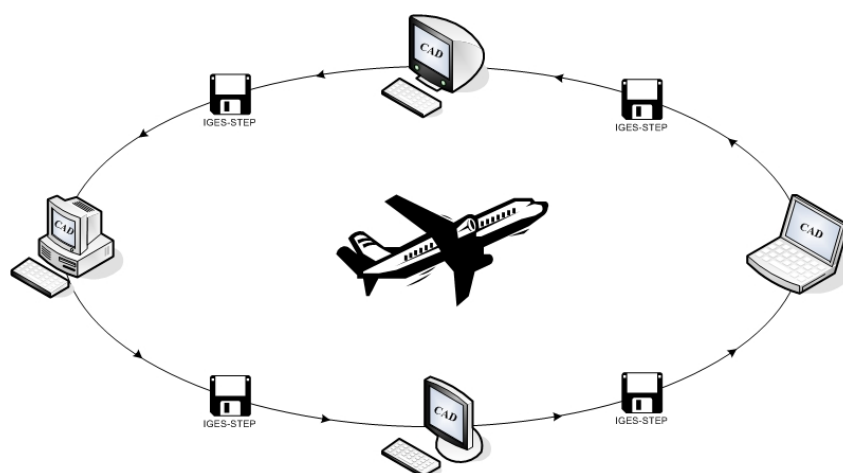




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ IGES ΚΑΙ STEP



Βαλάκος Ιωάννης

Επιβλέπων:

Νικολός Ιωάννης, Λέκτορας

Μέλη τριμελούς επιτροπής:

Κουϊκόγλου Βασίλειος, Αν. Καθ.

Μπιλάλης Νικόλαος, Αν. Καθ.

Χανιά 2005

*Στους γονείς μου
Μάνθο και Νικολέττα*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ιωάννη Κ. Νικολό, για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της. Μέσα από αυτή τη συνεργασία, μου δόθηκε η ευκαιρία να γνωρίσω νέους τομείς και να διευρύνω τα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου Μάνθο και Νικολέττα για την αγάπη τους και την υποστήριξή που μου παρείχαν σε κάθε μου επιλογή, καθώς και για τη συνεισφορά τους, τόσο ηθική, όσο και υλική κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στα Χανιά.

Επίσης δε θα μπορούσα να παραλείψω τον φίλο και συμφοιτητή Σωτήρη Σαρακινό για την εξαιρετικά σημαντική του συμβολή σε αυτό το εγχείρημα, μιας και χωρίς αυτή, η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας δε θα ήταν εφικτή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη φίλη μου και συνάδελφο Μαρίνα Ντιπτένη για την ηθική υποστήριξη, την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές που μου προσέφερε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
ΜΕΤΑΞΥ CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	8
1.1 Το πρόβλημα.....	8
1.2 Επιχειρήσεις και εφαρμοσμένη μηχανική.....	9
1.3 Επικοινωνία	10
1.4 Πληροφορίες και δεδομένα	11
1.5 Ολοκληρωμένα συστήματα και ανταλλαγή.....	12
1.6 Κύκλος ζωής προϊόντος και εφοδιαστική αλυσίδα.....	13
1.7 Δεδομένα προϊόντος	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	15
ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	15
2.1 Συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση H/Y.....	15
2.2 Αναπαράσταση επιφανειών	16
2.3 Κόστος.....	17
2.4 Ανταλλαγή δεδομένων	19
2.4.1 Χρησιμοποίηση ενός κοινού συστήματος	19
2.4.2 Γραφική μεταφορά	19
2.4.3 Άμεσοι μεταγλωττιστές	19
2.4.4 Format κατασκευαστών	22
2.4.5 Ανταλλαγή αρχείων ουδέτερου format	23
2.5 Η διαδικασία δημιουργίας ενός προτύπου.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	29
B-SPLINE ΚΑΙ NURBS ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ.....	29
3.1 Παραμετρική και πεπλεγμένη μορφή καμπυλών και επιφανειών	29
3.2 Ιστορική αναδρομή	30
3.3 Καμπύλες και επιφάνειες B-spline.....	32
3.3.1 Σημεία ελέγχου	33
3.3.2 Βασικές συναρτήσεις B-spline	34
3.3.3 Διανύσματα κόμβων.....	37
3.3.4 Καμπύλες B-spline	40
3.3.5 Επιφάνειες B-spline.....	41
3.3.6 Ιδιότητες των B-spline.....	43
3.4 Μη Ομοιόμορφες Ρητές B-spline καμπύλες και επιφάνειες – NURBS	43
3.4.1 Καμπύλες NURBS.....	46
3.4.2 Επιφάνειες NURBS	47
3.4.3 Ιδιότητες των επιφανειών NURBS	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	50
ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
ΜΕΤΑΞΥ CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ: IGES format	50
4.1 IGES	50
4.1.1 Ιστορικό της ανάπτυξης	50
4.1.2 Περιγραφή	52
4.1.3 Χρησιμότητα	53
4.1.4 Δομή του αρχείου	54

4.2 Ανάπτυξη προεπεξεργαστή IGES αρχείων για NURBS επιφάνειες	64
4.2.1 Περιγραφή	64
4.2.2 Εφαρμογές σε NURBS επιφάνειες	70
4.2.3 Εφαρμογή στο λογισμικό GePAS	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	84
ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ	
CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ: STEP format	84
5.1 STEP	84
5.1.1 Οι προϋποθέσεις για το STEP	84
5.1.2 Ιστορικό της ανάπτυξης	87
5.1.3 Δομή του αρχείου	91
5.2 Ανάπτυξη προεπεξεργαστή STEP αρχείων για B-spline επιφάνειες	102
5.2.1 Περιγραφή	102
5.2.2 Εφαρμογές σε B-Splines επιφάνειες	106
5.2.3 Εφαρμογή στο λογισμικό GePAS	111
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	125

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη για την ανταλλαγή των δεδομένων που περιγράφουν ένα προϊόν δημιουργήθηκε στη δεκαετία του '50, από τότε που οι Η/Υ πρωτοχρησιμοποιήθηκαν για σχεδίαση και ανάλυση. Αυτή η ανάγκη εξακολουθεί να υπάρχει και σήμερα για τη διαχείριση των δεδομένων μέσα στον κύκλο ζωής και στην εφοδιαστική αλυσίδα ενός προϊόντος.

Η χρονολογική καταγραφή των γεγονότων οδηγεί σε τρεις γενιές μεθόδων αποτελεσματικής ανταλλαγής δεδομένων προϊόντων. Αφετηρία για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των πληροφοριών αποτέλεσε η πρώτη έκδοση του αμερικάνικου προτύπου IGES το 1980. Στη συνέχεια ακολούθησαν και άλλα πρότυπα από διάφορες χώρες (**Εικόνα 0.1**). Παρόλο που εκκρεμούν ακόμα πολλά προβλήματα, η έκδοση του διεθνούς προτύπου STEP το 1994 σηματοδότησε μια νέα, πιο ευέλικτη γενιά προτύπων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται τα δύο σημαντικότερα και ευρέως χρησιμοποιούμενα πρότυπα ανταλλαγής δεδομένων προϊόντων, IGES και STEP. Η ανάλυση αφορά σε B-Splines και NURBS επιφάνειες, που χρησιμοποιούνται για μηχανολογικό σχεδιασμό με χρήση συστημάτων CAD. Χρησιμοποιώντας ως βάση τη γνώση που αποκτήθηκε για τα δύο αυτά πρότυπα, αναπτύχθηκε κώδικας σε Visual Basic 6.0, ο οποίος χρησιμοποιείται ως προ-επεξεργαστής στο λογισμικό GePAS, για την παραγωγή αρχείων αεροδυναμικών επιφανειών με βάση τα πρότυπα IGES και STEP.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής: Το πρώτο κεφάλαιο εισάγει τον αναγνώστη στις θεμελιώδεις έννοιες της ανταλλαγής δεδομένων προϊόντων και αναλύει το πρόβλημα που έκανε επιτακτική την ανάγκη εμφάνισής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αρχικά περιγράφονται συστήματα CAD και τα προβλήματα που προκύπτουν από την προσπάθεια ακριβής αναπαράστασης επιφανειών σε αυτά, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι βασικές μέθοδοι για την ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων και περιγράφονται τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματά τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό και μαθηματικό υπόβαθρο των B-Splines και NURBS επιφανειών.

Τα κεφάλαια 4 και 5, έπειτα από το ιστορικό ανάπτυξης των πρωτοτύπων, περιλαμβάνουν την πλήρη περιγραφή της δομής των αρχείων IGES και STEP, παρουσιάζοντας παράλληλα εφαρμογές του λογισμικού που αναπτύχθηκε, σε απλές και περισσότερο πολύπλοκες επιφάνειες.

Τέλος γίνεται μια σύγκριση ανάμεσα στα δύο πρότυπα, καθώς επίσης και μεταξύ διαφόρων επεξεργαστών των προτύπων αυτών, αναφέροντας παράλληλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.

STEP	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	initial parts	11, 31 approved	initial release
US					STEP →				DPI			
IGES	IGES 1.0			IGES 2.0	PDDI		PDES Initiation		PDES Inc →			
Subsets							IGES 3.0		IGES 4.0	IGES 5.0	IGES 5.1	IGES 5.2
							MIL-D-28000					
							VDA-IS 1.0					
							VDA-IS 2.0					
							VDA-IS 2.0					
							VDA-PS					
Germany					VDA-FS 1.0		DIN					
France					SET 1.1	afnor				afnor		
Europe					ESPRIT →					ESPRIT II →		ESPRIT III →
Testing					Autofact →		CTS → NAVFAC			CTS-2 →		
NEDO					NEDO 1		NEDO 2					
Graphics							GKS		CGM	GKS-3D	PHIGS	PHIGS-PLUS CGRM
EDIF							EDIF 1.0		EDIF 2.0			EDIF 3.0
Modelling							IDEF0-2	NIAM	IDEF1X		IDEF3-4	

Εικόνα 0.1: Χρονικό της ανάπτυξης στα δεδομένα προϊόντος [4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1 Το πρόβλημα

Το πρόβλημα της ανταλλαγής δεδομένων προϊόντων (product data exchange) σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο με τον οποίο εισήχθησαν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές στη βιομηχανία. Κατασκευαστικές εταιρίες από όλους τους τομείς άρχισαν να χρησιμοποιούν Η/Υ από τις αρχές τις δεκαετίας του '50. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου υπήρξε μια συνεχώς αυξανόμενη τεχνολογική πολυπλοκότητα, όσον αφορά στα προϊόντα (π.χ. αεροσκάφη) και στις κατασκευαστικές μεθόδους (π.χ. μαζική παραγωγή άρτια σχεδιασμένων καταναλωτικών αγαθών). Οι απαιτήσεις για σχεδιαστική ανάλυση, κατασκευαστική ακρίβεια καθώς και ανταγωνιστικά προϊόντα αυξάνονταν, παράλληλα με μια διαρκώς μεταβαλλόμενη ζήτηση. Οι άνθρωποι δεν ήταν πλέον διατεθειμένοι να κάνουν κουραστικές επαναληπτικές εργασίες, οι οργανισμοί επεκτείνονταν και οι εφοδιαστικές αλυσίδες μεγάλωναν. Η είσοδος των Η/Υ σε αυτό το χώρο λοιπόν ήταν επιτακτική και αναπόφευκτη. Ως παράδειγμα, μπορούσαν να κάνουν έναν έλεγχο αντοχής (stress analysis) για τη βιομηχανία αεροσκαφών, εργασία η οποία είναι κουραστική, μακροσκελής και για αυτούς τους λόγους επιρρεπής σε λάθη εάν πραγματοποιηθεί με το χέρι. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '50 έγινε πραγματικότητα η χρησιμοποίηση προγραμμάτων αριθμητικού ελέγχου (numerical control codes) σε εργαλειομηχανές, καθώς και η ανάπτυξη εφαρμογών οπτικοποίησης (visualization applications), απευθυνόμενες σε σχεδιαστές. Η δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων μεγάλου μεγέθους και η δυναμική αναζήτηση εγγραφών σε αυτά, διευκόλυνε αισθητά διοικητικές και επιχειρηματικές δραστηριότητες, όπως η μισθοδοσία, ο έλεγχος αποθεμάτων, οι πωλήσεις και τα δελτία αποστολής [4].

Οι Η/Υ καθώς και η τεχνολογία των πληροφοριών (information technology) εισήχθησαν στη βιομηχανία με μοναδικό σκοπό να προσφέρουν ανακουφιστικές, ριζοσπαστικές καθώς και εξειδικευμένες λύσεις για ένα τεράστιο πλήθος διεργασιών. Τα πλεονεκτήματα καθώς και τα οφέλη τόσο βραχυπρόθεσμα, όσο και μακροπρόθεσμα για τις επιχειρήσεις και τη βιομηχανία, τα οποία ήταν σαφώς πολύ σημαντικά ήταν προφανή. Σήμερα μια στρατηγική βασισμένη στην τεχνολογία των πληροφοριών μπορεί να υποβοηθήσει μια επιχειρηματική στρατηγική και συνεπώς η ενοποίηση των δύο είναι πλέον αυτονόητη. Παρόλα αυτά από τη στιγμή που έγινε πια συστηματική η χρήση των Η/Υ παρατηρήθηκε το γεγονός ότι διαφορετικές διεργασίες χρησιμοποιούσαν κοινές πληροφορίες, όπως για παράδειγμα τα

γεωμετρικά δεδομένα. Συνεπώς οι H/Y αποθήκευαν τις ίδιες πληροφορίες (duplicate data) σε διαφορετικές μορφές. Επιπρόσθετα με την ουσιαστική αξιοποίηση τέτοιου είδους δεδομένων και πληροφοριών ήρθε στην επιφάνεια το ζήτημα της μεταφοράς τους. Η δημιουργία ολοκληρωμένων εφαρμογών για H/Y άρχισε να αποκτά μεγάλη σημασία [4].

Οι στόχοι που αφορούσαν στην ενοποίηση καθώς και στην μεταφορά δεδομένων αρχικά φαινόντουσαν άπιαστοι. Η «ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων» αποτελεί την καταλυτική τεχνολογία, η οποία εξελίχθηκε για να υποστηρίξει τέτοιου είδους ζητήματα και πιο συγκεκριμένα μηχανολογικά δεδομένα για προϊόντα. Η βάση του προβλήματος ήταν το «πώς» θα πραγματοποιηθεί η μετάφραση μεταξύ των διαφόρων μορφών δεδομένων.

Ο όρος «δεδομένα προϊόντος» (product data) έχει αλλάξει μέσα στο πέρασμα των τελευταίων είκοσι χρόνων και περιγράφει όλα τα δεδομένα τα οποία σχετίζονται με ένα προϊόν ή αλλιώς όλα τα δεδομένα τα οποία το αποτελούν. Ο όρος «μοντέλο προϊόντος» (product model) υποδηλώνει ένα μοντέλο προσομοίωσης του προϊόντος, όπως μπορούμε να έχουμε για ένα μαθηματικό ή φυσικό μοντέλο. Η βασική πρόθεση είναι η κατάλληλη ερμηνεία των δεδομένων ενός προϊόντος με τέτοιο τρόπο ώστε αυτά να αποδίδουν τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του. Εάν αυτό μπορεί να επιτευχθεί, τότε έχουμε στα χέρια μας ένα μοντέλο σε H/Y. Ο όρος «δεδομένα μοντέλου προϊόντων» (product model data) είναι συνώνυμος με τον όρο για τα δεδομένα προϊόντων που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο «Πρότυπο για την Ανταλλαγή δεδομένων μοντέλου Προϊόντων» ή αλλιώς STEP (STandard for the Exchange of Product model data), για το οποίο εκτενέστερη αναφορά γίνεται στο πέμπτο κεφάλαιο.

Όλα τα προαναφερθέντα αποτελούν διάφορες περιπτώσεις και αντίστοιχες εκφράσεις ενός προϊόντος στον H/Y. Ο όρος «μοντέλο δεδομένων προϊόντος» (product data model) είναι ανάλογος με μια σχηματική αναπαράσταση του προϊόντος (schema) και περιγράφει τη μορφή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή του. Τέλος τα «δεδομένα περιγραφής προϊόντος» (product definition data) είναι αυτά τα οποία αποτελούν όλα τα δεδομένα, προκαθορισμένα και μη, σε μια μηχανολογική σχεδίαση [4].

1.2 Επιχειρήσεις και εφαρμοσμένη μηχανική

Υπάρχουν δύο βασικά ρεύματα που μπορούν να διακριθούν. Το ένα αφορά στην προοδευτική ενσωμάτωση της τεχνολογίας των H/Y σε επιχειρηματικές δραστηριότητες και το άλλο στις μηχανολογικές εφαρμογές. Με το τελευταίο εννοείται η ανάπτυξη και η κατασκευή ενός προϊόντος από μια αρχική ιδέα, μέχρι τη συντήρησή του και σε περιπτώσεις όπου υφίσταται, μέχρι την τελική απομάκρυνσή του από την αγορά. Οι διάφορες επιχειρηματικές δραστηριότητες επικεντρώθηκαν

αρχικά σε συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (database management systems) και μετέπειτα σε συστήματα διαχείρισης πληροφοριών (information management systems). Ο τομέας όμως της εφαρμοσμένης μηχανικής παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς χρησιμοποιεί υπολογιστικά απαιτητικές εφαρμογές, όπως είναι τα γραφικά και η δημιουργία δεδομένων ελέγχου (π.χ. προγράμματα αριθμητικού ελέγχου για εργαλειομηχανές). Ο τρόπος με τον οποίο η τεχνολογία αυτοματισμού εφαρμόστηκε είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας σειράς προβλημάτων επικοινωνίας στα οποία θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση [8].

1.3 Επικοινωνία

Γεγονός αποτελεί ότι όλοι οι οργανισμοί καθώς και οι ομάδες αυτών στηρίζονται στην αποτελεσματική επικοινωνία: οι σχεδιομελέτες για την παραγωγή, οι προδιαγραφές για τους προμηθευτές, οι προδιαγραφές για τους πελάτες, η συνέπεια για την μισθοδοσία, οι ημερομηνίες παράδοσης για τις πωλήσεις. Τα παραδείγματα είναι πολυάριθμα καθώς η επικοινωνία είναι ο κοινός παρονομαστής. Δυστυχώς η είσοδος των Η/Υ στη βιομηχανία έγινε με έναν εξειδικευμένο τρόπο, ο οποίος χειροτέρεψε αδιαμφισβήτητα την επικοινωνία. Ομολογουμένως οι επιχειρηματικοί ορίζοντες των εταιριών διευρύνθηκαν σε σύγκριση με προγενέστερες εποχές, όπου δεν υπήρχαν οι Η/Υ και πλέον δεν μπορούσαν να συμβαδίσουν συνήθεις ανθρώπινες μέθοδοι (ομιλία, γράψιμο και σχεδίαση), χωρίς βέβαια να πάνσουν να χρησιμοποιούνται.

Μια τυπική εφαρμογή ενός συστήματος σχεδίασης με χρήση Η/Υ (computer-aided drafting system) είναι στη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή μιας λεπτομερούς σχεδιομελέτης για ένα προϊόν, η οποία θα αφορά κυρίως το τμήμα παραγωγής. Αμέσως μετά τα απαραίτητα δεδομένα περνάνε στο τμήμα προγραμματισμού κατεργασιών για να εισαχθούν σε ένα πρόγραμμα αριθμητικού ελέγχου μαζί με τις κατάλληλες αναπροσαρμογές. Αυτή είναι μια διεργασία που απαιτεί εξαγωγή δεδομένων (outputting) από ένα πρόγραμμα και εισαγωγή τους (inputting) σε διαφορετική μορφή σε άλλα προγράμματα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκαν νέες χρονικές καθυστερήσεις και πηγές λαθών.

Υπάρχουν διάφορες μορφές επικοινωνίας όσον αφορά στους Η/Υ και αυτό γίνεται ευκολότερα κατανοητό με ένα αναλογικό παράδειγμα στις τηλεφωνικές επικοινωνίες. Οι απαιτήσεις για να γίνει μια επιτυχής σύνδεση περιλαμβάνουν πρώτον την πλήρη κατανόηση του μηνύματος του δέκτη από τον λήπτη και δεύτερον ο δέκτης να είναι το σωστό άτομο. Δεν υπάρχει λόγος για έλεγχο ή γραπτή επανάληψη του μηνύματος από τη στιγμή που αυτό έχει ήδη μεταφερθεί. Τα πιθανά μέσα για τη μετάδοση του μηνύματος περιλαμβάνουν τηλεφωνικές συσκευές και ενεργή σύνδεση σε αντίστοιχα δίκτυα και για τα δύο άτομα. Το άτομο που πραγματοποιεί την κλήση πρέπει να γνωρίζει το τηλεφωνικό νούμερο του λήπτη, το

όνομά του καθώς και να υπάρχει η απαραίτητη διαθεσιμότητα γραμμών. Τέλος και τα δύο άτομα πρέπει να ομιλούν μια κοινή (natural) γλώσσα, πιθανότατα συμπεριλαμβανομένων και τεχνικών όρων, και να έχουν κοινές εμπειρίες. Τα παραπάνω μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα εξής: το μέσο (πως), το μήνυμα (τι) και το περιεχόμενο (για ποιο λόγο) [4].

Σε μερικές περιπτώσεις, οι οποίες βέβαια δεν είναι συμφέρουσες από άποψη χρόνου, μπορεί να γίνει εφικτή η επικοινωνία χρησιμοποιώντας μαγνητική εγγραφή σε ταινία ή δισκέτα για H/Y και απαιτείται η εφαρμογή προσυμφωνημένων διαδικασιών. Κάποιοι αξιοποιούν τις δυνατότητες που προσφέρουν οι τηλεπικοινωνίες και τα δίκτυα, που αποτελεί έναν κοινό τρόπο με την παράλληλη εξοικονόμηση χρόνου, αλλά τέτοιου είδους μέθοδοι είναι είτε υψηλού κόστους, είτε χρονοβόροι για τις περισσότερες επικοινωνίες σε μηχανολογικό επίπεδο. Το βασικό πρόβλημα είναι το μήνυμα και το περιεχόμενό του, το οποίο είναι απαραίτητο για αποτελεσματική εφαρμοσμένη μηχανική και για τη στήριξη ανταγωνιστικών βιομηχανικών διεργασιών [4].

1.4 Πληροφορίες και δεδομένα

Τα δεδομένα (data) μπορούν να μεταφερθούν επιτυχώς, όταν αυτά μπορούν να αναπαρασταθούν σε H/Y, με τέτοιο τρόπο ώστε ο τελικός παραλήπτης να είναι σε θέση να τα ερμηνεύσει και να τα χρησιμοποιήσει σωστά. Ο παραλήπτης μπορεί να είναι πρόσωπο ή πρόγραμμα γραμμένο από πρόσωπο με εμπειρία και γνώσεις που αφορούν μια συγκεκριμένη μορφή δεδομένων (data format). Είναι πολύ πιο δύσκολο να μεταφέρεις την ίδια την πληροφορία.

Τα δεδομένα ουσιαστικά αποτελούν τις λεπτομέρειες των πληροφοριών χωρίς το αρχικό τους περιεχόμενο. Προσθέτοντας περισσότερες λεπτομέρειες δεν μετατρέπονται τα δεδομένα σε πληροφορίες. Αρκετά από τα δεδομένα εισόδου και εξόδου προγραμμάτων σε H/Y είναι πίνακες από δεκαδικά ψηφία (το δυαδικό σύστημα που καταλαβαίνουν οι H/Y είναι δυσνόητο από τον άνθρωπο). Παραδείγματα περιλαμβάνουν συντεταγμένες σημείων ή εφαπτομενικά διανύσματα που βρίσκονται πάνω σε επιφάνειες, στα οποία οι άνθρωποι προσδίδουν μια σημασία. Η πληροφορία είναι ένα σύνολο δεδομένων μαζί με τη σημασία τους ή μια ανθρώπινη ερμηνεία. Επίσης το γεγονός ότι οι λέξεις έχουν εναλλακτικές σημασίες συχνά προκαλεί σύγχυση [26].

Το πρόβλημα που επιθυμείται να λυθεί είναι η επιτυχής μεταφορά πληροφοριών για την υποστήριξη μηχανολογικών εφαρμογών, στις οποίες οι διάφορες επιχειρήσεις ή βιομηχανίες έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία των H/Y με ξεχωριστό τρόπο η κάθε μια, ώστε να αντιμετωπίζονται τα άμεσά προβλήματα τους. Για παράδειγμα τα μηχανολογικά σχέδια περιέχουν δεδομένα από τα οποία μπορούν να εξαχθούν συγκεκριμένες πληροφορίες, επειδή η σημασία τους είναι ήδη γνωστή

και οι μηχανικοί είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι ώστε να είναι σε θέση να τα ερμηνεύσουν.

Αξίζει ίσως να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι οι επιχειρηματικές δραστηριότητες, κυρίως αυτές που αφορούν στη διαχείριση παραγγελιών και στην έκδοση δελτίων αποστολής, έχουν υποκλέψει τον όρο «ανταλλαγή ηλεκτρονικών δεδομένων» (Electronic Data Interchange – EDI). Ο σκοπός ύπαρξης των δικτύων αφορά στη μεταφορά τέτοιου είδους πληροφοριών μεταξύ των εγγεγραμμένων μελών διαφόρων ομάδων, οι οποίες ως επί το πλείστον είναι διαφημιστικές εταιρίες [3].

1.5 Ολοκληρωμένα συστήματα και ανταλλαγή

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί εξαιτίας της εξειδικευμένης φύσης των εφαρμογών σε H/Y, η απαραίτητη μεταφορά πληροφοριών ανάμεσα σε διάφορες ομάδες έγινε ακόμα πιο δύσκολη. Αυτές οι ομάδες μπορεί να είναι είτε εσωτερικές σε μια εταιρία, όπως στην περίπτωση μεταφοράς πληροφοριών από τον τομέα σχεδίασης στον τομέα ελέγχου αντοχής, είτε εξωτερικές, όπως στην περίπτωση των εφοδιαστικών αλυσίδων.

Υπάρχουν σε γενικές γραμμές δύο τρόποι για να προσεγγίσουμε μια λύση του προβλήματος. Ο ένας είναι η μελέτη των πληροφοριών που ανταλλάσσονται και η προσπάθεια επίλυσης τυχόν προβλημάτων από κάθε ομάδα ξεχωριστά. Εναλλακτικά όλες οι επικοινωνούσες ομάδες μπορούν να εργαστούν συλλογικά σε μια προσπάθεια για την επίλυση του συνολικού προβλήματος. Ο πρώτος τρόπος ουσιαστικά αποτελεί το πρόβλημα που κλήθηκε να λύσει η τεχνολογία ανταλλαγής δεδομένων προϊόντων, παρόλο που προτείνει ως επί το πλείστον πιο γενικές λύσεις. Ο δεύτερος τρόπος αφορά στην ενοποίηση (integration), ένας πολυχρησιμοποιημένος όρος που εμφανίζεται στην έκφραση «βιομηχανική παραγωγή με ολοκληρωμένα συστήματα H/Y» (Computer-Integrated Manufacture – CIM), η οποία αποτελεί στόχο κάθε εταιρίας μηχανολογικής φύσης. Η έννοια της ενοποίησης είναι αρκετά πολύπλοκη και έχει κυρίως δύο υποστάσεις: πρώτον η προσπάθεια να μούνε σε τάξη ασυσχέτιστες πληροφορίες, που δημιουργούνται από προϋπάρχον λογισμικό (προγράμματα, εφαρμογές) και χειροκίνητες μεθόδους, διαδικασία η οποία πολλές φορές αναφέρεται και ως «διαχείριση μηχανολογικών δεδομένων» (Engineering Data Management – EDM) και δεύτερον τι πρέπει να κάνει κάποιος εάν ξεκινά εκ νέου μια διαδικασία εφαρμογής ολοκληρωμένων συστημάτων H/Y [4].

Η τεχνολογία της ανταλλαγής δεδομένων (data exchange technology) ανταποκρίνεται σε τέτοιου είδους απαιτήσεις. Το θέμα αυτό είναι αρκετά εντυπωσιακό, καθώς οι μέθοδοι που αναπτύσσονται αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο ως πυρήνας της διοίκησης μηχανολογικών δεδομένων, της ενοποίησης καθώς και ως επόμενη γενιά στην ανταλλαγή δεδομένων. Επίσης άξιο αναφοράς είναι

το γεγονός ότι ουσιαστικά πρωτοπόρος είναι η παγκόσμια κοινότητα της ανταλλαγής δεδομένων [4].

