθε πελάτη, και στόχος, πλέον, είναι η πλήρη ικανοποίηση των καταναλωτών (σχήμα 2.1.b) (Sharma and La Placa, 2005). Παράλληλα, η χρήση καινούριων τεχνολογιών και ευέλικτων συστημάτων κατασκευής ελαττώνει τα συνολικά κόστη παραγωγής. Οι εργάτες συμμετέχουν υπεύθυνα στην κατασκευή, οι σχεδιαστές συνεργάζονται με τους πελάτες, και η χρήση του ηλεκτρονικού εμπορίου διευκολύνει τις συναλλαγές μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών (Lancioni et al.,2000; Ghiassi and Spera, 2003). Επιπλέον, η εφαρμογή Just-In-Time συστημάτων οργάνωσης και διαχείρισης της παραγωγής δεν επιτρέπει τη διατήρηση αποθεμάτων σε μεγάλες ποσότητες, και με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται αποθηκευτικός χώρος και χρήματα από το κεφάλαιο που δε δεσμεύεται (Gunasekaran and Ngai, 2005; Sharma and La Placa, 2005). Αυτός ο τύπος παραγωγής χρησιμοποιήθηκε από πολλές βιομηχανίες έως τα μέσα της δεκαετίας του '90.

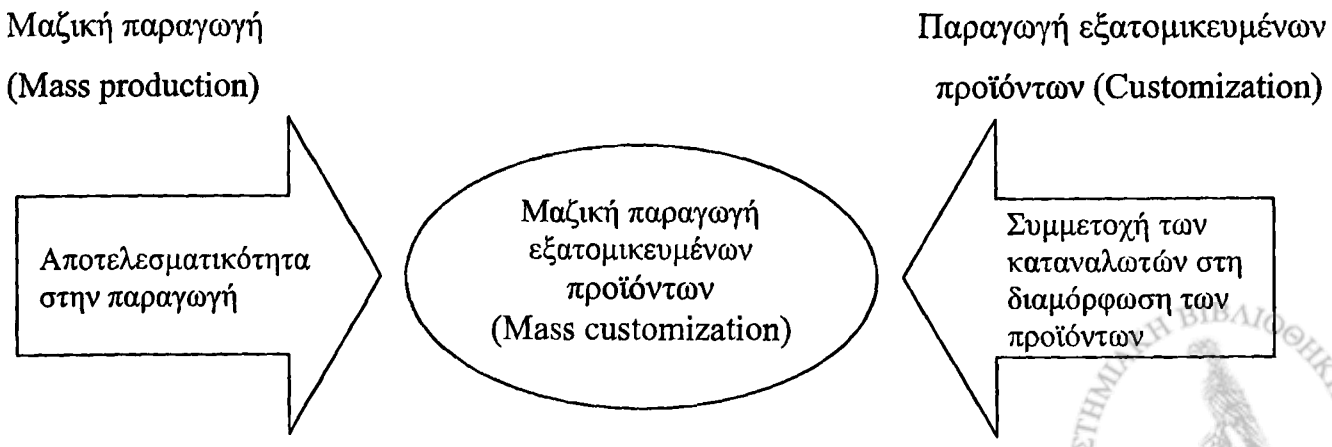


Σχήμα 2.1.a : Παραδοσιακός τρόπος παραγωγής



Σχήμα 2.1.b : Build-to-order τρόπος παραγωγής

Η εξέλιξη των μεθόδων κατασκευής και η αυξανόμενη ζήτηση οδηγούν στη μαζική εξατομικευμένη παραγωγή προϊόντων επί παραγγελία (mass customization), σύμφωνα με την οποία οι λειτουργίες μιας εταιρίας και η οργανωτική δομή της προσαρμόζονται στις απαιτήσεις των πελατών και παρέχουν έτσι, προϊόντα με ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (Sellandurai, 2004). Ο Pine (1999) όρισε την mass customization σαν τον τρόπο παραγωγής, που γίνεται με τη χρήση τεχνικών της μαζικής παραγωγής (mass production) για τη γρήγορη συναρμολόγηση αγαθών και υπηρεσιών, αλλά η διαμόρφωση και ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τις ιδιαίτερες ανάγκες και προτιμήσεις των καταναλωτών. Έτσι, η μαζική παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων (mass customization) δίνει μικρό κόστος κατασκευής για προϊόντα υψηλής ποιότητας που επιλέγονται από τους ίδιους τους πελάτες και δημιουργεί οικονομίες κλίμακος (σχήμα 2.2) (Pine, 1999; Berman, 2002; Svensson and Barfod, 2002).



Σχήμα 2.2 : Μαζική παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων (Mass customization).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Η μαζική παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων (mass customization) εφαρμόζεται από τα μέσα της δεκαετίας του '90 έως σήμερα σε πολλές βιομηχανίες, όπως η Dell, η Hewlett-Packard, η Motorola, η BMW και η Ford.

2.3 Διαφορές παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία (customization) και μαζικής παραγωγής τυποποιημένων προϊόντων (mass production)

Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία και μαζικής παραγωγής εντοπίζονται σε τέσσερα βασικά πεδία - κατευθύνσεις : 1) Συνολικός προγραμματισμός και πρόβλεψη, 2) Στρατηγική αποφάσεων που αφορά στη διαχείριση παραγωγής, 3) Εφοδιαστική αλυσίδα και διοικητική μέριμνα (logistics) και 4) Προώθηση των προϊόντων και διαφήμιση (Berman, 2002; Salvador et al., Business Horizons, 2002; Gunasekaran and Ngai, 2005; Mukhopadhyay and Setoputro, 2005; Prasad et al., 2005; Sharma and La Placa, 2005).

1) Συνολικός προγραμματισμός και πρόβλεψη :

Στην build-to-order παραγωγή η βάση για την κατασκευή προϊόντων είναι οι παραγγελίες των πελατών που επιλέγουν το συγκεκριμένο τύπο αγαθού, συνεπώς η ζήτηση είναι προκαθορισμένη. Έτσι, η παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων αποτελεί ένα pull σύστημα ελέγχου, εφόσον αυτή ενεργοποιείται ως αντίδραση στην τρέχουσα ζήτηση. Οι αποφάσεις για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και λειτουργίες του προϊόντος παίρνονται μέσα από τον διαρκή διάλογο σχεδιαστών και καταναλωτών. Η κατασκευή, όμως, ξεκινάει μετά την παραγγελία από τον πελάτη και ο χρόνος ανοχής (lead time) είναι σχετικά μεγάλος, εφόσον το προϊόν δεν είναι ολοκληρωμένο και έτοιμο προς πώληση.

Στην τυποποιημένη μαζική παραγωγή, η κατασκευή βασίζεται στις προβλέψεις, και οι προβλέψεις αυτές ωθούν την παραγωγή, οπότε αναφερόμαστε σε ένα push σύστημα ελέγχου, και τα προϊόντα απευθύνονται σε ένα ευρύτερο αγοραστικό κοινό. Ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις αποφάσεις της εταιρίας, η οποία ακολουθεί ένα σταθερό πρόγραμμα παραγωγής. Ο χρόνος ανοχής, εδώ, είναι πολύ μικρός, και στόχος της εταιρίας είναι η σωστή διαχείριση της ζήτησης, ενώ στην customized παραγωγή επιδιώκουμε τη σωστή διαχείριση των απαιτήσεων και ιδιαίτερων αναγκών των καταναλωτών.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

2) Στρατηγική αποφάσεων που αφορά στη διαχείριση παραγωγής :

Η εφαρμογή της customization παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων που βασίζονται στη "μοναδικότητα" προτιμήσεων των καταναλωτών, και συνήθως παράγουμε μικρότερες ποσότητες αγαθών με μεγαλύτερη ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Δημιουργούνται, έτσι, αποδόσεις προοπτικής (scope efficiencies) με βασικό σκοπό την πλήρη ικανοποίηση των πελατών. Η μεγάλη διαφοροποίηση των προϊόντων επιβάλλει μικρούς κύκλους εξέλιξης και ανάπτυξης της παραγωγής και χρήση ευέλικτων συστημάτων. Προκειμένου να πετύχουμε εξοικονόμηση κόστους, θα πρέπει να μειώσουμε το χρόνο προετοιμασίας και εκκίνησης της γραμμής παραγωγής (set-up time), καθώς επίσης και το χρόνο που απαιτείται για το πέρασμα στην επόμενη διαδικασία κατασκευής από την ίδια γραμμή παραγωγής (changeover time). Ένας άλλος παράγοντας εξοικονόμησης κόστους, εδώ, είναι οι μικρές ποσότητες αποθεμάτων που διατηρούνται, εφόσον η παραγωγή δεν βασίζεται στην πρόβλεψη της ζήτησης και η πώληση γίνεται, ουσιαστικά, με την έναρξη της παραγγελίας. Επίσης, στην build-to-order στρατηγική οι τιμές πώλησης δεν περιλαμβάνουν εκπτώσεις και οι εταιρίες έχουν τη δυνατότητα να χρεώνουν υψηλότερες τιμές για προϊόντα, περισσότερο εξατομικευμένα, ενώ οι επιστροφές γενικά δεν επιτρέπονται. Οι πολιτικές επιστροφών εφαρμόζονται μόνο στην περίπτωση που έχουμε χρησιμοποιήσει modular σχεδιασμό. Τότε, το επιστρεφόμενο προϊόν μπορεί να αποσυναρμολογηθεί στις επιμέρους συνιστώσες του, οι οποίες χρησιμοποιούνται ξανά στην κατασκευή άλλων προϊόντων.

Στον παραδοσιακό τρόπο μαζικής παραγωγής, προκαθορισμένου σχεδιασμού, έχουμε μικρή ποικιλία "έτοιμων" προϊόντων σε μεγάλες ποσότητες. Ο μεγάλος όγκος παραγωγής δημιουργεί οικονομίες κλίμακος (economies of scale). Τότε, όμως, τα επίπεδα αποθεμάτων που διατηρούνται είναι υψηλά και έχουμε αυξημένη έκθεση της εταιρίας στον κίνδυνο ζημίας που οφείλεται στην απαξίωση των αποθεμάτων αυτών. Η εξοικονόμηση κόστους, στην περίπτωση της μαζικής παραγωγής, γίνεται μέσω της συνεχούς, αλληλένδετης και σταθερής γραμμής παραγωγής, και της επαναλαμβανόμενης κατασκευής παρόμοιων προϊόντων με περιορισμένες διαφοροποιήσεις. Η οικονομική ρευστότητα της εταιρίας περιορίζεται από τα υψηλά επίπεδα αποθεμάτων, και για το λόγο αυτό οι τιμές πώλησης περιλαμβάνουν εκπτώσεις και οι επιστροφές επιτρέπονται, αν και είναι ανεπιθύμητες, εφόσον η πιθανότητα μη ικανοποίησης του πελάτη είναι μεγάλη.

3) Εφοδιαστική αλυσίδα και διοικητική μέριμνα (logistics) :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Μια εταιρία, η οποία χρησιμοποιεί τη στρατηγική παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων, πρέπει, όχι μόνο να παράγει αποτελεσματικά, αλλά και να ταξινομεί, να μεταφέρει και να παραδίδει μικρές, αλλά συγκεκριμένες, ποσότητες εμπορεύματος που βασίζονται στις παραγγελίες των πελατών. Οι διαφοροποιήσεις και η μεγάλη ποικιλία στα προϊόντα επιβάλλουν την ύπαρξη συντονισμού και καλής συνεργασίας ανάμεσα στα μέλη μιας τέτοιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι εταιρίες θα πρέπει να επικοινωνούν συνεχώς με τους προμηθευτές και τα κέντρα διανομής τους και να αναπτύσσουν σχέσεις εμπιστοσύνης, που θα τους επιτρέπουν να ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τις ιδιαίτερες ανάγκες και προτιμήσεις των καταναλωτών τους, το μέγεθος των παραγγελιών, τον τρόπο σχεδιασμού και παραγωγής που θα ακολουθήσουν, τις πηγές προμήθειας των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν, τα επίπεδα αποθέματος και την άμεση και υπεύθυνη παράδοση στους πελάτες. Έτσι, πετυχαίνουμε "ολική ολοκλήρωση" και τη μέγιστη απόδοση, που αφορά στο συντονισμό μιας build-to-order εφοδιαστικής αλυσίδας. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφέρουμε πως με τη χρήση του modular σχεδιασμού, σε προϊόντα επί παραγγελία, μπορούμε να ελαττώσουμε τον αριθμό των προμηθευτών, εφόσον τα ίδια, ανεξάρτητα μεταξύ τους, εξαρτήματα (modules) χρησιμοποιούνται και για την παραγωγή άλλων παρόμοιων προϊόντων που κατασκευάζει η εταιρία (Mukhopadhyay and Setoputro, 2005).

Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή της μαζικής παραγωγής εστιάζει στην κατασκευή, στη διαχείριση και στη μεταφορά παραγγελιών για μεγάλες ποσότητες του ίδιου εμπορεύματος και χρησιμοποιεί την "κάθετη ολοκλήρωση". Τα προϊόντα, δηλαδή, κατασκευάζονται εξολοκλήρου από την ίδια την εταιρία, λόγω της μικρής διαφοροποίησής τους και του μεγάλου όγκου παραγωγής. Οπότε, ο αριθμός των προμηθευτών είναι μικρότερος και η εταιρία έχει τον πλήρη έλεγχο για τη λήψη αποφάσεων. Τότε, οι έμποροι χονδρικής και λιανικής πώλησης, δημιουργούν, πρώτα, μεγάλα επίπεδα αποθεμάτων ασφαλείας, "αδιαφορώντας" για τις ανάγκες των καταναλωτών, και έπειτα τα πουλούν στους πελάτες. Σε αυτόν τον τύπο εφοδιαστικής αλυσίδας, λοιπόν, είναι εμφανής η απουσία διαλόγου και η έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των μελών της.

4) Προώθηση των προϊόντων και διαφήμιση :

Στην build-to-order περίπτωση, η κατασκευή του προϊόντος ξεκινάει αμέσως μετά την παραγγελία από τον πελάτη και αφορά στην τρέχουσα ζήτηση. Συνεπώς, η προώθηση του συγκεκριμένου αγαθού γίνεται μέσω της διαφήμισης των δυνατοτήτων και των λειτουργιών του.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Στην περίπτωση, όμως, της μαζικής παραγωγής τυποποιημένων προϊόντων, η διαφήμιση των αγαθών γίνεται μέσω του "έτοιμου προς πώληση" εμπορεύματος, απευθύνεται σε ένα ευρύτερο κοινό, στοχεύει σε ένα μέσο όρο αγοραστών και στηρίζεται στην προβλεπόμενη μελλοντική ζήτηση.

Οι παραπάνω διαφορές μεταξύ παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία (customization) και μαζικής παραγωγής (mass production) μπορούν, για λόγους ευκολίας, να ομαδοποιηθούν ως εξής :

	παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία (customization)	μαζική παραγωγή (mass production)
	Συνολικός προγραμματισμός και πρόβλεψη	
1	Η παραγωγή βασίζεται σε συγκεκριμένες παραγγελίες πελατών και ξεκινάει μετά την παραγγελία.	Η κατασκευή βασίζεται στις προβλέψεις, και οι προβλέψεις αυτές ωθούν την παραγωγή.
2	Η ζήτηση είναι προκαθορισμένη.	Η ζήτηση δεν είναι προκαθορισμένη και παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις.
3	Η customization αποτελεί ένα pull σύστημα ελέγχου παραγωγής.	Η μαζική παραγωγή αποτελεί ένα push σύστημα ελέγχου παραγωγής.
4	Οι αποφάσεις για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και λειτουργίες του προϊόντος παίρνονται μέσα από τον διαρκή διάλογο σχεδιαστών και καταναλωτών.	Ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις αποφάσεις της εταιρίας, η οποία ακολουθεί ένα σταθερό πρόγραμμα παραγωγής.
5	Ο χρόνος ανοχής (lead time) είναι σχετικά μεγάλος.	Ο χρόνος ανοχής είναι πολύ μικρός.
6	Διαχείριση των απαιτήσεων και ιδιαίτερων αναγκών των καταναλωτών.	Διαχείριση της ζήτησης.
	Στρατηγική αποφάσεων που αφορά στη διαχείριση παραγωγής	
7	Παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων που βασίζονται στη "μοναδικότητα" προτιμήσεων των καταναλωτών.	Παραγωγή προϊόντων προκαθορισμένου σχεδιασμού.

8	Παραγωγή μικρότερων ποσοτήτων.	Παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων.
9	Μεγαλύτερη ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στα προϊόντα.	Μικρή ποικιλία "έτοιμων" προϊόντων.
10	Δημιουργούνται αποδόσεις προοπτικής (scope efficiencies) με βασικό σκοπό την πλήρη ικανοποίηση των πελατών.	Δημιουργούνται οικονομίες κλίμακος (economies of scale).
11	Μικροί κύκλοι εξέλιξης και ανάπτυξης της παραγωγής και χρήση ευέλικτων συστημάτων.	Ομαδοποιημένες διαδικασίες χειρισμού και συνεχής-σταθερή γραμμή παραγωγής.
12	Πετυχαίνουμε εξοικονόμηση κόστους, εάν μειώσουμε το χρόνο προετοιμασίας και εκκίνησης της γραμμής παραγωγής (set-up time) και το χρόνο που απαιτείται για το πέρασμα στην επόμενη διαδικασία κατασκευής από την ίδια γραμμή παραγωγής (changeover time).	Η εξοικονόμηση κόστους γίνεται μέσω της σταθερής γραμμής παραγωγής και της επαναλαμβανόμενης κατασκευής παρόμοιων προϊόντων με περιορισμένες διαφοροποιήσεις.
13	Έχουμε μικρές ποσότητες αποθεμάτων που διατηρούνται.	Τα επίπεδα αποθεμάτων που διατηρούνται είναι υψηλά.
14	Οι τιμές πώλησης δεν περιλαμβάνουν εκπτώσεις και οι εταιρίες έχουν τη δυνατότητα να χρεώνουν υψηλότερες τιμές για εξατομικευμένα προϊόντα.	Η οικονομική ρευστότητα της εταιρίας περιορίζεται από τα υψηλά επίπεδα αποθεμάτων, και για το λόγο αυτό οι τιμές πώλησης περιλαμβάνουν εκπτώσεις.
15	Οι επιστροφές γενικά δεν επιτρέπονται. Πολιτικές επιστροφών εφαρμόζονται μόνο στην περίπτωση που έχουμε χρησιμοποιήσει modular σχεδιασμό.	Οι επιστροφές επιτρέπονται, αν και είναι ανεπιθύμητες, εφόσον η πιθανότητα μη ικανοποίησης του πελάτη είναι μεγάλη.
	Εφοδιαστική αλυσίδα και διοικητική μέριμνα (logistics)	
16	Ταξινόμηση, μεταφορά και παράδοση μικρών ποσοτήτων εμπορεύματος που βασίζονται στις παραγγελίες των εκάστοτε πελατών.	Διαχείριση και μεταφορά παραγγελιών για μεγάλες ποσότητες του ίδιου εμπορεύματος.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

17	"ολική ολοκλήρωση" που αφορά στο συντονισμό και στη διαρκή επικοινωνία ανάμεσα στα μέλη μιας build-to-order εφοδιαστικής αλυσίδας.	"κάθετη ολοκλήρωση" στην οποία η εταιρία έχει τον πλήρη έλεγχο για τη λήψη αποφάσεων.
18	Ο αριθμός των προμηθευτών είναι μεγάλος, και ελαττώνεται με τη χρήση του modular σχεδιασμού.	Ο αριθμός των προμηθευτών είναι μικρότερος.
19	Συνήθως, η πώληση γίνεται με την έναρξη της παραγγελίας, και για το λόγο αυτό δεν έχουμε διατήρηση αποθεμάτων.	Οι έμποροι χονδρικής και λιανικής πώλησης, δημιουργούν, μεγάλα επίπεδα αποθεμάτων ασφαλείας, και έπειτα τα πουλούν στους πελάτες.
Προώθηση των προϊόντων και διαφήμιση		
20	Η προώθηση του συγκεκριμένου αγαθού γίνεται μέσω της διαφήμισης των δυνατοτήτων και των λειτουργιών του.	Η διαφήμιση των αγαθών γίνεται μέσω του "έτοιμου προς πώληση" εμπορεύματος.
21	Τα προϊόντα απευθύνονται σε συγκεκριμένους πελάτες που επιλέγουν το συγκεκριμένο τύπο αγαθού.	Τα προϊόντα απευθύνονται σε ένα ευρύτερο κοινό, και η διαφήμισή τους στοχεύει σε ένα μέσο όρο αγοραστών.

Πίνακας 2.1 : Διαφορές μεταξύ παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία και μαζικής παραγωγής.

2.4 Οργάνωση και εφαρμογή

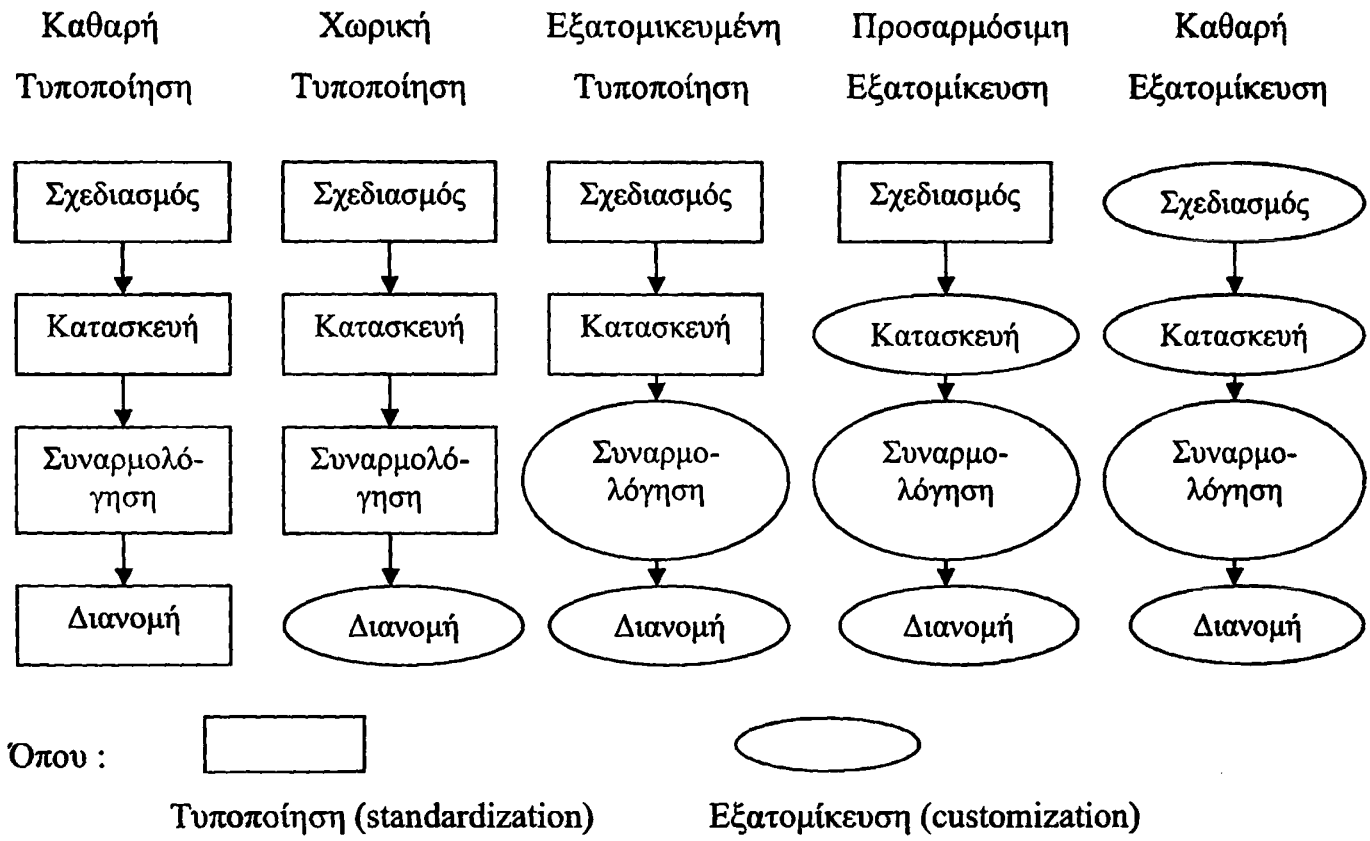
2.4.1 Ταξινόμηση της εξατομικευμένης παραγωγής (customization)

Οι τρόποι παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων που χρησιμοποιούν οι διάφορες βιομηχανίες παραγωγής ποικίλλουν, και προσαρμόζονται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και στη γενικότερη δομή της εκάστοτε εταιρίας. Ο Duray (2002) θεώρησε δύο βασικές παραμέτρους επιτυχούς εφαρμογής μιας customized παραγωγής : 1) τη συμμετοχή των πελατών (customer

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

involvement) και 2) τη χρήση του σπονδυλωτού σχεδιασμού (modularity) στη διαδικασία παραγωγής.

Οι Lampel and Mintzberg (1996) είχαν πρώτοι κατασκευάσει ένα σύστημα ταξινόμησης της customization παραγωγής, το οποίο βασίζεται στο βαθμό της συμμετοχής των πελατών στη διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής, συναρμολόγησης και διανομής (πώληση και τελική χρήση) του προϊόντος (σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 : Κατηγοριοποίηση σε σχέση με το βαθμό συμμετοχής των πελατών στα διάφορα στάδια παραγωγής.

1. Ο πρώτος τύπος customization είναι η χωρική τυποποίηση (segment standardization) και είναι η περίπτωση στην οποία οι πελάτες συμμετέχουν μόνο στο τελευταίο στάδιο παραγωγής, αυτό της διανομής. Οι καταναλωτές, δηλαδή, μπορούν να επηρεάσουν τη διανομή και να επιλέξουν τα σημεία και τον τρόπο πώλησης των προϊόντων (π.χ. πρακτορεία εφημερίδων, παντοπωλεία, διοικητικές υπηρεσίες κ.τ.λ.)

2. Ο δεύτερος τύπος αναφέρεται στην εξατομικευμένη τυποποίηση (customized standardization), όπου οι πελάτες συμμετέχουν στα δύο τελευταία στάδια παραγωγής, στη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

συναρμολόγηση και στη διανομή. Σύμφωνα με αυτήν, οι αποφάσεις των καταναλωτών επηρεάζουν τις λειτουργίες σχεδιασμού και κατασκευής ως προς τη modularity, αλλά τα modules (πρότυπα συναρτησιακά στοιχεία και εξαρτήματα ανεξάρτητα μεταξύ τους) τα οποία θα χρησιμοποιηθούν επιλέγονται από τους κατασκευαστές της εταιρίας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αποτελούν τα κινητά τηλέφωνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

3. Ο τελευταίος τύπος είναι η προσαρμόσιμη εξατομίκευση (tailored customization), στην οποία οι αποφάσεις των καταναλωτών επηρεάζουν την κατασκευή, τη συναρμολόγηση και τη διανομή. Παραδείγματα εφαρμογής αυτού του τύπου customization έχουμε στην παραγωγή αυτοκινήτων και βιομηχανικού εξοπλισμού.

Αργότερα οι Svensson and Barfod (2002) πρόσθεσαν στην παραπάνω ταξινόμηση τους τύπους της καθαρής τυποποίησης (pure standardization), στον οποίο οι πελάτες δεν συμμετέχουν καθόλου στην παραγωγή, και της καθαρής εξατομίκευσης (pure customization), στον οποίο οι πελάτες έχουν τον πλήρη έλεγχο της συνολικής παραγωγής (σχήμα 2.3).

Είναι φανερό, πως μια build-to-order στρατηγική παραγωγής εφαρμόζει είτε την εξατομικευμένη τυποποίηση είτε την προσαρμόσιμη ή την καθαρή εξατομίκευση.

Ο Duray (2002) στην ταξινόμησή του όρισε τέσσερα βασικά αρχέτυπα της customization συνδυάζοντας τη συμμετοχή των πελατών (customer involvement) και τη χρήση του σπονδυλωτού σχεδιασμού (modularity) στη διαδικασία παραγωγής (Πίνακας 2.2). Αυτά είναι :

1. Fabricators : Σε αυτόν τον τύπο παραγωγής, τόσο η συμμετοχή των πελατών, όσο και η modularity περιλαμβάνονται στα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής.

2. Involvers : Εδώ, η συμμετοχή των πελατών καθορίζει τα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής, αλλά η modularity χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης και της διανομής.

3. Modularizers : Αυτός ο τύπος παραγωγής περιλαμβάνει τη συμμετοχή των πελατών στη συναρμολόγηση και τη διανομή, αλλά η modularity εφαρμόζεται νωρίτερα, στα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής.

4. Assemblers : Η περίπτωση αυτή πλησιάζει περισσότερο στην τυποποίηση, και τόσο η συμμετοχή των πελατών, όσο και η modularity περιλαμβάνονται μόνο στα στάδια συναρμολόγησης και διανομής.

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Τύποι customization	Παράμετροι επιτυχούς εφαρμογής της customization παραγωγής	
	Συμμετοχή των πελατών (customer involvement)	Σπονδυλωτός σχεδιασμός (modularity)
Fabricators	Σχεδιασμός και Κατασκευή	Σχεδιασμός και Κατασκευή
Involvers	Σχεδιασμός και Κατασκευή	Συναρμολόγηση και Διανομή
Modularizers	Συναρμολόγηση και Διανομή	Σχεδιασμός και Κατασκευή
Assemblers	Συναρμολόγηση και Διανομή	Συναρμολόγηση και Διανομή

Πίνακας 2.2 : Οι τέσσερις τύποι customization που όρισε ο Duray συνδυάζοντας τη συμμετοχή των πελατών (customer involvement) και τη χρήση σπονδυλωτού σχεδιασμού (modularity) στη διαδικασία παραγωγής.

Έτσι, ο Duray ορίζει την mass customization σαν την μαζική παραγωγή προϊόντων, σύμφωνα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις και ανάγκες των πελατών, με τη βοήθεια χρήσης modular εξαρτημάτων, προκειμένου να πετύχουμε οικονομίες κλίμακος.

2.4.2 Ρυθμιστικοί παράγοντες που ωθούν τις εταιρίες στην υιοθέτηση παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία και προϋποθέσεις επιτυχούς εφαρμογής της

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες που ωθούν τις βιομηχανίες στην υιοθέτηση της μεθόδου παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων είναι η φύση του σύγχρονου αγοραστικού κοινού. Οι απαιτήσεις και οι αυξανόμενες ανάγκες των καταναλωτών επιβάλλουν την παραγωγή προϊόντων με ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και λειτουργιών. Οι πελάτες θέλουν να "συμμετέχουν" στη διαδικασία σχεδιασμού και παραγωγής, προκειμένου τα προϊόντα να ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες προτιμήσεις τους, που αφορούν τόσο στην ποιότητα και στις δυνατότητες που αυτά θα παρέχουν, όσο και στην αισθητική τους. Τότε, η διακύμανση στη ζήτηση είναι μεγάλη, οι διαφοροποιήσεις στα προϊόντα πολλές και οι εταιρίες έχουν, πλέον, ως βασικό στόχο τους την πλήρη ικανοποίηση των πελατών, έτσι ώστε να αντισταθμίσουν τις αρνητικές συνέπειες που θα έχει μια πιθανή πτώση των πωλήσεών τους. Συνεπώς, βιομηχανίες που αντιμετωπίζουν ποικιλία στη ζήτηση (diversity in demand) των προϊόντων τους είναι αυτές

που κινούνται πιο γρήγορα προς την υιοθέτηση μιας build-to-order στρατηγικής, και χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εταιρίες κατασκευής επίπλων γραφείου. Βέβαια, η γενικότερη φύση των προϊόντων επηρεάζει το βαθμό στον οποίο μια εξατομικευμένη παραγωγή μπορεί να είναι εφαρμόσιμη. Είδη εμπορίου όπως σιτάρι, καλαμπόκι, λάδι, πετρέλαιο, βενζίνη κ.τ.λ., καθώς επίσης και επιχειρήσεις ύδρευσης και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας δεν επιδέχονται εξατομίκευση, είτε λόγω του τύπου των αγαθών που παράγουν, είτε για λόγους ασφαλείας των καταναλωτών.

Η διεθνοποίηση της αγοράς δημιουργεί "συμμαχίες" και συγχωνεύσεις μεταξύ των εταιριών, ενώ ο διαρκής και αυξανόμενος, οικονομικός κυρίως, ανταγωνισμός επιβάλλει σχέσεις συνεργασίας για τις βιομηχανίες και τους προμηθευτές τους. Οι εταιρίες πετυχαίνουν, έτσι, μεγάλες διαφοροποιήσεις στα προϊόντα που προσφέρουν και ένας ασφαλής τρόπος για εξοικονόμηση κόστους παραγωγής και διατήρησης αποθεμάτων είναι η εφαρμογή μιας build-to-order στρατηγικής.

Ένας ακόμη λόγος, που επιτρέπει στις εταιρίες την αποτελεσματική εφαρμογή της build-to-order παραγωγής είναι η ταχύτατη εξέλιξη της τεχνολογίας και η χρήση ευέλικτων συστημάτων παραγωγής (highly flexible technologies) που μειώνουν τα κόστη κατασκευής προϊόντων με πολλές διαφοροποιήσεις. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε μέσω της ανεξαρτησίας στα στάδια παραγωγής ή με τη χρήση κοινού εξοπλισμού και πρώτων υλών για την κατασκευή διαφορετικών εξαρτημάτων και αγαθών με μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών. Επομένως, βιομηχανίες με μικρό κόστος προσαρμογής της παραγωγής τους στις ιδιαίτερες απαιτήσεις των πελατών τους, είναι εκείνες που υιοθετούν άμεσα την customized στρατηγική. Για παράδειγμα, οι περισσότερες βιομηχανίες ηλεκτρονικών υπολογιστών, στις οποίες παρατηρείται μια συνεχής εξέλιξη των προϊόντων τους, εφαρμόζουν μια τέτοια στρατηγική που επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν υπολογιστές με δυνατότητες που αυτοί επιθυμούν.

Στην αντίθετη περίπτωση, στην οποία τα διάφορα συστήματα παραγωγής είναι μεν πολύπλοκα, αλλά ο εξοπλισμός που ήδη προϋπάρχει στην εταιρία είναι ακριβός (legacy systems) και η υποδομή αυτή προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, οι βιομηχανίες είναι απρόθυμες να αγοράσουν καινούριας τεχνολογίας ευέλικτα μηχανήματα. Τέτοιου είδους πληροφοριακά συστήματα και βάσεις δεδομένων εφαρμόζονται, κυρίως, στις αεροπορικές εταιρίες, καθώς επίσης και στις αυτοκινητοβιομηχανίες.

Από τους πιο βασικούς, και ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας επιτυχούς εφαρμογής μιας build-to-order παραγωγής, είναι η χρήση του modular σχεδιασμού στα εξατομικευμένα

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

προϊόντα. Με τον όρο αυτό, εννοούμε το σχεδιασμό και την παραγωγή εκείνη που βασίζεται στους κατάλληλους συνδυασμούς διαφορετικών, ανεξάρτητων μεταξύ τους, εξαρτημάτων (modules ή subassemblies), τα οποία συνιστούν το επί παραγγελία προϊόν. Καταλήγουμε, τότε, σε μια δομή "ευέλικτου" σχεδιασμού που ονομάζουμε σπονδυλωτή σχεδίαση (modularity), η οποία περιγράφει τη χρήση κοινών εξαρτημάτων, προκειμένου να έχουμε ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στα προϊόντα. Έτσι, μπορούμε να παράγουμε μεγάλες ποσότητες modular εξαρτημάτων, τα οποία θα μοιράζονται σε πολλά προϊόντα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται οικονομίες κλίμακος, όπως ακριβώς και στην τυποποιημένη παραδοσιακή μαζική παραγωγή (mass production).

Η παραπάνω δομή σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικότερα σε συνδυασμό με τις στρατηγικές αναβολών (postponement strategies). Οι στρατηγικές αυτές, αναφέρονται στις σκόπιμες καθυστερήσεις που μπορούν να γίνουν στα διάφορα στάδια παραγωγής, ώστε να πάρουμε το τελικό προϊόν μετά την παραγγελία από τον πελάτη. Δηλαδή, ένα μόνο μέρος του προϊόντος είναι ολοκληρωμένο, έως ότου έχουμε την παραγγελία, και με αυτόν τον τρόπο μπορούμε εύκολα να ανταποκριθούμε σε ενδεχόμενες αλλαγές. Επομένως, η εταιρία κατασκευάζει πρώτα τα διάφορα modular εξαρτήματα, δημιουργεί από αυτά ημιτελή προϊόντα (semi-finished products), και τελικά συναρμολογεί το προϊόν με βάση τα χαρακτηριστικά που ο πελάτης επιθυμεί να έχει. Βέβαια, αναβάλλοντας την εξατομίκευση για τα τελευταία στάδια παραγωγής, η εταιρία μπορεί να προωθήσει και να διαφημίσει την ποικιλία δυνατοτήτων που προσφέρει ένα προϊόν, αλλά δεν μπορεί να το αποθηκεύσει ολοκληρωμένο (integrated). Μειώνει, έτσι, το κόστος κατασκευής ανά μονάδα προϊόντος και επιπλέον, ελαττώνει το επίπεδο αποθεμάτων ολοκληρωμένων προϊόντων. Τα αποθέματα τα οποία διατηρούνται, πλέον, είναι εξαρτήματα modules (πρότυπα συναρτησιακά στοιχεία) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αρκετά διαφορετικά εμπορεύματα και δεν χάνουν την αξία τους σε μια ξαφνική διακύμανση της ζήτησης.

Κλασσικό παράδειγμα συνδυασμού της σπονδυλωτής σχεδίασης (modularity) και της στρατηγικής αναβολών αποτελεί η εταιρία παραγωγής ειδών ρουχισμού Benetton, η οποία εφαρμόζει την παραπάνω στρατηγική στο στάδιο της βαφής. Κατασκευάζει, δηλαδή, πρώτα τα ρούχα και έπειτα τα βάφει, σύμφωνα με την τάση της μόδας και τη ζήτηση. Η μεγάλη ποικιλία διαφορετικών αποχρώσεων προκύπτει από τους συνδυασμούς δοσμένου συνόλου χρωμάτων.

Οι διαφοροποιήσεις στον τρόπο παραγωγής, η μεγάλη ποικιλία στα προϊόντα και η προμήθεια κατάλληλου εξοπλισμού και πρώτων υλών επιβάλλουν την ύπαρξη συντονισμού και

καλής συνεργασίας (ολική ολοκλήρωση) ανάμεσα στα μέλη μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία χρησιμοποιεί build-to-order παραγωγή. Οι εταιρίες πρέπει να επικοινωνούν συνεχώς με τους προμηθευτές και τα κέντρα διανομής τους διευκολύνοντας, έτσι, τη ροή πληροφοριών, και να αναπτύσσουν σχέσεις εμπιστοσύνης με τους καταναλωτές των προϊόντων τους.

