



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

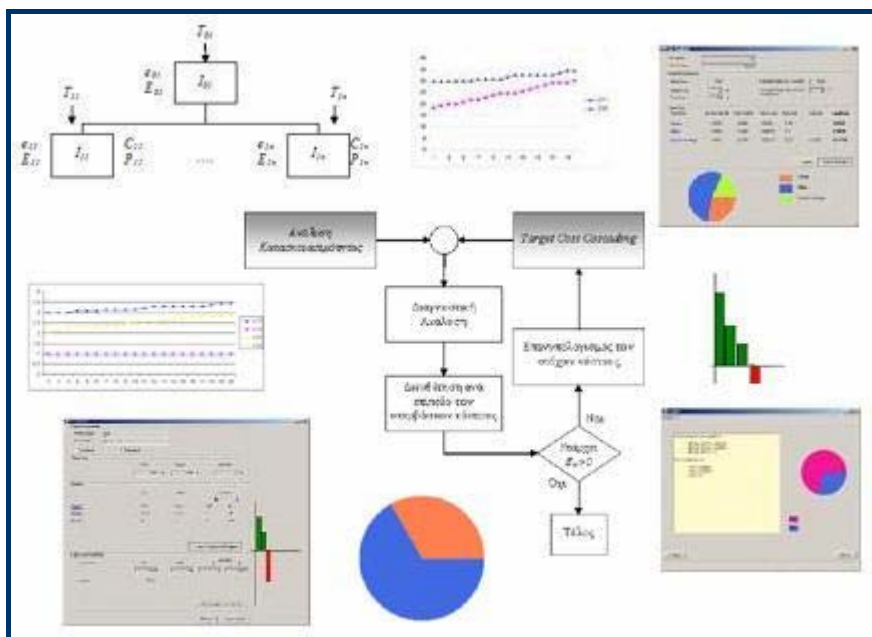
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Σύγκλιση του Κόστους Παραγωγής προς τους Στόχους της Αγοράς

κατά την Σχεδίαση Νέων Προϊόντων

Διπλωματική Εργασία



Ελένη Λημναίου

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Μίνης

Χίος, 2008

Στην οικογένεια μου

Ευχαριστίες

Πριν την παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτο από όλους θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου, στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ιωάννη Μίνη για την συνεργασία μας, την καθοδήγησή του και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Χωρίς την καθοδήγησή του αυτή η προσπάθεια δεν θα ήταν δυνατή.

Επιπλέον, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω το κ. Ταξιάρχη Κουρούνη για την πολύτιμη συνεργασία του και την ουσιαστική συμβολή του στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Οι ευχαριστίες μου εκφράζονται επίσης στα μέλη του εργαστηρίου Συστημάτων Σχεδιασμού, Παραγωγής & Λειτουργιών (*Design, Operation and Production Systems- DeOPSys*) για τη συμπαράσταση και την βοήθειά τους, καθώς και σε όσους με βοήθησαν, με υποστήριξαν και με ενεθάρρυναν σε κάθε φάση της πορείας μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στην οικογένειά μου που με υπομονή και κατανόηση πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση σε όλα τα χρόνια της πανεπιστημιακής μου φοίτησης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε νέα μέθοδος ανάλυσης του κόστους παραγωγής ως προς τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Η μέθοδος βασίζεται σε α) εκτιμήσεις του κόστους παραγωγής και β) δεδομένους στόχους κόστους. Οι μεν εκτιμήσεις του κόστους προέρχονται από την αξιολόγηση της κατασκευασιμότητας (*Manufacturability Analysis*) στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης νέου προϊόντος, ενώ οι επιμέρους στόχοι του κόστους προέρχονται από το στάδιο της κατανομής του συνολικού στόχου του κόστους του προϊόντος στα επιμέρους συναρμολογήματα της μεθόδου (*Target Cost Cascading*). Η προτεινόμενη μέθοδος αποτελεί τμήμα ενός γενικότερου πλαισίου, το οποίο εξετάζει μεθόδους εκτίμησης τόσο του κόστους παραγωγής όσο και των στόχων που τίθενται από την αγορά στα πρώτα στάδια της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξής του (Κουρούνης, 2003).

Κύριος σκοπός της μεθόδου της παρούσας εργασίας είναι η διευθέτηση των στόχων κόστους που προέρχονται από την αγορά, με σκοπό την μείωση της διαφοράς τους από τις εκτιμήσεις του κόστους παραγωγής. Στο αρχικό στάδιο της προτεινόμενης μεθόδου, για κάθε συναρμολόγημα ή είδος της δομής του προϊόντος, προσδιορίζονται οι αποκλίσεις ανάμεσα στους στόχους και τις εκτιμήσεις κόστους παραγωγής. Στο ακόλουθο στάδιο της διευθέτησης των στόχων κόστους, κατανέμεται το πλεονάζον κόστος (θετική απόκλιση) στα συναρμολογήματα ή είδη τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερο κόστος παραγωγής από τους στόχους κόστους (αρνητική απόκλιση), με βασικό κριτήριο να μην επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό, η σχετική απόδοση των συναρμολογημάτων αυτών. Αποτέλεσμα της μεθόδου είναι η βελτίωση του υπό σχεδίαση προϊόντος μέσω προσδιορισμού της βέλτιστης ισορροπίας κόστους των

διαφόρων συναρμολογημάτων του και των πλέον κατάλληλων τιμών των σχεδιαστικών μεταβλητών των συναρμολογημάτων αυτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	3
2.1 Πλαίσιο Έρευνας	3
2.2 Ερευνητικό Υπόβαθρο: Διαμόρφωση των Στόχων Κόστους	5
2.3 Ερευνητικό Υπόβαθρο: Εκτίμηση Κόστους Παραγωγής	10
2.4 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας	15
3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	16
3.1 Εισαγωγή	16
3.2 Το Πρόβλημα Προσδιορισμού του Στόχου Κόστους	17
3.3 Σύγκριση Εκτιμήσεων και Στόχων Κόστους	20
3.4 Το Πρόβλημα Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής	24
3.5 Περίληψη	27
4. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	29
4.1 Εισαγωγή	29
4.2 Μέθοδος Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους	30
4.3 Αλγόριθμοι Κατανομής της Εξοικονόμησης Κόστους	33
4.3.1 Εισαγωγή	33
4.3.2 Αλγόριθμος Επίλυσης 1	34
4.3.3 Αλγόριθμος Επίλυσης 2	42
4.3.4 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων	49

5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	50
5.1 Εισαγωγή	50
5.2 Περιγραφή Λειτουργίας του Module Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής	54
5.2.1 Θεωρητικό παράδειγμα Προϊόντος υπό Σχεδίαση.....	54
5.2.2 Ανάλυση Κόστους Παραγωγής	57
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Πληροφοριακό Μοντέλο – Θεωρητικό Υπόβαθρο	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - Αναφορά Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Παραγωγής	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	80
Γ1. Βασικές Έννοιες και Ορισμοί.....	80
Γ.2 Μέθοδος Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους (Kourounis 2007)	83

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Το γενικότερο πλαίσιο της παρούσας έρευνας (Κουρούνης, 2003).....	4
Σχήμα 2.2 Εκτίμηση επιτρεπόμενου στόχου κόστους (Cooper and Slagmulder 1997) 6	6
Σχήμα 2.3 Χαρακτηριστική δομή του προϊόντος	8
Σχήμα 2.4 Αξιολόγηση εφικτότητας.....	12
Σχήμα 3.1 Συναρμολόγημα δύο Επιπέδων	18
Σχήμα 3.2 Κόστος C ως συνάρτηση της μεταβλητής σχεδιασμού x.....	22
Σχήμα 3.3 Πλαστικό κάλυμμα καρέκλας	23
Σχήμα 3.4 Παράδειγμα κατασκευαστικής δομής προϊόντος	25
Σχήμα 4.1 Προσέγγιση Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Παραγωγής στα πλαίσια της μεθόδου Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους (Kourounis 2007) (Σκιασμένες περιοχές δεν εμπίπτουν στην παρούσα εργασία).....	31
Σχήμα 4.2 Κατασκευαστική δομή συναρμολογήματος $I_{i-1,k}$	33
Σχήμα 4.3 Καμπύλη Προστίμου - Κόστους.....	34
Σχήμα 4.4 Αλγόριθμος επίλυσης 1	35
Σχήμα 4.5 Κατασκευαστική Δομή προϊόντος I_{01}	36
Σχήμα 4.6 Κατασκευαστική δομή προϊόντος I_{01} παραδείγματος.....	39
Σχήμα 4.7 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου επίλυσης 2	44
Σχήμα 5.1 Το συνολικό σύστημα	51
Σχήμα 5.2 Αρχιτεκτονική module Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής.....	53
Σχήμα 5.3 Πίνακας Υλικών προϊόντος I_{01}	54
Σχήμα 5.5 Διερεύνηση Κόστους για το είδος I_{21}	59
Σχήμα 5.6 Παρουσίαση υπερβάσεων και εξοικονομήσεων κόστους	60
Σχήμα 5.7 Κάλυψη υπέρβασης κόστους του προϊόντος I_{01}	62

Σχήμα 5.8 Υλοποίηση Αλγορίθμου επίλυσης 1.....	63
Σχήμα 5.9 Υλοποίηση Αλγορίθμου Επίλυσης 2.....	65
Σχήμα 5.10 Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του κόστους C_{11} και C_{12}	67
Σχήμα 5.11 Γραφική απεικόνιση της μεταβολής των σχεδιαστικών μεταβλητών των συναρμολογημάτων I_{11} και I_{12}	68
Σχήμα Α.1 Σχέση μεταξύ πινάκων πληροφοριακού μοντέλου.....	76
Σχήμα Γ.1 Κατασκευαστική δομή του προϊόντος I_{01}	82

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα μερικών παραγώγων κόστους και προστίμου	41
Πίνακας 4.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο αλγορίθμων.....	49
Πίνακας 5.1 Εκτιμήσεις κόστους και στόχων κόστους	55
Πίνακας 5.2 Συναρτήσεις κόστους και προστίμου	56
Πίνακας 5.3 Σχεδιαστικές μεταβλητές.....	56
Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα εγγενών αποκλίσεων	61
Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα αλγορίθμου επίλυσης 2.....	66

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται ένα σημαντικό πρόβλημα που αποτελεί μέρος των αρχικών σταδίων σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος: Η σύγκλιση των στόχων κόστους που επιβάλλονται από την αγορά με τις εκτιμήσεις του κόστους που προέρχονται από την ανάλυση κατασκευασιμότητας. Οι εισροές του προβλήματος προέρχονται από δύο παράλληλες διαδικασίες (βλ. Κουρούνης 2003). Στην πρώτη γίνεται εκτίμηση του κόστους κατασκευής κάθε σημαντικού συστατικού μέρους (υποσυναρμολογήματος ή είδους) του υπό σχεδίαση προϊόντος με βάση την ανάλυση κατασκευασιμότητας. Η δεύτερη διαδικασία αποσυνθέτει το συνολικό στόχο του κόστους του προϊόντος, ο οποίος προέρχεται από κατάλληλη έρευνα της αγοράς, σε στόχους - κόστους καθενός από τα παραπάνω συστατικά μέρη.

Το προς διερεύνηση πρόβλημα χρησιμοποιεί τα παραπάνω στοιχεία ως εισροές και επικεντρώνεται στην κατάλληλη διευθέτηση τυχόν διαφορών μεταξύ των παραπάνω εκτιμήσεων κόστους. Συγκεκριμένα η προτεινόμενη μεθοδολογία α) Συγκρίνει τα κόστη από τις εισροές των δύο παραπάνω διαδικασιών. β) Ανακατανέμει τυχόν εξοικονομήσεις κόστους ορισμένων συστατικών μερών του προϊόντος στα συστατικά εκείνα το κόστος των οποίων υπερβαίνει τους τεθέντες στόχους. Η ανακατανομή αυτή γίνεται με στόχο την βέλτιστη απόδοση του προϊόντος. Η δεύτερη διαδικασία επαναπροσδιορίζει τους στόχους εκείνους, οι οποίοι δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν. Τα αποτελέσματά της αποτελούν νέες εισροές στην μέθοδό μας.

Η συμβολή της παρούσας διπλωματικής είναι σημαντική εφόσον η σύγκλιση του κόστους παραγωγής με τον στόχο κόστους πραγματοποιείται κατά την σχεδίαση του

προϊόντος. Από την έγκαιρη αυτή αντιμετώπιση, προκύπτει η βέλτιστη ισορροπία κόστους μεταξύ των συστατικών μερών του προϊόντος, και προσδιορίζονται οι τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων που αντιστοιχούν σε αυτή την ισορροπία.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής: Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται το γενικότερο πλαίσιο της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης νέων προϊόντων καθώς και τα βασικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται από την προτεινόμενη προσέγγιση. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η σύγκριση των εκτιμήσεων κόστους και των στόχων κόστους, και παρουσιάζεται το ερευνητικό πρόβλημα Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής. Στο Κεφάλαιο 4 αναλύονται τα στάδια και οι αλγόριθμοι της προτεινόμενης μεθοδολογίας σύγκλισης του κόστους παραγωγής προς τους στόχους κόστους. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται σχετική μελέτη περίπτωσης. Στο Κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα - αποτελέσματα καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

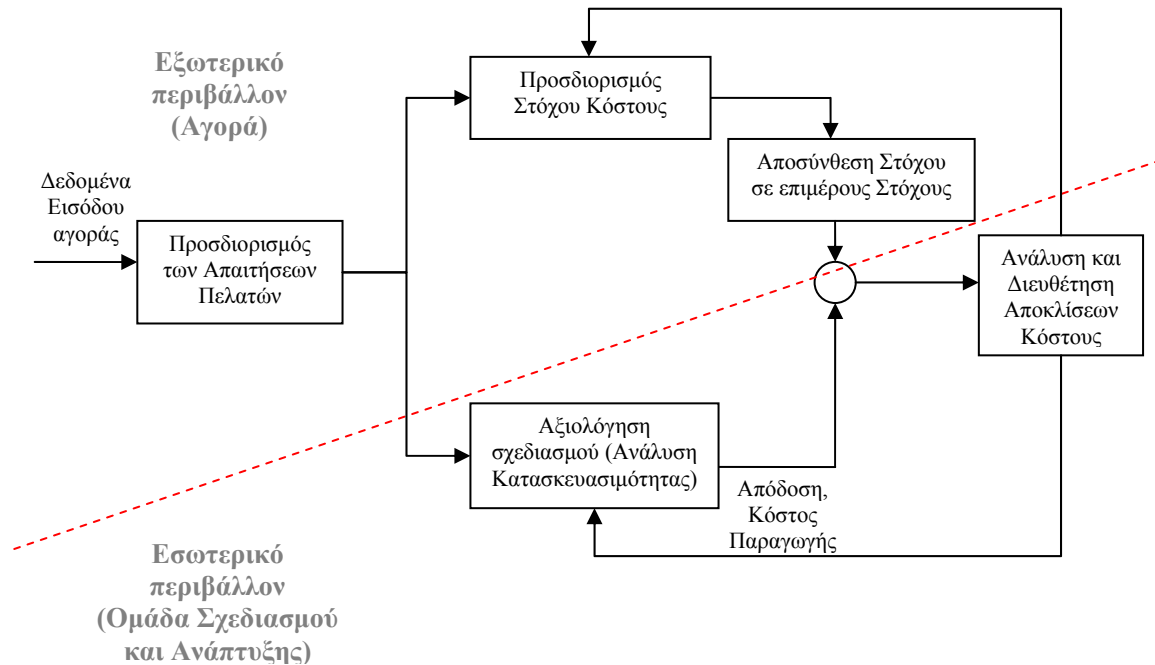
Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται το πλαίσιο και το θεωρητικό υπόβαθρο της έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αναλύεται η διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξης ενός νέου προϊόντος, οι κύριες μέθοδοι προσδιορισμού των στόχων κόστους παραγωγής που αναφέρονται στην σύγχρονη σχετική βιβλιογραφία, οι υφιστάμενες μέθοδοι εκτίμησης του κόστους παραγωγής και, τέλος, οι παράμετροι που θα αποτελέσουν τη βάση της προτεινόμενης μεθόδου.

2.1 Πλαίσιο Έρευνας

Σύμφωνα με τους Asiedu και Gu (1998) στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος, το τελικό κόστος του παγιώνεται κατά το 70-80%. Είναι προφανές ότι σε αυτά τα στάδια του σχεδιασμού, απαιτείται η υποστήριξη των αποφάσεων της ομάδας σχεδιασμού σχετικά με τις επιπτώσεις των αποφάσεων αυτών στο κόστος του προϊόντος. Επίσης, στην φάση αυτή κρίσιμο παράγοντα αποτελούν οι απαιτήσεις του καταναλωτή (Griffin and Hauser,1993). Οι δύο οπτικές, η οπτική της ομάδας σχεδιασμού και η οπτική της αγοράς, ενσωματώνονται σε γενικότερο πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η παρούσα εργασία (Σχήμα 2.1).

Το παραπάνω πλαίσιο έρευνας χωρίζεται σε δύο πεδία. Το πρώτο αφορά το εξωτερικό περιβάλλον της επιχείρησης, τις απαιτήσεις των καταναλωτών και τον τρόπο με τον οποίο εξάγεται ο συνολικός στόχος κόστους για αυτό. Στη συνέχεια, γίνεται κατανομή του αρχικού στόχου κόστους σε επιμέρους στόχους για κάθε βασικό συναρμολόγημα ή είδος του προϊόντος (βλ. Ενότητα 2.2). Ακολουθείται

δηλαδή μια μέθοδος κατανομής του συνολικού στόχου κόστους στα συναρμολογήματα και είδη του προϊόντος «από πάνω προς τα κάτω» (top down).



Σχήμα 2.1 Το γενικότερο πλαίσιο της παρούσας έρευνας (Κουρούνης, 2003)

Στο δεύτερο πεδίο του πλαισίου (εσωτερικό περιβάλλον), πραγματοποιείται ανάλυση εφικτότητας και κατασκευασιμότητας χρησιμοποιώντας ένα αρχικό σκαρίφημα του προϊόντος, καθώς και την κατασκευαστική δομή αυτού. Η ανάλυση επικεντρώνεται αρχικά στα τυποποιημένα είδη που βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο της κατασκευαστικής δομής και συνεχίζει με τα συναρμολογήματα που βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα έως το τελικό προϊόν. Ακολουθείται δηλαδή μια πορεία «από κάτω προς τα πάνω». Αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου είναι η εξαγωγή του συνολικού κόστους παραγωγής του προϊόντος, καθώς και του κόστους των σημαντικών συναρμολογημάτων ή ειδών του.

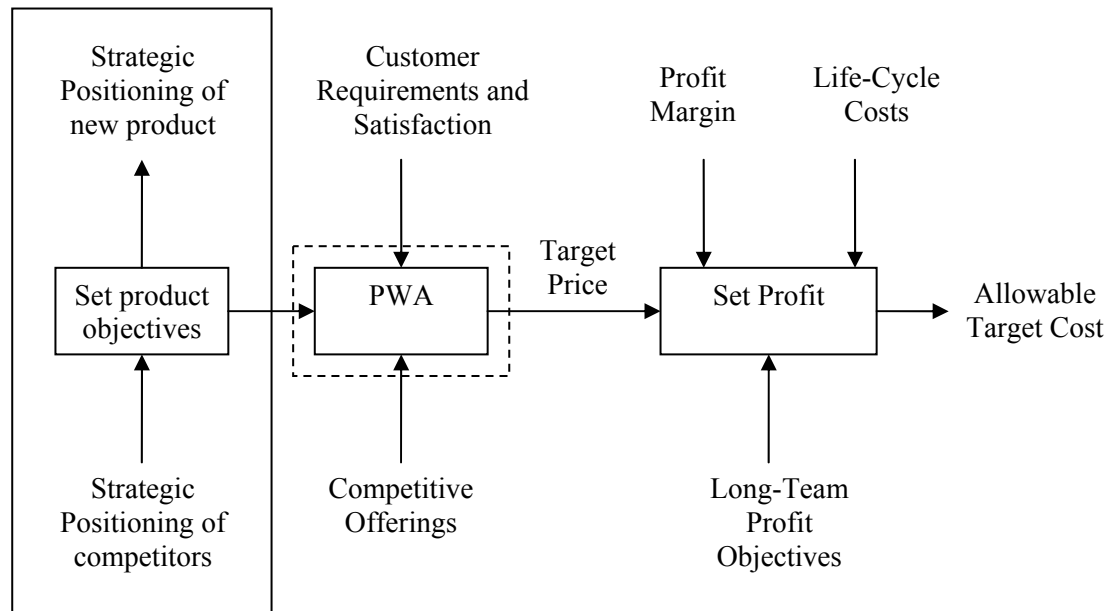
Όπως αναφέρθηκε ήδη στο Κεφάλαιο 1, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο αυτών μεθόδων και διερευνά τρόπους βελτίωσης του προσδιορισμού των στόχων κόστους με βάση τη διευθέτηση του συνόλου των σημαντικών αποκλίσεων που παρατηρούνται σε υποσυναρμολογήματα ή είδη του προϊόντος.

2.2 Ερευνητικό Υπόβαθρο: Διαμόρφωση των Στόχων Κόστους

Ο προσδιορισμός του στόχου της τιμής πώλησης ενός προϊόντος αποτελεί την βάση της εκτίμησης του στόχου κόστους. Είναι φανερό ότι η μη ρεαλιστική τιμή πώλησης μπορεί να επιφέρει οικονομική αποτυχία στην αγορά (Sakurai 1989, Kaplan and Cooper 1998, Cooper and Slagmulder 1997). Σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση του στόχου της τιμής πώλησης και, συνεπώς, του κόστους ενός νέου προϊόντος, αποτελούν δεδομένα από την αγορά που αφορούν τις απαιτήσεις του πελάτη για το προϊόν (Ulrich και Anthony, 2003). Οι απαιτήσεις του πελάτη μεταφράζονται σε σχεδιαστικά χαρακτηριστικά λαμβάνοντας υπόψη την αντίστοιχη βαρύτητα των χαρακτηριστικών αυτών σε σχέση με την ικανοποίηση των πελατών (Akao, 1997).

Μια πρόσφατη μέθοδος για την εκτίμηση του στόχου κόστους με βάση τις απαιτήσεις των πελατών περιγράφεται από τον Κουρούνη (2006). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις απαιτήσεις των πελατών και εξάγει τον στόχο κόστους για τον προϊόν με βάση τις απαιτήσεις των πελατών και τα ανταγωνιστικά προϊόντα. Το γενικό πλαίσιο της μεθόδου περιλαμβάνει τρία στάδια (Σχήμα 2.2). Στο πρώτο στάδιο ορίζεται η στρατηγική του προϊόντος λαμβάνοντας υπόψη τα στοχευόμενα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. Αυτό είναι το σημείο στο οποίο αναπτύσσεται η αρχική ιδέα (product

concept) και επιλέγεται η θέση του προϊόντος στο κατάλληλο τμήμα της αγοράς (market segment).



Σχήμα 2.2 Εκτίμηση επιτρεπόμενου στόχου κόστους (Cooper and Slagmulder 1997)

Στο δεύτερο στάδιο, λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες όπως η στρατηγική του προϊόντος (Στάδιο I), οι απαιτήσεις των πελατών και τα χαρακτηριστικά των ανταγωνιστικών προϊόντων, προσδιορίζεται ο στόχος της τιμής πώλησης μέσω της μεθόδου Ανάλυσης της Αξίας του Προϊόντος (Product Worth Analysis – PWA).