1.6 Κύκλος ζωής προϊόντος και εφοδιαστική αλυσίδα

Οι πληροφορίες πρέπει να ρέουν από τη μια φάση στην επόμενη στον κύκλο ζωής (life-cycle) ενός προϊόντος, από την αρχική ιδέα, διαμέσου της παραγωγής, μέχρι τη συντήρηση ή ακόμα μέχρι την ενδεχόμενη απόσυρση του προϊόντος από την αγορά. Παρόλο που οι επαναλήψεις και η ανατροφοδότηση στοιχείων (feedback) είναι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή, οι πληροφορίες πρέπει να αναπτύσσονται και να πληθαίνουν καθώς το προϊόν ακολουθεί μια πορεία από την αρχική ιδέα μέχρι το «καλάθι των αχρήστων». Οι πληροφορίες πρέπει να επιλεχθούν κατάλληλα (ο μηχανουργός δεν χρειάζεται να ξέρει που ανήκει κάθε κομμάτι που κατασκευάζει για μια τελική συναρμολόγηση), να μετατραπούν (η γεωμετρία του προϊόντος δεν καθορίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές μιας εργαλειομηχανής) και να προστεθούν σε άλλες (ενδεχομένως θέλουμε να μάθουμε τις πραγματικές διαστάσεις του προϊόντος ώστε να πραγματοποιήσουμε έναν ποιοτικό έλεγχο). Εναλλακτικά, οι πληροφορίες ενός προϊόντος μπορούν να ρέουν για παράδειγμα από το σχεδιαστικό τμήμα μιας εταιρίας σε αυτό μιας άλλης, πιθανότατα για προσθήκη περαιτέρω στοιχείων σε μια σχεδιομελέτη ή επειδή το εξαγόμενο σχέδιο της μιας μεταφράζεται απευθείας από το σχεδιαστικό σύστημα της άλλης. Αυτή η διαδικασία μεταφοράς πληροφοριών μέσα στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος είναι ελαφρώς διαφορετική από την μεταφορά πληροφοριών που πραγματοποιείται σε μια μόνο φάση [4].

Η τεχνολογία ανταλλαγής (exchange technology) έχει αντιμετωπίσει αρκετά προβλήματα στην περίπτωση που δύο ομάδες ενδιαφέρονται για την πλήρη κατοχή των ιδίων πληροφοριών. Επίσης λόγω της εμπλοκής διαφόρων, συνήθως συμβατικών, εξωτερικών αλληλεπιδράσεων, η ύπαρξη μιας λύσης για αυτά τα προβλήματα είναι απαραίτητη. Ο P.R. Wilson δήλωσε το 1987 ότι το γεωμετρικό μέρος αποτέλεσε σημείο αναφοράς από την αρχική ιδέα για τη δημιουργία ενός προϊόντος, μέχρι τον έλεγχο και την τελική συναρμολόγηση, και ότι οι υπόλοιπες πληροφορίες προήλθαν από αυτό [26]. Μέσα από το πρίσμα αυτής της παρατήρησης, ένα μεγάλο μέρος των πληροφοριών του κύκλου ζωής ενός προϊόντος μπορεί να μεταφερθεί, εάν μπορούν να ανταλλαχθούν επιτυχώς τα πλήρη γεωμετρικά του δεδομένα.

1.7 Δεδομένα προϊόντος

Σύγχρονες αντιλήψεις υποδηλώνουν ότι τα γεωμετρικά δεδομένα, παρόλο που αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο, δεν έχουν μια εξέχουσα θέση στην αναπαράσταση ενός προϊόντος. Ο όρος «δεδομένα προϊόντος» (product data) είναι

σχετικά καινούργιος. Ουσιαστικά περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με ένα προϊόν σε όλο τον κύκλο της ζωής του. Αυτές οι πληροφορίες μετατρέπονται σε δεδομένα όταν υπάρχει μια τυποποιημένη αναπαράσταση του προϊόντος. Στον μηχανολογικό χώρο, η ύπαρξη ενός ενιαίου συστήματος τυποποίησης ήταν απαραίτητη πριν ακόμη την εμφάνιση των H/Y. Πίνακες με νούμερα, μορφοποιημένες αναφορές και κυρίως τα μηχανολογικά σχέδια είναι όλα δεδομένα. Τα μηχανολογικά σχέδια, τα οποία ενσωματώνουν δεδομένα που αφορούν στον καθορισμό ενός προϊόντος, είναι ακόμα μια από τις κυριότερες πηγές πληροφοριών. Παράγονται και ερμηνεύονται σύμφωνα με συγκεκριμένα σχεδιαστικά πρότυπα (draughting standards), έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι το 1990 πρωταρχική ανάγκη ήταν η ανταλλαγή μηχανολογικών σχεδίων. Μερικά χρόνια αργότερα η επιτροπή που καθόρισε τις προτεραιότητες για το διεθνές πρότυπο STEP αξιολόγησε τη διαδικασία αυτή ως αυτή με την υψηλότερη προτεραιότητα. Τα σχέδια δεν έχουν αντικατασταθεί ακόμα με στοιχεία που θα περιλαμβάνουν περισσότερες εξειδικευμένες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα δεδομένα που αφορούν στερεά μοντέλα. Για έναν H/Y απαιτούνται πολλές πληροφορίες ώστε να μπορεί να αναπαραστήσει πλήρως ένα προϊόν. Από το ερευνητικό έργο για τον Αυτοματισμό των Προϊόντων (Product Automation Project) προκύπτει ότι ο αυτοματισμός δεν εξελίσσεται, επειδή δεν ήταν γνωστή κάποια μέθοδος για την πλήρη αναπαράσταση της γεωμετρίας ενός προϊόντος [20]. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν να απαντηθούν όλες οι λογικές ερωτήσεις για τη γεωμετρία ενός αντικειμένου από την επεξεργασία των δεδομένων που θα είχε κάποιος. Οι απαιτήσεις για τη σύνθεση των δεδομένων ενός προϊόντος, για τη δομή μιας συναρμολόγησης, για τα δεδομένα των υλικών (material data) και για τα δεδομένα των προδιαγραφών (specification data) αποτελούν όλα παραδείγματα για το τι πρέπει να συμπεριληφθεί σε ένα πλήρες μοντέλο προϊόντος [4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1 Συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση Η/Υ

Αναφορά στη σχεδιομελέτη γίνεται διότι οι πληροφορίες που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της σχεδίασης ενός προϊόντος, είναι αυτές που οι άνθρωποι τελικά επιθυμούν να ανταλλάξουν. Πριν την εποχή των Η/Υ το μηχανολογικό σχέδιο χρησιμοποιούνταν ευρέως. Από τις αρχές της δεκαετίας του '50 διαμορφώθηκε και τυποποιήθηκε κατάλληλα, ώστε να μπορεί να μεταφέρει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον καθορισμό ενός μηχανολογικού προϊόντος, ώστε να είναι επαρκές για τους κατασκευαστές, τους προμηθευτές μέχρι και τους πελάτες. Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και σε αυτή τη μορφή, οι συμβάσεις για το μηχανολογικό σχέδιο είχαν διαφορά από τη μια χώρα στην άλλη, πράγμα το οποίο δυστυχώς ισχύει ακόμα και σήμερα.

Άλλες εφαρμογές έχουν επίσης εξίσου σημαντικές απαιτήσεις, όσον αφορά στη σχεδίαση. Τα διαγράμματα ροής, οι υδραυλικές εγκαταστάσεις, οι εγκαταστάσεις οργάνων καθώς και τα ισομετρικά σχέδια αποτελούν μερικά παραδείγματα από το χώρο της βιομηχανίας. Τα ηλεκτρολογικά διαγράμματα είναι επίσης ευρέως διαδεδομένα για την αναπαράσταση ηλεκτρικών κυκλωμάτων [4].

Εξετάζοντας το θέμα με βάση την τεχνολογία αυτοματισμού (automation technology), αυτά τα σχέδια παρουσιάζουν μειονεκτήματα, κυρίως λόγω του ότι αναπτύχθηκαν μέσα στα πλαίσια της διαδικασίας παραγωγής και της τελικής χρησιμοποίησή τους από ανθρώπους. Οι πληροφορίες που αφορούν στερεά αντικείμενα (solids) σε μια μηχανολογική σχεδίαση πρέπει να μεταφραστούν με τον ίδιο τρόπο που αναπαραστάθηκαν αρχικά από το σχεδιαστή. Τα διεθνή πρότυπα σχεδίασης δεν καλύπτουν λαξευμένες επιφάνειες (sculptured surfaces), καθώς είναι πολύ δύσκολο να σχεδιαστούν. Παρόλα αυτά, τα μηχανολογικά σχέδια χρησιμοποιούνται ακόμα, ενώ βασική προδιαγραφή για τα πρότυπα IGES και STEP αποτελεί η παροχή υποστήριξης για την μεταφορά δισδιάστατων σχεδίων με σαφή διαστασιολόγηση [4].

Με τον όρο CAD εννοούμε αυτό που είναι ευρέως γνωστό ως «Συστήματα Σχεδιομελέτης με χρήση Η/Υ» (Computer Aided Design). Ως σχεδιομελέτη με χρήση Η/Υ ορίζεται η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος, και ιδιαίτερα στη δημιουργία, μεταβολή, ανάλυση και βελτιστοποίηση της μορφής του προϊόντος. Περιλαμβάνει την τεχνολογία γραφικών, των βάσεων δεδομένων, της μαθηματικής μοντελοποίησης, της προσομοίωσης και της ανταλλαγής δεδομένων για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων προϊόντων. Στη στενή

έννοια του όρου, σκοπός είναι η δημιουργία του γραφικού μοντέλου μόνο, που στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές όπως:

- ο Παρουσίαση στον πελάτη υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, με χρήση τεχνολογίας φωτορεαλισμού.
- ο Παραγωγή του προϊόντος σε μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης CAD/CAM.
- ο Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία για έλεγχο αντοχής, συμπεριφορά σε ροή ρευστών, κ.λπ. και παρουσίαση των αποτελεσμάτων στην οθόνη για αξιολόγηση και βελτιστοποίηση.
- ο Ανάλυση λειτουργικότητας του πρωτοτύπου με τη χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας (virtual prototype) για τη μείωση του αριθμού πρωτοτύπων και για την αξιολόγηση τεχνικών λύσεων σε πρώιμο στάδιο.
- ο Ταχεία παραγωγή πρωτοτύπου και παραγωγή (rapid prototype and manufacturing).
- ο Επικοινωνία μεταξύ συνεργαζόμενων ομάδων. Ανταλλαγή δεδομένων για τη μεταφορά μοντέλων, ανταλλαγή εικόνων και συνεργασία των ομάδων [16].

Στην **Εικόνα 2.1** παρουσιάζονται τα στάδια καθώς και οι ενδιαμέσες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη διαδικασία σχεδίασης ενός προϊόντος, για την περάτωση ενός έργου, από μια αρχική ιδέα στην τελική λύση [17].

Τέλος αναφέρεται ότι για τις διάφορες μορφές ανάλυσης (καταπόνηση, θερμική συμπεριφορά, κινηματική, ροή), στην αναπαράσταση επιφανειών καθώς και στην παραγωγή σχεδίων δίνεται ιδιαίτερη έμφαση, επειδή αποτέλεσαν πρώιμες εφαρμογές της τεχνολογίας των υπολογιστών. Αυτός ήταν και ο βασικός λόγος, για τον οποίο οι μελετητές αντιμετώπισαν την ανάγκη για βελτίωση των μεθόδων τους και η χρησιμοποίηση H/Y αποτέλεσε την πιο προφανή λύση.

2.2 Αναπαράσταση επιφανειών

Μια βασική εφαρμογή και πρόκληση για τους H/Y ήταν πάντα η αναπαράσταση σύνθετων επιφανειών. Στα παλιά χρόνια οι γλύπτες μπορούσαν να τις σχεδιάσουν και οι καλλιτέχνες να τις απεικονίσουν. Ειδικά εκπαιδευμένα άτομα μπορούσαν μετέπειτα να κατασκευάσουν χειροποίητα καλούπια έτοιμα προς χύτευση για την παρασκευή συγκεκριμένων προϊόντων. Οι σύγχρονες όμως απαιτήσεις για μια πλειάδα ευπαρουσίαστων καταναλωτικών αγαθών υψηλής τεχνολογίας και ελαφρύτερων, φθηνότερων και ταχύτερων μέσων μεταφοράς, μαζί με την εφεύρεση των εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου, ικανών να κατασκευάσουν προϊόντα με ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια, οδήγησαν τελικά στην ανάγκη για αριθμητική απεικόνιση των επιφανειών. Αυτό το πρόβλημα δεν έχει ουσιαστικά ακόμα λυθεί, καθώς οι επιφάνειες δεν μπορούν να σχεδιαστούν με απόλυτη ακρίβεια. Στην πραγματικότητα τα μοντέλα χρησιμοποιούνται γενικά σε ένα αρχικό στάδιο της σχεδίασης, κυρίως για λόγους οπτικής απεικόνισης. Συνήθως οι επιφάνειες αναπαρίστανται εφαρμόζοντας μια πολυωνυμική παρεμβολή σε ένα δίκτυο μπαλωμάτων, τα οποία καλύπτουν

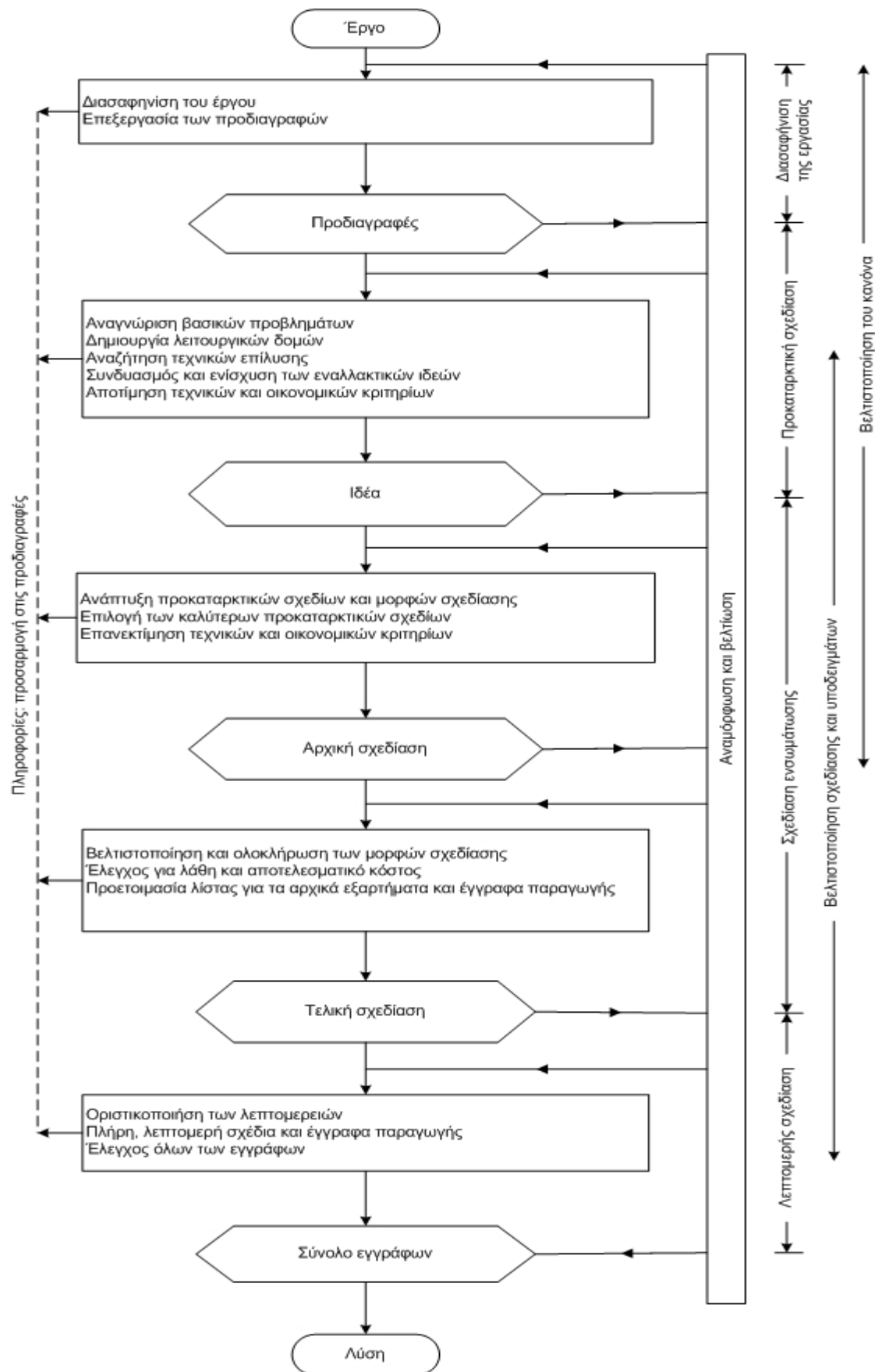
ολόκληρη την επιφάνεια με κατάλληλη οριοθέτηση. Το απαραίτητο πλήθος δεδομένων για τον ορισμό μιας επιφάνειας, καθώς και ο αριθμός των υπολογισμών που απαιτούνται για την λεπτομερή αναπαράστασή της, έτσι ώστε κάποιος να μπορεί να την επεξεργαστεί με ακρίβεια, αποτελούν προφανείς υποψήφιες εφαρμογές για Η/Υ. Αυτές οι επιφάνειες μπορούν, για παράδειγμα, μετέπειτα να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή οδηγιών αριθμητικού ελέγχου μιας εργαλειομηχανής [4].

Επιπλέον έγινε εφικτή η τρισδιάστατη απεικόνιση, η οποία ήταν αδύνατον να υλοποιηθεί, ώστε να καλύπτει μηχανολογικές εφαρμογές, όταν δεν υπήρχαν τα κατάλληλα μέσα. Το λογισμικό για αναπαράσταση ρεαλιστικών επιφανειών, με κρυμμένα πολλές φορές επίπεδα (hidden layers), τις οποίες ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον, είναι πλέον διαθέσιμο στο ευρύ κοινό. Συνήθως τα έτοιμα εμπορικά πακέτα για την απεικόνιση σύνθετων επιφανειών είναι αυτόνομα και έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να κάνουν τη σχεδίαση των επιφανειών εύκολη υπόθεση, ακόμα και για τον αρχάριο χρήστη. Τις περισσότερες φορές είναι ανεξάρτητα από την υπόλοιπη διαδικασία σχεδίασης του προϊόντος.

Γεγονός αποτελεί ότι πολλές εταιρίες χρησιμοποιούν δεκάδες διαφορετικά πακέτα κατά τη διαδικασία παραγωγής ενός τελικού προϊόντος από μια αρχική ιδέα στην υλοποίηση. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, τα δεδομένα των επιφανειών εξάγονται μόνο και μόνο για να αποτελέσουν την είσοδο για κάποιο άλλο πρόγραμμα, σε μια ίσως διαφορετική μορφή [4].

2.3 Κόστος

Έχουν ήδη γίνει εμφανείς οι δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία ανταλλαγής πληροφοριών και δεδομένων ανάμεσα σε συστήματα, μηχανολογικών κυρίως εφαρμογών, καθώς και της ραγδαίας ανάπτυξης των Η/Υ, η οποία δημιούργησε νέες και επιρρεπείς σε λάθη διεργασίες. Πρέπει να γίνει και μια εκτίμηση του κόστους, η οποία συχνά είναι δύσκολη διαδικασία. Μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως οι πετρελαιοπηγές και τα πλοία, παράγουν εκατοντάδες χιλιάδες σχέδια σε Η/Υ, στα οποία πρέπει να έχουν πρόσβαση πολλές διαφορετικές ομάδες ατόμων. Ισχυροί οργανισμοί, όπως το υπουργείο εθνικής άμυνας των ΗΠΑ (US Department of Defense – DoD) ή ακόμα μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, απαιτούν ψηφιακά δεδομένα συμβατά με τα συστήματά τους. Η ικανοποίηση αυτής της απαίτησης αποτελεί ένα ζωτικό στοιχείο για τους προμηθευτές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τεχνολογικά εξελιγμένες βιομηχανίες και κυβερνήσεις να επενδύουν διαρκώς μεγάλα ποσά στην ανάπτυξη προτύπων για την ανταλλαγή δεδομένων μοντέλων προϊόντων, όπως ήδη έχει γίνει στην περίπτωση του IGES και του STEP [4].



Εικόνα 2.1: Τα στάδια της σχεδίασης [17]

2.4 Ανταλλαγή δεδομένων

Όλη η ιδέα της ανταλλαγής δεδομένων ουσιαστικά συνοψίζεται στη διαδικασία μεταφοράς, σε μια αναγνώσιμη από Η/Υ μορφή, δεδομένων προϊόντος και πιο συγκεκριμένα δεδομένων προσδιορισμού προϊόντος (product definition data), με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, ώστε να διατηρείται στο ακέραιο το περιεχόμενο των πληροφοριών, καθώς και η αρχική σχεδίαση. Οι λύσεις, οι οποίες έχουν προταθεί είναι αρκετές. Παρακάτω παρατίθενται οι πιο σημαντικές από αυτές.

2.4.1 Χρησιμοποίηση ενός κοινού συστήματος

Η πιο προφανής λύση είναι ίσως η χρησιμοποίηση μιας κοινής πλατφόρμας ή ενός κοινού CAD συστήματος, προκειμένου να συνεργαστούν όλες οι διαφορετικές ομάδες. Αυτή η λύση όμως είναι εφικτή μόνο σε πολύ μεγάλα έργα, όπου το κόστος για την εγκατάσταση πολλών και νέων συστημάτων είναι σχετικά μικρό σε σχέση με το συνολικό, όπως συμβαίνει σε μεγάλα κρατικά έργα, όταν τα συστήματα CAD βρίσκονταν ακόμα σε εμβρυϊκό στάδιο [4].

2.4.2 Γραφική μεταφορά

Μια άλλη κοινή μέθοδος που υπάρχει, βασίζεται στη μεταφορά του γραφικού αποτελέσματος των δεδομένων προσδιορισμού προϊόντος με κάποιο κατάλληλο format, όπως το Calcomp, το οποίο έγινε ένα από τα πιο ευρέως διαδεδομένα format σχεδίασης στα πρώτα χρόνια των CAD συστημάτων. Το format αποτελείται από ένα σύνολο γραμμικών τμημάτων (line segments), τα οποία συνθέτουν την τελική εικόνα του προϊόντος σε ένα σχεδιαστικό σύστημα Calcomp (plotter). Βασικό μειονέκτημα είναι ότι με τη δημιουργία κάθε νέας γραφικής αναπαράστασης χάνονται όλα τα δεδομένα της σχεδίασης. Βέβαια, εάν αναλογιστεί κανείς το πλήθος των έγγραφων σχεδίων, τα οποία σήμερα μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή για την είσοδό τους σε Η/Υ, εύκολα γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει το ίδιο πρόβλημα απώλειας του περιεχομένου των κληρονομικών πληροφοριών περιγραφής του προϊόντος. Ένα πλεονέκτημα που παρατηρείται είναι η μείωση του αποθηκευτικού χώρου που απαιτείται, στην περίπτωση που κάποιος μεταφέρει δεδομένα από το χαρτί σε μαγνητικά μέσα αποθήκευσης [4].

2.4.3 Άμεσοι μεταγλωττιστές

Ένας άμεσος ή αποκλειστικός μεταγλωττιστής (direct or dedicated translator) είναι ένα λογισμικό, το οποίο παίρνει ως είσοδο δεδομένα από ένα σύστημα και τα μετατρέπει με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα

δεύτερο σύστημα για την αναπαράσταση της ίδιας πληροφορίας, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Εάν το αποστέλλον σύστημα (sending system) μπορεί να αναπαραστήσει έναν κύκλο με μοναδικό τρόπο, προφανώς δεν είναι επιθυμητή η αναπαράστασή του με μια κωνική τομή από το λαμβάνων σύστημα (receiving system), παρόλο που το σχέδιο που θα παραχθεί είναι το ίδιο. Η μέθοδος της άμεσης μεταγλώττισης έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από τις αρχές τις δεκαετίας του '70, όπου έγιναν εμφανή τα προβλήματα πάνω στην ανταλλαγή δεδομένων. Οι άμεσοι μεταγλωττιστές ουσιαστικά αποτελούν την πρώτη γενιά επεξεργαστών για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ CAD συστημάτων [4].

Η πιο συνήθης χρήση τους ήταν σε μεγάλες βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας, όπως είναι οι αεροδιαστημικές βιομηχανίες (π.χ. NASA), οι οποίες πρώτες χρησιμοποίησαν H/Y μεγάλης κλίμακας και συχνά ανέπτυσαν δικά τους ολοκληρωμένα συστήματα, καθώς βρίσκονταν ένα βήμα μπροστά από τις εταιρίες παραγωγής λογισμικών όσον αφορά στην κατανόηση των αναγκών τους και των δυνατοτήτων των H/Y. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ακόμα πολλές περιπτώσεις, όπου η ανταλλαγή δεδομένων είναι απαραίτητη και αποτελεί τη μόνη εναλλακτική λύση. Στο χώρο που αφορά τις γεωμετρίες, η μεταφορά στερεών μοντέλων και εξειδικευμένων επιφανειών (π.χ. NURBS) απαιτεί συγκεκριμένη επεξεργασία για την εξασφάλιση της σωστής μεταφοράς δεδομένων.

Πολλές εταιρίες και αρκετοί διανομείς λογισμικών πακέτων άρχισαν να συνειδητοποιούν, ότι η γεωμετρία δεν αποτελεί το μοναδικό σημαντικό στοιχείο σε ένα μηχανολογικό σχέδιο. Πληροφορίες που αφορούν σε ανοχές και ειδικά χαρακτηριστικά πρέπει να διαχειρίζονται εύκολα και έξυπνα και από τα δύο συστήματα (αποστολής και λήψης). Η σύγχρονη τεχνολογία του ουδέτερου format (neutral - format), για την οποία εκτενέστερη αναφορά θα πραγματοποιηθεί παρακάτω, δεν καλύπτει τέτοιες περιπτώσεις, γι' αυτό το λόγο αποκτούν σημασία οι άμεσοι μεταγλωττιστές. Σήμερα υπάρχουν αρκετές εταιρίες, ιδιαίτερα διαδεδομένες και επικερδείς, οι οποίες διαθέτουν προς πώληση άμεσους μεταγλωττιστές ανάμεσα στα πιο διαδεδομένα συστήματα CAD, ιδιαίτερα μάλιστα σε περιπτώσεις όπου αυτά είναι συστήματα αναπαράστασης επιφανειών. Τέτοιες εταιρίες συνήθως διαθέτουν προς πώληση και CAD συστήματα σε επεξεργαστές ουδέτερου format και το αντίστροφο.

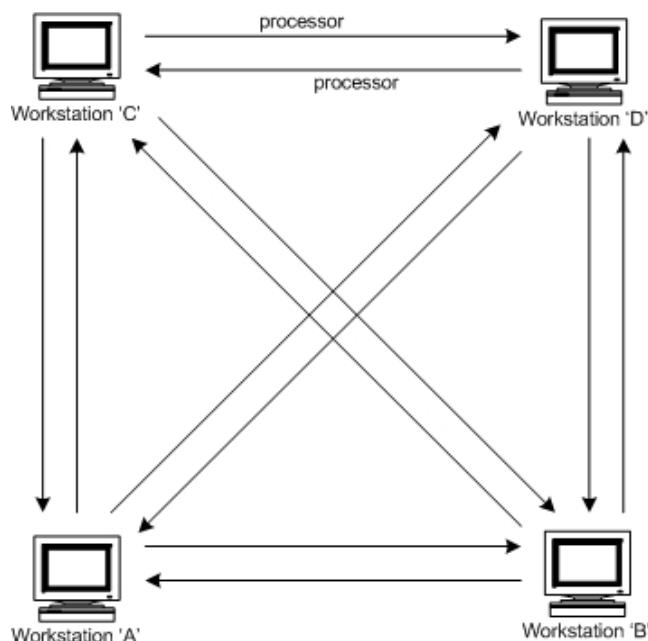
Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των αποκλειστικών μεταγλωττιστών μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- α) έχουν τη δυνατότητα να χειριστούν περιπτώσεις, όπου άλλες μέθοδοι αποδεικνύονται ανεπαρκείς.
- β) συνήθως απαιτείται μικρότερος υπολογιστικός φόρτος για την επεξεργασία, όπως συμβαίνει γενικότερα στην περίπτωση προγραμμάτων, τα οποία είναι σχεδιασμένα για να αντιμετωπίζουν εξειδικευμένα προβλήματα σε σχέση με αυτά που προσδιορίζονται για την επίλυση γενικότερων προβλημάτων.