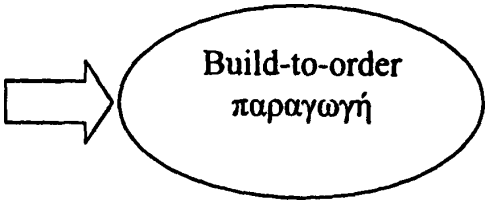
Βασική προϋπόθεση για τη γρήγορη υιοθέτηση της build-to-order παραγωγής αποτελεί η πελατειακή γνώση (customer knowledge). Από τη μια πλευρά, οι κατασκευαστές θα πρέπει να γνωρίζουν πολύ καλά τη δομή των προϊόντων που παράγουν, ώστε να μπορούν να τα προσαρμόσουν εύκολα στις ιδιαίτερες προτιμήσεις των καταναλωτών. Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει και οι πελάτες να ενημερώνονται, για τα προϊόντα που προσφέρονται και για τις δυνατότητες που τους παρέχονται μέσω των λειτουργιών τους. Επιβάλλεται, δηλαδή, μια διαρκής επικοινωνία και μια καλή συνεργασία (strong customer relations), που αφορά στη ροή των πληροφοριών σχετικά με το σχεδιασμό των προϊόντων και τις ανάγκες των πελατών.

Επιπλέον, η διαθεσιμότητα εφοδιαστικών συστημάτων direct-to-customer επιτρέπει την επιτυχή εφαρμογή μιας customized (εξατομικευμένης) παραγωγής. Θα πρέπει, δηλαδή, οι εταιρίες όχι μόνο να κατασκευάζουν προϊόντα επί παραγγελία, αλλά να μπορούν να τα μεταφέρουν κατευθείαν στους πελάτες τους, μέσω των κέντρων διανομής τους. Αυτό, φυσικά, επιβάλλει την ύπαρξη καλού συντονισμού και κατάλληλου εξοπλισμού, όπως φορτηγά και άλλα μέσα διανομής. Για παράδειγμα, μια αεροπορική εταιρία θα πρέπει να κάνει τις διάφορες κρατήσεις και να διαθέτει τα εισιτήριά της και μέσω του διαδικτύου για τη διευκόλυνση των πελατών της. Άλλες περιπτώσεις αφορούν ηλεκτρικά είδη, τα οποία παραδίδονται στο χώρο των πελατών.

Ένας ακόμη παράγοντας που διευκολύνει την εφαρμογή της build-to-order στρατηγικής είναι η χρήση του Internet και του ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce). Οι πελάτες μπορούν συνεχώς να ενημερώνονται για τα διάφορα προϊόντα και τις λειτουργίες τους γρήγορα και φθηνά Έτσι, οι περισσότερες εμπορικές συναλλαγές, αλλά και η επικοινωνία μεταξύ των μελών μιας τέτοιας εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να γίνουν εύκολα μέσω του διαδικτύου, και το πρόβλημα της γεωγραφικής απόστασης παύει να υφίστανται. Με αυτόν τον τρόπο, μία παραγγελία δίνεται μέσα σε λίγα μόνο δευτερόλεπτα, και επιτυγχάνεται καλύτερος συντονισμός μεταξύ κατασκευαστών, προμηθευτών και καταναλωτών.

Οι παραπάνω παράγοντες-προϋποθέσεις επιτυχούς εφαρμογής, και τα ρυθμιστικά μέτρα που αναλύσαμε μπορούν, για λόγους ευκολίας, να παρασταθούν γραφικά ως εξής :

- Ποικιλία στη ζήτηση και διαφοροποιήσεις των προϊόντων που προσφέρονται (diversity in demand-products)
- Χρήση ευέλικτων συστημάτων παραγωγής (highly flexible technologies)
- Μη ύπαρξη πολύπλοκων και ακριβών συστημάτων παραγωγής (few legacy systems)
- Χρήση modular σχεδιασμού
- Στρατηγικές αναβολών (postponement strategies)
- Ολική ολοκλήρωση και συντονισμός
- Πελατειακή γνώση (customer knowledge-strong customer relations)
- Direct-to-customer εφοδιαστικά συστήματα
- Χρήση του Internet και του ηλεκτρονικού εμπορίου



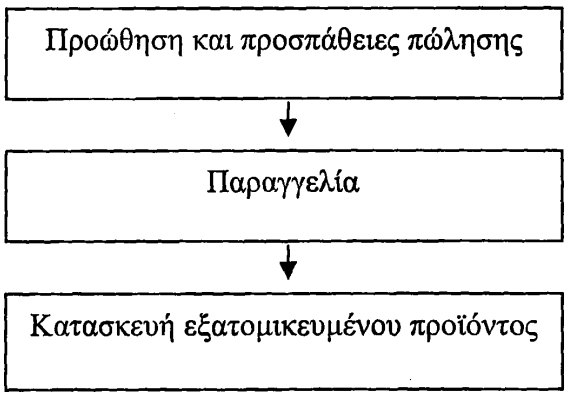
Σχήμα 2.4 : Ρυθμιστικοί παράγοντες που ωθούν τις εταιρίες στην επιτυχή και γρήγορη υιοθέτηση build-to-order παραγωγής.

Η Dell είναι από τις πρώτες βιομηχανίες κατασκευής ηλεκτρονικών υπολογιστών που εφάρμοσαν build-to-order παραγωγή. Η κατασκευή υπολογιστών και η συναρμολόγηση τυποποιημένων βασικών εξαρτημάτων ξεκινά με την έναρξη της παραγγελίας. Οι παραγγελίες αυτές γίνονται μέσω του διαδικτύου, και οι πελάτες έχουν τη δυνατότητα επιλογής των δυνατοτήτων που θα παρέχει το συγκεκριμένο προϊόν (το 90% των προϊόντων της Dell πωλούνται online). Επιπλέον, η Dell μείωσε τις δαπάνες σχεδιασμού και κατασκευής, στο 9.9% περίπου, με τη χρήση ευέλικτων συστημάτων παραγωγής και πέτυχε το χαμηλότερο κόστος μεταξύ των ανταγωνιστών της. Ακόμη, ελάττωσε τα κόστη διατήρησης αποθεμάτων, τα οποία αφορούν προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που χάνουν σταδιακά την αξία τους (τα τρέχοντα επίπεδα αποθεμάτων ασφαλείας διαρκούν για τέσσερις μόνο ημέρες), και τελικά αύξησε τα κέρδη της. Το παράδειγμα αυτό ακολούθησαν και άλλες εταιρίες. (Berman, 2002; Salvador et al., Business Horizons, 2002; Ghiassi and Spera, 2003; Sellandurai, 2004; Gunasekaran and Ngai, 2005; Krajewski et al., 2005; Prasad et al., 2005; Sharma and La Placa, 2005;).

2.4.3 Στρατηγικές προώθησης-διαφήμισης προϊόντων επί παραγγελία

Οι Sharma and La Placa (2005) διέκριναν δύο βασικούς τρόπους προώθησης εξατομικευμένων προϊόντων επί παραγγελία.

Στην πρώτη επιλογή προώθησης ενός customized προϊόντος η φιλοσοφία είναι : "build what is ordered", και σύμφωνα με αυτήν οι κατασκευαστές παράγουν, ακριβώς, το προϊόν εκείνο το οποίο επιλέγουν οι καταναλωτές. Η εταιρία, όμως, στην περίπτωση αυτή, διαφημίζει τις δυνατότητες που η ίδια διαθέτει και αφορούν είτε στον κατάλληλο εξοπλισμό, είτε στο ειδικευμένο προσωπικό που θα αναλάβει να παράγει το συγκεκριμένο προϊόν με βάση τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του πελάτη (σχήμα 2.5.a).



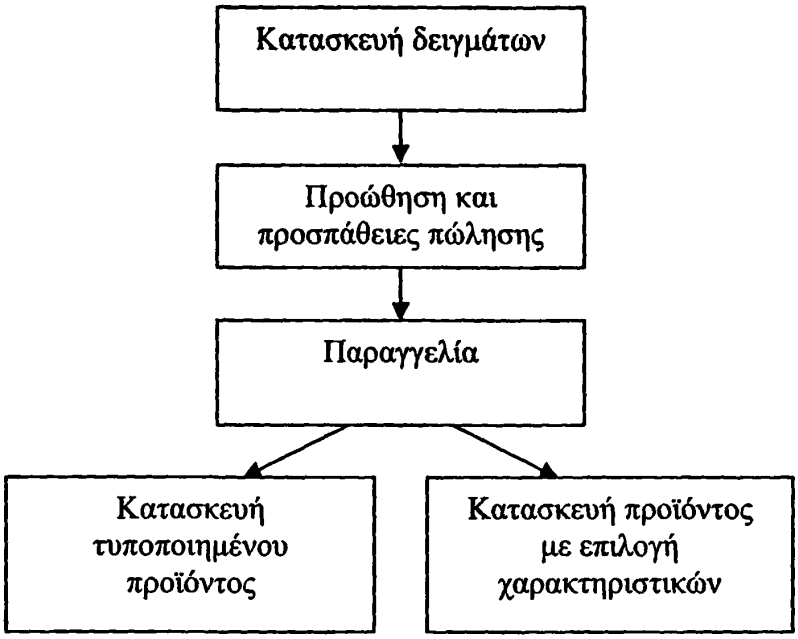
Σχήμα 2.5.a : Στρατηγική προώθησης build-to-order παραγωγής «προώθηση των δυνατοτήτων της εταιρίας : "build what is ordered"»

Παραδείγματα αυτού του τύπου προώθησης συναντάμε στις εταιρίες ανάπτυξης software λογισμικού. Οι εταιρίες διαθέτουν τους κατάλληλους προγραμματιστές (computer programmers), και προωθούν την ικανότητά τους να αναπτύξουν λογισμικό για μια σειρά εφαρμογών. Οι πελάτες περιγράφουν τους λόγους για τους οποίους θέλουν το συγκεκριμένο λογισμικό, και ύστερα από διάλογο με τους κατασκευαστές δίνουν την παραγγελία τους. Τότε, ξεκινά ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του "επί παραγγελία" software.

Στη δεύτερη περίπτωση, η φιλοσοφία είναι : "build as many as ordered", και σύμφωνα με αυτήν η εταιρία κατασκευάζει ένα προϊόν, αλλά όχι για να το διατηρήσει σαν απόθεμα. Παράγει ένα επαρκές δείγμα, το οποίο θα βοηθήσει τον πελάτη να αποφασίσει για την ποικιλία των

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και λειτουργιών του, και η κατασκευή του ξεκινάει αμέσως μετά την παραγγελία (σχήμα 2.5.b).



Σχήμα 2.5.b : Στρατηγική προώθησης build-to-order παραγωγής «προώθηση προϊόντων-δειγμάτων της εταιρίας : "build as many as ordered"»

Χαρακτηριστικά παραδείγματα, για αυτόν τον τρόπο προώθησης, αποτελούν οι βιομηχανίες παραγωγής επίπλων. Σχεδιάζουν, αρχικά, κάποια δείγματα καθιστικών, τραπεζαρίας, κρεβατοκάμαρας κ.τ.λ. και τα εκθέτουν στα διάφορα καταστήματα πώλησης. Τότε, οι πελάτες μπορούν να επιλέξουν τα έπιπλα που θέλουν, δίνοντάς τους τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που επιθυμούν και αφορούν, για παράδειγμα, κάποιες λεπτομέρειες αισθητικής ή διακοσμητικών στοιχείων. Στη συνέχεια, γίνεται η παραγγελία και η εταιρία αποφασίζει εάν η κατασκευή θα είναι τυποποιημένη ή περισσότερο εξατομικευμένη, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του κάθε πελάτη.

2.5 Επίδραση-συνέπειες και πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα μιας build-to-order στρατηγικής διαχείρισης της παραγωγής

Οι βασικότερες συνέπειες μιας build-to-order στρατηγικής διαχείρισης της παραγωγής παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί :

Build-to-order παραγωγή

⇩

- Μεγάλη ποικιλία προϊόντων και πολλές διαφοροποιήσεις στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες τους.
- Πλήρη ικανοποίηση των πελατών.
- Ολική ολοκλήρωση, υψηλό επίπεδο συντονισμού και δημιουργία πελατοκεντρικών οργανισμών (customer-centric organization), όπου η παραγωγή γίνεται με τη συνεργασία και τη συμμετοχή (co-creation)των καταναλωτών.
- Μείωση των αποθεμάτων που διατηρούνται.
- Υψηλότερες τιμές για προϊόντα περισσότερο εξατομικευμένα και καλύτερης ποιότητας
- Αποδιοργάνωση μηχανημάτων και εξοπλισμού παλιάς τεχνολογίας και χρήση καινούριων τεχνολογιών και ευέλικτων συστημάτων παραγωγής.
- Η μεγάλη ποικιλία στα προϊόντα και οι μικρές, συνήθως, ποσότητες παραγωγής τους αυξάνουν το κόστος και το χρόνο εκκίνησης (set-up cost and time), καθώς επίσης και το χρόνο προετοιμασίας που απαιτείται για το πέρασμα στην επόμενη διαδικασία κατασκευής από την ίδια γραμμή παραγωγής (changeover time).
- Χρήση modular σχεδιασμού και στρατηγικών αναβολής (postponement strategies).
- Η ύπαρξη ανεξαρτησίας στα διάφορα στάδια παραγωγής επιτρέπει αλλαγές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια μιας παραγγελίας.
- Ο χρόνος ανοχής για τον πελάτη είναι μεγάλος, και συνήθως δεν τηρούνται οι προκαθορισμένοι χρόνοι παράδοσης (delivery times), λόγω πιθανών αναθεωρήσεων και αλλαγών που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής.
- Χρήση του Internet και του ηλεκτρονικού εμπορίου.

Σχήμα 2.6 : Συνέπειες μιας build-to-order στρατηγικής διαχείρισης της παραγωγής

Για την καλύτερη κατανόηση, ακολουθεί ανάλυση των παραπάνω επιδράσεων της build-to-order στρατηγικής διαχείρισης της παραγωγής

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Στην build-to-order στρατηγική, η ζήτηση δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και βασικός σκοπός της εταιρίας είναι η πλήρη ικανοποίηση των πελατών, επομένως θα πρέπει να εστιάζει στη σωστή διαχείριση των απαιτήσεων και των ιδιαίτερων αναγκών τους. Βέβαια, η εταιρία μπορεί να χρεώνει υψηλότερες τιμές για προϊόντα περισσότερο εξατομικευμένα και καλύτερης ποιότητας.

Η χρήση καινούριων τεχνολογιών και ευέλικτων συστημάτων παραγωγής βελτιώνει την απόδοση των προϊόντων και μειώνει τα κόστη κατασκευής. Η ύπαρξη ανεξαρτησίας στα διάφορα στάδια παραγωγής επιτρέπει αλλαγές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια μιας παραγγελίας, ενώ η αποδιοργάνωση, παλιάς τεχνολογίας, μηχανημάτων και εξοπλισμού μικραίνει τον κύκλο παραγωγής των αγαθών, και παρέχει τη δυνατότητα ποικιλίας και διαφοροποιήσεων στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες τους. Από την άλλη πλευρά, όμως, η μεγάλη ποικιλία στα προϊόντα που προσφέρονται και οι μικρές, συνήθως, ποσότητες παραγωγής τους αυξάνουν το κόστος και το χρόνο εκκίνησης (set-up cost and time), καθώς επίσης και το χρόνο προετοιμασίας που απαιτείται για το πέρασμα στην επόμενη διαδικασία κατασκευής από την ίδια γραμμή παραγωγής (changeover time).

Επιπλέον, σε μια build-to-order στρατηγική η κατασκευή των προϊόντων ξεκινά αμέσως μετά την παραγγελία από τον πελάτη, συνεπώς ελαττώνονται τα αποθέματα που διατηρούνται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους διατήρησής τους. Εάν, φυσικά, χρησιμοποιήσουμε modular σχεδιασμό, τα αποθέματα που διατηρούμε είναι modular εξαρτήματα, τα οποία ταιριάζουν σε πολλά προϊόντα και έτσι, δεν χάνουν την αξία τους. Τότε, βέβαια, το προϊόν δεν είναι ολοκληρωμένο και έτοιμο προς πώληση, συνεπώς ο χρόνος ανοχής για τον πελάτη είναι μεγάλος, και συνήθως δεν τηρούνται οι προκαθορισμένοι χρόνοι παράδοσης (delivery times), λόγω πιθανών αναθεωρήσεων και αλλαγών που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Η εφαρμογή της build-to-order παραγωγής σε μια εφοδιαστική αλυσίδα, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, απαιτεί ολική ολοκλήρωση, υψηλό επίπεδο συντονισμού μεταξύ των μελών της και διαρκή επικοινωνία με τους πελάτες. Έχουμε, έτσι, τη δημιουργία πελατοκεντρικών οργανισμών (customer-centric organization), όπου η παραγωγή γίνεται με τη συνεργασία και τη συμμετοχή των καταναλωτών (co-creation).

Τέλος, οι εμπορικές συναλλαγές μέσω του διαδικτύου παρέχουν μεν ευκολίες, αλλά στερούν τη φυσική εξέταση του προϊόντος από τον καταναλωτή, συνεπώς η πιθανότητα επιστροφής του είναι μεγάλη, όταν αυτή επιτρέπεται. Μια εταιρία μπορεί να εφαρμόζει

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

πολιτικές επιστροφών μόνο στην περίπτωση που χρησιμοποιεί modular σχεδιασμό και στρατηγικές αναβολών, προκειμένου να διατηρήσει μια διασωθείσα τιμή από το επιστρεφόμενο εμπόρευμα.
(Berman, 2002; Salvador et al., Business Horizons, 2002; Svensson and Barfod 2002; Sellandurai, 2004; Gunasekaran and Ngai, 2005; Sharma and La Placa, 2005).

2.6 Θέματα για περαιτέρω έρευνα

Στο κεφάλαιο αυτό, ορίσαμε τη φιλοσοφία μιας build-to-order στρατηγικής, είδαμε τις διαφορές με την τυποποιημένη μαζική παραγωγή και πώς αυτές οι δύο μέθοδοι παραγωγής δημιουργούν την mass customization. Στη συνέχεια, αναφέραμε τους σημαντικότερους ρυθμιστικούς παράγοντες για την αποτελεσματική εφαρμογή μιας customized παραγωγής και τις κυριότερες επιδράσεις της στην αγορά. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να ασχοληθούν με την ανάπτυξη κατάλληλων μέτρων απόδοσης, με τα οποία θα ελέγχουμε την αποτελεσματικότητα μιας build-to-order εφοδιαστικής αλυσίδας.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Modularity και στρατηγικές αναβολών

3.1 Εισαγωγική περιγραφή

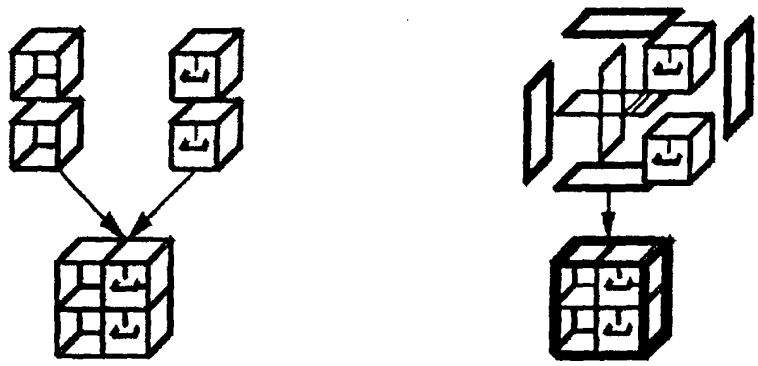
Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και οι απαιτήσεις του σύγχρονου αγοραστικού κοινού για προϊόντα με μεγαλύτερη ποικιλία χαρακτηριστικών, έχουν οδηγήσει τις βιομηχανίες στην παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων, τα οποία ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες και απαιτήσεις των πελατών τους. Η στροφή στην μαζική παραγωγή προϊόντων επί παραγγελία φέρνει στο προσκήνιο έναν τύπο σχεδιασμού, ο οποίος παρέχει ευελιξία στην κατασκευή και ανάπτυξη, και παράλληλα, επιτρέπει στις εταιρίες να αντιδρούν άμεσα σε ενδεχόμενες αλλαγές εξωτερικού, κυρίως, περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, μια ξαφνική διακύμανση στη ζήτηση επιβάλλει αλλαγή στον τρόπο παραγωγής, προκειμένου να έχουμε διαφοροποίηση των προϊόντων, χωρίς όμως αυτό να επηρεάζει σημαντικά τη γενικότερη οικονομική δομή της εταιρίας. Για τους παραπάνω λόγους, ο σπονδυλωτός σχεδιασμός (modular design), καθώς επίσης και οι "σκόπιμες" καθυστερήσεις (postponement strategies) σε κάποια στάδια χειρισμού, αποτελούν βασικές στρατηγικές παραγωγής "ευέλικτων" προϊόντων. Ο modular σχεδιασμός επιτρέπει την ανάλυση του προϊόντος στις συνιστώσες που το αποτελούν, και με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν μέρη-κομμάτια (modules), τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Τα modules αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή άλλων προϊόντων της ίδιας ή διαφορετικής οικογένειας και να έχουμε έτσι, την ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που ζητάει ο κάθε πελάτης.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλύσουμε τον modular σχεδιασμό και θα δούμε τα οφέλη και τα μειονεκτήματα που αυτός φέρνει σε μια εταιρία. Έπειτα, θα συνδυάσουμε τον modular σχεδιασμό με την εφαρμογή αναβολών και θα παρουσιάσουμε το μοντέλο κόστους για τις στρατηγικές καθυστερήσεων. Θα συγκρίνουμε τη στρατηγική αναβολών με χρήση της τυποποίησης (standardization) και τη στρατηγική αναβολών με χρήση της modularization, και θα δούμε σε ποιες περιπτώσεις αυτή είναι περισσότερο αποτελεσματική.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

3.2 Η φιλοσοφία των modular προϊόντων

Ένα προϊόν αποτελείται από λειτουργικούς (functional terms) και φυσικούς (physical terms) όρους (Ulrich and Eppinger, 1995). Τα λειτουργικά στοιχεία είναι οι ιδιαίτερες λειτουργίες και μετατροπές που συνεισφέρουν στη συνολική απόδοση του προϊόντος. Τα φυσικά στοιχεία είναι μέρη, εξαρτήματα ή υποσυστήματα (subassemblies), τα οποία υλοποιούν τις λειτουργίες του προϊόντος. Τα φυσικά στοιχεία οργανώνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποτελούν φυσικά δομημένα τεμάχια (building blocks). Κάθε τεμάχιο (block) είναι μια συλλογή εξαρτημάτων, το οποίο θέτει σε εφαρμογή μερικές από τις λειτουργίες του προϊόντος. Εάν το τεμάχιο (block) αυτό αποτελεί μια συλλογή ανταλλάξιμων και ανεξάρτητων μεταξύ τους εξαρτημάτων, τα οποία εκτελούν παρόμοιες λειτουργίες, τότε προκύπτει ένα πρότυπο συναρτησιακό στοιχείο, μια αυτοτελής μονάδα που ονομάζεται module. Επομένως, το module είναι μέρος (part) ενός συστήματος-προϊόντος, αλλά μπορεί και από μόνο του να αποτελέσει ένα σύστημα. Τότε, η αρχιτεκτονική (architecture) του προϊόντος, ορίζεται να είναι ο συνδυασμός εκείνος που μας δίνει το σύνολο των λειτουργικών στοιχείων που θα τοποθετήσουμε μέσα σε ένα φυσικά δομημένο τεμάχιο (building block), καθώς επίσης και τον τρόπο που τα διάφορα τεμάχια αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ο Simon (1981) έχει ορίσει το module σαν ένα υποσύστημα, το οποίο λειτουργεί ανεξάρτητα από την αρχιτεκτονική του. Για την καλύτερη κατανόηση των εννοιών αυτών, δίνουμε ένα παράδειγμα σχεδιασμού επίπλου οικιακής χρήσης (Chun-Che Huang, 2000).



(a) Χρησιμοποιούνται 4 modules (b) Χρησιμοποιούνται 7 blocks

Σχήμα 3.1 : Δύο διαφορετικοί σχεδιασμοί του ίδιου επίπλου οικιακής χρήσης.

Στο σχεδιασμό (a) του σχήματος 3.1 έχουμε δύο τύπους λειτουργιών, το συρτάρι και τον ανοιχτό χώρο, οι οποίοι καθορίζουν τα modules που χρησιμοποιούμε, προκειμένου να

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

κατασκευάσουμε το παραπάνω έπιπλο. Στην περίπτωση αυτή, ένα ακριβώς module θέτει σε ισχύ ένα μόνο λειτουργικό στοιχείο και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των modules είναι "καλά ορισμένες". Αυτό σημαίνει πως, η modular αρχιτεκτονική επιτρέπει μια αλλαγή σε ένα module, χωρίς γενικά να επηρεάζεται ο σχεδιασμός άλλων στοιχείων (modules), έτσι ώστε το προϊόν να λειτουργεί σωστά και να έχει την ίδια απόδοση.

Ο σχεδιασμός του σχήματος 3.1(b) δίνει την αρχιτεκτονική ενός ολοκληρωμένου (integrated) επίπλου με την "παραδοσιακή" μέθοδο. Σε αυτή την περίπτωση, το προϊόν κατασκευάζεται, έτσι ώστε να μεγιστοποιεί ένα προκαθορισμένο μέτρο απόδοσης, και για να γίνει μια οποιαδήποτε τροποποίηση απαιτείται ο επανασχεδιασμός του. Η εφαρμογή των λειτουργικών του στοιχείων μοιράζεται σε περισσότερα από ένα τεμάχια (block), συνεπώς ένα μόνο block μπορεί να θέσει σε ισχύ αρκετά λειτουργικά στοιχεία. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των blocks είναι "κακώς ορισμένες" και συνήθως αποτελούν το ακολούθημα των λειτουργιών του προϊόντος. Έτσι, μια αλλαγή σε ένα block μπορεί να επηρεάσει πολλά λειτουργικά μέρη και να επιφέρει αλλαγές και σε άλλα τεμάχια.

3.3 Ορισμοί και ταξινόμηση

Ο σπονδυλωτός σχεδιασμός (modular design) κάνει την εμφάνισή του στις αρχές της δεκαετίας του '60. Οι Baldwin and Clark (1997) πιστεύουν πως ένας modular σχεδιασμός είναι περισσότερο απαραίτητος στις μέρες μας, λόγω των σύνθετων μοντέρνων τεχνολογιών.

Για τον Herbert Simon (1962), ένα σύνθετο σύστημα (complex system) είναι εκείνο το σύστημα, που αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κομματιών τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για να μειώσουμε την πολυπλοκότητα (complexity) είναι να "σπάσουμε" ένα σύνθετο σύστημα σε ευδιάκριτα, ανεξάρτητα κομμάτια, που ονομάζουμε modules (Langlois, 2002; Hellstrom and Wikstrom, 2005).

Σύμφωνα με τους Baldwin and Clark (1997), η αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος στα μέρη (modules) που το αποτελούν περιλαμβάνει τον διαμελισμό των πληροφοριών σε τρεις βασικούς κανόνες σχεδιασμού : στην αρχιτεκτονική (architecture), την επικοινωνία (interfaces) και το επίπεδο ελέγχου (standards). Η αρχιτεκτονική προσδιορίζει τα modules τα οποία, θα αποτελούν μέρος του συστήματος και καθορίζει τις λειτουργίες τους. Η επικοινωνία περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο τα modules αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και πώς αυτά συναρμολογούνται για την καλύτερη απόδοση του προϊόντος. Στο επίπεδο ελέγχου εξετάζουμε

εάν πληρούνται οι απαραίτητοι περιορισμοί (κανόνες σχεδιασμού) και μετράμε την απόδοση ενός module σε σχέση με τα υπόλοιπα modules. Έτσι, ορίζουμε την modularization να είναι η αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος σε φυσικά δομημένα, ανεξάρτητα μεταξύ τους, τεμάχια (modules) (Langlois, 2002; Hellstrom and Wikstrom, 2005).

Ορίζουμε, τότε, τον modular σχεδιασμό σαν έναν τύπο σχεδιασμού, ο οποίος αποτελείται από αυτά τα πρότυπα συναρτησιακά στοιχεία-κομμάτια. Βασικά χαρακτηριστικά του modular σχεδιασμού είναι η ανεξαρτησία που αφορά στην επικοινωνία μεταξύ των μερών του προϊόντος και η δυνατότητα ανάλυσης του συστήματος στις διάφορες συνιστώσες του (decomposability).

Καταλήγουμε, έτσι, σε μια στρατηγική "ευέλικτου" σχεδιασμού που ονομάζουμε modularity, η οποία περιγράφει τη χρήση κοινών εξαρτημάτων, προκειμένου να έχουμε ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στα προϊόντα. Η παραπάνω δομή σχεδιασμού προϊόντων ορίζει, το βαθμό της ανεξαρτησίας που αφορά στην επικοινωνία των modules (communication). Επομένως, επιτρέπει την ανάμιξη και το συνδυασμό των ανεξάρτητων modular εξαρτημάτων (modules) και παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής των modules με παρόμοιες λειτουργίες, και τη χρήση τους σε προϊόντα της ίδιας ή διαφορετικής οικογένειας (interchangeable) (Brusoni and Prencipe, 1999; Chun-Che Huang, 2000; Langlois, 2002). Παράγονται, έτσι, πολλά διαφορετικά modular προϊόντα με ποικιλία ευδιάκριτων λειτουργιών και χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Με αυτόν τον τρόπο σχεδιασμού, η εταιρία μπορεί να ανταποκριθεί εύκολα, γρήγορα και χωρίς επιπρόσθετα έξοδα στις τάσεις της αγοράς και τις αλλαγές καινούριων τεχνολογιών.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της modularity, όπως αυτά περιγράφονται από τους Bi and Zhang (2001), είναι τα εξής : 1) Χρήση ενός πεπερασμένου συνόλου εξαρτημάτων, προκειμένου να συναντήσουμε την πληθώρα αλλαγών εξωτερικού περιβάλλοντος και απαιτήσεων του αγοραστικού κοινού. 2) Δημιουργία modules με βάση τις ομοιότητες μεταξύ των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται. 3) Διατήρηση της ανεξαρτησίας (independency) των modules που αποτελούν το προϊόν και 4) Χρήση διαφορετικών modules, ώστε να έχουμε ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και λειτουργιών στα προϊόντα.

3.3.1 Ταξινόμηση των modules ως προς τις λειτουργίες τους

Οι Pahl and Beitz (1984) ταξινόμησαν τα διάφορα modules σύμφωνα με τις λειτουργίες τους, οι οποίες καθορίζονται από τα εξαρτήματα που τα αποτελούν. Αργότερα, το 1988, για λόγους ευκολίας, οι ίδιοι συγγραφείς, διέκριναν δύο κατηγορίες των modules : τα λειτουργικά

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

(function modules) και τα παραγωγικά modules (production modules). Τα λειτουργικά modules είναι εκείνα που θέτουν σε εφαρμογή τις τεχνικές λειτουργίες ενός προϊόντος, ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό με άλλες λειτουργίες, ενώ τα production modules σχεδιάζονται ανεξάρτητα από τις λειτουργίες τους και βασίζονται, κυρίως, στους περιορισμούς που επιβάλλει η παραγωγή. Έτσι, διέκριναν τέσσερις κατηγορίες λειτουργικών modules και ταξινόμησαν, τελικά, τα modules ως εξής : βασικά modules (basic), βοηθητικά modules (auxiliary), προσαρμόσιμα (adaptive modules) και non-modules.

1) Βασικό module είναι αυτό που θέτει σε ισχύ βασικές λειτουργίες. Οι βασικές λειτουργίες δεν μεταβάλλονται, αλλά είναι θεμελιώδης σε ένα προϊόν ή σύστημα.

2) Ένα βοηθητικό module υλοποιεί βοηθητικές λειτουργίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα βασικά modules, ώστε να δημιουργήσουν ποικίλα προϊόντα.

3) Ένα προσαρμόσιμο module είναι εκείνο, το οποίο θέτει σε εφαρμογή προσαρμόσιμες λειτουργίες. Οι λειτουργίες αυτές προσαρμόζουν ένα μέρος (part) ή ένα σύστημα σε άλλα προϊόντα ή συστήματα. Γενικά, τα προσαρμόσιμα συναρτησιακά στοιχεία διαχειρίζονται μη προβλέψιμους περιορισμούς.

4) Τα non-modules θέτουν σε εφαρμογή τις λειτουργίες που προέρχονται από τις ιδιαίτερες προτιμήσεις και ανάγκες του κάθε πελάτη και σχεδιάζονται, ώστε να ικανοποιούν αυτές τις ανάγκες.

3.3.2 Ταξινόμηση της modularity ως προς τη συναρμολόγηση και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξαρτημάτων-modules

Οι Ulrich and Tung (1991) πρότειναν μια ταξινόμηση για τους διάφορους τύπους της modularity, η οποία βασίζεται στη "γεωμετρική" συναρμολόγηση των εξαρτημάτων-modules που αποτελούν ένα προϊόν ή ένα σύστημα. Η μελέτη τους στηρίχτηκε στους διαφορετικούς πιθανούς συνδυασμούς των modules. Με τη βοήθεια αντίστοιχων ταξινομήσεων που έκαναν ο Chun-Che Huang (2000) και οι Salvador et al (Journal of Operations Management, 2002) καταλήγουμε στην παρακάτω κατηγοριοποίηση :

1) i) Component-swapping modularity : Είναι η περίπτωση, στην οποία δύο ή περισσότερα διαφορετικά βασικά εξαρτήματα "ταιριάζουν" σε ένα κοινό σώμα-module, οπότε δημιουργούνται διαφορετικές παραλλαγές προϊόντων που ανήκουν στην ίδια οικογένεια (σχήμα 3.2.a). Χαρακτηριστικό παράδειγμα component-swapping modularity αποτελεί η

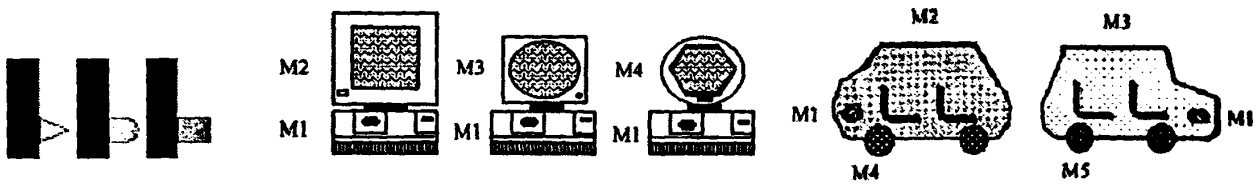
συναρμολόγηση ηλεκτρονικών υπολογιστών που δίνεται στο σχήμα 3.2.b, όπου διαφορετικοί τύποι οθόνης (M2, M3 και M4) τοποθετούνται πάνω στην ίδια κεντρική μονάδα M1.

ii) Component-sharing modularity : Είναι συμπληρωματική της περίπτωσης component-swapping modularity και χρησιμοποιείται, όταν διάφορα modules μοιράζονται το ίδιο βασικό εξάρτημα, ώστε να δημιουργηθεί ποικιλία προϊόντων, τα οποία ανήκουν σε διαφορετικές οικογένειες. Αντίστοιχο παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 3.2.c, όπου δύο διαφορετικοί τύποι οχημάτων μοιράζονται την ίδια μηχανή M1, που αποτελεί βασικό εξάρτημα.

2) Fabricate-to-fit modularity : Είναι η σχεδίαση, στην οποία η παραλλαγή του προϊόντος γίνεται αλλάζοντας ένα "συνεχώς μεταβαλλόμενο" χαρακτηριστικό μέσα σε ένα δοσμένο εξάρτημα (σχήμα 3.3.a).

3) Bus modularity : Εφαρμόζεται όταν ένα module "ταιριάζει" με έναν οποιονδήποτε αριθμό βασικών εξαρτημάτων (σχήμα 3.3.b).

4) Sectional modularity : Είναι η περίπτωση, στην οποία οι παραλλαγές των προϊόντων προκύπτουν συνδυάζοντας, με έναν αυθαίρετο τρόπο, ένα σύνολο διαφορετικών εξαρτημάτων (σχήμα 3.3.c).



(a) (b) (c)

Σχήμα 3.2 : Παραδείγματα Component-swapping (a, b) και Component-sharing modularity (c).

(a) (b) (c)

Σχήμα 3.3 : Παραδείγματα Fabricate-to-fit (a), Bus modularity (b) και Sectional modularity (c).

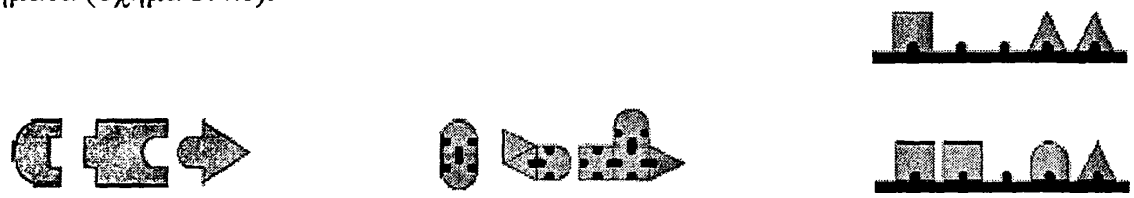
Αργότερα, ο Ulrich (1995) πρότεινε ένα τυπολόγιο ταξινόμησης της modularity σύμφωνα με τον τρόπο επικοινωνίας (interface) και αλληλεπίδρασης μεταξύ των εξαρτημάτων-modules, οπότε έχουμε την παρακάτω κατηγοριοποίηση :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

1) Slot modularity : Παίρνουμε αυτόν τον τύπο modularity, όταν η επικοινωνία μεταξύ πολλών εξαρτημάτων είναι διαφορετική (σχήμα 3.4.a).

2) Sectional modularity : Ο τύπος αυτός εφαρμόζεται όταν όλα τα εξαρτήματα επικοινωνούν μεταξύ τους με τον ίδιο ακριβώς τρόπο (σχήμα 3.4.b).

3) Bus modularity : Είναι μια ειδική περίπτωση της sectional modularity, στην οποία χρησιμοποιούμε ένα βασικό εξάρτημα (bus), προκειμένου να συνδέσουμε πάνω σ' αυτό άλλα εξαρτήματα (σχήμα 3.4.c).