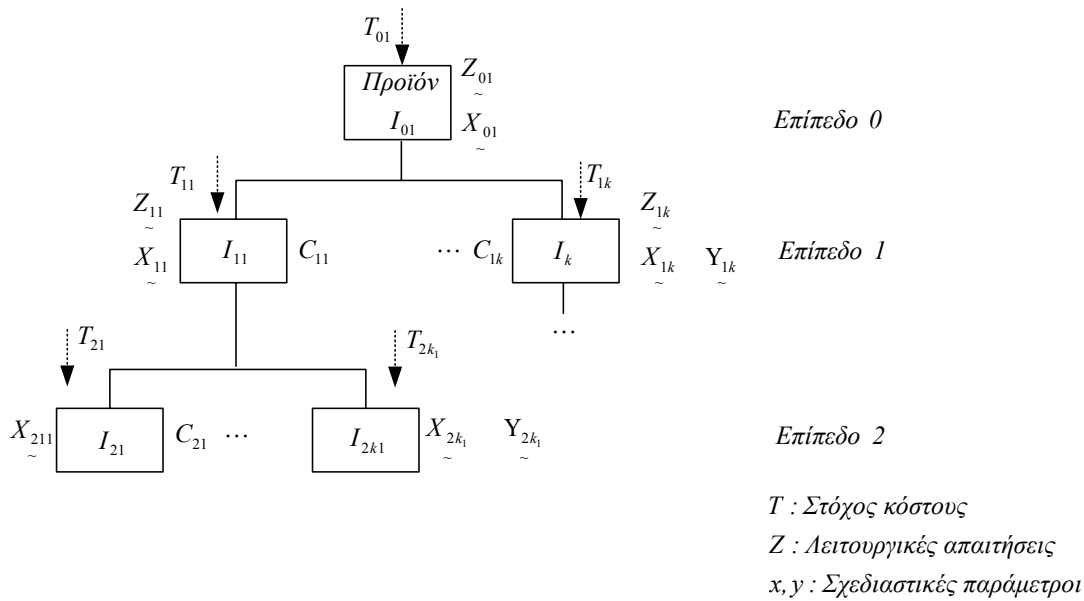
Για την εκτίμηση του επιτρεπτού κόστους (στόχου κόστους) με βάση το στόχο της τιμής πώλησης, απαιτείται ο καθορισμός του περιθωρίου κέρδους. Αυτό επιτυγχάνεται στο τρίτο στάδιο της μεθόδου. Η διαδικασία συνδυάζει τους μακροχρόνιους στόχους της εταιρείας και τις προσδοκίες σχετικά με την εξέλιξη και

τις γενικές συνθήκες της αγοράς. Σύμφωνα με τους Cooper και Slagmulder (1997), το περιθώριο κέρδους βασίζεται σε ιστορικά επίπεδα κέρδους.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ο τελικός στόχος του επιτρεπτού κόστους. Με σκοπό να επιτύχει η ομάδα σχεδιασμού το κόστος αυτό, η παραπάνω τιμή του στόχου πρέπει να αποσυντεθεί σε υπο-στόχους κόστους για κάθε συστατικό μέρος της κατασκευαστικής δομής του προϊόντος. Τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην αποσύνθεση του κόστους είναι οι λειτουργικές απαιτήσεις Z_{ij} κάθε συστατικού μέρους I_{ij} , οι σχέσεις τους με τις σχεδιαστικές παραμέτρους x_{ij} , καθώς και οι σχέσεις των τελευταίων με το κόστος C_{ij} του αντίστοιχου συστατικού μέρους.

Για παράδειγμα, θεωρήστε τον πίνακα υλικών του Σχήματος 2.3 που αποτελείται από τρία επίπεδα. Το επίπεδο 0 είναι το τελικό προϊόν (I_{01}), το επίπεδο 1 περιλαμβάνει τα βασικά συναρμολογήματα του προϊόντος και τέλος το επίπεδο 2 περιλαμβάνει τα σημαντικά είδη των υποσυναρμολογημάτων αυτών.

Για κάθε συστατικό μέρος I_{ij} του προϊόντος αναπτύσσεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ως προς τις αντίστοιχες σχεδιαστικές παραμέτρους (x_{ij}). Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος αυτού βελτιστοποιεί την απόδοση Z_{ij} του αντίστοιχου συστατικού μέρους, ενώ χρησιμοποιούνται κατάλληλοι περιορισμοί ώστε α) το κόστος C_{ij} να μην την ξεπεράσει καθορισμένη τιμή – στόχο και β) οι αντίστοιχες σχεδιαστικές παράμετροι να ικανοποιούν τεχνικές απαιτήσεις.



Σχήμα 2.3 Χαρακτηριστική δομή του προϊόντος

Για παράδειγμα, θεωρήστε το πρόβλημα βελτιστοποίησης που αφορά το τελικό είδος I_{01} . Οι λειτουργικές απαιτήσεις $Z_{01} = [Z_{011}, \dots, Z_{01k_{01}}]$, αντιστοιχούν στις βασικές λειτουργίες του προϊόντος. Για την αξιολόγηση της απόδοσης του προϊόντος I_{01} σε σχέση με κάθε λειτουργική απαίτηση Z_{01k} ορίζεται η συνάρτηση προστίμου \hat{P}_{01k} που ποσοτικοποιεί το πρόστιμο σε σχέση με την απόκλιση της Z_{01k} από την τιμή-στόχο. Για την συνολική αξιολόγηση του προϊόντος ορίζεται η συνολική συνάρτηση προστίμου \hat{P}_{01} ως το σταθμισμένο άθροισμα των επιμέρους συναρτήσεων προστίμου \hat{P}_{01k} , δηλαδή

$$P_{01} = \sum_{r=1}^{r_{01}} w_{01r} P_{01r} \quad (2.1)$$

Τόσο οι λειτουργικές απαιτήσεις Z_{01} όσο και το κόστος C_{01} εξαρτώνται από τις τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων $x_{01} = (x_{011}, \dots, x_{01n_{01}})$. Επομένως η συνάρτηση $\hat{P}_{01}(z_{01})$ μπορεί να γραφτεί ως $P_{01}(x_{01})$.

Το συνολικό κόστος του προϊόντος C_{01} είναι ίσο με το άθροισμα του κόστους όλων των συναρμολογημάτων $\sum_{j=1}^{k_{01}} C_{1j}(x_{01})$ του και του κόστους συναρμολόγησης $C_{01}^0(x_{01})$:

$$C_{01} = C_{01}^0(x_{01}) + \sum_{j=1}^{k_{01}} C_{1j}(x_{01}) \quad (2.2)$$

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που επιλύεται επιζητεί τις τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων x_{01} ώστε

$$\min_{x_{01}} P_{01}(x_{01}) \quad (2.3)$$

s.t.

$$\begin{aligned} C_{01}(x_{01}) &\leq T \\ g(x_{01}) &\leq 0 \\ h(x_{01}) &= 0 \\ x_{01}^{\min} &\leq x_{01} \leq x_{01}^{\max} \end{aligned}$$

όπου T ο στόχος κόστους, g και h είναι τεχνικοί περιορισμοί.

Με βάση την λύση x_{01}^* του παραπάνω προβλήματος υπολογίζονται οι στόχοι κόστους $C_{1k}(x_{01}^*)$ για κάθε συστατικό μέρος I_{1k} του I_{01} ($k = 1, 2, \dots, k_{01}$). Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται έως ότου τελειώσει η ιεραρχία της κατασκευαστικής δομής και να υπολογιστούν οι στόχοι για κάθε είδος. Δηλαδή για κάθε είδος αναπτύσσεται αντίστοιχο πρόβλημα βελτιστοποίησης, η λύση του οποίου προσδιορίζει και τους στόχους κόστους των συστατικών μερών αυτού.

Για άλλες μεθόδους προσδιορισμού επιμέρους στόχων σχεδιασμού κατά μήκος μιας ιεραρχίας με βάση ένα συνολικό στόχο βλ. Papalambros et al. (1999), Kim et al. (2002), Adam et al. (2003) και Jeremy et al. (2004).

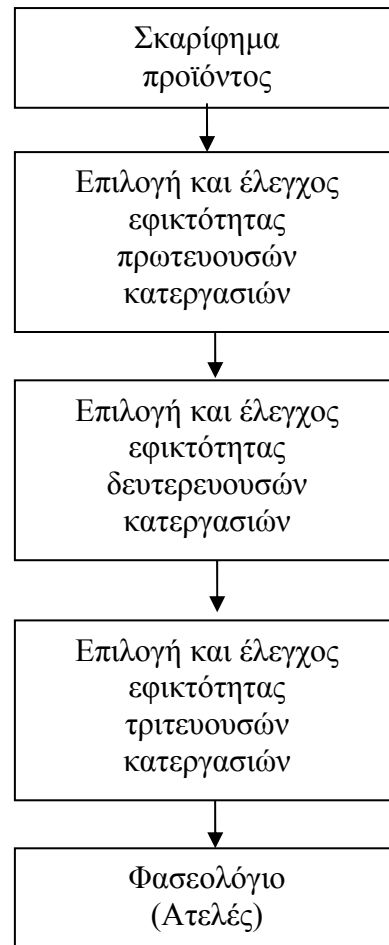
2.3 Ερευνητικό Υπόβαθρο: Εκτίμηση Κόστους Παραγωγής

Το συγκεκριμένο τμήμα του μεθοδολογικού πλαισίου αφορά την εκτίμηση του κόστους παραγωγής του προϊόντος, δηλαδή την οπτική της ομάδας σχεδιασμού και ανάπτυξης. Η εκτίμηση κόστους βασίζεται στο αρχικό σκαρίφημα και την κατασκευαστική δομή του προϊόντος και αρχίζει από τα συναρμολογήματα που βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο της δομής αυτής συνεχίζοντας με τα συναρμολογήματα που βρίσκονται στα υψηλότερα επίπεδα ακολουθώντας αλληλουχία «από κάτω προς τα πάνω». Η εκτίμηση του κόστους για κάθε είδος I_{ij} της κατασκευαστικής δομής περιλαμβάνει δύο στάδια: Την αξιολόγηση εφικτότητας και την ανάλυση κατασκευασσιμότητας.

Αξιολόγηση Εφικτότητας

Στο στάδιο αξιολόγησης εφικτότητας ελέγχεται η εφικτότητα κατασκευής κάθε παραγόμενου είδους της κατασκευαστικής δομής. Για κάθε είδος πραγματοποιείται η επιλογή των κατάλληλων κατεργασιών παραγωγής και ο έλεγχος αν οι κατεργασίες αυτές είναι εφικτές σε σχέση με τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά του υπό σχεδίαση είδους. Η ανάλυση εφικτότητας περιλαμβάνει και τον προσδιορισμό της αλληλουχίας των εφικτών κατεργασιών και, συνεπώς, την σύνθεση του φασεολογίου του είδους.

Συγκεκριμένα, κατά τον έλεγχο εφικτότητας εξετάζονται πρωτεύουσες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες κατεργασίες παραγωγής (βλ. Σχήμα 2.4). Οι πρωτεύουσες κατεργασίες διαμορφώνουν τα κύρια χαρακτηριστικά του είδους και επιλέγονται με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε αυτό το στάδιο αφορούν το υλικό, τις διαστάσεις, την πολυπλοκότητα, το ρυθμό παραγωγής κλπ. (Gupta *et al.* 1994, Magrab *et al.* 1997, Minis *et al.* 2000, Oberg *et al.* 2000, Bralla J. 1998). Αν για την κατασκευή του είδους απαιτείται περαιτέρω μορφοποίηση (ιδιαίτερα όσον αφορά χαρακτηριστικά μορφής), επιλέγονται κατάλληλες δευτερεύουσες κατεργασίες παραγωγής. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται στο στάδιο αυτό αφορούν τις διαστάσεις, τις ανοχές και την πολυπλοκότητα του είδους. Οι τριτεύουσες κατεργασίες αφορούν ειδικές εργασίες που οδηγούν στην ολοκλήρωση της κατασκευής των χαρακτηριστικών μορφής του είδους. Οι έλεγχοι στο στάδιο αυτό αφορούν το φινίρισμα, την τραχύτητα της επιφάνειας και την επίτευξη διαστατικών και γεωμετρικών ανοχών.



Σχήμα 2.4 Αξιολόγηση εφικτότητας

Από την ολοκλήρωση των παραπάνω σταδίων (βλ. Σχήμα 2.4) προκύπτει το ατελές φασεολόγιο του είδους. Το φασεολόγιο αυτό προδιαγράφει την αλληλουχία των κατεργασιών που απαιτούνται για την κατασκευή του προϊόντος αλλά δεν περιλαμβάνει τους αντίστοιχους χρόνους προετοιμασίας (set up) και κύριας λειτουργίας (run) ανά κατεργασία οι οποίοι είναι καθοριστικής σημασίας για την εκτίμηση του κατασκευαστικού κόστους.

Για χαρακτηριστικές μεθόδους ανάλυσης εφικτότητας βλ. Κύρου (2007).

Ανάλυση Κατασκευασιμότητας

Η ανάλυση κατασκευασιμότητας εξετάζει τον βαθμό δυσκολίας κατασκευής ενός είδους. Οι μέθοδοι της αξιολόγησης κατασκευασιμότητας εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες (Minis *et al.* 1999):

- *Άμεσες μέθοδοι ή μέθοδοι βασισμένες σε κανόνες:* Για απλούστερα προϊόντα, η αξιολόγηση κατασκευασιμότητας γίνεται με άμεση επεξεργασία της περιγραφής της σχεδιαστικής λύσης. Τα χαρακτηριστικά της σχεδιαστικής λύσης χρησιμοποιούνται σε κανόνες που αξιολογούν την κατασκευασιμότητα. (Ishii 1993, Jakiela και Papalambros 1989, Rosen *et al.* 1992).
- *Έμμεσες ή βασισμένες σε κατεργασίες:* Για πολύπλοκα μηχανολογικά ή ηλεκτρομηχανολογικά προϊόντα, η ανάλυση είναι λεπτομερής και εφαρμόζεται μέσω της σύνθεσης των φασεολογιών κάθε συστατικού μέρους και την εκτίμηση του κόστους και του χρόνου κατασκευής. (Hayes *et al.* 1989, Hayes και Sun 1994, Hsu *et al.* 1993, Gupta *et al.* 1994).

Στις έμμεσες μεθόδους συνθέτονται τα φασεολόγια κάθε είδους. Τα στοιχεία που συμπληρώνονται στο ατελές φασεολόγιο του Σχήματος 2.4, είναι ο χρόνος προετοιμασίας της φάσης (κατεργασίας), ο χρόνος κύριας λειτουργίας της φάσης, καθώς και άλλοι χρόνοι και βασικές παρατηρήσεις που αφορούν το σύστημα παραγωγής (Vollmann *et al.* 1977).

Στο παρόν ερευνητικό πλαίσιο, κατά την αξιολόγηση κατασκευασιμότητας εκτιμώνται ο χρόνος προετοιμασίας και λειτουργίας των πρωτεύουσών, δευτερεύουσων και τριτεύουσων κατεργασιών που έχουν επιλεγθεί από το στάδιο της ανάλυσης κατασκευασιμότητας, καθώς και το κόστος των εργαλείων. Το συνολικό κόστος κατασκευής του είδους υπολογίζεται από τον συνολικό χρόνο (κόστος εργασίας), την ποσότητα που θα παραχθεί και το κόστος των υλικών.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης κατασκευασιμότητας περιλαμβάνουν την τελική μορφή του φασεολογίου κάθε είδους, με συμπληρωμένους τους χρόνους των κατεργασιών (Παππά, 2006, Νεαμονίτου, 2006). Έχοντας εκτιμήσει τους χρόνους αυτούς, το κόστος κατασκευής κάθε είδους προσδιορίζεται από την ακόλουθη απλή εξίσωση (Magrab, 1997):

$$C = [(T_{set-up} / Q_B) C_L] + [(T_{tool} / Q_T) C_{tool}] + [T_{run} C_L] \text{ (€)} \quad (2.4)$$

όπου

T_{set-up} = χρόνος προετοιμασίας της κατεργασίας

Q_B = μέγεθος παρτίδας

C_L = κόστος εργασίας ανά μονάδα χρόνου

T_{tool} = χρόνος κατασκευής εργαλείων

Q_T = αριθμός τεμαχίων που θα κατεργαστούν από το εργαλείο

C_{tool} = εργατικό κόστος για κατασκευή μήτρων ανά μονάδα χρόνου

T_{run} = χρόνος κύριας λειτουργίας της κατεργασίας

Για περαιτέρω πληροφορίες όσον αφορά την εκτίμηση κόστους παραγωγής βλ. Παππά (2006) και Νεαμονίτου (2006).

2.4 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Συμπερασματικά, από το πλαίσιο έρευνας που περιγράψαμε ανωτέρω, εξάγεται ο στόχος κόστους από την πλευρά της αγοράς και η εκτίμηση κόστους από την ομάδα σχεδιασμού για κάθε είδος της κατασκευαστικής δομής του υπό σχεδίαση προϊόντος. Στόχος της εργασίας είναι η κατάλληλη διευθέτηση τυχόν διαφορών των δύο εκτιμήσεων και ο προσδιορισμός νέων στόχων κόστους, στις περιπτώσεις εκείνες που περαιτέρω διευθέτηση δεν είναι εφικτή. Συνεπώς, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη δραστηριότητα που αντιστοιχεί στο βήμα που απεικονίζεται από το άκρο δεξιά του Σχήματος 2.1.

Η προτεινόμενη μέθοδος αποτελείται από τρία στάδια τα οποία αναλύονται στο Κεφάλαιο 4 και παρουσιάζονται αλγόριθμοι επίλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος:

1. Διαγνωστική ανάλυση, στην οποία συγκρίνονται οι στόχοι και οι εκτιμήσεις κόστους όλων των συναρμολογημάτων και ειδών ανά επίπεδο και προσδιορίζονται οι διαφορές τους.
2. Ανακατανομή των σημαντικών αποκλίσεων με ανάθεση πλεονάζοντος κόστους (στόχος > εκτίμησης) σε είδη στα οποία η εκτίμηση υπολείπεται των στόχων.
3. Επαναπροσδιορισμός των στόχων κόστους στα είδη στα οποία μετά την ανακατανομή η εκτίμηση υπολείπεται των στόχων.

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε το πλαίσιο έρευνας στο οποίο βασίζεται η παρούσα εργασία και οι μέθοδοι προσδιορισμού των στόχων και της εκτίμησης του κόστους παραγωγής. Ανακεφαλαιώνοντας, για κάθε υπό-συναρμολόγημα και είδος ενός προϊόντος, αντιστοιχούν τα εξής:

α) Η τιμή του στόχου κόστους (βλ. Ενότητα 2.2) και

β) Η τιμή του εκτιμώμενου κόστους παραγωγής (βλ. Ενότητα 2.3).

Η πρώτη προσδιορίζεται με βάση τα "θέλω" του πελάτη και τη δεύτερη με βάση τα "μπορώ" του μηχανικού.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες της μεθόδου διευθέτησης διαφορών μεταξύ των δύο παραπάνω τιμών ώστε να οριοθετηθεί ένα προϊόν με ικανοποιητική απόδοση στο οποίο να ικανοποιούνται κατά το δυνατόν οι στόχοι-κόστους για κάθε συναρμολόγημα ή είδος της κατασκευαστικής δομής.

Στο σημείο αυτό επισημαίνονται τα εξής:

- Ως οριοθέτηση του προϊόντος νοείται ο προσδιορισμός των σχεδιαστικών μεταβλητών x_{ij} κάθε βασικού είδους (ή υποσυναρμολογήματος) I_{ij} του προϊόντος

- Ως ικανοποιητική απόδοση ορίζεται η «καλύτερη δυνατή» απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί μέσω του πλέον ενδεδειγμένου συνδυασμού των μεταβλητών x_{ij} χωρίς να παραβιάζεται ο στόχος κόστους (βλέπε Σχήμα 2.1).

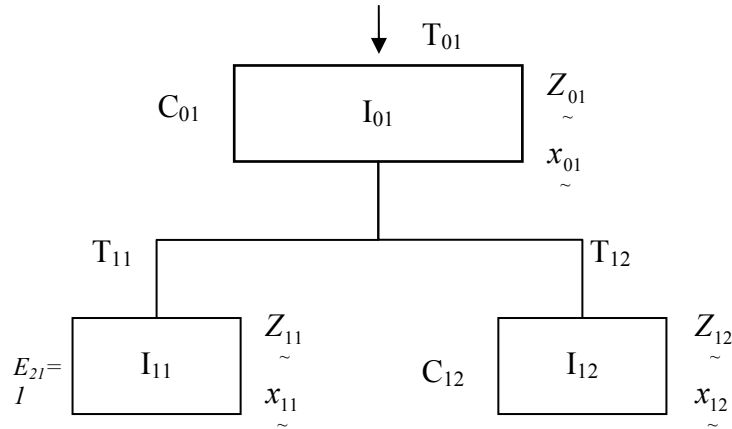
Στις επόμενες Ενότητες του παρόντος κεφαλαίου αρχικά παρουσιάζεται το θεμελιώδες πρόβλημα προσδιορισμού των στόχων κόστους. Στη συνέχεια με βάση το παραπάνω πρόβλημα, συζητούνται βασικά θέματα της σύγκρισης της εκτίμησης του κόστους κάθε είδους με τον υπολογισθέντα στόχο.

3.2 Το Πρόβλημα Προσδιορισμού του Στόχου Κόστους

Ο προσδιορισμός των στόχων κόστους βασίζεται στη μέθοδο *Κατανομής Στόχων Κόστους (Target Cost Cascading - TCC)*, που προτείνεται από τον Κουρούνη (2007). Καθότι η *TCC* θέτει το μαθηματικό μοντέλο επί του οποίου βασίζεται η παρούσα εργασία, στην ενότητα αυτή δίνεται διεξοδική περιγραφή με βάση το απλό παράδειγμα δύο επιπέδων του Σχήματος 3.1. Συγκεκριμένα, η κατασκευαστική δομή του Σχήματος 3.1 περιλαμβάνει το συναρμολόγημα I_{01} , το οποίο αποτελείται από τα δύο είδη I_{11} και I_{12} .

Στο παράδειγμα αυτό, με βάση το στόχο κόστους του προϊόντος T_{01} ζητείται να υπολογισθούν οι στόχοι κόστους για τα συστατικά μέρη I_{11} και I_{12} και, φυσικά, ο στόχος του κόστους συναρμολόγησης για το I_{01} (κατασκευαστικό κόστος). Στην συγκεκριμένη περίπτωση απαιτείται η επίλυση μόνο ενός προβλήματος βελτιστοποίησης, καθότι τα συστατικά μέρη του I_{01} είναι προμηθευόμενα υλικά. Για

την μοντελοποίηση του προβλήματος βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συμβολισμοί.



Σχήμα 3.1 Συναρμολόγημα δύο Επιπέδων

$\tilde{x}_{01} = (x_{011}, \dots, x_{01m_{01}})^T$ τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του συναρμολογήματος I_{01}

$\tilde{Z}_{01} = (Z_{011}, \dots, Z_{01r_{01}})^T$ οι λειτουργικές απαιτήσεις του συναρμολογήματος I_{01}

$C_{01}(\tilde{x}_{01})$ η εκτίμηση κόστους παραγωγής του συναρμολογήματος I_{01}
το οποίο περιλαμβάνει το κόστος συναρμολόγησης C_{01}^0 ,
καθώς και το κόστος των ειδών I_{11} και I_{12} , ήτοι

$$C_{01}(\tilde{x}) = C_{01}^0(\tilde{x}) + \sum_{k=1}^2 C_{1k}(\tilde{x}_{01})$$

$\tilde{h}_{01}(\tilde{x}_{01}) = 0, \tilde{g}_{01}(\tilde{x}_{01}) = 0$ σχεδιαστικοί περιορισμοί

P_{01} η συνάρτηση προστίμου που αφορά την απόκλιση των
λειτουργικών απαιτήσεων από τον στόχο που τους έχει τεθεί.
Είναι άθροισμα επιμέρους όρων P_{01i} , έκαστος εκ των οποίων

αντιστοιχεί σε μια λειτουργική απαίτηση, ήτοι

$$P_{01}(x_{01}) = \sum_{r=1}^{r_{01}} w_{01r} P_{01r}(x_{01})$$

όπου w_{01k} ($k=1, \dots, r_{01}$) η βαρύτητα ικανοποίησης κάθε λειτουργικής απαίτησης του προϊόντος στην συνάρτηση προστίμου.

Για το παράδειγμα του Σχήματος 3.1 και για το συναρμολόγημα I_{01} το μοντέλο της μεθόδου διατυπώνεται ως εξής:

$$\min_{x_{01}} P_{01} = \sum_{i=1}^{r_{01}} w_{01i} P_{01i}(x_{01}) \quad (3.1)$$

s.t.

$$g_{01v}(x_{01}) \leq 0, \quad v = 1, \dots, v_{01} \quad (3.2)$$

$$h_{01l}(x_{01}) = 0, \quad l = 1, \dots, l_{01} \quad (3.3)$$

$$C_{01}^0(x_{01}) + \sum_{k=1}^2 C_{01k}(x_{01}) \leq T_{01} \quad (3.4)$$

$$x_{01}^{\min} \leq x_{01} \leq x_{01}^{\max} \quad (3.5)$$

όπου T_{01} ο στόχος κόστους του τελικού είδους I_{01} .