γ) όταν υπάρχει μόνο ένα ζεύγος συστημάτων το συνολικό μέγεθος του κώδικα είναι μικρότερο σε σχέση με το μέγεθος που απαιτείται για το ουδέτερο format σε αντίστοιχη περίπτωση.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των άμεσων μεταγλωττιστών εντοπίζονται στα εξής:

α) Το μέγεθος του κώδικα που απαιτείται αυξάνεται με το τετράγωνο του πλήθους των CAD συστημάτων, ανάμεσα στα οποία κάποιος επιθυμεί να μεταφέρει πληροφορίες. Στην **Εικόνα 2.2** αναπαρίσταται αυτή η περίπτωση γραφικά. Η σχέση η οποία δίνει το συνολικό πλήθος των μεταγλωττιστών που απαιτείται είναι $n(n-1)$, όπου n είναι το πλήθος των CAD συστημάτων. Επομένως για δύο συστήματα χρειάζονται δύο επεξεργαστές για την αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων, για τρία συστήματα έξι επεξεργαστές, για τέσσερα συστήματα δώδεκα επεξεργαστές και ούτω καθ' εξής. Μεγάλες τιμές του n είναι προφανώς μη αποδεκτές, καθώς πρέπει να ληφθεί υπόψη και η περίπτωση νέων εκδόσεων των CAD συστημάτων, για τις οποίες πρέπει να αναβαθμιστούν και οι αντίστοιχοι μεταγλωττιστές. Το τελευταίο μπορεί επίσης να δημιουργήσει πρόβλημα και στην περίπτωση που τα δεδομένα αρχειοθετούνται και μπορεί να ανασυρθούν από κάποιο καινούργιο σύστημα στο μέλλον, του οποίου η ύπαρξη την τρέχουσα στιγμή είναι πρακτικά άγνωστη [4].



Εικόνα 2.2: Ανταλλαγή δεδομένων χρησιμοποιώντας άμεσους μεταγλωττιστές [4]

β) Ο τελικός χρήστης πρέπει να ξέρει σε ένα ορισμένο βάθος τον τρόπο αναπαράστασης και των δύο συστημάτων για τις εκάστοτε πληροφορίες. Καθώς όμως κάποιες πληροφορίες μπορεί να αφορούν ιδιοκτησιακά στοιχεία, μπορεί να μην είναι διαθέσιμες για προφανείς λόγους εμπορικού ανταγωνισμού.

γ) Μπορεί να υπάρχουν αμφιβολίες για το ποιος είναι υπεύθυνος σε περίπτωση λανθασμένης μεταφοράς πληροφοριών. Φταίει ο τελικός χρήστης του μεταγλωττιστή ή οι πληροφορίες τις οποίες έλαβε από τον προμηθευτή δεν ήταν τελικά επαρκείς; Το θέμα αυτό παίρνει ακόμα μεγαλύτερες διαστάσεις όταν εμπλέκονται και επιπλέον ομάδες στην όλη διαδικασία.

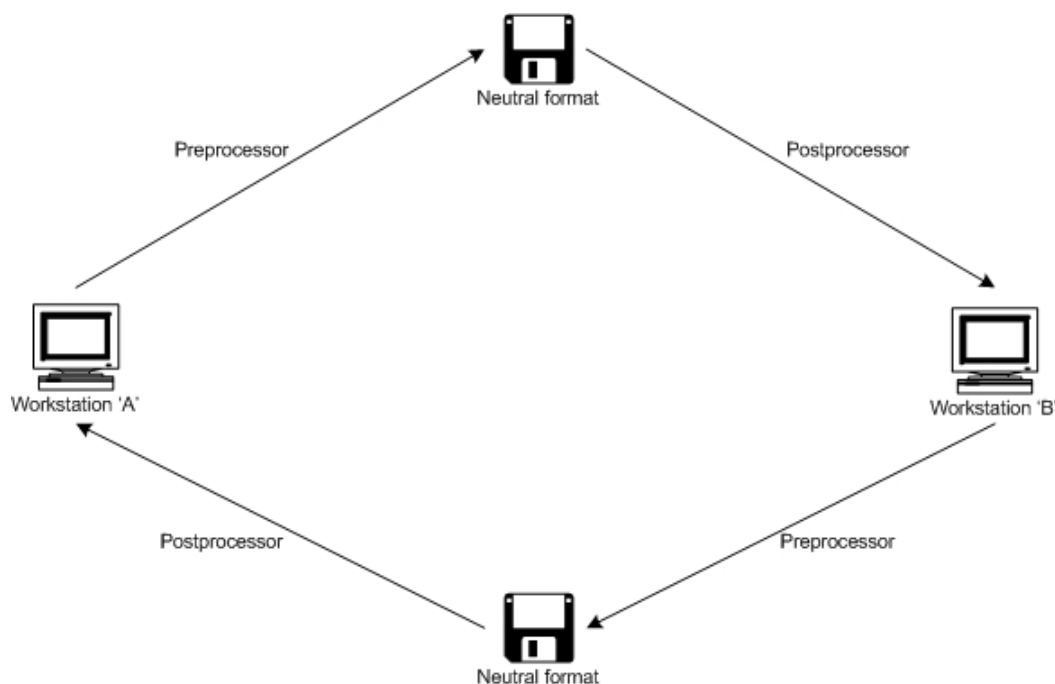
δ) Τα εμπειρικά στοιχεία τα οποία ενσωματώνονται σε κάθε πρότυπο ή προδιαγραφή για την ανταλλαγή δεδομένων προϊόντος για τη σωστή τελική χρήση τους, δεν μπορούν να εξαγοραστούν από καμία μικρή επιχείρηση. Πρέπει να υπάρχει βαθιά κατανόηση των εκάστοτε μετατροπών και γνώση του ορθού τρόπου χρησιμοποίησης αυτών [4].

2.4.4 Format κατασκευαστών

Τα ειδικά format κατασκευαστών (vendor formats) αποτελούν τη μέση λύση ανάμεσα στους άμεσους μεταγλωττιστές και στο ουδέτερο format. Σε αυτή την περίπτωση ο κατασκευαστής – προμηθευτής του CAD συστήματος εκδίδει αυτό που ο ίδιος καλεί ουδέτερο format, αλλά στην πραγματικότητα το τελευταίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με το format του εκάστοτε CAD συστήματος. Στην **Εικόνα 2.3** παρουσιάζεται η περίπτωση του ουδέτερου format. Οποιοσδήποτε επιθυμεί να μεταφέρει από και προς το σύστημα του προμηθευτή χρειάζεται να γράψει δύο επεξεργαστές και αν το format αυτό γίνει ευρέως διαδεδομένο, τότε η περίπτωση αυτή είναι σχεδόν όμοια με αυτή του κοινού (public) ουδέτερου format. Ο προμηθευτής προφανώς εξασφαλίζει την ανάγνωση οποιονδήποτε αρχείων στο δικό του format και την μεταγλώττιση αυτών των πληροφοριών πάλι πίσω σε αυτό. Παρόλα αυτά, τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση της τεχνολογίας του ουδέτερου format είναι περισσότερα σε σχέση με τα πλεονεκτήματα, καθώς όλα τα format αυτής της κατηγορίας μεταφέρουν τις ελάχιστες δυνατές πληροφορίες κάθε φορά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων format είναι το ISIF της Intergraph, το IIF της IBM και το DXF της AutoCAD. Ιδιαίτερη επιτυχία είχε το τελευταίο και αυτό οφείλεται στη δημοτικότητα του AutoCAD ως εισαγωγικό (entry level) CAD σύστημα, και στο επίπεδο των πληροφοριών που οι χρήστες επιθυμούσαν να ανταλλάξουν ανάμεσα σε τρέχουσες εκδόσεις του προγράμματος. Τέτοιου είδους format στην ουσία ασχολούνται με βασικά στοιχεία γεωμετρίας και διαστασιολόγησης, αλλά τίποτα παραπάνω.

Συνοψίζοντας λοιπόν, τα format κατασκευαστών είναι ένας τρόπος για κάθε εταιρία που διανέμει κάποιο CAD σύστημα, να παρέχει μια περισσότερο «χαλαρή» έκδοση της εσωτερικής δομής των δεδομένων του στο ευρύ κοινό και να μπορέσει με αυτό τον τρόπο να επιδείξει ότι κάθε είδους πρόσβαση στο σύστημά της από οποιοδήποτε άλλο είναι εύκολη. Το γεγονός ότι και τα δεδομένα εξόδου του συστήματος μπορούν εξίσου εύκολα να μεταφερθούν, είναι ανεπιθύμητο για τον

κατασκευαστή, καθώς επιτρέπει στους χρήστες να μεταπηδήσουν και σε άλλα συστήματα. Πολλές από τις πληροφορίες που θα μπορούσε κάποιος να αποθηκεύσει στο εκάστοτε σύστημα χάνονται, λόγω της απλοποίησης του format, το οποίο εκδίδεται από συγκεκριμένο κατασκευαστή, γεγονός το οποίο αποσιωπείται στην προσπάθεια ενθάρρυνσης του χρήστη να αγοράσει το σύστημά [4].



Εικόνα 2.3: Ανταλλαγή δεδομένων χρησιμοποιώντας το ουδέτερο format [4]

2.4.5 Ανταλλαγή αρχείων ουδέτερου format

Η πιο αποτελεσματική θεωρητικά μέθοδος ανταλλαγής πληροφοριών ανάμεσα σε δύο ανόμοια συστήματα, καλείται ανταλλαγή αρχείων ουδέτερου format (neutral – format file exchange). Αποτελεί αυτό που ουσιαστικά ορίζεται και ως ανταλλαγή δεδομένων «δεύτερης γενιάς» ή διαφορετικά ανταλλαγή δεδομένων σε CAD/CAM εφαρμογές (CAD εφαρμοσμένο σε CAM). Η συγκεκριμένη μέθοδος διαφοροποιείται από την ανταλλαγή δεδομένων «τρίτης γενιάς», η οποία βασίζεται στην τεχνολογία που εισήγαγε το STEP με λιγότερη έμφαση στη λογική των CAD/CAM εφαρμογών. Η λογική του ουδέτερου format ως μέσο ανταλλαγής θα αποτελέσει τελικά ένα επιπλέον ισχυρό εργαλείο ανάμεσα στα ήδη υπάρχοντα [4].

Η ανταλλαγή δεδομένων χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του ουδέτερου format βασίζεται στη θεωρία ότι είναι δυνατόν να σχεδιαστεί ένα format, με βάση το οποίο κάποιος μπορεί να αναπαραστήσει όλες τις πληροφορίες που είναι πιθανές να αναπαρασταθούν από ένα CAD/CAM σύστημα σε μια μορφή ανεξάρτητη του ίδιου του συστήματος, με τρόπο τέτοιο ώστε να μην λαμβάνονται υπόψη οποιεσδήποτε

αναπαραστάσεις υπολοίπων CAD συστημάτων. Σε αυτή την περίπτωση ο εκάστοτε κατασκευαστής CAD συστήματος μπορεί να γράψει δύο είδη λογισμικών, τα οποία καλούνται επεξεργαστές, έτσι ώστε να μπορεί να μεταγλωττίσει από τη μορφή των εσωτερικών δεδομένων του συστήματός του στο ουδέτερο format και το αντίστροφο (**Εικόνα 2.3**). Κάθε CAD σύστημα λοιπόν πρέπει επιπρόσθετα να περιλαμβάνει και έναν προεπεξεργαστή (preprocessor), ο οποίος πραγματοποιεί την μεταγλώττιση από το υπάρχον σύστημα στο ουδέτερο format, καθώς και έναν μεταεπεξεργαστή (postprocessor), ο οποίος αναλαμβάνει την ακριβώς αντίθετη διαδικασία, δηλαδή τη μεταγλώττιση από το ουδέτερο format στο υπάρχον σύστημα. Το γεγονός ότι κάποιος πρέπει να κάνει μια προεπεξεργασία προς το ουδέτερο format και μια μεταεπεξεργασία από το ουδέτερο format, τονίζει ότι οι ίδιοι οι δημιουργοί των ουδέτερων format, ως επί το πλείστον, ήταν χρήστες που αντιμετώπιζαν διαφόρων ειδών προβλήματα και δυσκολίες, και είναι αυτοί οι οποίοι τελικά επέλεξαν την ορολογία για την τεχνολογία ανταλλαγής δεδομένων και όχι οι κατασκευαστές των CAD συστημάτων [4].

Ο βασικός στόχος ενός προεπεξεργαστή είναι να μπορεί να αιχμαλωτίσει με απόλυτη ακρίβεια όλο το περιεχόμενο των πληροφοριών ενός CAD συστήματος. Αυτό βέβαια στην πραγματικότητα μπορεί να μην είναι πλήρως εφικτό, γεγονός που οφείλεται περισσότερο στη μη επαρκή χρησιμοποίηση του ουδέτερου format, παρά σε έναν εσφαλμένο ή ανεπαρκή επεξεργαστή. Στη συνέχεια ο μεταεπεξεργαστής πρέπει να αιχμαλωτίζει το περιεχόμενο των πληροφοριών οποιουδήποτε αρχείου ουδέτερου format, διατηρώντας τόσες πληροφορίες όσες το υπάρχον σύστημα μπορεί να αναπαραστήσει, και να προσδιορίζει σαφώς τα σημεία όπου υπάρχει μερική ή ολική απώλεια αυτών. Υπάρχουν μερικά απλά CAD συστήματα ιδανικά για κάποιες χρήσεις, τα οποία αναπαριστούν καμπύλες μορφές μόνο με τη χρήση ευθειών γραμμών και κυκλικών τόξων. Η προσαρμογή μιας καμπύλης (curve fitting) στις δύο διαστάσεις με τη χρήση τόξων δευτέρου βαθμού (biarcs) είναι μια αρκετά γνωστή και εδραιωμένη τεχνική κατά την οποία χάνεται μέρος του περιεχομένου των πληροφοριών που αφορούν την αρχική καμπύλη, όταν αυτή για παράδειγμα είναι ένα κυβικό πολυώνυμο, διατηρείται όμως η γραφική της μορφή.

Στην ιδανική περίπτωση, η ανταλλαγή δεδομένων θα πραγματοποιηθεί όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.3**. Κάθε κατασκευαστής θα παρέχει μαζί με το σύστημά του πλήρως λειτουργικούς επεξεργαστές με αποτέλεσμα ο τελικός χρήστης να μπορεί να ανταλλάξει πληροφορίες από το δικό του CAD σύστημα με οποιοδήποτε άλλο και το αντίθετο. Η μόνη ουσιαστική δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι τα διάφορα CAD συστήματα διαφοροποιούνται ως προς το περιεχόμενο των πληροφοριών τους. Αυτό αποτελεί βέβαια και το βασικό κριτήριο, με βάση το οποίο οι χρήστες κάνουν την τελική επιλογή τους ανάμεσα σε μια πλειάδα CAD συστημάτων, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις τους. Αρκετά είναι τα ερωτήματα τα οποία πρέπει να απαντήσει κανείς, έτσι ώστε να μπορεί να έχει μια σαφή εικόνα για το τι πραγματικά χρειάζεται:

Είναι ένα δισδιάστατο σύστημα σχεδίασης επαρκές; Είναι επιτακτική η χρήση πολύπλοκων επιφανειών για την επίλυση του προβλήματος; Υπάρχει ανάγκη για τη χρησιμοποίηση συστημάτων τα οποία παρέχουν όσο το δυνατόν περισσότερες και αναλυτικές πληροφορίες, όπως αυτές υπάρχουν σε πολύπλοκα και εμπεριστατωμένα συστήματα (π.χ. στερεομετρικές σχέσεις); Αυτή η διαφοροποίηση στη λειτουργικότητα των συστημάτων, ακόμα και όταν αυτά χρησιμοποιούνται στην ίδια φάση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (αμετάβλητη σχεδίαση), στον ίδιο βιομηχανικό τομέα και για τον ίδιο σκοπό (π.χ. προσδιορισμός μορφής), συνεχίζει να υπάρχει ακόμα και σήμερα και αποτέλεσε το βασικό έναυσμα για τη δημιουργία του STEP. Ιστορικά αναφέρεται ότι στη δεκαετία του '70 και στην αρχή της δεκαετίας του '80, όταν άρχισε να αναπτύσσεται η ανταλλαγή δεδομένων δεύτερης γενιάς, η βασική ανάγκη αφορούσε την ανταλλαγή του περιεχομένου μηχανολογικών σχεδίων [4].

Μέχρι αυτό το σημείο έχουν καλυφθεί οι απαιτήσεις που υπάρχουν για τους κατασκευαστές. Ποιες είναι όμως οι πραγματικές απαιτήσεις των τελικών χρηστών από το format; Εάν το εξετάσει κάποιος από πλευράς χρησιμότητας, το format πρέπει να είναι ανεξάρτητο από οποιοδήποτε CAD σύστημα και ταυτόχρονα αρκετά πολύπλοκο, ώστε να μπορεί να αναπαραστήσει το περιεχόμενο των πληροφοριών και των πιο εξελιγμένων CAD συστημάτων. Αυτές οι δύο ανάγκες λειτουργούν σε κάποιες περιπτώσεις ανταγωνιστικά. Τα πρώτα format που δημιουργήθηκαν αναπαριστούσαν αρκετά καλά το περιεχόμενο των τότε CAD σχεδιαστικών συστημάτων, τα οποία εμπλούτισαν τη μηχανολογική σχεδίαση με την τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλων ακμών, τη διαχείριση όψεων, τη δόμηση σχεδίασης, τη χρήση πολλαπλών επιπέδων και τη χρησιμοποίηση συμβόλων. Βασικό τους μειονέκτημα ήταν η έλλειψη διαχείρισης στερών μοντέλων ή ακόμα και επιφανειών, όπως απεικονίζονταν από τα πιο εξελιγμένα συστήματα. Αυτό βέβαια είναι αναμενόμενο, καθώς η τεχνολογία που αφορά στην αναπαράσταση επιφανειών εξελίσσεται διαρκώς και η σχεδίαση στερεών μοντέλων δεν έχει γίνει ακόμα επαρκώς κατανοητή από τους ερευνητές, καθιστώντας την με αυτό τον τρόπο «μαύρο κουτί» για τους χρήστες. Έτσι λοιπόν, όπως συμβαίνει με όλα τα πρότυπα που αφορούν στην τεχνολογία πληροφοριών, εύκολα αμφισβητεί κανείς τη σπουδαιότητα των ουδέτερων format, καθώς δε συμβαδίζουν πάντα με την αιχμή της τεχνολογίας.

Μια επιπλέον απαίτηση είναι ότι το format πρέπει να υποστηρίζεται από ένα μεγάλο εύρος συστημάτων. Επομένως πρέπει να είναι όσο το δυνατόν καλύτερο και να αποτελέσει τελικά πρότυπο (standard). Η διαδικασία για να επιτευχθεί αυτό είναι αρκετά χρονοβόρα, επειδή η κοινή συναίνεση κρίνεται απαραίτητη ώστε να εξασφαλιστεί η αποδοχή του format από το ευρύ κοινό και αποτελεί ένα εσωτερικό, αλλά αναπόσπαστο κομμάτι της όλης διαδικασίας. Παρόλα αυτά κάποιες ομάδες μπορεί να μην επιθυμούν τη συγκεκριμένη προδιαγραφή, όπως κατασκευαστές ή άτομα, που έχουν μια καλύτερη ιδέα, χωρίς να έχουν την πρόθεση να τη μοιραστούν

με την υπόλοιπη κοινότητα, και θα προτιμούσαν να αποφευχθεί όλη αυτή η δημοσιότητα. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα διαφόρων «ντε φάκτο» προτύπων ανά διαστήματα, όπως οι H/Y της IBM με ενσωματωμένο λειτουργικό σύστημα το MS-DOS και οι διάφορες εκδόσεις του UNIX. Οι επεξεργαστές δεύτερης γενιάς για την ανταλλαγή δεδομένων τελικά έγιναν κρατικά πρότυπα. Περαιτέρω προσπάθειες για διεθνή πλέον πρότυπα, με βασικότερο το STEP, προήλθαν από τη συνειδητοποίηση του γεγονότος ότι η κοινότητα είχε ανάγκη ενός διεθνώς αποδεκτού αρχείου ουδέτερου format, για την αποφυγή δημιουργίας πανομοιότυπων και ακόμα πιο ανταγωνιστικών, σε διεθνές επίπεδο, κρατικών προτύπων [4].

Ένα τρίτο θέμα που αξίζει να αναφερθεί, το οποίο δεν είχε γίνει ίσως επαρκώς κατανοητό όταν αρχικά προτάθηκαν τα format δεύτερης γενιάς, είναι ότι πρέπει να υπάρχει κάποιο είδος μηχανισμού, ο οποίος να εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία των επεξεργαστών. Για τη σωστή λειτουργία «ανοιχτών» συστημάτων απαιτούνται τα κατάλληλα πρότυπα και για τη σωστή λειτουργία των προτύπων απαιτούνται απαραίτητες δοκιμές επεξεργαστών (processor testing). Το τελευταίο αποτελεί ένα πολύ μεγάλο θέμα για το οποίο δε θα γίνει περαιτέρω ανάλυση, καθώς ξεφεύγει από τους στόχους της παρούσας εργασίας. Σε γενικές γραμμές πάντως αναφέρεται ότι οι τελικοί χρήστες πρέπει να έχουν εμπιστοσύνη στο σύστημα τους.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της ανταλλαγής δεδομένων με τη χρήση του ουδέτερου format μπορούν να συνοψιστούν στα εξής [4]:

- α) Ο αριθμός των λογισμικών που απαιτούνται είναι ευθέως ανάλογος με τον αριθμό των επεξεργαστών που θα λάβουν μέρος στις ανταλλαγές. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στην **Εικόνα 2.3** και δείχνει ότι εάν υπάρχουν n συστήματα, απαιτούνται συνολικά $2n$ επεξεργαστές. Σε αντίθεση με τους άμεσους μεταγλωττιστές γίνεται προφανές ότι σε περιπτώσεις τριών ή περισσότερων CAD συστημάτων, η ανταλλαγή δεδομένων με τη χρήση ουδέτερου format απαιτεί ανάπτυξη πολύ λιγότερων επεξεργαστών.
- β) Η ποιότητα και η σωστή λειτουργία των επεξεργαστών εξαρτάται από τον εκάστοτε κατασκευαστή ενός CAD συστήματος. Πριν αγοραστεί κάποιο σύστημα, ένας ενημερωμένος υποψήφιος αγοραστής μπορεί να ζητήσει μια επίδειξη ανάγνωσης ενός αρχείου ουδέτερου format, καθώς και γράψιμο κάποιων δικών του πληροφοριών σε ένα τέτοιο αρχείο. Αυτό αποτελεί ένα επιπλέον σημαντικό στοιχείο που αφορά τις δοκιμές αποδοχής των επεξεργαστών από τους χρήστες (user – acceptance testing) και σίγουρα λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τις κατασκευάστριες εταιρίες για τη σωστή προώθηση και διαφήμιση των προϊόντων τους.
- γ) Ένα πρότυπο ή ακόμα και μια ελεγχόμενη προδιαγραφή μπορούν πολλές φορές να αποτελέσουν το αντικείμενο αναμορφωτικού ελέγχου. Αυτό παρόλο που δεν αντικαθιστά τις δοκιμές αποδοχής από τους χρήστες, προσδίδει μεγαλύτερη αξιοπιστία στους επεξεργαστές που έχουν περάσει από μια διαδικασία αναμορφωτικού ελέγχου.

- δ) Η πιθανή υποψηφιότητα για κρατική ή ακόμα και διεθνή προτυποποίηση υπαγορεύει μια ευρεία συναίνεση και συνεισφορά στην ανάπτυξη του format, διασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την ενσωμάτωση εμπειρίας και γνώσης σε αυτό.
- ε) Ανεξάρτητοι οργανισμοί μπορούν να συμβάλλουν στη διαδικασία δοκιμών κάποιου format, βασισμένοι σε ανεξάρτητα έγγραφα.

Τα κύρια μειονεκτήματα της ανταλλαγής δεδομένων με τη χρήση του ουδέτερου format είναι τα ακόλουθα:

- α) Είναι αρκετά δύσκολο να βρεθεί ένα format, το οποίο έχει επαρκείς δυνατότητες όσον αφορά στο πλήθος των πληροφοριών που μπορεί να περιγράψει, και να αποτελέσει ένα πρότυπο ή ακόμα και «ντε φάκτο» πρότυπο σε ένα ικανοποιητικά υψηλό λειτουργικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, με τα αρχεία ανταλλαγής δεδομένων ουδέτερου format αυτό που γίνεται ουσιαστικά είναι μια προσπάθεια για παραγωγή κάποιων προτύπων τη στιγμή που η τεχνολογία διαρκώς εξελίσσεται και κανείς δε θα συμβιβαστεί πλήρως με μια λύση που δεν περνά τη δοκιμασία του χρόνου.
- β) Η διασφάλιση ότι κάθε format θα υποστηρίζεται και από ικανοποιητικούς επεξεργαστές έγκειται στην υπευθυνότητα των εκάστοτε κατασκευαστών CAD συστημάτων. Προφανώς δεν τους συμφέρει να διευκολύνουν τη ροή των πληροφοριών έξω από το σύστημά τους, καθώς αυτό δε θα εμπόδιζε τους χρήστες να προμηθευτούν κάποιο άλλο CAD σύστημα στην επόμενη τους αγορά.

Τέλος αναφέρεται ότι μέρος του προβλήματος, μαζί με διάφορα άλλα τεχνικά προβλήματα που προέκυψαν κατά τη χρήση τους, με τα format δεύτερης γενιάς ήταν η δημιουργία ανεπαρκών προδιαγραφών, οι οποίες τελικά οδήγησαν σε παρεξηγήσεις [4].

2.5 Η διαδικασία δημιουργίας ενός προτύπου

Πριν προχωρήσουμε είναι σημαντικό να κατανοηθεί σε ένα βαθμό η διαδικασία δημιουργίας ενός προτύπου. Είναι γεγονός ότι σε αυτό το πεδίο είναι απαραίτητη η ύπαρξη ανθρώπων με την απαραίτητη εμπειρία στο χώρο καθώς και ανθρώπων με όραμα. Για να επιτευχθεί ένα πρότυπο βασικές προϋποθέσεις είναι η ύπαρξη μιας κοινής συναινετικής πολιτικής, καθώς και η αποτελεσματική εφαρμογή της τεχνολογίας των πληροφοριών. Με λίγα λόγια απαιτείται κατανόηση από το ευρύ κοινό και χρόνος αφοσίωσης από τα σωστά άτομα, μέσα σε ένα διαρκώς εξελισσόμενο χώρο, γεγονός το οποίο καθιστά την όλη διαδικασία αρκετά επίπονη.

Σήμερα υπάρχουν αρκετοί εθνικοί οργανισμοί (π.χ. BSI, AFNOR, DIN, ANSI), ένας ευρωπαϊκός (CEN/CENELEC), καθώς και άλλοι διεθνείς (ISO και IEC). Μερικοί από αυτούς έπαιξαν καθοριστικό ρόλο για τη δημιουργία και για την περαιτέρω εξέλιξη των δημοφιλέστερων προτύπων IGES και STEP.

Το 1985 η επιτροπή του ISO TC184/SC4 αποφάσισε σε μια συνδιάσκεψη στο Παρίσι ότι κανένα από τα format δεύτερης γενιάς δεν παρέχει επαρκή βάση για την

ανταλλαγή δεδομένων προϊόντος και ότι πρέπει να δημιουργηθεί μια νέα ομάδα που θα καθορίσει ένα πρότυπο για την ανταλλαγή δεδομένων προϊόντος, το οποίο θα αντικαταστήσει όλα τα υπόλοιπα. Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα έδωσε τελικά το IGES και μερικά χρόνια αργότερα το STEP [4].