(a) (b) (c)

Σχήμα 3.4 : Παραδείγματα Slot modularity (a), Sectional modularity (b) και Bus modularity (c)

3.4 Modular σχεδιασμός και διαφορά με τον βασικό τυπικό σχεδιασμό

Η διαδικασία ανάπτυξης ενός σχεδιασμού περιλαμβάνει τέσσερις βασικούς τομείς : τον τομέα των καταναλωτών (consumer domain), τον τομέα των λειτουργιών (functional domain), το φυσικό τομέα (physical domain) και τον τομέα επεξεργασίας (process domain) (Bi and Zhang, 2001). Έτσι, για έναν κλασσικό τυπικό σχεδιασμό (Axiom Design) θα πρέπει αρχικά να περάσουμε από τις απαιτήσεις των πελατών στο στάδιο των λειτουργικών απαιτήσεων. Στη συνέχεια θα πρέπει από τις λειτουργικές απαιτήσεις να περάσουμε στις παραμέτρους σχεδιασμού και, τέλος, στην επεξεργασία των μεταβλητών που έχουν προκύψει από τις παραπάνω διαδικασίες. Σε έναν modular σχεδιασμό ορίζουμε, πρώτα απ' όλα, τις ιδιαίτερες ανάγκες των πελατών ή τις διάφορες κατασκευαστικές απαιτήσεις. Έπειτα, περνάμε στο χώρο των λειτουργικών απαιτήσεων, και αφού αποφασίσουμε για την αρχιτεκτονική του προϊόντος, ερχόμαστε στον modular λειτουργικό χώρο. Έπειτα, μέσω του σχεδιασμού των modules, καταλήγουμε στο χώρο εκείνον, όπου θα αποφασίσουμε για την επικοινωνία και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των modules (Chun-Che Huang, 2000; Bi and Zhang, 2001). Ένας modular λειτουργικός χώρος, όπως τον περιγράφουν οι Pahl and Beitz (1988), αποτελείται από τις βασικές, τις βοηθητικές, τις προσαρμόσιμες και τις non-modular (customer-specified) λειτουργίες.

Η διαδικασία με την οποία περνάμε από το χώρο των λειτουργικών απαιτήσεων στις παραμέτρους σχεδιασμού και από εκεί στην επεξεργασία των μεταβλητών μας, ορίζει, αντίστοιχα, τις παρακάτω συναρτήσεις :

$$[FR_s]=[B][DP_s] \quad \text{και} \quad [DP_s]=[C][PV_s]$$

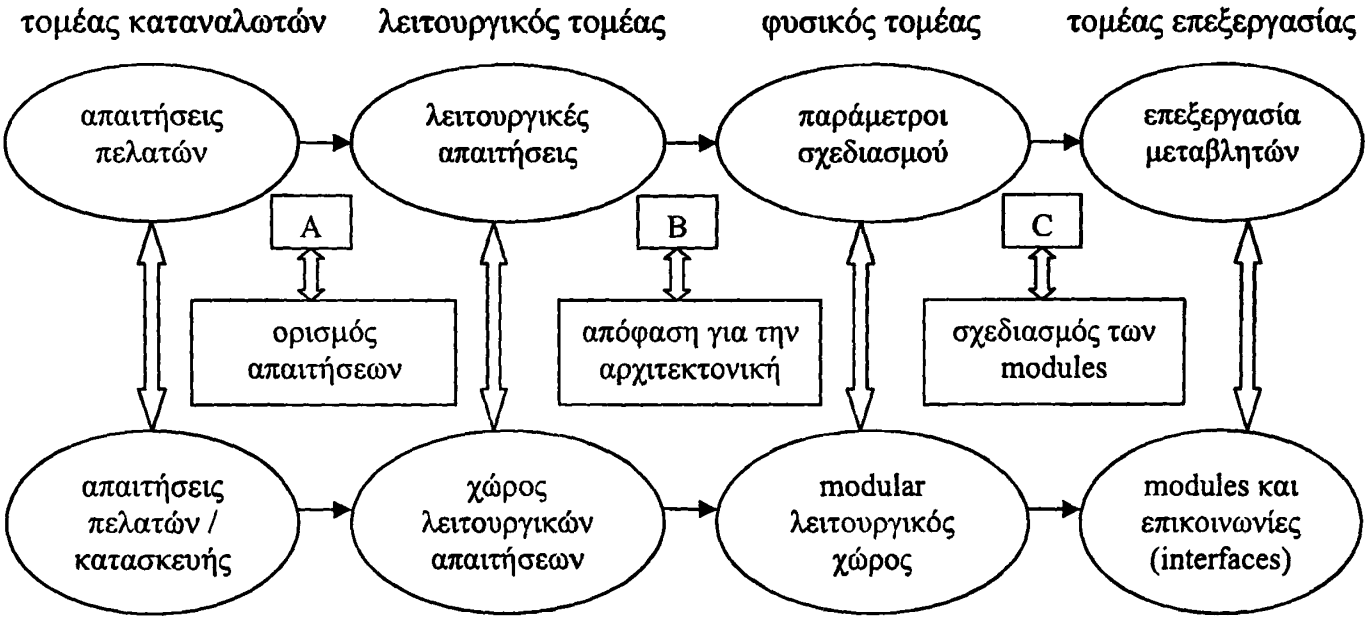
όπου : $[FR_s]$ = λειτουργικές απαιτήσεις (functional requirements)

$[DP_s]$ = παράμετροι σχεδιασμού (design parameters)

$[PV_s]$ = επεξεργασία μεταβλητών (process variables)

και : $[B]$, $[C]$ είναι κατάλληλοι πίνακες σχεδιασμού.

Οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται περισσότερο κατανοητές με τη βοήθεια του σχήματος που ακολουθεί :



Σχήμα 3.5 : Διαφορά τυπικού (axiom) και modular σχεδιασμού.

3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του modular σχεδιασμού

Οι Pahl and Beitz (1988), Nevins and Whitney (1989) και οι Corbett et al (1991) έχουν αναφερθεί σε οφέλη και πιθανά κόστη τα οποία προέρχονται από τη χρήση της modularity.

Ο modular σχεδιασμός, όπως ήδη έχουμε δει, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος διαχείρισης σύνθετων και πολύπλοκων συστημάτων. Τα προϊόντα αναλύονται στα διάφορα μέρη

από τα οποία αποτελούνται και σχηματίζουν ανεξάρτητα μεταξύ τους modules. Η ανεξαρτησία των modules παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής και συνδυασμού εξαρτημάτων σε προϊόντα της ίδιας ή διαφορετικής οικογένειας, οπότε έχουμε ποικιλία χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και λειτουργιών που ανταποκρίνονται, κάθε φορά, στις ιδιαίτερες απαιτήσεις και ανάγκες των πελατών. Τότε, οι εταιρίες μπορούν να ακολουθούν τις τάσεις της αγοράς και να προσαρμόζουν κατάλληλα την παραγωγή τους σύμφωνα με τις αλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος, και ταυτόχρονα να ελαττώνουν τον αριθμό των προμηθευτών τους (Setoputro and Mukhopadhyay, 2005). Επίσης, η διατήρηση αποθεμάτων των modules δεν δημιουργεί κόστη φθοράς (deterioration costs), εφόσον τα ίδια εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα προϊόντων. Αυτή η ευελιξία, που αφορά στη χρήση των modules, επιτρέπει στις βιομηχανίες να παράγουν μεγάλες ποσότητες τέτοιων συναρτησιακών στοιχείων (modules), και επιτυγχάνονται, έτσι, οικονομίες κλίμακος. Εφόσον ο όγκος παραγωγής των modules μπορεί να αυξηθεί, η οργάνωση και διαχείρισή τους μπορεί να γίνει με τέτοιο τρόπο, που να ελαττώνει το χρόνο ανοχής που αφορά στην κατασκευή, και κατά συνέπεια ελαττώνεται ο συνολικός χρόνος ανοχής για τον πελάτη από τη στιγμή που δίνει την παραγγελία έως ότου να πάρει το προϊόν. Τέλος, η δυνατότητα αποσυναρμολόγησης ενός modular προϊόντος κάνει τη συντήρηση και επισκευή του λιγότερο δαπανηρή. Η έλλειψη αλληλεπιδράσεων μεταξύ των modules επιτρέπει την εύκολη διάγνωση της βλάβης σε ένα προϊόν και την αντικατάσταση του ελαττωματικού μόνο module, χωρίς να επηρεάζεται το υπόλοιπο σύστημα.

Παρ' όλα αυτά, ένα modular σύστημα παρουσιάζει δυσκολίες στο σχεδιασμό του. Οι κατασκευαστές του θα πρέπει να είναι ειδικευμένοι και να γνωρίζουν πολύ καλά τις εσωτερικές λειτουργίες ενός modular προϊόντος, ώστε να το αναπτύξουν σωστά. Θα πρέπει, αρχικά, να κατασκευάσουν ανεξάρτητα κομμάτια που δεν θα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ώστε να πάρουμε τα modules. Στη συνέχεια, πρέπει αυτά τα modules να συνδυαστούν, προκειμένου να πάρουμε το modular προϊόν με το βέλτιστο μέτρο απόδοσης που μπορούμε να πετύχουμε (Baldwin and Clark, 1997). Στην προσπάθειά μας να "σπάσουμε" το προϊόν σε ανεξάρτητα modules, υπάρχει περίπτωση να δημιουργήσουμε περιττά και υπεράριθμα μέρη, τα οποία δε θα συνεισφέρουν στη συνολική απόδοση του συστήματος. Σε κάποιες κατηγορίες προϊόντων, μάλιστα, τα οφέλη που προέρχονται από την modularization δεν μπορούν να αντισταθμίσουν τα κόστη που αυτή επιφέρει. Για παράδειγμα, σε ένα προϊόν, το οποίο δεν αλλάζει εύκολα, αλλά παραμένει αμετάβλητο κάτω από τις εξωτερικές επιδράσεις και τις καινοτομίες των μοντέρνων τεχνολογιών, δεν χρειάζεται να εφαρμόσουμε modular σχεδιασμό. Όταν, δηλαδή, τα κόστη δεν

μπορούν να καλυφθούν από τα πιθανά οφέλη που θα δημιουργήσει ο modularity, τότε δεν τη χρησιμοποιούμε στο σχεδιασμό και στην παραγωγή. Τέτοιες περιπτώσεις αναφέρονται, συνήθως, σε συστήματα τα οποία αναπτύσσονται αργά, σε ένα αργά μεταβαλλόμενο περιβάλλον (Pahl and Beitz, 1988; Nevins and Whitney, 1989; Corbett et al, 1991; Baldwin and Clark, 1997; Chun-Che Huang, 2000; Langlois, 2000; Fixson, 2002; Lau Antonio et al, Article in Press).

3.6 Στρατηγικές αναβολών (postponement) και modularization

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας, ο διαρκής ανταγωνισμός της αγοράς και οι απαιτήσεις του αγοραστικού κοινού έχουν επιβάλλει στις εταιρίες κάποιες ουσιαστικές αλλαγές, που αφορούν στον τρόπο παραγωγής και προώθησης των προϊόντων τους. Η μαζική παραγωγή προϊόντων επί παραγγελία, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, παρέχει στις εταιρίες τη δυνατότητα να προσφέρουν μεγαλύτερη ποικιλία εμπορευμάτων, τα οποία ανταποκρίνονται άμεσα στη ζήτηση και στις ιδιαίτερες ανάγκες των πελατών τους. Παράλληλα, δημιουργούνται οικονομίες κλίμακος, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων παραγωγής, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κέρδους τους. Στην περίπτωση όμως, εμφάνισης μη προβλεπόμενων αλλαγών που προέρχονται, κυρίως, από το εξωτερικό περιβάλλον, η εταιρία θα πρέπει να "διασώσει" σημαντικό μέρος των εξατομικευμένων προϊόντων. Μια ουσιαστική μέθοδος για την αποτελεσματική εφαρμογή μαζικής παραγωγής προϊόντων επί παραγγελία είναι η στρατηγική αναβολών (postponement strategy). Έχουμε δει ξανά τον ορισμό της παραπάνω έννοιας, αξίζει όμως να υπενθυμίσουμε ότι με τον όρο "αναβολές" εννοούμε τις σκόπιμες καθυστερήσεις που μπορούν να γίνουν στα διάφορα στάδια παραγωγής, ώστε να πάρουμε το τελικό προϊόν μετά την παραγγελία από τον πελάτη. Δηλαδή, ένα μόνο μέρος του προϊόντος θα είναι ολοκληρωμένο, έως ότου έχουμε την παραγγελία, και με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε εύκολα να ανταποκριθούμε σε ενδεχόμενες αλλαγές.

Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η παραγωγή των προϊόντων, που αφορά στην εφαρμογή της παραπάνω στρατηγικής αναβολών μπορεί να γίνει μέσω δύο διαφορετικών προσεγγίσεων. Η πρώτη από αυτές είναι ο τυποποιημένος σχεδιασμός (standardization) και αναφέρεται στην κατάσταση εκείνη, όπου παρόμοια εξαρτήματα αντικαθίστανται από ένα μόνο εξάρτημα ικανό να αποδώσει όλες τις λειτουργίες των επιμέρους συνιστωσών του (Perera et al.1999). Συνεπώς, η τυποποίηση μπορεί να απλοποιήσει τα διάφορα συστήματα παραγωγής και να αυξήσει την ευελιξία χειρισμού τους. Η δεύτερη κατηγορία της στρατηγικής αναβολών είναι ο modular

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

σχεδιασμός. Σύμφωνα με τους Baldwin and Clark (1997), ο σπονδυλωτός (modular) σχεδιασμός είναι μια αποτελεσματική μέθοδος οργάνωσης σύνθετων προϊόντων και λειτουργιών. Σε αυτήν, διαιρούμε τα πολύπλοκα μέρη σε απλούστερα και ομαδοποιούμε τις κοινές λειτουργίες τους, έτσι ώστε να μπορούμε να τα διαχειριζόμαστε ανεξάρτητα και συγχρόνως να αποδίδουν το μέγιστο των δυνατοτήτων τους. Οι διαφορετικοί συνδυασμοί συναρμολόγησης των ανεξάρτητων τυποποιημένων κομματιών (modules) προσφέρει ποικιλία χαρακτηριστικών στα προϊόντα. Από μια πρώτη άποψη, και με βάση τον ορισμό, φαίνεται πως η modularization υπερτερεί, εφόσον συνδυάζει την ευελιξία που αφορά στην ποικιλία της ζήτησης, καθώς επίσης και την τυποποίηση-ομαδοποίηση που αφορά στα modules τα οποία συγκροτούν ένα προϊόν.

Οι στρατηγικές αναβολών φέρνουν πολλά πλεονεκτήματα και εξοικονόμηση κόστους για τις εταιρίες. Πρώτα απ' όλα, το επίπεδο αποθεμάτων για ολοκληρωμένα προϊόντα είναι πολύ μικρό και η φύση των αποθεμάτων αυτών παρέχει ευκολίες, καθώς τα ίδια εξαρτήματα ή modules μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αρκετά προϊόντα. Επιπρόσθετα, η πρόβλεψη της αναμενόμενης ζήτησης και η διαφοροποίηση γίνονται σε στάδιο όπου μπορούμε να επέμβουμε, σε περίπτωση που προκύψουν αλλαγές εξωτερικού περιβάλλοντος, για παράδειγμα κάποια διακύμανση στην τιμή πώλησης ή στην τιμή συναλλάγματος. Μπορεί ακόμη, η τροποποίηση του προϊόντος να αφορά αλλαγή στις προτιμήσεις και ανάγκες των πελατών σύμφωνα με την τάση και το γενικότερο ρεύμα της εποχής.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι η στροφή στις στρατηγικές αναβολών επιβάλλεται, και χαρακτηριστικά παραδείγματα εταιριών που τις εφάρμοσαν αποτελούν η Dell και η HP που παράγουν ηλεκτρονικούς υπολογιστές, αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Mercedes-Benz και βιομηχανίες ειδών ρουχισμού όπως η Benetton. Η HP χρησιμοποίησε τυποποιημένο σχεδιασμό, προκειμένου να "καθυστερήσει" διαφοροποιήσεις στα εξαρτήματα των εκτυπωτών της (LaserJet printers) και κατάφερε να ισορροπήσει τοπικές δυσαναλογίες στον εφοδιασμό προμηθειών και τη ζήτηση, οπότε μείωσε τα κόστη κατά 5% μέσα σε ένα χρόνο. Αποτελεσματική εφαρμογή των αναβολών έχουμε και στην παραγωγή αυτοκινήτων SMART. Η Mercedes-Benz χρησιμοποίησε modular σχεδιασμό για να "καθυστερήσει" διαφοροποιήσεις και τα αυτοκίνητα SMART μπορούν να συναρμολογηθούν σε 4.5 ώρες, ενώ σε άλλες βιομηχανίες απαιτούνται σχεδόν 24 ώρες. Συνεπώς, ένα εξατομικευμένο αυτοκίνητο SMART μπορεί να παραδοθεί στον πελάτη σε λιγότερο από μία ημέρα, όταν σε άλλες βιομηχανίες ο χρόνος ανοχής είναι από μία εβδομάδα έως 15 ημέρες περίπου (Huang and Liang).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Παρ' όλα αυτά θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στην εφαρμογή της παραπάνω στρατηγικής, γιατί απαιτεί τροποποιήσεις ή ακόμη και επανασχεδιασμό του προϊόντος και των λειτουργιών του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, επιπρόσθετα έξοδα και συχνά αλλάζει την προκαθορισμένη οικονομική δομή της εταιρίας. Επιπλέον, εάν οι διάφοροι εξωτερικοί παράγοντες επιδρούν γρήγορα και οι αλλαγές που επιφέρουν είναι μη προβλεπόμενες, οπότε είμαστε σε ένα δυναμικό περιβάλλον, τότε η στρατηγική αναβολών είναι μη εφαρμόσιμη και μπορεί να προκαλέσει κόστη βύθισης (sunk costs).

Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε το μοντέλο κόστους για τις στρατηγικές αναβολών. Εφόσον για την εφαρμογή μιας τέτοιας στρατηγικής θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την τάση της αγοράς, προκειμένου να επιλέξουμε το στάδιο στο οποίο θα διαφοροποιηθούν τα προϊόντα, οι αλλαγές εξωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζουν τα κόστη ανάπτυξης αυτής της μεθόδου και τις τελικές αποφάσεις. Συνεπώς, το μοντέλο μας θα πρέπει να παράγει αναλυτικά αποτελέσματα για τις βέλτιστες αποφάσεις που θα πάρει η εταιρία, έτσι ώστε να ανταποκριθεί στην εξωτερική αβεβαιότητα. Βασικός σκοπός μας, λοιπόν, είναι να αποφασίσουμε εάν μία εταιρία θα πρέπει να εφαρμόσει στρατηγικές αναβολών σε ένα δυναμικό περιβάλλον, και αν ναι, κάτω από ποιες συνθήκες θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε, κατάλληλα, τον τυποποιημένο ή τον modular σχεδιασμό. Τέλος, θα δούμε τις διαφορές κόστους για τις δύο παραπάνω κατηγορίες στρατηγικής αναβολών.

3.7 Μοντέλο εκτίμησης κόστους για στρατηγικές αναβολών

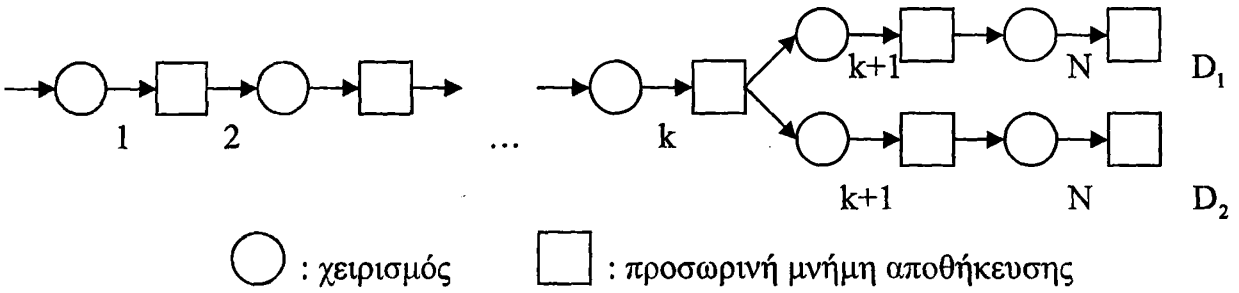
Το μοντέλο κόστους το οποίο παρουσίασαν οι Lee and Tang (1997) μελετά τις αλλαγές που υφίστανται στα σταθερά και μεταβλητά κόστη, τα οποία σχετίζονται με τον επανασχεδιασμό (redesign) των προϊόντων και των λειτουργιών τους και είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί και εδώ. Η μόνη διαφορά στο μοντέλο κόστους που παρουσιάζουμε, το οποίο ανέπτυξαν οι Huang and Liang σε πρόσφατο άρθρο τους (2006, Article in press), είναι το γεγονός ότι αυτό εστιάζει περισσότερο στις επιδράσεις των εξωτερικών αλλαγών και της αβεβαιότητας της αγοράς στους παράγοντες κόστους για την εταιρία.

3.7.1 Υποθέσεις και συμβολισμοί

Υποθέσεις :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

1. Θεωρούμε ένα σύστημα παραγωγής, σε μια εφοδιαστική αλυσίδα, που περιέχει δύο μόνο ολοκληρωμένα-τελικά προϊόντα (end products), τα οποία δεν μοιράζονται κανένα κοινό εξάρτημα εάν το σύστημα δεν εφαρμόζει τη φιλοσοφία της στρατηγικής αναβολών.
2. Υποθέτουμε ότι τα δύο παραπάνω τελικά προϊόντα διαφέρουν μόνο σε ένα στοιχείο.
3. Υποθέτουμε, ακόμη, ότι η χωρητικότητα μιας εταιρίας είναι άπειρη και οι τρόποι παραγωγής μπορούν να αλλάξουν τυχαία χωρίς να επιφέρουν κάποια μεταβολή στα κόστη.
4. Έστω ότι απαιτούνται N στάδια χειρισμού (operational stages) για την ολοκλήρωση του κάθε προϊόντος. Θεωρούμε, τότε, ότι το σύστημα διαθέτει μια προσωρινή μνήμη (buffer), η οποία αποθηκεύει τα αποθέματα της εργασίας-σε-εξέλιξη (work-in-process, WIP) μετά το τέλος του κάθε χειρισμού. Σε αυτή την περίπτωση, ο χειρισμός k θεωρείται ότι είναι το τελευταίο κοινό στάδιο και μετά το k τα προϊόντα διαφοροποιούνται. Η στρατηγική αναβολών, τότε, ορίζεται σαν την "καθυστέρηση του τελευταίου κοινού χειρισμού k", ώστε να αποφασίσουμε την αναβολή της διαφοροποίησης των προϊόντων. Για την καλύτερη κατανόηση της υπόθεσης αυτής παραθέτουμε το εξής σχήμα:



Σχήμα 3.6 : Η διαφοροποίηση των δύο προϊόντων γίνεται μετά το χειρισμό k.

5. Για να εκτιμήσουμε το μοντέλο κόστους της στρατηγικής αναβολών, υποθέτουμε ακόμη, ότι υπάρχει ένα συνολικό σχετικό κόστος (total relevant cost), το οποίο περιλαμβάνει : το συνολικό κόστος επένδυσης (total investment cost) που αφορά στον επανασχεδιασμό (redesigning) του προϊόντος και των λειτουργιών του, τα συνολικά κόστη λειτουργίας του συστήματος (total processing costs) και τα συνολικά κόστη διατήρησης αποθεμάτων (total inventory holding costs). Επομένως, ο βέλτιστος τελευταίος κοινός χειρισμός k^* ,μπορεί τότε να οριστεί με βάση το συνολικό σχετικό κόστος. Οι μεταβλητές κόστους θεωρούνται συναρτήσεις του k.

Παρά το γεγονός ότι τα κόστη και οι αλληλεπιδράσεις τους, που αφορούν στις εσωτερικές δραστηριότητες μιας εταιρίας, έχουν μελετηθεί από τους Lee and Tang (1997), στο

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

μοντέλο το οποίο παρουσιάζουν δεν έχουν λάβει υπόψη τους την αβεβαιότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό, το παραπάνω μοντέλο θεωρήθηκε "στατικό"(static), με την έννοια ότι δοθέντος ενός εξωτερικού περιβάλλοντος, μπορούμε να αποφασίσουμε ποιο είναι το καλύτερο τελευταίο κοινό στάδιο χειρισμού k υπό διαφορετικές στρατηγικές αναβολών.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εξωτερικής επίδρασης αποτελεί η ζήτηση της αγοράς. Όταν, λοιπόν, τα απαιτούμενα κόστη επένδυσης είναι υψηλά, αλλά η ζήτηση για τελικά προϊόντα είναι μη επαρκής, τότε η εφαρμογή μιας στρατηγικής αναβολών ίσως δεν μπορεί να καλύψει τις δαπάνες αυτές, και επιπλέον μπορεί να προκαλέσει απώλειες εάν εξακολουθήσουμε να παράγουμε προϊόντα με μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών. Από την άλλη πλευρά, όταν η ζήτηση είναι επαρκής, ώστε να δημιουργήσει οικονομίες κλίμακος, τότε η εφαρμογή της στρατηγικής αναβολών οδηγεί τις εταιρίες στη διατήρηση αποθεμάτων, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες ζήτησης. Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι οι εξωτερικοί παράγοντες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη μας στο μοντέλο το οποίο θα παρουσιάσουμε, αφού ακόμη και αν το k^* αποτελεί την καλύτερη επιλογή για κάποιες "βέβαιες"(certain) καταστάσεις, αυτό δεν θα είναι απαραίτητα η βέλτιστη επιλογή υπό άλλες συνθήκες (Huang and Liang, 2006 Article in press).

Συμβολισμοί :

Υποθέσαμε ότι υπάρχουν N στάδια χειρισμού για το κάθε προϊόν. Στο j-οστό στάδιο λειτουργίας $(j=1,2,...,N)$, συμβολίζουμε με $n_j(k)$ το χρόνο ανοχής (lead time) του χειρισμού j. Ο χρόνος ανοχής είναι ανεξάρτητος από διάφορους άλλους παράγοντες ή σενάρια (scenarios), όταν k είναι ο τελευταίος κοινός χειρισμός $(0 \le k \le N\text{-}1)$.

Θεωρούμε, ακόμη, ότι υπάρχουν S καταστάσεις εξωτερικών αλλαγών, δηλαδή, υπάρχουν S σενάρια. Τότε, με $s(s \in S)$ συμβολίζουμε τα διαφορετικά σενάρια. Αυτό θα προκαλέσει μια γραμμική μεταβολή των ακόλουθων παραμέτρων για το κάθε διαφορετικό σενάριο.

Υπό το σενάριο s και για το προϊόν $i(i=1,2)$, συμβολίζουμε με $D_i(s)$ τη ζήτηση του ολοκληρωμένου προϊόντος, η οποία ακολουθεί κανονική κατανομή : $D_i(s) \square N(\mu_i(s), \sigma_i^2)$, με συνδιασπορά : $Cov(D_1(s), D_2(s)) = \rho\sigma_1\sigma_2$, για όλα τα s, όπου ρ παριστά τον πίνακα συσχέτισης της κατανομής.

Για τη συνδιακύμανση των $D_i(s), (i=1,2)$, έχουμε ότι : $Var(D_1(s), D_2(s)) = Var(D_1(s)) + 2Cov(D_1(s), D_2(s)) + Var(D_2(s)) = \sigma_1^2 + 2\rho\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2$, οπότε : $\sigma_{12} = \sqrt{Var(D_1(s), D_2(s))} = \sqrt{\sigma_1^2 + 2\rho\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$, και εύκολα προκύπτει ότι $\sigma_{12} \le \sigma_1 + \sigma_2$ για κάθε **ρ**, και το σ_{12} ελαττώνεται με μείωση του ρ.

Υπό το σενάριο s και με την προϋπόθεση ότι k είναι το τελευταίο κοινό στάδιο λειτουργίας από τα $j(j=1,2,...,N)$, συμβολίζουμε με $I_j(s)$ το μέσο κόστος επένδυσης για τα κοινά στάδια λειτουργίας. Με $h_j(k,s)$ παριστάνουμε το κόστος αποθέματος για τη διατήρηση μιας μονάδας (αποθέματος) στην προσωρινή μνήμη (buffer) j. Με $p_j(k,s)$ συμβολίζουμε το κόστος λειτουργίας για το στάδιο χειρισμού j ανά μονάδα παραγωγής του συγκεκριμένου εξαρτήματος και τέλος, με Z(k,s) ορίζουμε το συνολικό σχετικό κόστος.

3.7.2 Μαθηματική διατύπωση και μοντέλο κόστους

Το συνολικό κόστος διατήρησης αποθέματος περιλαμβάνει τα κόστη των αποθεμάτων που βρίσκονται τόσο στο στάδιο της εργασίας-σε-εξέλιξη (work-in-process, WIP), όσο και στην προσωρινή μνήμη (buffer).

Το συνολικό απόθεμα της εργασίας-σε-εξέλιξη (work-in-process, WIP) είναι : $h_j(k,s)\left[n_j(k)\cdot(\mu_1(s)+\mu_2(s))\right]$.

Το συνολικό απόθεμα προσωρινής μνήμης είναι : $h_j(k,s)\left[\mu(s)/2 + z\sigma\sqrt{n_j(k)+1}\right]$, όπου z παριστάνει τον παράγοντα ασφαλείας που σχετίζεται με το επίπεδο εξυπηρέτησης για κάθε μνήμη.

Υποθέτουμε βέβαια, ότι η κάθε μνήμη ακολουθεί κανονική ζήτηση με μέση τιμή $\mu(s)$ και τυπική απόκλιση σ, και θεωρούμε ακόμη ότι το απόθεμα της εργασίας-σε-εξέλιξη (WIP) έχει την ίδια τιμή κατά την έξοδό του από το συγκεκριμένο στάδιο χειρισμού.

Επιπλέον, το συνολικό κόστος λειτουργίας για το στάδιο χειρισμού j καθορίζεται από τη ζήτηση και των δύο προϊόντων και είναι το : $p_j(k,s)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ορίζουμε το συνολικό σχετικό κόστος Z(k,s) ως εξής :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

$$Z(k,s)=\sum_{j=1}^{k} I_j(s)+\sum_{j=1}^{N} p_j(k,s)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+\sum_{j=1}^{N} h_j(k,s)\left[n_j(k)\cdot\left(\mu_1(s)+\mu_2(s)\right)\right]+$$
$$+\sum_{j=1}^{k} h_j(k,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2}+z\sigma_{12}\sqrt{n_j(k)+1}\right]+ \qquad (3.1)$$
$$+\sum_{j=k+1}^{N} h_j(k,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2}+z(\sigma_1+\sigma_2)\sqrt{n_j(k)+1}\right]$$

Το δεξιό μέλος της παραπάνω ισότητας αποκαλύπτει πως όλοι οι παράγοντες κόστους αλλάζουν σύμφωνα με το σενάριο s, και έτσι το $Z(k,s)$ δεν είναι πάντα σταθερό. Επιπλέον, το βέλτιστο τελευταίο κοινό στάδιο χειρισμού $k^*(s)$ είναι αυτό που ελαχιστοποιεί την ποσότητα $Z(k,s)$ κάτω από ένα συγκεκριμένο σενάριο s, δηλαδή είναι : $k^*(s)=\min_k Z(k,s)$.

Δοθέντος ότι ένα σενάριο s συμβαίνει με πιθανότητα $P(s)$, και έστω ότι με $V(k)$ συμβολίζουμε το συνολικό αναμενόμενο κόστος της τυποποίησης-σταθεροποίησης του k, τότε :

$$V(k)=\sum_{s\in\{s_1,\dots,s_S\}} P(s)Z(k,s) \qquad (3.2)$$

►Στην περίπτωση που οι παράγοντες εξωτερικού περιβάλλοντος μεταβάλλονται γρήγορα και είναι δύσκολο να προβλεφθούν, οι εταιρίες δεν μπορούν άμεσα να προσαρμόσουν τον τρόπο παραγωγής τους στις καταστάσεις αυτές. Συνεπώς, δεν μπορούν να βελτιστοποιήσουν την "καθυστέρηση" διαφοροποίησης των προϊόντων. Πώς, λοιπόν, η εταιρία θα καταφέρει να ελαχιστοποιήσει τα συνολικά κόστη, τα οποία αφορούν στον επανασχεδιασμό των προϊόντων και των λειτουργιών που θα πρέπει να εφαρμόσει στην παραγωγή τους, είναι το βασικό ερώτημα που θα μας απασχολήσει εδώ. Μπορεί, τότε, η εταιρία να επιλέξει ένα στάδιο χειρισμού k (το τελευταίο κοινό στάδιο χειρισμού) που θα ελαχιστοποιεί τις εξωτερικές επιρροές αψηφώντας οποιαδήποτε αλλαγή. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να αναβάλλει τις καθυστερήσεις σε αυτόν ακριβώς το χειρισμό, οπότε θα ελαχιστοποιήσει το συνολικό αναμενόμενο κόστος.

Στη σχέση (3.2), θα πρέπει να βρεθεί το k εκείνο το οποίο ελαχιστοποιεί το $V(k)$ και έστω ότι συμβολίζεται με $\bar{k}$. Τότε, το $\bar{k}$ εκφράζει τη στατική απόφαση που θα πάρει η εταιρία σε ένα δυναμικό (μεταβαλλόμενο) περιβάλλον, και έτσι η ποσότητα :

$$V^*=V(\bar{k})=\sum_{s\in\{s_1,\dots,s_S\}} P(s)Z(\bar{k},s)=\min_k V(k) \qquad (3.3)$$

θα παριστά τα συνολικά αναμενόμενα κόστη που αντιστοιχούν στη στατική απόφαση (static decision) $\bar{k}$.

► Αντίθετα, εάν η εταιρία μπορεί αυθαίρετα να προσαρμόσει τον τρόπο παραγωγής της σε κάθε σενάριο s, τότε θα πρέπει να επιλέξει το k, το οποίο τώρα συμβολίζουμε με $k^*(s)$, έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τα συνολικά αναμενόμενα σχετικά κόστη για κάθε σενάριο s. Με W^* συμβολίζουμε τα συνολικά αναμενόμενα κόστη που αντιστοιχούν στο βέλτιστο k^* για κάθε σενάριο, οπότε η ποσότητα :

$$W^* = V(k^*) = \sum_{s \in \{s_1, \ldots, s_S\}} P(s) Z(k^*, s) \tag{3.4}$$

θα παριστά το ελάχιστο συνολικό αναμενόμενο κόστος για μια δυναμική απόφαση (dynamic decision) $k^*(s)$.

Εφόσον η δυναμική απόφαση $k^*(s)$ ανταποκρίνεται στις εξωτερικές αλλαγές με τον καλύτερο τρόπο για κάθε ιδιαίτερο σενάριο, είναι φυσικό επακόλουθο να ισχύει ότι : $W^* < V^*$. Αυτό σημαίνει πως, εάν οι εταιρίες μπορούν να προσαρμόσουν τις λειτουργίες τους λαμβάνοντας υπόψη τους τις εξωτερικές επιδράσεις, τότε ελαχιστοποιούν τα συνολικά κόστη.

Στη συνέχεια, θα δούμε κάποιες εφαρμογές του παραπάνω μοντέλου κόστους, το οποίο δίνεται από τη σχέση (3.1). Θα αναλύσουμε τις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις της στρατηγικής αναβολών, την τυποποίηση (standardization) και την modularization, και θα μελετήσουμε τις εξωτερικές συνθήκες και τα διάφορα σενάρια κάτω από τα οποία αυτή είναι εφαρμόσιμη.

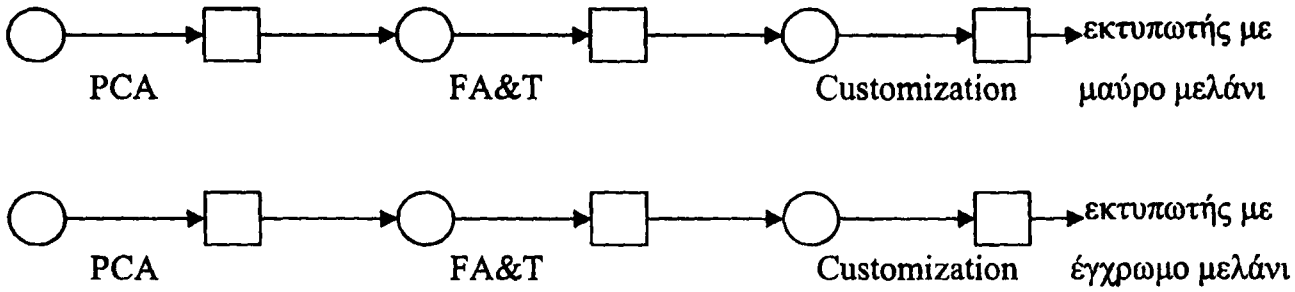
3.8 Εφαρμογή 1 – Στρατηγικές αναβολών με χρήση τυποποιημένου σχεδιασμού

3.8.1 Υποθέσεις

1. Θεωρούμε έναν κατασκευαστή ο οποίος παράγει δύο τύπους εκτυπωτών, αυτούς που χρησιμοποιούν μαύρο μελάνι και αυτούς που χρησιμοποιούν έγχρωμο μελάνι. Εφόσον τα δύο παραπάνω προϊόντα παρέχουν διαφορετικές δυνατότητες στο χρήστη, η ζήτηση για τα τελικά προϊόντα (end products) δεν θα είναι η ίδια, και μάλιστα αυτή θα είναι αρνητικά συσχετισμένη για τους δύο τύπους εκτυπωτών.
2. Για την παραγωγή τους απαιτούνται τρία βασικά στάδια χειρισμού: η κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος μνήμης (printed circuit board, PCA), η τελική συναρμολόγηση και ο έλεγχος (final assembly and testing, FA&T), και η τελική προσαρμογή τους στις ιδιαίτερες προτιμήσεις και ανάγκες των πελατών (customization).

3. Κατά τη διάρκεια κάθε σταδίου χρησιμοποιούνται διαφορετικά εξαρτήματα για την παραγωγή των δύο διαφορετικών τελικών εκτυπωτών, έτσι ώστε οι λειτουργίες που αφορούν στην κατασκευή τους να είναι ευδιάκριτες.