Ο περιορισμός κόστους της Εξ. (3.4) ελέγχει αν το κόστος του προϊόντος υπερβαίνει το άθροισμα του κόστους των συναρμολογημάτων του επιπέδου $1 \sum_{k=1}^2 C_{1k}(x_{01})$ και του κόστους παραγωγής του προϊόντος $C_{01}^0(x_{01})$.

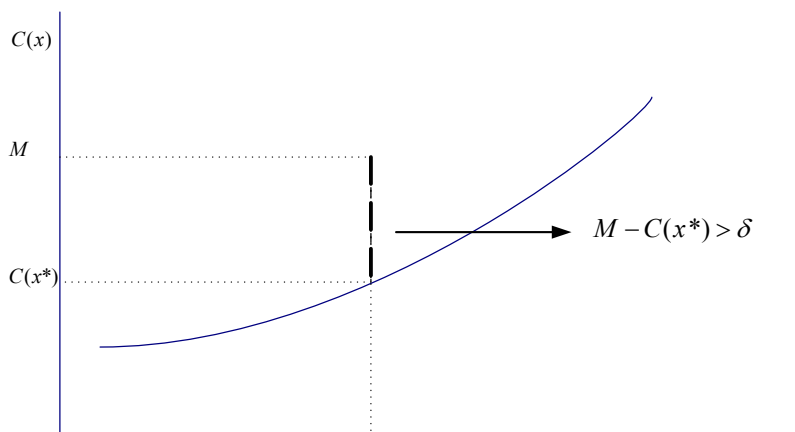
Από το πρόβλημα επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση του προστίμου που προέρχεται από την απόκλιση των λειτουργικών απαιτήσεων από τους επιθυμητούς στόχους, υπό τον περιορισμό κόστους που επιβάλλεται από τον στόχο και τους τεχνικούς περιορισμούς που ελέγχουν τις σχεδιαστικές μεταβλητές x_{ij} . Αποτέλεσμα του προβλήματος αποτελούν οι τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών \tilde{x}_{01}^* μέσω των οποίων υπολογίζονται το κόστος κατασκευής $C_{01}^0(\tilde{x}_{01}^*)$, ο στόχος κόστους για το συναρμολόγημα I_{11} $C_{11}(\tilde{x}_{01}^*)$ και ο στόχος κόστους για το συναρμολόγημα I_{12} $C_{12}(\tilde{x}_{01}^*)$.

Το παράδειγμα του Σχήματος 3.1 αποτελεί ιδιαίτερα απλή κατασκευαστική δομή. Σε περίπτωση που ένα προϊόν αποτελείται από βαθύτερη ιεραρχία, η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιείται και για τον προσδιορισμό των στόχων των κατωτέρω επιπέδων, δηλαδή για κάθε παραγόμενο συναρμολόγημα I_{ij} αναπτύσσεται πρόβλημα βελτιστοποίησης με αντίστοιχο αποτέλεσμα με αυτό του παραπάνω παραδείγματος.

3.3 Σύγκριση Εκτιμήσεων και Στόχων Κόστους

Η μέθοδος προσδιορισμού των στόχων κόστους που παρουσιάστηκε ανωτέρω βασίζεται σε συναρτήσεις κόστους της μορφής $C_{ij}(\tilde{x}_{ij})$ [βλέπε Εξ. (3.4)]. Στην πράξη, οι συναρτήσεις αυτές προέρχονται από ιστορικά στοιχεία παραγόμενων υπόσυναρμολογημάτων (Cooper *et al.* 1998). Οι συναρτήσεις $C_{ij}(\tilde{x}_{ij})$ προκύπτουν

από στατιστική ανάλυση μεταξύ των μεταβλητών x και του αντίστοιχου κόστους C_{ij} (π.χ. αναλύσεις παλινδρόμησης κ.α.) (Cooper *et al.* 1998). Έτσι προκύπτουν συναρτήσεις της μορφής όπως αυτή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2. Στο παράδειγμα του Σχήματος παρουσιάζεται το κόστος C (π.χ. ενός ψυγείου αυτοκινήτου) ως συνάρτηση της μεταβλητής x (π.χ. η επιφάνεια ψυγείου). Φυσικά εφόσον η συνάρτηση $C(x)$ αποτελεί προσέγγιση του κόστους, το κόστος M που αντιστοιχεί στην επιλεγμένη τιμή x^* της μεταβλητής x μπορεί να διαφέρει από την τιμή $C(x^*)$. Η διαφορά αυτή ενδέχεται να είναι σημαντική, δηλ $|M - C(x^*)| > \Delta$, όπου Δ ένα επιτρεπτό όριο ανοχής (βλέπε Σχήμα 3.2). Επισημαίνεται ότι η τιμή M (που αντιπροσωπεύει το πραγματικό κόστος) μπορεί να εκτιμηθεί ως \hat{M} από την ανάλυση κατασκευασιμότητας που αναλύθηκε στην Ενότητα 2.3. Στην περίπτωση που $\hat{M} - C(x^*) > \Delta$, τότε: α) Η εκτιμήτρια συνάρτηση του κόστους $C(x)$ δεν αποδίδει την πραγματική τιμή του κόστους. β) Εφόσον η λύση x^* του προβλήματος βελτιστοποίησης αντιστοιχεί σε κόστος $C(x^*) = T$, στην πραγματικότητα ο στόχος αυτός για x^* έχει ξεπεραστεί κατά Δ .



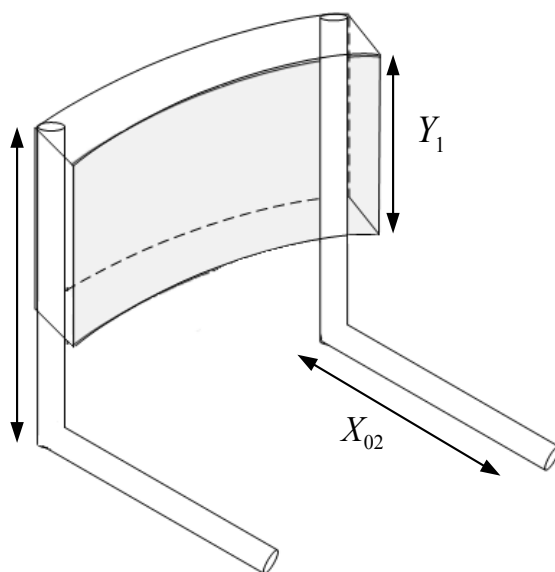
Σχήμα 3.2 Κόστος C ως συνάρτηση της μεταβλητής σχεδιασμού x

Όσον αφορά τις εκτιμήσεις και τους στόχους κόστους επισημαίνονται τα εξής:

- Το κόστος \hat{M} που εκτιμάται μέσω της ανάλυσης κατασκευασιμότητας θεωρείται ακριβέστερη εκτίμηση από το κόστος $C(x^*)$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αξιολόγηση κατασκευασιμότητας βασίζεται σε ένα σύνολο από σχεδιαστικές μεταβλητές (\tilde{X}_{ij}) το οποίο καλύπτει ένα ευρύτατο πεδίο:

Αφορούν το μέγεθος, την μορφή (πολυπλοκότητα), τα χαρακτηριστικά μορφής (form features), την τραχύτητα της επιφάνειας, τις διαστατικές και γεωμετρικές ανοχές καθώς και άλλες παραμέτρους, όπως το υλικό και η αναμενόμενη ποσότητα παραγωγής (βλ. Ενότητα 2.3).
- Η εκτιμήτρια συνάρτηση $C_{ij}(\tilde{x}_{ij})$ του προβλήματος βελτιστοποίησης, χρησιμοποιεί μόνο τις πολύ χαρακτηριστικές σχεδιαστικές μεταβλητές \tilde{x}_{ij} που είναι υποσύνολο των \tilde{X}_{ij} ($\tilde{x}_{ij} \subset \tilde{X}_{ij}$).

Για παράδειγμα, θεωρήστε την κατασκευή του πλαστικού καλύμματος της πλάτης ενός καθιστικού (Σχήμα 3.3). Η εκτίμηση του κόστους \hat{M} θα βασιστεί στο υλικό, τις διαστάσεις, το πάχος της διατομής, το βάθος και την προβολή του αντικειμένου σε επίπεδο. Επιπλέον για την κατασκευή του εργαλείου της κατεργασίας παραγωγής (injection molding), εξετάζονται η γεωμετρική πολυπλοκότητα, οι εσωτερικοί ανυψωτές, το τελείωμα της επιφάνειας, το όριο ανοχής και το επίπεδο χωρισμού. Η μέθοδος *Target Cost Cascading*, σε αντίθεση με την ανάλυση κατασκευασιμότητας, εξετάζει τις πιο χαρακτηριστικές μεταβλητές όπως το μήκος, ύψος και πάχος του καλύμματος.



Σχήμα 3.3 Πλαστικό κάλυμμα καρέκλας

Εάν η διαφορά $\hat{M} - C(x^*)$ είναι σημαντική ($> \Delta$), τότε η λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης x^* δεν κατασκευάζεται εντός των στόχων κόστους $T = C(x^*)$. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η νέα εκτιμήτρια συνάρτηση κόστους

$$C'(x) = C(x) + \Delta \quad (3.6)$$

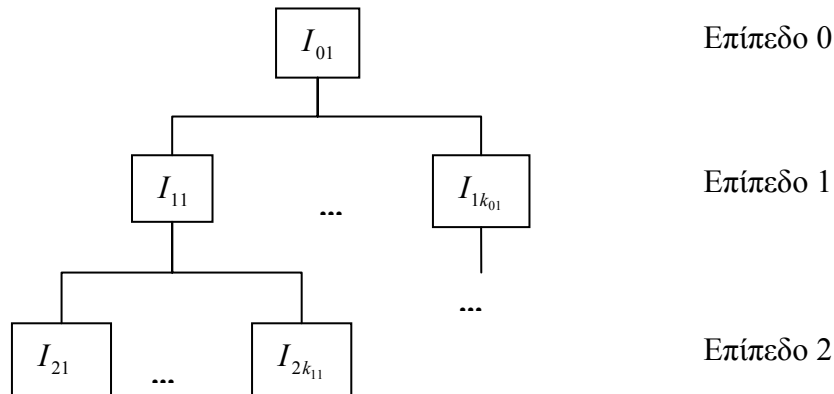
όπου $\Delta = \hat{M} - C(x^*)$. Φυσικά, αυτό προϋποθέτει ότι το Δ είναι ανεξάρτητο του x , το οποίο μπορεί να ισχύει σε μια κατάλληλη περιοχή γύρω από το x^* . Με βάση την νέα εκτιμήτρια συνάρτηση $C'(x^*)$ μία νέα λύση \hat{x} θα πρέπει να βρεθεί, το κόστος της οποίας θα πρέπει να είναι μικρότερο του $C(x^*)$ κατά Δ . Φυσικά, το πρόστιμο $\hat{P}(x)$ αναμένεται να είναι μεγαλύτερο του $P(x^*)$.

3.4 Το Πρόβλημα Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής

Βασιζόμενοι στα δεδομένα της Ενότητας 3.3, προκύπτει η ανάγκη διευθέτησης της διαφοράς Δ . Οι επιμέρους αποκλίσεις που παρουσιάζουν τα συναρμολογήματα ή είδη της κατασκευαστικής δομής είναι είτε θετικές είτε αρνητικές. Συνεπώς το πρόβλημα της ανάλυσης κόστους παραγωγής εντοπίζεται σε δύο θέματα: α) στην διάγνωση των αποκλίσεων αυτών και β) στην διευθέτησή τους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ώστε να καταλήξουμε σε ένα εφικτό σχέδιο του προϊόντος το οποίο ικανοποιεί τους περιορισμούς κόστους και παράλληλα έχει την καλύτερη δυνατή απόδοση και λειτουργικότητα.

Θεωρείστε την κατασκευαστική δομή του προϊόντος του Σχήματος 3.4. Το προϊόν στο παράδειγμα αυτό αποτελείται από 3 επίπεδα: Το τελικό προϊόν I_{01} , βασικά υπό-συναρμολογήματα $I_{11}, \dots, I_{1k_{01}}$, δευτερεύοντα υποσυναρμολογήματα ή/και βασικά

είδη $I_{21}, \dots, I_{2k_{11}}$, όπου $k_{11} \in S_{11}$ (items). Παρότι, η δομή αυτή είναι ενδεικτική, η μέθοδος που θα αναπτυχθεί μπορεί να εφαρμοστεί σε ιεραρχική δομή οποιαδήποτε βάθους (πλήθους επιπέδων).



Σχήμα 3.4 Παράδειγμα κατασκευαστικής δομής προϊόντος

Για την κατασκευαστική δομή του Σχήματος 3.4 ισχύουν τα ακόλουθα:

- Το κόστος C_{01} του προϊόντος I_{01} ισούται με το άθροισμα του κόστους συναρμολόγησης C_{01}^0 και του κόστους C_{ij} , $j = \{1, \dots, k\}$ κάθε συναρμολογήματος $I_{11}, \dots, I_{1k_{01}}$
- Το κόστος κάθε συναρμολογήματος του πρώτου επιπέδου π.χ. C_{1k} , αντιστοιχεί με το άθροισμα του κόστους συναρμολόγησης C_{1k}^0 και το κόστος C_{2j} κάθε είδους I_{2j} , $j \in S_{1k}$ όπου S_{1k} το το σύνολο των δεικτών των υλικών του συναρμολογήματος I_{1k} .

Η απόκλιση της εκτιμήτριας του κόστους \hat{M}_{ij} , που προκύπτει από την ανάλυση κατασκευασιμότητας, από το κόστος $C_{ij}(x_{ij})$ της εκτιμήτριας συνάρτησης, δηλ.

$\hat{M}_{ij} - C_{ij}(x_{ij})$ περιλαμβάνει τόσο την τυχόν απόκλιση που οφείλεται στο κατασκευαστικό κόστος του είδους I_{ij} καθ'εαυτού, όσο και τις τυχόν αποκλίσεις των υλικών του $I_{i+1,k}$, $k \in S_{ij}$ όπου το σύνολο S_{ij} δηλώνει τους δείκτες των συστατικών μερών του I_{ij} .

Για να εντοπισθεί η πηγή των αποκλίσεων σε σχέση με την κατασκευαστική δομή του προϊόντος ορίζεται η **εγγενής απόκλιση** του είδους Δ_{ij} . Για τα τρία επίπεδα του Σχήματος 3.5 η εγγενής απόκλιση δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις για τα είδη I_{01} , I_{11} και I_{21} , αντίστοιχα:

$$\Delta_{01} = (\hat{M}_{01} - \sum_{i=1}^{k_{01}} \hat{M}_{1i}) - C_{01}^0(x_{01}) \quad (3.7)$$

$$\Delta_{11} = (\hat{M}_{11} - \sum_{i=1}^{k_{11}} \hat{M}_{2i}) - C_{11}^0(x_{11}) \quad (3.8)$$

Για τα είδη $I_{12} \dots I_{1k_{11}}$ ισχύουν εξισώσεις παρόμοιες με την Εξ. (3.8)

$$\Delta_{21} = \left(\hat{M}_{21} - C_{21}(x_{21}) \right) \quad (3.9)$$

ενώ για τα είδη I_{22}, \dots ισχύουν εξισώσεις παρόμοιες με την Εξ. (3.9).

Η διαφορά της Εξίσωσης (3.9) από την Εξίσωση (3.7) και (3.8) οφείλεται στο γεγονός ότι το Επίπεδο 2 είναι, στο παράδειγμα αυτό, το τελευταίο επίπεδο της ιεραρχίας και τα είδη I_{2k} δεν έχουν συστατικά μέρη.

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις και γνωρίζοντας ότι οι αποκλίσεις μπορεί να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές, η μέθοδος διευθέτησης του κόστους στηρίζεται στα εξής:

- Υπολογίζεται το συνολικό πλεόνασμα κόστους από τα συναρμολογήματα τα οποία παρουσιάζουν κατασκευαστικό κόστος μικρότερο του στόχου, ήτοι $\Delta_{ij} < 0$.
- Κατανέμεται το πλεόνασμα κόστους στα συναρμολογήματα που παρουσιάζουν κατασκευαστικό κόστος που υπερβαίνει το στόχο κόστους, ήτοι $\Delta_{ij} > 0$.

Εάν μετά την κατανομή υπάρχουν ακόμα ορισμένα είδη με $\Delta_{ij} > 0$ τότε για τα είδη αυτά επαναπροσδιορίζεται η εκτιμήτρια κόστους με βάση την Εξίσωση (3.6) και επιλύεται εκ νέου το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η προσέγγιση επίλυσης του προβλήματος της σύγκλισης του κόστους κατασκευής προς τους στόχους κόστους.

3.5 Περίληψη

Στο παρόν κεφάλαιο αρχικά περιγράφηκε το πρόβλημα προσδιορισμού των στόχων κόστους με βάση την μέθοδο *Target Cost Cascading (TCC)*. Στη συνέχεια αναλύθηκε η σύγκριση των στόχων κόστους με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις κόστους της Ανάλυσης Κατασκευασιμότητας. Σε περιπτώσεις σημαντικών αποκλίσεων, περιγράφηκαν οι αρχές διευθέτησης των αποκλίσεων αυτών ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση των εκτιμήσεων κόστους της Ανάλυσης Κατασκευασιμότητας με τους

στόχους κόστους που τίθενται με βάση τις απαιτήσεις της αγοράς. Η μέθοδος διευθέτησης των διαφορών, παρουσιάζεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

4. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν Κεφάλαιο βασιζόμενοι στο πλαίσιο και τη μέθοδο βελτίωσης του κόστους νέου προϊόντος που βρίσκεται στα αρχικά στάδια σχεδιασμού (Kourounis 2007), παρουσιάζονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι κατανομής αποκλίσεων κόστους (μεταξύ του στόχου και της αντίστοιχης εκτίμησης), οι οποίοι αναπτύχθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Οι αλγόριθμοι αυτοί επεξηγούνται μέσω παραδειγμάτων.

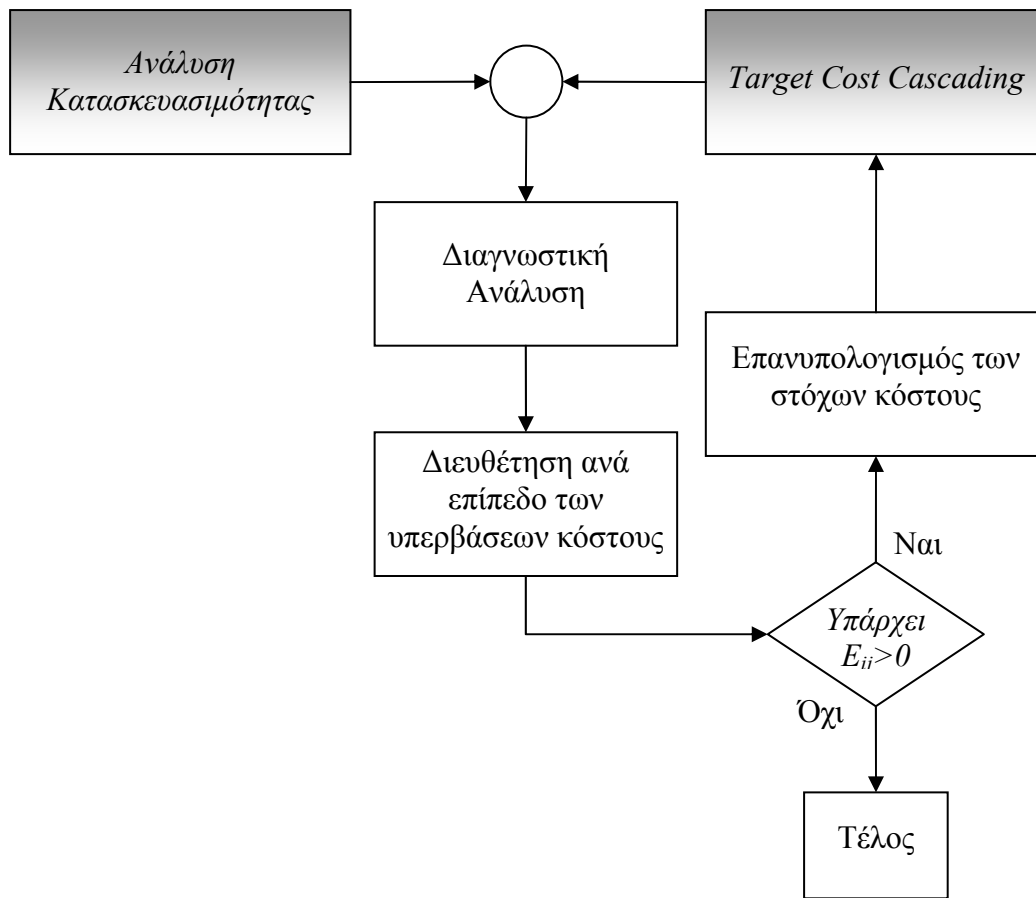
Με βάση την διαδικασία σύγκρισης του στόχου κόστους και της εκτίμησης κόστους παραγωγής του Κεφαλαίου 3, κάθε συναρμολόγημα ή είδος I_{ij} της κατασκευαστικής δομής του Σχήματος 3.4, αντιστοιχεί εξοικονόμηση κόστους σ_{ij} ή υπέρβαση κόστους e_{ij} (βλ. Σχήμα Γ.1). Οι παραπάνω έννοιες (βλ. Ενότητα Γ1 στο Παράρτημα για αναλυτική επεξήγηση) και το μοντέλο *Target Cost Cascading* (βλ. Κεφάλαιο 3.2) χρησιμοποιούνται για την κατανομή της συνολικής εξοικονόμησης κόστους στα συναρμολογήματα που παρουσιάζουν υπέρβαση κόστους, με απώτερο στόχο την βελτίωση και ελαχιστοποίηση των διαφορών μεταξύ στόχων και εκτιμήσεων κόστους. Συνοπτικά περιγράφουμε τα στάδια της μεθόδου στην επόμενη ενότητα.

4.2 Μέθοδος Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους

Η μέθοδος Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους (Kourounis 2007) ακολουθεί την φυσική δομή του προϊόντος και στοχεύει στην καλύτερη κατανομή και την διόρθωση των τυχόν αποκλίσεων κόστους μεταξύ στόχων και εκτιμήσεων. Η μέθοδος αποτελείται από τρία στάδια, τα οποία επαναλαμβάνονται μέχρι να διευθετηθούν τα κόστη όλων των συναρμολογημάτων και ειδών του υπό εξέταση προϊόντος (βλ. Σχήμα 4.1).

Αναλυτικότερα τα στάδια αυτά έχουν ως ακολούθως:

- I. Στο πρώτο Στάδιο της Διαγνωστικής Ανάλυσης προσδιορίζονται οι εγγενείς αποκλίσεις για κάθε είδος της κατασκευαστικής δομής (βλ. Ενότητα 3.4). Καθότι οι εγγενείς αποκλίσεις μπορεί να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές, διακρίνονται σε υπερβάσεις ή εξοικονομήσεις κόστους. Αυτά τα δύο μεγέθη υπολογίζονται για κάθε είδος, σε κάθε επίπεδο. Επίσης υπολογίζεται η συνολική εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}$ ως το άθροισμα του συνόλου των εξοικονομήσεων. Επιπλέον, για κάθε συναρμολόγημα που συντίθεται από άλλα είδη (υλικά) ορίζονται οι τιμές E_{ij} οι οποίες περιλαμβάνουν τις συνολικές υπερβάσεις κόστους του συναρμολογήματος και των ειδών του.