B-SPLINE ΚΑΙ NURBS ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

3.1 Παραμετρική και πεπλεγμένη μορφή καμπυλών και επιφανειών

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι για την παράσταση καμπυλών ή επιφανειών είναι με χρήση πεπλεγμένων σχέσεων και με χρήση παραμετρικών σχέσεων. Μία καμπύλη στο XY επίπεδο μπορεί να παρασταθεί με μία πεπλεγμένη σχέση της μορφής $f(x, y) = 0$. Η εξίσωση αυτή περιγράφει μια πεπλεγμένη σχέση μεταξύ των σημείων x και y της καμπύλης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο κύκλος, που σχεδιάζεται με κέντρο την αρχή των αξόνων και μοναδιαία ακτίνα. Ο κύκλος αυτός δίνεται από την εξίσωση $f(x, y) = x^2 + y^2 - 1 = 0$. Αντίστοιχα, στην παραμετρική μορφή της, η αναπαράσταση της καμπύλης μπορεί να έχει μορφή που περιγράφεται από την εξίσωση $C(u) = [x(u), y(u)]$ με την ανεξάρτητη παράμετρο u να παίρνει τιμές σε συγκεκριμένο διάστημα $[a, b]$. Ως παράδειγμα, ένας κύκλος μοναδιαίας ακτίνας σε παραμετρική μορφή γράφεται ως $x(u) = \cos(u)$, $y(u) = \sin(u)$ με την παράμετρο u να παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, 2\pi]$. Παρατηρώντας τις δύο εναλλακτικές μεθόδους περιγραφής του κύκλου, διαπιστώνουμε ότι η παραμετρική μορφή δεν μας δίνει άμεσα τη γεωμετρική πληροφορία για τη μορφή της καμπύλης. Αυτό είναι ένα γενικότερο χαρακτηριστικό των παραμετρικών καμπυλών. Συγκεκριμένα, είναι δύσκολο να είναι γνωστή η βασική γεωμετρία που αντιπροσωπεύουν οι παραμετρικές σχέσεις, χωρίς να υπάρχει κάποια περαιτέρω ανάλυση. Οι συντελεστές των εξισώσεων δεν έχουν καμία γεωμετρική έννοια και είναι σχεδόν αδύνατο να προβλεφθεί η αλλαγή της μορφής εάν ένας ή περισσότεροι συντελεστές τροποποιούνται. Κατά συνέπεια, ο σχεδιασμός μιας καμπύλης, που ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο περίγραμμα, είναι πολύ δύσκολος. Αυτό συμβαίνει πολύ πιο έντονα στην περίπτωση των παραμετρικών καμπυλών B-Spline. Όμως η παραμετρική μορφή των καμπυλών και των επιφανειών είναι πολύ καλύτερα προσαρμοσμένη στη διαδικασία της σχεδίασης με χρήση H/Y.

Στην πράξη, οι χρήστες ενός λογισμικού γεωμετρικής σχεδίασης συνήθως δεν ενδιαφέρονται για τα θεμελιώδη μαθηματικά. Εστιάζουν περισσότερο στο να πραγματοποιήσουν τις εργασίες τους. Έτσι λοιπόν, ένα σύστημα που υποστηρίζει τους χρήστες για να σχεδιάσουν καμπύλες πρέπει να είναι:

- ο **Διαισθητικό**: Αναμένεται ότι κάθε βήμα και κάθε αλγόριθμος θα έχει μια διαισθητική και γεωμετρική ερμηνεία.
- ο **Ευέλικτο**: Το σύστημα πρέπει να παρέχει στους χρήστες έλεγχο για το σχεδιασμό της μορφής μιας καμπύλης. Ο τρόπος για την δημιουργία μιας καμπύλης πρέπει να είναι εύκολος, διαισθητικός και γεωμετρικός.

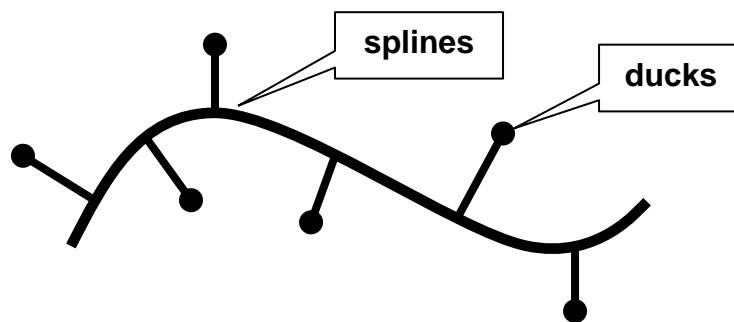
- **Ενιαία προσέγγιση:** Ο τρόπος αναπαράστασης και δημιουργίας για διαφορετικούς τύπους καμπυλών (π.χ., γραμμές, κωνικά τμήματα και κυβικές καμπύλες) πρέπει να είναι ο ίδιος. Δηλαδή να μην απαιτούνται διαφορετικές τεχνικές για διαφορετικές καμπύλες (δηλαδή, κωνικές και κυβικές).
- **Σταθερό:** Η αντιπροσωπευτική καμπύλη δεν θα αλλάξει τη γεωμετρία της κατά τη διάρκεια των γεωμετρικών μετασχηματισμών όπως περιστροφή και μεταφορά.
- **Αποδοτικό και αριθμητικά σταθερό:** Ο χρήστης ενός συστήματος σχεδίασης γεωμετρικών στοιχείων αναμένει το σύστημα να του παραδώσει την καμπύλη που θέλει *γρήγορα* και *επακριβώς*. Επιπλέον, ένα μεγάλο σύνολο υπολογισμών δεν θα διαστρεβλώσει τη μορφή της καμπύλης (δηλαδή, απαιτείται αριθμητική σταθερότητα).

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν μερικές τεχνικές για το σχεδιασμό καμπυλών, οι οποίες εκπληρώνουν επιτυχώς τα παραπάνω κριτήρια. Θα αναλύσουμε τις καμπύλες καθώς και τις αντίστοιχες επιφάνειες B-Spline και NURBS, οι οποίες πληρούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά και έχουν επικρατήσει διεθνώς στη διαδικασία σχεδίασης με χρήση H/Y [2].

3.2 Ιστορική αναδρομή

Πριν την εξέλιξη των H/Y, οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί παρήγαγαν τα σχέδιά τους για οικοδομικά κτίρια, δρόμους και μηχανικά μέρη χρησιμοποιώντας χαρτί, μολύβι και διάφορα άλλα απλά εργαλεία. Αυτά τα εργαλεία συμπεριλάμβαναν χάρακες και ορθογώνια για σχεδίαση ευθειών, διαβήτες για σχεδίαση κύκλων και τόξων και τρίγωνα και μοιρογνομόνια για σχεδίαση γωνιών. Φυσικά αρκετά ενδιαφέροντα και πιο σύνθετα σχήματα αντικειμένων δεν μπορούσαν να σχεδιαστούν μόνο με αυτά τα απλά εργαλεία, επειδή τα καμπύλα τμήματά τους δεν αποτελούνταν από κύκλους ή ελλείψεις. Συχνά, μία καμπύλη έπρεπε να περάσει ομαλά από ένα αριθμό προκαθορισμένων σημείων. Αυτό το πρόβλημα πρακτικά ήταν περισσότερο έντονο στην ναυπηγική. Παρόλο που ένας ικανός καλλιτέχνης μπορεί αξιόπιστα να σχεδιάσει με το χέρι καμπύλες σε ένα τραπέζι σχεδίασης, στην ναυπηγική συχνά απαιτούνταν να κατασκευαστούν τεράστια σχέδια. Εξαιτίας του τεράστιου μεγέθους, τέτοια σχέδια συχνά κατασκευάζονταν σε τεράστιους χώρους μεγάλων κτιρίων από ειδικούς γνωστούς ως *loftsmen*. Αυτοί, για να βοηθηθούν, τοποθετούσαν μακριά, λεπτά, εύκαμπτα δοκάρια από ξύλο, πλαστικό, ή μέταλλο που ονομάζονταν *splines*. Τα *splines* συγκρατούνταν στη θέση τους με βαρίδια, τα ονομαζόμενα *ducks*, λόγω της ομοιότητάς τους με τα γνωστά πτηνά (**Εικόνα 3.1**).

Η καμπύλη που προέκυπτε ήταν ομαλή, ενώ η καμπύλωση προέκυπτε από τη θέση των *ducks*. Με την εξέλιξη των H/Y και την εισαγωγή της σχεδίασης με χρήση H/Y, ανακαλύφθηκαν οι φυσικές ιδιότητες των *splines* και έτσι μπόρεσαν να μοντελοποιηθούν μαθηματικά.



Εικόνα 3.1: Παραδοσιακή μέθοδος σχεδίασης καμπυλών [2]

Στη συνέχεια, η πρώτη προσέγγιση για την σχεδίαση καμπυλών και επιφανειών με μη αναλυτική περιγραφή έγινε από τον Fergusson το 1960 στη Boeing. Ο Fergusson εισήγαγε την παραμετρική διανυσματική αναπαράσταση των καμπυλών και δημιούργησε το σύστημα FMILL για την περιγραφή επιφανειών ελεύθερης μορφής. Τα τμήματα Fergusson είναι κυβικά πολυωνυμικά τμήματα που προσδιορίζονται από τα διανύσματα θέσης και τα εφαπτόμενα διανύσματα στα άκρα του τμήματος, χρησιμοποιώντας παρεμβολή Hermite.

Το 1964 και μετέπειτα το 1967, ο Coons στο M.I.T. εισήγαγε μια μέθοδο περιγραφής επιφανειακών μπαλωμάτων, προσδιορίζοντας πρώτα τα διανύσματα θέσης στα τέσσερα ακραία σημεία του μπαλώματος και στην συνέχεια τις τέσσερις οριακές καμπύλες του μπαλώματος.

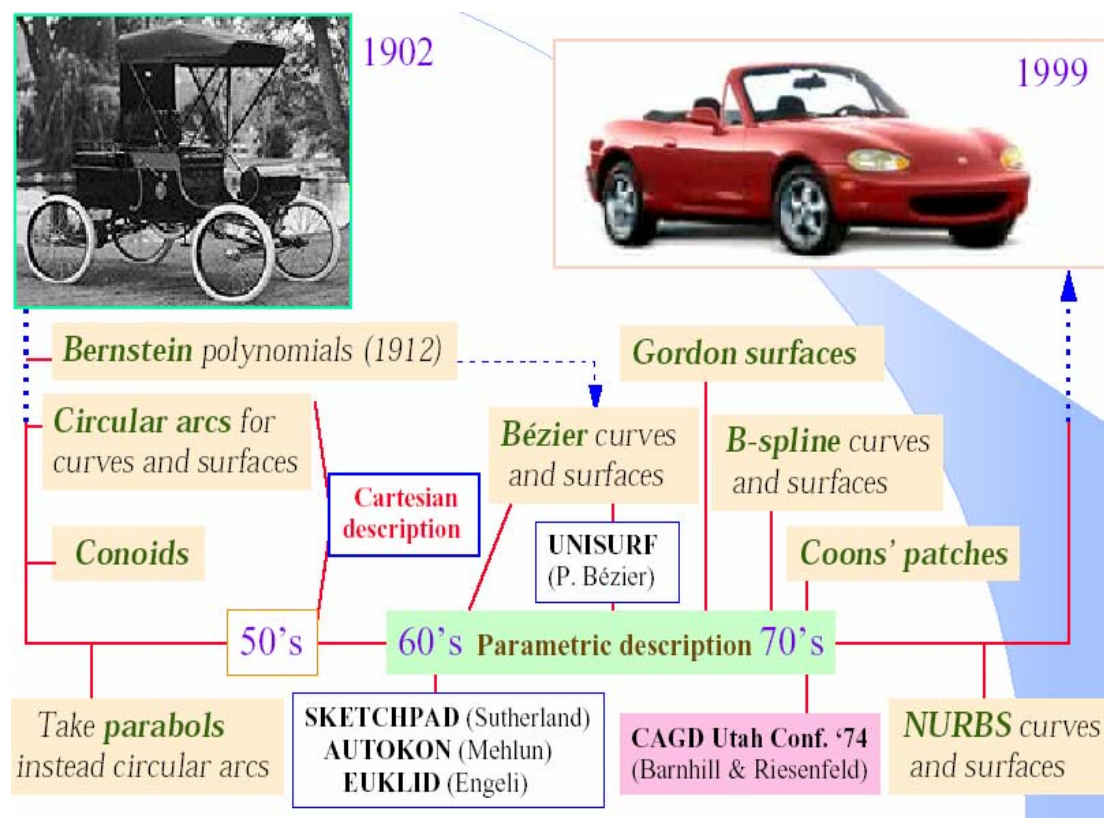
Οι δύο παραπάνω μέθοδοι όμως είχαν τα εξής μειονεκτήματα:

- ο Ήταν δύσκολος ο άμεσος έλεγχος της μορφής της καμπύλης.
- ο Κατά την ένωση διαδοχικών τμημάτων, η συνέχεια της προκύπτουσας καμπύλης δεν εξαρτάται από τα διαδοχικά τμήματα αλλά από όλη την καμπύλη.

Στη συνέχεια, ο Bezier στη Renault εισήγαγε μια μέθοδο περιγραφής καμπύλης από το χαρακτηριστικό πολύγωνο ή πολύγωνο ελέγχου, χρησιμοποιώντας τα πολυώνυμα Bernstein ως συναρτήσεις μείξης και με αυτή τη βάση δημιουργήθηκε το σύστημα UNISURF. Η μέθοδος αυτή παρέχει ευκολία ελέγχου της μορφής της καμπύλης αλλά παρουσιάζει προβλήματα σύνδεσης των διαφόρων τμημάτων μεταξύ τους, δημιουργεί πολυωνυμικές καμπύλες μεγάλου βαθμού και το τελικό μοντέλο αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα και επιφανειακά μπαλώματα. Για μεγάλο χρονικό διάστημα ήταν η βασική μορφή αναπαράστασης καμπυλών και επιφανειών ελεύθερης μορφής σε πολλά συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση υπολογιστή.

Οι Gordon [9] και Riesenfeld [21] χρησιμοποίησαν βασικές συναρτήσεις (basis functions) ως συναρτήσεις μείξης της καμπύλης και δημιούργησαν τις B-Splines. Για τον ορισμό τους χρησιμοποιείται το χαρακτηριστικό πολύγωνο, οι καμπύλες έχουν ανάλογες ιδιότητες με τις καμπύλες Bezier αλλά έχουν επιπλέον και την δυνατότητα τοπικού ελέγχου της καμπύλης. Ουσιαστικά αποτελούν γενίκευση των καμπυλών Bezier.

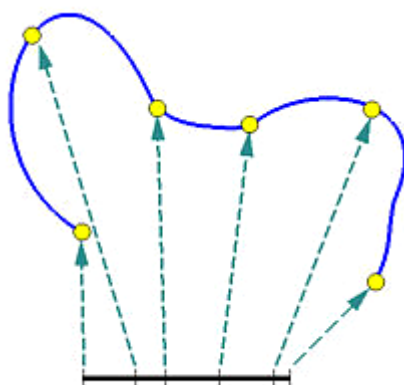
Όμως, όλες οι παραπάνω μέθοδοι δεν μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια κύκλους, ελλείψεις και κωνικές τομές. Η εξέλιξη των καμπυλών B-Splines στη μορφή των Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) ξεπέρασε και αυτό το πρόβλημα, δίνοντας πολύ μεγαλύτερη ελευθερία στη σχεδίαση πολύπλοκων ή τυποποιημένων καμπυλών με ενιαίο τρόπο. Οι παραπάνω μέθοδοι περιγράφονται σχηματικά στην **Εικόνα 3.2**, όπου παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης των καμπυλών και των επιφανειών από το 1902 μέχρι σήμερα [2].



Εικόνα 3.2: Ιστορική εξέλιξη καμπυλών και επιφανειών [2]

3.3 Καμπύλες και επιφάνειες B-spline

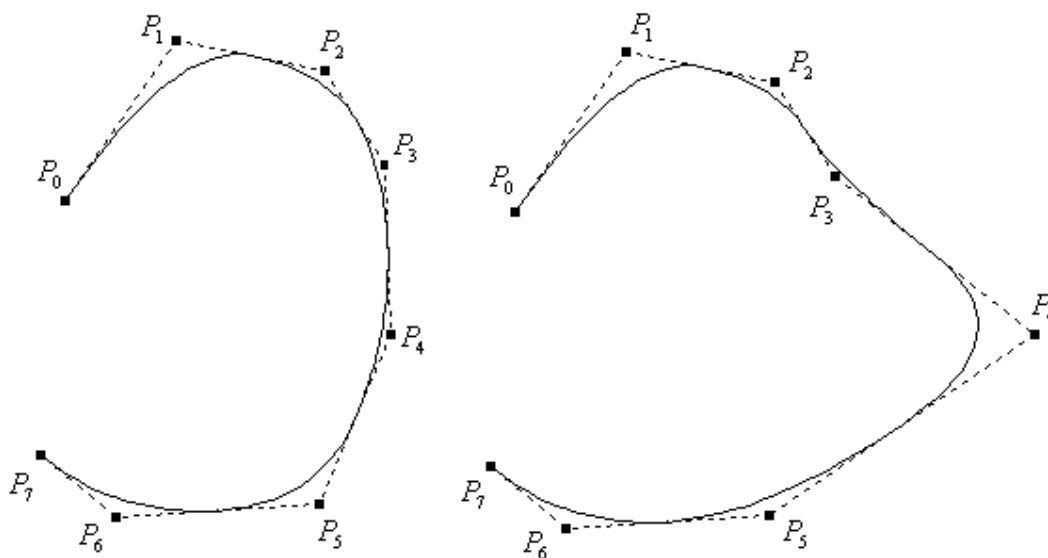
Για να οριστεί επαρκώς και να σχεδιαστεί μια καμπύλη ή μια επιφάνεια B-Spline, χρειαζόμαστε ένα σύνολο σημείων ελέγχου (control points), ένα σύνολο κόμβων (knots) και ένα σύνολο συντελεστών (coefficients), ένα για κάθε σημείο ελέγχου, έτσι ώστε όλα τα τμήματα καμπυλών ή επιφανειών να ενώνονται μαζί ικανοποιώντας ορισμένες συνθήκες συνοχής. Ο υπολογισμός των συντελεστών είναι ίσως το πιο σύνθετο βήμα, επειδή πρέπει να εξασφαλίσουν ορισμένες συνθήκες συνοχής. Στην **Εικόνα 3.3** παρουσιάζεται μια καμπύλη B-spline μαζί με τα χαρακτηριστικά της [2].



Εικόνα 3.3: Καμπύλη B-spline [2]

3.3.1 Σημεία ελέγχου

Ο έλεγχος των καμπυλών B-Spline επιτυγχάνεται με την τροποποίηση των σημείων ελέγχου (control points), με τη μετακίνησή τους δηλαδή στο δισδιάστατο ή στον τρισδιάστατο χώρο. Συχνά τα σημεία ελέγχου ενώνονται μεταξύ τους για την πιο εύκολη αναγνώρισή τους, σχηματίζοντας με αυτό τον τρόπο το πολύγωνο ελέγχου (control polygon). Στην **Εικόνα 3.4** που ακολουθεί, παρουσιάζεται η επίδραση που έχει σε μια ανοικτή δευτεροβάθμια καμπύλη B-Spline με 8 σημεία ελέγχου, η μεταβολή ενός από αυτά (P_4). Επίσης, στο σχήμα φαίνεται πως η αλλαγή στο σχήμα της καμπύλης δεν πραγματοποιείται σε ολόκληρο το μήκος της αλλά μόνο σε μια περιοχή της, κοντά στο μετακινούμενο σημείο ελέγχου.



Εικόνα 3.4: Τοπική επίδραση με την μετακίνηση ενός σημείου ελέγχου [18]

Αυτή είναι μια πολύ δημοφιλής ιδιότητα των καμπυλών B-Spline, αφού μας επιτρέπει να προκαλούμε αλλαγές σε ένα μικρό τμήμα της καμπύλης, χωρίς να επηρεάζεται η γενικότερη μορφή της (τοπική επίδραση). Κάθε σημείο ελέγχου επηρεάζει μόνο το τμήμα της καμπύλης που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτό, αλλά έχει μικρή ή καθόλου επίδραση σε τμήματα της καμπύλης που απέχουν σημαντικά από το εν λόγω σημείο [18].

3.3.2 Βασικές συναρτήσεις B-spline

Η συνάρτηση $N_{i,p}(u)$ [18], η οποία καθορίζει πόσο ισχυρά το σημείο ελέγχου P_i επηρεάζει την καμπύλη για δεδομένη τιμή της ελεύθερης παραμέτρου u , καλείται βασική συνάρτηση του συγκεκριμένου σημείου ελέγχου. Εξάλλου, στον όρο B-Spline το γράμμα «B» αναπαριστά την λέξη Basic (Βασική). Το ερώτημα που τίθεται τώρα είναι, πως είναι δυνατόν να καθοριστεί κάθε βασική συνάρτηση. Κάθε περιοχή της καμπύλης επηρεάζεται από τα σημεία ελέγχου που βρίσκονται κοντά στην εν λόγω περιοχή. Όταν το τμήμα της καμπύλης που αναφερόμαστε βρίσκεται μακριά από κάποιο σημείο ελέγχου, αυτό το σημείο ελέγχου έχει μικρή επίδραση στο τμήμα της καμπύλης. Όσο το τμήμα της καμπύλης πλησιάζει στο σημείο ελέγχου, τόσο η επιρροή του γίνεται και μεγαλύτερη, μέχρι να αρχίσει να ελαττώνεται πάλι όταν το τμήμα της καμπύλης αρχίσει να απομακρύνεται και να ξεπερνάει αυτό.

Επειδή οι καμπύλες B-Spline ορίζονται παραμετρικά, με ελεύθερη παράμετρο u , μπορεί να θεωρηθεί ένα μικρό τμήμα από αυτές, σε ένα μικρό διάστημα μεταβολής του u . Εφόσον κάθε σημείο ελέγχου έχει τη δική του βασική συνάρτηση, σε μια καμπύλη με 4 σημεία ελέγχου θα υπάρχουν 4 τέτοιες βασικές συναρτήσεις. Κάθε μία από αυτές θα καλύπτει και ένα ορισμένο τμήμα της καμπύλης.

Ας οριστεί τώρα ως U ένα διάστημα αποτελούμενο από $m+1$ στοιχεία, για τα οποία ισχύει $u_0 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_m$. Τα u_i ονομάζονται κόμβοι (knots), το U διάστημα κόμβων (knot vector) και το διάστημα $[u_i, u_{i+1})$ ονομάζεται το i -στό εύρος κόμβων (knot span). Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που δύο διαδοχικά u_i είναι ίσα, τότε το αντίστοιχο εύρος κόμβων είναι μηδενικό. Εάν ο κόμβος u_i εμφανίζεται k φορές (π.χ. $u_i = u_{i+1} = \dots = u_{i+k-1}$) όπου $k > 1$, το u_i ονομάζεται πολλαπλός κόμβος πολλαπλότητας k και γράφεται $u_i(k)$. Διαφορετικά, εάν ο κόμβος u_i εμφανίζεται μια φορά, τότε ονομάζεται απλά κόμβος.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, οι βασικές συναρτήσεις B-Spline (βαθμού p , τάξης $k = p + 1$ με u_i κόμβους) υπολογίζονται από τις δύο αναδρομικές σχέσεις:

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & \alpha\nu \quad u_i \leq u < u_{i+1} \\ 0 & \alpha\lambda\lambda\iota\omega\varsigma \end{cases}$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} \cdot N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} \cdot N_{i+1,p-1}(u)$$

Οι παραπάνω σχέσεις συνήθως αναφέρονται ως **αναδρομικές σχέσεις Cox-DeBoor**. Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη μέθοδο που βασίζεται στην επαναληπτική σχέση που οφείλεται στους DeBoor [7] και Cox [6].

Αυτός ο ορισμός φαίνεται πολύπλοκος αλλά τελικά δεν είναι. Εάν ο βαθμός p είναι μηδέν, τότε οι βασικές συναρτήσεις είναι βηματικές (step functions). Δηλαδή, η βασική συνάρτηση $N_{i,0}(u)$ είναι 1 εάν το u βρεθεί μέσα στο i -οστό εύρος κόμβων (knot span).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούν ορισμένες πολύ σημαντικές *ιδιότητες* για τις καμπύλες B-spline που προκύπτουν από τη χρήση των βασικών συναρτήσεων:

- Η $N_{i,0}(u)$ είναι μια βηματική συνάρτηση, ίση με μηδέν παντού εκτός από το εσωτερικό διάστημα του i -οστού εύρους κόμβων, δηλ. $u \in [u_i, u_{i+1})$.
- Για $p > 0$, η $N_{i,p}(u)$ είναι ένας γραμμικός συνδυασμός δύο βασικών συναρτήσεων βαθμού $(p-1)$.
- Ο υπολογισμός των βασικών συναρτήσεων απαιτεί τον καθορισμό ενός διανύσματος κόμβων, U , καθώς και του βαθμού p .
- Η δεύτερη αναδρομική σχέση Cox-DeBoor μπορεί να οδηγήσει σε πηλίκο $\frac{0}{0}$. Σε αυτή την περίπτωση το πηλίκο αυτό ορίζεται ίσο με 0.
- Τα $N_{i,p}(u)$ είναι πολυώνυμα καθορισμένα σε όλο το σύνολο των πραγματικών αριθμών. Συνήθως όμως, μόνο το εσωτερικό διάστημα $[u_0, u_m]$ είναι αυτό που μας ενδιαφέρει.
- Το εσωτερικό διάστημα $[u_i, u_{i+1})$ καλείται το i -στό εύρος κόμβων. Μπορεί να έχει μηδενικό εύρος, αφού οι κόμβοι δεν είναι κατ' ανάγκη διαφορετικοί.
- Εάν ο αριθμός των κόμβων είναι $m+1$, ο βαθμός των βασικών συναρτήσεων είναι p και ο αριθμός των βασικών συναρτήσεων βαθμού p είναι $n+1$, τότε ισχύει $m = n + p + 1$.
- Το άθροισμα των βασικών συναρτήσεων είναι ίσο με τη μονάδα, που σημαίνει ότι η καμπύλη και το πολύγωνο ελέγχου δεν αλλάζουν με τους μετασχηματισμούς:

$$\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) = 1.$$
- Κάθε βασική συνάρτηση παίρνει μόνο θετικές τιμές, $N_{i,p}(u) \geq 0$, που σημαίνει ότι ισχύει η ιδιότητα του κυρτού περιβλήματος.
- Κάθε σημείο ελέγχου επηρεάζει $(p+1)$ τμήματα, αφού οι βασικές συναρτήσεις είναι μηδενικές σε ορισμένες περιοχές, για u εκτός διαστήματος $[u_i, u_{i+(p+1)})$.

- Κάθε βασική συνάρτηση $N_{i,p}(u)$ διαφοροποιείται $(p-1)$ φορές, συνεπώς έχει και αντίστοιχη συνέχεια στην παραγόμενη καμπύλη, εφόσον δεν έχουμε πολλαπλότητα τιμών στο αντίστοιχο διάνυσμα κόμβων. Εάν η πολλαπλότητα ενός εσωτερικού κόμβου είναι q , τότε η συνέχεια της παραγόμενης καμπύλης είναι C^{p-q-1} .
- Ο υπολογισμός των βασικών συναρτήσεων $N_{i,p}(u)$ p βαθμού ($p>0$) βασίζεται στο τρίγωνο της **Εικόνας 3.5**.