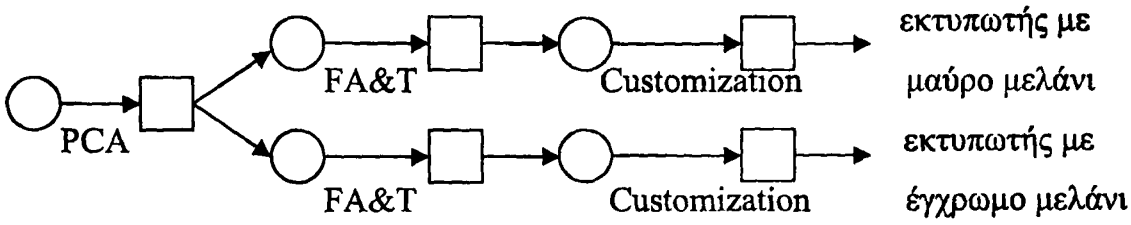
4. Επομένως, όταν δεν εφαρμόζεται η στρατηγική αναβολών, οπότε δεν έχουμε σκόπιμες "καθυστερήσεις", θα είναι: $N = 3$ και $k = 0$. Σχηματικά αυτό παριστάνεται ως εξής :



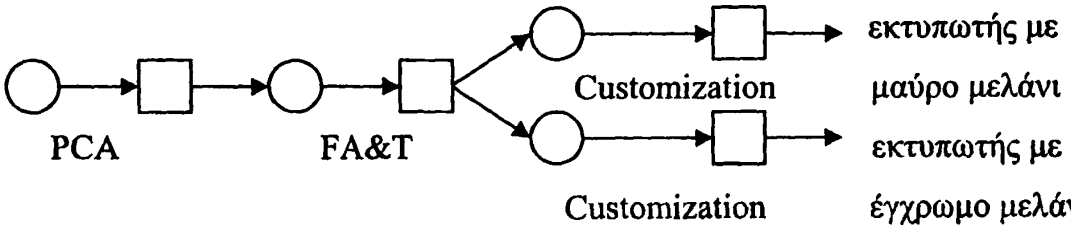
Σχήμα 3.7 : Μη ύπαρξη καθυστέρησης για διαφοροποίηση των δύο προϊόντων

3.8.2 Μαθηματικό μοντέλο

Στην παραπάνω απλή περίπτωση παραγωγής των δύο τύπων προϊόντος, η διαφοροποίηση στους δύο εκτυπωτές μπορεί να γίνει, είτε τυποποιώντας μόνο το στάδιο της κατασκευής του τυπωμένου κυκλώματος μνήμης (PCA), οπότε $k = 1$, είτε τυποποιώντας και τα δύο πρώτα στάδια, οπότε $k = 2$. Γραφικά θα έχουμε :



Σχήμα 3.8 : Τυποποίηση εξαρτημάτων για καθυστέρηση της διαφοροποίησης των δύο εκτυπωτών όταν $k = 1$



Σχήμα 3.9 : Τυποποίηση εξαρτημάτων για καθυστέρηση της διαφοροποίησης των δύο εκτυπωτών όταν $k = 2$.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Η τυποποίηση του σταδίου κατασκευής του τυπωμένου κυκλώματος μνήμης (PCA) είναι πιο δύσκολη τεχνικά, και το κόστος επένδυσης σε αυτό το στάδιο είναι μεγαλύτερο από αυτό που απαιτείται για την τυποποίηση του δεύτερου, της τελικής συναρμολόγησης και ελέγχου (FA&T). Συνεπώς θα έχουμε : $I_1(s) >> I_2(s) > 0$.

Πρέπει ακόμη να επισημάνουμε, το γεγονός ότι η διαδικασία της τυποποίησης (standardization) δεν επηρεάζει το χρόνο ανοχής, οπότε είναι : $n_j(k) = n_j$, $\forall j$.

Στην περίπτωσή μας μπορούμε να ορίσουμε το κόστος λειτουργίας ως εξής :

- $p_j(k,s) = p_j$, για όλα τα j και s όταν $k = 0$,
- $p_j(k,s) = p_j + a_j(s)$, εάν $j \le k$ και $k \ge 1$,
- $p_j(k,s) = p_j$, εάν $j > k$ και $k \ge 1$.

Ο όρος $a_j(s)$ συμβολίζει τα επιπρόσθετα κόστη λειτουργίας και υλικών (material and processing costs) όταν ο χειρισμός j τυποποιείται, και έτσι είναι : $a_1(s) > a_2(s) \ge 0$.

Το κόστος αποθέματος για τη διατήρηση μιας μονάδας (αποθέματος) στην προσωρινή μνήμη (buffer) j ορίζεται ως εξής :

- $h_j(k,s) = h_j$, για όλα τα j και s όταν $k = 0$,
- $h_j(k,s) = h_j + \left[b_1(s) + ... + b_j(s)\right]$, εάν $j \le k$ και $k \ge 1$,
- $h_j(k,s) = h_j + \left[b_1(s) + ... + b_k(s)\right]$, εάν $j > k$ και $k \ge 1$.

Όπου το h_j παριστά την σωρευτική τιμή αποθέματος που προστίθεται στο στάδιο j (cumulative value added at stage j) και με $b_j(s)$ συμβολίζουμε την επιπρόσθετη τιμή κόστους διατήρησης αποθέματος (additional added value) όταν τα εξαρτήματα του σταδίου j τυποποιούνται.

Η τιμή για το κόστος διατήρησης αποθέματος όταν τυποποιούμε (ομαδοποίηση εξαρτημάτων που έχουν παρόμοιες λειτουργίες) το στάδιο συναρμολόγησης του τυπωμένου κυκλώματος μνήμης (PCA) είναι αρκετά υψηλότερη αν λάβουμε υπόψη μας τις τεχνικές δυσκολίες, οπότε : $b_1(s) >> 0$. Ενώ, η αντίστοιχη τιμή που απαιτείται για την τυποποίηση της τελικής συναρμολόγησης και ελέγχου (FA&T) είναι πολύ μικρή και μπορούμε, τότε, να θεωρήσουμε ότι : $b_2(s) \approx 0$.

Παρατηρούμε ακόμη ότι οι δαπάνες διατήρησης αποθεμάτων αυξάνουν όταν αυξάνουν οι τιμές τους $b_j(s)$, για όλα τα j.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω κόστη στην έκφραση (3.1), τότε το συνολικό σχετικό κόστος Z(k,s) κάτω από διαφορετικά επίπεδα αναβολών για ένα δοσμένο σενάριο s γίνεται :

► Όταν $k = 0$ (αρχικός τρόπος παραγωγής) :

$$Z(0,s) = \sum_{j=1}^{3} p_j(0,s)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \sum_{j=1}^{3} h_j(0,s)n_j\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \\ + \sum_{j=0+1}^{N} h_j(0,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2} + z(\sigma_1+\sigma_2)\sqrt{n_j+1}\right]$$

Οπότε είναι :

$$Z(0,s) = (p_1+p_2+p_3)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + (h_1n_1+h_2n_2+h_3n_3)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \\ + (h_1+h_2+h_3)\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2} + z(\sigma_1+\sigma_2)\left[h_1\sqrt{n_1+1}+h_2\sqrt{n_2+1}+h_3\sqrt{n_3+1}\right] \tag{3.5}$$

► Όταν $k = 1$ (εφαρμογή στρατηγικής αναβολών από το πρώτο στάδιο παραγωγής) :

$$Z(1,s) = I_1(s) + \sum_{j=1}^{3} p_j(1,s)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \sum_{j=1}^{3} h_j(1,s)n_j\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \\ + \sum_{j=1}^{1} h_j(1,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2} + z\sigma_{12}\sqrt{n_j+1}\right] + \\ + \sum_{j=1+1}^{3} h_j(1,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2} + z(\sigma_1+\sigma_2)\sqrt{n_j+1}\right]$$

Οπότε είναι :

$$Z(1,s) = I_1(s) + \left[(p_1+a_1(s))+p_2+p_3\right]\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \\ + \left[(h_1+b_1(s))n_1 + (h_2+b_1(s))n_2 + (h_3+b_1(s))n_3\right]\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \\ + \left[(h_1+b_1(s))+(h_2+b_1(s))+(h_3+b_1(s))\right]\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2} + \\ + z\sigma_{12}\left[(h_1+b_1(s))\sqrt{n_1+1}\right] + \\ + z(\sigma_1+\sigma_2)\left[(h_2+b_1(s))\sqrt{n_2+1} + (h_3+b_1(s))\sqrt{n_3+1}\right] \tag{3.6}$$

► Όταν $k = 2$ (εφαρμογή στρατηγικής αναβολών από το δεύτερο στάδιο παραγωγής) :

$$Z(2,s) = I_1(s) + I_2(s) + \sum_{j=1}^{3} p_j(2,s)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \sum_{j=1}^{3} h_j(2,s)n_j\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right] + \\ + \sum_{j=1}^{2} h_j(2,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2} + z\sigma_{12}\sqrt{n_j+1}\right] + \sum_{j=2+1}^{3} h_j(2,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2} + z(\sigma_1+\sigma_2)\sqrt{n_j+1}\right]$$

Οπότε είναι :

$$
\begin{aligned}
Z(2,s) = {} & I_1(s) + I_2(s) + \left[(p_1 + a_1(s)) + (p_2 + a_2(s)) + p_3\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\
& + \left[(h_1 + b_1(s))n_1 + (h_2 + b_1(s) + b_2(s))n_2 + (h_3 + b_1(s) + b_2(s))n_3\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\
& + \left\{\left[h_1 + b_1(s)\right] + \left[h_2 + b_1(s) + b_2(s)\right] + \left[h_3 + b_1(s) + b_2(s)\right]\right\}\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + \\
& + z\sigma_{12}\left\{\left[(h_1 + b_1(s))\sqrt{n_1 + 1}\right] + \left[(h_2 + b_1(s) + b_2(s))\sqrt{n_2 + 1}\right]\right\} + \\
& + z(\sigma_1 + \sigma_2)\left\{\left[(h_3 + b_1(s) + b_2(s))\sqrt{n_3 + 1}\right]\right\}
\end{aligned}
\tag{3.7}
$$

Στη συνέχεια, ακολουθεί μια σύγκριση των παραπάνω σχέσεων (3.5), (3.6) και (3.7) ανά δύο, έτσι ώστε να αποφασίσουμε για το βέλτιστο σημείο "καθυστέρησης" της διαφοροποίησης των δύο προϊόντων.

►Συγκρίνουμε αρχικά, τα συνολικά σχετικά κόστη $Z(0,s)$ και $Z(1,s)$, και θα έχουμε την παρακάτω διαφορά :

$$
\begin{aligned}
Z(1,s) - Z(0,s) = {} & I_1(s) + a_1(s)\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + b_1(s)(n_1 + n_2 + n_3)\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\
& + 3b_1(s)\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + z\left(\sqrt{n_1 + 1}\right)\left[(h_1 + b_1(s))\sigma_{12} - h_1(\sigma_1 + \sigma_2)\right] + \\
& + zb_1(s)(\sigma_1 + \sigma_2)\left[\left(\sqrt{n_2 + 1}\right) + \left(\sqrt{n_3 + 1}\right)\right]
\end{aligned}
\tag{3.8}
$$

Στο σημείο αυτό, θα συμφωνήσουμε με τη θεώρηση των Lee and Tang (1997), ότι δηλαδή η πιθανότητα να έχουμε $Z(1,s) - Z(0,s) < 0$ είναι πολύ μικρή όταν το $b_1(s)$ είναι επαρκώς μεγάλο. Αυτό σημαίνει πως όταν το επιπρόσθετο κόστος διατήρησης αποθεμάτων είναι πολύ μικρό, τότε $Z(1,s) > Z(0,s)$ και επομένως δεν χρειάζεται να κάνουμε τυποποίηση στο πρώτο στάδιο παραγωγής. Εδώ, βέβαια, γνωρίζουμε ότι τα κόστη προσαύξησης για την τυποποίηση στο πρώτο στάδιο είναι μεγάλα, εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων, και θα μπορούσαμε να καταλήξουμε στο ίδιο συμπέρασμα χωρίς τους παραπάνω μαθηματικούς υπολογισμούς. Έτσι, ο βέλτιστος κοινός χειρισμός είναι : είτε $k^*(s) = 0$, είτε $k^*(s) = 2$. Δηλαδή, η εταιρία θα πρέπει είτε να τυποποιήσει όσο το δυνατόν περισσότερο, είτε να μην τυποποιήσει καθόλου (bang-bang solution). Πρακτικά όμως, είναι πολύ δύσκολο για την εκάστοτε εταιρία να τυποποιήσει όσο το δυνατόν περισσότερο, επειδή τότε θα αυξήσει το κόστος παραγωγής της, και επιπλέον, η τεχνολογική διαθεσιμότητα που προϋπάρχει περιορίζει την εφαρμογή αυτής της στρατηγικής αναβολών. Ο Van Hoek (2001), στην έρευνά του, διαπίστωσε ότι, στην περίπτωση που ένας τυποποιημένος σχεδιασμός έχει περιορισμένη ευελιξία, ενώ απαιτεί υψηλή τεχνολογική υποστήριξη, το αποτέλεσμα της εφαρμογής του θα είναι μεγάλοι κύκλοι λειτουργιών (long process cycles) και ο

χρόνος που απαιτείται κάθε φορά για την προετοιμασία της επόμενης γραμμής παραγωγής (changeover time) θα είναι εξίσου μεγάλος.

►Συγκρίνουμε τώρα, τα συνολικά σχετικά κόστη $Z(1,s)$ και $Z(2,s)$, προκειμένου να δούμε εάν η παραπάνω "λύση" εξακολουθεί να είναι η βέλτιστη. Θα έχουμε :

$$\begin{aligned} Z(2,s)-Z(1,s) &= I_2(s)+a_2(s)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+b_2(s)(n_2+n_3)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+ \\ &+2b_2(s)\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2}+z\left(\sqrt{n_3+1}\right)\left[b_2(s)(\sigma_1+\sigma_2)\right]+ \\ &+z\left(\sqrt{n_2+1}\right)\left[(h_2+b_1(s)+b_2(s))\sigma_{12}-(h_2+b_1(s))(\sigma_1+\sigma_2)\right] \end{aligned} \tag{3.9}$$

Σε αυτήν τη σχέση παρατηρούμε ότι, παρόλο που οι πέντε πρώτοι όροι του δεξιού μέλους είναι θετικοί, οι ισχυρισμοί $a_2(s)\geq 0$ και $b_2(s)\approx 0$ έχουν ως αποτέλεσμα το μηδενισμό των τεσσάρων από αυτούς, εκτός από τον πρώτο όρο. Ο έκτος όρος είναι προφανώς αρνητική ποσότητα, εφόσον $\sigma_{12}\leq\sigma_1+\sigma_2$ και $b_2(s)\approx 0$. Επιπρόσθετα, το κόστος επένδυσης $I_2(s)$ είναι σχετικά μικρό, αφού $I_1(s)>>I_2(s)>0$, οπότε τελικά είναι $Z(2,s)<Z(1,s)$. Καταλήγουμε, λοιπόν, ξανά στο ίδιο συμπέρασμα, και δεχόμαστε σαν βέλτιστη λύση την τυποποίηση και των δύο πρώτων σταδίων, της συναρμολόγησης, δηλαδή, του τυπωμένου κυκλώματος μνήμης (PCA) καθώς επίσης και της τελικής συναρμολόγησης και ελέγχου (FA&T), οπότε $k^*(s)=2$.

►Τέλος, θα συγκρίνουμε τα συνολικά σχετικά κόστη $Z(0,s)$ και $Z(2,s)$,και βρίσκοντας το πρόσημο της διαφοράς τους θα δούμε ποια εκ των $k^*(s)=0$ και $k^*(s)=2$ είναι η βέλτιστη λύση για τη συγκεκριμένη εταιρία. Θα είναι :

$$\begin{aligned} Z(2,s)-Z(0,s) &= I_1(s)+I_2(s)+\left[a_1(s)+a_2(s)\right]\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+ \\ &+b_1(s)(n_1+n_2+n_3)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+b_2(s)(n_2+n_3)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+ \\ &+\left[3b_1(s)+2b_2(s)\right]\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2}+z\left(\sqrt{n_3+1}\right)\left[(b_1(s)+b_2(s))(\sigma_1+\sigma_2)\right]+ \\ &+z\left(\sqrt{n_1+1}\right)\left[(h_1+b_1(s))\sigma_{12}-h_1(\sigma_1+\sigma_2)\right]+ \\ &+z\left(\sqrt{n_2+1}\right)\left[(h_2+b_1(s)+b_2(s))\sigma_{12}-h_2(\sigma_1+\sigma_2)\right] \end{aligned} \tag{3.10}$$

Από την παραπάνω σχέση βλέπουμε ότι μόνο οι δύο τελευταίοι όροι, οι $\left[(h_1+b_1(s))\sigma_{12}-h_1(\sigma_1+\sigma_2)\right]$ και $\left[(h_2+b_1(s)+b_2(s))\sigma_{12}-h_2(\sigma_1+\sigma_2)\right]$, του δεξιού μέλους είναι αρνητικές ποσότητες, ενώ όλοι οι υπόλοιποι όροι είναι θετικές ποσότητες. Τώρα, λοιπόν, το συμπέρασμα $Z(2,s)>Z(0,s)$ ή $Z(2,s)<Z(0,s)$ εξαρτάται από τα στοιχεία $I_j(s), a_j(s)$ και

$b_j(s)$. Αυτά τα στοιχεία όμως, μεταβάλλονται σύμφωνα με τον "εμπορικό κύκλο" s (business cycle), τις αλλαγές, δηλαδή, που υφίστανται στην εταιρία από το εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι, η απόφαση για το βέλτιστο $k^*(s)$ θα πρέπει να ληφθεί με βάση το σενάριο s.

Από την παραπάνω μελέτη, για την ειδική περίπτωση των δύο εκτυπωτών, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη λύση για την υιοθέτηση της στρατηγικής αναβολών, με τη χρήση τυποποίησης (standardization), είναι $k^*(s) = 0$ ή $k^*(s) = 2$. Οπότε η εταιρία θα πρέπει, είτε να μην τυποποιήσει καθόλου, είτε να τυποποιήσει όλα τα στάδια χειρισμού εκτός από το τελευταίο, αυτό της διαφοροποίησης των δύο προϊόντων (bang-bang solution).

Το συμπέρασμα αυτό επαληθεύεται από την ανάλυση του αριθμητικού παραδείγματος που ακολουθεί.

3.8.3 Αριθμητική ανάλυση

Δίνουμε, αρχικά, ένα ενδεικτικό σύνολο αριθμητικών τιμών για τις διάφορες μεταβλητές μας (Ernst and Kamrad, 2000) :

- $\rho = -0.99$ και $\sigma_1 = \sigma_2 = 20$, $\sigma_{12} = 2.8$
- $p_1 = p_2 = p_3 = 2$ ευρώ / μονάδα εξαρτήματος
- $h_1 = h_2 = h_3 = 2$ ευρώ / μονάδα εξαρτήματος
- $n_1 = n_2 = n_3 = 3$ λεπτά της ώρας / μονάδα εξαρτήματος
- $z = 0.9$

Στη μελέτη μας, θεωρήσαμε ότι η εφοδιαστική αλυσίδα επηρεάζεται από έναν μόνο παράγοντα εξωτερικού περιβάλλοντος, τον εμπορικό κύκλο (business cycle). Ο εμπορικός κύκλος μετράται χρησιμοποιώντας τους δείκτες εμπορικού κύκλου (Business Cycle Indicators), οι οποίοι έχουν οριστεί από το συμβούλιο οικονομικού σχεδιασμού και ανάπτυξης (Council of Economic Planning and Development, CEPD) της Ταϊβανέζικης κυβέρνησης (Huang, Yu-Ying). Το σύνολο αυτών των δεικτών παριστάνει πέντε διαφορετικά επίπεδα τάσεων του εμπορικού κύκλου και εδώ συμβολίζει τα πέντε σενάρια που επηρεάζουν το μοντέλο μας. Δηλαδή είναι $S = 5$ με $: s \in S = \{s_1, s_2, ..., s_5\}$. Σύμφωνα με τις σχετικές πληροφορίες που δόθηκαν από το συμβούλιο οικονομικού σχεδιασμού και ανάπτυξης της Ταϊβάν, οι δείκτες εμπορικού κύκλου κατά τη χρονική περίοδο Ιανουαρίου του 1968 έως τον Οκτώβριο του 2003 έχουν τις ακόλουθες

αναλογίες : 17% για το δείκτη που αναφέρεται στο πρώτο σενάριο s_1, 21% για το σενάριο s_2, 34% για το σενάριο s_3, 15% για το σενάριο s_4 και 13% για το σενάριο s_5.

Το σύνολο των αριθμητικών τιμών που χρησιμοποιούμε και τα σχετικά αποτελέσματα που αφορούν στα συνολικά σχετικά κόστη των σχέσεων (3.5), (3.6) και (3.7) δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Σενάρια / Μεταβλητές	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
$\mu_1 = \mu_2$	80	90	100	110	120
$p_1 = p_2 = p_3$	2	2	2	2	2
$a_1 = a_2$	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
h_1	3	3	3	3	3
$h_1 = h_2$	2	2	2	2	2
b_1	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
b_2	0.035	0.03	0.025	0.02	0.015
I_1	240	220	200	180	160
I_2	70	60	50	40	30
$\sigma_1 = \sigma_2$	20	20	20	20	20
σ_{12}	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Αναμενόμενο συνολικό κόστος κάτω από τα διαφορετικά σενάρια					
Z(0,s)	5384	5994	6604	7241	7824
Z(1,s)	5562	6146	6725	7300	7870
Z(2,s)	5558	6130	6695	7253	7805
$k^*(s)$	$k = 0$	$k = 0$	$k = 0$	$k = 0$	$k = 2$

Πίνακας 3.1 : Αριθμητικές τιμές των παραμέτρων και αναμενόμενο συνολικό κόστος για τα διάφορα σενάρια s_i $(\forall i = 1,2)$ στην τυποποίηση (standardization).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΠΑΤΡΩΝ

Θεωρούμε, ακόμη, ότι το κόστος επένδυσης $I_j(s)$ μειώνεται όταν ο εμπορικός κύκλος "ευδοκιμεί" βασιζόμενος σε διάφορες οικονομικές θεωρίες. Παράλληλα, τα κόστη $p_j(k,s)$ και $h_j(k,s)$ ελαττώνονται όταν δημιουργούνται οικονομίες κλίμακος που προέρχονται από την αύξηση ζήτησης των προϊόντων. Υποθέτουμε, τότε, ότι οι ποσότητες $\mu_i(s)$ $(\forall i = 1,2)$, $I_j(s)$, $a_j(s)$ και $b_j(s)$ $(\forall j = 1,2,...,N)$, μεταβάλλονται γραμμικά σε σχέση με τα πέντε σενάρια.

Από τον πίνακα 3.1, βλέπουμε ότι το $Z(k,s)$ δίνει ένα διαφορετικό τελευταίο κοινό χειρισμό για το κάθε σενάριο s. Το βέλτιστο $k^*(s)$ σε κάθε ένα από τα σενάρια αυτά, είναι εκείνο το οποίο ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση $Z(k,s)$ του συνολικού κόστους. Παρατηρούμε, ακόμη, ότι υπάρχει βέλτιστο $k^* = 0$, επομένως η τυποποίηση δεν είναι κατάλληλη σε όλα τα σενάρια. Όταν, όμως, η ζήτηση αυξάνει επαρκώς, ώστε να μειώνει τα I_j και a_j, τότε η εξοικονόμηση κόστους από την εφαρμογή της στρατηγικής αναβολών είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα κόστη που αυτή επιφέρει, οπότε $k^* = 2$, δηλαδή έχουμε τυποποίηση στο μέγιστο βαθμό για το σενάριο s_5. Συχνά, βέβαια, οι εταιρίες είναι απρόθυμες να εφαρμόσουν αμέσως τυποποίηση, ομαδοποίηση δηλαδή, των κοινών εξαρτημάτων και λειτουργιών των προϊόντων τους, με την παραμικρή αύξηση στη ζήτηση. Επομένως, η τυποποίηση στο μέγιστο βαθμό της είναι εφαρμόσιμη τη στιγμή που η εκάστοτε εταιρία θα το αποφασίσει.

Στη συνέχεια, αντικαθιστούμε τις πιθανότητες P(s), που δίνονται με τη μορφή αναλογιών για το κάθε σενάριο(δείκτη εμπορικού κύκλου) από το συμβούλιο οικονομικού σχεδιασμού και ανάπτυξης της Ταϊβάν, και τα δεδομένα του πίνακα 3.1 στη σχέση (3.2) $\left(V(k) = \sum_{s \in \{s_1,...,s_S\}} P(s)Z(k,s)\right)$. Τότε, τα συνολικά αναμενόμενα κόστη για τα παραπάνω διαφορετικά σενάρια είναι : $V(0) = 6695.07$, $V(1) = 6802.77$ και $V(2) = 6768.58$. Εφόσον το $V(0)$ είναι μικρότερο από τα άλλα δύο, το $\bar{k} = 0$ είναι αυτό που ελαχιστοποιεί τα συνολικά αναμενόμενα κόστη και εκφράζει τη στατική απόφαση που θα πάρει η εταιρία σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Έτσι η ποσότητα : $V^* = V(\bar{k}) = V(0) = 6695.07$ θα παριστά τα συνολικά αναμενόμενα κόστη που αντιστοιχούν στη στατική απόφαση (static decision) $\bar{k}$. Αυτό σημαίνει

πως, εάν οι εταιρίες δεν μπορούν εύκολα να επανασχεδιάσουν τα προϊόντα και τις λειτουργίες τους σε ένα δυναμικό περιβάλλον, τότε αψηφούν τις οποιεσδήποτε εξωτερικές επιδράσεις και η βέλτιστη επιλογή τους είναι να μην εφαρμόσουν καθόλου στρατηγικές αναβολών με τη μορφή της τυποποίησης.

Τέλος, για να βρούμε τη βέλτιστη επιλογή στην περίπτωση που η εταιρία μπορεί αυθαίρετα να προσαρμόσει τον τρόπο παραγωγής της σε κάθε σενάριο s, αντικαθιστούμε τα συνολικά σχετικά κόστη $Z(0,s_1)$, $Z(0,s_2)$, $Z(0,s_3)$, $Z(0,s_4)$, $Z(2,s_5)$ και τις αντίστοιχες πιθανότητες για τα διάφορα σενάρια, στη σχέση (3.4) $\left(W^* = V(k^*) = \sum_{s \in \{s_1,\ldots,s_S\}} P(s) Z(k^*,s) \right)$. Τότε το συνολικό αναμενόμενο κόστος W^*, που αντιστοιχεί στη βέλτιστη δυναμική απόφαση (dynamic decision) k^* για κάθε σενάριο, είναι το : $W^* = 6691.88$.

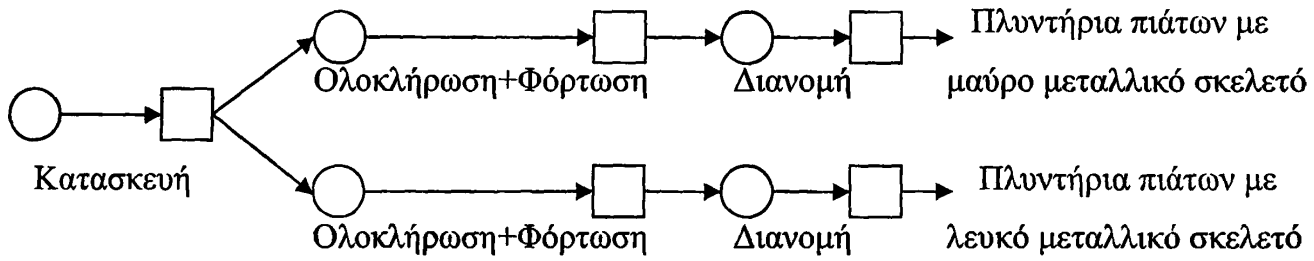
Παρατηρούμε, ακόμη ότι : $W^* = 6691.88 < V^* = 6695.07$, πράγμα που επιβεβαιώνει την θεωρητική προσέγγισή μας, εφόσον το W^* έχει υπολογιστεί σύμφωνα με τη βέλτιστη επιλογή k^* για κάθε σενάριο.

3.9 Εφαρμογή 2 – Στρατηγικές αναβολών με χρήση modular σχεδιασμού

3.9.1 Υποθέσεις

1. Θεωρούμε έναν κατασκευαστή ο οποίος παράγει δύο μόνο τύπους πλυντηρίου πιάτων, το μαύρο τύπο και τον άσπρο. Τα παραπάνω προϊόντα διαφέρουν ως προς το χρώμα που έχει ο μεταλλικός σκελετός τους, επομένως η ζήτηση για τα τελικά πλυντήρια πιάτων (end products) δεν θα είναι η ίδια, και μάλιστα αυτή θα είναι αρνητικά συσχετισμένη για τους δύο τύπους.
2. Για την παραγωγή των πλυντηρίων απαιτούνται τρία βασικά στάδια χειρισμού: η μονάδα κατασκευής τους (fabrication), η μονάδα ολοκλήρωσης και φόρτωσής τους στα διάφορα μεταφορικά μέσα που διαθέτει η εταιρία (integration and shipping) και τέλος η διανομή τους (distribution) στις αποθήκες. Τα βασικά εξαρτήματα, όπως για παράδειγμα μηχανές (motors), λογικά κυκλώματα μητρικών (circuit boards), πλαστικά μέρη και μεταλλικοί σκελετοί (μαύροι ή λευκοί) παράγονται κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, της κατασκευής. Στη συνέχεια, τα εξαρτήματα αυτά συναρμολογούνται ώστε να πάρουμε τα ολοκληρωμένα προϊόντα, και τελικά διανέμονται στις αποθήκες της εταιρίας.

3. Θα πρέπει στο σημείο αυτό, να παρατηρήσουμε ότι οι μεταλλικοί σκελετοί διαφορετικού χρώματος συναρμολογούνται κατά τη διάρκεια του δεύτερου σταδίου, έτσι ώστε τα πλυντήρια πιάτων διαφοροποιούνται μετά το πρώτο στάδιο. Επομένως, η αρχική παραγωγή, θα δίνει στην περίπτωση αυτή : $N = 3$ και $k = 1$. Σχηματικά αυτό παριστάνεται ως εξής :



Σχήμα 3.10 : Η αρχική παραγωγή των δύο τύπων πλυντηρίων πιάτων ($k = 1$).

Η περίπτωση την οποία μελετάμε εδώ, διαφέρει από αυτήν της τυποποίησης για τους δύο εκτυπωτές, για το λόγο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε πως η ανάλυσή μας τώρα θα ξεκινήσει από $k = 1$ και όχι από $k = 0$.

3.9.2 Μαθηματικό μοντέλο

Τα βασικά εξαρτήματα διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, απ' όπου προκύπτει ένα ημιτελές προϊόν (semi finished product), το οποίο καθορίζεται πλήρως κατά τη διάρκεια του δεύτερου σταδίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κόστους επένδυσης $I_1(s)$, που προέρχεται από την κοινή παραγωγή (ομαδοποίηση) εξαρτημάτων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν και στους δύο τύπους πλυντηρίων.

Μπορούμε, ακόμη, να ορίσουμε το κόστος λειτουργίας ως εξής :

- $p_j(k,s) = p_j$, για όλα τα j και s όταν $k = 1$

Το κόστος αποθέματος για τη διατήρηση μιας μονάδας (αποθέματος) στην προσωρινή μνήμη (buffer) j ορίζεται ως εξής :

- $h_j(k,s) = h_j$, για όλα τα j και s όταν $k = 1$

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στη διαδικασία του modular σχεδιασμού ο χρόνος ανοχής δεν επηρεάζεται από το τελευταίο κοινό στάδιο k πριν τη διαφοροποίηση, όταν $k = 1$, οπότε είναι : $n_j(k) = n_j$, $\forall j$.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Τότε, το συνολικό σχετικό κόστος $Z(k,s)$ για ένα δοσμένο σενάριο s γίνεται :

► Όταν $k=1$ (αρχικός τρόπος παραγωγής) :

$$Z(1,s)=I_1(s)+\sum_{j=1}^{3}p_j(1,s)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+\sum_{j=1}^{3}h_j(1,s)n_j\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+$$
$$+\sum_{j=1}^{1}h_j(1,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2}+z\sigma_{12}\sqrt{n_j+1}\right]+$$
$$+\sum_{j=1+1}^{3}h_j(1,s)\left[\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2}+z(\sigma_1+\sigma_2)\sqrt{n_j+1}\right]$$

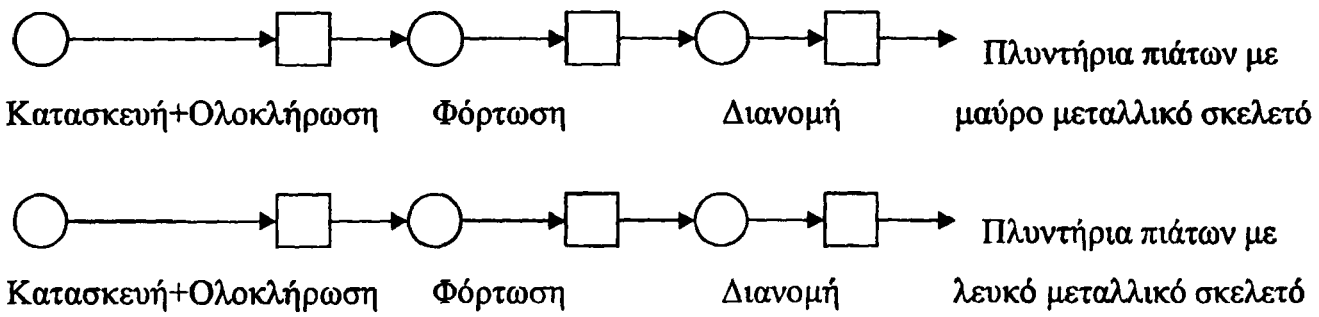
Οπότε είναι :

$$Z(1,s)=I_1(s)+(p_1+p_2+p_3)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+(h_1n_1+h_2n_2+h_3n_3)\left[\mu_1(s)+\mu_2(s)\right]+$$
$$+(h_1+h_2+h_3)\frac{\mu_1(s)+\mu_2(s)}{2}+z\sigma_{12}\left(h_1\sqrt{n_1+1}\right)+z(\sigma_1+\sigma_2)\left[h_2\sqrt{n_2+1}+h_3\sqrt{n_3+1}\right] \quad (3.11)$$

Στην περίπτωση αυτή, ο αρχικός τρόπος παραγωγής περιλαμβάνει "καθυστέρηση" της διαφοροποίησης των δύο τύπων προϊόντος μέσω του modular σχεδιασμού των μεταλλικών σκελετών. Σημειώνουμε, βέβαια, πως το κόστος επένδυσης $I_1(s)$ δεν είναι σημαντικά μεγάλο.

Εκτός από την περίπτωση στην οποία είναι $k=1$, υπάρχουν δύο ακόμη μέθοδοι παραγωγής των πλυντηρίων.

Η πρώτη από αυτές δίνεται όταν $k=0$. Αυτό σημαίνει πως η κατασκευή και ολοκλήρωση των προϊόντων γίνονται στο πρώτο στάδιο χειρισμού, χωρίς να εφαρμόζουμε στρατηγική αναβολών, και κατά συνέπεια δεν υπάρχει modular σχεδιασμός (σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11 : Η περίπτωση μη εφαρμογής modular σχεδιασμού ($k=0$).

Ο μεταλλικός σκελετός με τα διαφορετικά χρώματα τοποθετείται στα πλυντήρια πιάτων κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, αυτό της κατασκευής και ολοκλήρωσης. Τότε δημιουργούνται τα

επιπρόσθετα κόστη $a_1(s)$ και $b_1(s)$, καθώς επίσης και ο επιπρόσθετος χρόνος ανοχής t_1 (additional lead-time).

Ο χρόνος ανοχής δίνεται από τις σχέσεις :

- $n_j(k) = n_j + t_j$, εάν $j = 1$ και $k = 0$,
- $n_j(k) = n_j$, εάν $j = 2,3$ και $k = 0$.

Τα κόστη λειτουργίας είναι :

- $p_j(k,s) = p_j + a_j(s)$, εάν $j = 1$ και $k = 0$,
- $p_j(k,s) = p_j$, εάν $j = 2,3$ και $k = 0$.

Το κόστος αποθέματος για τη διατήρηση μιας μονάδας (αποθέματος) στην προσωρινή μνήμη (buffer) j ορίζεται, τότε, ως εξής :

- $h_j(k,s) = h_j + b_j(s)$, εάν $j = 1$ και $k = 0$,
- $h_j(k,s) = h_j$, εάν $j = 2,3$ και $k = 0$.

Στην περίπτωση αυτή, δεν έχουμε κόστος επένδυσης $I_j(s)$, $\forall j$.

Τότε, το συνολικό σχετικό κόστος $Z(k,s)$ για ένα δοσμένο σενάριο s γίνεται :

► Όταν $k = 0$ (χωρίς εφαρμογή του modular σχεδιασμού) :

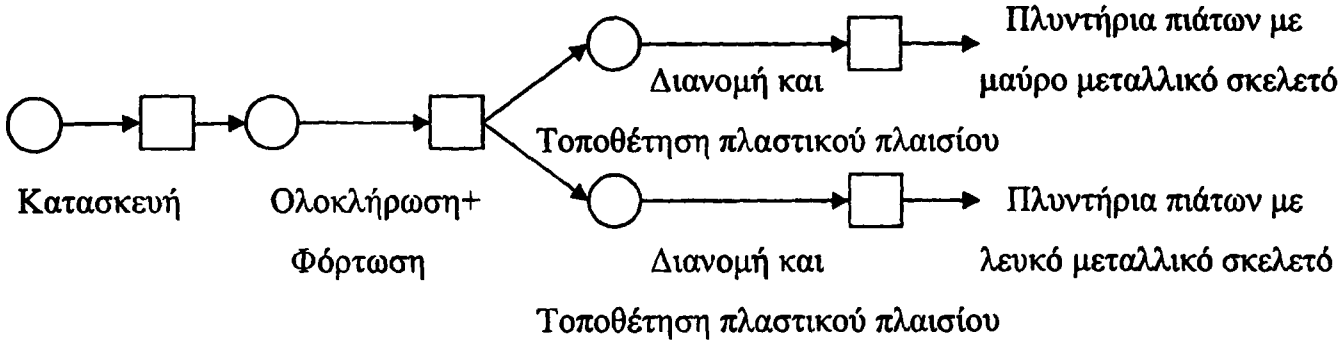
$$Z(0,s) = \sum_{j=1}^{3} p_j(0,s)\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \sum_{j=1}^{3} h_j(0,s)\left[n_j(0)\cdot\left(\mu_1(s) + \mu_2(s)\right)\right] +$$
$$+ \sum_{j=0+1}^{3} h_j(0,s)\left[\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + z(\sigma_1 + \sigma_2)\sqrt{n_j(0) + 1}\right]$$

Οπότε είναι :

$$\begin{aligned} Z(0,s) = &\left[p_1 + a_1(s) + p_2 + p_3\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ &+ \left\{\left[h_1 + b_1(s)\right](n_1 + t_1) + h_2 n_2 + h_3 n_3\right\}\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ &+ \left(h_1 + b_1(s) + h_2 + h_3\right)\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + \\ &+ z(\sigma_1 + \sigma_2)\left\{\left[h_1 + b_1(s)\right]\sqrt{n_1 + t_1 + 1} + h_2\sqrt{n_2 + 1} + h_3\sqrt{n_3 + 1}\right\} \end{aligned} \tag{3.12}$$

Η δεύτερη περίπτωση δίνεται για $k = 2$, όταν δηλαδή η "καθυστέρηση" του σημείου διαφοροποίησης γίνεται στο τελευταίο στάδιο χειρισμού. Τότε, ο μεταλλικός σκελετός διαιρείται σε δύο συνιστώσες (submodules) : σε ένα γενικό μεταλλικό πλαίσιο, και σε ένα πλαστικό κάλυμμα, το οποίο καθορίζει τα χρώματα των πλυντηρίων. Με βάση αυτόν τον επανασχεδιασμό,

η εταιρία παράγει και φορτώνει τα πλυντήρια πιάτων χωρίς το πλαστικό κάλυμμα. Τα κέντρα διανομής κρατούν το κάλυμμα αυτό, και είναι υπεύθυνα για την τοποθέτησή του, ώστε τελικά να έχουμε τους δύο τύπους πλυντηρίων. Έτσι, τα κέντρα διανομής διαχειρίζονται μια επιπρόσθετη λειτουργία, και το σημείο διαφοροποίησης μπορεί να "καθυστερήσει" από το στάδιο χειρισμού $k = 1$ (αρχικός τρόπος παραγωγής) στο στάδιο $k = 2$. Σχηματικά θα έχουμε ότι :



Σχήμα 3.12 : Modular σχεδιασμός του μεταλλικού σκελετού ($k = 2$).