Σχήμα 4.1 Προσέγγιση Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Παραγωγής στα πλαίσια της μεθόδου Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους (Kourounis 2007) (Σκιασμένες περιοχές δεν εμπίπτουν στην παρούσα εργασία)

II. Στο δεύτερο Στάδιο της διευθέτησης αποκλίσεων (Ανακατανομή των υπερβάσεων κόστους) κατανέμεται η συνολική εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}$ στα συναρμολογήματα τα οποία παρουσιάζουν υπέρβαση κόστους. Η διαδικασία κατανομής εκκινεί από το επίπεδο 0 και το προϊόν I_{01} και ακολουθεί την φυσική δομή του προϊόντος. Αρχικά διευθετείται η υπέρβαση κόστους του προϊόντος I_{01} και στη συνέχεια η εναπομείνουσα εξοικονόμηση κόστους καλύπτει τις υπερβάσεις κόστους στα είδη των επόμενων επιπέδων

της κατασκευαστικής δομής διαδοχικά ανά επίπεδο. Για την κατανομή της εξοικονόμησης κόστους $\hat{\Sigma}$ προτείνονται δύο αλγόριθμοι επίλυσης (βλ. Κεφάλαιο 4.3).

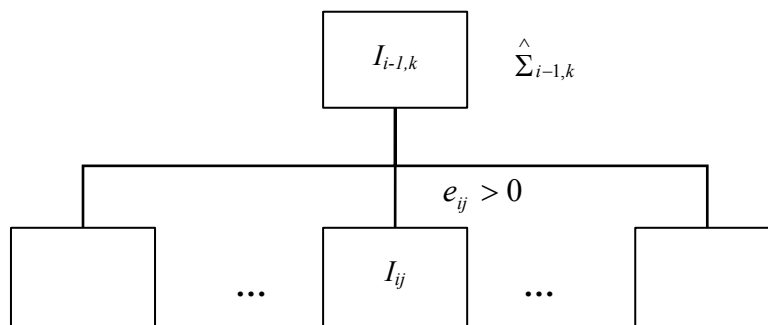
III. Τρίτο Στάδιο: Εάν η υπέρβαση κόστους κάποιου συναρμολογήματος της κατασκευαστικής δομής δεν έχει διευθετηθεί και ταυτόχρονα η εξοικονόμηση κόστους δεν επαρκεί για την κάλυψή της, ο στόχος κόστους του συναρμολογήματος αυτού αναθεωρείται. Προσδιορίζονται νέοι στόχοι κόστους (Εξ. 3.4) σε κάθε υλικό της κατασκευαστικής δομής του εν λόγω συναρμολογήματος, καθώς και νέες τιμές των αντίστοιχων σχεδιαστικών μεταβλητών (*design parameters*). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα συναρμολογήματα του ίδιου επιπέδου τα οποία παρουσιάζουν υπέρβαση κόστους η οποία δεν μπορεί να διευθετηθεί λόγω της εξάντλησης της συνολικής εξοικονόμησης κόστους.

Αποτέλεσμα της μεθόδου Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους αποτελεί η εξομάλυνση των διαφορών κόστους παραγωγής και στόχου κόστους. Οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες, αποτελούν το μέσο ανακατανομής της εξοικονόμησης κόστους.

4.3 Αλγόριθμοι Κατανομής της Εξοικονόμησης Κόστους

4.3.1 Εισαγωγή

Θεωρείστε το ακόλουθο παράδειγμα. Έστω ότι στο είδος $I_{i-1,k}$ του επιπέδου $i-1$ αντιστοιχεί συνολικά εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}_{i-1,k}$. Έστω επίσης I_{ij} ($j \in S_{i-1,k}$) τα υλικά του $I_{i-1,k}$ τα οποία εμφανίζουν θετική υπέρβαση κόστους (βλ. Σχήμα 4.2).

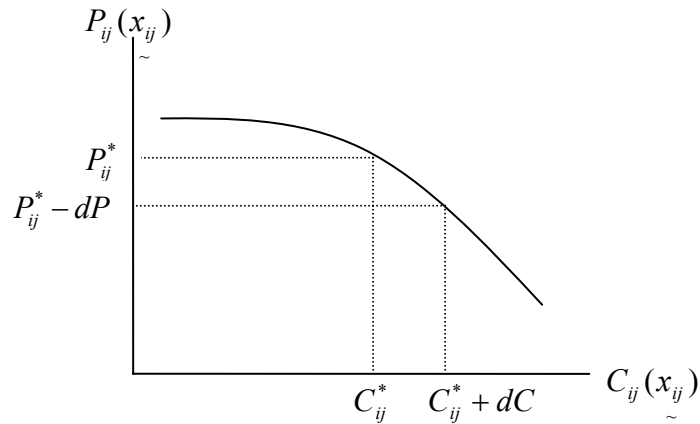


Σχήμα 4.2 Κατασκευαστική δομή συναρμολογήματος $I_{i-1,k}$

Για την κατανομή της εξοικονόμησης κόστους $\hat{\Sigma}_{i-1,k}$ στα συναρμολογήματα I_{ij} προτείνονται δύο εναλλακτικοί αλγόριθμοι επίλυσης.

Στον πρώτο αλγόριθμο, η εξοικονόμηση κόστους κατανέμεται με συγκεκριμένη αναλογία στα συναρμολογήματα που παρουσιάζουν υπέρβαση κόστους. Η αναλογία αυτή ευνοεί το συναρμολόγημα του οποίου το πρόστιμο μειώνεται περισσότερο με συγκεκριμένη αύξηση του κόστους. Σε αυτό το συναρμολόγημα αποδίδεται το μεγαλύτερο τμήμα της εξοικονόμησης κόστους. Ήτοι, το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης του κόστους αποδίδεται στο συναρμολόγημα το οποίο έχει την πλέον

αρνητική κλίση της καμπύλης $P_{ij}(C_{ij})$ του Σχήματος 4.3, όπου P_{ij} η συνάρτηση προστίμου που αφορά την απόκλιση των λειτουργικών απαιτήσεων από τον στόχο που έχει τεθεί και C_{ij} η συνάρτηση κόστους του συναρμολογήματος.



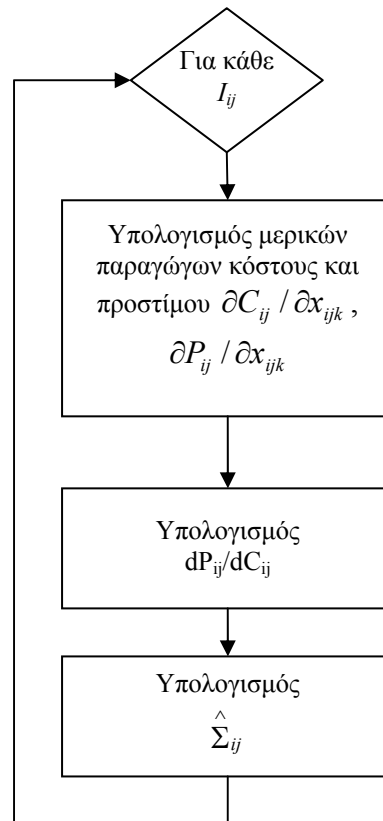
Σχήμα 4.3 Καμπύλη Προστίμου - Κόστους

Ο δεύτερος αλγόριθμος κατανομής κατανέμει σταδιακά την εξοικονόμηση κόστους, η οποία έχει διαιρεθεί σε n μέρη $\Delta = \hat{\Sigma}_{ij} / n$. Βασίζεται στα ίδια κριτήρια με τον αλγόριθμο 1, δηλαδή στην κλίση της καμπύλης $P_{ij}(C_{ij})$ και επιπλέον εξετάζει ποια σχεδιαστική παράμετρος επηρεάζει περισσότερο το κόστος ώστε να μεταβληθεί η τιμή της.

4.3.2 Αλγόριθμος Επίλυσης 1

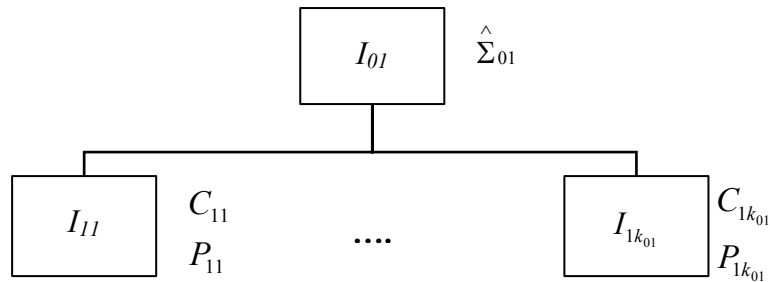
Ο αλγόριθμος 1 ακολουθεί τρία βήματα (βλ. Σχήμα 4.4) για την κατανομή της εξοικονόμησης κόστους $\hat{\Sigma}_{i-1,k}$ στα συναρμολογήματα I_{ij} ($j \in S_{i-1,k}$) τα οποία παρουσιάζουν υπέρβαση κόστους:

1. Για κάθε συναρμολόγημα I_{ij} με υπέρβαση κόστους, υπολογισμός των μερικών παραγώγων κόστους $\partial C_{ij} / \partial x_{ijk}$ και προστίμου $\partial P_{ij} / \partial x_{ijk}$ για κάθε σχεδιαστική μεταβλητή x_{ijk} του διανύσματος σχεδιαστικών μεταβλητών \tilde{x}_{ij} .
2. Για κάθε συναρμολόγημα I_{ij} , υπολογισμός των ολικών παραγώγων dP_{ij} / dC_{ij} , το οποίο αντιπροσωπεύει την κλίση της καμπύλης $P_{ij}(C_{ij})$.
3. Υπολογισμός της κατανομής εξοικονόμησης κόστους σε κάθε συναρμολόγημα I_{ij} .



Σχήμα 4.4 Αλγόριθμος επίλυσης 1

Αναλυτικότερα, ως δεδομένα λογίζονται οι συναρτήσεις κόστους και προστίμου, η συνολική εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}_{i-1,k}$ καθώς και οι βέλτιστες τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών από την μέθοδο *Target Cost Cascading*.



Σχήμα 4.5 Κατασκευαστική Δομή προϊόντος I_{0l}

Για ευκολία, έστω η κατασκευαστική δομή του Σχήματος 4.5 για την οποία υποθέτουμε ότι κάποια συναρμολογήματα του πρώτου επιπέδου έχουν υπέρβαση κόστους. Έστω το σύνολο των δεικτών των συναρμολογημάτων αυτών είναι Y_{01} και έστω $j \in Y_{01}$ (δηλαδή I_{1j} παρουσιάζει υπέρβαση κόστους). Επιθυμούμε να κατανεύσουμε την εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}_{01}$ στα I_{1j} $j \in Y_{01}$. Για κάθε σχεδιαστική παράμετρο x_{1jk} του διανύσματος x_{1j} υπολογίζονται οι μερικοί παράγωγοι κόστους και προστίμου:

$$\partial C_{1j} / \partial x_{1jk} \quad k = 1, \dots, k_{1j} \quad (4.1)$$

$$\partial P_{1j} / \partial x_{1jk} \quad (4.2)$$

όπου

P_{1j} : η συνάρτηση προστίμου του συναρμολογήματος I_{1j}

C_{1j} : η συνάρτηση κόστους του συναρμολογήματος I_{1j}

Οι μερικές αυτές παράγωγοι προσδιορίζουν την μεταβολή του κόστους ή του προστίμου αντίστοιχα σε μικρή μεταβολή της σχεδιαστικής μεταβλητής.

Το επόμενο βήμα του αλγορίθμου είναι ο υπολογισμός της παραγώγου $\partial P_{1j} / \partial C_{1j}$ από τον οποίο προσδιορίζεται η κλίση της καμπύλης $P_{1j}(C_{1j})$ στη λύση x_{1j}^* που προκύπτει από την μέθοδο TCC.

$$\frac{dP_{1j}}{dC_{1j}} = \sum_{k=1}^{k_{1j}} \frac{\partial P_{1j}}{\partial x_{1jk}} \frac{\partial x_{1jk}}{\partial C_{1j}} \quad (4.3)$$

όπου,

I_{1j} : το εν λόγω συναρμολόγημα

P_{1j} : η συνάρτηση προστίμου για κάθε συναρμολόγημα I_{ij}

C_{1j} : η συνάρτηση κόστους για κάθε συναρμολόγημα I_{ij}

και

$$\frac{\partial x_{1jk}}{\partial C_{ij}} = \frac{1}{\frac{\partial C_{ij}}{\partial x_{1jk}}} \quad (4.4)$$

Τέλος υπολογίζεται η τιμή της Εξ. (4.3) στο σημείο x_{ij}^* που προκύπτει από την μέθοδο TCC.

Δεδομένου ότι όσο αυξάνεται η συνάρτηση του κόστους καλυτερεύει η απόδοση του προϊόντος και η συνάρτηση προστίμου μειώνεται (βλ. Σχήμα 4.3), οι τιμές της εξίσωσης (4.3) θα είναι αρνητικές. Το μεγαλύτερο μέρος της εξοικονόμησης κόστους αποδίδεται στο συναρμολόγημα το οποίο φέρει την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της Εξ. (4.3), δηλαδή έχει την κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερη (αλλά αρνητική) κλίση της καμπύλης $P_{1j}(C_{1j})$.

Η εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}_{1j}$ που θα αντιστοιχεί σε κάθε συναρμολόγημα I_{1j} , προκύπτει από την εξίσωση:

$$\hat{\Sigma}_{1j} = \frac{\left. \frac{dP_{1j}}{dC_{1j}} \right|_{x_{ij}^*}}{\sum_{m \in Y_{01}} \left. \frac{dP_{1m}}{dC_{1m}} \right|_{x_{im}^*}} \cdot S \quad (4.5)$$

Συνεπώς οι μειωμένες υπερβάσεις κόστους έχουν ως εξής:

$$e_{1j} \leftarrow \max (e_{1j} - \hat{\Sigma}_{1j}, 0) \quad (4.6)$$

και

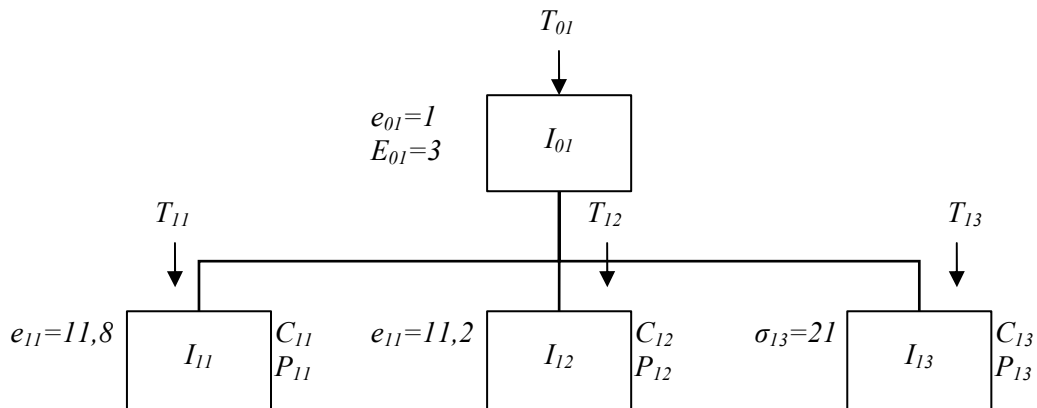
$$\hat{\Sigma}_{1j} \leftarrow \max (\hat{\Sigma}_{1j} - e_{1j}, 0) \quad (4.7)$$

Εάν $\hat{\Sigma}_{1j} > 0$, τότε η εξοικονόμηση κόστους δεν έχει εξαντληθεί, και θα κατανεμηθεί στα είδη του I_{1j} .

Παράδειγμα

Θεωρείστε την κατασκευαστική δομή του Σχήματος 4.6 που αποτελείται από δύο επίπεδα (0 και 1). Τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} παρουσιάζουν συνολική υπέρβαση κόστους $e_{11} = E_{11} = 11.8$ και $e_{12} = E_{12} = 11.2$ ενώ το συναρμολόγημα I_{13} εξοικονόμηση κόστους $\sigma_{13} = \hat{\Sigma}_{13} = 19$. Το προϊόν I_{01} έχει υπέρβαση κόστους $e_{01} = 1$ και συνολική υπέρβαση κόστους $E_{01} = 3$.

Συνεπώς η συνολική εξοικονόμηση είναι $\hat{\Sigma}_{01} = 19$ και σύμφωνα με το Βήμα 1 του Σταδίου 2 της μεθόδου διευθέτησης των αποκλίσεων κόστους, στο προϊόν I_{01} αποδίδεται η απαραίτητη εξοικονόμηση ώστε $e_{01} \leftarrow 0$. Επομένως η εξοικονόμηση που θα κατανεμηθεί στα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} είναι $\hat{\Sigma}_{01} \leftarrow 19 - 1 = 18$.



Σχήμα 4.6 Κατασκευαστική δομή προϊόντος I_{01} παραδείγματος

Έστω ότι για το συναρμολόγημα I_{11} οι συναρτήσεις κόστους και προστίμου είναι:

$$C_{11}(\tilde{x}_{11}) = 2x_{111}^2 + 5x_{112}^2 + 6 \quad (4.8)$$

$$P_{11}(\tilde{x}_{11}) = \frac{1}{x_{111} + 3x_{112}}$$

και οι βέλτιστες τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών από την μέθοδο TCC είναι

$$x_{111}^* = 3 \text{ και } x_{112}^* = 1.$$

Έστω, επίσης ότι για το συναρμολόγημα I_{12} οι συναρτήσεις κόστους και προστίμου είναι:

$$C_{12}(\tilde{x}_{12}) = 3x_{121}^2 + 2x_{122}^2 + 4 \quad (4.9)$$

$$P_{21}(\tilde{x}_{12}) = \frac{1}{3x_{121} + 12x_{122}}$$

και οι βέλτιστες τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών από την μέθοδο TCC είναι

$$x_{121}^* = 2 \text{ και } x_{122}^* = 0.82.$$

Στο βήμα 1 του αλγορίθμου υπολογίζονται οι μερικές παράγωγοι κόστους και προστίμου. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα δύο συναρμολογήματα.

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα μερικών παραγώγων κόστους και προστίμου

Συναρμολόγημα I_{11}			
$\partial C_{11} / \partial x_{111}$	$\partial C_{11} / \partial x_{112}$	$\partial P_{11} / \partial x_{111}$	$\partial P_{11} / \partial x_{112}$
$4x_{111}$	$10x_{112}$	$-\frac{1}{(x_{111} + 3x_{112})^2}$	$-\frac{3}{(x_{111} + 3x_{112})^2}$
Συναρμολόγημα I_{12}			
$\partial C_{12} / \partial x_{121}$	$\partial C_{12} / \partial x_{122}$	$\partial P_{12} / \partial x_{121}$	$\partial P_{12} / \partial x_{122}$
$6x_{121}$	$4x_{122}$	$-\frac{3}{(3x_{121} + 12x_{122})^2}$	$-\frac{12}{(3x_{121} + 12x_{122})^2}$

Στο δεύτερο βήμα του αλγορίθμου υπολογίζονται οι ολικές παράγωγοι dP_{11} / dC_{11} και dP_{12} / dC_{12} . Τα αποτελέσματα για τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} είναι ως εξής:

$$\frac{dP_{11}}{dC_{11}} = -\frac{1}{(x_{111} + 3x_{112})^2} \frac{1}{4x_{111}} - \frac{3}{(x_{111} + 3x_{112})^2} \frac{1}{10x_{112}} \quad (4.10)$$

$$\frac{dP_{12}}{dC_{12}} = -\frac{3}{(3x_{121} + 12x_{122})^2} \frac{1}{6x_{121}} - \frac{12}{(3x_{121} + 12x_{122})^2} \frac{1}{4x_{122}} \quad (4.11)$$

Στο βέλτιστο σημείο $x_{111}^* = 3$ και $x_{112}^* = 1$, η τιμή της $\frac{dP_{11}}{dC_{11}} = -0.0106$, ενώ στο

βέλτιστο σημείο $x_{121}^* = 2$ και $x_{122}^* = 0.82$ η τιμή της $\frac{dP_{12}}{dC_{12}} = -0.0156$. Το σύνολο των

μερικών παραγώγων των δυο συναρμολογημάτων είναι $\sum_{j=1}^2 \frac{dP_{1j}}{dC_{1j}} = -0.0262$. Η

κατανομή της εξοικονόμησης κόστους επομένως είναι:

$$\hat{\Sigma}_{11} = \frac{\frac{dP_{11}}{dC_{11}}}{\sum_{j=1}^2 \frac{dP_{1j}}{dC_{1j}}} \cdot S = \frac{-0.0106}{-0.0262} \cdot 18 = 7.38$$

$$\hat{\Sigma}_{12} = \frac{\frac{dP_{12}}{dC_{12}}}{\sum_{j=1}^2 \frac{dP_{1j}}{dC_{1j}}} \cdot S = \frac{-0.0156}{-0.0262} \cdot 18 = 10.62$$
(4.12)

Άρα οι υπερβάσεις κόστους των δύο συναρμολογημάτων λαμβάνουν τις τιμές:

$$e_{11} \leftarrow e_{11} - \sigma_{11} = 11.8 - 7.38 = 4.42$$
(4.13)

$$e_{12} \leftarrow e_{12} - \sigma_{12} = 11.2 - 10.62 = 0.58$$

Εφόσον τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} παρουσιάζουν εναπομείνασες υπερβάσεις κόστους, επανεξετάζονται από την μέθοδο TCC ώστε να διορθωθούν οι περιορισμοί κόστους τους. Ο στόχος κόστους τους μειώνεται τόσο ώστε στην επανάληψη της διαγνωστικής ανάλυσης να μην εμφανίζουν υπέρβαση κόστους.

4.3.3 Αλγόριθμος Επίλυσης 2

Ο αλγόριθμος 2 κατανέμει σταδιακά την εξοικονόμηση κόστους στα συναρμολογήματα με θετική υπέρβαση κόστους. Υλοποιείται σε n βήματα

θεωρώντας ότι $\Delta = \hat{\Sigma}_{ij} / n$ όπου n το πλήθος επαναλήψεων του αλγορίθμου. Σε κάθε βήμα εξετάζει σε ποιο συναρμολόγημα μεταβάλλεται περισσότερο το κόστος με μια μικρή αλλαγή της τιμής των σχεδιαστικών μεταβλητών. Στο εν λόγω συναρμολόγημα αποδίδεται το Δ για την κάλυψη της υπέρβασης κόστους. Αυτό επαναλαμβάνεται $n-1$ ακόμα φορές μέχρι να κατανεμηθεί η εξοικονόμηση κόστους στα συναρμολογήματα.

Για ευκολία παρουσιάζεται παρακάτω η κατανομή της εξοικονόμησης $\hat{\Sigma}$ στα συναρμολογήματα I_{1j} (πρώτου επιπέδου) του παραδείγματος στο Σχήμα 4.6.