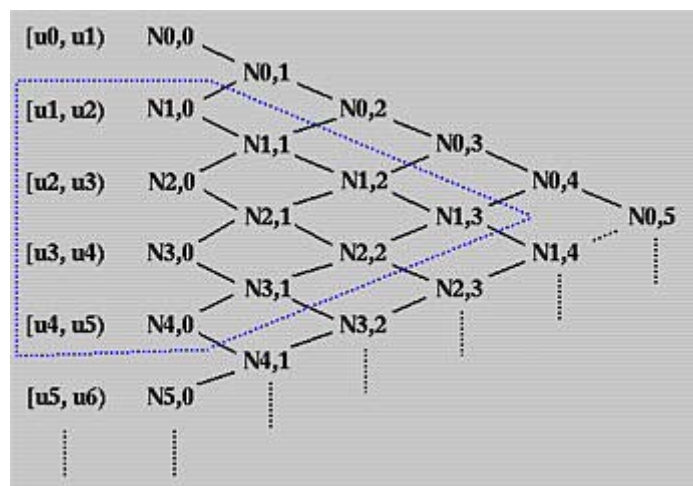
$[u_0, u_1)$	$N_{0,0}$			
		$N_{0,1}$		
$[u_1, u_2)$	$N_{1,0}$		$N_{0,2}$	
		$N_{1,1}$		$N_{0,3}$
$[u_2, u_3)$	$N_{2,0}$		$N_{1,2}$	
		$N_{2,1}$		$N_{1,3}$
$[u_3, u_4)$	$N_{3,0}$		$N_{2,2}$	\vdots
		$N_{3,1}$	\vdots	
$[u_4, u_5)$	$N_{4,0}$	\vdots		
\vdots	\vdots			

Εικόνα 3.5: Τρίγωνο υπολογισμού βασικών συναρτήσεων[18]

Τέλος είναι πολύ σημαντικό για την εξοικονόμηση υπολογισμών να καθοριστεί το μη μηδενικό πεδίο ορισμού για τις βασικές συναρτήσεις $N_{i,p}(u)$, με βάση το τρίγωνο υπολογισμού. Έστω ότι επιθυμείται να βρεθεί να το μη μηδενικό πεδίο ορισμού για την βασική συνάρτηση $N_{1,3}(u)$. Με βάση τα προηγούμενα, κινούμαστε από τα δεξιά προς τα αριστερά, μέχρι να καταλήξουμε στην πρώτη στήλη, μέσα στα όρια της μπλε διακεκομμένης γραμμής (**Εικόνα 3.6**). Συμπερασματικά, καταλήγουμε ότι η Βασική συνάρτηση $N_{1,3}(u)$ είναι μη μηδενική στα διαστήματα κόμβων $[u_1, u_2)$, $[u_2, u_3)$, $[u_3, u_4)$ και $[u_4, u_5)$ ή ισοδύναμα στο διάστημα $[u_1, u_5)$.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, προκύπτει η εξής σημαντική παρατήρηση που αναφέρεται και αλλιώς ως ιδιότητα **τοπικής επίδρασης**:

- Η βασική συνάρτηση $N_{i,p}(u)$ είναι μη μηδενική στο διάστημα $[u_i, u_{i+p+1})$ ή ισοδύναμα, η βασική συνάρτηση $N_{i,p}(u)$ είναι μη μηδενική για $p+1$ διαστήματα κόμβων: $[u_i, u_{i+1})$, $[u_{i+1}, u_{i+2})$, ..., $[u_{i+p}, u_{i+p+1})$ [18].



Εικόνα 3.6: Εύρεση μη μηδενικού διαστήματος για τη βασική συνάρτηση $N_{1,3}(u)$ [18]

3.3.3 Διανύσματα κόμβων

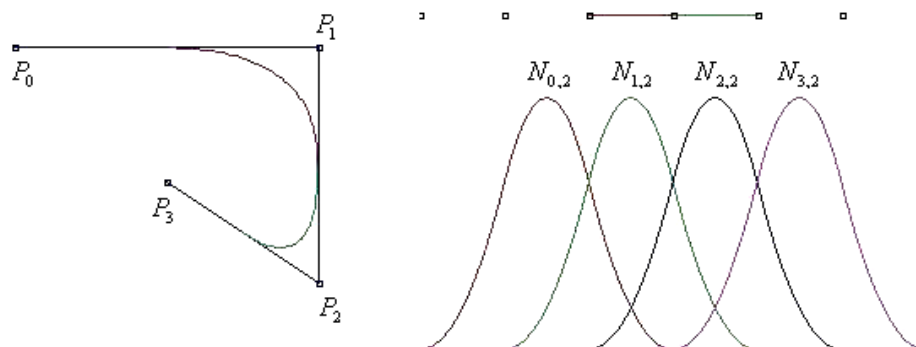
Σύμφωνα με την παράγραφο 3.3.2, γίνεται αντιληπτό ότι η επιλογή του διανύσματος κόμβων είναι πολύ σημαντικός παράγοντας, επειδή επηρεάζει τις βασικές συναρτήσεις και κατά συνέπεια την τελική καμπύλη. Η μόνη απαίτηση για το διάνυσμα κόμβων είναι $u_i \leq u_{i+1}$. Χρησιμοποιούνται τρεις τύποι διανυσμάτων κόμβων:

- ο το ομοιόμορφο (Uniform),
- ο το ανοικτό ομοιόμορφο (Open Uniform),
- ο το ανομοιόμορφο (Non-Uniform).

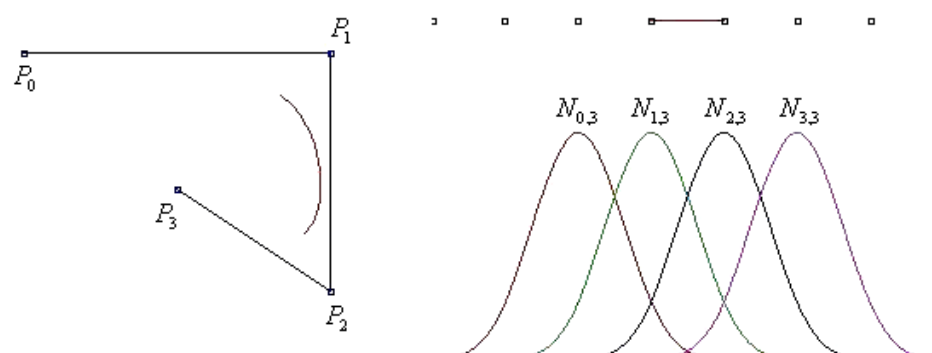
Στο **ομοιόμορφο διάνυσμα κόμβων**, οι επιμέρους κόμβοι ισαπέχουν μεταξύ τους. Ο γενικός τύπος ορισμού του διανύσματος κόμβων είναι $u_{i+1} - u_i = \text{σταθερο}, \forall i$. Για παράδειγμα έχουν την μορφή:

$$[0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5] \text{ ή } [0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75 \ 1.0]$$

Το χρήσιμο διάνυσμα κόμβων, όπου δηλαδή ορίζεται η καμπύλη, φαίνεται στις **Εικόνες 3.7 και 3.8** και είναι η γραμμή που ενώνει τους κόμβους πάνω από τις βασικές συναρτήσεις. Δίνεται από τη σχέση $(p-2) \leq j \leq n+1$.



Εικόνα 3.7: Μία τετραγωνική ομοιόμορφη καμπύλη B-Spline με 4 σημεία ελέγχου. Αριστερά απεικονίζεται η καμπύλη και δεξιά παρουσιάζονται οι βασικές συναρτήσεις της. Πάνω από αυτές διακρίνεται η διάταξη των κόμβων καθώς και το διάστημα ορισμού της καμπύλης από τον 3ο μέχρι τον 5ο κόμβο [18].



Εικόνα 3.8: Κυβική ομοιόμορφη B-Spline με 4 σημεία ελέγχου αριστερά και οι βασικές συναρτήσεις της δεξιά. Είναι προφανές πως το διάστημα ορισμού είναι μικρότερο από αυτό της καμπύλης του προηγούμενου σχήματος (από τον 4ο έως τον 5ο κόμβο ή αλλιώς από το 2ο σημείο ελέγχου έως το 3ο περίπου) [18].

Στο **ανοικτό ομοιόμορφο διάνυσμα κόμβων**, υπάρχει μια πολλαπλότητα στους ακραίους κόμβους, η οποία ισούται με την τάξη $k = (p+1)$ των βασικών συναρτήσεων. Οι εσωτερικοί κόμβοι είναι ομοιόμορφα διατεταγμένοι, δηλαδή:

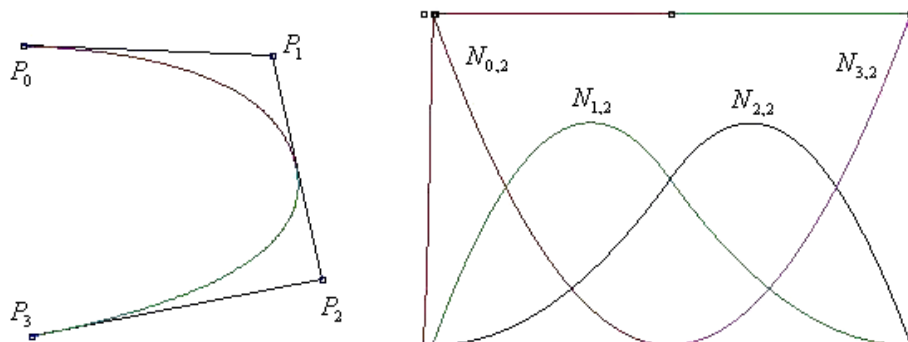
$$\left\{ \begin{array}{l} u_i = u_1, i \leq k \\ u_{i+1} - u_i = \text{σταθερο}, k \leq i < n+2 \\ u_i = u_{k+(n+1)}, i \geq n+2 \end{array} \right\}$$

Μερικά παραδείγματα ανοικτών ομοιόμορφων διανυσμάτων κόμβων για διαφορετικές τιμές της τάξης k , δίδονται στη συνέχεια:

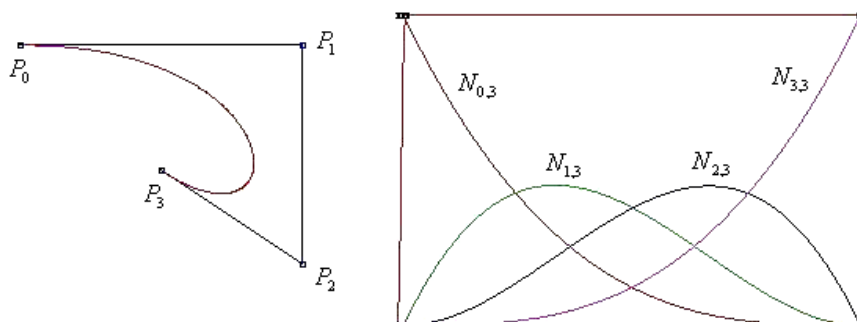
$$k = 2 : [0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 4]$$

$$k = 3 : [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 3 \ 3]$$

$$k = 4 : [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2]$$



Εικόνα 3.9: Μία τετραγωνική ανοικτή καμπύλη B-Spline με 4 σημεία ελέγχου. Αριστερά παρουσιάζεται η μορφή της καμπύλης με τα σημεία ελέγχου και δεξιά απεικονίζονται οι βασικές συναρτήσεις. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η καμπύλη ξεκινάει από το αρχικό σημείο ελέγχου και τερματίζει στο τελικό. Αυτό φαίνεται επίσης και στο πεδίο ορισμού της καμπύλης (πάνω από τις βασικές συναρτήσεις) που καλύπτει όλο το φάσμα των κόμβων [18].



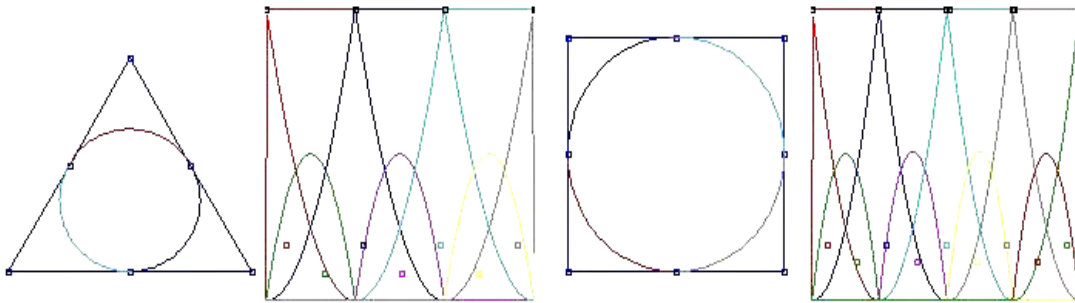
Εικόνα 3.10: Κυβική ανοικτή καμπύλη B-Spline με 4 σημεία ελέγχου. Μία ιδιότητα των ανοικτών B-Spline καμπυλών, που φαίνεται από τα σχήματα, είναι πως, όσο αυξάνει ο βαθμός της καμπύλης τόσο αυτές απομακρύνονται από τα σημεία ελέγχου. Στην ειδική περίπτωση των τετραγωνικών καμπυλών η καμπύλη τέμνει (ή εφάπτεται με) το πολύγωνο ελέγχου ακριβώς στην μέση κάθε πλευράς [18].

Οι καμπύλες B-Spline με ανοικτό ομοιόμορφο διάνυσμα κόμβων έχουν την πολύ βασική ιδιότητα η καμπύλη να παρεμβάλλει το αρχικό και τελικό σημείο ελέγχου. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό, διότι επιλέγοντας κατάλληλα το αρχικό και τελικό σημείο ελέγχου, ξέρουμε από που ξεκινάει και που καταλήγει η καμπύλη. Στην ειδική περίπτωση που ο πρώτος κόμβος είναι μηδενικός και η απόσταση των κόμβων είναι μοναδιαία, το ανοικτό ομοιόμορφο διάνυσμα τιμών προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$u_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq i < p+1 \\ i-p & p+1 \leq i < n+1 \\ n-p+1 & n+1 \leq i \leq n+p+1 \end{cases}$$

Το **ανομοιομόρφο διάνυσμα κόμβων** μπορεί να παίρνει τιμές ανομοιομόρφα κατανεμημένες ή να έχει πολλαπλούς εσωτερικούς κόμβους και μπορεί να είναι περιοδικό ή ανοικτό, π.χ.:

$$[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2] \text{ ή } [0 \ 1 \ 2 \ 2 \ 3 \ 4] \text{ ή } [1 \ 3 \ 7 \ 22 \ 23 \ 23 \ 49 \ 50 \ 50]$$



Εικόνα 3.11: Ο μοναδικός τρόπος να σχηματίσουμε κύκλους ή άλλες κωνικές τομές με B-Spline είναι με χρήση ανομοιομόρφου διανύσματος κόμβων, όπως στις καμπύλες NURBS. Στο σχήμα παρουσιάζονται δύο κυβικές NURBS. Η πρώτη σχηματίζεται με 6 σημεία ελέγχου και διάνυσμα κόμβων

$$U = \{0,0,0, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3}, 1,1,1\} \text{ ενώ η δεύτερη σχηματίζεται με 8 σημεία ελέγχου και διάνυσμα}$$

$$\text{κόμβων } U = \{0,0,0, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}, 1,1,1\} \text{ [18].}$$

3.3.4 Καμπύλες B-spline

Μία p -βαθμού καμπύλη B-Spline με παράμετρο u , διάνυσμα κόμβων $U = \{u_0, u_1, \dots, u_m\}$ δίδεται σύμφωνα με τη σχέση [18]:

$$C(u) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) P_i \quad a \leq u \leq b$$

όπου τα $\{P_i\}$ είναι οι συντεταγμένες των $n+1$ σημείων ελέγχου (τα διανύσματα θέσης τους), και $\{N_{i,p}(u), i = 0, 1, \dots, n\}$ είναι οι p -βαθμού βασικές συναρτήσεις (τμηματικές πολυωνυμικές συναρτήσεις - piecewise polynomial functions), που καθορίζονται από το ανοικτό ομοιομόρφο διάνυσμα κόμβων:

$$U = \{a, \dots, a, u_{p+1}, \dots, u_{m-p-1}, b, \dots, b\}$$

Ο αριθμός των κόμβων είναι $(m+1)$ και ισχύει η σχέση:

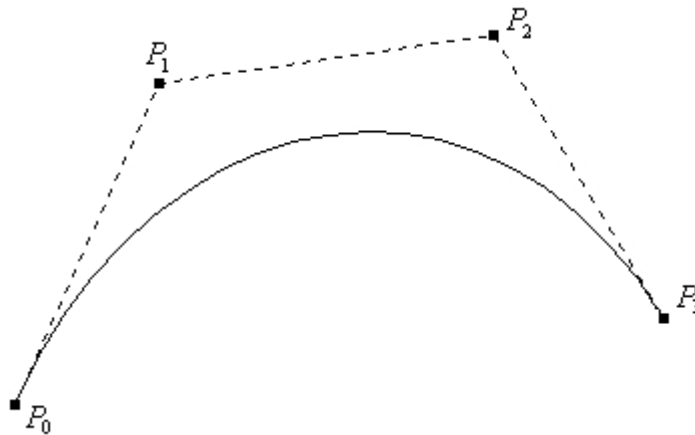
$$(\text{Βαθμός της καμπύλης} + 1) + (\text{Αριθμός Σημείων Ελέγχου}) = (\text{Αριθμός κόμβων}) \Rightarrow$$

$$(p + 1) + (n + 1) = (m + 1) \Rightarrow m = p + n + 1$$

Στις καμπύλες B-Spline, ο βαθμός p είναι ανεξάρτητος από το πλήθος $n+1$ των σημείων ελέγχου (σε αντίθεση με τις Bezier) και έχει άμεση σχέση μόνο με την τάξη k των καμπυλών:

$$\text{Τάξη της καμπύλης} = \text{Βαθμός της καμπύλης} + 1 \Rightarrow k = p + 1$$

Με βάση τον βαθμό της καμπύλης υπολογίζουμε όλες τις βασικές συναρτήσεις βαθμού p , πλήθους $(n+1)$ (όσα και τα σημεία ελέγχου), που αντιστοιχούν στο προηγούμενο ανοικτό ομοιόμορφο διάνυσμα κόμβων. Με συγκεκριμένο βήμα Δu , παράγουμε διαδοχικές τιμές στην παράμετρο u . Το διάστημα που κινείται η u είναι (για το συγκεκριμένο διάνυσμα κόμβων), το $[0, n-p+1)$, που αντιστοιχεί στο μήκος του διανύσματος κόμβων. Η αρχική σχέση που δίνει το κάθε σημείο της καμπύλης είναι διανυσματική, οπότε εφαρμόζεται για κάθε διαφορετική συντεταγμένη των σημείων ελέγχου, δίνοντας έτσι την αντίστοιχη συντεταγμένη του σημείου της καμπύλης, που αντιστοιχεί στην εκάστοτε τιμή του u . Στην **Εικόνα 3.12** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα κυβικής καμπύλης B-spline με 4 σημεία ελέγχου [18].



Εικόνα 3.12: Κυβική καμπύλη B-spline με 4 σημεία ελέγχου [18]

3.3.5 Επιφάνειες B-spline

Μια B-spline επιφάνεια αντίστοιχα ορίζεται θεωρώντας ένα πλέγμα σημείων ελέγχου σε δύο διευθύνσεις (bidirectional control point net), με δύο διανύσματα κόμβων και δύο διαφορετικές παραμέτρους u, v με βάση τη παρακάτω σχέση:

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{i,j}$$

Η επιφάνεια έχει $n + 1$ και $m + 1$ σημεία ελέγχου και βαθμό p και q σε κάθε διεύθυνση αντίστοιχα. Τα ανοικτά (μη περιοδικά) διανύσματα κόμβων είναι τα εξής:

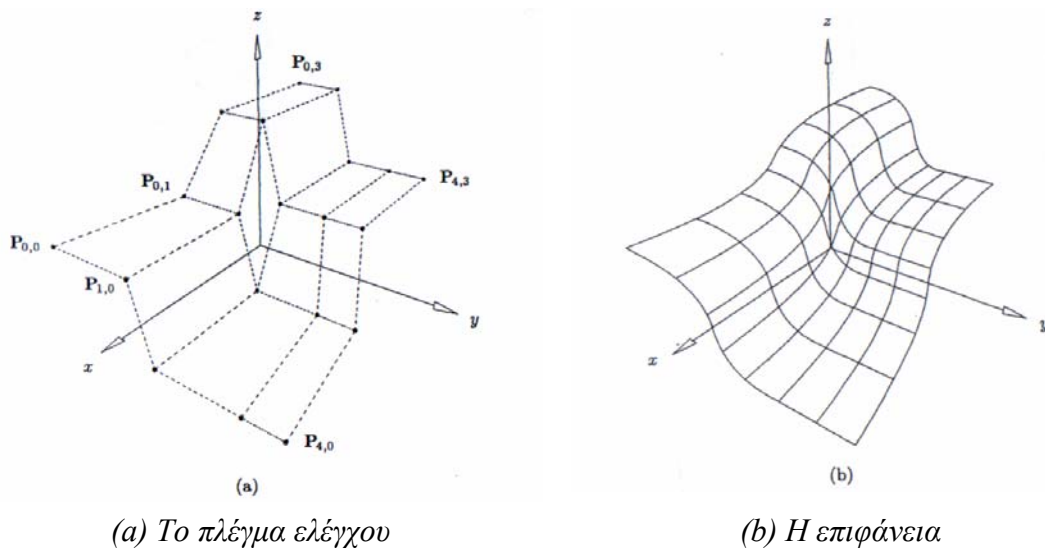
$$U = \{\underbrace{a, \dots, a}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{r-p-1}, \underbrace{b, \dots, b}_{p+1}\}$$

$$V = \{\underbrace{c, \dots, c}_{q+1}, v_{q+1}, \dots, v_{s-q-1}, \underbrace{d, \dots, d}_{q+1}\}$$

Όπου τα διανύσματα κόμβων U, V έχουν αριθμό κόμβων $r+1$ και $s+1$ αντίστοιχα, για τα οποία ισχύουν οι σχέσεις: $r = n + p + 1$ και $s = m + q + 1$. Ο υπολογισμός μιας επιφάνειας B-spline επιτυγχάνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- 1) Υπολογισμός του εύρους κόμβου στο οποίο ανήκει το u , έστω $[u_i, u_{i+1})$.
- 2) Υπολογισμός των μη μηδενικών βασικών συναρτήσεων $N_{i-p,p}(u), \dots, N_{i,p}(u)$.
- 3) Υπολογισμός του εύρους κόμβου στο οποίο ανήκει το v , έστω $[v_j, v_{j+1})$.
- 4) Υπολογισμός των μη μηδενικών βασικών συναρτήσεων $N_{j-q,q}(v), \dots, N_{j,q}(v)$.
- 5) Πολλαπλασιασμός των τιμών των μη μηδενικών βασικών συναρτήσεων με τις συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων ελέγχου χρησιμοποιώντας την αρχική σχέση.

Στην **Εικόνα 3.13** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μιας επιφάνειας B-spline μαζί με το αντίστοιχο πλέγμα των σημείων ελέγχου [18].



Εικόνα 3.13: Μια B-spline επιφάνεια [18]

3.3.6 Ιδιότητες των B-spline

- Ο βαθμός της καμπύλης επιλέγεται από το χρήστη, αλλά επειδή πρέπει να ισχύει η σχέση $n - k + 2 > 0 \Leftrightarrow n - p + 1 > 0$, τότε 2, 3 και 4 σημεία ελέγχου απαιτούνται για τον προσδιορισμό πρώτου, δεύτερου ή τρίτου βαθμού καμπύλης B-Spline.
- Εάν $n = p$ τότε έχουμε καμπύλη Bezier.
- Τοπικός έλεγχος, που επιτυγχάνεται μετακινώντας ένα σημείο ελέγχου, ή έχοντας πολλαπλότητα σε ένα σημείο ελέγχου, ή αλλάζοντας το βαθμό της καμπύλης. Εν γένει σε μια καμπύλη επηρεάζονται μόνο $(p + 1)$ από τα τμήματά της.
- Η ανοικτή καμπύλη περνάει από τα ακραία σημεία ελέγχου και εφάπτεται στα ακραία τμήματα του πολυγώνου ελέγχου.
- Αύξηση του βαθμού της καμπύλης έχει ως αποτέλεσμα δυσκολία ελέγχου της μορφής της, καθώς και της πολυπλοκότητας των υπολογισμών.
- Η μορφή της καμπύλης εξαρτάται από το βαθμό της. Για $p = 0$ παίρνουμε τα σημεία ελέγχου και για $p = 1$ το πολύγωνο ελέγχου.
- Η καμπύλη δευτέρου βαθμού εφάπτεται του πολυγώνου ελέγχου στο μέσο του κάθε τμήματος. Αυτό δεν συμβαίνει για καμπύλες μεγαλύτερου βαθμού.
- Πολλαπλά σημεία ελέγχου μας δίνουν υψηλή τιμή καμπυλότητας στο σημείο εκείνο [18].

3.4 Μη Ομοιόμορφες Ρητές B-spline καμπύλες και επιφάνειες – NURBS

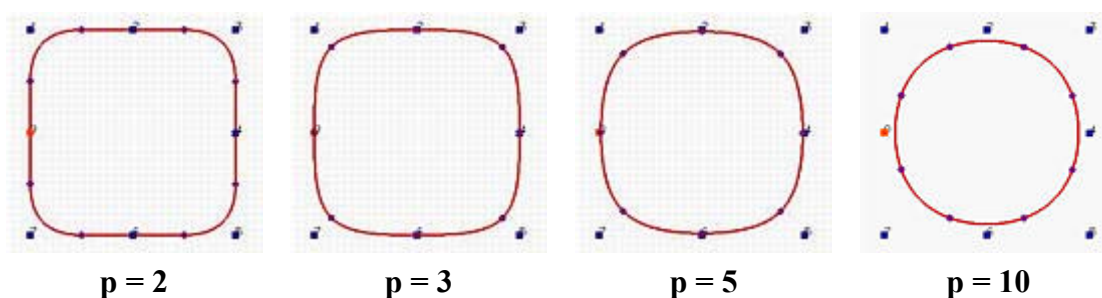
Οι καμπύλες B-Spline παρόλο που κατασκευάζονται από πολυωνυμικές βασικές συναρτήσεις, γεγονός που τους χαρίζει ευελιξία και εξαιρετικές ιδιότητες, δεν είναι ικανές να αναπαραστήσουν μια πολύ απλή καμπύλη όπως ο κύκλος. Για να αντιμετωπιστεί λοιπόν επιτυχώς το πρόβλημα το οποίο παρουσιάζεται, στην κατασκευή όχι μόνο ενός κύκλου ή έλλειψης αλλά και πολλών άλλων καμπυλών, που δεν μπορούν να αναπαρασταθούν με πολυώνυμα, είναι αναγκαία μια προέκταση των καμπυλών B-Spline.

Για να καταστεί το πρόβλημα καλύτερα κατανοητό, θα γίνει μια προσπάθεια να κατασκευαστεί ένας κύκλος με την βοήθεια των B-Splines και 8 σημείων ελέγχου. Στην **Εικόνα 3.14**, από τα αριστερά προς τα δεξιά, έχουν χρησιμοποιηθεί 4 καμπύλες B-Spline με βαθμό 2, 3, 5 και 10 αντίστοιχα. Εύκολα διαπιστώνεται ότι για $p = 2$ και $p = 3$ το σχήμα δεν μοιάζει με κύκλο ενώ για $p = 5$ έχει προκύψει απλά ένα στρογγυλοποιημένο σχήμα. Αντιθέτως, για $p = 10$ έχει προσεγγιστεί αρκετά επιτυχημένα ο κύκλος, αλλά δεν είναι ακριβώς κύκλος. Ακόμη και αν γίνει η παραδοχή ότι έχουμε κύκλο, είναι μη επιθυμητή μια τόσο υψηλή τιμή για το p .

Σε αυτή την περίπτωση, η περισσότερο δημοφιλής μορφή αναπαράστασης καμπυλών και επιφανειών από άποψη αποθήκευσης, υπολογισμού και ελέγχου, είναι οι NURBS (Μη Ομοιόμορφες Ρητές B-Spline Καμπύλες και Επιφάνειες). Με τις Μη

Ομοιόμορφες Ρητές Καμπύλες B-Spline μπορούμε να αναπαραστήσουμε και να σχεδιάσουμε κάθε γεωμετρικό σχήμα στον H/Y. Οι NURBS προσφέρουν μία γενική μαθηματική μορφή σχεδίασης, είτε πρόκειται για τυπικά αναλυτικά σχέδια (όπως κωνικές τομές), είτε πρόκειται για ελεύθερα σχέδια. Παρέχουν ευκαμψία για σχεδίαση μεγάλου και ποικίλου αριθμού μορφών. Το όνομά τους δείχνει και την φύση τους:

- **NU (Non Uniform)** : Μη ομοιόμορφες, επειδή το διάνυσμα των κόμβων περιέχει κόμβους που δεν είναι αναγκαίο να κατανέμονται ομοιόμορφα στο διάστημά τους.
- **R (Rational)**: Ρητές, επειδή έχουν την ρητή μορφή $(\frac{a}{b})$, όπου a και b είναι πολυώνυμα. Ένα πλεονέκτημα για τη χρησιμοποίηση της ρητής μορφής είναι ότι γίνεται πλέον επιτρεπτή η αναπαράσταση μερικών δημοφιλών σχημάτων (όπως είναι οι κωνικές τομές), που δεν μπορούσαν να δημιουργηθούν από τις καμπύλες B-Spline. Αυτός είναι και ο λόγος που εισάγουμε τα βάρη (weights).
- **BS (B-Spline)** : B-Spline επειδή οι NURBS βασίζονται στις βασικές B-Spline, με πολυωνυμικές βασικές συναρτήσεις, που υπολογίζουν τα σημεία της καμπύλης ή της επιφάνειας τμηματικά.