Σε αυτήν την περίπτωση, έχουμε τα κόστη επένδυσης $I_1(s)$ και $I_2(s)$, τα οποία προέρχονται από τον modular σχεδιασμό των δύο πρώτων σταδίων χειρισμού.

Επιπλέον, η τοποθέτηση του πλαστικού πλαισίου δημιουργεί τα επιπρόσθετα κόστη $a_3(s)$ και $b_3(s)$, καθώς επίσης και τον επιπρόσθετο χρόνο ανοχής t_3 (additional lead-time).

Ο χρόνος ανοχής δίνεται από τις σχέσεις :

- $n_j(k) = n_j + t_j$, εάν $j = 3$ και $k = 2$,
- $n_j(k) = n_j$, εάν $j = 1,2$ και $k = 2$.

Τα κόστη λειτουργίας είναι :

- $p_j(k,s) = p_j + a_j(s)$, εάν $j = 3$ και $k = 2$,
- $p_j(k,s) = p_j$, εάν $j = 1,2$ και $k = 2$.

Το κόστος αποθέματος για τη διατήρηση μιας μονάδας (αποθέματος) στην προσωρινή μνήμη (buffer) j ορίζεται, τότε, ως εξής :

- $h_j(k,s) = h_j + b_j(s)$, εάν $j = 3$ και $k = 2$,
- $h_j(k,s) = h_j$, εάν $j = 1,2$ και $k = 2$.

Τότε, το συνολικό σχετικό κόστος $Z(k,s)$ για ένα δοσμένο σενάριο s γίνεται :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

► Όταν $k = 2$ (εφαρμογή modular σχεδιασμού στο μεταλλικό πλαίσιο) :

$$Z(2,s) = I_1(s) + I_2(s) + \sum_{j=1}^{3} p_j(2,s)\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \sum_{j=1}^{3} h_j(2,s)\left[n_j(2)\cdot\left(\mu_1(s) + \mu_2(s)\right)\right] +$$
$$+ \sum_{j=1}^{2} h_j(2,s)\left[\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + z\sigma_{12}\sqrt{n_j(2)+1}\right] +$$
$$+ \sum_{j=2+1}^{3} h_j(2,s)\left[\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + z(\sigma_1 + \sigma_2)\sqrt{n_j(2)+1}\right]$$

Οπότε είναι :

$$\begin{aligned} Z(2,s) &= I_1(s) + I_2(s) + \left[p_1 + p_2 + p_3 + a_3(s)\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ &+ \left\{h_1 n_1 + h_2 n_2 + \left[h_3 + b_3(s)\right](n_3 + t_3)\right\}\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ &+ \left(h_1 + h_2 + h_3 + b_3(s)\right)\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + z\sigma_{12}\left[h_1\sqrt{n_1+1} + h_2\sqrt{n_2+1}\right] + \\ &+ z(\sigma_1 + \sigma_2)\left\{\left[h_3 + b_3(s)\right]\sqrt{n_3 + t_3 + 1}\right\} \end{aligned} \tag{3.13}$$

Στη συνέχεια, ακολουθεί μια σύγκριση των παραπάνω σχέσεων (3.11), (3.12) και (3.13) ανά δύο, έτσι ώστε να αποφασίσουμε για το βέλτιστο σημείο "καθυστέρησης" της διαφοροποίησης των δύο προϊόντων.

Συγκρίνουμε αρχικά, τα συνολικά σχετικά κόστη $Z(0,s)$ και $Z(1,s)$, και θα έχουμε την παρακάτω διαφορά :

$$\begin{aligned} Z(1,s) - Z(0,s) &= I_1(s) + \left[-h_1 t_1 - b_1(s)(n_1 + t_1)\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ &+ \left[-b_1(s)\right]\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + z\sigma_{12} h_1\sqrt{n_1+1} - \\ &- z(\sigma_1 + \sigma_2)\left[\left(h_1 + b_1(s)\right)\sqrt{n_1 + t_1 + 1}\right] \end{aligned} \tag{3.14}$$

Από την παραπάνω σχέση, βλέπουμε ότι ο μόνος θετικός όρος του δεξιού μέλους είναι ο $I_1(s)$. Όμως, ξέρουμε πως το κόστος επένδυσης είναι πολύ μικρό σε σχέση με τα οφέλη που προέρχονται από την εφαρμογή του modular σχεδιασμού, και αφορούν στην εξοικονόμηση κόστους διατήρησης αποθεμάτων. Συνεπώς, είναι : $Z(1,s) - Z(0,s) < 0$, οπότε η εταιρία θα συνεχίσει να κατασκευάζει τα προϊόντα της σύμφωνα με το αρχικό πλάνο παραγωγής, όπου $k = 1$. Το κόστος επένδυσης, σε αυτήν την περίπτωση, δεν είναι τόσο μεγάλο όσο στην περίπτωση της τυποποίησης (standardization), επειδή η modularization δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες στον επανασχεδιασμό των διαφόρων εξαρτημάτων. Επομένως, εδώ, σπάνια

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

θα συναντήσουμε βέλτιστες λύσεις που, είτε θα επιτρέπουν τη modularization στο μέγιστο βαθμό της, είτε θα είναι μη εφαρμόσιμη (bang-bang solution). Βέβαια, η modularization δεν είναι απαραίτητα κατάλληλη σε οποιοδήποτε στάδιο χειρισμού, και αυτό φαίνεται στις παρακάτω συγκρίσεις.

Στη συνέχεια, θα μελετήσουμε τη διαφορά που προκύπτει από τα συνολικά σχετικά κόστη $Z(2,s)$ και $Z(1,s)$. Είναι :

$$\begin{aligned} Z(2,s) - Z(1,s) = {} & I_2(s) + a_3(s)\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ & + \left[b_3(s)(n_3 + t_3) + h_3 t_3\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ & + b_3(s)\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + z\sqrt{n_2 + 1}\left[h_2\sigma_{12} - h_2(\sigma_1 + \sigma_2)\right] + \\ & + z(\sigma_1 + \sigma_2)\left[(h_3 + b_3(s))\sqrt{n_3 + t_3 + 1} - h_3\sqrt{n_3 + 1}\right] \end{aligned} \tag{3.15}$$

Παρατηρούμε ότι οι τέσσερις πρώτοι όροι και ο τελευταίος του δεξιού μέλους της παραπάνω εξίσωσης, που αναφέρονται κατά κύριο λόγο στα κόστη τα οποία δημιουργεί η χρήση της modularity στο μεταλλικό σκελετό, είναι όλες θετικές ποσότητες. Μόνο ο πέμπτος όρος, που αναφέρεται στην εξοικονόμηση κόστους για τη διατήρηση αποθεμάτων, είναι αρνητικός. Έτσι, η πιθανότητα να έχουμε $Z(2,s) < Z(1,s)$, είναι αρκετά μεγάλη μόνο στην περίπτωση που οι ποσότητες $I_2(s)$, $a_3(s)$ και $b_3(s)$ είναι επαρκώς μικρές, και τότε η εταιρία επιλέγει να εφαρμόσει modularization στο στάδιο $k = 2$. Αυτό σημαίνει πως, τα οφέλη που προέρχονται από την "επιπλέον καθυστέρηση" (από το στάδιο 1 στο στάδιο 2) αυξάνονται όταν η modularization δεν δημιουργεί επιπρόσθετα κόστη λειτουργίας ($a_3(s) \approx 0$), και ο modular σχεδιασμός των εξαρτημάτων δεν επιφέρει πρόσθετες δαπάνες που αφορούν στη διατήρηση αποθεμάτων ή στα κόστη επένδυσης ($b_3(s) \approx 0$ και $I_2(s) \approx 0$).

Τέλος, συγκρίνουμε τα συνολικά σχετικά κόστη $Z(2,s)$ και $Z(0,s)$, οπότε θα έχουμε :

$$\begin{aligned} Z(2,s) - Z(0,s) = {} & I_1(s) + I_2(s) + \left[a_3(s) - a_1(s)\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ & + \left[-h_1 t_1 - b_1(s)(n_1 + t_1) + b_3(s)(n_3 + t_3) + h_3 t_3\right]\left[\mu_1(s) + \mu_2(s)\right] + \\ & + \left[b_3(s) - b_1(s)\right]\frac{\mu_1(s) + \mu_2(s)}{2} + \\ & + z\left[h_1\sigma_{12}\sqrt{n_1 + 1} - (h_1 + b_1(s))(\sigma_1 + \sigma_2)\sqrt{n_1 + t_1 + 1}\right] + \\ & + z h_2\sqrt{n_2 + 1}\left[\sigma_{12} - (\sigma_1 + \sigma_2)\right] + \\ & + z(\sigma_1 + \sigma_2)\left[(h_3 + b_3(s))\sqrt{n_3 + t_3 + 1} - h_3\sqrt{n_3 + 1}\right] \end{aligned} \tag{3.16}$$

Από αυτήν τη σχέση βλέπουμε ότι ο τρίτος, τέταρτος και πέμπτος όρος του δεξιού μέλους δεν δίνουν ασφαλές συμπέρασμα για το πρόσημό τους. Παρόλο, λοιπόν, που οι υπόλοιποι όροι είναι καθαρά θετικές ή αρνητικές ποσότητες, δεν μπορούμε να αποφανθούμε για το τελικό πρόσημο της (3.16). Αυτό εξαρτάται από τα $I_j(s)$, $a_j(s)$ και $b_j(s)$ για τα διάφορα j.

Καταλήγουμε, τότε, στο συμπέρασμα ότι η επιλογή για το βέλτιστο $k^*(s)$ επηρεάζεται από τους παράγοντες κόστους. Στην περίπτωση, όμως, της modularization δεν θα συναντήσουμε βέλτιστες λύσεις που, είτε θα επιτρέπουν τη modularization στο μέγιστο βαθμό της, είτε αυτή δεν θα είναι καθόλου εφαρμόσιμη. Επίσης, η υιοθέτηση ενός modular σχεδιασμού στο κατάλληλο στάδιο χειρισμού, εξαρτάται από τις επιδράσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος και οι μέθοδοι εφαρμογής της ποικίλλουν. Βασική προϋπόθεση είναι να μπορεί η εταιρία να προσαρμόσει το επίπεδο αναβολών γρήγορα και εύκολα στα διάφορα στάδια χειρισμού, και ο τρόπος παραγωγής της να μπορεί να αλλάζει χωρίς να απαιτούνται σημαντικές επιπρόσθετες δαπάνες. Το παραπάνω αποτέλεσμα δίνει και τη βασικότερη, ίσως, διαφορά μεταξύ της τυποποίησης (standardization) και της modularization.

Στη συνέχεια, θα δώσουμε στις μεταβλητές του μοντέλου μας κάποιες αριθμητικές τιμές, έτσι ώστε να επιλέξουμε το βέλτιστο τελευταίο κοινό στάδιο χειρισμού $k^*(s)$ για τους δύο τύπους προϊόντων, και να δούμε πώς οι παράγοντες κόστους επηρεάζουν αυτή την επιλογή υπό τα διάφορα σενάρια s.

3.9.3 Αριθμητική ανάλυση

Η επιλογή των αριθμητικών τιμών θα στηριχτεί σε αυτές που επιλέξαμε και στην περίπτωση της τυποποίησης (πίνακας 3.1), και θα γίνει με βάση τους τρεις παράγοντες κόστους : το κόστος επένδυσης, το κόστος λειτουργιών και το κόστος διατήρησης αποθεμάτων. Για λόγους ευκολίας, όμως, θεωρούμε ότι αυτοί χωρίζονται σε δύο βασικές κατευθύνσεις : το κόστος επένδυσης $I_j(s)$ και τα επιπρόσθετα κόστη $a_j(s)$ και $b_j(s)$. Οι συνδυασμοί των τιμών για τα επιπρόσθετα κόστη με συγκεκριμένα κόστη επένδυσης δίνουν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα, και συνολικά προκύπτουν 16 τρόποι παραγωγής. Φυσικά, το βέλτιστο $k^*(s)$ μεταβάλλεται σύμφωνα με τα κόστη και τα διάφορα σενάρια, τα οποία εκφράζουν την κατάσταση του εξωτερικού περιβάλλοντος.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Τα σχετικά αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί :

Τρόπος	Κόστη επένδυσης	Επιπρόσθετα κόστη	$k^*(s_1)$	$k^*(s_2)$	$k^*(s_3)$	$k^*(s_4)$	$k^*(s_5)$
1	$I_1 = 200$ $> I_2 = 50$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	$k = 0$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$
2		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	$k = 0$	$k = 0$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$
3		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	$k = 0$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 2$
4		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	$k = 0$	$k = 0$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$
5	$I_1 = 50$ $< I_2 = 200$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$
6		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$
7		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$
8		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$
9	$I_1 = I_2 = 50$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$
10		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$	$k = 2$
11		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 2$
12		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 2$

13	$I_1 = I_2 = 200$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	$k=0$	$k=1$	$k=1$	$k=1$	$k=1$
14		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	$k=0$	$k=0$	$k=1$	$k=1$	$k=1$
15		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	$k=0$	$k=1$	$k=1$	$k=1$	$k=1$
16		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	$k=0$	$k=0$	$k=1$	$k=1$	$k=1$

Πίνακας 3.2 : Αριθμητικές τιμές των παραμέτρων και βέλτιστο k^* στο modular σχεδιασμό.

Η επιλογή και προσαρμογή του $k^*(s)$ εξαρτάται από τους παράγοντες κόστους. Όταν, όμως, το εξωτερικό περιβάλλον μεταβάλλεται, οπότε και έχουμε τα πέντε διαφορετικά σενάρια, τότε το $k^*(s)$ μπορεί να παραμένει ίδιο για κάποιους τρόπους παραγωγής. Για παράδειγμα, στους τρόπους παραγωγής 1 έως 4 το $k^*(s)$ αλλάζει για τα διάφορα σενάρια, ενώ αυτό παραμένει σταθερό στους τρόπους 5 έως 10. Προφανώς, η βέλτιστη επιλογή για το k που ελαχιστοποιεί τα συνολικά σχετικά κόστη Z(k,s) για τα περισσότερα σενάρια, είναι η $k=1$, και η επιλογή που προτείνεται σε ελάχιστες περιπτώσεις είναι η $k=0$. Σε αντίθεση, λοιπόν, με την τυποποίηση (standardization), η στρατηγική αναβολών με τη χρήση του modular σχεδιασμού είναι, σχεδόν πάντα, εφαρμόσιμη.

Αντικαθιστούμε, στη συνέχεια, τις πιθανότητες P(s), που δίνονται με τη μορφή αναλογιών για το κάθε σενάριο(δείκτη εμπορικού κύκλου) από το συμβούλιο οικονομικού σχεδιασμού και ανάπτυξης της Ταϊβάν, και τα δεδομένα του πίνακα 3.2 στη σχέση (3.2) $\left(V(k) = \sum_{s \in \{s_1,\ldots,s_S\}} P(s) Z(k,s) \right)$.

Τότε, τα συνολικά αναμενόμενα κόστη για τα παραπάνω διαφορετικά σενάρια και το $\bar{k}$ που ελαχιστοποιεί αυτά τα κόστη και εκφράζει τη στατική απόφαση που θα πάρει η εταιρία σε ένα δυναμικό περιβάλλον φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Τρόπος	Κόστη επένδυσης	Επιπρόσθετα κόστη	V(0)	V(1)	V(2)	$\bar{k}$
1	$I_1 = 200$ $> I_2 = 50$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5998.93	5970.88	5951.64	$k = 2$
2		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	5973.68	5970.88	5951.64	$k = 2$
3		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	5977.41	5970.88	5975.377	$k = 1$
4		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	5973.68	5970.88	5975.377	$k = 1$
5	$I_1 = 50$ $< I_2 = 200$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5997.41	5822.28	5951.64	$k = 1$
6		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	5973.68	5822.28	5951.64	$k = 1$
7		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	5997.41	5822.28	5975.37	$k = 1$
8		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	5973.68	5822.28	5975.37	$k = 1$
9	$I_1 = I_2 = 50$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5997.41	5822.28	5803.04	$k = 2$
10		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	5973.68	5822.28	5803.04	$k = 2$
11		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	5997.41	5822.28	5826.78	$k = 1$
12		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	5973.68	5822.28	5826.78	$k = 1$
13	$I_1 = I_2 = 200$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5997.41	5970.88	6100.24	$k = 1$
14		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	5973.71	5970.88	6100.24	$k = 1$

15	$I_1 = I_2 = 200$	$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	5973.71	5970.88	6123.97	$k = 1$
16		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	5973.68	5970.88	6123.97	$k = 1$

Πίνακας 3.3 : Η βέλτιστη στατική απόφαση σε ένα δυναμικό περιβάλλον (modular σχεδιασμός).

Από τον πίνακα 3.3, συμπεραίνουμε ότι ο τελευταίος κοινός χειρισμός αλλάζει από το $k = 1$ (αρχικός τρόπος παραγωγής) στο $k = 2$, μόνο στους τρόπους παραγωγής 1, 2, 9 και 10. Αυτό μπορεί να οφείλεται, είτε στο χαμηλό κόστος επένδυσης $(I_2 = 50)$, είτε στα μικρά επιπρόσθετα κόστη που αφορούν στο τρίτο στάδιο χειρισμού, οπότε η εταιρία έχει επιπλέον κίνητρα για να εφαρμόσει το modular σχεδιασμό σε περισσότερα στάδια χειρισμού. Αξίζει, εδώ, να σημειώσουμε ότι κανένας τρόπος παραγωγής δεν προτείνει $k = 0$ σαν βέλτιστη επιλογή. Επομένως, στην περίπτωση της modularization δεν συναντάμε βέλτιστες λύσεις που, είτε θα επιτρέπουν τη modularization στο μέγιστο βαθμό της, είτε αυτή δεν θα είναι καθόλου εφαρμόσιμη, όπως συμβαίνει στην τυποποίηση (bang-bang solution). Έτσι, η μαζική παραγωγή προϊόντων στα οποία δεν εφαρμόζονται " σκόπιμες καθυστερήσεις" διαφοροποίησής τους, με τη μορφή του modular σχεδιασμού, δεν δίνει απαραίτητα οικονομίες κλίμακος και εξοικονόμηση κόστους. Όταν, όμως, μια εταιρία αποφασίσει να υιοθετήσει τη στρατηγική της τυποποίησης, θα πρέπει να την εφαρμόσει σε πολλά στάδια χειρισμού συγχρόνως για να έχει καλύτερα αποτελέσματα (bang-bang solution). Ξέρουμε, βέβαια, ότι η τυποποίηση των εξαρτημάτων αυξάνει τα κόστη, ιδιαίτερα τα κόστη επένδυσης, και τις δαπάνες σε σχέση με τη modularization. Αντίθετα, ένας modular σχεδιασμός επιτρέπει την ευελιξία στην παραγωγή και επιπλέον μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ή περισσότερα στάδια χειρισμού (μικρή πιθανότητα bang-bang solution). Όταν, λοιπόν, οι παράγοντες εξωτερικού περιβάλλοντος μεταβάλλονται γρήγορα και είναι δύσκολο να προβλεφθούν, η χρήση της modularization είναι περισσότερο κατάλληλη απ' ότι η τυποποίηση (standardization). Προκειμένου, βέβαια, να αποφασίσουμε για το βέλτιστο στάδιο χειρισμού στο οποίο θα εφαρμόσουμε modular σχεδιασμό, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη ζήτηση, η οποία επιβάλλεται να είναι επαρκώς μεγάλη, ώστε να καλύπτει τα επιπρόσθετα κόστη (παρόλο που αυτά είναι μικρότερα σε σχέση με την τυποποίηση) σε αυτό το στάδιο.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Τέλος, για να βρούμε τη βέλτιστη επιλογή στην περίπτωση που η εταιρία μπορεί αυθαίρετα να προσαρμόσει τον τρόπο παραγωγής της σε κάθε σενάριο s, αντικαθιστούμε τα αποτελέσματα του πίνακα 3.2 και τις αντίστοιχες πιθανότητες για τα διάφορα σενάρια, στη σχέση (3.4) $\left(W^* = V(k^*) = \sum_{s \in \{s_1,\ldots,s_S\}} P(s) Z(k^*,s) \right)$. Τότε, παίρνουμε τον παρακάτω πίνακα, στον οποίο δίνονται τα συνολικά αναμενόμενα κόστη W^*, που αντιστοιχούν στη βέλτιστη δυναμική απόφαση (dynamic decision) k^* για κάθε σενάριο s και για όλους τους τρόπους παραγωγής. Για λόγους ευκολίας, που αφορούν στη σύγκριση των W^* και V^* για τα συνολικά αναμενόμενα κόστη που αντιστοιχούν στη στατική και τη δυναμική απόφαση αντίστοιχα, στον πίνακα 3.3 δίνουμε και τα βέλτιστα $V = V(\bar{k})$ για κάθε διαφορετικό τρόπο παραγωγής.

Τρόπος	Κόστη επένδυσης	Επιπρόσθετα κόστη	W	$V = V(\bar{k})$
1	$I_1 = 200$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5949.84	5951.64
2	$> I_2 = 50$	$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	5944.336	
3		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	5964.649	5970.88
4		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	5960.333	
5	$I_1 = 50$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5822.28	5822.28
6	$< I_2 = 200$	$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$		
7		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$		
8		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$		

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

9	$I_1 = I_2 = 50$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5803.04	5803.04
10		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$		
11		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	5818.086	5822.28
12		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	5818.086	5822.28
13	$I_1 = I_2 = 200$	$a_1 = 0.05 > a_3 = 0.025$ $b_1 = 0.05 > b_3 = 0.025$	5968.843	
14		$a_1 = a_3 = 0.025$ $b_1 = b_3 = 0.025$	5961.973	5970.88
15		$a_1 = a_3 = 0.05$ $b_1 = b_3 = 0.05$	5968.843	5970.88 5970.88
16		$a_1 = 0.025 < a_3 = 0.05$ $b_1 = 0.025 < b_3 = 0.05$	5961.973	

Πίνακας 3.4 : Η βέλτιστη δυναμική απόφαση σε ένα δυναμικό περιβάλλον (modular σχεδιασμός).

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι $W^* < V^*$ για όλους τους τρόπους παραγωγής. Έτσι, το συνολικό αναμενόμενο κόστος ελαχιστοποιείται, όταν οι εταιρίες μπορούν να προσαρμόσουν τον τρόπο παραγωγής τους σύμφωνα με τις εξωτερικές επιδράσεις-σενάρια. Παρατηρούμε, όμως, ότι $W = V$ για τους τρόπους παραγωγής 5 έως 10, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, έχουμε την ίδια βέλτιστη απόφαση k^* σε όλα τα σενάρια s (πίνακας 3.2). Το τελευταίο αποτέλεσμα σημαίνει πως, ανεξάρτητα από τις αλλαγές του εμπορικού περιβάλλοντος για τα διάφορα σενάρια s, αρκεί η εκάστοτε εταιρία να καταφέρει να διατηρήσει έναν συγκεκριμένο τρόπο παραγωγής, ώστε να βελτιστοποιήσει το συνολικό αναμενόμενο κόστος. Σύμφωνα, τότε, με αυτόν τον τρόπο παραγωγής, για σταθερό k^*, η εταιρία μπορεί να ανταποκριθεί στις διάφορες εξωτερικές αλλαγές που αφορούν, για παράδειγμα, στη ζήτηση.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

3.10 Συμπεράσματα και προϋποθέσεις υιοθέτησης postponement στρατηγικών

Σε ένα δυναμικό περιβάλλον, οι εταιρίες μπορούν να πάρουν είτε μια στατική, είτε μια δυναμική απόφαση προκειμένου να ανταποκριθούν στις εξωτερικές αλλαγές. Όμως, δεν είναι πάντα εύκολο για την εκάστοτε εταιρία να προσαρμόζει άμεσα και αυθαίρετα τον τρόπο παραγωγής της σε κάθε τέτοια αλλαγή. Σε αυτήν την περίπτωση, μια στατική απόφαση θα είναι περισσότερο κατάλληλη, και έτσι η επιλογή ενός "στατικού" σημείου διαφοροποίησης $\bar{k}$, το οποίο ελαχιστοποιεί το συνολικό αναμενόμενο κόστος δίνει τη βέλτιστη στατική απόφαση. Από την άλλη πλευρά, ένα "δυναμικό" σημείο διαφοροποίησης $k^*(s)$, το οποίο ελαχιστοποιεί τα συνολικά αναμενόμενα κόστη για κάθε σενάριο s, μπορεί να αποτελέσει τη βέλτιστη επιλογή (βέλτιστη δυναμική απόφαση), εάν ο τρόπος παραγωγής αλλάζει εύκολα, χωρίς επιπρόσθετες δαπάνες. Τότε, το συνολικό αναμενόμενο κόστος κάτω από μια βέλτιστη δυναμική απόφαση W^* είναι μικρότερο από αυτό μιας βέλτιστης στατικής απόφασης V^*, εφόσον οι εταιρίες μπορούν εύκολα να προσαρμόσουν τον τρόπο παραγωγής τους στις αλλαγές εξωτερικού περιβάλλοντος. Βέβαια, σε μια "απότομη" διακύμανση, για παράδειγμα, της ζήτησης, η παραγωγή δε θα πρέπει να αλλάζει αυθαίρετα, αλλά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα επιπρόσθετα κόστη και ο τρόπος με τον οποίο αυτά μπορούν να καλυφθούν.

Στο σημείο αυτό, επιβάλλεται να αναφερθούμε στις περιόδους "ύφεσης" και πτώσης των πωλήσεων, όπου τα οφέλη που προέρχονται από την εφαρμογή μιας στρατηγικής αναβολών, δεν μπορούν να καλύψουν τα κόστη που αυτή επιφέρει. Συχνά, στις περιόδους αυτές, παρατηρείται μείωση στην τιμή πώλησης, εξαιτίας του ανταγωνισμού, ενώ παράλληλα θα πρέπει να διατηρηθεί τόσο η ίδια ποιότητα στην απόδοση των προϊόντων, όσο και το ίδιο επίπεδο εξυπηρέτησης, προκειμένου η εταιρία να "συγκρατήσει" τους πελάτες της. Τότε, η παραγωγή χωρίς "σκόπιμες" καθυστερήσεις, δίνει "ολοκληρωμένα" προϊόντα (finished goods) από τα οποία προκύπτουν οικονομίες κλίμακος, και επιπλέον τα αποθέματα που διατηρούνται είναι επαρκή για να καλύψουν μια ξαφνική αύξηση στη ζήτηση, οπότε η εφαρμογή μιας στρατηγικής αναβολών δεν είναι απαραίτητη.

Παρόλα αυτά, όταν είμαστε σε ένα δυναμικό περιβάλλον, οι σκόπιμες καθυστερήσεις που μπορούν να γίνουν στα διάφορα στάδια παραγωγής, ώστε να πάρουμε το τελικό προϊόν μετά την παραγγελία από τον πελάτη, αποτελούν επιτακτική ανάγκη για την εταιρία, γιατί με αυτόν τον τρόπο μπορεί εύκολα να ανταποκριθεί σε ενδεχόμενες αλλαγές. Η εφαρμογή μιας τέτοιας

στρατηγικής μπορεί να γίνει μέσω δύο διαφορετικών προσεγγίσεων, την τυποποίηση (standardization) και την modularization. Στην περίπτωση της τυποποίησης, το επίπεδο δυσκολίας που αφορά στην τεχνολογική διαθεσιμότητα επηρεάζει σημαντικά τα κόστη επένδυσης, καθώς επίσης και το κόστος αλλαγής του τρόπου παραγωγής. Αντίθετα, ο modular σχεδιασμός αναλύει τα ήδη υπάρχοντα προϊόντα και τις λειτουργίες τους στις διάφορες συνιστώσες που τα αποτελούν (modules). Συνεπώς, η modularization περιλαμβάνει χαμηλότερα κόστη επένδυσης. Επιπρόσθετα, η modularization μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ή περισσότερα στάδια χειρισμού, οπότε δεν έχουμε βέλτιστες λύσεις που να προτείνουν αναβολές είτε στο μέγιστο βαθμό τους, είτε αυτές να μην είναι καθόλου εφαρμόσιμες (bang-bang solution). Ακόμη, η βέλτιστη επιλογή του τελευταίου κοινού χειρισμού εξαρτάται από τα επιπρόσθετα κόστη λειτουργίας a_j και τα επιπρόσθετα κόστη διατήρησης αποθεμάτων b_j $(j = 1, 2, ..., N)$. Επομένως, η τυποποίηση είναι επιθυμητή έως ότου η ζήτηση να γίνει επαρκώς μεγάλη, ώστε η εταιρία να πετύχει οικονομίες κλίμακος Όταν η εταιρία αποφασίσει να αλλάξει τον τρόπο παραγωγής της σύμφωνα με τις εξωτερικές επιδράσεις, ο modular σχεδιασμός είναι περισσότερο κατάλληλος, αποδοτικός, λιγότερο δαπανηρός και δημιουργεί ευελιξία στην κατασκευή, εφόσον τα ίδια, ανεξάρτητα μεταξύ τους, modules μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλα προϊόντα.

Συμπερασματικά, λοιπόν, μια αποτελεσματική μέθοδος για μαζική παραγωγή προϊόντων επί παραγγελία είναι οι στρατηγικές αναβολών (postponement strategies). Η εφαρμογή τους, όμως, θα πρέπει να γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο κάθε φορά, χρησιμοποιώντας την τυποποίηση (standardization) ή την modularization, ανάλογα με τις διάφορες εξωτερικές επιδράσεις, ώστε οι εταιρίες να ελαχιστοποιούν τα συνολικά αναμενόμενα κόστη. (Prater et al.,2001; Van Hoek,2001; Huang and Liang).

3.11 Θέματα για περαιτέρω έρευνα

Στο κεφάλαιο αυτό είδαμε, αρχικά, τη φιλοσοφία των modular προϊόντων και την ταξινόμηση των modules, από τα οποία αποτελούνται, λαμβάνοντας υπόψη μας τις λειτουργίες και τις αλληλεπιδράσεις τους μέσα σε ένα σύστημα. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να γίνουν πάνω σε θέματα διαχείρισης γνώσεων που αφορούν στην αρχιτεκτονική των προϊόντων αυτών, καθώς επίσης και στο μέγεθος των modules (size of module) που χρησιμοποιούμε και αφορά στις λειτουργίες που τα διάφορα συναρτησιακά στοιχεία εφαρμόζουν σε ολόκληρο το

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

σύστημα. Κάποιες άλλες μελέτες, θα μπορούσαν να ασχοληθούν με το βαθμό στον οποίο ένα προϊόν αναλύεται στις συνιστώσες που το αποτελούν και να αποφασίσουν για το βέλτιστο επίπεδο της modularity.

Στη συνέχεια, αναπτύξαμε ένα μοντέλο κόστους για στρατηγικές αναβολών, και μέσα από αυτό πήραμε τις προϋποθέσεις υιοθέτησης ενός τυποποιημένου ή modular σχεδιασμού. Η μελέτη μας εστιάζει στην επιρροή του εξωτερικού περιβάλλοντος και στην αβεβαιότητα που αυτή επιφέρει, οπότε η εταιρία θα πρέπει να αλλάζει κατάλληλα, κάθε φορά, τον τρόπο παραγωγής της. Μια πιθανή επέκταση του παραπάνω μοντέλου θα μπορούσε να προκύψει λαμβάνοντας υπόψη μας τα κόστη αλλαγής του τρόπου κατασκευής (switching costs) τέτοιων προϊόντων και τις επιδράσεις που έχει αυτή η αλλαγή στα διάφορα συστήματα παραγωγής.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Βέλτιστη πολιτική επιστροφών και modular σχεδιασμός για προϊόντα επί παραγγελία

4.1 Εισαγωγική περιγραφή

Την τελευταία δεκαετία, οι μελέτες έχουν ως στόχο, την ανάλυση των αλλαγών που υφίστανται στην αγορά και την αντιμετώπιση των διαφόρων προβλημάτων που αυτές επιφέρουν στις εταιρίες και την οργάνωσή τους. Δύο σημαντικές αλλαγές που παρατηρούνται είναι οι εξής: Από τη μια πλευρά, το αγοραστικό κοινό ζητά συνεχώς ποικιλία χαρακτηριστικών στα προϊόντα, με αποτέλεσμα, οι εταιρίες να καταφεύγουν στην προσαρμογή των προϊόντων τους στις ιδιαίτερες προτιμήσεις και ανάγκες των πελατών τους (customized προϊόντα). Αυτό, όμως, αυξάνει το χρόνο ανοχής (lead time) καθώς επίσης και το κόστος κατασκευής. Επιπλέον, οι πελάτες ζητούν μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών, σε περίπτωση που τελικά το προϊόν δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες τους. Από την άλλη πλευρά, οι γρήγοροι ρυθμοί ανάπτυξης της τεχνολογίας και των ηλεκτρονικών υπολογιστών παρέχουν τη δυνατότητα εμπορικών συναλλαγών μέσω του διαδικτύου (Business-to-Customers συναλλαγές). Με αυτόν τον τρόπο, η πώληση γίνεται κατευθείαν στον πελάτη και παρακάμπτεται ο παραδοσιακός τρόπος συναλλαγών (διανομέας-έμπορος χονδρικής-έμπορος λιανικής). Στην περίπτωση αυτή, όμως, οι πελάτες δεν έχουν την ευκαιρία να εξετάσουν το προϊόν, συνεπώς η πιθανότητα να μην ανταποκρίνεται στις προτιμήσεις τους είναι μεγάλη και παρατηρείται αύξηση του ρυθμού επιστρεφόμενων ποσοτήτων (Rogers and Tibben-Lemke, 1999; Choi et al, 2004).

Γενικά, η πολιτική επιστροφών δεν επιτρέπεται σε εξατομικευμένα προϊόντα που κατασκευάζονται επί παραγγελία (build-to-order προϊόντα), γιατί το επιστρεφόμενο εμπόρευμα δεν μπορεί πρακτικά να χρησιμοποιηθεί ξανά, εφόσον είναι σχεδιασμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου, κάθε φορά, πελάτη. Εξάλλου, μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών θα μπορούσε μεν να αυξήσει τα έσοδα λόγω μεγαλύτερης ζήτησης, αλλά συγχρόνως αυξάνει την πιθανότητα επιστροφών, και κατά συνέπεια τα κόστη που αυτές επιφέρουν (Padmanabhan and Png, 1995, 1997).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιάσουμε ένα μοντέλο, το οποίο επιτρέπει σε μια εταιρία να προσφέρει στους πελάτες της προϊόντα επί παραγγελία. και παράλληλα να εφαρμόζει μια πολιτική επιστροφών, χωρίς να χρειάζεται να απορροφά εξ' ολοκλήρου τα κόστη (μέσω του χρηματικού ποσού επιστροφής) των εξατομικευμένων προϊόντων σε περίπτωση που αυτά επιστραφούν.

4.2 Προϊόντα επί παραγγελία, modularity και πολιτικές επιστροφών

Στην προηγούμενη παράγραφο, είδαμε τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι εταιρίες και αφορούν, τόσο στον επιπρόσθετο χρόνο ανοχής (lead time), όσο και στην αύξηση του κόστους παραγωγής που απαιτείται για προϊόντα επί παραγγελία (build-to-order), καθώς επίσης και τη δυσκολία εφαρμογής μιας γενναιόδωρης πολιτικής επιστροφών για τα προϊόντα αυτά. Εδώ, προτείνουμε τη modularity στο σχεδιασμό των προϊόντων σαν λύση στα παραπάνω προβλήματα.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, σε προηγούμενο κεφάλαιο, η modularity παρέχει τη δυνατότητα σχεδιασμού, με τέτοιο τρόπο, ώστε το τελικό σύστημα να αποτελείται από έναν αριθμό κομματιών (modules) ανεξάρτητων μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, η modularity περιγράφει το βαθμό στον οποίο ένα προϊόν μπορεί να αναλυθεί στις συνιστώσες του προκειμένου να ξανασχεδιαστεί, και το βαθμό στον οποίο οι κανόνες αρχιτεκτονικής του συστήματος επιτρέπουν το συνδυασμό αυτό. Ουσιαστικά, η modularity βελτιώνει την απόδοση και λειτουργικότητα του προϊόντος, και η εταιρία ικανοποιεί, έτσι, τις ξεχωριστές απαιτήσεις του κάθε πελάτη. Έτσι, ο modular σχεδιασμός παρέχει στα προϊόντα ποικιλία χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων, οπότε η ζήτηση αυξάνεται.

Είδαμε ακόμη ότι, το Internet παρέχει στους χρήστες του τη δυνατότητα να ενημερώνονται για τα προϊόντα που τους προσφέρονται, και να τα παραγγέλνουν εύκολα, γρήγορα και άμεσα. Στην περίπτωση αυτή, όμως, όπου οι εμπορικές συναλλαγές γίνονται μέσω του διαδικτύου (online), η εταιρία θα πρέπει να εφαρμόσει μια πολιτική επιστροφών, ώστε να αυξήσει τις πωλήσεις της. Βέβαια, η φύση των προϊόντων επί παραγγελία δεν επιτρέπει τις επιστροφές. Εφαρμόζοντας, όμως, modular σχεδιασμό, το επιστρεφόμενο modular προϊόν μπορεί εύκολα να αποσυναρμολογηθεί στα μέρη (modules) από τα οποία αποτελείται. Αυτά, μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν ξανά, ώστε η εταιρία να ανακτήσει μέρος του κόστους αποσυναρμολόγησης του επιστρεφόμενου προϊόντος, και το επιστρεφόμενο προϊόν δίνει, έτσι, μια μεγάλη διασωθείσα τιμή στην εταιρία.

Τα βασικά ερωτήματα, που θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια, είναι η βέλτιστη πολιτική επιστροφών, το επίπεδο της modularity που θα χρησιμοποιήσουμε και ο ρόλος του στις πολιτικές επιστροφών για εξατομικευμένα προϊόντα, καθώς επίσης και το βέλτιστο επίπεδο modularity, ώστε να έχουμε μεγιστοποίηση κέρδους στην εταιρία.

Για τους παραπάνω λόγους παρουσιάζουμε ένα μοντέλο μεγιστοποίησης κέρδους, το οποίο θα μας βοηθήσει να παράγουμε βέλτιστες πολιτικές που ακολουθεί μια εταιρία, και που αφορούν στις επιστροφές και στο modular σχεδιασμό. Το μοντέλο αυτό περιέχει, φυσικά, την κατάλληλη συνάρτηση ζήτησης και τα σχετικά κόστη. Η ανάλυση ευαισθησίας και τα αριθμητικά αποτελέσματα που ακολουθούν, αποτελούν κατευθυντήριες γραμμές και στρατηγικές διαχείρισης για την εταιρία, προκειμένου να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της (Mukhopadhyay and Setoputro, 2005).