Έστω $\Delta = \hat{\Sigma} / n$

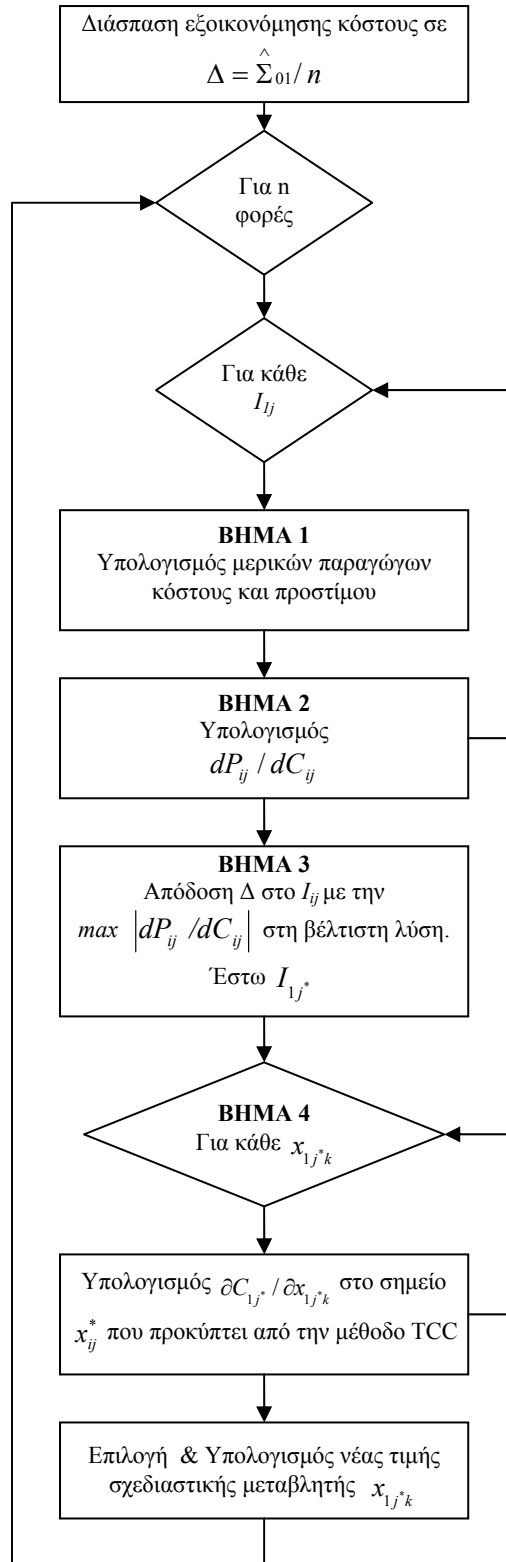
1. Υπολογισμός των μερικών παραγώγων κόστους και προστίμου όπως ακριβώς στο βήμα 1 του Αλγορίθμου 1.
2. Υπολογισμός των ολικών παραγώγων dP_{1j} / dC_{1j} για κάθε συναρμολόγημα I_{1j} όπως ακριβώς στο βήμα 1 του Αλγορίθμου 1.
3. Απόδοση του Δ στο συναρμολόγημα I_{1j} με την μεγαλύτερη κλίση dP_{1j} / dC_{1j} στην αντίστοιχη βέλτιστη λύση

Η αύξηση του κόστους του συναρμολογήματος I_{1j} θα επιφέρει αλλαγή και στις τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών. Επομένως:

4. Υπολογισμός της μεταβολής της σχεδιαστικής μεταβλητής του συναρμολογήματος I_{1j} η οποία επηρεάζει περισσότερο το κόστος μέσω της εξίσωσης

$$\partial x_{ijk} = \frac{dC_{ij}}{(\partial C_{ij} / \partial x_{ijk})} = \left(\frac{\Delta}{(\partial C_{ij} / \partial x_{ijk})} \right)_{x_{ij}^*} \quad (4.14)$$

Ακολουθώντας την κατασκευαστική δομή του Σχήματος 4.5, τα βήματα του αλγορίθμου 2 παρουσιάζονται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 4.7 και επεξηγούνται παρακάτω.



Σχήμα 4.7 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου επίλυσης 2

Λαμβάνοντας υπόψη την κατασκευαστική δομή του Σχήματος 4.5 ως δεδομένα του αλγορίθμου 2 λογίζονται οι συναρτήσεις κόστους και προστίμου των συναρμολογημάτων με θετική υπέρβαση κόστους, η συνολική εξοικονόμηση κόστους, καθώς και οι βέλτιστες τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών. Στόχος του αλγορίθμου 2 είναι η κατανομή της εξοικονόμησης κόστους, εντοπίζοντας σε κάθε επανάληψη το συναρμολόγημα με την μεγαλύτερη κλίση $P_{ij}(C_{ij})$.

Αρχικά κατανέμεται η εξοικονόμηση κόστους σε $\Delta = \Sigma_{01} / n$, όπου n ακέραιος αριθμός επανάληψης του αλγορίθμου.

Έστω το σύνολο των δεικτών των συναρμολογημάτων αυτών είναι Y_{01} και έστω $j \in Y_{01}$ (δηλαδή I_{1j} παρουσιάζει υπέρβαση κόστους). Στο πρώτο βήμα του αλγορίθμου, για κάθε σχεδιαστική παράμετρο x_{1jk} του διανύσματος x_{1j} υπολογίζονται οι μερικοί παράγωγοι κόστους και προστίμου $\partial C_{1j} / \partial x_{1jk}$, και $\partial P_{1j} / \partial x_{1jk}$ όπου: $k = 1, \dots, k_{1j}$, P_{1j} : η συνάρτηση προστίμου του συναρμολογήματος I_{1j} , C_{1j} : η συνάρτηση κόστους του συναρμολογήματος I_{1j} .

Στο δεύτερο βήμα του αλγορίθμου υπολογίζονται οι παράγωγοι dP_{ij} / dC_{ij} όπως στον Αλγόριθμο 1 (βλ. Εξ. (4.3)), οι οποίοι προσδιορίζουν την κλίση της καμπύλης $P_{1j}(C_{1j})$ (βλ. Σχήμα 4.3).

Στο επόμενο βήμα η εξοικονόμηση Δ αποδίδεται στο συναρμολόγημα εκείνο το οποίο παρουσιάζει μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της Εξ. 4.3, δηλαδή την μεγαλύτερη

κλίση της καμπύλης $P_{1j}(C_{1j})$ στο βέλτιστο σημείο x_{1j}^* . Επομένως κάθε φορά επιλέγεται το συναρμολόγημα του οποίου μικρή αύξηση του κόστους μειώνει περισσότερο το πρόστιμο.

Μετά την απόδοση του Δ στο συναρμολόγημα I_{1j} , το κόστος C_{ij} αυξάνεται, με συνέπεια την αλλαγή των τιμών των σχεδιαστικών μεταβλητών. Στο τέταρτο βήμα του αλγορίθμου εξετάζεται η παράγωγος κόστους για κάθε σχεδιαστική μεταβλητή x_{1jk} στο σημείο x_{ij}^* που προκύπτει από την μέθοδο TCC.

$$\left. \frac{\partial C_{ij}}{\partial x_{ijk}} \right|_{x_{ij}^*} \quad (4.15)$$

Η μεγαλύτερη τιμή της εξίσωσης στην λύση x_{ij}^* , παρουσιάζει την σχεδιαστική μεταβλητή η οποία επηρεάζει περισσότερο το κόστος του συναρμολογήματος I_{1j}^* .

Με αυτό το κριτήριο επιλέγεται η αντίστοιχη σχεδιαστική μεταβλητή x_{ijk}^* και μεταβάλεται η τιμή της με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$x_{ijk}^* \leftarrow x_{ijk}^* + dx_{ijk}^* \quad (4.16)$$

$$\text{όπου } dx_{ijk}^* = \frac{dC_{ij}}{(dC_{ij} / dx_{ijk}^*)} \Big|_{x_{ij}^*} = \frac{\Delta}{(dC_{ij} / dx_{ijk}^*)} \Big|_{x_{ij}^*}$$

Παράδειγμα

Ακολουθώντας το παράδειγμα του Αλγορίθμου 1, και λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των συναρτήσεων κόστους και προστίμου (βλ. Εξ. 4.8 και 4.9), υποθέτουμε ότι ο αριθμός επανάληψης του αλγορίθμου επίλυσης είναι $n = 20$. Η εξοικονόμηση που θα καλύπτει την υπέρβαση κάθε συναρμολογήματος κάθε φορά είναι

$$\Delta = 18 / 20 = 0.9 \quad (4.17)$$

Για τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} της κατασκευαστικής δομής του Σχήματος 4.6, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος για μια επανάληψη ($n = 1$).

Στο βήμα 1 του αλγορίθμου, υπολογίζονται οι μερικοί παράγωγοι κόστους και προστίμου, όπως ακριβώς στο βήμα 1 του Αλγορίθμου 1 (βλ. Πίνακα 4.1). Στο επόμενο βήμα (βήμα 2), υπολογίζονται οι μερικές παράγωγοι $\partial P_{11} / \partial C_{11}$ και $\partial P_{12} / \partial C_{12}$. Στο βέλτιστο σημείο $x_{111}^* = 3$ και $x_{112}^* = 1$, η τιμή της $dP_{11} / dC_{11} = -0.0106$, ενώ στο βέλτιστο σημείο $x_{121}^* = 2$ και $x_{122}^* = 0.82$ η τιμή της $dP_{12} / dC_{12} = -0.0156$.

Το συναρμολόγημα το οποίο παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή είναι το I_{12} του οποίου το κόστος θα αυξηθεί κατά 0.9. Μετά την απόδοση του Δ στο συναρμολόγημα I_{12} , μεταβάλλεται η τιμή επιλεγμένης σχεδιαστικής μεταβλητής. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι μερικοί παράγωγοι κόστους ως προς κάθε σχεδιαστική παράμετρο x_{1jk} , ώστε να εντοπιστεί η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο το κόστος στην τρέχουσα λύση.

Η μεγαλύτερη τιμή της μερικής παραγώγου κόστους προέρχεται από την σχεδιαστική μεταβλητή x_{121} με $\partial C_{12} / \partial x_{121} = 12$. Η τιμή της x_{121} αυξάνεται κατά:

$$\partial x_{121} = \partial C_{12} / 12 = 0.9 / 12 = 0.075 \quad (4.18)$$

Άρα η νέα τιμή της παραμέτρου θα είναι

$$x_{121-new} = 2 + 0.075 = 2.075 \quad (4.19)$$

Μετά από δεκαεννιά ακόμα επαναλήψεις ($n=20$) οι υπερβάσεις έχουν μειωθεί και έχουν ως εξής:

$$E_{11} \leftarrow E_{11} - \hat{\Sigma}_{11} = 11.8 - 7.2 = 4.6 \quad (4.20)$$

$$E_{12} \leftarrow E_{12} - \hat{\Sigma}_{12} = 11.2 - 10.8 = 0.4$$

Επίσης οι τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών των δύο συναρμολογημάτων έχουν μεταβληθεί ως εξής:

$$\begin{aligned} x_{11} &= 3.4906 \\ x_{12} &= 1 \\ x_{21} &= 3.0766 \\ x_{22} &= 0.82 \end{aligned} \quad (4.21)$$

4.3.4 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα των δύο αλγορίθμων παρατηρούμε ότι προκύπτει μια μικρή διαφορά. Στον πρώτο αλγόριθμο η εξοικονόμηση κόστους κατανέμεται στα δύο συναρμολογήματα, κατά 41% στο I_{11} και 59% στο I_{12} . Ο δεύτερος αλγόριθμος επίλυσης και κατανέμει σε οχτώ επαναλήψεις εξοικονόμηση κόστους Δ στο συναρμολόγημα I_{11} ενώ σε δώδεκα επαναλήψεις στο συναρμολόγημα I_{12} . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο αλγορίθμων

	Αλγόριθμος 1			Αλγόριθμος 2		
	E_{ij}	$\hat{\Sigma}_{ij}$	E'_{ij}	E_{ij}	$\hat{\Sigma}_{ij}$	E'_{ij}
I_{11}	11,8	7,38	4,42	11,8	7,2	4,6
I_{12}	11,2	10,62	0,58	11,2	10,8	0,4

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των επαναλήψεων, τόσο η κατανομή είναι πιο ακριβής.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η υλοποίηση της μεθόδου ανάλυσης ευαισθησίας που αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

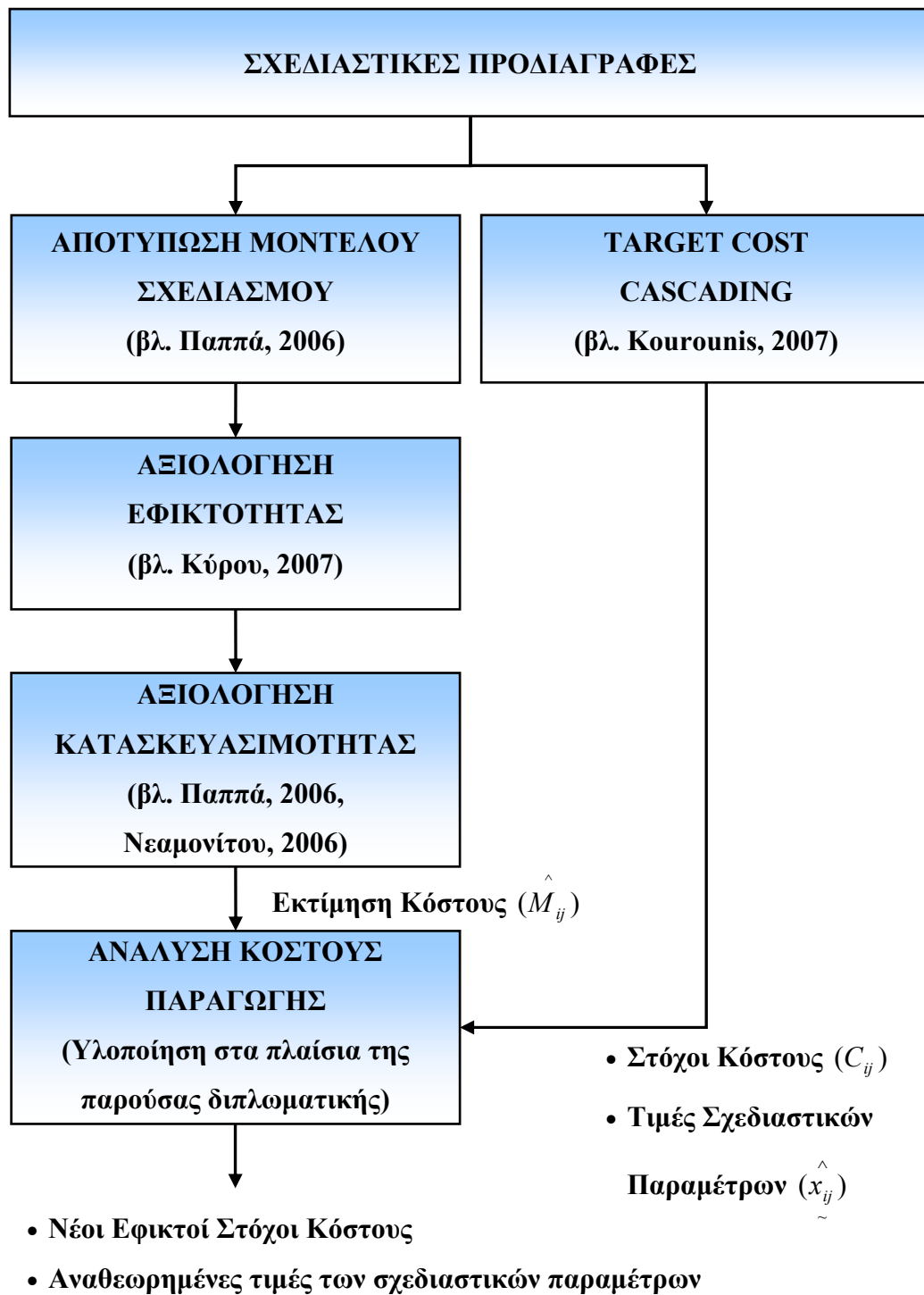
5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν Κεφάλαιο περιγράφεται η υλοποίηση της μεθόδου Σύγκλισης του Κόστους Παραγωγής προς τους Στόχους της Αγοράς. Επίσης περιγράφεται η εφαρμογή της μεθόδου σε ένα πολύπλοκο συναρμολόγημα.

Η υλοποίηση της μεθόδου που παρουσιάστηκε στα Κεφάλαια 3 και 4 στηρίζεται σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic.Net 2003 και βάση δεδομένων SQL Server 2000. Το Σχήμα 5.1 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του συνολικού συστήματος που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο DeOPSys για την υλοποίηση της μεθόδου του ερευνητικού πλαισίου του Σχήματος 2.1.

Αρχικά μοντελοποιείται το υπό σχεδίαση προϊόν στη βάση δεδομένων του συστήματος, χρησιμοποιώντας το προκαταρκτικό σχέδιο και τον πίνακα υλικών (βλ. Κεφάλαιο 2.3). Στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση του προϊόντος ως προς την εφικτότητα κατασκευής και δημιουργούνται φασεολόγια με τις εφικτές κατεργασίες ανά είδος της κατασκευαστικής δομής (βλ. Κεφάλαιο 2.3). Στην αξιολόγηση κατασκευασιμότητας, υπολογίζονται οι εκτιμήσεις κόστους κάθε είδους με βάση τους χρόνους προετοιμασίας (set up) και κύριας λειτουργίας (run) ανά κατεργασία. Παράλληλα από την μέθοδο *Target Cost Cascading* υπολογίζονται, για κάθε είδος οι αντίστοιχοι στόχοι κόστους, καθώς και οι βέλτιστες τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων, λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις της αγοράς.



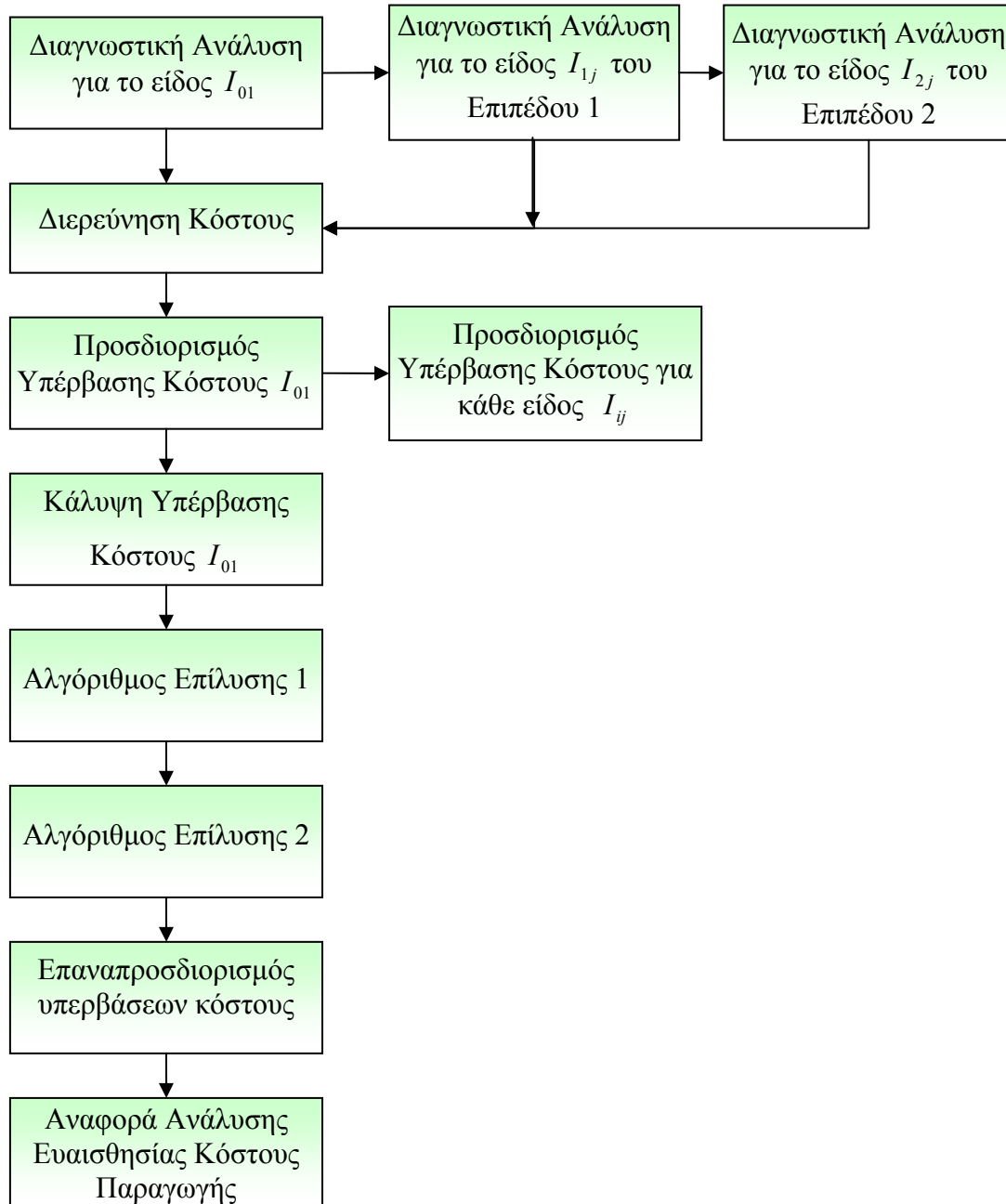
Σχήμα 5.1 Το συνολικό σύστημα

Οι στόχοι κόστους C_{ij} και οι εκτιμήσεις κόστους \hat{M}_{ij} αποτελούν εισροές στο module που υλοποιεί τις μεθόδους που περιγράφονται στην παρούσα εργασία (βλ. επίσης και Kourounis, 2007). Το τελευταίο αυτό module του συστήματος υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζεται στη συνέχεια. Τα υπόλοιπα modules του συνολικού συστήματος έχουν υλοποιηθεί στα πλαίσια του ερευνητικού έργου του εργαστηρίου DeOPSys του ΤΜΟΔ (σχετικές αναφορές παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1).

Στο Σχήμα 5.2 περιγράφεται η αρχιτεκτονική του module της παρούσας εργασίας. Πρώτο στάδιο αποτελεί η διαγνωστική ανάλυση. Αρχικά αναλύεται το τελικό προϊόν I_{01} . Μέσω της ανάλυσης αυτής παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις κόστους, οι στόχοι κόστους, το κόστος κατεργασιών και οι εγγενείς αποκλίσεις του προϊόντος I_{01} και των συναρμολογημάτων I_{1j} του Επιπέδου 1. Κάθε συναρμολόγημα του πρώτου επιπέδου I_{1j} αναλύεται περαιτέρω (μέσω υπερσύνδεσης) αποδίδοντας αντίστοιχες πληροφορίες για το συναρμολόγημα I_{1j} και τα είδη του επόμενου επιπέδου I_{2j} . Στο δεύτερο στάδιο της υλοποίησης για κάθε συναρμολόγημα δίνεται η δυνατότητα περαιτέρω ανάλυσης του κόστους των κατεργασιών παραγωγής. Δηλαδή, παρουσιάζονται οι χρόνοι προετοιμασίας και κύριας λειτουργίας κάθε κατεργασίας καθώς και οι αντίστοιχες εκτιμήσεις κόστους. Στο επόμενο στάδιο προσδιορίζονται οι υπερβάσεις και οι εξοικονομήσεις κόστους για το προϊόν I_{01} και για τα υπόλοιπα συναρμολογήματα και είδη (μέσω κατάλληλων υπερσυνδέσεων).

Ακολουθεί η υλοποίηση της μεθόδου ανακαντανομής κόστους, η οποία αποτελείται από τρία στάδια: Την κάλυψη της υπέρβασης κόστους του προϊόντος I_{01} και την

υλοποίηση των δύο αλγορίθμων για την ανακατανομή των στόχων κόστους των υπόλοιπων συναρμολογημάτων. Επίσης επαναπροσδιορίζονται οι υπερβάσεις κόστους ώστε να ανατροφοδοτηθεί η μέθοδος *TCC*.



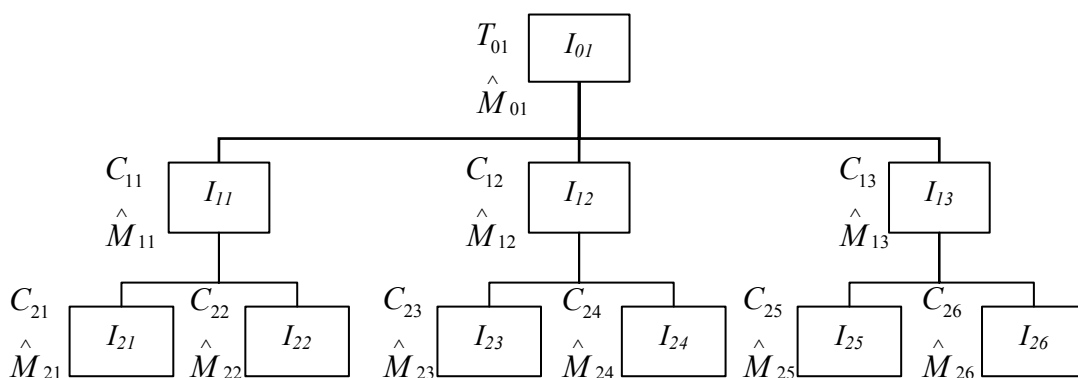
Σχήμα 5.2 Αρχιτεκτονική module Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής

5.2 Περιγραφή Λειτουργίας του Module Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής

Η υλοποίηση του module Ανάλυσης Κόστους Παραγωγής θα περιγραφεί μέσω παραδείγματος. Το τελευταίο παρουσιάζεται στην Ενότητα 5.2.1 κατωτέρω. Στην Ενότητα 5.2.2 παρουσιάζεται η εφαρμογή του module Ανάλυση Κόστους Παραγωγής στο παρακάτω παράδειγμα.