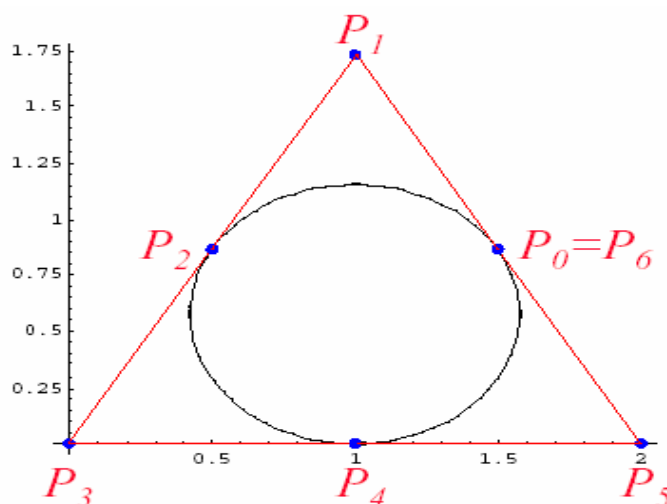


Εικόνα 3.14: Προσέγγιση ενός κύκλου με χρήση καμπυλών B-spline [2]

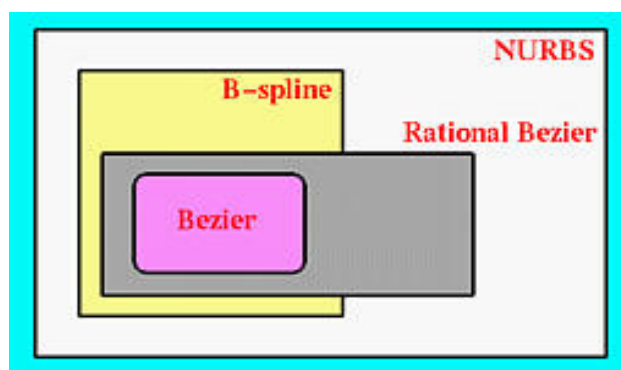
Οι Μη Ομοιόμορφες Ρητές B-Spline καμπύλες και επιφάνειες που αναφέρονται ως NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) έχουν γίνει εκ των πραγμάτων ισχυρό βιομηχανικό εργαλείο για την αναπαράσταση, σχεδίαση και ανταλλαγή γεωμετρικών δεδομένων στους H/Y. Πολλά ισχυρά διεθνή πρότυπα σχεδίασης όπως είναι το IGES και το STEP κάνουν χρήση των NURBS ως ένα ισχυρό εργαλείο για γεωμετρική σχεδίαση. Η τεράστια επιτυχία των καμπυλών NURBS είναι γεγονός για τους παρακάτω κυρίως λόγους:

- Οι NURBS εξασφαλίζουν την αναπαραγωγή αναλυτικών σχημάτων (όπως είναι κωνικές τομές) και τετραγωνικών επιφανειών καθώς και ελευθέρων μορφών σχημάτων, όπως για σχεδίαση μοντέλων αυτοκινήτων ή της γάστρας ενός πλοίου.
- Η σχεδίαση με NURBS είναι διαισθητική. Σχεδόν κάθε εργαλείο και αλγόριθμος των καμπυλών και επιφανειών έχει έναν εύκολο τρόπο για την γεωμετρική κατανόηση.

- Οι αλγόριθμοι των NURBS είναι γρήγοροι και αριθμητικά σταθεροί.
- Οι καμπύλες και επιφάνειες NURBS είναι σταθερές υπό συνηθισμένους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς, όπως περιστροφές και προοπτικές προβολές.
- Παρέχουν ένα πολύ καλό έλεγχο της μορφής του σχήματος, κάνοντας χρήση ενός αριθμού από σημεία ελέγχου, κόμβων και βαρών, που οδηγούν το σχήμα της καμπύλης και της επιφάνειας στο επιθυμητό, με τον πλέον ομαλό τρόπο.
- Οι NURBS αναπαριστούν πολύπλοκα σχήματα καταλαμβάνοντας λίγο χώρο δεδομένων. Για παράδειγμα, για να αναπαραστήσουμε γραφικά ένα κύκλο διαμέτρου ενός μέτρου με ευθύγραμμα τμήματα, θα απαιτούνταν μερικές χιλιάδες από τέτοια τμήματα, ώστε να μοιάζει το σχήμα μας με κύκλο, αντί για πολύγωνο. Αναπαριστώντας τον ίδιο κύκλο με NURBS θα απαιτούνταν μόνο 7 σημεία ελέγχου (**Εικόνα 3.15**).
- Οι καμπύλες και επιφάνειες NURBS αποτελούν την γενίκευση των ομοιόμορφων καμπυλών και επιφανειών B-Spline και ρητών – πολυωνυμικών καμπυλών και επιφανειών Bezier (**Εικόνα 3.16**) [2].



Εικόνα 3.15: Αναπαράσταση κύκλου με χρήση καμπύλης NURBS [2]



Εικόνα 3.16: Γενίκευση καμπυλών και επιφανειών NURBS [2]

3.4.1 Καμπύλες NURBS

Μία p βαθμού καμπύλη NURBS ορίζεται από την παρακάτω σχέση ως εξής :

$$C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) w_i}, a \leq u \leq b$$

όπου τα $\{P_i\}$ είναι τα διανύσματα θέσης των σημείων ελέγχου που σχηματίζουν το πολύγωνο ελέγχου, τα $\{w_i\}$ είναι τα αντίστοιχα βάρη και οι $\{N_{i,p}(u)\}$ είναι οι p -βαθμού βασικές συναρτήσεις, που καθορίζονται από το μη περιοδικό (και μη ομοιόμορφο) διάνυσμα κόμβων:

$$U = \{\underbrace{a, \dots, a}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{m-p-1}, \underbrace{b, \dots, b}_{p+1}\}$$

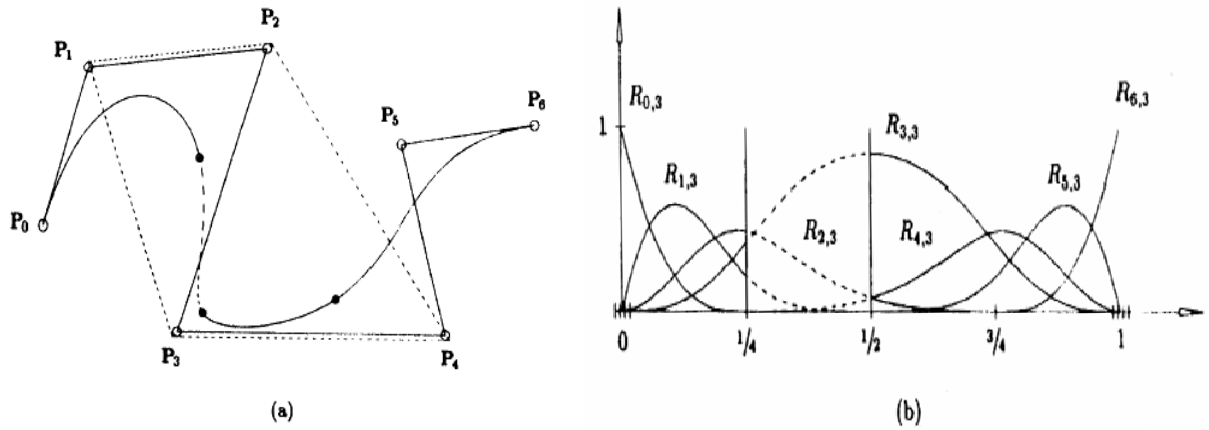
Αν δεν ορισθεί κάτι διαφορετικό, γίνεται η υπόθεση ότι $a = 0$, $b = 1$ και $w_i > 0$ για όλα τα i . Θέτοντας:

$$R_{i,p}(u) = \frac{N_{i,p}(u) w_i}{\sum_{j=0}^n N_{j,p}(u) w_j}$$

Οι $\{R_{i,p}(u)\}$ είναι οι ρητές βασικές συναρτήσεις με την παράμετρο u να παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, 1]$. Με βάση τα παραπάνω η αρχική εξίσωση μπορεί να γραφεί στην παρακάτω μορφή:

$$C(u) = \sum_{i=0}^n R_{i,p}(u) P_i$$

Στην **Εικόνα 3.17** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μίας κυβικής NURBS καμπύλης μαζί με τις αντίστοιχες βασικές συναρτήσεις $R_{i,p}(u)$ [18].



(α) Μια κυβική NURBS καμπύλη

(β) Οι βασικές συναρτήσεις

Εικόνα 3.17: $U = \{0, 0, 0, 0, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1, 1, 1, 1\}$ και $\{w_0, \dots, w_6\} = \{1, 1, 1, 3, 1, 1, 1\}$ [18]

3.4.2 Επιφάνειες NURBS

Όμοια μια βαθμού p στη u διεύθυνση και βαθμού q στη v διεύθυνση επιφάνεια NURBS ορίζεται από μια διπαραμετρική, διανυσματική, τμηματική και ρητή συνάρτηση της μορφής:

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j}}, 0 \leq u, v \leq 1$$

όπου τα διανύσματα θέσης $\{P_{i,j}\}$ σχηματίζουν το πλέγμα ελέγχου στις δύο διευθύνσεις (bidirectional control net), τα $\{w_{i,j}\}$ είναι τα αντίστοιχα βάρη και οι $\{N_{i,p}(u)\}$, $\{N_{j,q}(v)\}$ οι άρρητες B-spline βασικές συναρτήσεις που καθορίζονται στα διανύσματα κόμβων:

$$U = \{\underbrace{a, \dots, a}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{r-p-1}, \underbrace{b, \dots, b}_{p+1}\}$$

$$V = \{\underbrace{c, \dots, c}_{q+1}, u_{q+1}, \dots, u_{s-q-1}, \underbrace{d, \dots, d}_{q+1}\}$$

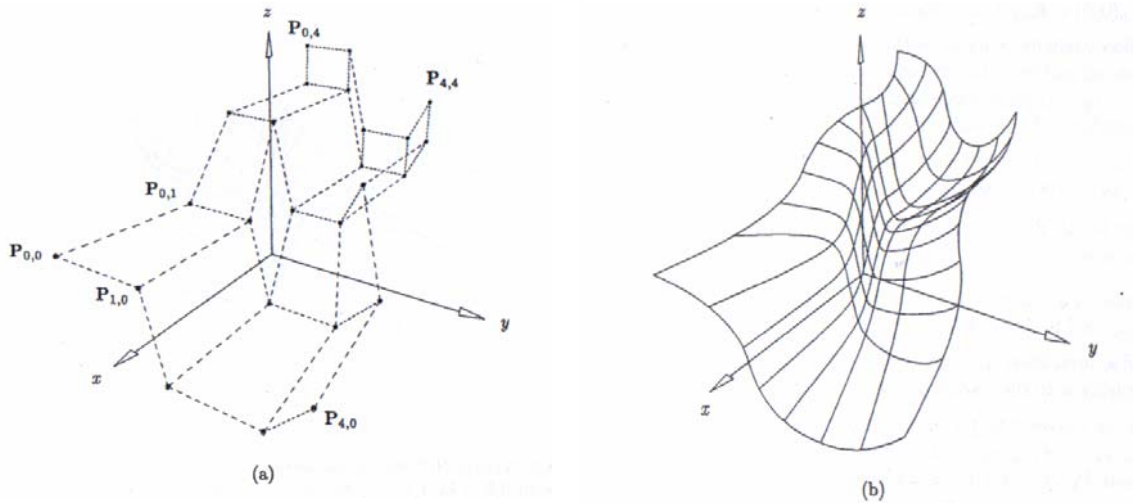
με $r = n + p + 1$ και $s = m + q + 1$. Θέτοντας τις τμηματικές, ρητές βασικές συναρτήσεις ως:

$$R_{i,j}(u,v) = \frac{N_{i,p}(u)N_{j,q}(v)w_{i,j}}{\sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^m N_{k,p}(u)N_{l,q}(v)w_{k,l}}$$

η αρχική εξίσωση μπορεί να γραφεί στην παρακάτω μορφή:

$$S(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m R_{i,j}(u,v)P_{i,j}$$

Στην **Εικόνα 3.18** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μίας NURBS επιφάνειας μαζί με το αντίστοιχο πλέγμα των σημείων ελέγχου [18].



(a) Το πλέγμα ελέγχου

(b) Μια NURBS επιφάνεια

Εικόνα 3.18: $U = V = \{0, 0, 0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1, 1, 1\}$ και $w_{1,1} = w_{1,2} = w_{2,1} = w_{2,2} = 10$, με τα υπόλοιπα βάρη ίσα με 1 [18].

3.4.3 Ιδιότητες των επιφανειών NURBS

- Μη αρνητικότητα. $R_{i,j}(u,v) \geq 0$ για κάθε i, j, u και v .
- Το άθροισμα όλων των ρητών βασικών συναρτήσεων είναι σταθερό.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m R_{i,j}(u,v) = 1 \text{ για κάθε } (u,v) \in [0,1] \times [0,1].$$
- Τοπικός έλεγχος. $R_{i,j}(u,v) = 0$ εάν οι παράμετροι (u,v) πάρουν τιμές έξω από την περιοχή που ορίζεται από το τετράγωνο $[u_i, u_{i+p+1}) \times [v_j, v_{j+q+1})$.

- Σε ένα οποιοδήποτε τετράγωνο της μορφής $[u_{i_0}, u_{i_0+1}) \times [v_{j_0}, v_{j_0+1})$, το πολύ $(p+1)(q+1)$ βασικές συναρτήσεις είναι μη μηδενικές και πιο συγκεκριμένα οι $R_{i,j}(u,v)$ για $i_0 - p \leq i \leq i_0$ και $j_0 - q \leq j \leq j_0$ είναι μη μηδενικές.
- *Ακρότατο*. Εάν $p > 0$ και $q > 0$, τότε όλες οι $R_{i,j}(u,v)$ φτάνουν σε ένα ακριβώς μέγιστο.
- Ισχύει $R_{0,0}(0,0) = R_{n,0}(1,0) = R_{0,m}(0,1) = R_{n,m}(1,1) = 1$.
- *Διαφορισιμότητα*. Όλες οι μερικές παράγωγοι των $R_{i,j}(u,v)$ υπάρχουν στο δεδομένο εσωτερικό διάστημα των κόμβων. Σε ένα κόμβο u (ή κόμβο v) οι $R_{i,j}(u,v)$ είναι $p-k$ (ή $q-k$) φορές διαφορίσιμη σε αυτή τη διεύθυνση, όπου k είναι η πολλαπλότητα του κόμβου.
- Αν ισχύει $w_{i,j} = a$ για $0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq m$ και $a \neq 0$, τότε $R_{i,j}(u,v) = N_{i,p}(u)N_{j,q}(v)$ για κάθε i, j .

Οι παραπάνω ιδιότητες αποδίδουν τα παρακάτω ιδιαίτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τις επιφάνειες NURBS:

- *Παρεμβολή ακρογωνιαίων σημείων*. $S(0,0) = P_{0,0}$, $S(1,0) = P_{n,0}$, $S(0,1) = P_{0,m}$ και $S(1,1) = P_{n,m}$.
- *Σταθερή τοπική μεταβολή*. Κάθε τμήμα της επιφάνειας επηρεάζεται από συγκεκριμένο αριθμό σημείων ελέγχου. Η περιοχή της επιφάνειας που είναι ήδη σχεδιασμένη παραμένει σταθερή με την εισαγωγή νέων σημείων ελέγχου για τη διαμόρφωσή της.
- *Ιδιότητα κυρτού πολυγώνου*. Υποθέτοντας ότι $w_{i,j} \geq 0$ για κάθε i, j εάν $(u,v) \in [u_{i_0}, u_{i_0+1}) \times [v_{j_0}, v_{j_0+1})$, τότε τα σημεία $S(u,v)$ της επιφάνειας κυμαίνονται μεταξύ του κυρτού πολυγώνου των σημείων ελέγχου $P_{i,j}$ με $i_0 - p \leq i \leq i_0$ και $j_0 - q \leq j \leq j_0$.
- *Τοπική μεταβολή*. Αν ένα σημείο ελέγχου $P_{i,j}$ μετακινηθεί ή ένα βάρος $w_{i,j}$ μεταβληθεί, τότε η αλλαγή αυτή επηρεάζει μόνο την περιοχή της επιφάνειας που ορίζεται από το τετράγωνο $[u_i, u_{i+p+1}) \times [v_j, v_{j+q+1})$.
- Οι άρρητες B-spline και Bezier και οι ρητές Bezier επιφάνειες αποτελούν ειδικές περιπτώσεις των NURBS επιφανειών.
- *Διαφορισιμότητα*. Τα σημεία $S(u,v)$ της επιφάνειας είναι $p-k$ (ή $q-k$) φορές παραγωγίσιμα για κάθε κόμβο u (ή κόμβο v) πολλαπλότητας k [18].

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ: IGES format

4.1 IGES

Η προσέγγιση αξιοποιώντας τη μέθοδο του ουδέτερου format (neutral - format) στην ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων ξεκίνησε στο τέλος της δεκαετίας του '70 με τον καθορισμό του διεθνούς προτύπου IGES. Αρκετές από τις σημαντικότερες κατασκευάστριες εταιρίες CAD συστημάτων παρείχαν υποστήριξη για αυτό και η φήμη του εξαπλώθηκε μετά από επιδείξεις σε ετήσιες παρουσιάσεις της Autofact.

Αρχικά παρουσιάστηκαν αρκετά προβλήματα με τη χρήση του IGES, μεταγενέστερες όμως εκδόσεις του προτύπου έδωσαν λύσεις σε πολλά από αυτά. Οι αρχικές εκδόσεις του IGES (1979 – 1983), μαζί με τα προβλήματα που αναγνωρίστηκαν από τη χρήση αυτών, προκάλεσαν τη δημιουργία και άλλων format, όπως είναι το VDA-FS (Verband Der Automobilindustrie- Flächen Schnittstelle), το SET (Standard d'Exchange et de Transfert), το XBF (Experimental Boundary File) και το PDDI (Product Definition Data Interface), τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Επίσης συγκροτήθηκε ένας αριθμός από ερευνητικά και αναπτυξιακά κέντρα για την αντιμετώπιση των μακροπρόθεσμων προβλημάτων.

Παράλληλα με τη δημιουργία αυτών των κέντρων, συγκροτήθηκε ένα διεθνές συνέδριο, το οποίο ξεκίνησε το πρότυπο STEP. Εκτενέστερη αναφορά για την ιστορία και την ανάπτυξη αυτού του προτύπου θα γίνει στο πέμπτο κεφάλαιο. Πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι περαιτέρω ανάπτυξη των ήδη υπαρχόντων προτύπων στο τέλος της δεκαετίας του '80 ταυτόχρονα επηρέασαν και επηρεάστηκαν από το STEP [4].

4.1.1 Ιστορικό της ανάπτυξης

Η «Αρχική Προδιαγραφή Ανταλλαγής Γραφικών» (Initial Graphics Exchange Specification), η οποία έγινε γνωστή ως πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων με την ονομασία IGES (αρχεία τύπου *.igs ή *.iges) έκανε την πρώτη του εμφάνιση το 1979 σε μια συνάντηση της Διεθνούς Ακαδημίας Επιστημών (National Academy of Sciences) των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Στη συνάντηση είχαν παραστεί εκπρόσωποι της Πολεμικής Αεροπορίας, του Πολεμικού Ναυτικού και του Πεζικού των Ηνωμένων Πολιτειών, της NASA καθώς και του Διεθνούς Γραφείου Προτύπων (National Bureau of Standards – NBS), το οποίο είναι πλέον γνωστό ως Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and

Technology – NIST). Η τεχνική επιτροπή που σχηματίστηκε για την ανάπτυξη του προτύπου IGES αποτελούσε μέρος του ερευνητικού σχεδίου ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing) της Πολεμικής Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών. Η συμμετοχή της Boeing καθώς και της General Electric ήταν εθελοντική χωρίς κάποια χρηματοδότηση από το ICAM. Οι βάσεις για το IGES συμπεριλάμβαναν τη δομή της βάσης δεδομένων CIIN (Computer Integrated Information Network) της Boeing, την εσωτερική δομή της βάσης δεδομένων Neutral Database της General Electric καθώς και άλλα formats τα οποία επιλέχθηκαν κατόπιν αιτήματος του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Διεθνών Προτύπων (American National Standards Institute) ANSI Y14. Η επιτροπή του ANSI είχε ανταποκριθεί στις αρχές του 1970 στην ανάγκη για ανταλλαγή δεδομένων σχεδιομελετών βασισμένα σε H/Y και πιο ειδικά για προσχέδια, ψάχνοντας για εθελοντικές συνεισφορές. Μέχρι τον Ιανουάριο του 1980 δημοσιεύθηκε η πρώτη έκδοση του IGES (IGES Version 1.0), από τους *Walt Braithwaite*, *Phil Kennicott* και *Roger Nagel* [19], η οποία συμπεριλάμβανε δεδομένα γεωμετρίας, γραφικά στοιχεία καθώς και σχόλια για προσχέδια [11]. Μπορούσε επίσης να περιγραφεί η δομή βάσης δεδομένων ενός CAD συστήματος. Συνεπακόλουθα ιδρύθηκε μια επιτροπή για να υποστηρίξει το IGES, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η υιοθέτησή του από την τεχνική κοινότητα καθώς και για να εδραιωθούν τα κατάλληλα μέσα για περαιτέρω ανάπτυξη. Το ακρωνύμιο IGES είναι σχεδόν συνώνυμο πλέον με τη διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα σε CAD συστήματα (CAD data exchange) χρησιμοποιώντας αρχεία ουδέτερου format (neutral-format file) [4].

Γύρω στα 1970 έγινε αισθητή η ανάγκη για ανταλλαγή μηχανολογικών σχεδίων σε μορφή αναγνωρίσιμη από H/Y. Παράλληλα με τη δουλειά της επιτροπής ANSI, άρχισαν να εμφανίζονται εξειδικευμένες λύσεις, που συμπεριελάμβαναν formats εταιρειών, όπως το IIF από την IBM και το ISIF από την Intergraph. Περαιτέρω ακαδημαϊκή δουλειά προωθήθηκε από το ερευνητικό έργο γεωμετρικού σχεδιασμού (geometric modeling project) του CAM-I (Computer-Aided Manufacture, Inc.) [5], το οποίο συγκεντρωνόταν στη δημιουργία ενός format για τη διευκόλυνση της διαδικασίας ανταλλαγής στερεών μοντέλων. Αυτή η προσπάθεια οδηγήθηκε από την ανάγκη για διάφορες απεικονίσεις στερεών μορφών, έτσι ώστε να γίνουν περισσότερο χρήσιμα τα μέχρι τότε συστήματα στερεάς μοντελοποίησης (Solid Modeling Systems), τα οποία μπορούσαν να υποστηρίξουν αρκετές εφαρμογές. Λόγω της έλλειψης τέτοιων εμπεριστατωμένων συστημάτων, η διαδικασία ανταλλαγής στερεών μοντέλων έφτασε σε ένα επιτακτικό σημείο, όπου ήταν πλέον απαραίτητη η δημιουργία ενός προτύπου. Η πρώιμη δουλειά του CAM-I εκτελέστηκε από την McAuto, η οποία βασίστηκε στην πρωτοβουλία της ANSI και δημιούργησε formats για κατασκευαστική γεωμετρία στερεών (constructive solid geometry) και απεικόνιση ορίων (boundary representation) [4].

Την άνοιξη του 1980, η επιτροπή ANSI Y14 υιοθέτησε το IGES 1.0 και τη δουλειά της McAuto σαν προτεινόμενα πρότυπα: το έγγραφο ANSI Y14.26M εμφανίστηκε τον Ιανουάριο του 1981 σε πέντε μέρη [12]. Τα πρώτα τέσσερα μέρη αποτελούσαν το IGES 1.0 και το πέμπτο κομμάτι ήταν η δουλειά της McAuto για λογαριασμό του CAM-I.

Πριν ξεκινήσει μια περιγραφή του IGES είχε ήδη καταγραφεί η ανάπτυξή του μέχρι τη δεύτερη έκδοση (Version 2.0). Ο αρχικός ενθουσιασμός διατηρήθηκε και ιδρύθηκαν επιτροπές, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο στο IGES τα μέσα ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για ηλεκτρολογικά σχηματικά διαγράμματα, αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων (finite element analyses) καθώς και για σχεδιασμό εργοστασιακών εγκαταστάσεων (plant design), ο οποίος ενσωματώθηκε αργότερα στην τρίτη έκδοση (IGES Version 3.0) κάτω από την επίβλεψη της επιτροπής AEC (Architectural and Engineering Construction). Η δεύτερη έκδοση του IGES εκδόθηκε το 1983 αλλά δεν παραδόθηκε στην ANSI για τυποποίηση. Χρησιμοποιήθηκε όμως μέχρι να κάνει την εμφάνιση της η τρίτη έκδοση το 1986. Αρκετοί από τους σημαντικότερους φορείς CAD συστημάτων παρείχαν υποστήριξη και διευρύνθηκε παράλληλα η ενημέρωση των χρηστών με επιδείξεις σε ετήσιες εκθέσεις της Autofact. Από το σημείο αυτό και μετά άρχισε να επιβραδύνεται αισθητά η περαιτέρω εξέλιξη, λόγω της εμφάνισης όλο και περισσότερων περίπλοκων προβλημάτων και στη συνέχεια λόγω του γεγονότος, ότι οι άμεσα ενδιαφερόμενοι άρχισαν να σκέφτονται σοβαρά την επόμενη γενιά στην ανταλλαγή δεδομένων, την ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων.

Η προδιαγραφή του αρχείου της McAuto δεν ικανοποίησε τελικά τις απαιτήσεις του CAM-I. Εν αντιθέσει το ερευνητικό έργο σχεδιασμού γεωμετρίας του CAM-I ανέπτυξε το 1982 το XBF [25], το οποίο αποτελεί άμεσο πρόγονο των σύγχρονων απεικονίσεων στερεών μοντέλων που εμφανίζονται στα διεθνή πρότυπα ανταλλαγής δεδομένων IGES και STEP [4].