4.3 Μοντέλο μεγιστοποίησης κέρδους και συνθήκες βελτιστοποίησής του

4.3.1 Διαμόρφωση μοντέλου-υποθέσεις

Θεωρούμε μια εφοδιαστική αλυσίδα, η οποία αποτελείται από έναν κατασκευαστή που παράγει και πουλάει ένα προϊόν μέσω Internet, και πελάτες που αγοράζουν το προϊόν. Διαμορφώνουμε τη χρηματική ροή (flow of payment) σε ένα τέτοιο σύστημα ως εξής :

Ένας πελάτης παραγγέλνει ένα προϊόν υπό ορισμένες προδιαγραφές και σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που αυτός επιθυμεί. Ο κατασκευαστής φτιάχνει το επί παραγγελία προϊόν χρησιμοποιώντας τυποποιημένα εξαρτήματα modules, τα οποία είτε κατασκευάζει ο ίδιος, είτε τα προμηθεύεται, και το πουλάει σε μια τιμή p. Στην περίπτωση που το προϊόν δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του πελάτη, υπάρχει η δυνατότητα επιστροφής του. Τότε, ο πωλητής επιστρέφει στον πελάτη το ποσό των r ευρώ, όπου $0 \le r \le p$. Μεγάλο r σημαίνει πως εφαρμόζουμε μια περισσότερο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών. Στο μοντέλο μας, μια δεύτερη μεταβλητή απόφασης για την εταιρία είναι το επίπεδο της modularity που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό του προϊόντος και συμβολίζεται με m. Μεγάλο m σημαίνει υψηλό επίπεδο modularity (εφαρμογή σπονδυλωτού σχεδιασμού).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

4.3.2 Συνάρτηση ζήτησης

Σκοπός μας, είναι να διαμορφώσουμε τη συνάρτηση ζήτησης και για το λόγο αυτό θα πρέπει να εντοπίσουμε τις μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται.

Μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών (μεγάλη τιμή για το r) μπορεί να αυξήσει τη ζήτηση ενός προϊόντος. Δηλαδή, όταν ο πελάτης ξέρει πως υπάρχει η δυνατότητα επιστροφής του προϊόντος, χωρίς πολύπλοκους περιορισμούς και με ένα αρκετά υψηλό ποσό επιστροφής r από τον πωλητή, αγοράζει το προϊόν με μεγαλύτερη ευκολία.

Υποθέτουμε, ακόμη, ότι ένα υψηλό επίπεδο modularity m μπορεί να δημιουργήσει αύξηση στη ζήτηση, εφόσον ο modular σχεδιασμός επιτρέπει τη σύνθεση και τροποποίηση του προϊόντος, προκειμένου να συναντήσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που επιθυμεί ο πελάτης. Τα χαρακτηριστικά αυτά, μπορεί να αφορούν τόσο στη λειτουργικότητα και χρήση του προϊόντος, όσο και στην αισθητική του. Με τον τρόπο αυτό, ο πελάτης μπορεί να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, χρησιμοποιώντας καλύτερης ποιότητας υλικά, ενώ η μη ύπαρξη αλληλεξάρτησης μεταξύ των modules μειώνει το χρόνο συντήρησης και τα κόστη επισκευής του σε περίπτωση βλάβης. Όλη αυτή η ευελιξία που δημιουργείται μέσω του modular σχεδιασμού, έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη ικανοποίηση του πελάτη, τη "συγκράτησή" του από την εταιρία, και κατά συνέπεια την αύξηση των πωλήσεων. Επιπλέον, το επίπεδο της modularity που εφαρμόζεται, παρέχει στην εταιρία τη δυνατότητα να προσφέρει μεγαλύτερη ποικιλία στα προϊόντα της και να παράγει καινούρια, με βάση τα modules τα οποία διαθέτει, σε ένα συγκεκριμένο, όχι αρκετά μεγάλο, χρονικό διάστημα (μικρός χρόνος ανοχής-lead time).

Τέλος, μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι μια υψηλή τιμή αγοράς p θα έχει αρνητική επίδραση στη ζήτηση.

Επομένως, η ζήτηση D για το προϊόν θα είναι μια συνάρτηση των p, r, και m :

$$D = f(p,r,m) \tag{4.1}$$

$$\text{με}: \ \frac{\partial D}{\partial p} < 0 \ , \ \frac{\partial D}{\partial r} < 0 \ \text{ και } \ \frac{\partial D}{\partial m} > 0 \tag{4.2}$$

Χωρίς βλάβη της γενικότητας, μπορούμε να θεωρήσουμε μια γραμμική συνάρτηση ζήτησης, όπως ακριβώς έχουν χρησιμοποιήσει αρκετοί συγγραφείς για το ίδιο θέμα (π.χ. Tsay and Agrawal, 2000; Padmanabhan and Png, 1997). Εξάλλου, η γραμμικότητα της ζήτησης μπορεί να μας βοηθήσει να παράγουμε χρήσιμα συμπεράσματα από το μοντέλο, και να πάρουμε

τις βέλτιστες πολιτικές σχετικά εύκολα, χωρίς τη χρήση πολύπλοκων εξισώσεων που συνήθως δεν οδηγούν σε λύσεις.

Έτσι, η ζήτηση του προϊόντος παίρνει την ακόλουθη μορφή :

$$D = \alpha - \beta p + \gamma r + \delta m \tag{4.3}$$

Οι παράμετροι α, β, γ και δ, όλες θετικές, έχουν επιλεγεί ως εξής: Το α παριστά την πρωταρχική ζήτηση, η οποία εξαρτάται από την ποιότητα του προϊόντος, τη μάρκα, την εμφάνιση και άλλους γενικούς οικονομικούς παράγοντες που δεν αφορούν στο σκοπό της συγκεκριμένης μελέτης. Το β είναι ο ρυθμός μεταβολής της ζήτησης σε σχέση με την τιμή p. Όσο, δηλαδή, το p αυξάνει, η ζήτηση D μειώνεται με ρυθμό β. Το γ είναι ο ρυθμός μεταβολής της ζήτησης σε σχέση με την πολιτική επιστροφής. Αν, δηλαδή, το r αυξηθεί κατά μία μονάδα, οπότε θα έχουμε μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών, τότε η ζήτηση D θα αυξηθεί κατά γ. Όμοια, το δ παριστά το ρυθμό μεταβολής της ζήτησης σε σχέση με το επίπεδο της modularity m.

4.3.3 Συνάρτηση επιστρεφόμενης ποσότητας

Στο μοντέλο μας, ο πωλητής επιτρέπει στον πελάτη να επιστρέψει το προϊόν, σε περίπτωση μη ικανοποίησής του, και το ποσό που θα του επιστρέψει ο πωλητής είναι r ευρώ, με: $0 \le r \le p$. Ενώ, όμως, αυτή η στρατηγική μπορεί να φέρει μεγαλύτερη ζήτηση, όπως προκύπτει από τη σχέση (4.3), μπορεί επίσης να δημιουργήσει μια μεγάλη επιστρεφόμενη ποσότητα προϊόντων για την εταιρία.

Υποθέτουμε και πάλι τη γραμμικότητα στη συνάρτηση που ζητάμε, και τότε η συνάρτηση επιστρεφόμενης ποσότητας R, θα έχει την παρακάτω μορφή :

$$R = \varphi + \psi r \tag{4.4}$$

Η παράμετρος $\varphi > 0$ είναι η βασική επιστρεφόμενη ποσότητα, η οποία δεν εξαρτάται από το ποσό επιστροφής r. Η παράμετρος $\psi > 0$ παριστά το ρυθμό μεταβολής για το R. Όσο, δηλαδή, το ποσό επιστροφής r αυξάνει, τότε η επιστρεφόμενη ποσότητα αυξάνει με ρυθμό ψ.

Θεωρούμε ακόμη, όπως εξάλλου προκύπτει και από τη σχέση (4.4), ότι :

$$\frac{\partial R}{\partial r} > 0 \tag{4.5}$$

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

4.3.4 Συνάρτηση κόστους

Στο μοντέλο το οποίο αναπτύσσουμε, χρησιμοποιούμε δύο είδη κόστους :

Η εφαρμογή του modular σχεδιασμού επιφέρει ένα αρκετά μεγάλο κόστος στην εταιρία το οποίο αφορά, τόσο στον εξοπλισμό μηχανημάτων καινούριας τεχνολογίας, όσο και στην πρόσληψη ειδικευμένου προσωπικού. Συμβολίζουμε με C_1 το κόστος το οποίο σχετίζεται με το σχεδιασμό του προϊόντος, ώστε να αυξήσουμε το επίπεδο της modularity m, και θεωρούμε ότι αυτή είναι μια αύξουσα συνάρτηση και κυρτή στο m. Τότε το C_1 θα έχει τη μορφή :

$$C_1 = \frac{1}{2}\theta m^2 \tag{4.6}$$

Το δεύτερο κόστος, το οποίο συμβολίζουμε με C_2, είναι η τιμή απώλειας ανά μονάδα επιστρεφόμενου προϊόντος από τον πελάτη. Για να κατανοήσουμε την έννοια του κόστους C_2, υποθέτουμε ότι το μέγιστο ποσό απώλειας για ένα επιστρεφόμενο κομμάτι είναι r, δηλαδή το πραγματικό ποσό επιστροφής στον πελάτη. Αυτό σημαίνει πως, τίποτα δεν μπορεί να διασωθεί από το επιστρεφόμενο προϊόν. Όμως, στην παραγωγή του έχουμε εφαρμόσει modular σχεδιασμό, και συνεπώς αυτό μπορεί εύκολα να αποσυναρμολογηθεί στα modules από τα οποία αποτελείται και να έχουμε, από αυτά, την παραγωγή ενός άλλου, καινούριου προϊόντος. Τότε, υπάρχει μια διασωθείσα τιμή και έτσι παίρνουμε την ακόλουθη μορφή για τη συνάρτηση αυτού του είδους κόστους :

$$C_2 = r - \nu m \tag{4.7}$$

όπου $\nu > 0$ παριστά το ρυθμό μεταβολής του κόστους C_2 που σχετίζεται με τη modularity m. Δηλαδή, ένα υψηλό επίπεδο modularity δίνει μια αρκετά μεγάλη διασωθείσα τιμή για το επιστρεφόμενο προϊόν, άρα έχουμε μείωση του C_2 από τη μέγιστη τιμή του r.

4.3.5 Μοντελοποίηση της συνάρτησης κέρδους για τον πωλητή

Η συνάρτηση κέρδους για τον πωλητή θα έχει την ακόλουθη μορφή :

$$\pi = pD(p,r,m) - rR(r) - C_1(m) - C_2(r,m)R(r) \tag{4.8}$$

όπου pD είναι τα συνολικά έσοδα τα οποία προκύπτουν αν πουλήσουμε D μονάδες προϊόντος σε μια τιμή p ανά μονάδα, rR είναι το συνολικό ποσό επιστροφής στους πελάτες, C_1 είναι το

σταθερό κόστος που προέρχεται από την αύξηση του επιπέδου της modularity και C_2R είναι η συνολική τιμή απώλειας από τα επιστρεφόμενα προϊόντα που δεν μπορεί να διασωθεί. Πρέπει ακόμη να τονίσουμε πως, τα συνολικά έσοδα δεν περιλαμβάνουν τα κόστη παραγωγής. Θεωρούμε την τιμή p σαν μια εξωγενής μεταβλητή.

Αντικαθιστούμε τις εκφράσεις D, R, C_1 και C_2 που δίνονται από τις (4.3), (4.4), (4.6) και (4.7) στην εξίσωση (4.8) και παίρνουμε την έκφραση για το κέρδος σαν μια συνάρτηση των p, r, m και των παραμέτρων ευαισθησίας (ρυθμών μεταβολής) :

$$\pi = (\alpha - \beta p + \gamma r + \delta m)p - (\varphi + \psi r)(2r - \nu m) - \frac{1}{2}\theta m^2 \qquad (4.9)$$

Τότε, όμως, δεν μπορούμε να έχουμε συμπέρασμα από την παραπάνω εξίσωση για μια πιθανή αύξηση του r, του m ή και των δύο, εφόσον μια τέτοια αλλαγή αυξάνει μεν τον ένα όρο της συνάρτησης κέρδους, αλλά παράλληλα μειώνει τον άλλο.

Σκοπός της εταιρίας είναι να εφαρμόσει μια βέλτιστη πολιτική επιστροφών και ένα βέλτιστο επίπεδο modularity, τα οποία θα μεγιστοποιούν τα κέρδη της.

4.4 Συμπεράσματα και ανάλυση ευαισθησίας

Στην παράγραφο αυτή, θα χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω μοντέλο κέρδους και τις συνθήκες βελτιστοποίησής του, προκειμένου να παράγουμε κάποιες προτάσεις, οι οποίες θα δώσουν τις βέλτιστες πολιτικές που αφορούν στις επιστροφές προϊόντων και στο modular σχεδιασμό. Αυτά τα αποτελέσματα θα παραχθούν με τη βοήθεια των παραμέτρων ευαισθησίας του μοντέλου μας, και θα δούμε πώς οι βέλτιστες πολιτικές μεταβάλλονται με κάθε αλλαγή αυτών των παραμέτρων.

Για να βρούμε τις πολιτικές μεγιστοποίησης κέρδους για την εταιρία θα πρέπει, πρώτα απ΄ όλα να εξασφαλίσουμε ότι η συνάρτηση κέρδους είναι κοίλη και έχει μοναδικό μέγιστο.

Πρόταση 1 : Όταν ισχύει ότι : $4\theta - \nu^2\psi > 0$, τότε η συνάρτηση κέρδους είναι κοίλη και έχει μοναδικό μέγιστο.

Απόδειξη : Παραγωγίζουμε τη συνάρτηση κέρδους ως προς τις μεταβλητές r και m αντίστοιχα, και θα έχουμε ότι :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

$$\frac{\partial\pi}{\partial r} = p\gamma - 2\varphi - 4r\psi + vm\psi \quad \text{και} \quad \frac{\partial\pi}{\partial m} = p\delta - m\theta + v\varphi + v\psi r$$

Παίρνουμε στη συνέχεια τη δεύτερη παράγωγο, οπότε είναι :

$$\frac{\partial^2\pi}{\partial r^2} = -4\psi < 0 \text{ , αφού } \psi > 0 \quad \text{και} \quad \frac{\partial^2\pi}{\partial m^2} = -\theta < 0 \text{ , αφού } \theta > 0$$

$$\text{και} \quad \frac{\partial^2\pi}{\partial r\partial m} = v\psi = \frac{\partial^2\pi}{\partial m\partial r}$$

Οπότε, ο εσσιανός πίνακας για τη συνάρτηση κέρδους είναι :

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2\pi}{\partial r^2} & \frac{\partial^2\pi}{\partial r\partial m} \\ \frac{\partial^2\pi}{\partial m\partial r} & \frac{\partial^2\pi}{\partial m^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4\psi & v\psi \\ v\psi & -\theta \end{pmatrix}$$

Η συνάρτηση κέρδους είναι κοίλη εάν και μόνο εάν :

$$\frac{\partial^2\pi}{\partial r^2} < 0 \ , \ \frac{\partial^2\pi}{\partial m^2} < 0 \quad \text{και} \quad \frac{\partial^2\pi}{\partial r^2}\frac{\partial^2\pi}{\partial m^2} - \left(\frac{\partial^2\pi}{\partial r\partial m}\right)^2 > 0$$

Αρκεί, λοιπόν, να έχουμε : $\frac{\partial^2\pi}{\partial r^2}\frac{\partial^2\pi}{\partial m^2} - \left(\frac{\partial^2\pi}{\partial r\partial m}\right)^2 = 4\psi\theta - v^2\psi = \psi(4\theta - v^2\psi) > 0$

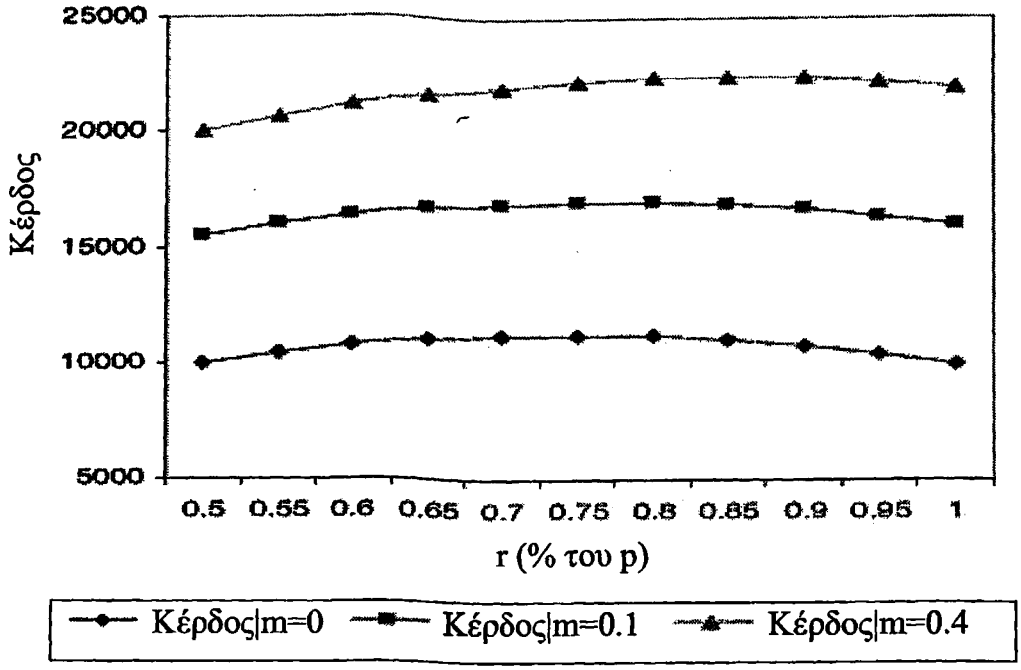
Και εφόσον ξέρουμε ότι : $\psi > 0$, τότε θα πρέπει : $4\theta - v^2\psi > 0$.

Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν φαίνονται οι μεταβολές στην τιμή του κέρδους σε σχέση με την πολιτική επιστροφών r και το επίπεδο της modularity m αντίστοιχα. Οι αριθμητικές τιμές που χρησιμοποιούμε για τις διάφορες παραμέτρους δίνονται στον πίνακα 4.1.

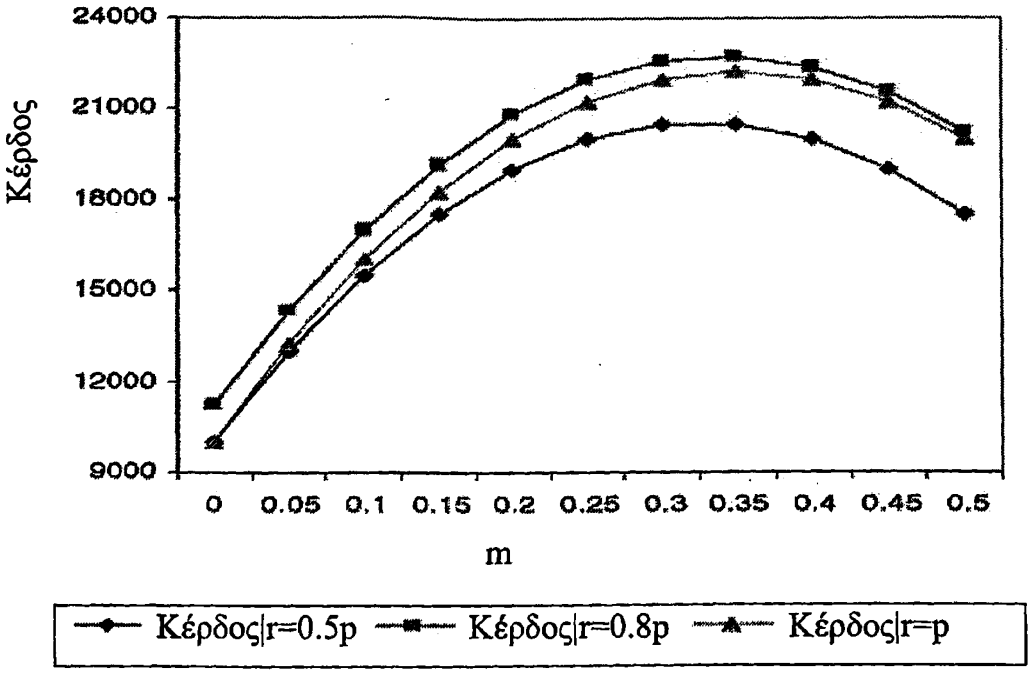
Παράμετρος	Τιμή
p	60-150
α	1000
β	10
γ	3-5.25
δ	3-6.25
φ	100
ψ	1-2.8
θ	15-24
v	0.2

Πίνακας 4.1

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



Σχήμα 4.1 Μεταβολή του κέρδους σε σχέση με την πολιτική επιστροφών για ένα δεδομένο επίπεδο modularity.



Σχήμα 4.2 Μεταβολή του κέρδους σε σχέση με το επίπεδο modularity για δοθείσα πολιτική επιστροφών.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Η γραφική παράσταση στο σχήμα 4.1 δίνει τη μεταβολή της συνάρτησης κέρδους όσο η πολιτική επιστροφών αυξάνει για τα τρία διαφορετικά επίπεδα modularity m (m=0, m=0.1, m=0.4). Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι η συνάρτηση κέρδους είναι κοίλη και έχει μοναδικό μέγιστο, πράγμα που αποδείξαμε στην πρόταση 1. Παρατηρούμε, ακόμη, ότι όσο το m αυξάνει για ένα συγκεκριμένο ποσοστό επιστροφής r, το κέρδος επίσης αυξάνει. Τέλος, αξίζει να σημειώσουμε ότι ένα μεγαλύτερο επίπεδο modularity θα αυξήσει τη βέλτιστη πολιτική επιστροφών.

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η μεταβολή του κέρδους όταν το επίπεδο της modularity αυξάνει για τα τρία διαφορετικά ποσοστά επιστροφής r ($r = 0.5p, r = p, r = 0.8p$). Και από αυτή τη γραφική παράσταση διαπιστώνουμε ότι η συνάρτηση κέρδους είναι μια κοίλη συνάρτηση με μοναδικό μέγιστο. Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση εδώ είναι ότι, δίνοντας πλήρη επιστροφή χρημάτων ($r = p$) στον πελάτη, δεν πετυχαίνουμε μεγιστοποίηση κέρδους για την εταιρία, συνεπώς αυτή δεν είναι η καλύτερη επιλογή. Το κέρδος βελτιστοποιείται όταν ο πωλητής επιστρέφει ποσό χρημάτων $r = 0.8p$, το οποίο όσο το δυνατό πιο κοντά στη βέλτιστη πολιτική επιστροφών.

Πρόταση 2 : i) Η βέλτιστη πολιτική επιστροφών δίνεται από τη σχέση :

$$r^* = \frac{\gamma\theta p - 2\theta\varphi + \delta\nu\psi p + \nu^2\varphi\psi}{\psi(4\theta - \nu^2\psi)}$$

ii) Το βέλτιστο επίπεδο της modularity δίνεται από τη σχέση :

$$m^* = \frac{4\delta p + \gamma\nu p + 2\nu\varphi}{4\theta - \nu^2\psi}$$

Απόδειξη : Τα βέλτιστα r και m είναι αυτά για τα οποία η συνάρτηση κέρδους, που δίνεται από τη σχέση (4.8), μεγιστοποιείται. Παραγωγίζουμε, λοιπόν, τη σχέση αυτή ως προς r και m αντίστοιχα, εξισώνουμε με το 0, και έχουμε :

$$\frac{\partial\pi}{\partial r} = p\gamma - 2\varphi - 3r\psi - \psi(r - \nu m) = 0 \quad \text{και} \quad \frac{\partial\pi}{\partial m} = p\delta - m\theta + \nu(\varphi + \psi r) = 0$$

Λύνουμε το παραπάνω σύστημα εξισώσεων ως προς r και m και ύστερα από πράξεις παίρνουμε τις τελικές εξισώσεις για τις βέλτιστες πολιτικές :

$$r^* = \frac{\gamma\theta p - 2\theta\varphi + \delta\nu\psi p + \nu^2\varphi\psi}{\psi(4\theta - \nu^2\psi)} \quad \text{και} \quad m^* = \frac{4\delta p + \gamma\nu p + 2\nu\varphi}{4\theta - \nu^2\psi}$$

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Η παραπάνω πρόταση μας δίνει έναν τρόπο για να υπολογίζουμε τις βέλτιστες πολιτικές όταν δίνονται οι τιμές των παραμέτρων ευαισθησίας.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε την επίδραση οποιασδήποτε αλλαγής αυτών των παραμέτρων στις βέλτιστες πολιτικές. Σκοπός της ανάλυσης είναι να δημιουργήσουμε κάποιες κατευθυντήριες γραμμές, οι οποίες αφορούν στη λήψη αποφάσεων σχετικά με το επίπεδο της modularity και την πολιτική επιστροφών που θα ακολουθήσει η εταιρία.

Πρόταση 3 : Σε ένα αγοραστικό κοινό στο οποίο, η ζήτηση ενός προϊόντος αυξάνει σε σχέση με την πολιτική επιστροφών που ακολουθεί η εταιρία, όταν δηλαδή η παράμετρος ευαισθησίας γ αυξάνει, ο πωλητής θα πρέπει να εφαρμόσει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών και ταυτοχρόνως το βέλτιστο επίπεδο της modularity να αυξηθεί.

Απόδειξη : Παραγωγίζουμε τις βέλτιστες πολιτικές r* και m* , που δίνονται στην πρόταση 2, ως προς την παράμετρο γ και έχουμε :

$$\frac{\partial r^*}{\partial \gamma} = \frac{p\theta}{\psi(4\theta - v^2\psi)} \quad \text{και} \quad \frac{\partial m^*}{\partial \gamma} = \frac{pv}{4\theta - v^2\psi}$$

Είναι : $\frac{\partial r^*}{\partial \gamma} > 0$ και $\frac{\partial m^*}{\partial \gamma} > 0$, εφόσον αριθμητές και παρονομαστές είναι θετικές ποσότητες.

Οπότε οι συναρτήσεις r* και m* είναι αύξουσες ως προς τη μεταβλητή γ, πράγμα που αποδεικνύει την παραπάνω πρόταση.

Στη συνέχεια, θα δούμε την εφαρμογή του παραπάνω αποτελέσματος στη βιομηχανία ηλεκτρονικών υπολογιστών, και συγκεκριμένα στις εταιρίες Dell και Compaq. Η Compaq διαθέτει τα προϊόντα της (build-to-order προϊόντα) μέσω καταστημάτων λιανικής πώλησης, ενώ η Dell τα πουλάει κατευθείαν στον πελάτη μέσω του διαδικτύου. Επομένως, ο αγοραστής ηλεκτρονικών υπολογιστών της Dell δεν έχει την ευκαιρία να εξετάσει και να ελέγξει το προϊόν, οπότε η πιθανότητα να το επιστρέψει είναι μεγαλύτερη. Για το λόγο αυτό, η Dell θα πρέπει να εφαρμόσει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών, εφόσον η ζήτηση των προϊόντων της εξαρτάται άμεσα από το ποσό επιστροφής σε περίπτωση μη ικανοποίησης του πελάτη. Συνεπώς, ο ρυθμός μεταβολής γ της ζήτησης ως προς το ποσό επιστροφής r, είναι μεγαλύτερος από αυτόν της Compaq και σύμφωνα με την πρόταση 3, η Dell θα πρέπει να προσφέρει προϊόντα με υψηλότερο επίπεδο modularity. Η εξήγηση στο παραπάνω συμπέρασμα δίνεται εύκολα, αν σκεφτούμε ότι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές που πουλάνε και οι δυο εταιρίες είναι προϊόντα

προσαρμοσμένα στις ιδιαίτερες ανάγκες και προτιμήσεις του εκάστοτε πελάτη. Τότε, μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών χωρίς αύξηση του επιπέδου της modularity θα επιφέρει αύξηση του κόστους επιστροφής. Έτσι, μια αύξηση στο επιστρεφόμενο, στον πελάτη, ποσό θα πρέπει να συνοδεύεται από αύξηση του επιπέδου της modularity.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρατήρηση ότι ο μεγάλος ρυθμός ζήτησης (υψηλό γ) είναι επιθυμητός για την εταιρία, αφού τότε έχουμε μεγαλύτερη ζήτηση και αύξηση στα κέρδη. Για το λόγο αυτό, η εταιρία μπορεί να χρησιμοποιήσει τη διαφήμιση ή άλλα μέτρα προώθησης των προϊόντων της, προκειμένου να προσεγγίσει τον πελάτη, δελεάζοντάς τον με μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών. Στο ίδιο συμπέρασμα έχουν καταλήξει και οι Padmanabhan and Png(1995) που αναφέρουν ότι "ένας κατασκευαστής ο οποίος δέχεται τις επιστροφές, θα πρέπει να επενδύει στη διαφήμιση και προώθηση των προϊόντων του".

Πρόταση 4 : Σε ένα αγοραστικό κοινό στο οποίο, η ζήτηση ενός προϊόντος αυξάνει σε σχέση με το επίπεδο της modularity που εφαρμόζεται, όταν δηλαδή η παράμετρος ευαισθησίας δ αυξάνει, το βέλτιστο επίπεδο της modularity αυξάνεται και ταυτόχρονα θα πρέπει ο πωλητής να προσφέρει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών.

Απόδειξη : Παραγωγίζουμε τις βέλτιστες πολιτικές r* και m* , που δίνονται στην πρόταση 2, ως προς την παράμετρο δ και έχουμε :

$$\frac{\partial r^*}{\partial \delta} = \frac{p\nu}{\psi(4\theta - \nu^2\psi)} \quad \text{και} \quad \frac{\partial m^*}{\partial \delta} = \frac{4p}{4\theta - \nu^2\psi}$$

Είναι : $\frac{\partial r^*}{\partial \delta} > 0$ και $\frac{\partial m^*}{\partial \delta} > 0$, εφόσον αριθμητές και παρονομαστές είναι θετικές ποσότητες. Οπότε οι συναρτήσεις r* και m* είναι αύξουσες ως προς τη μεταβλητή δ, πράγμα που αποδεικνύει την παραπάνω πρόταση.

Στην παραπάνω πρόταση μελετάμε την επίδραση του ρυθμού μεταβολής δ της ζήτησης ως προς το επίπεδο της modularity, στις βέλτιστες πολιτικές που εφαρμόζει η εταιρία. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων αυτών, ας συγκρίνουμε δυο παραδείγματα προϊόντων με διαφορετικό επίπεδο modularity για το καθένα. Θεωρούμε, λοιπόν, την εταιρία παραγωγής ηλεκτρονικών υπολογιστών Dell η οποία εφαρμόζει modular σχεδιασμό, και την εταιρία παραγωγής ειδών ρουχισμού Baron Boutique, η οποία δεν χρησιμοποιεί modularity. Υποθέτουμε, τότε, ότι οι υπολογιστές έχουν μεγαλύτερο ρυθμό ζήτησης δ. Έτσι, σύμφωνα με

την πρόταση 4, η βέλτιστη πολιτική για την Dell θα είναι ένα υψηλότερο ποσό επιστροφής r, σε συνδυασμό με ένα υψηλότερο επίπεδο modularity m. Πράγματι, όπως αναφέρεται στις ιστοσελίδες των δύο εταιριών, η Dell προσφέρει πλήρη επιστροφή σε περίπτωση μη ικανοποίησης του πελάτη από το προϊόν, ενώ η Baron Boutique επιτρέπει μόνο ένα μικρό μέρος επιστροφής επί του χρηματικού ποσού πώλησης.

Σε αυτήν την περίπτωση, μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών σημαίνει πως η εταιρία εμπιστεύεται περισσότερο τον πελάτη και τις επιλογές του, και όπως σχετικά αναφέρουν οι Padmanabhan and Png (1995) "Πολιτικές επιστροφών : κερδίζει κανείς κάνοντας καλό (make money by making good)".

Για μια ακόμη φορά, παρατηρούμε την αλληλεξάρτηση μεταξύ των βέλτιστων πολιτικών, που εφαρμόζει η εκάστοτε εταιρία, και αφορούν στις μεταβλητές απόφασης r (επιστρεφόμενο ποσό στον πελάτη) και m (επίπεδο της modularity).

Πρόταση 5 : Όταν ο πωλητής μπορεί να μειώσει τα κόστη ανάπτυξης και σχεδιασμού του προϊόντος, οπότε έχουμε μείωση του συντελεστή κόστους σχεδιασμού θ, τότε το βέλτιστο επίπεδο της modularity θα αυξηθεί, και συγχρόνως η εταιρία θα μπορεί να προσφέρει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών.

Απόδειξη : Παραγωγίζουμε τις βέλτιστες πολιτικές r* και m* , που δίνονται στην πρόταση 2, ως προς την παράμετρο θ και έχουμε :

$$\frac{\partial r^*}{\partial \theta} = -\frac{\nu(4p\delta + p\gamma\nu + 2\nu\varphi)}{(4\theta - \nu^2\psi)^2} \quad \text{και} \quad \frac{\partial m^*}{\partial \theta} = -\frac{4(4p\delta + p\gamma\nu + 2\nu\varphi)}{(4\theta - \nu^2\psi)^2}$$

Είναι : $\frac{\partial r^*}{\partial \theta} < 0$ και $\frac{\partial m^*}{\partial \theta} < 0$, εφόσον οι αριθμητές είναι αρνητικές ποσότητες και οι παρονομαστές θετικές ποσότητες. Οπότε οι συναρτήσεις r* και m* είναι φθίνουσες ως προς τη μεταβλητή θ, πράγμα που αποδεικνύει την παραπάνω πρόταση.

Πρόταση 6 : Όταν ο πωλητής μπορεί να διασώσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα από τα επιστρεφόμενα προϊόντα, οπότε έχουμε αύξηση της μεταβλητής ν (μείωση του κόστους επιστροφής), τότε το βέλτιστο επίπεδο της modularity θα αυξηθεί και συγχρόνως η εταιρία θα μπορεί να προσφέρει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών.

Απόδειξη : Παραγωγίζουμε τις βέλτιστες πολιτικές r* και m* , που δίνονται στην πρόταση 2, ως προς την παράμετρο ν και έχουμε :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

$$\frac{\partial r^*}{\partial v} = \frac{4\theta v\varphi + p(4\delta\theta + 2\gamma\theta v + \delta v^2\psi)}{(4\theta - v^2\psi)^2} \quad \text{και} \quad \frac{\partial m^*}{\partial v} = \frac{4\theta(p\gamma + \varphi) + v\psi(8p\delta + p\gamma v + 2v\varphi)}{(4\theta - v^2\psi)^2}$$

Είναι : $\frac{\partial r^*}{\partial v} > 0$ και $\frac{\partial m^*}{\partial v} > 0$, εφόσον οι αριθμητές και οι παρονομαστές είναι θετικές ποσότητες. Οπότε οι συναρτήσεις r* και m* είναι αύξουσες ως προς τη μεταβλητή v, πράγμα που αποδεικνύει την παραπάνω πρόταση.

Σύμφωνα με τους Salvador et al (Journal of Operations Management, 2002) και τους Murray and Sako (1999), ένα κίνητρο για την αύξηση της modularity είναι η δυνατότητα προμήθειας κάποιων modules από άλλες εταιρίες, οι οποίες παράγουν modular προϊόντα της ίδιας οικογένειας-κατηγορίας. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνουμε τα κόστη ανάπτυξης και σχεδιασμού του προϊόντος που θα είχαμε αν η παραγωγή γινόταν εξ' ολοκλήρου μέσα στην ίδια εταιρία. Αυτό οδηγεί σε ένα μικρότερο θ, και συγχρόνως μπορούμε να εφαρμόσουμε μια πολιτική επιστροφών που θα παρέχει ένα μεγαλύτερο ποσό επιστροφής στον πελάτη.

Σαν εφαρμογή για την πρόταση 6, θα μελετήσουμε τις πολιτικές που ακολουθεί η εταιρία IBM. Στη σχετική ιστοσελίδα αναφέρεται ότι αρκετά από τα "καινούρια" προϊόντα τους περιέχουν χρησιμοποιημένα modules, τα οποία προέρχονται από τα επιστρεφόμενα προϊόντα, οπότε επιβάλλεται ένα αρκετά μεγάλο επίπεδο modularity. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα μια μεγαλύτερη διασωθείσα τιμή (αύξηση της μεταβλητής v). Τότε, το ποσό επιστροφής r στον πελάτη μπορεί να αυξηθεί, και η IBM υιοθετεί, έτσι, μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών από αυτήν που εφαρμόζουν άλλες εταιρίες, για παράδειγμα η Dell. Στο ίδιο συμπέρασμα έχουν καταλήξει και οι Davis et al (1998) αποδεικνύοντας ότι, μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών είναι εφαρμόσιμη όταν ο πωλητής μπορεί να πετύχει μια υψηλή διασωθείσα τιμή από τα επιστρεφόμενα προϊόντα.

Πρόταση 7 : Όταν έχουμε αύξηση στην τιμή αγοράς p του προϊόντος (εξωγενής μεταβλητή), τότε ο πωλητής μπορεί να προσφέρει μια γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών και ο σχεδιασμός του προϊόντος να γίνει με τη χρήση μεγαλύτερου επιπέδου modularity.

Απόδειξη : Παραγωγίζουμε τις βέλτιστες πολιτικές r* και m* , που δίνονται στην πρόταση 2, ως προς την παράμετρο p και έχουμε :

$$\frac{\partial r^*}{\partial p} = \frac{\gamma\theta + \delta v\psi}{\psi(4\theta - v^2\psi)} \quad \text{και} \quad \frac{\partial m^*}{\partial p} = \frac{4\delta + \gamma v}{(4\theta - v^2\psi)}$$

Είναι : $\frac{\partial r^*}{\partial p} > 0$ και $\frac{\partial m^*}{\partial p} > 0$, εφόσον οι αριθμητές και οι παρονομαστές είναι θετικές ποσότητες. Οπότε οι συναρτήσεις r* και m* είναι αύξουσες ως προς τη μεταβλητή p, πράγμα που αποδεικνύει την παραπάνω πρόταση.

Στο μοντέλο, το οποίο μελετάμε η τιμή πώλησης του κάθε προϊόντος θεωρείται ότι είναι ένας εξωγενής παράγοντας και όχι μια μεταβλητή απόφασης. Διαπιστώνουμε, όμως, ότι μια μεγαλύτερη τιμή πώλησης p, θα επιτρέψει αύξηση στο ποσό επιστροφής r καθώς επίσης και στο επίπεδο της modularity m. Οι Padmanabhan and Png (1997) περιγράφουν σχετικό παράδειγμα και αναφέρουν ότι ο McKesson, ένας διανομέας προϊόντων υγείας και ομορφιάς, δίνει την ευκαιρία στον πωλητή να παρέχει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών χρεώνοντας υψηλότερες τιμές χονδρικής. Ο Pasternack (1985) υποστηρίζει την ίδια άποψη, ότι δηλαδή μια αύξηση στις επιτρεπόμενες επιστροφές πρέπει να ισορροπηθεί με μια αύξηση στην τιμή αγοράς του προϊόντος.