5.2.1 Θεωρητικό παράδειγμα Προϊόντος υπό Σχεδίαση

Έστω σκαρίφημα προϊόντος I_{01} . Η τεχνική προδιαγραφή του προϊόντος παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.3. Με δεδομένα τους αρχικούς στόχους C_{ij} , τις εκτιμήσεις κόστους κατασκευής M_{ij} και τα αντίστοιχα μοντέλα σχεδιασμού της TCC, ζητείται η ανάλυση κόστους παραγωγής του προϊόντος για την διευθέτηση των στόχων κόστους.



Σχήμα 5.3 Πίνακας Υλικών προϊόντος I_{01}

Για κάθε συναρμολόγημα ή είδος του παραπάνω Πίνακα Υλικών αντιστοιχούν οι εκτιμήσεις κόστους όπως προκύπτουν από την αξιολόγηση κατασκευασιμότητας και οι στόχοι κόστους όπως προκύπτουν από την μέθοδο *Target Cost Cascading*. Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 Εκτιμήσεις κόστους και στόχων κόστους

Συναρμολόγημα	Εκτίμηση Κόστους \hat{M}_{ij}	Στόχος Κόστους C_{ij}	Κόστος Συναρμολόγησης C_{ij}^0
I_{01}	76,80	65,80	8,38
I_{11}	31,30	19,30	0,20
I_{12}	25,32	15,12	0,12
I_{13}	10,00	30,00	0,50
I_{21}	10,00	9,00	-
I_{22}	10,30	10,30	-
I_{23}	9,00	8,00	-
I_{24}	10,00	9,00	-
I_{25}	9,50	15,50	-
I_{26}	10,00	14,00	-

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις κόστους και προστίμου των συναρμολογημάτων του πρώτου επιπέδου. (Σημειώνεται ότι οι συναρτήσεις αυτές είναι ίδιες με αυτές του παραδείγματος της Ενότητας 4.3).

Πίνακας 5.2 Συναρτήσεις κόστους και προστίμου

Συναρμολόγημα	Συνάρτηση Κόστους	Συνάρτηση Προστίμου
I_{11}	$C_{11}(x_{11}) = 2x_{111}^2 + 5x_{112}^2 + 6$	$P_{11}(x_{11}) = \frac{1}{x_{111} + 3x_{112}}$
I_{12}	$C_{12}(x_{12}) = 3x_{121}^2 + 2x_{122}^2 + 4$	$P_{21}(x_{12}) = \frac{1}{3x_{121} + 12x_{122}}$

Οι αντίστοιχες συναρτήσεις του I_{01} δεν δίνονται καθότι στο παράδειγμα η υπέρβαση κόστους e_{01} διευθετείται στο πρώτο στάδιο της μεθόδου. Επίσης οι συναρτήσεις του I_{13} δεν δίνονται καθότι το συναρμολόγημα παρουσιάζει εξοικονόμηση κόστους και δεν εξετάζεται περαιτέρω. Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι βέλτιστες τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών που προέρχονται από την μέθοδο *Target Cost Cascading*.

Πίνακας 5.3 Σχεδιαστικές μεταβλητές

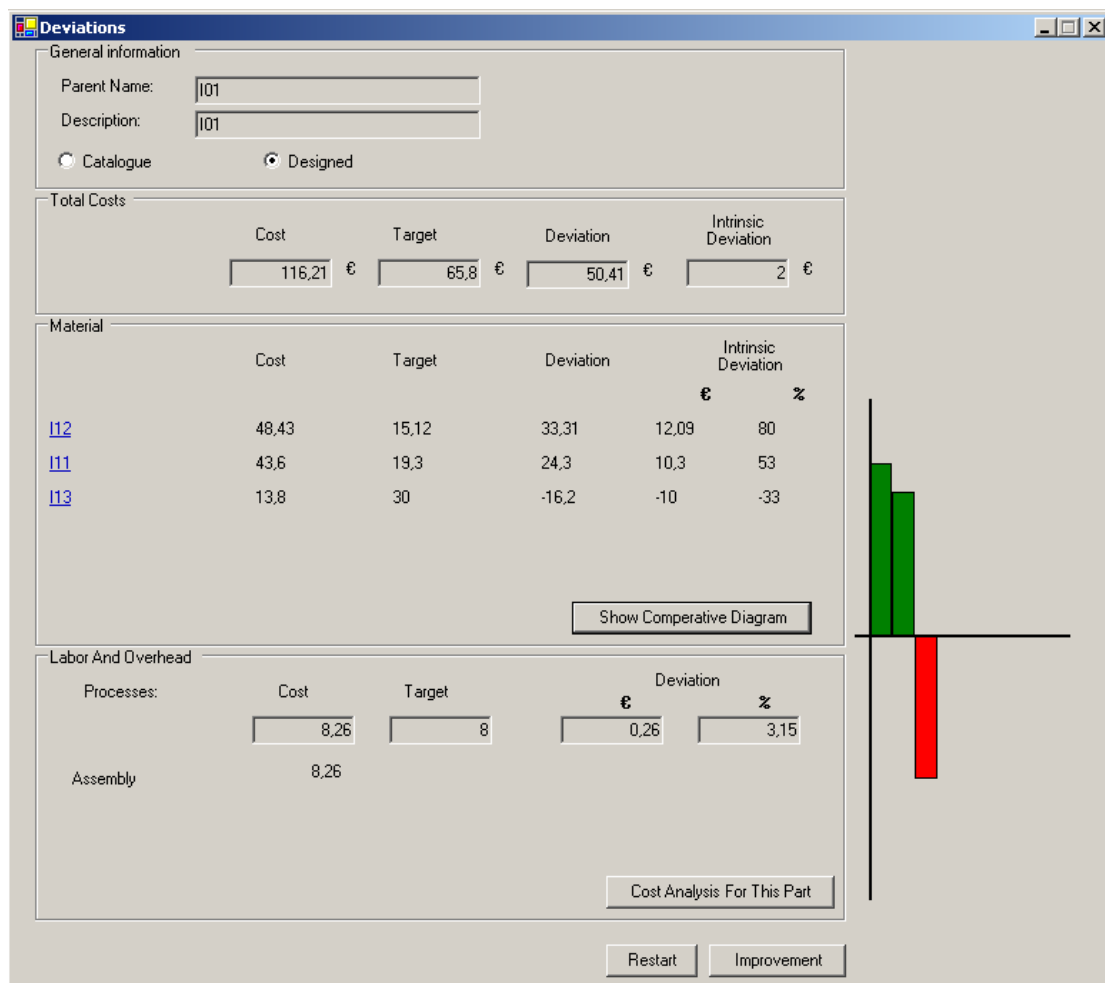
Συναρμολόγημα	Σχεδιαστικές μεταβλητές	
I_{11}	$x_{111}^* = 3$	$x_{112}^* = 1$
I_{12}	$x_{121}^* = 2$	$x_{122}^* = 0,82$

Οι τιμές των σχεδιαστικών μεταβλητών για τα συναρμολογήματα I_{01} και I_{13} δεν δίνονται, καθώς δεν εξετάζονται στο συγκεκριμένο παράδειγμα.

5.2.2 Ανάλυση Κόστους Παραγωγής

Στάδιο 1 – Διαγνωστική Ανάλυση

Ο χρήστης - σχεδιαστής, μέσω της φόρμας «Deviations», έχει την δυνατότητα να προβάλλει την κατασκευαστική δομή του προϊόντος ανά επίπεδο, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4 για το επίπεδο 0. Από την συγκεκριμένη φόρμα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάθε συναρμολόγημα και να προβάλλει τα υποσυναρμολογήματά του με τις εκτιμήσεις κόστους \hat{M}_{ij} , τους στόχους κόστους C_{ij} και τις αντίστοιχες εγγενείς αποκλίσεις Δ_{ij} του καθενός.



Σχήμα 5.4 Διαγνωστική Ανάλυση του προϊόντος I_{01}

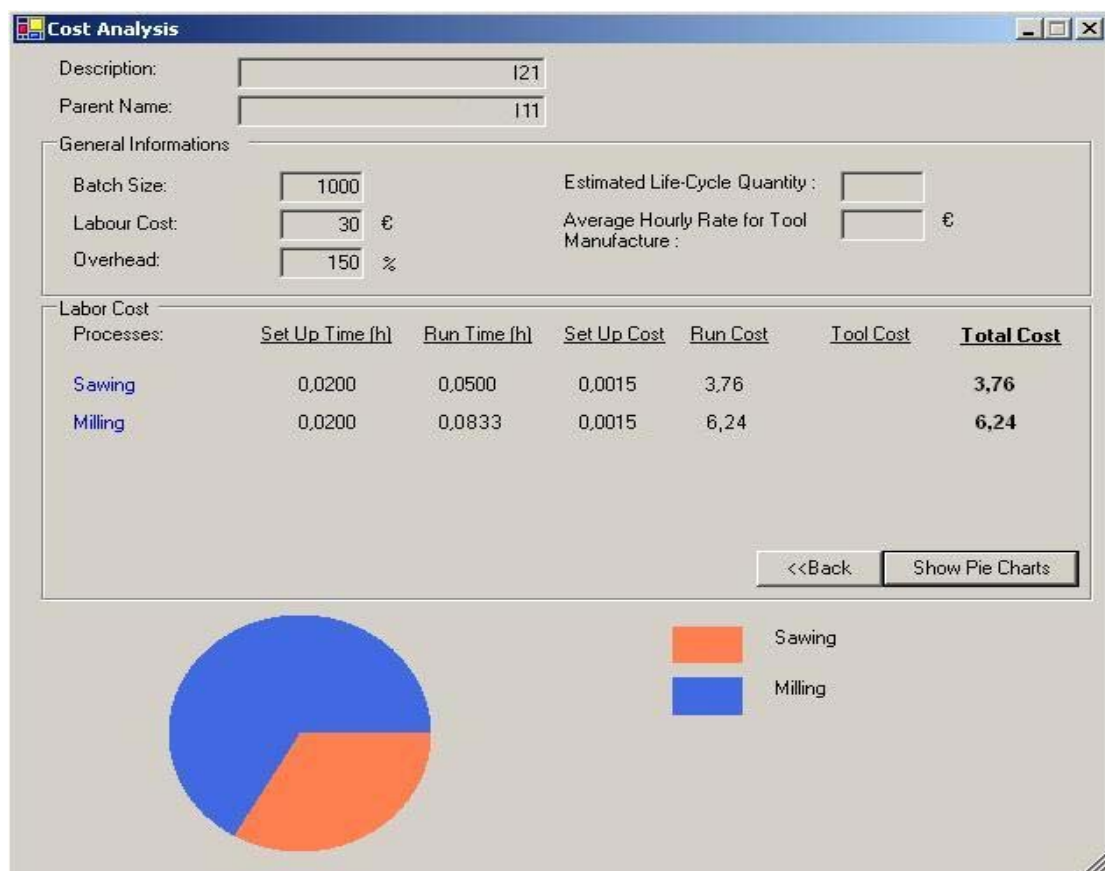
Η φόρμα του Σχήματος 5.4, αποδίδει τα στοιχεία κόστους για το Επίπεδο 0 και Επίπεδο 1 της κατασκευαστικής δομής του προϊόντος I_{01} . Συγκεκριμένα: η εκτίμηση κόστους του προϊόντος I_{01} είναι ίση με $\hat{M}_{01} = 116,21$ και ο στόχος κόστους $T_{01} = 65,8$ και η απόκλισή τους $\hat{M}_{01} - T_{01} = 50,41$. Οι τιμές αυτές προκύπτουν από το άθροισμα των αντίστοιχων τιμών κόστους των συναρμολογημάτων του πρώτου επιπέδου και του κόστους συναρμολόγησης $C_{01}^0 = 8,38$. Όπως προκύπτει η εγγενής απόκλιση του προϊόντος I_{01} σύμφωνα με την εξίσωση (3.7) είναι ίση με 2€ δηλαδή $(76,8 - 48,43 - 43,6 - 13,8) - 8,38 = 2$.

- Αντίστοιχα για κάθε συναρμολόγημα του πρώτου επιπέδου παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις κόστους και οι στόχοι κόστους όπως έχουν υπολογισθεί και αποθηκευτεί από την αξιολόγηση κατασκευασιμότητας και την μέθοδο *Target Cost Cascading*. Για παράδειγμα για το συναρμολόγημα I_{11} δίδονται η εκτίμηση κόστους $\hat{M}_{11} = 43,6$, ο στόχος κόστους $T_{11} = 19,3$, η απόκλιση $\hat{M}_{11} - T_{11} = 24,3$ και το κόστος συναρμολόγησης $C_{11}^0 = 29$. Η εγγενής απόκλιση του συναρμολογήματος είναι ίση με $(43,6 - 2 - 2,3) - 29 = 10,3$.
- Οι εγγενείς αποκλίσεις κατατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά, όπως φαίνεται στο διάγραμμα στο κάτω-δεξιά τμήμα της φόρμας.

Όπως παρουσιάστηκε στο Σχήμα 5.4 το προϊόν I_{01} παρουσιάζει υπέρβαση κόστους $e_{01} = 2$. Τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} καθώς και τα είδη I_{21} , I_{22} , I_{23} και I_{24} παρουσιάζουν εγγενείς υπερβάσεις κόστους, ενώ το συναρμολόγημα I_{13} και τα είδη I_{25} και I_{26} εγγενείς εξοικονομήσεις κόστους.

Στάδιο 2 – Διερεύνηση Κόστους

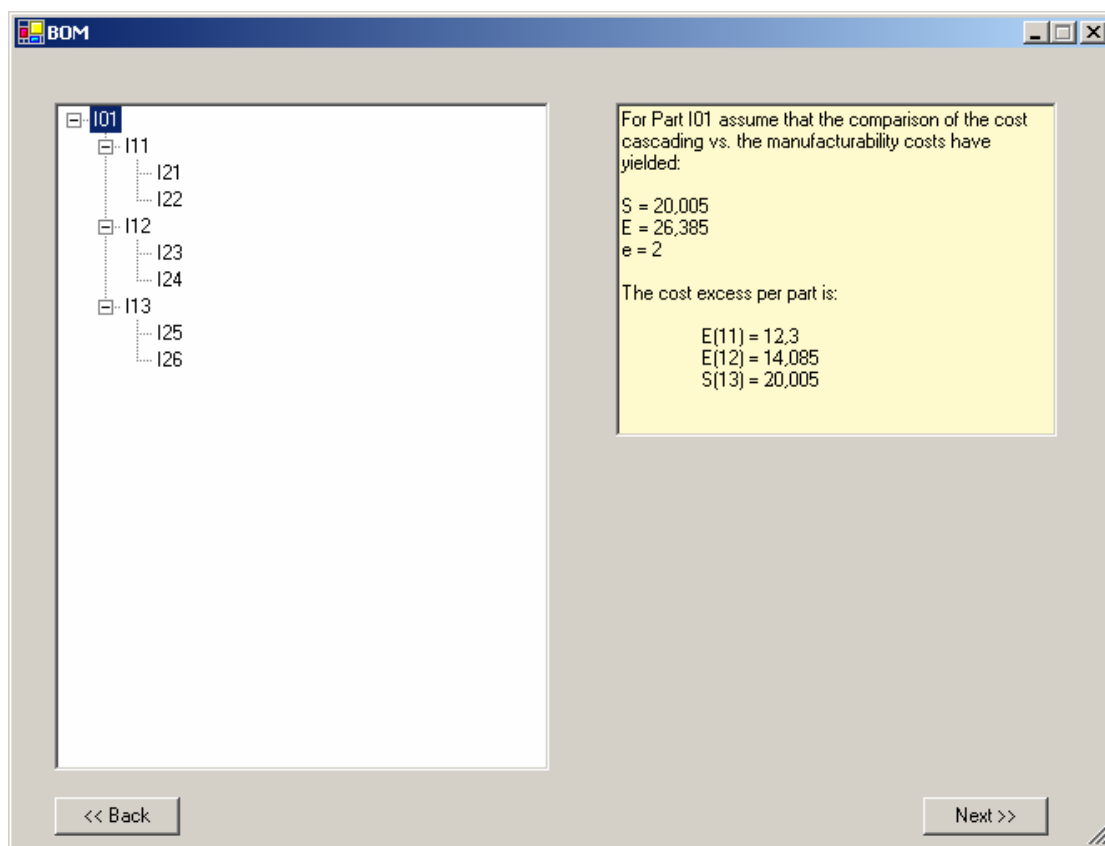
Το σύστημα παρέχει την δυνατότητα περαιτέρω ανάλυσης του κόστους μέσω του σταδίου της Διερεύνησης Κόστους. Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται η ανάλυση της εκτίμησης \hat{M}_{21} του κατασκευαστικού κόστους του συναρμολογήματος I_{21} . Τα σχετικά στοιχεία προκύπτουν ως αποτελέσματα της αξιολόγησης κατασκευασιμότητας για δύο κατεργασίες παραγωγής (Κοπή Μετάλλου με Πριόνι και Κοπή με Φρέζα). Στο Σχήμα 5.5 αναλύονται γενικά κοστολογικά χαρακτηριστικά παραγωγής και το τελικό φασεολόγιο το οποίο περιλαμβάνει τους χρόνους κάθε κατεργασίας διαχωρισμένους σε χρόνους προετοιμασίας (setup time) και χρόνους κύριας λειτουργίας (run time). Τα παραπάνω στοιχεία απαιτούνται για την εκτίμηση του κόστους παραγωγής του συναρμολογήματος.



Σχήμα 5.5 Διερεύνηση Κόστους για το είδος I_{21}

Στάδιο 3 – Προσδιορισμός υπερβάσεων κόστους

Στο τρίτο στάδιο της ανάλυσης κόστους παραγωγής προσδιορίζονται οι υπερβάσεις ή οι εξοικονομήσεις κόστους του πρώτου επιπέδου. Στην Φόρμα 5.5 εμφανίζεται η κατασκευαστική δομή του προϊόντος στην οποία παρουσιάζονται οι υπερβάσεις ή οι εξοικονομήσεις κόστους των συναρμολογημάτων του πρώτου επιπέδου και οι αντίστοιχες τιμές για κάθε συναρμολόγημα ή είδος αντίστοιχα.



Σχήμα 5.6 Παρουσίαση υπερβάσεων και εξοικονομήσεων κόστους

Βασιζόμενοι στην κατασκευαστική δομή του Σχήματος 5.3, στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η συνολική εξοικονόμηση κόστους $S = 20.005$ και η υπέρβαση κόστους του προϊόντος $e_{01} = 2$. Η συνολική υπέρβαση που προκύπτει από το

συναρμολόγημα I_{11} και τα είδη I_{21} και I_{22} είναι $E_{11} = 10.3$, η συνολική υπέρβαση που προκύπτει από το συναρμολόγημα I_{12} και τα είδη I_{23} και I_{24} είναι $E_{12} = 12.085$ ενώ η συνολική εξοικονόμηση που προκύπτει από το I_{13} και τα είδη I_{25} και I_{26} είναι $S_{13} = 10.005$.

Οι εγγενείς αποκλίσεις κάθε στοιχείου και κάθε επιπέδου της κατασκευαστικής δομής του προϊόντος I_{01} παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

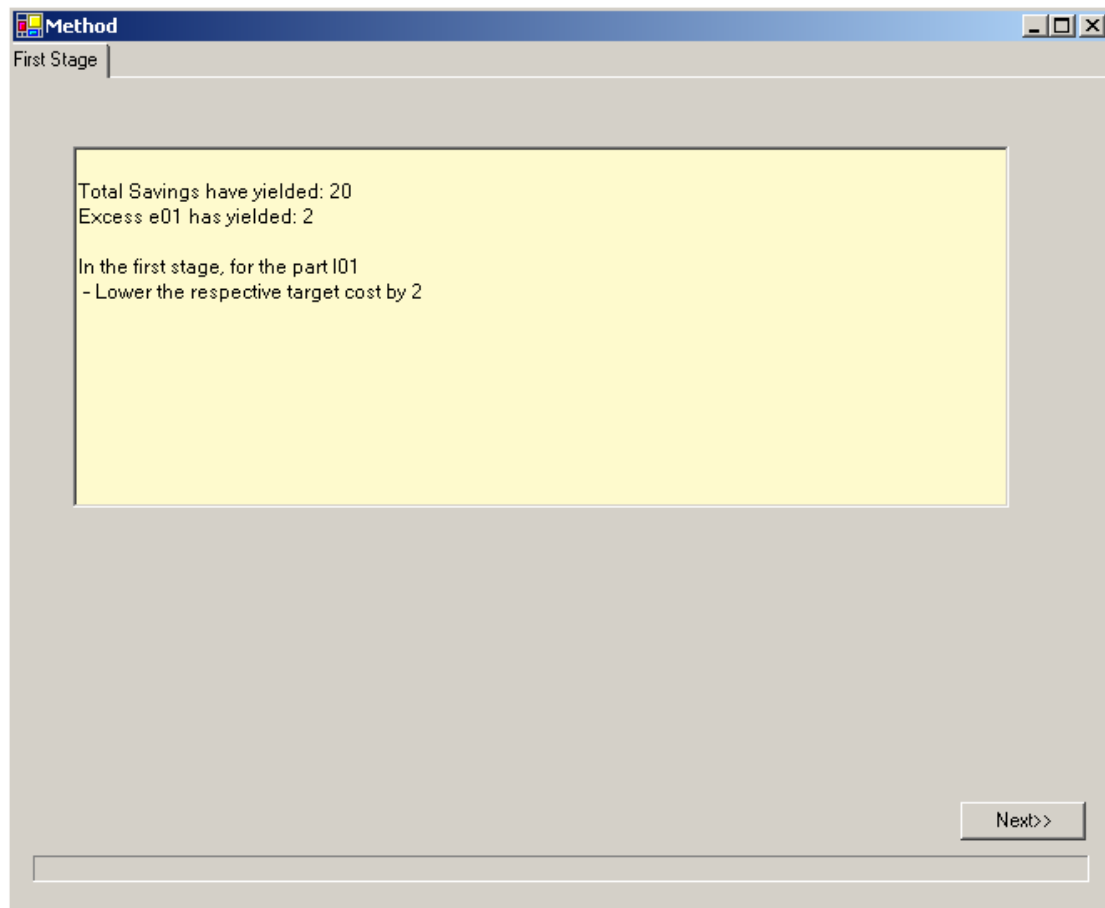
Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα εγγενών αποκλίσεων

Αποτελέσματα Εγγενών Αποκλίσεων				
Συναρμολόγημα	Εκτίμηση Κόστους M_{ij}	Στόχος Κόστους T_{ij}	Εγγενής Απόκλιση e_{ij}	Συνολική Εγγενής Απόκλιση E_{ij}
I_{01}	116,21	65,80	2,00	2,00
I_{11}	43,60	19,30	10,30	12,30
I_{12}	48,43	15,12	12,085	14,085
I_{13}	13,80	30,00	-10,00	-20,005
I_{21}	2,00	1,00	1,00	1,00
I_{22}	2,30	1,30	1,00	1,00
I_{23}	9,00	8,00	1,00	1,00
I_{24}	10,00	9,00	1,00	1,00
I_{25}	9,50	15,50	-6,00	-6,00
I_{26}	10,00	14,00	-4,00	-4,00

Στάδιο 4 – Κάλυψη υπέρβασης κόστους I_{01}

Με βάση την μέθοδο Σύγκλισης του Κόστους Παραγωγής προς τους Στόχους της Αγοράς κατά την Σχεδίαση νέων προϊόντων (βλ. Ενότητα 4.3.2), στο πρώτο στάδιο

της μεθόδου, μετά τον υπολογισμό της συνολικής εξοικονόμησης κόστους ακολουθεί η κάλυψη της υπέρβασης κόστους του προϊόντος I_{01} . Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται το συγκεκριμένο βήμα της μεθόδου.