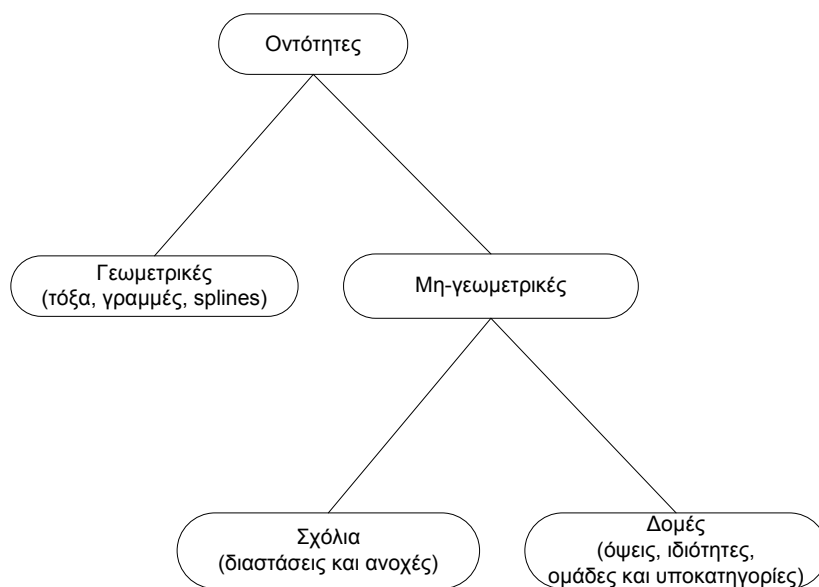
4.1.2 Περιγραφή

Γεγονός αποτελεί ότι η συλλογική εργασία για τη δημιουργία του προτύπου IGES αποτέλεσε ουσιαστικά την πρώτη προσπάθεια για τον καθορισμό μιας ενιαίας προδιαγραφής, η οποία θα ήταν ανεξάρτητη από τα διαφορετικά formats δεδομένων των CAD συστημάτων. Κύρια πρόθεση ήταν η δημιουργία προδιαγραφής που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην «επικοινωνία» μεταξύ δεδομένων προϊόντων, που δημιουργούνται και χρησιμοποιούνται από συστήματα CAD/CAM (συστήματα σχεδιομελέτης και παραγωγής με χρήση H/Y - Computer Aided Design and Manufacture). Με άλλα λόγια, μπορούμε να πούμε ότι αναφερόμαστε στην «επικοινωνία» μεταξύ των πληροφοριών που περιγράφουν τα μηχανολογικά χαρακτηριστικά των προϊόντων παραγωγής. Για αυτό το λόγο λοιπόν από τα πρώτα

κιόλας στάδια ανάπτυξης του προτύπου IGES, άρχισε να γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι υπήρχαν απαιτήσεις, οι οποίες ξεπερνούσαν τα όρια απλών γραφικών αναπαραστάσεων. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70 αυτό σήμαινε ουσιαστικά δύο βασικούς τύπους για τον καθορισμό σχημάτων και μορφών, οι οποίες φυσικά περιορίζονταν από τις δυνατότητες της τότε γενιάς των CAD συστημάτων. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούσαν είτε τις παραδοσιακές ορθογραφικές προβολές (orthographic projections) με τη βοήθεια μοντέλων ακμών (wireframe models) στις τρεις διαστάσεις, είτε επέτρεπαν την αναπαράσταση επιφανειών με τη χρήση κάποιου πολωνυμικού μπαλώματος (polynomial surface patch). Οι διάφορες οντότητες μπορούσαν επίσης να καθοριστούν σε ένα δισδιάστατο επίπεδο και να τοποθετηθούν ύστερα σε ένα τρισδιάστατο χώρο χρησιμοποιώντας έναν πίνακα μετασχηματισμού (transformation matrix). Τέλος δίνεται έμφαση στο γεγονός ότι το πρότυπο IGES, όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, αρχικά απευθύνθηκε σε CAD συστήματα, τα οποία ήταν προσανατολισμένα προς το μηχανολογικό σχεδιασμό [4].

4.1.3 Χρησιμότητα

Η πρώτη έκδοση του IGES [11] καλύπτει γεωμετρίες, οι οποίες μπορούν να έχουν συντεταγμένες, είτε στο δισδιάστατο, είτε στον τρισδιάστατο χώρο. Οι συντεταγμένες στον τρισδιάστατο χώρο χρησιμοποιούνται για να αναπαρασταθούν μοντέλα ακμών, που σχηματίζονται από επίπεδες ή καμπύλες επιφάνειες.



Εικόνα 4.1: Δομή οντοτήτων ενός IGES αρχείου [4]

Μέσα στις προδιαγραφές περιλαμβάνονται σχόλια (annotations), με διάφορους συνήθεις τύπους διαστασιολόγησης. Υπάρχει επίσης ένα σύνολο από

δομικά στοιχεία (structural facilities), τα οποία αφορούν στις σχέσεις ανάμεσα σε ομάδες στοιχείων, καθώς και τυχόν προσαρτημένες ιδιότητες (properties). Συνοψίζοντας, ένα αρχείο IGES αποτελείται από **οντότητες** (entities), οι οποίες ομαδοποιούνται όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.1**.

Επιπρόσθετα έχουν γίνει και όλες οι κατάλληλες προβλέψεις για την επαρκή κάλυψη συσχετισμών και μακροεντολών, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να καθορίσουν οντότητες ανεξαρτήτου πολυπλοκότητας συστήματος, οι οποίες δε θα ήταν δυνατόν να περιγραφούν σε ένα αρχείο IGES με άμεσο τρόπο. Επομένως το σύστημα που αποδέχεται το αρχείο, πρέπει να έχει τη δυνατότητα να διατηρεί την αρχική του δομή και να χρησιμοποιεί μόνο τα δεδομένα αυτά που του είναι απαραίτητα, χωρίς να τροποποιεί τα υπόλοιπα. Σαν αποτέλεσμα θα μπορεί σε μετέπειτα στάδιο να αποθηκεύσει τα νέα δεδομένα και να κατασκευάσει ένα, αντίστοιχο με το αρχικό, αρχείο IGES προς αποστολή [4].

4.1.4 Δομή του αρχείου

Χαρακτηριστικό στοιχείο ενός αρχείου IGES είναι ότι όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες γράφονται σε ένα αρχείο τύπου ASCII (American Standard Code for Information Interchange), το οποίο αποτελείται από εγγραφές (γραμμές) των 80 χαρακτήρων και είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αναγνώσιμο από άνθρωπο (man readable). Τις εποχές των εκδόσεων 1.0 και 2.0 του IGES τα αρχεία γράφονταν και μεταφέρονταν με τη χρήση μαγνητικών ταινιών.

Υπάρχουν και δύο εναλλακτικά format, παρόλο που δεν χρησιμοποιούνται ευρύτερα. Το δυαδικό (binary) που πρωτοεμφανίστηκε στην έκδοση 2.0 και το συμπιεσμένο ASCII (compressed), που καθορίστηκε στην έκδοση 3.0. Και τα δύο από τα παραπάνω format κατασκευάστηκαν για να παρέχουν τα μέσα για μικρότερα σε μέγεθος IGES αρχεία. Αποθηκεύουν τα ίδια δεδομένα, όπως και το ASCII format, με μόνη διαφορά ότι είναι σε συμπιεσμένη μορφή, με αποτέλεσμα να μην είναι αναγνώσιμα από άνθρωπο. Επειδή όλες οι πρακτικές εφαρμογές του IGES χρησιμοποιούν το κανονικό ASCII format, η ανάλυση που ακολουθεί αναφέρεται μόνο σε αυτό.

Σε ένα IGES αρχείο οι εγγραφές των 80 ASCII χαρακτήρων των περισσότερων δεδομένων, αποθηκεύονται σε ελεύθερη μορφή (free format). Υπάρχουν μερικοί περιορισμοί, όπως είναι οι χαρακτήρες διαχωρισμού παραμέτρων και εγγραφών (parameter and record delimiters) και τα δεσμευμένα πεδία (reserved fields), όμως τα περισσότερα δεδομένα γράφονται σε ελεύθερη μορφή από τον προεπεξεργαστή και διαβάζονται κατά αντίστοιχο τρόπο από τον μεταεπεξεργαστή.

Συνολικά μπορούν να υπάρξουν έξι διαφορετικοί τύποι δεδομένων μέσα σε ένα IGES αρχείο και οι είναι οι εξής:

- ο ακέραιοι (integers)

- ο δεκαδικοί (floating point values)
- ο αλφαριθμητικά τύπου ASCII (ASCII strings)
- ο δείκτες (pointers)
- ο γλωσσικοί τελεστές (language statement constants)
- ο λογικοί τελεστές (logical constants), π.χ. True ή False

Πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι με τη χρήση δεικτών, ουσιαστικά γίνονται εφικτές οι διασυνδέσεις από μια οντότητα σε μία άλλη με σκοπό τη δημιουργία ομάδων και ιεραρχιών, ενώ με τη χρήση γλωσσικών τελεστών πραγματοποιούνται οι μακροεντολές [15].

Ένα αρχείο IGES διαχωρίζεται σε πέντε βασικούς τομείς (sections) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.3**. Ξεχωρίζουν μέσα στο αρχείο από τον αντίστοιχο χαρακτήρα που βρίσκεται στην 73^η θέση σε κάθε γραμμή και είναι οι παρακάτω:

- ο **S**: start
- ο **G**: global
- ο **D**: directory entry
- ο **P**: parameter data
- ο **T**: terminate

Ένα παράδειγμα απλού IGES αρχείου παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.4**, όπου ξεχωρίζουν οι πέντε τομείς. Σημειώνεται επίσης ότι κάθε εγγραφή του αρχείου έχει μια σειρά από αριθμούς στις θέσεις 74 μέχρι 80, οι οποίοι πάντα δείχνουν τον αριθμό της γραμμής για κάθε τομέα αντίστοιχα. Οι αριθμοί ανάμεσα στο χαρακτήρα του τομέα και του αριθμού της γραμμής μπορούν να είναι είτε «0», είτε χαρακτήρες κενού.

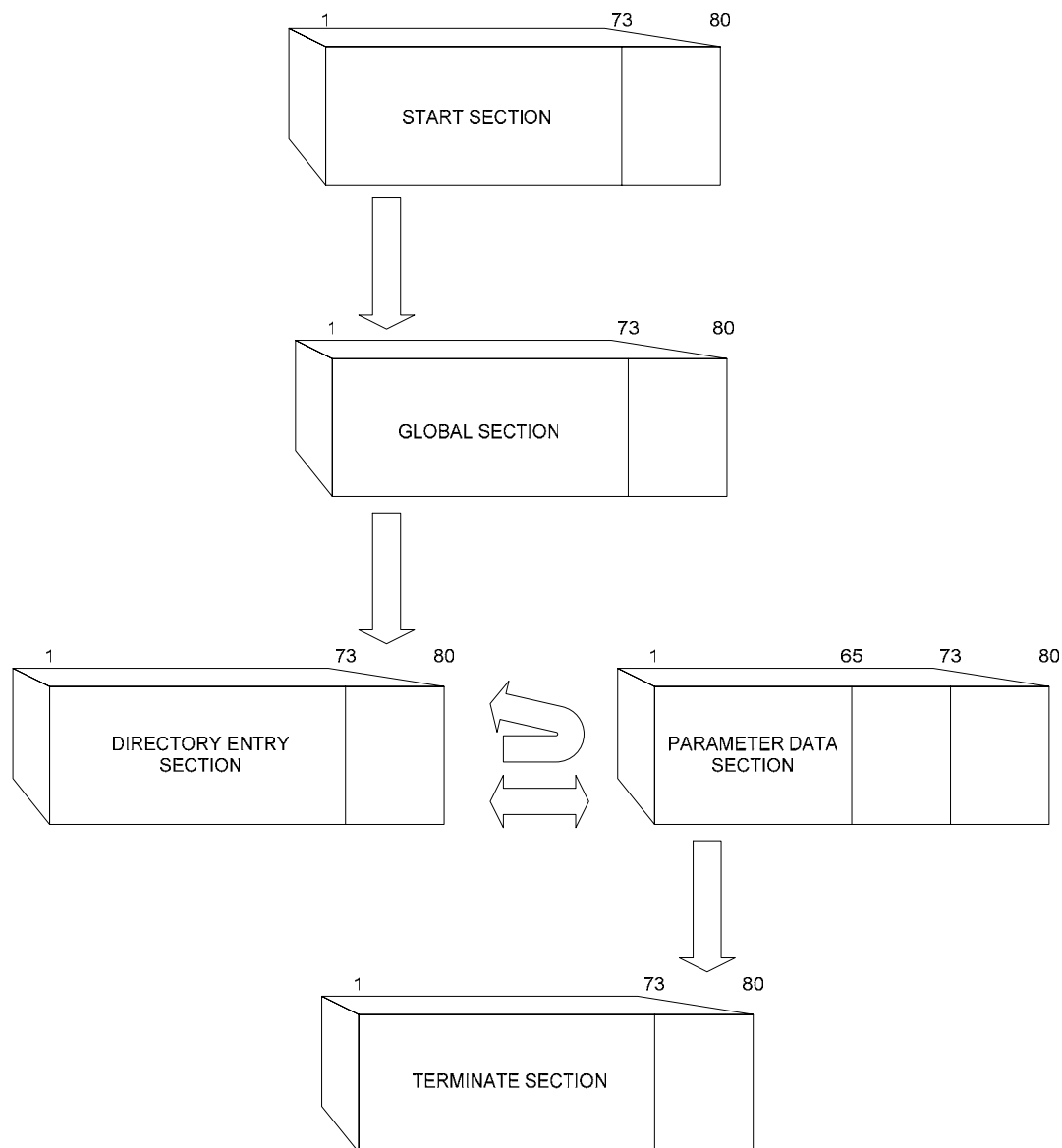
1	72	73	80
Αυτό το τμήμα αποτελεί έναν αναγνώσιμο από άνθρωπο		S	0000001
πρόλογο στο αρχείο. Μπορεί να περιλαμβάνει έναν		S	0000002
αυθαίρετο αριθμό γραμμών		S	0000003
.		.	
.		.	
.		.	
.		.	
χρησιμοποιώντας ASCII χαρακτήρες στα κελιά 1-72		S	000000N

Εικόνα 4.2: Τομέας αρχής [15]

Τομέας αρχής (Start section)

Ο τομέας αρχής αποτελεί έναν πρόλογο στο αρχείο, ο οποίος είναι αναγνώσιμος από άνθρωπο. Κάθε εγγραφή του τομέα αρχής έχει το χαρακτήρα «S» στη θέση 73 και τη σειρά αριθμών στις θέσεις 74 έως 80 για τη μέτρηση των γραμμών. Οι πληροφορίες που εμφανίζονται στις θέσεις 1 έως 72 αποτελούν σχόλια

σε ελεύθερη μορφή κειμένου ASCII χαρακτήρων και μπορούν να περιλαμβάνουν οτιδήποτε. Η γενική μορφή του τομέα αρχής φαίνεται στην **Εικόνα 4.2** [4, 15].



Εικόνα 4.3: Δομή ενός IGES αρχείου [15]

This is a sample IGES file	S0000001
This section includes general comments	S0000002
1H,,1H;,5HGePAS,12Hexample.igs,	G0000001
5HGePAS,4HIGES,	G0000002
32,75,6,75,15,3HCAD,	G0000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220,	G0000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,	G0000005
11,0,13H040901.154220;	G0000006

128	1	0	0	1	0	0	0	0D0000001
128	0	2	12	0	0	0	surf_1	0D0000002
128	13	0	0	1	0	0	0	0D0000003
128	0	4	12	0	0	0	surf_2	0D0000004

128,3,3,3,3,0,0,1,0,0,	1P0000001
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000002
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000003
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000005
0.0,15.0,-8.0,0.0,10.0,	1P0000006
-3.0,0.0,10.0,2.0,0.0,10.0,7.0,5.0,10.0,	1P0000007
-8.0,5.0,10.0,-3.0,5.0,10.0,2.0,5.0,10.0,	1P0000008
7.0,10.0,10.0,-8.0,10.0,10.0,-3.0,10.0,10.0,	1P0000009
2.0,10.0,10.0,7.0,15.0,10.0,-8.0,15.0,10.0,	1P0000010
-3.0,15.0,10.0,2.0,15.0,5.0,7.0,	1P0000011
0.0,1.0,0.0,1.0;	1P0000012
128,3,3,3,3,0,0,1,0,0,	3P0000013
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000014
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000015
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000016
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000017
0.0,0.0,-5.0,0.0,5.0,	3P0000018
0.0,0.0,10.0,0.0,0.0,15.0,-5.0,5.0,0.0,-5.0,	3P0000019
5.0,5.0,0.0,5.0,10.0,0.0,5.0,15.0,0.0,10.0,	3P0000020
0.0,-5.0,10.0,5.0,0.0,10.0,10.0,0.0,10.0,	3P0000021
15.0,0.0,15.0,0.0,-5.0,15.0,5.0,0.0,15.0,	3P0000022
10.0,0.0,15.0,15.0,5.0,	3P0000023
0.0,1.0,0.0,1.0;	3P0000024

S0000002G00000006D00000004P00000024	T00000001
-------------------------------------	-----------

Εικόνα 4.4: Παράδειγμα ενός IGES αρχείου

Γενικός τομέας (Global section)

Ακολουθεί ο γενικός τομέας, ο οποίος είναι πολύ σημαντικός. Περιλαμβάνει τις τιμές 25 παραμέτρων περιγράφοντας τον προ-επεξεργαστή, μαζί με πληροφορίες που χρειάζονται για τον μετά-επεξεργαστή, ώστε να μπορεί να διαχειριστεί το εκάστοτε IGES αρχείο. Κάθε εγγραφή του γενικού τομέα έχει το χαρακτήρα «G» στη θέση 73, καθώς και την αντίστοιχη σειρά αριθμών στις θέσεις 74 έως 80, όπως έχει ήδη προαναφερθεί. Οι τιμές των 25 παραμέτρων γράφονται σε ελεύθερη μορφή στις θέσεις 1 έως 72. Οι μόνοι περιορισμοί είναι ότι κάθε τιμή πρέπει να χωρίζεται με ένα χαρακτήρα διαχωρισμού παραμέτρων και ο τομέας τερματίζεται με έναν χαρακτήρα διαχωρισμού εγγραφών. Οι χαρακτήρες αυτοί, που επιλέγονται για το διαχωρισμό των τιμών, καθώς και για τον τερματισμό του τομέα, είναι οι δύο πρώτοι παράμετροι με προκαθορισμένες τιμές « , » και « ; » για το διαχωρισμό και τον τερματισμό αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα οι παράμετροι περιλαμβάνουν πληροφορίες για το CAD μοντέλο και το σύστημα από το οποίο προέρχεται, μαζί με τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, την κλίμακα σχεδίασης, τις μονάδες, καθώς και το μέγεθος ακεραίων και πραγματικών αριθμών για το σύστημα προς αποστολή. Αναλυτικά και οι 25 παράμετροι παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.1**.

Πρέπει να τονιστεί ότι στο γενικό τομέα καθώς και στον τομέα δεδομένων παραμέτρων, τα δεδομένα κειμένου αναπαρίστανται σαν ένα Hollerith αλφαριθμητικό.

Η μορφή ενός Hollerith αλφαριθμητικού είναι του τύπου «nHcharacterstring», όπου n είναι ο το πλήθος των χαρακτήρων του αλφαριθμητικού. Το «H» είναι ο χαρακτήρας αρχής και «characterstring» είναι ένα οποιοδήποτε σύνολο από ASCII χαρακτήρες. Μερικά παραδείγματα είναι 1H; , 1H , 4HIGES , 3HCAD , 9HIGES DATA [4, 15].

Parameter	Description	Field Type
1	parameter delimiter	string
2	record delimiter	string
3	product identification from sending system	string
4	file name	string
5	system identification	string
6	preprocessor version	string
7	number of bits for integer representation	integer
8	maximum power of ten in single-precision	integer
9	number of significant digits in single-precision	integer
10	maximum power of ten in double-precision	integer
11	number of significant digits in double-precision	integer
12	product identification for receiving system	string
13	model-space scale	real
14	unit flag	integer
15	units	string
16	maximum number of line-weight gradations	integer
17	maximum line width	real
18	date stamp of file generation	string
19	minimum user-intended resolution	real
20	approximate maximum value	real
21	author	string
22	organization	string
23	IGES version	integer
24	drafting standard	integer
25	date stamp of model	string

Πίνακας 4.1: Παράμετροι γενικού τομέα [4]

14 - Units Flag 1: IN (Inches) 2: MM (Millimeters) 3: Other 4: FT (Feet) 5: MI (Miles) 6: M (Meters) 7: KM (Kilometers) 8: MIL (Mils) 9: UM (Microns) 10: CM (Centimeters) 11: UIN (Microinches)	23 - IGES Version 1: IGES 1.0 2: ANSI Y14.26M-1981 3: IGES 2.0 4: IGES 3.0 5: IGES 4.0 6: IGES 5.0	24 - Drafting Standard 0: None 1: ISO 2: AFNOR 3: ANSI 4: BSI 5: CSA 6: DIN 7: JIS
--	---	---

Πίνακας 4.2: Τιμές παραμέτρων 14, 23 και 24 [15]

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στις παραμέτρους 14, 23 και 24. Η παράμετρος 14 καθορίζει τον ενδεικτικό αριθμό των μονάδων που χρησιμοποιούνται και υπάρχουν συγκεκριμένοι ακέραιοι ανάλογα με τον εκάστοτε τύπο των μονάδων. Αντίστοιχα για τις παραμέτρους 23 και 24 χρησιμοποιούνται επίσης συγκεκριμένοι ακέραιοι για τη δήλωση της έκδοσης της προδιαγραφής και για τον καθορισμό του σχεδιαστικού προτύπου. Τα παραπάνω συνοψίζονται στον **Πίνακα 4.2** [4, 15].

Τομέας καταλόγου εισόδων (Directory entry section – DE)

Τρίτος είναι ο τομέας καταλόγου εισόδων. Ο τομέας αυτός έχει συνολικά μια είσοδο αποτελούμενη από δύο εγγραφές, για κάθε οντότητα μέσα στο αρχείο IGES. Οι δύο εγγραφές περιλαμβάνουν από 10 πεδία των 8 θέσεων χαρακτήρων. Ανεξάρτητα από τις διπλές εγγραφές για κάθε οντότητα, κάθε εγγραφή του τομέα ξεχωριστά έχει το χαρακτήρα «D» στη θέση 73, καθώς και την αντίστοιχη σειρά αριθμών στις θέσεις 74 έως 80. Το περιεχόμενο του κάθε πεδίου είναι κοινό για κάθε οντότητα. Τα πεδία αυτά φαίνονται πιο αναλυτικά στον **Πίνακα 4.3** που ακολουθεί.

	1	8	9	16	17	24	25	32	33	40	41	48	49	56	57	64	65	72	73	80
Line 1	1 entity type number	2 PD pointer	3 structure	4 line font	5 level	6 view	7 matrix	8 label display	9 status number	10 sequence number										
Line 2	11 entity type number	12 line weight	13 colour	14 PD line count	15 form	16 (reserved)	17 (reserved)	18 entity label	19 entity subscript	20 sequence number										

Πίνακας 4.3: Τομέας καταλόγου εισόδων [4]

Όπως προαναφέρθηκε τα περιεχόμενα του καταλόγου, εκτός από κάποιες εξαιρέσεις, είναι τα δεδομένα αυτά που είναι κοινά για όλες τις οντότητες του αρχείου. Το πρώτο και το ενδέκατο πεδίο υποδεικνύει το χαρακτηριστικό αριθμό της οντότητας, όπως 126 για ρητές B-spline καμπύλες, 128 για ρητές B-spline επιφάνειες και 314 για απόδοση χρώματος RGB. Στο **Παράρτημα Α** δίνονται όλες οι γεωμετρικές οντότητες που υποστηρίζονται από το IGES. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στο δεύτερο πεδίο, το οποίο περιλαμβάνει έναν ακέραιο αριθμό (δείκτη) που δείχνει στην αντίστοιχη τοποθεσία (αριθμός γραμμής) μέσα στον τομέα δεδομένων των παραμέτρων για τη συγκεκριμένη οντότητα (βλ. **Εικόνα 4.5**).

Σημαντικό επίσης είναι και το δέκατο τέταρτο πεδίο, το οποίο περιλαμβάνει έναν ακέραιο αριθμό (μετρητής), ο οποίος δείχνει το συνολικό πλήθος των γραμμών μέσα στον τομέα δεδομένων των παραμέτρων για τη συγκεκριμένη οντότητα (βλ. **Εικόνα 4.6**).

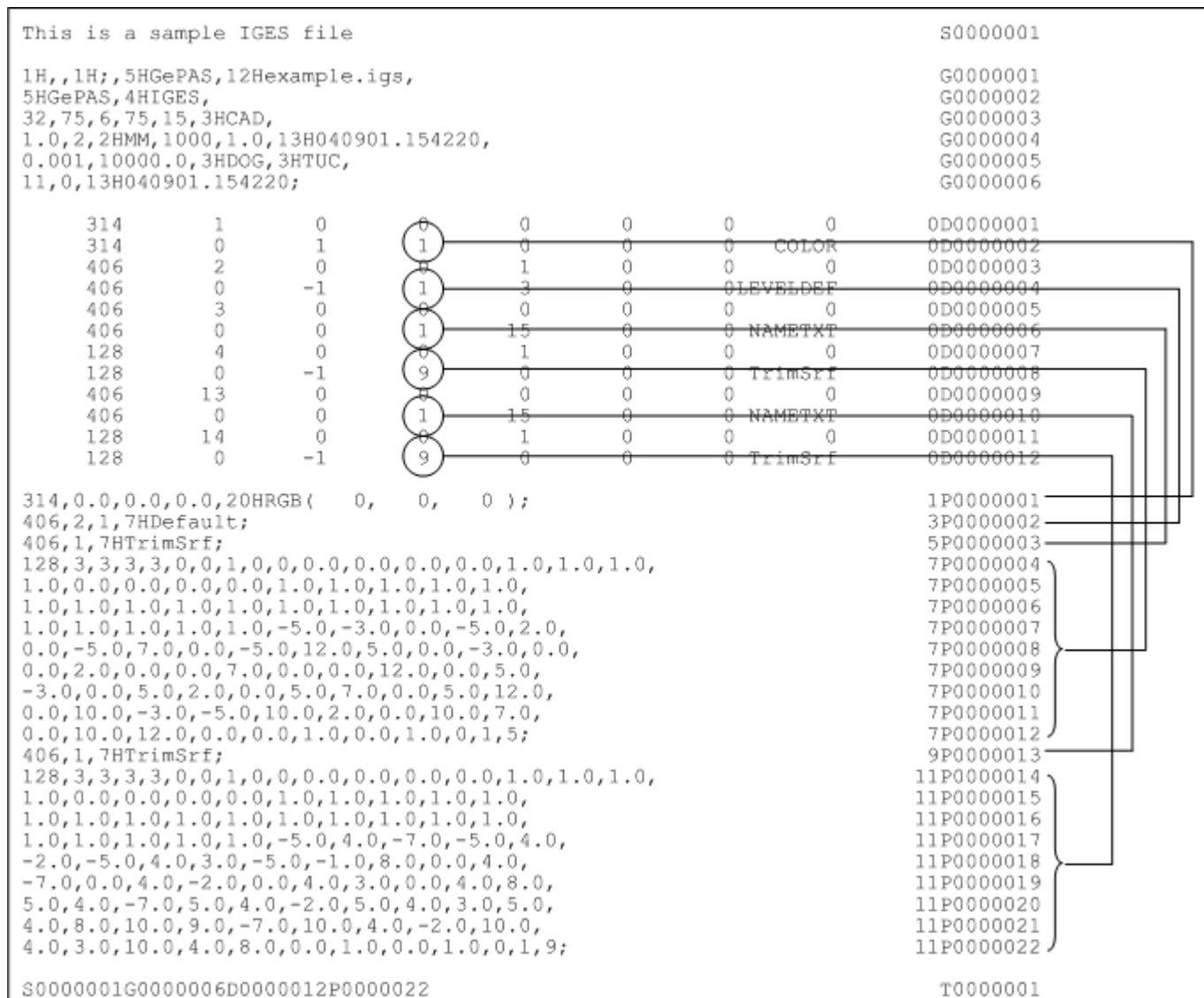
Οι πληροφορίες για τα εναπομείναντα πεδία δεν είναι τίποτα άλλο παρά οι ιδιότητες των δεδομένων (attributes). Αυτές μπορούν να προσδιοριστούν είτε με μια αριθμητική τιμή, είτε με ένα δείκτη μέσα στον ίδιο τον τομέα σε μια άλλη οντότητα, ανάλογα με την περίπτωση.