4.5 Αριθμητική ανάλυση

Στην προηγούμενη παράγραφο, αναλύσαμε τους μαθηματικούς τύπους που δίνουν τις βέλτιστες πολιτικές, σχετικά με το επίπεδο της modularity και την πολιτική επιστροφών, που θα πρέπει να ακολουθήσει μια εταιρία, προκειμένου να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της. Είδαμε ακόμη, με τη βοήθεια μαθηματικών σχέσεων, την επίδραση οποιασδήποτε αλλαγής των παραμέτρων ευαισθησίας στις βέλτιστες πολιτικές. Το επόμενο βήμα μας είναι να επαληθεύσουμε τα παραπάνω αποτελέσματα και να τα επεκτείνουμε μέσα από αριθμητικά παραδείγματα. Σε αυτήν την ανάλυση θα χρειαστούμε τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 1 της παραγράφου 4.4.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται και οι οποίες μεταβάλλονται, ώστε να προβλέψουμε τις βέλτιστες στρατηγικές, είναι οι ακόλουθες : ο ρυθμός μεταβολής της ζήτησης σε σχέση με την πολιτική επιστροφών (γ), ο ρυθμός μεταβολής της ζήτησης σε σχέση με το επίπεδο της modularity (δ), η παράμετρος κόστους ανάπτυξης και σχεδιασμού του modular προϊόντος (θ), ο ρυθμός μεταβολής της επιστρεφόμενης ποσότητας σε σχέση με το επιστρεφόμενο στον πελάτη ποσό (ψ) και η παράμετρος της διασωθείσας τιμής (ν). Η τιμή πώλησης p θεωρείται εξωγενής

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

παράγοντας στο μοντέλο μας, θα δούμε, όμως, τις μεταβολές που δημιουργεί στις βέλτιστες στρατηγικές μια ενδεχόμενη αλλαγή της.

Θα μελετήσουμε, λοιπόν, την επίδραση που θα έχει οποιαδήποτε αλλαγή των παραμέτρων αυτών, τόσο στις βέλτιστες πολιτικές που αφορούν στο επίπεδο της modularity (m) και στην πολιτική επιστροφών (r), όσο και στα μέτρα απόδοσης που αφορούν στη ζήτηση (D), στην επιστρεφόμενη ποσότητα (R) και στο κέρδος (π).

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση αυτή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Σε αυτόν, παρατηρούμε τις μεταβολές (θετικές ή αρνητικές) που υφίστανται οι μεταβλητές των βέλτιστων στρατηγικών όταν οι διάφορες παράμετροι αυξάνονται. Υπάρχουν και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις και αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία. Σκοπός μας, εδώ, είναι να δούμε τα συμπεράσματα και τις κατευθυντήριες γραμμές που πρέπει να ακολουθήσει η εκάστοτε εταιρία.

Μεταβλητές	Παράμετροι					
	γ	δ	ψ	θ	ν	p
Πολιτική επιστροφών, r	+	+	-	-	+	+
Επίπεδο modularity, m	+	+	+	-	+	+
Ζήτηση, D	+	+	-	-	+	-
Επιστρεφόμενη ποσότητα, R	+	+	+	-	+	+
Κέρδος, π	+	+	-	-	+	-

Πίνακας 4.2

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι και οι δυο μεταβλητές απόφασης, η πολιτική επιστροφών r και το επίπεδο modularity m, αυξάνουν όταν οι παράμετροι γ, δ και ν αυξάνουν, πράγμα που επιβεβαιώνει τις προτάσεις 3, 4 και 6 αντίστοιχα. Παράλληλα, αυξάνουν και οι μεταβλητές ζήτησης D και επιστρεφόμενης ποσότητας R. Όμως, μια μεγάλη επιστρεφόμενη ποσότητα R θα αυξήσει το κόστος για την εταιρία. Από την άλλη πλευρά βέβαια, η μεγάλη ζήτηση θα αυξήσει τα έσοδα και άρα το κέρδος π, τελικά, μεγιστοποιείται. Επομένως, είναι επιθυμητό από την εταιρία να πετύχει μεγάλες τιμές για τα γ και δ. Η προτεινόμενη τακτική που θα ακολουθήσει, είναι η διαφήμιση και προώθηση μιας πιο γενναιόδωρης πολιτικής επιστροφών και η δυνατότητα παραγωγής περισσότερο εξατομικευμένων προϊόντων λόγω του modular σχεδιασμού τους.

Ένα αξιοσημείωτο, αλλά όχι τόσο προφανές, αποτέλεσμα παράγεται όταν αλλάξουμε το ρυθμό μεταβολής της επιστρεφόμενης ποσότητας σε σχέση με το επιστρεφόμενο, στον πελάτη, ποσό. Έτσι, εάν το ψ μειωθεί, οι δυο μεταβλητές απόφασης κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις: το επιστρεφόμενο ποσό r αυξάνεται, ενώ η modularity m ελαττώνεται. Όταν, δηλαδή, οι πελάτες δεν έχουν την τάση να επιστρέψουν το προϊόν το οποίο αγόρασαν, οπότε και ο ρυθμός επιστρεφόμενης ποσότητας ψ ελαττώνεται, τότε η εταιρία έχει τη δυνατότητα να εφαρμόσει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών. Ταυτόχρονα, μειώνεται το επίπεδο του modular σχεδιασμού στα προϊόντα, επομένως τα κόστη σχεδιασμού και παραγωγής είναι μικρότερα. Επιπλέον, τα τρία μέτρα απόδοσης βελτιώνονται. Αυτό σημαίνει πως, η ζήτηση D αυξάνεται, η επιστρεφόμενη ποσότητα R μειώνεται και έχουμε μεγαλύτερο κέρδος π. Σε αυτήν την περίπτωση, λοιπόν, σκοπός της εταιρίας είναι να πείσει τους πελάτες να κρατήσουν το προϊόν βελτιώνοντας την ποιότητά του.

Εξίσου σημαντικά είναι τα αποτελέσματα που δίνει μια μεταβολή στην παράμετρο κόστους ανάπτυξης και σχεδιασμού του προϊόντος. Έτσι, αν καταφέρουμε να ελαττώσουμε τα κόστη κατασκευής, δηλαδή την παράμετρο θ, η εταιρία θα μπορεί να εφαρμόσει μια πιο γενναιόδωρη πολιτική επιστροφών και ένα αυξημένο επίπεδο modularity. Συγχρόνως, όμως, θα αυξηθεί η ζήτηση D, το κέρδος π, αλλά και η επιστρεφόμενη ποσότητα R.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, μια πιθανή αλλαγή στην τιμή πώλησης του προϊόντος, παρά το γεγονός ότι αυτή θεωρείται εξωγενής παράγοντας. Ένας λόγος για να μειώσουμε την τιμή p, είναι η αύξηση του ανταγωνισμού εξαιτίας της πληθώρας προϊόντων που κατακλύζουν την αγορά. Η εταιρία, τότε, θα πρέπει να αντισταθμίσει την έλλειψη εσόδων μειώνοντας τα r και m. Τότε, η επιστρεφόμενη ποσότητα R θα ελαττωθεί, εφόσον το ποσό r, σε περίπτωση επιστροφής, είναι μικρό. Παράλληλα, θα έχουμε αύξηση στη ζήτηση D, λόγω της χαμηλής τιμής αγοράς του προϊόντος, και τελικά, χρησιμοποιώντας τις βέλτιστες πολιτικές που δίνονται από το μοντέλο μας πετυχαίνουμε αύξηση του κέρδους της εταιρίας.

4.6 Θέματα για περαιτέρω έρευνα

Στο μοντέλο το οποίο μελετήσαμε, ο modular σχεδιασμός χρησιμοποιείται σαν μέσο για να πετύχουμε μια πιο γενναιόδωρη και οικονομικά βιώσιμη πολιτική επιστροφών που αφορά προϊόντα προσαρμοσμένα στις ιδιαίτερες προτιμήσεις και ανάγκες του πελάτη (build-to-order προϊόντα). Είναι η πρώτη φορά που η modularity και η πολιτική επιστροφών συνδυάζονται μαζί

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

στο ίδιο μοντέλο, σαν μεταβλητές απόφασης, και γίνεται ανάλυση σχετικά με την επίδρασή τους στη ζήτηση του προϊόντος, στο επιστρεφόμενο στον πελάτη ποσό και στο κέρδος για την εταιρία. Χρησιμοποιήσαμε, όμως, την τιμή πώλησης σαν έναν εξωγενή παράγοντα, και κάναμε ανάλυση ευαισθησίας για να δούμε πώς οι διάφορες τιμές για το προϊόν, επηρεάζουν τις βέλτιστες πολιτικές. Θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε την τιμή αυτή σαν μια μεταβλητή απόφασης και να επεκτείνουμε το μοντέλο μας, ενσωματώνοντας παράλληλα και τον παράγοντα του ανταγωνισμού. Επιπλέον, ο παράγοντας αβεβαιότητας (uncertainty) θα μπορούσε να ενσωματωθεί τόσο στη συνάρτηση ζήτησης, όσο και στη συνάρτηση επιστρεφόμενης ποσότητας. Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η περίπτωση στην οποία η επιστρεφόμενη ποσότητα είναι μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κάποια γνωστή κατανομή (probabilistic return function).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Υποστήριξη modular προϊόντων μετά την πώλησή τους

5.1 Εισαγωγική περιγραφή

Ο σπονδυλωτός σχεδιασμός (modular design) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια αποτελεσματική στρατηγική υποστήριξης προϊόντων ή συστημάτων, όταν αυτά "αποτύχουν" μετά την πώληση και χρήση τους. Ένας από τους βασικότερους λόγους εφαρμογής του modular σχεδιασμού είναι η ευκολία διάγνωσης της βλάβης, όταν αυτή συμβεί, και η γρήγορη αντικατάσταση ή επισκευή του χαλασμένου module. Αυτό οφείλεται στην μη ύπαρξη αλληλεξάρτησης μεταξύ των modules. Έτσι, μειώνουμε το χρόνο συντήρησης (down-time) του προϊόντος και πετυχαίνουμε μικρό κόστος αναμονής για τον πελάτη (cost of waiting for the customer), εφόσον δεν έχουμε απώλεια χρήσης του συστήματος (loss of service from the product) για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα, η διάγνωση και η επισκευή μπορούν να γίνουν από τον ίδιο τον πελάτη, και τότε το κόστος συντήρησης του προϊόντος είναι πολύ μικρότερο εξαιτίας του μικρού κόστους πρόσβασης (access cost) στη βάση επισκευής.

Θα πρέπει, παρ' όλα αυτά, να λάβουμε υπόψη μας και κάποια μειονεκτήματα που προέρχονται από τον modular σχεδιασμό. Πρώτα απ' όλα, το φυσικό κόστος ενός modular προϊόντος είναι αρκετά υψηλό, λόγω των καινούριων τεχνολογιών που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό, στην ανάπτυξη και στην κατασκευή του. Επιπρόσθετα, έχουμε διατήρηση αποθεμάτων, modules ή διαφόρων εξαρτημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται είτε για την υποστήριξη αποτυχημένων προϊόντων, είτε για την παραγωγή άλλων συστημάτων που ανήκουν στην ίδια οικογένεια προϊόντων. Όμως, η διατήρηση αποθεμάτων, ιδιαίτερα στην περίπτωση που αυτά διατηρούνται σε μεγάλες ποσότητες, έχει υψηλό κόστος για την εταιρία (δαπάνες για αποθηκευτικούς χώρους κ.τ.λ.).

5.2 Είδη εξαρτημάτων modules -πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που σχετίζονται με τα είδη αυτά

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Διακρίνουμε δύο βασικά είδη εξαρτημάτων modules, τα integrated modules και τα assembled modules ή subassemblies (Karmarkar and Kubat, 1987).

Ένα integrated module είναι αυτό στο οποίο η επικοινωνία μεταξύ των συστατικών μερών του δεν επιτρέπει την ανεξαρτησία ("hard" interfaces) και τα διάφορα εξαρτήματα που το αποτελούν δεν μπορούν να αποσυναρμολογηθούν εύκολα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα integrated module αποτελούν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και λογικά στοιχεία που περιέχονται σε μία μητρική (board).

Ένα assembled module είναι αυτό στο οποίο η επισκευή περιλαμβάνει την αντικατάσταση ολόκληρου του module. Όμως, τα χωριστά εξαρτήματα που το αποτελούν είναι από μόνα τους επισκευάσιμα. Παράδειγμα subassembly αποτελεί ένα υδραυλικό υποσύστημα σε μια έκταση.

Τα κόστη και τα οφέλη που σχετίζονται με τη modularity διαφέρουν σημαντικά για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις modules. Για λόγους ευκολίας, που αφορούν στη μελέτη και σύγκριση, μπορούμε να διακρίνουμε τρία είδη κόστους: το κόστος κατασκευής, το κόστος αντικατάστασης και το κόστος διατήρησης αποθεμάτων.

Κόστος κατασκευής : Στα integrated modules περιλαμβάνονται κόστη σχεδιασμού, ανάπτυξης και παραγωγής τους. Όμως, τα κόστη παραγωγής εξαρτώνται από τον όγκο των προϊόντων που κατασκευάζουμε και μπορεί να είναι μεγαλύτερα ή μικρότερα από αυτά χωρίς χρήση σπονδυλωτής σχεδίασης (modularization). Στην subassembly περίπτωση, τα κόστη προσαύξησης για το σχεδιασμό και ανάπτυξη των προϊόντων είναι μικρότερα γιατί το module, εδώ, περιέχει μια καινούρια διαμόρφωση, αλλά όχι εφαρμογή καινούριας τεχνολογίας.

Κόστος αντικατάστασης : Τα κόστη αντικατάστασης για τα αποτυχημένα integrated modules είναι μεγαλύτερα, εφόσον δεν περιέχουν ανεξάρτητα εξαρτήματα, τα οποία να μπορούν να αντικατασταθούν ή να επισκευαστούν. Αντίθετα, για τα assembled modules, υπάρχει η δυνατότητα αποσυναρμολόγησης, επομένως κάποιες συνιστώσες αποτυχημένων subassemblies μπορούν να επισκευαστούν και να μην παραχθούν εξ' αρχής.

Κόστος διατήρησης αποθεμάτων : Τα αποθέματα που διατηρούμε αφορούν modules και εξαρτήματα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την επισκευή ή ολική αντικατάσταση των αποτυχημένων modules. Συνεπώς, τα αποθέματα ασφαλείας για τα integrated, μη επισκευάσιμα, modules πρέπει να καλύπτουν τους χρόνους ανοχής για την παραγωγή και τη μεταφορά τους. Ενώ, ο αντίστοιχος χρόνος που πρέπει να καλυφθεί στα subassemblies είναι ο χρόνος επισκευής τους. Εφόσον οι ευκολίες επισκευής εφαρμόζονται καλύτερα απ΄ ότι οι ευκολίες παραγωγής, ο

χρόνος επισκευής στα subassemblies θα είναι σαφώς μικρότερος. Επιπλέον, όταν τα αποθέματα αφορούν εξαρτήματα των subassemblies, η γνώση των διαφορετικών ρυθμών αποτυχίας τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη διατήρηση στοιχείων (parts) σε διαφορετικές αναλογίες. Δηλαδή, τα μέρη που χαλάνε συχνότερα διατηρούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες. Αντίθετα, στα integrated modules, όπου τα διάφορα στοιχεία τους δεν μπορούν να επισκευαστούν ξεχωριστά, τα μέρη που θα συνθέσουν ένα module διατηρούνται με την ίδια αναλογία.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναπτύξουμε ένα μοντέλο κύκλου αποτυχίας και επισκευής (Karmarkar and Kubat, 1987) για τον σπονδυλωτό σχεδιασμό και θα συγκρίνουμε τα κόστη που αυτός επιφέρει στις δύο παραπάνω κατηγορίες modules. Θα αναλύσουμε, ακόμη, τα κόστη διατήρησης αποθεμάτων και θα δούμε πώς αυτά επηρεάζονται από το επίπεδο της modularity. Στη συνέχεια, θα μελετήσουμε την απλή περίπτωση, όπου ολόκληρο το σύστημα-προϊόν αποτελείται από δύο μόνο εξαρτήματα και θα λύσουμε αριθμητικά ένα πιο σύνθετο πρόβλημα.

5.3 Μοντέλο αποτυχίας και αντικατάστασης για προϊόντα με modular σχεδιασμό

5.3.1 Υποθέσεις και συμβολισμοί

Υποθέσεις :

1. Έστω ότι το σύστημα ή το προϊόν το οποίο μελετάμε αποτελείται από n εξαρτήματα και θεωρούμε ότι, η αποτυχία οποιουδήποτε εξαρτήματος θα προκαλέσει αποτυχία και διακοπή ολόκληρου του συστήματος.
2. Αυτό σημαίνει πως τα εξαρτήματα είναι συνδεδεμένα σειριακά. Μπορούμε, τότε, να ομαδοποιήσουμε κάποια από αυτά και να φτιάξουμε modules, όπου το κάθε module θα ορίζεται απλά από το σύνολο των εξαρτημάτων τα οποία περιέχει. Έτσι, αν $I = \{1, 2, \ldots, n\}$ είναι το σύνολο των εξαρτημάτων που διαθέτουμε, το j-οστό module M_j είναι ένα υποσύνολο του I, δηλαδή είναι : $M_j \subset I$.

Αξίζει να σημειώσουμε πως, ενώ το σύστημα έχει αποτύχει, εφόσον κάποιο εξάρτημα module έχει αποτύχει, τα modules τα οποία δεν έχουν υποστεί φθορά δεν αποτυγχάνουν. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, και το γεγονός αυτό αντανακλάται στη μείωση του κόστους επισκευής.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

3. Ένα σχέδιο (design) D είναι ένα σύνολο από modules, υποσύνολο του τελικού προϊόντος, και παριστάνεται με στοιχεία j που ορίζονται από τα modules τα οποία περιέχει.

4. Ένα εφικτό σχέδιο (feasible design) είναι αυτό από το οποίο παίρνουμε το τελικό προϊόν και πρέπει να περιέχει κάθε εξάρτημα, σαν μέρος ενός module. Δηλαδή, πρέπει να ισχύει ότι : $\bigcup_{j \in D} M_j = I$.

5. Υποθέτουμε, ακόμη, ότι το ίδιο εξάρτημα δεν χρησιμοποιείται σε περισσότερα από ένα modules, οπότε κάθε modular σχεδιασμός αποτελεί μια διαμέριση του συνόλου I, με : $M_j \cap M_k = \varnothing$ για $j, k \in D$ όπου $j \neq k$.

6. Στη συνέχεια, θεωρούμε ότι ο χρόνος μεταξύ των αποτυχιών (time between failures-TBF) των εξαρτημάτων και των modules ακολουθεί εκθετική κατανομή.

7. Λίγο πριν υποθέσαμε ότι, αν ένα εξάρτημα ή module αποτύχει, τότε το σύστημα αποτυγχάνει και το ελαττωματικό module αντικαθίστανται. Ο χρόνος αντικατάστασης/επισκευής ακολουθεί μια γενική κατανομή. Μετά την αντικατάσταση θεωρούμε ότι το σύστημα είναι τόσο καλό, όσο όταν, αυτό ήταν καινούριο.

8. Σημειώνουμε, τέλος, ότι ο παραπάνω χρόνος αντικατάστασης/επισκευής περιλαμβάνει τη διάγνωση της βλάβης και την προμήθεια των καινούριων εξαρτημάτων.

Συμβολισμοί :

λ_i = ρυθμός αποτυχίας του i εξαρτήματος, με $i \in I$.

$\frac{1}{\lambda_i}$ = μέσος χρόνος μεταξύ των αποτυχιών (mean time between failures-MTBF)

Λ_j = ρυθμός αποτυχίας του j-οστού module, με $j \in D$.

Λ = ρυθμός αποτυχίας του σχεδίου $D = \sum_{j \in D} \Lambda_j$.

δ_i = ρυθμός επισκευής / αντικατάστασης για τοi εξάρτημα.

Δ_j = ρυθμός αντικατάστασης για το j-οστό module.

$\frac{1}{\Delta_j}$ = μέσος χρόνος αντικατάστασης για το j-οστό module.

5.3.2 Μελέτη και μαθηματική διατύπωση

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Από τις υποθέσεις που κάναμε, συμπεραίνουμε ότι ο ρυθμός αποτυχίας ενός module εξαρτάται από το γεγονός ότι ένα module αποτυγχάνει όταν οποιοδήποτε εξάρτημά του αποτυγχάνει. Τότε ισχύει : $\Lambda_j = \sum_{i \in M_j} \lambda_i$ και $\Lambda = \sum_{i \in I} \lambda_i$. Αυτό ενδέχεται να είναι η περίπτωση των subassemblies, αλλά δεν ισχύει για τα integrated modules, όπου θα πρέπει : $\Lambda_j \leq \sum_{i \in M_j} \lambda_i$.

Ο μέσος χρόνος αντικατάστασης ενός module είναι πιθανό να μην σχετίζεται άμεσα με το χρόνο αντικατάστασης των εξαρτημάτων του. Είναι όμως πιθανό, ότι οι χρόνοι αντικατάστασης για εξαρτήματα και modules μοιάζουν. Για παράδειγμα, σ' ένα ηλεκτρονικό σύστημα ο χρόνος αντικατάστασης αποτελείται από το χρόνο διάγνωσης της βλάβης και το χρόνο για τη μετακίνηση (removing) μιας αποτυχημένης μητρικής (board) και τοποθέτηση μιας καινούριας, αψηφώντας τις υπόλοιπες λειτουργίες που έχει η μητρική. Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στα integrated modules πετυχαίνουμε, ίσως, μικρότερο χρόνο αντικατάστασης από αυτόν που χρειάζεται για την επισκευή ξεχωριστών εξαρτημάτων.

Θεωρούμε, τώρα, τον κύκλο αποτυχίας και αντικατάστασης ενός modular σχεδιασμού D, που αποτελείται από d modules τα οποία, για λόγους ευκολίας, συμβολίζουμε με $j = 1, 2, ..., d$. Σε κάθε χρονική στιγμή t, το πολύ ένα module μπορεί να αποτύχει, ώστε να υπάρχουν d+1 πιθανές καταστάσεις για το σύστημα.

Έστω x(t) είναι η στοχαστική διαδικασία, η οποία περιγράφει την κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή t. Τότε, $x(t) = 0$ είναι η κατάσταση στην οποία το σύστημα λειτουργεί κανονικά. Όταν είναι : $x(t) = j$,για $j = 1, 2, ..., d$, σημαίνει ότι το σύστημα δεν λειτουργεί τη χρονική στιγμή t λόγω της αποτυχίας του j-οστού module.

Τα χρονικά σημεία στα οποία το σύστημα λειτουργεί πάλι κανονικά (η διαδικασία x(t) αλλάζει από την κατάσταση j στην κατάσταση 0) είναι σημεία όπου η διαδικασία αναγεννάται (regeneration points), και αυτό οφείλεται στην ιδιότητα της αμνησίας που έχει η εκθετική κατανομή του χρόνου μεταξύ των αποτυχιών. Αυτό βέβαια, συμβαίνει ακόμη και στην περίπτωση που οι χρόνοι επισκευής δεν ακολουθούν εκθετική, αλλά μια τυχαία κατανομή.

Ένας κύκλος ζωής (up-down cycle) της αναγεννητικής διαδικασίας ορίζεται να είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών σημείων στα οποία η διαδικασία αναγεννάται (successive regeneration points). Είναι, δηλαδή, ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών καταστάσεων κανονικής λειτουργίας του συστήματος.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Έστω T_j είναι ο χρόνος παραμονής στην κατάσταση j (j = 1, 2, ..., d) κατά τη διάρκεια ενός κύκλου ζωής. Τότε, ο μέσος χρόνος παραμονής στην κατάσταση επισκευής j είναι :

$$E(T_j) = \frac{1}{\Delta_j} \cdot P\,(\text{το j-οστό module αποτυγχάνει πρώτο}) = \frac{1}{\Delta_j} \cdot \frac{\Lambda_j}{\Lambda} = \frac{\rho_j}{\Lambda} \qquad (5.1)$$

όπου $\rho_j = \frac{\Lambda_j}{\Delta_j}$ για κάθε module j, με j = 1, 2, ..., d.

Αν T είναι ο χρόνος ενός κύκλου ζωής της αναγεννητικής διαδικασίας, τότε :

$$E(T) = E(T_0) + E(T_1) + \ldots + E(T_d) = \frac{1}{\Lambda} + \sum_{j=1}^{d} E(T_j) = \frac{1}{\Lambda} + \sum_{j=1}^{d} \frac{\rho_j}{\Lambda} = \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\Lambda} \sum_{j=1}^{d} \rho_j \qquad (5.2)$$

όπου $\frac{1}{\Lambda}$ είναι ο μέσος χρόνος παραμονής στην κατάσταση 0, στην οποία το σύστημα λειτουργεί κανονικά.

Σύμφωνα με τον Ross(1970,p.95) παίρνουμε τις εξής οριακές πιθανότητες :

$$p_j = \lim_{t \to \infty} P\{x(t) = j\} = \frac{E(T_j)}{E(T)} = \frac{\rho_j}{1 + \sum_{j=1}^{d} \rho_j} = \rho_j \cdot p_0 \qquad (5.3)$$

όπου :

$$p_0 = \lim_{t \to \infty} P\{x(t) = 0\} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{d} \rho_j} \qquad (5.4)$$

5.4 Μοντέλο κόστους ενός κύκλου ζωής (up-down cycle) του συστήματος-προϊόντος

5.4.1 Συμβολισμοί κόστους και παρατηρήσεις-υποθέσεις

Συμβολισμοί κόστους :

f = σταθερό κόστος (fixed cost) για το χρήστη του συστήματος, όταν αυτό αποτυγχάνει. (ευρώ / μονάδα χρόνου)

c_i = κόστος αντικατάστασης του i εξαρτήματος, για i = 1, 2, ..., n. (ευρώ / μονάδα χρόνου)

C_j= κόστος αντικατάστασης του j-οστού module, για j = 1, 2, ..., d. (ευρώ / μονάδα χρόνου)

C_0= κόστος του χρόνου συντήρησης (down-time) ανά μονάδα χρόνου για το χρήστη του συστήματος. (ευρώ / μονάδα χρόνου)

Παρατηρήσεις-υποθέσεις :

1. Το σταθερό κόστος f για το χρήστη περιλαμβάνει το κόστος διακοπής-διάλυσης του προϊόντος (cost of disruptions), το κόστος φθοράς σε άλλα συστήματα και τα κόστη πρόσβασης (access costs) στη βάση επισκευής.

2. Το κόστος αντικατάστασης, C_j, για ένα module προέρχεται από το κόστος των εμπορευμάτων προς διάθεση-για πούλημα- (costs of disposal) ή από το κόστος επισκευής του ελαττωματικού module. Συνεπώς το κόστος αυτό είναι περισσότερο "αντικειμενικό" και εξαρτάται από το σύστημα (system dependent).

3. Εφόσον τα δύο παραπάνω κόστη δεν εξαρτώνται από τον πραγματικό χρόνο συντήρησης (down-time), μπορούμε να υποθέσουμε ότι το κόστος C_j περιέχει το σταθερό κόστος f ή ότι είναι $f = 0$.

4. Σύμφωνα με τον ορισμό του, το κόστος του χρόνου συντήρησης C_0 εξαρτάται από το χρήστη (user-dependent). Μπορούμε, δηλαδή, να θεωρήσουμε τη μεταβλητή C_0 σαν το ευκαιριακό κόστος για το χρήστη, το οποίο οφείλεται στην απώλεια εξυπηρέτησης από το σύστημα και εξαρτάται από τη χρήση στην οποία υποβάλλει το προϊόν ο πελάτης. Στην περίπτωση που υπάρχει ενοικιαζόμενος χώρος για τη συντήρηση και επισκευή του αποτυχημένου προϊόντος, τότε το C_0 προσεγγίζεται από το κόστος μισθώματος.

5.4.2 Μαθηματική διατύπωση και μοντέλο κόστους

Έστω $N_j\,(j=1,2,...,d)$ είναι ο ετήσιος αναμενόμενος αριθμός αποτυχιών (αντικαταστάσεις) για το j-οστό module. Υποθέτουμε ακόμη ότι ο χρόνος t μετράται σε χρόνια, οπότε έχουμε ότι :

$$N_j = P\,\{\text{το j-οστό module αποτυγχάνει σε έναν κύκλο}\}\cdot$$

$$\cdot\,E(\text{αριθμός κύκλων κατά τη διάρκεια του χρόνου}) =$$

$$= \frac{\Lambda_j}{\Lambda}\cdot\frac{1}{E(T)} = \Lambda_j\cdot\frac{1}{\Lambda}\cdot\frac{1}{\frac{1}{\Lambda}\left(1+\sum_{j=1}^{d}\rho_j\right)} = \sum_{j=1}^{d}\rho_j = \Lambda_j\cdot\frac{1}{1+\sum_{j=1}^{d}\rho_j} = \Lambda_j\cdot p_0 \qquad (5.5)$$

Το ετήσιο αναμενόμενο κόστος για την αντικατάσταση του j-οστού module είναι :

$$C_j\cdot N_j$$

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Το ετήσιο αναμενόμενο κόστος του χρόνου συντήρησης είναι :

$C_0 \cdot$ {κομμάτι του χρόνου παραμονής σε κατάσταση μη λειτουργίας του συστήματος}

Τότε ο ετήσιος αναμενόμενος κύκλος κόστους για το σύστημα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$TC(D) = \sum_{j=1}^{d} C_j \cdot N_j + (1 - p_0)C_0 = p_0 \sum_{j=1}^{d} C_j \cdot \Lambda_j + (1 - p_0)C_0 \qquad (5.6)$$

5.4.3 Υποθέσεις για περαιτέρω μελέτη του παραπάνω μοντέλου κόστους

1. Υποθέτουμε ότι όλοι οι ρυθμοί αντικατάστασης των modules που αποτυγχάνουν είναι ακριβώς ίδιοι με τους ρυθμούς αντικατάστασης των εξαρτημάτων :

$$\delta_i = \Delta_j = \delta \text{ , για όλα τα i, j} \qquad (5.A1)$$

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε ότι :

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{d} \rho_j} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{d} \frac{\Lambda_j}{\delta}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\delta} \sum_{j=1}^{d} \Lambda_j}$$

2. Υποθέτουμε, ακόμη, ότι οι ρυθμοί αποτυχίας των modules καθορίζονται από τους ρυθμούς αποτυχίας των εξαρτημάτων, δηλαδή :

$$\Lambda_j = \sum_{i \in M_j} \lambda_i \text{ , για όλα τα j} \qquad (5.A2)$$

5.4.4 Μελέτη του παραπάνω μοντέλου κόστους και χρήσιμα συμπεράσματα

Το μοντέλο κόστους που δίνεται από τη σχέση (5.6) παρέχει ενδείξεις για πιθανά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα που προέρχονται από τη modularization.

Σύμφωνα με τις παραπάνω υποθέσεις η οριακή πιθανότητα $p_0 = \left(1 + \frac{1}{\delta} \sum_{i=1}^{n} \lambda_i\right)^{-1}$ είναι αμετάβλητη κάτω από έναν modular σχεδιασμό και συνεπώς ο δεύτερος όρος της έκφρασης κόστους (5.6) ,$(1 - p_0)C_0$, παραμένει επίσης αμετάβλητος. Όμως, ο πρώτος όρος της ο $p_0 \sum_{j=1}^{d} C_j \cdot \Lambda_j$ μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί. Μπορεί να παραμείνει και αυτός αμετάβλητος εάν, επιπλέον, υποθέσουμε ότι :

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

$$C_j \cdot \Lambda_j = \sum_{i \in M_j} c_i \lambda_i \quad \text{ή} \quad C_j = \sum_{i \in M_j} c_i \left(\frac{\lambda_i}{\Lambda_j} \right) \tag{5.A3}$$

Η πρώτη υπόθεση (5.A1) έχει δύο πιθανές ερμηνείες :

Το γεγονός ότι : $\delta_i = \Delta_j = \delta$, για όλα τα i, j, σημαίνει πως, ο ρυθμός στον οποίο τα σταθερά κόστη f υφίστανται για τα modules, ισούται με αυτόν που υφίστανται για τα εξαρτήματα (έχουμε υποθέσει ότι τα σταθερά κόστη περιέχονται στη μεταβλητή κόστους C_j).

Η δεύτερη πιθανή ερμηνεία, που αφορά στην περίπτωση των subassembly modules, είναι ότι το module αποτυγχάνει επειδή ένα εξάρτημά του αποτυγχάνει, και συνεπώς το module μπορεί να είναι επισκευάσιμο αν αντικαταστήσουμε το ελαττωματικό εξάρτημα. Τότε, το κόστος αντικατάστασης $C_j\,(j=1, 2, ..., d)$ του j-οστού module ισούται με το αναμενόμενο κόστος αποτυχίας του εξαρτήματος αυτού.

Έστω ότι είμαστε πάλι στην περίπτωση ενός subassembly module και ισχύει η υπόθεση (5.A2). Τότε, κάνοντας το assembled module από μόνο του επισκευάσιμο, αυξάνουμε το κόστος του περισσότερο απ' ότι αν αντικαθιστούσαμε το ελαττωματικό εξάρτημά του και έχουμε : $C_j > \sum_{i \in M_j} c_i \left(\frac{\lambda_i}{\Lambda_j} \right)$, επομένως δεν ισχύει η υπόθεση (5.A3). Με αυτόν τον τρόπο οδηγούμαστε σε μεγαλύτερο κύκλο κόστους $TC(D)$.

Υποθέτουμε τώρα, ότι ισχύουν οι (5.A2) και (5.A3), αλλά η modularization οδηγεί σε πιο γρήγορη αντικατάσταση των modules απ' ότι χρειάζεται για τα εξαρτήματα, ώστε να έχουμε : $\Delta_j = \Delta\ (j=1,2,...,d)$ και $\delta_i = \delta\ (i=1,2,...,n)$ με $\Delta > \delta$, δηλαδή δεν ισχύει η υπόθεση (5.A1). Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η οριακή πιθανότητα p_0 να κοιτάξουμε το σύστημα μετά από άπειρο χρόνο και να λειτουργεί κανονικά (probability of up-time). Τότε, ο δεύτερος όρος της σχέσης (5.6) , ο $(1 - p_0)C_0$, μειώνεται, αλλά παραδόξως αυξάνεται ο πρώτος όρος, ο $p_0 \sum_{j=1}^{d} C_j \cdot \Lambda_j$, συνεπώς δεν μπορούμε να έχουμε συμπέρασμα για το κόστος $TC(D)$. Αν όμως ισχύει ότι : $C_0 > \sum_{j=1}^{d} C_j \cdot \Lambda_j$, τότε το κόστος $TC(D)$ μειώνεται. Για να συμβαίνει αυτό, θα πρέπει η μεταβλητή κόστους C_0 του χρόνου συντήρησης να υπερτερεί του ρυθμού στον οποίο τα σταθερά κόστη, που περιέχονται στο κόστος C_j, υφίστανται σε κάθε κύκλο, οπότε το πηλίκο

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

C_j/C_0 να είναι μικρό. Αυτό βέβαια σημαίνει πως, δεν υπάρχουν "καταστροφικές" συνέπειες της αποτυχίας και η αντικατάσταση του module είναι συμφέρουσα σε σχέση με τις υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα στον πελάτη. Μια άλλη περίπτωση στην οποία έχουμε ότι : $C_0 > \sum_{j=1}^{d} C_j \cdot \Lambda_j$ είναι εκείνη όπου το σύστημα είναι υψηλής αξιοπιστίας, οπότε ο ρυθμός αποτυχίας του j-οστού module Λ_j ελαττώνεται. Στις περισσότερες εφαρμογές, φαίνεται πιο πιθανό ότι αυξάνοντας την p_0, μειώνουμε τα συνολικά κόστη και για να ελαττώσουμε το χρόνο αντικατάστασης της βλάβης είναι βασικό να χρησιμοποιήσουμε modular σχεδιασμό.

Τέλος, η modularization μπορεί να μειώσει τον κύκλο κόστους μέσω αύξησης της αξιοπιστίας των modules. Αυτό ενδέχεται να συμβαίνει πιο συχνά στα integrated modules απ' ότι στα subassemblies, αλλά έχει σαν συνέπεια την αύξηση του κόστους αντικατάστασης των modules. Μια περίπτωση στην οποία παρατηρείται αύξηση της αξιοπιστίας χωρίς αυτό να συνεπάγεται με αύξηση του κόστους αντικατάστασης, είναι αυτή των λογικών κυκλωμάτων (logical circuitry). Εδώ, συνδυάζοντας λογικά στοιχεία μέσα σε ένα ολοκληρωμένο πακέτο (integrated package- integrated module) αυξάνουμε την αξιοπιστία του συστήματος και το κόστος δεν είναι υψηλό αν ο όγκος παραγωγής είναι μεγάλος.

5.5 Διατήρηση αποθεμάτων και κόστη επισκευής που σχετίζονται με τη modularity

Αποθέματα των modules και των διαφόρων εξαρτημάτων διατηρούνται με σκοπό την υποστήριξη του προϊόντος μετά την πώλησή του, σε περίπτωση φθοράς του, και βοηθούν στην άμεση επισκευή/αντικατάσταση των ελαττωματικών στοιχείων του. Με τη μελέτη τέτοιων συστημάτων έχει ασχοληθεί ο Nahmias (1981). Η διαχείρισή τους είναι συνυφασμένη με τον modular σχεδιασμό και η διαθεσιμότητα τέτοιου είδους αποθεμάτων επηρεάζει το χρόνο επισκευής/αντικατάστασης για το σύστημα.

5.5.1 Υποθέσεις και συμβολισμοί

Υποθέσεις :

1. Με τα διαθέσιμα αποθέματα των modules και των εξαρτημάτων τους ασχολείται η θεωρία ελέγχου βασικού αποθέματος (base stock) και χρησιμοποιεί μια "ένα-προς-ένα" (one-for-one)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

πολιτική αναπλήρωσης. Δηλαδή, μια παραγγελία ξεκινά όταν μια μονάδα προϊόντος ζητηθεί (Johnson and Montgomery,1974).

2. Ο χρόνος που χρειάζεται για την αναπλήρωση διαθέσιμων αποθεμάτων συμβολίζεται με τ και μετράται σε χρόνια.

3. Το επίπεδο αποθέματος S επιλέγεται έτσι, ώστε να παρέχει ένα ιδιαίτερα ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης (service level). Το επίπεδο εξυπηρέτησης ορίζεται να είναι ένα μέτρο, που περιγράφει το βαθμό στον οποίο το σύστημα καλύπτει τη ζήτηση. Μπορεί, για παράδειγμα, να είναι η πιθανότητα μιας έλλειψης κατά τη διάρκεια ενός κύκλου, ή ο αναμενόμενος αριθμός ελλείψεων ανά χρόνο, ή ένα κομμάτι του χρόνου στον οποίο έχουμε έλλειψη αποθέματος (out of stock).

4. Αυτό το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι επαρκώς υψηλό, οπότε ο χρόνος επισκευής/ αντικατάστασης για το σύστημα να είναι αισθητά ανεξάρτητος από τα επίπεδα αποθέματος.

5. Η ζήτηση για διαθέσιμα αποθέματα οφείλεται στις αποτυχίες-φθορές που συμβαίνουν σε ένα σταθερό πληθυσμό μεγέθους m. Ο αριθμός μονάδων m σχετίζεται άμεσα με τους ρυθμούς αποτυχίας των modules και των εξαρτημάτων.