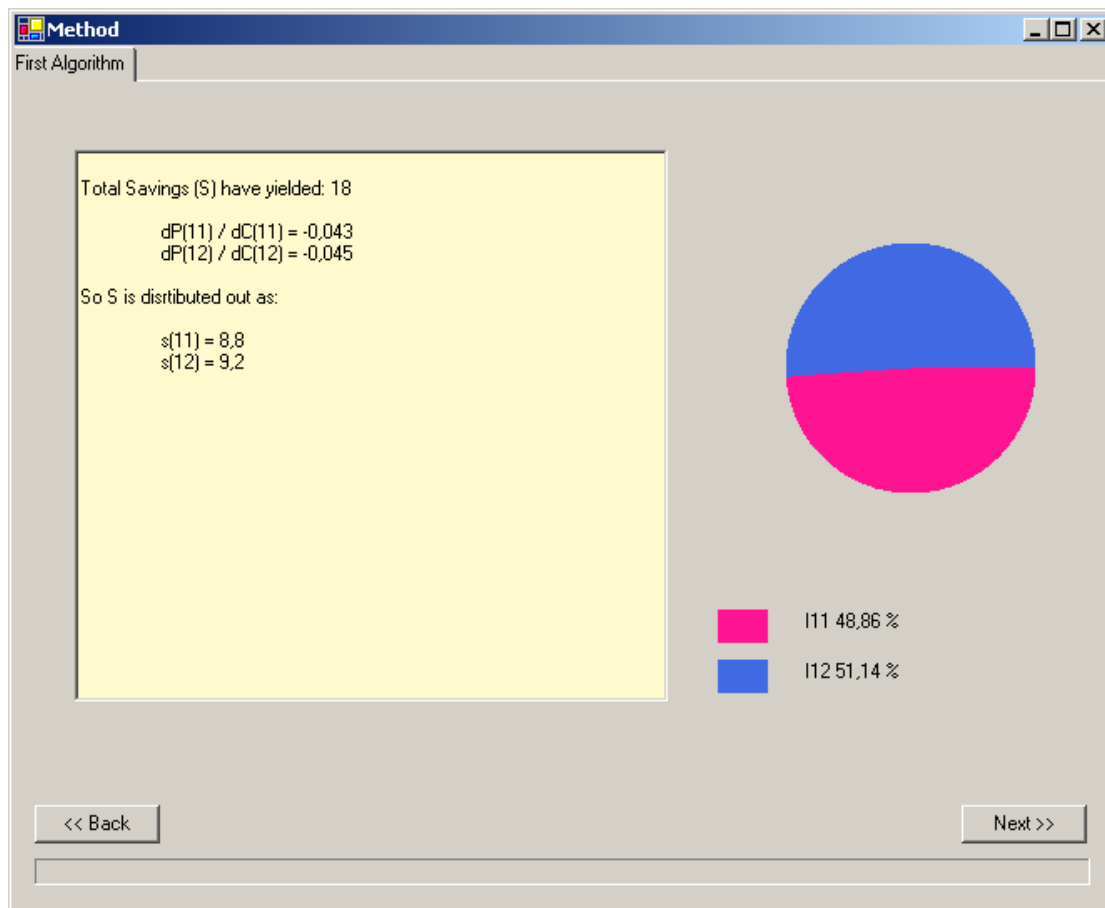


Σχήμα 5.7 Κάλυψη υπέρβασης κόστους του προϊόντος I_{01}

Εφόσον το προϊόν I_{01} παρουσιάζει υπέρβαση κόστους $e_{01} = 2$, καλύπτεται από την συνολική εξοικονόμηση κόστους. Επομένως η νέα εξοικονόμηση κόστους θα είναι $S = 18$ η οποία θα κατανομηθεί μέσω των αλγορίθμων του Κεφ. 4 στα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} , τα οποία παρουσιάζουν υπέρβαση κόστους. Το συναρμολόγημα I_{13} δεν εξετάζεται εφόσον παρουσιάζει εξοικονόμηση κόστους.

Στάδιο 5 - Αλγόριθμος Επίλυσης 1

Ο πρώτος προτεινόμενος αλγόριθμος επίλυσης ακολουθεί ποσοστιαία κατανομή της εξοικονόμησης κόστους. Στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται η υλοποίηση του αλγορίθμου.



Σχήμα 5.8 Υλοποίηση Αλγορίθμου επίλυσης 1

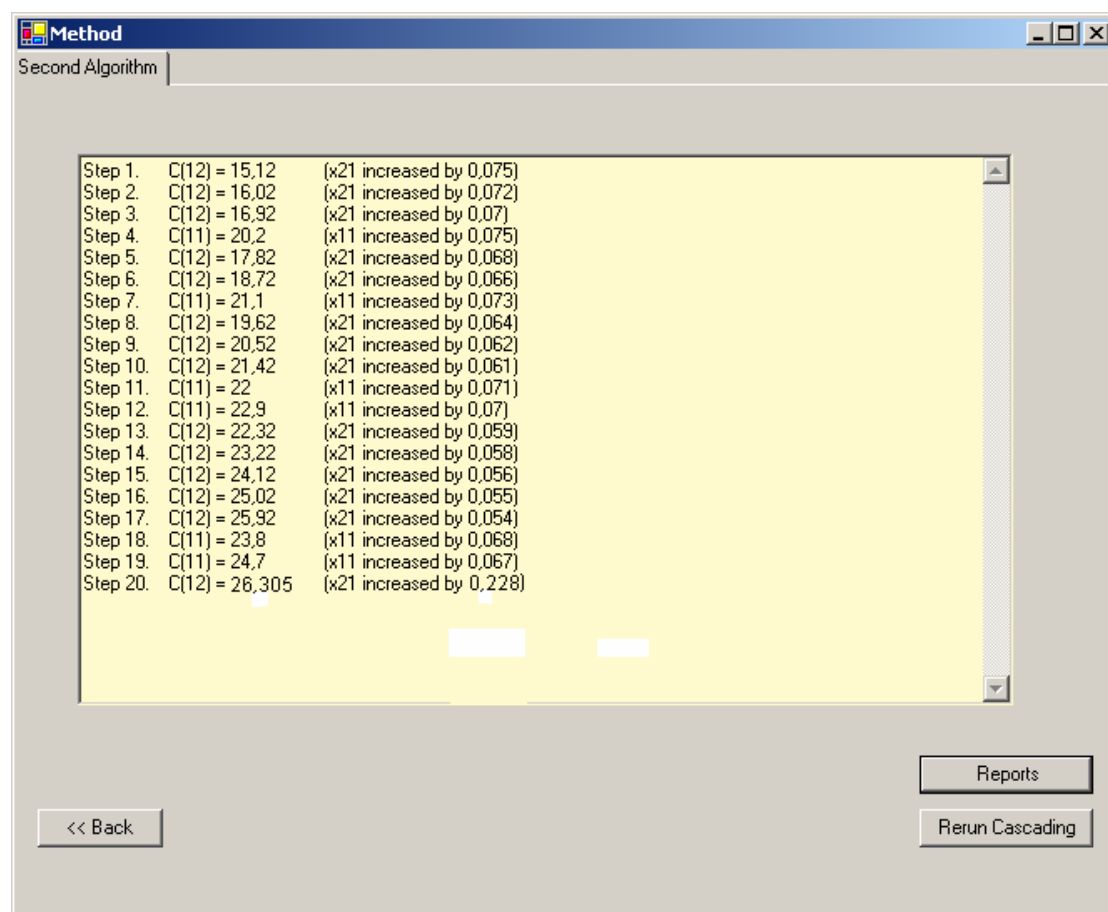
Για τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} με υπέρβαση κόστους $e_{11} = 10,3$ και $e_{12} = 12,09$ υπολογίζονται οι μερικές παράγωγοι κόστους $\partial C_{11} / \partial x_{11}$ και $\partial C_{12} / \partial x_{12}$ και οι μερικές παράγωγοι προστίμου $\partial P_{11} / \partial x_{11}$ και $\partial P_{12} / \partial x_{12}$ (βλ. Πίνακα 4.1). Το επόμενο βήμα του αλγορίθμου (βλ. Ενότητα 4.3.2) είναι ο υπολογισμός των παραγώγων dP_{11} / dC_{11} και dP_{12} / dC_{12} και όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.8 είναι -0.043 και -0.045 αντίστοιχα.

Οι εξοικονομήσεις κόστους που θα αντιστοιχούν στα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} δίδονται από την Εξ. (4.5). Στο συναρμολόγημα I_{11} κατανέμεται το 48,86% της συνολικής εξοικονόμησης κόστους, δηλαδή $\hat{\Sigma}_{11} = 8.8$ ενώ στο συναρμολόγημα I_{12} κατανέμεται το 51,14% δηλαδή $\hat{\Sigma}_{12} = 9.2$.

Στάδιο 6 - Αλγόριθμος Επίλυσης 2

Ο δεύτερος αλγόριθμος επίλυσης κατανέμει την συνολική εξοικονόμηση κόστους σταδιακά σε κάθε συναρμολόγημα το οποίο παρουσιάζει την μεγαλύτερη αλλαγή στην εκτίμηση κόστους με την μικρότερη μεταβολή στην σχετική απόδοση. Δηλαδή διασπά την συνολική εξοικονόμηση κόστους σε $\Delta_{ij} = \hat{\Sigma}_{ij}/n$ και καλύπτει την υπέρβαση κόστους του συναρμολογήματος εκείνου του οποίου φέρει την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της Εξ. (4.3). Δεδομένων των εξισώσεων κόστους και των βέλτιστων τιμών των σχεδιαστικών μεταβλητών, στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται η υλοποίηση του δεύτερου αλγόριθμου επίλυσης.

Η συνολική εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma} = 18$ διασπάται σε $\Delta = 18/20 = 0.9$. Σε κάθε βήμα κατανέμεται $\Delta = 0.9$ στο συναρμολόγημα με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της Εξ. (4.3).



Σχήμα 5.9 Υλοποίηση Αλγορίθμου Επίλυσης 2

Δεδομένου ότι ο υπολογισμός των μερικών παραγώγων κόστους και προστίμου, καθώς και οι ολικές παράγωγοι dP_{11}/dC_{11} και dP_{12}/dC_{12} είναι ακριβώς όπως στον Αλγόριθμο 1, στην πρώτη επανάληψη του Αλγορίθμου 2 επιλέγεται το συναρμολόγημα I_{12} με $dP_{12}/dC_{12} = -0.045$.

Η αύξηση του κόστους του συναρμολογήματος I_{12} επιφέρει μεταβολή και στις σχεδιαστικές μεταβλητές του (βλ. Ενότητα 4.3.3). Στο παρόν βήμα του αλγορίθμου εξετάζονται οι παράγωγοι κόστους του $dC_{12}/dx_{121} = 12$ και $dC_{12}/dx_{212} = 3.28$. Συνεπώς η σχεδιαστική μεταβλητή x_{121} επηρεάζει περισσότερο το κόστος του συναρμολογήματος I_{12} και αυξάνεται κατά $x_{121} = 2 + 0.075$ (βλ. Εξ. 4.16). Στον

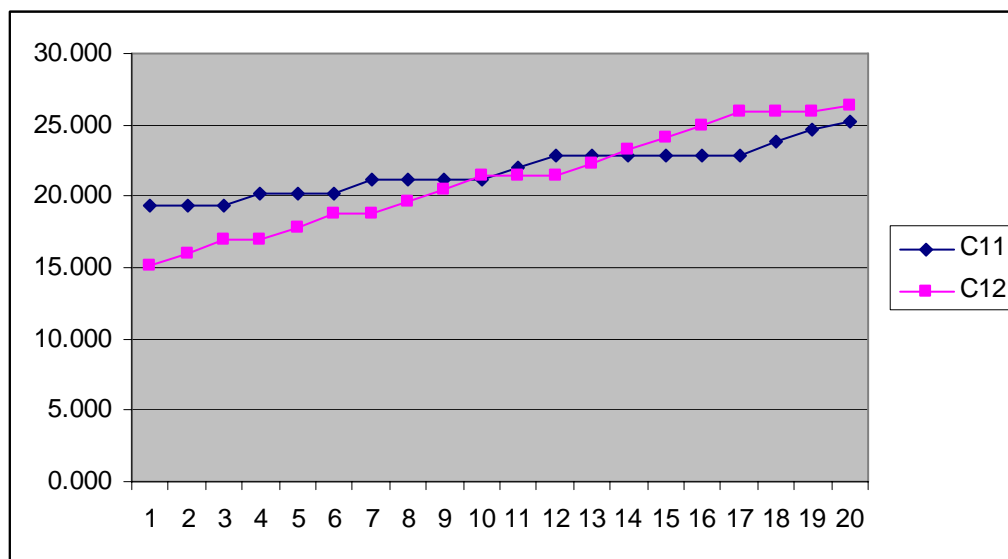
Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μερικών παραγώγων dP_{11}/dC_{11} και dP_{12}/dC_{12} , καθώς και η σταδιακή αύξηση του κόστους και των σχεδιαστικών μεταβλητών κάθε συναρμολογήματος για κάθε επανάληψη του Αλγορίθμου.

Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα αλγορίθμου επίλυσης 2

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ 2								
Step	I_{11}				I_{12}			
	dP_{11}/dC_{11}	x_{111}	x_{112}	C_{11}	dP_{12}/dC_{12}	x_{121}	x_{122}	C_{12}
1	-0,043	3	1	19,3	-0,045	2,075	0,86	15,12
2	-0,043	3	1	19,3	-0,044	2,147	0,86	16,02
3	-0,043	3	1	19,3	-0,044	2,217	0,86	16,92
4	-0,043	3,075	1	20,2	-0,043	2,217	0,86	16,92
5	-0,042	3,075	1	20,2	-0,043	2,285	0,86	17,82
6	-0,042	3,075	1	20,2	-0,043	2,351	0,86	18,72
7	-0,042	3,148	1	21,1	-0,042	2,351	0,86	18,72
8	-0,041	3,148	1	21,1	-0,042	2,415	0,86	19,62
9	-0,041	3,148	1	21,1	-0,042	2,477	0,86	20,52
10	-0,041	3,148	1	21,1	-0,042	2,538	0,86	21,42
11	-0,041	3,219	1	22,0	-0,041	2,538	0,86	21,42
12	-0,041	3,289	1	22,9	-0,041	2,538	0,86	21,42
13	-0,04	3,289	1	22,9	-0,041	2,597	0,86	22,32
14	-0,04	3,289	1	22,9	-0,041	2,655	0,86	23,22
15	-0,04	3,289	1	22,9	-0,041	2,711	0,86	24,12
16	-0,04	3,289	1	22,9	-0,041	2,766	0,86	25,02
17	-0,04	3,289	1	22,9	-0,041	2,82	0,86	25,92
18	-0,04	3,357	1	23,8	-0,04	2,82	0,86	25,92
19	-0,04	3,424	1	24,7	-0,04	2,82	0,86	25,92
20	-0,039	3,462	1	25,215	-0,04	3,048	0,86	26,305

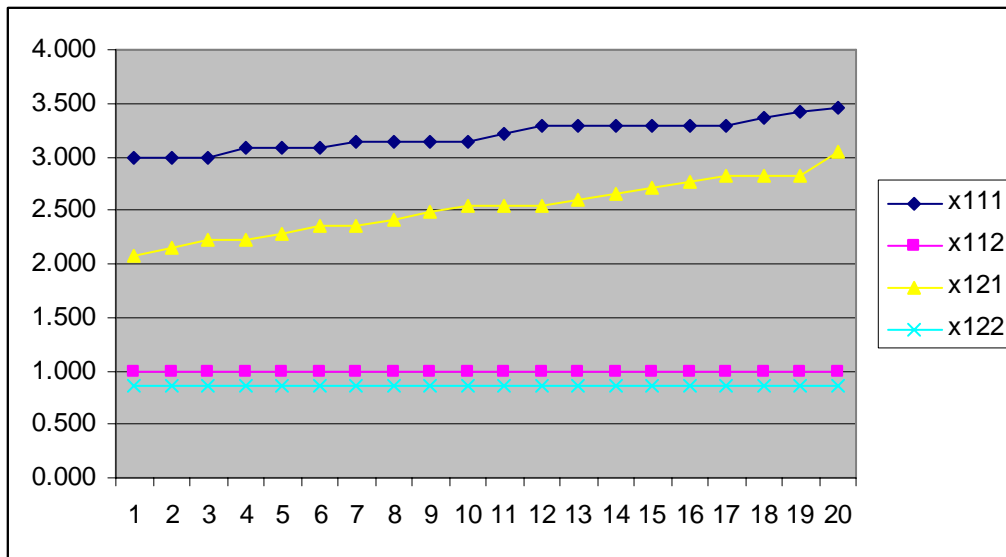
Παρατηρούμε ότι στην τελευταία επανάληψη η εξοικονόμηση κόστους Δ καλύπτει την υπέρβαση του συναρμολογήματος I_{12} . Παρατηρούμε επίσης ότι η υπέρβαση κόστους του συναρμολογήματος I_{12} υπερκαλύπτεται (βλ. Εξ. 5.2) κατά 0.385, άρα η εναπομείνασα εξοικονόμηση κόστους 0.515 κατανέμεται στο συναρμολόγημα I_{11} . Συνεπώς το νέο κόστος του συναρμολογήματος I_{11} είναι $C_{11} = 25.215$ και του συναρμολογήματος I_{12} $C_{12} = 26.305$.

Στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της μεταβολής του κόστους των δύο συναρμολογημάτων για κάθε επανάληψη του αλγορίθμου.



Σχήμα 5.10 Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του κόστους C_{11} και C_{12}

Αντίστοιχα στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της μεταβολής των σχεδιαστικών μεταβλητών των δύο συναρμολογημάτων για κάθε επανάληψη του αλγορίθμου.



Σχήμα 5.11 Γραφική απεικόνιση της μεταβολής των σχεδιαστικών μεταβλητών των συναρμολογημάτων I_{11} και I_{12}

Στάδιο 7 – Επαναπροσδιορισμός των υπερβάσεων κόστους

Αποτέλεσμα των δύο αλγορίθμων επίλυσης αποτελούν οι μειωμένες υπερβάσεις κόστους E_{11} και E_{12} για τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} . Στον πρώτο αλγόριθμο επίλυσης οι υπερβάσεις κόστους των συναρμολογημάτων προκύπτουν ως εξής:

$$\begin{aligned} E'_{11} &= E_{11} - \hat{\Sigma}_{11} = 10.3 - 8.8 = 1.5 \\ E'_{12} &= E_{12} - \hat{\Sigma}_{12} = 12.085 - 9.2 = 2.89 \end{aligned} \quad (5.1)$$

Παρατηρούμε ότι η υπέρβαση κόστους του συναρμολογήματος I_{11} καλύπτεται κατά

$\hat{\Sigma}_{11} = 8.8$ και η νέα υπέρβαση κόστους είναι $E_{11} = 3$ ενώ για το συναρμολόγημα I_{12}

καλύπτεται κατά $\hat{\Sigma}_{12} = 9.2$ και η νέα υπέρβαση κόστους είναι $E_{12} = 1$.

Τα αποτελέσματα από τον αλγόριθμο 2 έχουν αντίστοιχα ως εξής:

$$\begin{aligned} E_{11} &= 10.3 - 5.915 = 4.385 \\ E_{12} &= 12.085 - 12.085 = 0 \end{aligned} \quad (5.2)$$

Τα παραπάνω αποτελέσματα της μεθόδου αποτελούν τα νέα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στην ανατροφοδότηση της μεθόδου *Target Cost Cascading*. Τα συναρμολογήματα I_{11} και I_{12} θα εξεταστούν πλέον σαν ξεχωριστή κατασκευαστική δομή αποτελώντας το προϊόν του Επιπέδου 0. Υπενθυμίζεται ότι εφόσον η υπέρβαση κόστους e_{01} του προϊόντος I_{01} έχει καλυφθεί δεν επανεξετάζεται στην μέθοδο *Target Cost Cascading*. Επίσης τα είδη I_{13} , I_{25} και I_{26} , εφόσον δεν έχουν πλέον εγγενή εξοικονόμηση κόστους δεν επανεξετάζονται από την μέθοδο *Target Cost Cascading*. Η μέθοδος τερματίζει όταν διευθετηθούν οι υπερβάσεις κόστους κάθε συναρμολογήματος ή είδους.

Στάδιο 8 – Αναφορά Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Παραγωγής

Η συνολική αναφορά της Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Παραγωγής παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β. Περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της υλοποίησης της παρούσας μεθόδου του προϊόντος του Σχήματος 5.3. Οι βασικές ενότητες της αναφοράς αυτής είναι το Στάδιο της Ανακατανομής Κόστους (βλ. Ενότητα 4.2), τα αποτελέσματα των δύο αλγορίθμων επίλυσης (βλ. Ενότητα 4.3) και το Στάδιο του Επαναπροσδιορισμού κόστους των δυο συναρμολογημάτων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνεται μέθοδος σύγκλισης του κόστους παραγωγής προς τους στόχους της αγοράς κατά την σχεδίαση νέων προϊόντων. Οι εκτιμήσεις του κόστους παραγωγής προέρχονται από το στάδιο της αξιολόγησης κατασκευασιμότητας του σκαριφήματος ενός νέου προϊόντος (*Manufacturability Analysis*), ενώ οι επιμέρους στόχοι κόστους από το στάδιο της κατανομής του συνολικού στόχου του κόστους του προϊόντος (*Target Cost Cascading*) στα επιμέρους συναρμολογήματα.

Αρχικά έγινε διάγνωση και ανάλυση των αποκλίσεων κόστους κάθε συναρμολογήματος ή είδους. Κατανεμήθηκε η εξοικονόμηση κόστους στα συναρμολογήματα με θετικές εγγενείς αποκλίσεις, με σκοπό την μείωση της διαφοράς του κατασκευαστικού κόστους από τον στόχο κόστους κάθε συναρμολογήματος ή είδους. Επιπλέον παρουσιάστηκε μελέτη περίπτωσης προϊόντος I_{01} στην οποία αναδείχθηκε η υλοποίηση της παραπάνω μεθόδου σε πληροφοριακό σύστημα.

Η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για την ομάδα σχεδιασμού στα αρχικά στάδια ανάπτυξης ενός προϊόντος ως προς τα εξής:

- *Αξιολόγηση προκαταρκτικών σχεδιαστικών λύσεων.* Το γεγονός ότι παρέχεται ένα ολοκληρωμένο αποτέλεσμα κόστους και στόχου κόστους του προϊόντος, χρησιμοποιώντας την παρούσα προσέγγιση, διευκολύνει την αξιολόγηση μιας σχεδιαστικής λύσης στα αρχικά στάδια σχεδιασμού ενός προϊόντος.

- *Βελτίωση του σχεδιασμού του προϊόντος.* Η βελτίωση του σχεδιασμού του προϊόντος μπορεί να επιτευχθεί μέσω των αποτελεσμάτων της παρούσας μεθόδου. Συγκεκριμένα, η ομάδα σχεδιασμού μπορεί να επικεντρωθεί στις μεταβολές και στις τελικές τιμές των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών για να βελτιώσει την αρχική σχεδιαστική λύση.
- *Διευθέτηση Αποκλίσεων Κόστους.* Με την παρούσα μέθοδο Σύγκλισης κόστους, διευθετούνται οι στόχοι κόστους, με σκοπό την μείωση της διαφοράς τους από τις εκτιμήσεις του κόστους παραγωγής. Η σύγκλιση αυτή γίνεται με στόχο την βέλτιστη απόδοση του προϊόντος και είναι σημαντική εφόσον πραγματοποιείται κατά την σχεδίαση του προϊόντος. Η έγκαιρη αυτή διευθέτηση, συνεισφέρει στην ισορροπία κόστους μεταξύ των συστατικών μερών του προϊόντος, καθώς και στον προσδιορισμό βέλτιστων τιμών των σχεδιαστικών μεταβλητών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adam B. Cooper, Panayotis Georgiopoulos, Hyung Min Kim, Panos Y. Papalambros. (2003). “Analytical Target Setting: An enterprise context in optimal product design”, Proceedings of DETC’03 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Design Automation Conference, Chicago, Illinois
2. Asiedu, Y., Gu, P., (1998). “Product life cycle cost analysis: State of the art review”, International Journal of Production Research, vol. 36, pp. 883–908.
3. Bralla, J. G. (1999). Design for Manufacturability Handbook, 2nd Ed., McGraw-Hill Professional, United States.
4. Clifton, M. B., Bird, H. M. B., Albano, R. E. and Townsend, W. P. 2004. “Target Costing: Market-Driven Product Design”, Marcel Dekker. Inc., New York .
5. Cooper, R. and Slagmulder, R. 1997. “Target costing and Value engineering”, Productivity Press, Portland.
6. Griffin A. and Hauser J. R. 1993, “The Voice of the Customer”, Marketing Science, 12, Winter, pp. 1-27.
7. Gupta, S. K. (1994). Automated Manufacturing Analysis of Machined Parts. PhD thesis, University of Maryland, College Park, MD 20742 USA
8. Hayes, C. C., Desa, S. and Wright, P. K. (1989) .Using Process Planning Knowledge to Make Design Suggestions Concurrently., In Concurrent Product and Process Design, N. H. Chao and S. C. Y. Lu, editors, ASME Winter Annual Meeting, pp. 87.92.