Συμβολισμοί :

h_j = κόστος διατήρησης (holding cost) για το module j (j = 1, 2, ..., d) ανά μονάδα χρόνου

h_i = κόστος διατήρησης (holding cost) για το εξάρτημα i (i = 1, 2, ..., n) ανά μονάδα χρόνου

k = παράγοντας εξυπηρέτησης που έχει επιλεγεί ώστε να δίνει το επιθυμητό, εγγυημένο επίπεδο εξυπηρέτησης (Johnson and Montgomery,1974).

5.5.2 Μελέτη μη επισκευάσιμων integrated modules

Το ετήσιο μέσο κόστος διαθέσιμου αποθέματος για ένα module j $(j=1,2,...,d)$ εκτιμάται να είναι το: $h_j k(m\Lambda_j\tau)^{1/2}$, όπου $(m\Lambda_j\tau)^{1/2}$ είναι η τυπική απόκλιση της ζήτησης (υποθέτουμε την ύπαρξη κατανομής Poisson κατά προσέγγιση) στην περίοδο αναπλήρωσης τ.

Υποθέτουμε ότι το κόστος διατήρησης h_j $(j=1,2,...,d)$ είναι ανάλογο του κόστους αντικατάστασης C_j ενός module. Τότε, για λόγους σύγκρισης, το κόστος αποθέματος για ένα

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

module είναι ανάλογο του $\tau^{1/2}C_j\Lambda_j^{1/2}$. Έτσι, εάν το κόστος C_j είναι μη διατάξιμο του $\sum_{i\in M_j} c_i$ και ο ρυθμός αποτυχίας Λ_j είναι μη διατάξιμος του $\sum_{i\in M_j} \lambda_i$, τότε, διαισθητικά μόνο, συμπεραίνουμε ότι το κόστος αποθέματος για τη σπονδυλωτή σχεδίαση (modularization) είναι υψηλότερο απ' ότι ενός non-modular σχεδιασμού. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν σκεφτούμε ότι, η συναρμολόγηση διαφόρων εξαρτημάτων προκειμένου να πάρουμε ένα integrated module δημιουργεί το πρόβλημα ύπαρξης αλληλεξάρτησης των μερών που αποτελούν το module. Συνεπώς, κάθε εξάρτημα εξαρτάται από τους ρυθμούς αποτυχίας των υπολοίπων και το απόθεμα ενός μόνο εξαρτήματος δεν βοηθά στην υποστήριξη ενός ελαττωματικού integrated module. Αντίθετα, σε έναν non-modular σχεδιασμό τα αποθέματα κάθε εξαρτήματος επηρεάζονται μόνο από τους δικούς τους ρυθμούς αποτυχίας.

5.5.3 Μελέτη επισκευάσιμων subassemblies

Στην subassembly περίπτωση, στην οποία τα modules είναι επισκευάσιμα, η υποστήριξη αποθέματος γίνεται σε δύο επίπεδα. Πρώτα, τα αποθέματα modules στηρίζουν τη γρήγορη αντικατάσταση του χαλασμένου module. Δεύτερον, έχουμε αποθέματα εξαρτημάτων τα οποία στηρίζουν την επισκευή των αποτυχημένων modules. Τότε, το επίπεδο αποθεμάτων για τα modules πρέπει να καλύπτει το χρόνο τ_1, όπου τ_1 είναι ο χρόνος επισκευής. Το αντίστοιχο επίπεδο αποθεμάτων για τα εξαρτήματα που βοηθούν στην επισκευή των modules, τα οποία έχουν υποστεί φθορά, πρέπει να καλύπτει το χρόνο αναπλήρωσης τ_2.

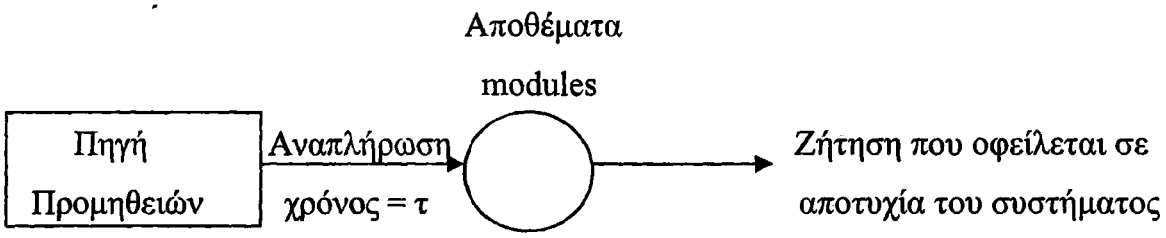
Έτσι, το ετήσιο μέσο κόστος διαθέσιμου αποθέματος για ένα subassembly module j $(j=1, 2, ..., d)$ είναι το: $kh_j(m\Lambda_j\tau_1)^{1/2} + k\sum_{i\in M_j} h_i(m\lambda_i\tau_2)^{1/2}$,όπου $(m\Lambda_j\tau_1)^{1/2}$ και $(m\lambda_i\tau_2)^{1/2}$ είναι οι τυπικές αποκλίσεις της ζήτησης (υποθέτουμε την ύπαρξη κατανομής Poisson κατά προσέγγιση) στις περιόδους αναπλήρωσης τ_1 και τ_2 αντίστοιχα.

Υποθέτουμε ακόμη, ότι τα κόστη διατήρησης h_j $(j=1, 2, ..., d)$ και h_i $(i=1, 2, ..., n)$ είναι ανάλογα με τα κόστη αντικατάστασης C_j και c_i αντίστοιχα. Τότε, το παραπάνω κόστος αποθέματος για ένα module j $(j=1, 2, ..., d)$ είναι ανάλογο του : $\tau_1^{1/2}C_j\Lambda_j^{1/2} + \tau_2^{1/2}\sum_{i\in M_j} c_i\lambda_i^{1/2}$.

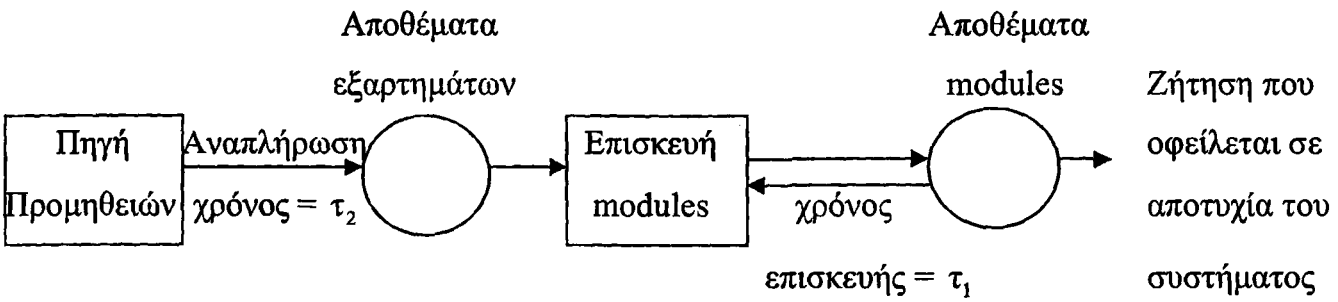
Εάν ο χρόνος επισκευής του module είναι πολύ μικρότερος του χρόνου αναπλήρωσης των εξαρτημάτων, δηλαδή $\tau_1 << \tau_2$, τότε η περίπτωση των subassembly modules υπερτερεί αυτής των integrated μη επισκευάσιμων modules. Η αντικατάσταση ενός module, καινούριου που διατηρείται με τη μορφή αποθέματος ή επισκευασμένου, στο τελικό σύστημα, ελαττώνει το χρόνο συντήρησης του προϊόντος. Στην περίπτωση, λοιπόν, των subassemblies χρησιμοποιούμε αποθέματα εξαρτημάτων για την επισκευή των αποτυχημένων modules, επομένως δεν χρειάζεται να έχουμε μεγάλες ποσότητες αποθεμάτων σε ολοκληρωμένα modules, στα οποία έχουμε μεγαλύτερο κόστος κατασκευής.

5.5.4 Σύγκριση μη επισκευάσιμων integrated και επισκευάσιμων assembled modules

Η σύγκριση για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις των integrated μη επισκευάσιμων και των subassembly επισκευάσιμων modules φαίνεται γραφικά στα παρακάτω σχήματα :



Σχήμα 5.1 Integrated μη επισκευάσιμα modules



Σχήμα 5.2 Subassembly επισκευάσιμα modules

Από τα δύο παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι η δεύτερη περίπτωση υπερτερεί της πρώτης εάν $\tau_1 << \tau_2$, εφόσον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και αποθέματα εξαρτημάτων για να πάρουμε αποθέματα των modules και ο χρόνος επισκευής τους να είναι πολύ μικρός.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι για τα integrated modules μπορούμε να πετύχουμε μικρότερο χρόνο συντήρησης, εφόσον αντικαθιστούμε εξ' ολοκλήρου το ελαττωματικό module, το οποίο διατηρούμε σαν απόθεμα. Γνωρίζουμε όμως, ότι το κόστος κατασκευής τους είναι μεγαλύτερο από αυτό των εξαρτημάτων. Επιπλέον, στα assembled modules, η γνώση των διαφορετικών ρυθμών αποτυχίας των εξαρτημάτων τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη διατήρησή τους σε διαφορετικές αναλογίες. Δηλαδή, τα εξαρτήματα που χαλάνε συχνότερα διατηρούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες και συνδυάζοντας το μικρό κόστος κατασκευής τους, συμπεραίνουμε τελικά, ότι το κόστος διατήρησης αποθεμάτων είναι μικρότερο για τα subassembly επισκευάσιμα modules.

5.5.5 Διατήρηση modular προϊόντων, κόστη επισκευής και modularization

Υπάρχουν συστήματα ή προϊόντα στα οποία το κόστος αποτυχίας είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος της προβλεπόμενης συντήρησης και πιθανής αντικατάστασής τους. Πρέπει, τότε, να προλαβαίνουμε την "αποτυχία". Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος είναι η μηχανή στα αεροπλάνα, την οποία θα πρέπει να συντηρούμε πριν αυτή χαλάσει, ώστε να αποφύγουμε πιθανό ατύχημα.

Θεωρούμε την περίπτωση ενός συστήματος που αποτελείται από έναν αριθμό εξαρτημάτων, τα οποία θα πρέπει να επιθεωρούμε και να συντηρούμε σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οδηγούμαστε, έτσι, σε μια αναγεννητική διαδικασία, παρόμοια με αυτήν που οφείλονταν στις αποτυχίες του προϊόντος. Επιπλέον, η συχνότητα συντήρησης ποικίλει στα διάφορα εξαρτήματα, και συνεπώς το κόστος και ο χρόνος συντήρησής τους είναι μεγάλος. Για να τα ελαττώσουμε χρησιμοποιούμε modular σχεδιασμό, ομαδοποιώντας τα μέρη εκείνα τα οποία έχουν παρόμοιες συχνότητες συντήρησης, και φτιάχνουμε modules, τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Στην περίπτωση που εντοπίσουμε βλάβη σε ένα integrated module γίνεται γρήγορη και άμεση αντικατάστασή του και το σύστημα είναι έτοιμο για χρήση. Αυτό, όμως, απαιτεί αποθέματα modules αντί εξαρτημάτων και θα πρέπει να ελέγξουμε το κόστος διατήρησής τους. Στην περίπτωση όπου η σπονδυλωτή σχεδίαση (modularization) δημιουργεί subassemblies το παραπάνω κόστος μειώνεται, ενώ η συνολική συχνότητα συντήρησης αυξάνεται. Γενικά, με χρήση modular σχεδιασμού (είτε πρόκειται για integrated module, είτε για subassemblies) πετυχαίνουμε μικρότερο χρόνο συντήρησης (down-time) απ' ότι σε έναν non-modular σχεδιασμό.

Επίσης, τα κόστη επισκευής επηρεάζονται από τη modularization και συγκεκριμένα, αυτά ελαττώνονται λόγω της κατασκευής τους (ύπαρξη ανεξαρτησίας), η οποία επιτρέπει την εύκολη αποσυναρμολόγηση των συστημάτων αυτών σε περίπτωση αποτυχίας τους. Σε αρκετά modular προϊόντα μάλιστα, η διάγνωση της βλάβης και η αντικατάσταση του αντίστοιχου module ή εξαρτήματος (εάν πρόκειται για επισκευάσιμα subassemblies) ενδέχεται να μπορεί να γίνει από τον ίδιο το χρήστη και αυτό μειώνει τα κόστη πρόσβασής του στη βάση επισκευής (access costs). Επιπλέον, σε ένα modular αποτυχημένο σύστημα αυτό που αντικαθίστανται είναι το module ή το αντίστοιχο εξάρτημα που δημιουργεί το πρόβλημα, και όχι ολόκληρο το προϊόν, οπότε οι ευκολίες επισκευής των modules οδηγούν συχνά σε οικονομίες κλίμακος.

5.6 Περίπτωση ύπαρξης δύο μόνο εξαρτημάτων

Θεωρούμε την απλή περίπτωση όπου ολόκληρο το σύστημα αποτελείται από δύο μόνο εξαρτήματα. Υποθέτουμε, ακόμη, ότι κάθε ένα από αυτά είναι ένα integrated module, χωρίς αυτό να επηρεάζει τα αποτελέσματά μας. Εδώ, λοιπόν, μπορούμε εύκολα να εξηγήσουμε και να συγκρίνουμε τα κόστη για τα διάφορα εναλλακτικά σχέδια (designs).

Στην περίπτωσή μας έχουμε μόνο δύο πιθανά σχέδια : i) Το σχέδιο D_1 για το οποίο, όταν το σύστημα αποτύχει, τότε ολόκληρο το σύστημα αντικαθίστανται, οπότε $D_1 = M = \{1,2\}$ και ii) Το σχέδιο D_2 για το οποίο, όταν το σύστημα αποτύχει, τότε αντικαθίστανται μόνο το εξάρτημα που δημιουργεί τη βλάβη και είναι το $D_2 = (\{1\},\{2\})$.

Έστω c_i, λ_i, δ_i είναι το κόστος, ο ρυθμός αποτυχίας και ο ρυθμός επισκευής για το εξάρτημα i (i = 1, 2).

Με C, Λ και Δ συμβολίζουμε αντίστοιχα το κόστος, το ρυθμό αποτυχίας και το ρυθμό επισκευής για το module $M = \{1,2\}$.

Τότε αποδεικνύεται ότι ο συνολικός ετήσιος αναμενόμενος κύκλος κόστους για το παραπάνω σύστημα είναι :

$$TC(D_1) = C \cdot N + (1 - p_{01})C_0 = C\left(\frac{\Lambda\Delta}{\Lambda+\Delta}\right) + \frac{\Lambda}{\Lambda+\Delta}C_0 = \frac{\Lambda}{\Lambda+\Delta}(C\Delta + C_0) \qquad (5.7)$$

και :

$$TC(D_2) = c_1 \cdot N_1 + c_2 \cdot N_2 + (1 - p_{02})C_0 = \frac{(c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2)\delta_1\delta_2 + C_0(\lambda_1\delta_2 + \lambda_2\delta_1)}{\delta_1\delta_2 + \lambda_1\delta_2 + \lambda_2\delta_1} \qquad (5.8)$$

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

όπου με p_{01} και p_{02} συμβολίζουμε τις οριακές πιθανότητες κανονικής λειτουργίας για τα σχέδια D_1 και D_2 αντίστοιχα, για τις οποίες έχουμε ότι :

$$p_{01} = \lim_{t\to\infty}\{x(t) = 0 \text{ για το } D_1\} = \frac{1}{1+\rho} = \frac{1}{1+\frac{\Lambda}{\Delta}} = \frac{\Delta}{\Lambda+\Delta}$$

$$p_{02} = \lim_{t\to\infty}\{x(t) = 0 \text{ για το } D_2\} = \frac{1}{1+\sum_{j=1}^{2}\rho_j} = \frac{1}{1+\rho_1+\rho_2} = \frac{1}{1+\frac{\lambda_1}{\delta_1}+\frac{\lambda_2}{\delta_2}} = \frac{\delta_1\delta_2}{\delta_1\delta_2+\lambda_1\delta_2+\lambda_2\delta_1}$$

► Έτσι, το μοντέλο ενός κύκλου κόστους για το σχέδιο D_1 είναι προτιμότερο από αυτό για το σχέδιο D_2 εάν : $TC(D_1) < TC(D_2)$ το οποίο είναι ισοδύναμο με :

$$CN - p_{01}C_0 < c_1 \cdot N_1 + c_2 \cdot N_2 - p_{02}C_0 \quad \text{ή}$$

$$\frac{\Lambda}{\Lambda+\Delta}(C\Lambda - C_0) < \frac{\delta_1\delta_2}{\delta_1\delta_2+\lambda_1\delta_2+\lambda_2\delta_1}(c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 - C_0) \tag{5.9}$$

►► Όταν η υπόθεση (5.A1) : $\delta_1 = \delta_2 = \Delta = \delta$ ισχύει, τότε η σχέση (5.9) γίνεται :

$$\frac{1}{\Lambda+\delta}(C\Lambda - C_0) < \frac{1}{\lambda_1+\lambda_2+\delta}(c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 - C_0) \tag{5.10}$$

►► Αν επιπλέον ισχύει και η υπόθεση (5.A2) : $\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2$, τότε το σχέδιο D_1 είναι καλύτερο από το σχέδιο D_2 εάν :

$$C(\lambda_1+\lambda_2) < c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 \tag{5.11}$$

►► Όταν ισχύουν οι υποθέσεις (5.A2) : $\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ και (5.A3) : $C\Lambda = c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2$, τότε έχουμε ότι : $C(\lambda_1+\lambda_2) = c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2$, και συνεπώς δεν μπορούμε να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα μέσω της έκφρασης κόστους. Για το λόγο αυτό δουλεύουμε με οριακές πιθανότητες.
Επομένως, το σχέδιο D_1 είναι καλύτερο από το σχέδιο D_2 κάθε φορά που ισχύει ότι :

$$p_{01} = \frac{\Delta}{\lambda_1+\lambda_2+\Delta} > \frac{\delta_1\delta_2}{\delta_1\delta_2+\lambda_1\delta_2+\lambda_2\delta_1} = p_{02} \tag{5.12}$$

αρκεί να έχουμε ότι : $c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 < C_0$.

►► Όταν όμως ισχύουν οι υποθέσεις (5.A2) και (5.A3) και επιπλέον είναι : $c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 > C_0$, τότε δεν μπορούμε να έχουμε συμπέρασμα για τα κόστη με τη βοήθεια μαθηματικών σχέσεων.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Με βάση όμως τις περισσότερες εφαρμογές, συμπεραίνουμε ότι αυξάνοντας την οριακή πιθανότητα p_0, μειώνουμε τα συνολικά κόστη. Συνεπώς, όταν : $c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 > C_0$, τότε κάθε φορά που ισχύει ότι : $p_{01} < p_{02}$, το σχέδιο D_2 είναι καλύτερο από το σχέδιο D_1.

Για την αντικειμενική συνάρτηση, η οποία περιλαμβάνει τα κόστη αποθεμάτων, θα έχουμε ότι το σχέδιο D_1 είναι καλύτερο από το σχέδιο D_2 εάν :

$$\frac{\Lambda}{\Lambda+\Delta}\left(C\Lambda - C_0\right) + FC\sqrt{\Lambda} < \frac{\delta_1\delta_2}{\delta_1\delta_2 + \lambda_1\delta_2 + \lambda_2\delta_1}\left(c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 - C_0\right) + F\left(c_1\sqrt{\lambda_1} + c_2\sqrt{\lambda_2}\right) \quad (5.13)$$

όπου F = (κόστος διατήρησης) · (μέσος χρόνος αναπλήρωσης $)^{1/2}$ και υποθέτουμε ότι ο μέσος χρόνος αναπλήρωσης είναι ίδιος για τα δύο εξαρτήματα και το module.

► Όταν ισχύουν οι υποθέσεις (5.A1), (5.A2) και (5.A3), εύκολα αποδεικνύεται ότι η σχέση (5.13) γίνεται :

$$C\sqrt{\Lambda} < c_1\sqrt{\lambda_1} + c_2\sqrt{\lambda_2} \quad (5.14)$$

και έτσι το σχέδιο D_1 είναι πάντα καλύτερο από το σχέδιο D_2.

5.7 Αριθμητικά παραδείγματα για συστήματα-προϊόντα που αποτελούνται από πέντε εξαρτήματα

5.7.1 Υποθέσεις και επιλογή αριθμητικών τιμών για τις διάφορες μεταβλητές

Θεωρούμε ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από πέντε εξαρτήματα στη σειρά τοποθετημένα. Οι σχετικές παράμετροι για το σύστημα δίνονται στον παρακάτω πίνακα :

	Εξάρτημα i (i = 1,2,3,4,5)					
	1	2	3	4	5	Μονάδα μέτρησης
Κόστος αντικατάστασης του i εξαρτήματος, c_i	1000	2000	2500	1000	2000	ευρώ
Ρυθμός αποτυχίας του i εξαρτήματος, λ_i	1	1	1	1/2	2	1/χρόνο
Ρυθμός επισκευής, δ	100	100	100	100	100	1/χρόνο

Πίνακας 5.1

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Υποθέτουμε ότι ο ρυθμός επισκευής/αντικατάστασης είναι ίδιος για όλα τα εξαρτήματα $i = 1,2,3,4,5$ και ισούται με δ.

Υποθέτουμε, ακόμη, ότι ένα module του παραπάνω συστήματος αποτυγχάνει όταν οποιοδήποτε εξάρτημά του αποτυγχάνει. Συνεπώς, ο ρυθμός αποτυχίας για το module M_j, με $j \in D$, θα είναι : $\Lambda_j = \sum_{i \in M_j} \lambda_i$, για όλα τα j.

Το κόστος αντικατάστασης του j-οστού module θα δίνεται από τη σχέση :

$$C_j = \exp\left\{-A\left[\left|M_j\right|-1\right]\right\} \cdot \sum_{i \in M_j} c_i \qquad (5.15)$$

όπου $\left|M_j\right|$ είναι το απόλυτο του αριθμού M_j, με M_j να είναι ο αριθμός των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται το j-οστό module.

Το παραπάνω μοντέλο κόστους ενισχύει την άποψη που λέει ότι συγκεντρώνοντας μαζί διάφορα εξαρτήματα έχουμε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός φθηνού, όσον αφορά στο κόστος αντικατάστασής του, module.

Ο ρυθμός αντικατάστασης για το module M_j δίνεται από τη σχέση :

$$\Delta_j = \delta \Big/ \exp\left\{-\left[\left|M_j\right|-1\right] \cdot B\right\} \qquad (5.16)$$

Εδώ, μπορούμε εύκολα να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι, ομαδοποιώντας τα διάφορα εξαρτήματα παίρνουμε πιο γρήγορο ρυθμό επισκευής, μέσω της αντικατάστασης του module.

Επιλέγουμε ακόμη, τις σταθερές A και B να είναι : A = 0.1 και B = 0.25.

Έστω, τέλος, ότι : F = (κόστος διατήρησης) · (μέσος χρόνος αναπλήρωσης $)^{1/2} = 0.155$ και είναι ίδιο για εξαρτήματα και modules.

Θεωρούμε δύο είδη επιτρεπτής modularization. Στην πρώτη περίπτωση επιτρέπονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των εξαρτημάτων, ώστε να πάρουμε modules, και στη δεύτερη μόνο οι συνδυασμοί των "γειτονικών" εξαρτημάτων. Ο αριθμός όλων των πιθανών διαμερίσεων ενός συνόλου με n στοιχεία δίνεται από ένα άθροισμα των αριθμών stirling του δεύτερου είδους και υπάρχει σχετική κατάταξη σε πίνακες στους Abramowitz and Stegun (1965). Επομένως, για την πρώτη περίπτωση έχουμε 52 πιθανά σχέδια. Στη δεύτερη περίπτωση, όπου η modularization

περιορίζεται μόνο στα "γειτονικά" εξαρτήματα, απαριθμώντας όλες τις δυνατές διαμερίσεις, παίρνουμε 16 πιθανά σχέδια.

Θεωρούμε, ακόμη, τις δύο παρακάτω αντικειμενικές συναρτήσεις, τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε για τις απαραίτητες συγκρίσεις :

$$TC_1(D) = TC(D) \tag{5.17}$$

και :

$$TC_2(D) = TC(D) + F\sum_{j \in D} C_j \sqrt{\Lambda_j} \tag{5.18}$$

Η σχέση (5.18) περιλαμβάνει και τα κόστη αποθεμάτων. Τα παραπάνω κόστη έχουν εκτιμηθεί για όλα τα 52 πιθανά σχέδια. Το κόστος του χρόνου συντήρησης C_0 (ευρώ / χρόνο) έχει επιλεγεί έτσι, ώστε οι λύσεις να διαφέρουν για τις περιπτώσεις μας.

Στη συνέχεια θα δούμε δύο παραδείγματα, όπου το πρώτο αναφέρεται σε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς και το δεύτερο στους συνδυασμούς μόνο των "γειτονικών" εξαρτημάτων.

5.7.2 Παράδειγμα 1

Υποθέτουμε ότι επιτρέπονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των εξαρτημάτων και έστω ότι: $C_0 = 488750$ (ευρώ / χρόνο).

Εδώ, το κόστος $TC_1(D)$ ελαχιστοποιείται για το σχέδιο : $D_1^* = (\{1,4\},\{2\},\{3\},\{5\})$ με : $TC_1(D_1^*) = 34681$. Τα εξαρτήματα 1 και 4 αποτελούν ένα module, ενώ τα υπόλοιπα εξαρτήματα δεν έχουν συνδυαστεί μεταξύ τους.

Η συνάρτηση κόστους $TC_2(D)$, που περιλαμβάνει και τα κόστη αποθεμάτων, γίνεται ελάχιστη για το σχέδιο : $D_2^* = (\{1,4,5\},\{2\},\{3\})$ με : $TC_2(D_2^*) = 34714$. Εδώ, τα εξαρτήματα 1, 4 και 5 σχηματίζουν ένα module, ενώ τα 2 και 3 είναι ανεξάρτητα.

5.7.3 Παράδειγμα 2

Τώρα, υποθέτουμε ότι επιτρέπονται οι συνδυασμοί μόνο των "γειτονικών" εξαρτημάτων για να πάρουμε τα διάφορα modules και έστω ότι : $C_0 = 446100$ (ευρώ / χρόνο).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Στην περίπτωση αυτή, το κόστος $TC_1(D)$ ελαχιστοποιείται για το σχέδιο : $D_3^* = (\{1\},\{2\},\{3\},\{4\},\{5\})$ με : $TC_1(D_3^*) = 32735$. Το D_3^* είναι ένα non-modular σχέδιο.

Το σχέδιο $D_4^* = (\{1\},\{2\},\{3\},\{4,5\})$ είναι το καλύτερο για τη συνάρτηση κόστους $TC_2(D)$ με : $TC_2(D) = 32767$, όπου τα εξαρτήματα 4 και 5 σχηματίζουν ένα module και τα υπόλοιπα είναι ανεξάρτητα.

5.8 Θέματα για περαιτέρω έρευνα

Στο κεφάλαιο αυτό, μελετήσαμε το modular σχεδιασμό σαν μια στρατηγική υποστήριξης του προϊόντος σε περίπτωση αποτυχίας του μετά την πώληση.

Παρουσιάσαμε ένα γενικό μοντέλο και επικεντρωθήκαμε στην απλή περίπτωση συστήματος που αποτελείται από δύο μόνο εξαρτήματα, ώστε να εντοπίσουμε μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα που προέρχονται από τη modularization. Δεν προσπαθήσαμε, όμως, να αναπτύξουμε ένα γενικότερο αλγόριθμο, γιατί ένας τέτοιος αλγόριθμος επηρεάζεται από τη φύση του κόστους που σχετίζεται με έναν modular σχεδιασμό, καθώς επίσης και από τα δυνατά σχέδια που προκύπτουν για τις διάφορες περιπτώσεις που μελετάμε. Εξάλλου, στην πράξη, τα κόστη και η συμπεριφορά κάθε πιθανού modular σχεδιασμού δεν είναι γνωστά εξαρχής. Μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να γίνει για την ολοκλήρωση μιας modular στρατηγικής με άλλες προσεγγίσεις υποστήριξης αποτυχημένων προϊόντων.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] **Baldwin, C.Y. and Clark, K.B.** (1997). Managing in an age of modularity. Harvard Business Review, 75, (5), 84-93.

[2] **Berman, B.** (2002). Should your firm adopt a mass customization strategy? Business Horizons, 51-60.

[3] **Bi, Z.M. and Zhang, W.J.** (2001). Modularity technology in manufacturing: Taxonomy and Issues. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 18, 381-390.

[4] **Biegel, J.E. and Bulcha, B.** (1976). System modularization under constraints. AIIE 1976 System Conference Proceedings, Boston.

[5] **Brusoni, S. and Prencipe**, A. (1999). Modularity in complex product systems: Managing the Knowledge Dimension. Working paper. CoPS Publication, 57.

[6] **Chakravarty, A.K. and Balakrishnan, N.** (2001). Achieving product variety through optimal choice of module variations. IIE Transactions, 33, (7), 587-598.

[7] **Choi, T.M, Li, D., Yan, H.** (2004). Optimal returns policy for supply chain with e-marketplace. International Journal of Production Economics, 88, 205-227.

[8] **Corbett, J., Dooner, M., Meleka, J., Pym, C.** (1991). Design for manufacturing: Strategies, Principles, and Techniques. Addison Wesley, New York, NY, U.S.A.

[9] **Croom, S., Romonao, P., Giannakis, M.** (2000). Supply chain management: an analytical framework for critical review. European Journal of Purchasing and Supply Management, 6, 67-83.

[10] **Davis, S.M.** (1987). Future Perfect, Addison-Wesley, Reading, MA.

[11] **Davis, S., Hagerty, M., Gerstner, E.** (1998). Return policies and the optimal level of hassle. Journal of Economics and Business, 50, (5), 445-460.

[12] **Davis, S.M.** (1987). Future Perfect, Addison-Wesley, Reading, MA.

[13] **Dogramaci, A.** (1973). Design of common components considering implications of inventory costs and forecasting. AIIE Transactions, 1, 129-135.

[14] **Duray, R.** (2002). Mass customization origins: mass or custom manufacturing? Journal of Operations and Production Management, 22, (4), 314-328.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

[15] **Fixson, S.K.** (2002). The multiple faces of modularity - An analysis of a product concept for Assembled Hardware Products. Working Paper, Massachusetts Institute of Technology.

[16] **Ghiassi, M. and Spera,C.** (2003). Defining the Internet-based supply chain system for mass customized markets. Computers and Industrial Engineering, 45, 17-41.

[17] **Gunasekaran, A. and Ngai, E.W.T.** (2005). Build-to-order supply chain management : a literature review and framework for development. Journal of Operations Management, 23, 423-451.

[18] **Hellstrom, M and Wikstrom, K.** (2005). Project business concepts based on modularity-improved manoeuvrability through unstable structures. International Journal of Project Management, 23, 392-397.

[19] **Hess, J. and Mayhew, G.E.** (1997). Modeling merchandise returns in direct marketing. Journal of Direct Marketing, 11, (2), 20-35.

[20] **Huang, C.C.** (2000). Overview of modular product development. Proceeding National Science Council, ROC(A), 24, (3), 149-165.

[21] **Huang, Y.Y. and Liang, H.M.** (2006, Article in press). Applying postponement strategy in dynamic environments: Standardization v.s. modularization. Department of Business administration, NationalSun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan.

[22] **Johnson, L. and Montgomery, D.C.** (1974). Operations research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control, Wiley, New York.

[23] **Karmarkar, U.S. and Kubat, P.** (1987). Modular product design and product support. European Journal of Operational Research, 29, 74-82.

[24] **Kohlas, J. and Pasquier, J.** (1981). Optimization of spare parts for hierarchically decomposable systems. European Journal of Operational Research, 8, 294-300.

[25] **Krajewski, L., Wei, J.C., Tang, L.** (2005). Responding to schedule changes in build-to-order supply chains. Journal of Operations Management, 23, 452-469.

[26] **Lampel, J. and Mintzberg, H.** (1996). Customizing customization. Sloan Management Review, 38, 21-30.

[27] **Lancioni, R.A., Smith, M.F., Oliva, T.A.** (2000). The role of the Internet in supply chain management. Industrial Marketing Management, 29, 45-56.

[28] **Langlois, R.N.** (2002). Modularity in technology and organization. Journal of Economic Behaviour & Organization, 49, 19-37.

[29] **Lau Antonio, K.W., Richard Yam, C.M, Tang, E.** (2006, Article in Press). The impacts of product modularity on competitive capabilities and performance: An empirical study. International Journal of Production Economics.

[30] **Lee, H.L. and Tang, C.S.** (1997). Modeling the costs and benefits of delayed product differentiation. Management Science, 43, (1), 40-53.

[31] **Lele, M. and Karmarkar, U.S.** (1983). Good product support is smart marketing. Harvard Business Review, 61, 124-132.

[32] **Muckstadt, J.A.** (1973). A model for a multi-item, multi-echelon multi-indenture inventory system. Management Science, 20, 472-481.

[33] **Mukhopadhyay, S.K. and Setoputro, R.** (2005). Optimal return policy and modular design for build-to-order products. Journal of Operations Management, 23, 496-506.

[34] **Murray, F. and Sako, M.** (1999). Modular strategies in cars and computers. Financial Times, London, UK, 6 December, 2.

[35] **Nahmias, S.** (1981). Managing repairable item inventory systems: A review, in: L.B. Scharz (ed.), Multilevel Production / Inventory Control Systems: Theory and Practice, North-Holland, Amsterdam.

[36] **Nevins, J.L. and Whitney, D.E.** (1989). Concurrent Design of Products & Processes: a Strategy for the Next Generation in Manufacturing.McGraw-Hill, New York, NY, U.S.A.

[37] **O'Reilly, G.P.** (1975). The modular design problem with production and inventory considerations. Unpublished doctoral dissertation, Columbia University, New York.

[38] **Padmanabhan, V. and Png, I.P.L.** (1995). Returns policies: make money by making good. Sloan Management Review, 37, (1), 65-72.

[39] **Padmanabhan, V. and Png, I.P.L.** (1997). Manufacturer's returns policies and retail competition. Marketing Science, 16, (1), 81-94.

[40] **Pahl, G. and Beitz, W.** (1984). Developing size ranges and modular products. In: Wallance, K. (Ed.), Engineering Design. The Design Council, London, UK,315-361.

[41] **Pahl, G. and Beitz, W.** (1988). Engineering Design. The Design Council, London, U.K.

[42] **Pasternack, B.A.** (1985). Optimal pricing and return policies for perishable commodities. Marketing Science, 4, (2), 166-176.

[43] **Perera, H.S.C., Nagarur, N., Tabucanon, M.T.** (1999). Component part standardization: A way to reduce the life-cycle cost of products. International Journal of Production Economics, 60-61&109-116.

[44] **Pine, B.J.** (1999). Mass customization: The new frontier in business competition. Boston: Harvard Business School Press.

[45] **Pinkerton, I.** (1997). Getting religions about returns. Dealerscope Consumer Electronics Marketplace, 39, (11), 19-20.

[46] **Prasad, S., Tata, J., Madan, M.** (2005). Build to order supply chain in developed and developing countries. Journal of Operations Management, 23, 551-568.

[47] **Prater, E., Biehl, M., Smith, M.A.** (2001). International supply chain agility: Tradeoffs between flexibility and uncertainty. International Journal of Operations & Production Management, 21, (5/6), 823-839.

[48] **Rogers, D.S and Tibben-Lemke, R.S.** (1999). Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reverse Logistics Executive Council Press, Pittsburgh, PA.

[49] **Ross, S.M.** (1970). Applied Probability Models with Optimization Applications, Holden-Day, San Francisco.

[50] **Rutenberg, D.P.** (1971). Design commonality to reduce multi-item inventory: Optimal depth of a product line. Operations Research, 19, 491-509.

[51] **Rutenberg, D.P. and Shaftel, T.L.** (1971). Product design: Subassemblies for multiple markets. Management Science, 18, 220-231.

[52] **Salvador, F., Forza, C., Rungtusanatham, M.** (2002, July-August). How to mass customize: Product architectures, sourcing configurations. Business Horizons, 45, (4), 61-69.

[53] **Salvador, F., Forza, C., Rungtusanatham, M.** (2002). Modularity, product variety, production volume, and component outsourcing: theorizing beyond generic prescriptions. Journal of Operations Management, 20, (5), 549-575.

[54] **Sellandurai, R.S.** (2004). Mass customization in operations management: oxymoron or reality? Omega (The International Journal of Management Science), 32, 295-300.

[55] **Sharma, A. and La Placa, P.** (2005). Marketing in the emerging era of build-to-order manufacturing. Industrial Marketing Management, Article in Press.

[56] **Simon, H.** (1962). The architecture of complexity. In: Proceedings of the American Philosophical Society, 106, 467-482. (repinted in idem, The Sciences of the Artificial, 2nd Edition. MIT Press, Cambridge, 1981).

[57] **Simon, H.** (1981). The architecture of complexity. In: Simon H, The Sciences of the Artificial. Cambridge, MA: MIT Press, 193-229.

[58] **Svensson, C. and Barfod, A.** (2002). Limits and opportunities in mass customization for "build to order" SMEs. Computers in Industry, 49, 77-89.

[59] **Tang, C.S., Rajaram, K., Ou, J., Alptekinoglou, A.** (2004). The benefits of advance booking discount programs: model and analysis. Management Science, 50, (4), 465-478.

[60] **Toffler, A.** (1970). Future Shock, Bantam, New York.

[61] **Trager, I.** (2000). Not so many happy returns. Interactive Week, 7, (11), 44-45.

[62] **Tsay, A. and Agrawal, N.** (2000). Channel dynamics under price and service competition. Manufacturing and Service Operations Management, 2, (4), 372-391.

[63] **Ulrich, K. and Tung, K.** (1991). Fundamentals of product modularity. In: Issues in Design/Manufacture Integration, 73-79. (A. Sharon Ed. ASME, New York, NY, U.S.A.)

[64] **Ulrich, K.** (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. Research Policy, 24, (3), 419-438.

[65] **Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D.** (1995). Product Design and Development. McGraw-Hill, New York, NY, U.S.A.

[66] **Van Hoek, R.I.** (2001). The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. Journal of Operation Management, 19, 161-184.

[67] **Vidal, C. and Goetschalckx, M.** (1997). Strategic production-distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models. European Journal of Operational Research, 98, 1-18.

[68] **Weng, Z.K. and Parlar, M.** (1999). Integrating early sales with production decisions: analysis and insights. IIE Transactionson Scheduling and Logistics, 31, (11), 1051-1060.

[69] **Weng Z.K. and Parlar, M.** (2005). Managing build-to-order short life-cycle products: benefits of pre-season price incentives with standardization. Journal of Operations Management, 23, 482-495.

[70] **Wood, S.L.** (2001). Remote purchase environments: the influence of return policy leniency on two-stage decision processes. Journal of Marketing Research, 38, (2), 157-169.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