9. Hayes, C.C., and Sun, H. C. (1994) .Plan-Based Generation of Design Suggestions.. In Concurrent Product Design, R. Gadh, editor, ASME Winter Annual Meeting, Design Engineering Division, ASME, New York, , pp. 59.69
10. Hsu, Wynne, C. S., George Lee, and Su, S. F. (1993) .Feedback approach to design for assembly by evaluation of assembly plan. Computer Aided Design, vol. 25, pp. 395.410.
11. Ishii, Kosuke. (1993) .Modeling of concurrent engineering design. In Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques, Andrew Kusiak, editor, John Wiley & Sons, Inc., pp. 19.39.
12. Jakiela, M., and Papalambros, P. (1989) .Design and implementation of a prototype intelligent CAD system. ASME Journal of Mechanisms, Transmission, and Automation in Design, vol. 111.
13. Jeremy J. Michalek, Fred M. Feinberg, Panos Y. Papalambros. (2004).”An optimal Marketing and Engineering Design Model for Product Development Using Analytical target Cascading”. Tools and Methods of Competitive Engineering, Millpress
14. Kaplan, R. S. and Cooper, R. 1998. “Cost and Effect: Using Integrated Cost Systems to drive Profitability and Performance”, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts.
15. Kim, H. M., Kokkolaras, M., Louca, L., Delagrammatikas, G., Michelena, N., Filipi, Z., Papalambros, P.Y., and Assanis, D. (2002) "Target Cascading in Vehicle Redesign: A Class VI Truck Study," International Journal of Vehicle Design, v29, v3, pp. 199-225.

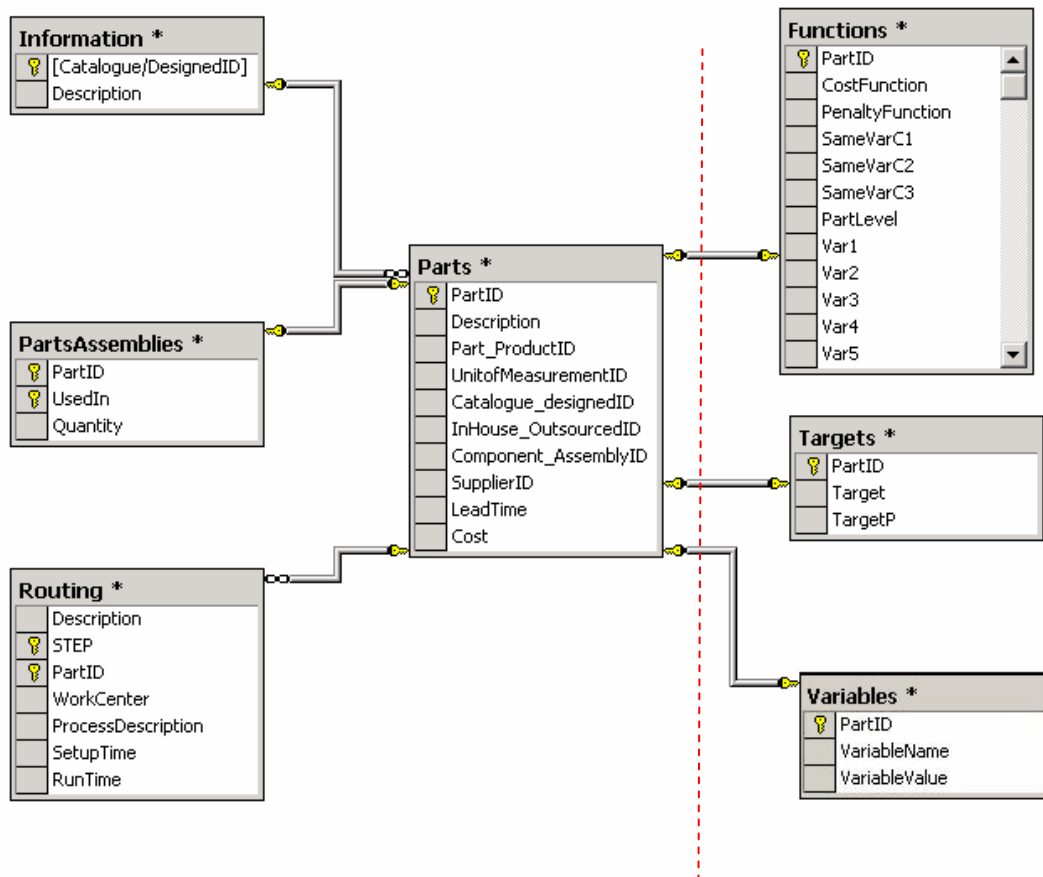
16. Kourounis, T., Minis, I., “Target Cost Cascading and Analytical Target Cost Cascading for New Product Design and Development”, Working Paper
17. Magrab, E. B. (1997). Integrated Product and Process Design and development, CRC Press, Boca Raton, FL.
18. Minis, I. and Kourounis, T. C. (2006). Estimation of target selling price in new product development., ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, September 10-13, 2006, Philadelphia, Pennsylvania, USA
19. Minis, I., Herrmann, W. J., Lam, G. and Lin, E. (1999). “A Generative Approach for Design Evaluation and Partner Selection for Agile Manufacturing”, Journal of Manufacturing Systems, vol. 18, 383-395.
20. Oberg, E., Jones, F.D., Horton, H.L., Ryffel, H.H. (2000). Machinery’s Handbook, 16 nd Ed., Industrial Press Inc., New York
21. Papalambros et al. (1999). “A System Partitioning and Optimization Approach to Target Cascading”, International Conference on Engineering Design
22. Rosen, David W., John R. Dixon, Corrado Poli, and Xin Dong. (1992) .Features and algorithms for tooling cost evaluation in injection molding and die casting.. In Proceedings of the ASME International Computers in Engineering Conference, ASME, pp. 1-8.
23. Sakurai, M., 1989. “Target costing and how to use it”. Journal of Cost Management, 3, (summer).

24. Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. 2004. "Product Design and Development", McGraw-Hill /Irwin series in marketing, 3rd ed., New York.
25. Vollmann, T. E., Berry, W. L. and Whybark, D.C. (1997). Manufacturing planning and control systems, 4th Ed., Irwin/McGraw Hill, New York.
26. Κουρούνης, Τ. (2003). Στοχευμένη κοστολόγηση για τη βελτίωση σχεδιασμού νέων προϊόντων, Doctoral research proposal, «Ηράκλειτος: Υποτροφίες έρευνας με προτεραιότητα τη βασική έρευνα», Μέτρο 2.2.
27. Κύρου, Κ. (2007). Ανάλυση Εφικτότητας Παραγωγής Κατεργασιών Κοπής και Διαμόρφωσης, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος.
28. Μίνης, Ι. (2000). Σημειώσεις 1 Εξαμήνου από το μάθημα «Συστήματα Παραγωγής», Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος.
29. Νεαμονίτου, Α. (2006). Μοντελοποίηση και μέθοδοι ανάλυσης κατασκευασιμότητας απλών συναρμολογημάτων, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος.
30. Παππά, Β. (2006). Μοντελοποίηση και μέθοδοι ανάλυσης κατασκευασιμότητας απλών συναρμολογημάτων, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Πληροφοριακό Μοντέλο – Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο παρόν παράρτημα συνοψίζεται το πληροφοριακό μοντέλο στο οποίο αναπτύχθηκε η παρούσα εργασία και το θεωρητικό υπόβαθρο των δυο προσεγγίσεων, της ανάλυσης κατασκευασιμότητας και του *Target Cost Cascading* (Kourounis, 2007).



Σχήμα Α.1 Σχέση μεταξύ πινάκων πληροφοριακού μοντέλου

Το πληροφοριακό μοντέλο υλοποιείται σε Σχήμα (Schema) σχεδιαστικής βάσης δεδομένων. Απαρτίζεται από στατικούς και δυναμικούς πίνακες οι οποίοι συνδέονται

μεταξύ τους βασιζόμενοι σε κοινά πεδία. Η σύνδεση της βάσης με το περιβάλλον εργασίας υλοποιείται με ερωτήματα SQL.

Στο σχήμα A.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι πίνακες της βάσης δεδομένων. Στο πρώτο επίπεδο (αριστερά) του σχήματος, οι πίνακες έχουν αποθηκευμένα στοιχεία από την ανάλυση κατασκευασιμότητας (βλ. Κεφ. 2.3). Οι πληροφορίες που εξάγονται από τους πίνακες αυτούς, σχετίζονται με την περιγραφή των συναρμολογημάτων, τον τρόπο σύνδεσής τους και το φασεολόγιό τους. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται στα δύο πρώτα στάδια της παρούσας προσέγγισης, την διαγνωστική ανάλυση και την διερεύνηση κόστους. Στο δεύτερο επίπεδο, παρουσιάζονται οι πίνακες που σχετίζονται με το *Target Cost Cascading* (βλ. Κεφάλαιο 3.2) και την Ανάλυση Ευαισθησίας Κόστους Παραγωγής. Τα στοιχεία τους, σχετίζονται με τους στόχους κόστους, τις συναρτήσεις κόστους, τις συναρτήσεις προστίμου καθώς και τις σχεδιαστικές μεταβλητές.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - Αναφορά Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Παραγωγής

Trade of Analysis

I. Stage 1

- For the part I01 there is cost excess $e_{01} = 2$
- Settle with $S = 20,005$
- So new $S = 18,005$
- For each part of Level 1, the total of all excess cost are: $E(11) = 10,3$,
 $E(12) = 12,0852$
- Distribute S to parts using these algorithms below

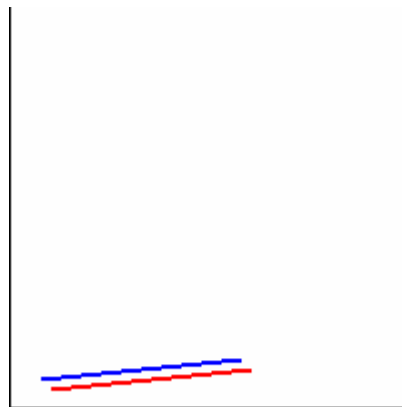
II. First Algorithm

- Distribute to I11 48,86 % of Savings
- Distribute to I12 51,14 % of Savings

III. Second Algorithm

Run the procedure 20 times and at each step give a 0,9 to the item with the max slope

Part	New Cost	Variable 1	Variable 2
I11	34,45	$x_{11}=3,424$	$x_{12}=1$
I12	30,11	$x_{21}=2,873$	$x_{22}=0,82$



IV. Stage 2

- **First Algorithm:**
- Lower the respective target cost as: $C(11) - 1,5 < T(11)$
- Lower the respective target cost as: $C(12) - 2,89 < T(12)$
- **Second Algorithm:**
- Lower the respective target cost as: $C(11) - 4,9 < T(11)$
- The respective target cost of I12 has distributed: So $E12 = 0$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Γ1. Βασικές Έννοιες και Ορισμοί

Θεωρείστε την κατασκευαστική δομή του Σχήματος 3.4. Λαμβάνοντας υπόψη την διαδικασία σύγκρισης του στόχου κόστους και του κόστους παραγωγής, την οποία περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 3, ορίζουμε τα εξής:

- Στην περίπτωση που για ένα συναρμολόγημα ή είδος I_{ij} ο στόχος κόστους T_{ij} είναι μεγαλύτερος από το κόστος παραγωγής M_{ij} τότε η διαφορά αποτελεί Εξοικονόμηση κόστους και ορίζεται από το σύμβολο σ_{ij} (savings), δηλαδή

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} T_{ij} - M_{ij}, & \text{αν } T_{ij} - M_{ij} \geq 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (\Gamma.1)$$

- Στην περίπτωση που για ένα συναρμολόγημα ή είδος I_{ij} ο στόχος κόστους T_{ij} είναι μικρότερος από το κόστος παραγωγής M_{ij} τότε η διαφορά αποτελεί Υπέρβαση κόστους και ορίζεται από το σύμβολο e_{ij} (excess), δηλαδή

$$e_{ij} = \begin{cases} M_{ij} - T_{ij}, & \text{αν } M_{ij} - T_{ij} > 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (\Gamma.2)$$

Με βάση τα παραπάνω, σε κάθε συναρμολόγημα ή είδος I_{ij} της κατασκευαστικής δομής του Σχήματος 3.4, αντιστοιχεί εξοικονόμηση κόστους σ_{ij} ή υπέρβαση κόστους e_{ij} . Επιπλέον, για κάθε συναρμολόγημα που συντίθεται από άλλα είδη (υλικά)

ορίζονται οι τιμές E_{ij} οι οποίες περιλαμβάνουν τις συνολικές υπερβάσεις κόστους του συναρμολογήματος και των ειδών του. Συγκεκριμένα σε μία κατασκευαστική δομή τριών επιπέδων ($i = 0, 1, 2$), οι συνολικές για το επίπεδο 1 υπερβάσεις δίδονται από την εξίσωση:

$$E_{1j} = e_{1j} + \sum_{k \in S_{1j}} e_{2k} \quad (\Gamma.3)$$

όπου S_{1j} είναι το σύνολο των δεικτών των υλικών του συναρμολογήματος I_{1j} .

Για το επίπεδο 0 οι συνολικές υπερβάσεις δίδονται από:

$$E_{01} = e_{01} + \sum_{k \in S_{01}} E_{1k} \quad (\Gamma.4)$$

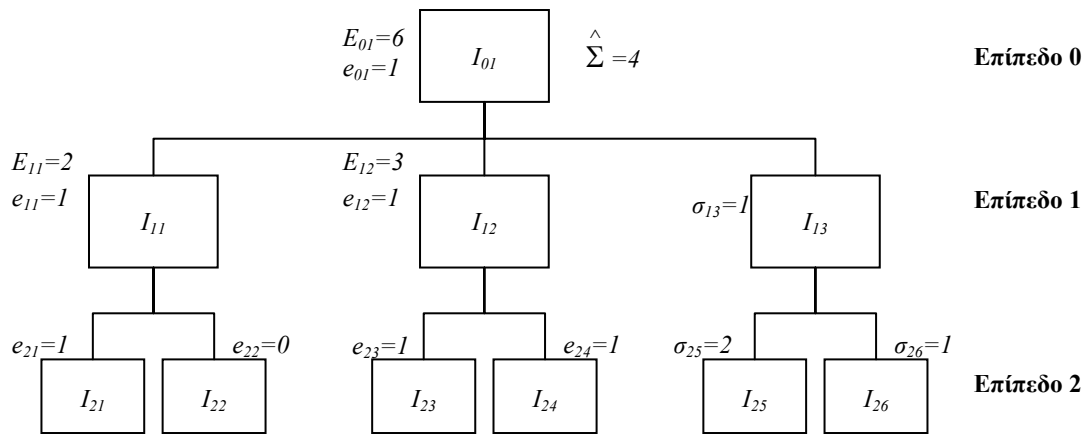
όπου S_{01} είναι το σύνολο των δεικτών των υλικών του προϊόντος I_{01} .

Επίσης ορίζεται η συνολική εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}$ για το προϊόν με βάση την εξίσωση

$$\hat{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 \sum_j \sigma_{ij} \quad (\Gamma.5)$$

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα παρουσιάζεται στο Σχήμα Γ.1. Κάθε συναρμολόγημα ή είδος παρουσιάζει Εξοικονόμηση (βλ. Εξ. Γ.1) ή Υπέρβαση (βλ. Εξ. Γ.2) κόστους. Ξεκινώντας από το δεύτερο επίπεδο του Σχήματος Γ.1

παρατηρούμε ότι τα είδη I_{21} , I_{23} και I_{24} παρουσιάζουν υπερβάσεις κόστους ($M_{ij} > T_{ij}$).



Σχήμα Γ.1 Κατασκευαστική δομή του προϊόντος I_{01}

Αντιθέτως τα είδη I_{25} και I_{26} παρουσιάζουν Εξοικονομήσεις κόστους ($M_{ij} \leq T_{ij}$), ενώ για το είδος I_{22} , $e_{22} = \sigma_{22} = 0$. Με βάση τα παραπάνω, παρατηρούμε ότι στα συναρμολογήματα του επιπέδου 1 του Σχήματος Γ.1 αντιστοιχούν τόσο οι εγγενείς αποκλίσεις (βλέπε Κεφάλαιο 3.3) $e_{11} = 1$, $e_{12} = 1$, $\sigma_{13} = 1$ όσο και οι συνολικές υπερβάσεις κόστους $E_{11} = e_{11} + (e_{21} + e_{22}) = 2$ και $E_{12} = e_{12} + (e_{23} + e_{24}) = 3$. Τελικά, για το προϊόν I_{01} , το οποίο παρουσιάζει εγγενή υπέρβαση κόστους $e_{01} = 1$, προκύπτει συνολική υπέρβαση κόστους $E_{01} = e_{01} + (E_{11} + E_{12}) = 1 + (2 + 3) = 6$ (βλ. Σχήμα Γ.1).

Τέλος, η συνολική εξοικονόμηση κόστους είναι $\hat{\Sigma} = \sigma_{25} + \sigma_{26} + \sigma_{13} = 2 + 1 + 1 = 4$.

Οι παραπάνω έννοιες και το μοντέλο *Target Cost Cascading* (βλέπε Κεφάλαιο 3.2) χρησιμοποιούνται για την κατανομή της συνολικής εξοικονόμησης κόστους στα συναρμολογήματα που παρουσιάζουν υπέρβαση κόστους, με απώτερο στόχο την

βελτίωση και ελαχιστοποίηση των διαφορών μεταξύ στόχων και εκτιμήσεων κόστους.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η προτεινόμενη προσέγγιση και τα αντίστοιχα στάδια υλοποίησης της μεθόδου.

Γ.2 Μέθοδος Κατανομής Αποκλίσεων Κόστους (Kourounis 2007)

Στο πρώτο στάδιο της μεθόδου εκτιμούνται α) οι εγγενείς αποκλίσεις για κάθε είδος, β) οι συνολικές υπερβάσεις κόστους E_{ij} για τα είδη εκείνα που συντίθεται από άλλα είδη (υποσυναρμολογήματα ή συναρμολογήματα), γ) καθώς και η συνολική εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}$ για το προϊόν. Συγκεκριμένα τα βήματα του αλγορίθμου σε αυτό το στάδιο έχουν ως εξής:

Στάδιο 1 -Διαγνωστική Ανάλυση

1. Υπολογισμός εγγενών αποκλίσεων κάθε είδους I_{ij} μέσω των Εξ. (Γ.1) και (Γ.2) οι οποίες επαναλαμβάνονται εδώ

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} T_{ij} - M_{ij}, & \text{αν } T_{ij} - M_{ij} > 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (\Gamma.1)$$

$$e_{ij} = \begin{cases} M_{ij} - T_{ij}, & \text{αν } M_{ij} - T_{ij} > 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (\Gamma.2)$$

2. Υπολογισμός συνολικών υπερβάσεων

- Για τα (προμηθευόμενα) είδη I_{ij} που δεν έχουν υλικά (φύλλα του BOM)

$$E_{ij} = e_{ij} \quad (\Gamma.6)$$

- Για τα (παραγόμενα) είδη που έχουν υλικά

$$E_{ij} = e_{ij} + \sum_{k \in S_{ij}} E_{i+1,k} \quad (\Gamma.7)$$

3. Υπολογισμός της συνολικής εξοικονόμησης κόστους $\hat{\Sigma}$

$$\hat{\Sigma} = \sum_i \sum_j \sigma_{ij} \quad (\Gamma.8)$$

Στάδιο 2 – Ανακατανομή των υπερβάσεων κόστους

Στο δεύτερο στάδιο ανακατανέμεται η συνολική εξοικονόμηση κόστους $\hat{\Sigma}$. Αρχικά καλύπτεται η υπέρβαση κόστους e_{01} του προϊόντος I_{01} και στη συνέχεια κατανέμεται η εναπομείνουσα εξοικονόμηση κόστους στα υπόλοιπα συναρμολογήματα $I_{11} \dots I_{1k_{01}}$, κ.ο.κ. Για την κατανομή της εξοικονόμησης κόστους προτείνονται δυο αλγόριθμοι, οι οποίοι περιγράφονται στις επόμενες Ενότητες.

1. Για το προϊόν του επιπέδου 0 (I_{01})

- Εάν $e_{01} > 0$ η υπέρβαση αυτή καλύπτεται από το $\hat{\Sigma}$. Συνεπώς

$$\text{Εάν } \hat{\Sigma} \geq e_{01} \quad e_{01} \leftarrow 0 \quad \hat{\Sigma} \leftarrow \hat{\Sigma} - e_{01}$$

$$\text{Εάν } \hat{\Sigma} < e_{01} \quad e_{01} \leftarrow e_{01} - \hat{\Sigma} \quad \hat{\Sigma} = 0 \quad \text{πήγαινε στο Στάδιο 3}$$

2. Χρησιμοποίησε τον αλγόριθμο κατανομής της συνολικής εξοικονόμησης S (Αλγόριθμο 1 ή 2) σε εκείνα τα συναρμολογήματα I_{1k} για τα οποία $E_{1k} > 0$. Σε

κάθε τέτοιο συναρμολόγημα αντιστοιχεί η τιμή $\hat{\Sigma}_{1k} : \hat{\Sigma} = \sum_{k: E_{1k} > 0} \hat{\Sigma}_{1k}$

3. Για κάθε συναρμολόγημα I_{1k} του επιπέδου I

- Για $k = 1, \dots, k_{01}$

$$\text{Εάν } \hat{\Sigma}_{1k} \geq e_{1k} \quad e_{1k} \leftarrow 0 \quad \hat{\Sigma}_{1k} \leftarrow \hat{\Sigma}_{1k} - e_{1k}$$

$$\text{Εάν } \hat{\Sigma}_{1k} < e_{1k} \quad e_{1k} \leftarrow e_{1k} - \hat{\Sigma}_{1k} \quad \hat{\Sigma}_{1k} = 0$$

- Τέλος k .

Τα βήματα 2 και 3 επαναλαμβάνονται θεωρώντας κάθε συναρμολόγημα I_{1k} για το οποίο $\hat{\Sigma}_{1k} > 0$. Η εξοικονόμηση $\hat{\Sigma}_{1k} > 0$ κατανέμεται σε εκείνα τα είδη του I_{1k} που έχουν θετική υπέρβαση κόστους (Βήμα 2) I_{2j} ($j \in S_{1k}$): $E_{2j} > 0$. Εάν υφίσταται εγγενής υπέρβαση κόστους e_{2j} αυτή καλύπτεται από το αντίστοιχο $\hat{\Sigma}_{2j}$ (κατά το δυνατόν) (Βήμα 3). Η ίδια λογική συνεχίζεται έως το τελευταίο επίπεδο της κατασκευαστικής δομής του προϊόντος.

Στάδιο 3 – Επαναπροσδιορισμός των στόχων κόστους

Το Στάδιο 3 αφορά είδη τα οποία μετά την κατανομή της εξοικονόμησης κόστους, εμφανίζουν ακόμα υπέρβαση κόστους. Συγκεκριμένα τα βήματα είναι τα εξής:

– Για κάθε επίπεδο της κατασκευαστικής δομής $i = 0, 1, \dots$

- Για κάθε συναρμολόγημα I_{ij} με υπέρβαση κόστους $e_{ij} > 0$

1. Υπολογισμός της συνολικής υπέρβασης κόστους E_{ij}
2. $(T_{ij})_{new} \leftarrow (T_{ij})_{old} - E_{ij}$ όπου $(T_{ij})_{old}$ ο στόχος – κόστους του I_{ij} και $(T_{ij})_{new}$ ο αναθεωρημένος στόχος με βάση το Κεφ. 3.2.
3. Επανεκτέλεση του αλγορίθμου TCC για το συναρμολόγημα I_{ij} με τον νέο στόχο T_{ij}

Για κάθε συναρμολόγημα I_{ij} με διορθωμένο στόχο κόστους, επαναλαμβάνονται τα Στάδια 1, 2 και 3 τοποθετώντας τα στο Επίπεδο 0. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται μέχρι να διευθετηθούν όλες οι υπερβάσεις κόστους.