This is a sample IGES file										S0000001
1H,,1H;,5HGePAS,12Hexample.igs,										G00000001
5HGePAS,4HIGES,										G00000002
32,75,6,75,15,3HCAD,										G00000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220,										G00000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,										G00000005
11,0,13H040901.154220;										G00000006
314	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0D00000001
314	2	1	1	0	0	0	COLOR	0	0	0D00000002
406	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0D00000003
406	4	-1	1	3	0	0	0	LEVELDEF	0	0D00000004
406	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0D00000005
406	6	0	1	15	0	0	0	NAMETXT	0	0D00000006
128	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0D00000007
128	8	-1	9	0	0	0	0	TrimSrf	0	0D00000008
406	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0D00000009
406	10	0	1	15	0	0	0	NAMETXT	0	0D00000010
128	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0D00000011
128	12	0	-1	9	0	0	0	TrimSrf	0	0D00000012
314,0.0,0.0,0.0,0.0,20HRGB(0, 0, 0);										1P00000001
406,2,1,7HDefault;										3P00000002
406,1,7HTrimSrf;										5P00000003
128,3,3,3,3,0,0,1,0,0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,										7P00000004
1.0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										7P00000005
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										7P00000006
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,-5.0,-3.0,0.0,-5.0,2.0,										7P00000007
0.0,-5.0,7.0,0.0,-5.0,12.0,5.0,0.0,-3.0,0.0,										7P00000008
0.0,2.0,0.0,0.0,7.0,0.0,0.0,12.0,0.0,5.0,										7P00000009
-3.0,0.0,5.0,2.0,0.0,5.0,7.0,0.0,5.0,12.0,										7P00000010
0.0,10.0,-3.0,-5.0,10.0,2.0,0.0,10.0,7.0,										7P00000011
0.0,10.0,12.0,0.0,0.0,1.0,0.0,1.0,0,1,5;										7P00000012
406,1,7HTrimSrf;										9P00000013
128,3,3,3,3,0,0,1,0,0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,										11P00000014
1.0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										11P00000015
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										11P00000016
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,-5.0,4.0,-7.0,-5.0,4.0,										11P00000017
-2.0,-5.0,4.0,3.0,-5.0,-1.0,8.0,0.0,4.0,										11P00000018
-7.0,0.0,4.0,-2.0,0.0,4.0,3.0,0.0,4.0,8.0,										11P00000019
5.0,4.0,-7.0,5.0,4.0,-2.0,5.0,4.0,3.0,5.0,										11P00000020
4.0,8.0,10.0,9.0,-7.0,10.0,4.0,-2.0,10.0,										11P00000021
4.0,3.0,10.0,4.0,8.0,0.0,1.0,0.0,1.0,0,1,9;										11P00000022
S0000001G00000006D00000012P00000022										T00000001

Εικόνα 4.5: Δείκτης τομέα παραμέτρων δεδομένων

Ένα τυπικό παράδειγμα ιδιότητας που προσδιορίζεται από μια τιμή είναι στο δωδέκατο πεδίο, όπου δηλώνεται το πάχος της γραμμής που θα χρησιμοποιηθεί για τη γραφική απεικόνιση μιας γεωμετρικής οντότητας. Το πέμπτο είναι επίσης ένα καλό παράδειγμα πεδίου, όπου χρησιμοποιείται ένας δείκτης για τον προσδιορισμό περισσότερων από ένα λειτουργικών επιπέδων, καθώς μερικά συστήματα επιτρέπουν τον καθορισμό οντοτήτων σε όσα λειτουργικά επίπεδα είναι απαραίτητα. Σημαντικά είναι ακόμα τα πεδία εννιά, δεκατρία και δεκαπέντε, καθώς χρησιμοποιούνται για

περαιτέρω παραμετροποίηση ενός αρχείου IGES. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές που ισχύουν για κάθε πεδίο παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.4** [4, 15].



Εικόνα 4.6: Μετρητής γραμμών τομέα παραμέτρων δεδομένων

13 - Colour	15 - Form (Subordination)	9 - Status Number
0: No colour assigned	0: Independent	0: Not Blanked
1: Black	1: Physical	1: Blanked
2: Red	2: Logical	
3: Green	3: Physical & Logical	
4: Blue		
5: Yellow		
6: Magenta		
7: Cyan		
8: White		

Πίνακας 4.4: Τιμές πεδίων 13, 15 και 9 [15]

Τομέας παραμέτρων δεδομένων (Parameter data section – PD)

Τέταρτος είναι ο τομέας παραμέτρων δεδομένων, ο οποίος, όπως περιγράφει και ο τίτλος, περιλαμβάνει τις παραμέτρους των επιμέρους δεδομένων των οντοτήτων που περιλαμβάνονται σε ένα IGES αρχείο. Είναι προφανές ότι για κάθε οντότητα που έχει οριστεί στον προηγούμενο τομέα (με μια διπλή εγγραφή) θα έχουμε και από μια αντίστοιχη είσοδο σε αυτόν τον τομέα. Οι παράμετροι των δεδομένων διαφέρουν από οντότητα σε οντότητα.

Είναι λογικό ότι ο συγκεκριμένος τομέας είναι συνήθως και ο μεγαλύτερος σε μέγεθος, αφού περιλαμβάνει τις συντεταγμένες (x, y, z) όλων των σημείων στον τρισδιάστατο χώρο, τυχόν συντελεστές συσχέτισης, τιμές γεωμετρικών χαρακτηριστικών, καθώς και όλες τις υπόλοιπες πληροφορίες, που είναι απαραίτητες για κάθε οντότητα. Μια πλήρης περιγραφή των ονομάτων και των επιμέρους παραμέτρων που υποστηρίζονται για κάθε οντότητα υπάρχει στο *Παράρτημα*. Η γενική μορφή του τομέα παραμέτρων δεδομένων φαίνεται στην **Εικόνα 4.7**.

1	64	65	66	72	73	80
Entity type number followed by parameter delimiter Parameters separated by parameter delimiters			DE pointer		P0000001	
Parameters separated by parameter delimiters Record delimiter			DE pointer		P0000002	
.			.		.	
.			.		.	
.			.		.	
Entity type number followed by parameter delimiter Parameters separated by parameter delimiters			DE pointer		P000000N	
Parameters separated by parameter delimiters Record delimiter			DE pointer		P000(N+1)	
.			.		.	
.			.		.	
.			.		.	

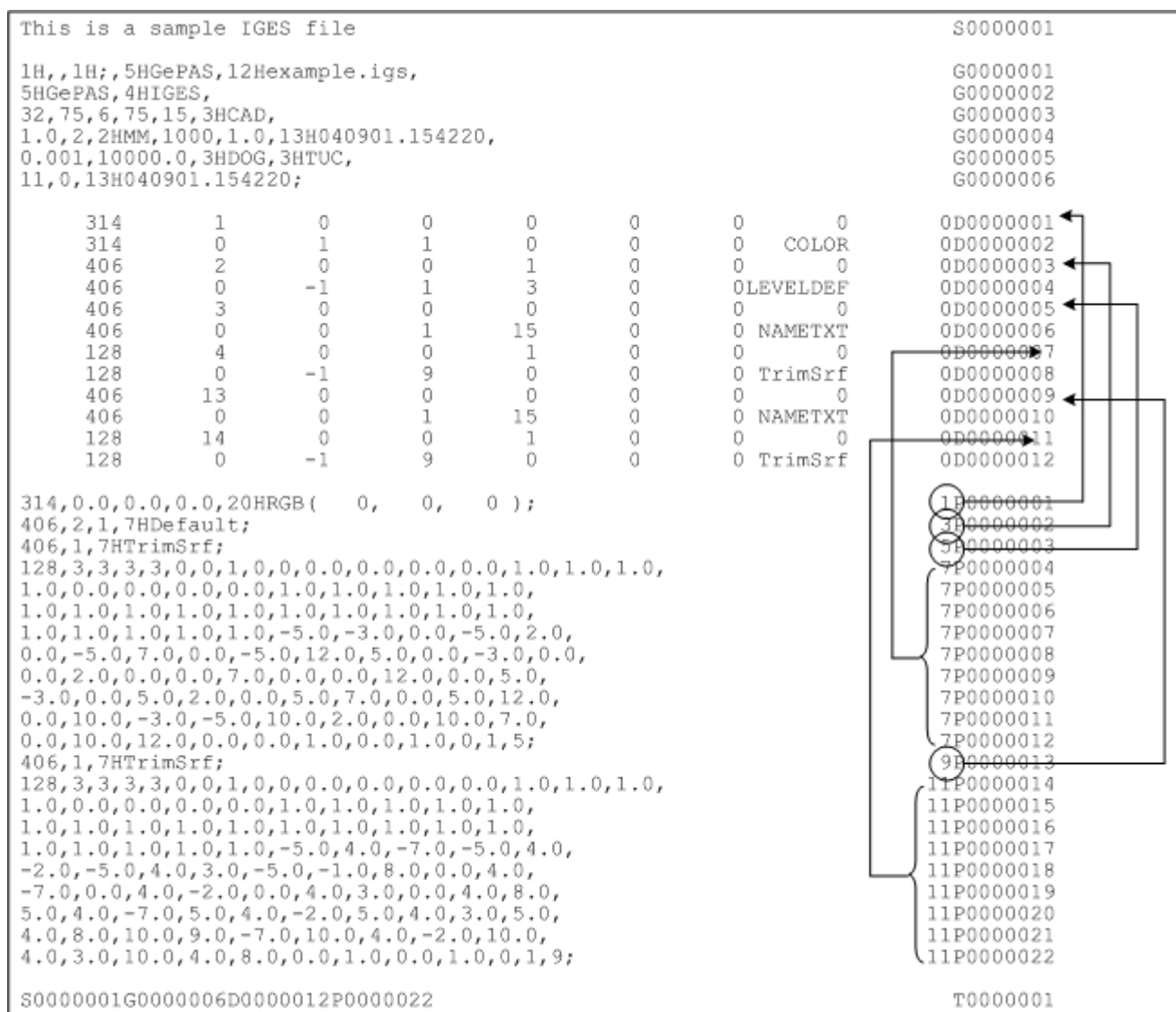
Εικόνα 4.7: Τομέας παραμέτρων δεδομένων [15]

Τα δεδομένα σε αυτόν τον τομέα γράφονται επίσης σε ελεύθερη μορφή στις θέσεις 1 έως 64, με το πρώτο στοιχείο να είναι πάντα ο χαρακτηριστικός αριθμός της οντότητας, ο οποίος πρέπει προφανώς να συμπίπτει με αυτόν στο πρώτο και στο ενδέκατο πεδίο της αντίστοιχης εισόδου στον τομέα καταλόγου εισόδων. Ακολουθούν στη συνέχεια οι τιμές για κάθε παράμετρο της οντότητας χωριζόμενες από το χαρακτήρα διαχωρισμού παραμέτρων « , ». Κάθε είσοδος του τομέα για κάθε οντότητα ξεχωριστά τερματίζεται με χρήση του χαρακτήρα διαχωρισμού εγγραφών « ; ». Ο χαρακτήρας στη θέση 65 είναι πάντα ο κενός.

Πολύ σημαντικοί είναι οι χαρακτήρες στις θέσεις 66 έως 72, οι οποίοι περιέχουν έναν ακέραιο που δείχνει τον αντίστοιχο αριθμό της γραμμής (της πρώτης

εγγραφής) στον τομέα καταλόγου εισόδων για τη συγκεκριμένη οντότητα και επαναλαμβάνονται για κάθε εγγραφή του τομέα (βλ. **Εικόνα 4.8**).

Στη θέση 73 υπάρχει ο χαρακτήρας «P» ενώ στις θέσεις 74 έως 80 υπάρχει η σειρά αριθμών για τη μέτρηση των γραμμών του τομέα. Επισημαίνεται ότι εξαιρουμένων των αλφαριθμητικών κειμένου, οι τιμές σε αυτόν τον τομέα δεν μπορούν να ξεπεράσουν τα όρια μιας εγγραφής. Επίσης σε κάθε είσοδο μπορούν να προστεθούν σχόλια για τα δεδομένα των παραμέτρων, έτσι ώστε αυτά να είναι περισσότερο κατανοητά, όταν η πολυπλοκότητα ενός αρχείου είναι μεγάλη, με σκοπό τον ευκολότερο εντοπισμό τυχόν σφαλμάτων [4, 15].



Εικόνα 4.8: Δείκτης τομέα καταλόγου εισόδων

Τομέας τερματισμού (Terminate section)

Ο τελευταίος τομέας σε ένα IGES αρχείο είναι ο τομέας τερματισμού. Αποτελείται από μια μονή εγγραφή στο αρχείο, η οποία χωρίζεται σε δέκα πεδία των οκτώ χαρακτήρων το καθένα, και πρέπει να αποτελεί την τελευταία εγγραφή στο αρχείο. Στη θέση 73 υπάρχει ο χαρακτήρας «T» και στη θέση 80 ο αριθμός 1, αφού έχουμε μια μόνο εγγραφή. Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 4.9**, τα πρώτα τέσσερα πεδία δίνουν το συνολικό πλήθος των γραμμών για κάθε τομέα αντίστοιχα (N, M, K, L). Τα πεδία 5 έως 9 (θέσεις 33 έως 72) δεν χρησιμοποιούνται.

Σημειώνεται επίσης σε αυτό το σημείο ότι επειδή ο γενικός τομέας και ο τομέας παραμέτρων δεδομένων γράφονται σε ελεύθερη μορφή, μερικές ακέραιες και πραγματικές τιμές μπορούν να παραληφθούν, αν δεν είναι απαραίτητες, είτε με μια ακολουθία δύο συνεχόμενων χαρακτήρων διαχωρισμού παραμέτρων « , , », είτε με έναν χαρακτήρα τερματισμού « ; » σε νωρίτερο σημείο από το προδιαγραφόμενο. Σε αυτές τις περιπτώσεις εννοείται η προκαθορισμένη τιμή «0» [4, 15].

1	8	9	16	17	24	25	32	33	40	41	48	49	56	57	64	65	72	73	80
S000000N	G000000N	D000000N	P000000N															T0000001	

Εικόνα 4.9: Τομέας τερματισμού [15]

4.2 Ανάπτυξη προεπεξεργαστή IGES αρχείων για NURBS επιφάνειες

4.2.1 Περιγραφή

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας αναπτύχθηκε λογισμικό με βασικό στόχο τη δημιουργία ενός προεπεξεργαστή IGES αρχείων για την ακριβή αναπαράσταση NURBS επιφανειών. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι η Visual Basic 6.0 της Microsoft. Ο κώδικας του προγράμματος αποτελεί κομμάτι ενός ευρύτερου λογισμικού, το οποίο πραγματοποιεί παραμετρική σχεδίαση αεροδυναμικών επιφανειών αεροσκαφών χρησιμοποιώντας NURBS επιφάνειες και καλείται GePAS (Generic Parameterized Aerodynamic Surfaces) [1].

Ουσιαστικός σκοπός του προγράμματος είναι τα δεδομένα εξόδου του λογισμικού GePAS (οι NURBS επιφάνειες σε μορφή συντεταγμένων σημείων ελέγχου) να μπορέσουν να αποθηκευτούν σε μορφή αρχείου τύπου IGES (*.igs), έτσι ώστε να είναι αναγνώσιμα και συμβατά με οποιοδήποτε CAD πρόγραμμα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ευελιξία για την τρισδιάστατη απεικόνιση των επιφανειών που απαρτίζουν το αεροσκάφος, ώστε να γίνει εφικτή τυχόν περαιτέρω επεξεργασία, καθώς τα περισσότερα προγράμματα της αγοράς που διαχειρίζονται τρισδιάστατες

επιφάνειες (CAD, CFD κ.λ.π.) υποστηρίζουν το πρότυπο IGES. Τέτοιες επεξεργασίες μπορούν να περιλαμβάνουν για παράδειγμα επίλυση ροής αέρα γύρω από μια πτέρυγα στα πλαίσια μιας αεροδυναμικής μελέτης, χρησιμοποιώντας κάποιο CFD (Computational Fluid Dynamics) λογισμικό.

Τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος για την κατασκευή του αρχείου IGES είναι όλα τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας NURBS επιφάνειας, τα οποία δίνονται εσωτερικά στο πρόγραμμα και είναι τα εξής:

- n : πλήθος σημείων ελέγχου στην πρώτη διεύθυνση ($n+1$).
- m : πλήθος σημείων ελέγχου στη δεύτερη διεύθυνση ($m+1$).
- p : βαθμός βασικών συναρτήσεων στην πρώτη διεύθυνση.
- q : βαθμός βασικών συναρτήσεων στη δεύτερη διεύθυνση.
- $[n+p+2]$: διάνυσμα κόμβων στην πρώτη διεύθυνση.
- $[m+q+2]$: διάνυσμα κόμβων στη δεύτερη διεύθυνση.
- $(n+1)*(m+1)$: συντεταγμένες XYZ κάθε σημείου ελέγχου.
- $(n+1)*(m+1)$: τιμές βαρών για κάθε σημείο ελέγχου.

Επισημαίνεται ότι για το πλήθος των σημείων ελέγχου σε κάθε διεύθυνση n και m η μέτρηση ξεκινάει από το 0, οπότε για $n=3$ και $m=4$ ουσιαστικά θα έχουμε 4 και 5 σημεία ελέγχου σε κάθε διεύθυνση αντίστοιχα, δηλαδή συνολικά $4*5=20$ σημεία ελέγχου.

Η γεωμετρική οντότητα που χρησιμοποιήθηκε είναι η οντότητα με χαρακτηριστικό αριθμό **128** και ορίζεται ως “rational B-spline surface”. Πιο συγκεκριμένα για NURBS επιφάνειες (με μη-ομοιόμορφα διανύσματα κόμβων) αυτό μπορεί να οριστεί εσωτερικά στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Η συγκεκριμένη γεωμετρική οντότητα ορίζεται στα πλαίσια του προτύπου IGES ως εξής [4]:

128 *rational B-spline surface*

0	determined by parameters
1	plane
2	right circular cylinder
3	cone
4	sphere
5	torus
6	surface of revolution
7	tabulated cylinder
8	ruled surface
9	general quadric surface

NK1 upper index of first sum

NK2 upper index of second sum

NM1	degree of first set of basis functions
NM2	degree of second set of basis functions
I	closed in first direction
I	closed in second direction
I	rational flag
I	periodic in first direction
I	periodic in second direction
(NK1+NM1+2)*{R}	first direction knot vector
(NK2+NM2+2)*{R}	second direction knot vector
((NK1+1)*(NK2+1))*{R}	weights
((NK1+1)*(NK2+1))*{3R}	control points XYZ coordinates
2*{R}	first direction start and end parameter values
2*{R}	second direction start and end parameter values

όπου I έχουμε ακέραιες (integer) και όπου R πραγματικές (real) τιμές. Με το σύμβολο { } υποδηλώνεται μια λίστα και με το * επανάληψη του στοιχείου που ακολουθεί.

Τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος συνθέτουν το τελικό IGES αρχείο (*.igs), το οποίο θα έχει την ακόλουθη δομή:

Τομέας αρχής

Ο τομέας αρχής περιλαμβάνει τα γενικά σχόλια του αρχείου ένα παράδειγμα του οποίου φαίνεται στην **Εικόνα 4.10**.

1	72	73	80
IGES output		S0000001	

Εικόνα 4.10: Παράδειγμα τομέα αρχής

Γενικός τομέας

Στο γενικό τομέα χρησιμοποιούνται οι είκοσι πέντε παράμετροι με τιμές που παρουσιάζονται αναλυτικά στον **Πίνακα 4.5**. Στην **Εικόνα 4.11** δίνεται η μορφή του μέσα σε ένα IGES αρχείο. Κάθε παράμετρος χωρίζεται με το χαρακτήρα « , » και ο τομέας τερματίζεται με το χαρακτήρα « ; ».

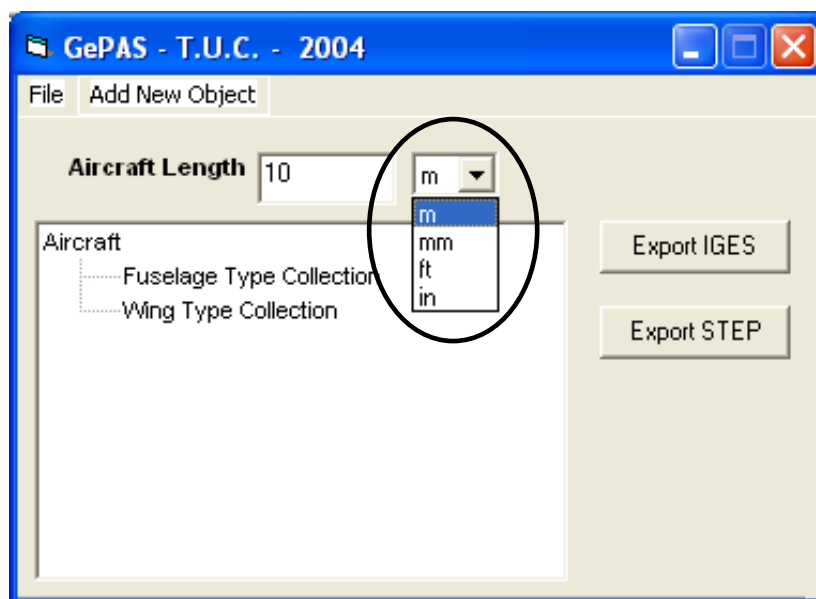
Parameter	Value
1	1H,
2	1H;
3	5HGePAS
4	"file name"
5	5HGePAS
6	4HIGES
7	32
8	75
9	6
10	75
11	15
12	3HCAD
13	1,0
14	"unit flag"
15	"units"
16	1000
17	1,0
18	"file date stamp"
19	0,001
20	10000,0
21	3HDOG
22	3HTUC
23	11
24	0
25	"model date stanp"

Πίνακας 4.5: Τιμές παραμέτρων γενικού τομέα

1	72	73	80
1H,,1H;,5HGePAS,"file name",		G0000001	
5HGePAS,4HIGES,		G0000002	
32,75,6,75,15,3HCAD,		G0000003	
1.0,2,2HMM,1000,1.0,"file date stamp",		G0000004	
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,		G0000005	
11,0,"model date stamp";		G0000006	

Εικόνα 4.11: Παράδειγμα γενικού τομέα

Επισημαίνεται ότι η τιμή της τέταρτης παραμέτρου περιλαμβάνει το όνομα του IGES αρχείου (μπορεί να αναφέρεται και η τοποθεσία του στο σκληρό δίσκο), η δέκατη τέταρτη και η δέκατη πέμπτη παράμετροι αναφέρονται στις μονάδες μέτρησης που έχουν επιλεγεί από το χρήστη (βλ. **Εικόνα 4.12**) και τέλος η δέκατη όγδοη και η εικοστή παράμετροι αναφέρονται στην ημερομηνία και ώρα δημιουργίας του μοντέλου και του IGES αρχείου αντίστοιχα.



Εικόνα 4.12: Επιλογή μονάδων αρχείου IGES

Τομέας καταλόγου εισόδων

Στον **Πίνακα 4.6** παρουσιάζεται η δομή που έχει ο τομέας καταλόγου εισόδου σε ένα αρχείο IGES με τις αντίστοιχες τιμές που χρησιμοποιούνται για κάθε πεδίο. Υπενθυμίζεται ότι χρησιμοποιείται η γεωμετρική οντότητα, που περιγράφει ρητές B-Splines επιφάνειες με χαρακτηριστικό αριθμό **128**. Στο δεύτερο πεδίο, όπως έχει προαναφερθεί, υπάρχει ο δείκτης του τομέα παραμέτρων δεδομένων, στο δέκατο τρίτο πεδίο υπάρχει ο ακέραιος αριθμός, που δείχνει το χρώμα που επιλέγεται από το χρήστη, στο δέκατο τέταρτο πεδίο υπάρχει ο μετρητής γραμμών του τομέα παραμέτρου δεδομένων και τέλος στο δέκατο ένατο πεδίο υπάρχει η ονομασία της κάθε επιφάνειας αντίστοιχα

	1	8	9	16	17	24	25	32	33	40	41	48	49	56	57	64	65	72	73	80
Line 1	128	PD pointer		0		0		1		0		0		0		0				P0000001
Line 2	128	0		colour		PD line count		0		0		0		0			entity name			P0000002

Πίνακας 4.6: Παράδειγμα τομέα καταλόγου εισόδων για NURBS επιφάνεια

Τομέας παραμέτρων δεδομένων

Ο τομέας παραμέτρων δεδομένων περιλαμβάνει όλα τα επιμέρους δεδομένα για κάθε επιφάνεια που υπάρχει σε κάθε IGES αρχείο. Αυτά είναι τα μεγέθη n , m , p ,

q, τα διανύσματα κόμβων σε κάθε διεύθυνση, τα βάρη για κάθε σημείο ελέγχου, οι συντεταγμένες XYZ στο χώρο κάθε σημείου ελέγχου και τέλος οι παράμετροι αρχής και τέλους για κάθε επιφάνεια. Επίσης μετά από τα μεγέθη n, m, p, q δίνονται τέσσερις ακέραιες τιμές (0, 0, 1, 0, 0) και είναι πάντα οι ίδιες. Οι πρώτες δύο δείχνουν ότι η επιφάνεια είναι ανοιχτή στην πρώτη και στη δεύτερη διεύθυνση, η τρίτη δείχνει ότι η επιφάνεια είναι ρητή (rational) και οι τελευταίες δύο δείχνουν ότι δεν υπάρχει περιοδικότητα για τα αντίστοιχα διανύσματα κόμβων στην πρώτη και στη δεύτερη διεύθυνση. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση και ζητήματα που αφορούν το αν η επιφάνεια θα είναι ανοιχτή ή κλειστή σε κάποια διεύθυνση, καθώς και την περιοδικότητα μπορούν να ρυθμιστούν με την επιλογή των ανάλογων διανυσμάτων κόμβων.

Όλες οι τιμές των παραμέτρων χωρίζονται με το χαρακτήρα « , » και κάθε είσοδος του τομέα για κάθε επιφάνεια ξεχωριστά τερματίζεται με χρήση του χαρακτήρα διαχωρισμού εγγραφών « ; ». Ένα παράδειγμα του τομέα παραμέτρων δεδομένων για μια επιφάνεια παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.13**.

1	64	65	66	72	73	80
128,3,3,3,3,0,0,1,0,0,			DE pointer		P0000001	
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,			DE pointer		P0000002	
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,			DE pointer		P0000003	
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,			DE pointer		P0000004	
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,			DE pointer		P0000005	
0.0,15.0,-8.0,0.0,10.0,			DE pointer		P0000006	
-3.0,0.0,10.0,2.0,0.0,10.0,7.0,5.0,10.0,			DE pointer		P0000007	
-8.0,5.0,10.0,-3.0,5.0,10.0,2.0,5.0,10.0,			DE pointer		P0000008	
7.0,10.0,10.0,-8.0,10.0,10.0,-3.0,10.0,10.0,			DE pointer		P0000009	
2.0,10.0,10.0,7.0,15.0,10.0,-8.0,15.0,10.0,			DE pointer		P0000010	
-3.0,15.0,10.0,2.0,15.0,5.0,7.0,			DE pointer		P0000011	
0.0,1.0,0.0,1.0;			DE pointer		P0000012	

Εικόνα 4.13: Παράδειγμα τομέα παραμέτρων δεδομένων για NURBS επιφάνεια

Τομέας τερματισμού

Ανάλογα τώρα με το κάθε IGES αρχείο που κατασκευάζεται, δημιουργείται και ο αντίστοιχος τομέας τερματισμού, ο οποίος περιλαμβάνει τους μετρητές των γραμμών του κάθε τομέα. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην **Εικόνα 4.14**.

1	8	9	16	17	24	25	32	33	40	41	48	49	56	57	64	65	72	73	80
S0000001		G0000006		D0000004		P0000024													T0000001

Εικόνα 4.14: Παράδειγμα τομέα τερματισμού

4.2.2 Εφαρμογές σε NURBS επιφάνειες

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του λογισμικού σε απλά και σε περισσότερο πολύπλοκα παραδείγματα. Στην αρχή δίνονται τα δεδομένα εισόδου της κάθε NURBS επιφάνειας και στη συνέχεια παρουσιάζεται το IGES αρχείο εξόδου (*Εικόνες 4.15, 4.17, 4.19, 4.21, 4.23, 4.25*), μαζί με μια προεπισκόπηση της επιφάνειας στον τρισδιάστατο χώρο (*Εικόνες 4.16, 4.18, 4.20, 4.22, 4.24, 4.26*). Τα τέσσερα πρώτα παραδείγματα αφορούν απλές επιφάνειες NURBS ενώ τα παραδείγματα 5 και 6 περιγράφουν δύο τεμνόμενες επιφάνειες NURBS. Επισημαίνεται ότι τα διανύσματα κόμβων είναι ανοικτά ομοιόμορφα με πολλαπλότητα στους ακραίους κόμβους ίση με $p+1$, $q+1$ και πλήθος στοιχείων $n+p+2$ και $m+q+2$ αντίστοιχα για κάθε διεύθυνση.

Παράδειγμα 1

$$n=3, m=3$$

$$p=2, q=2$$

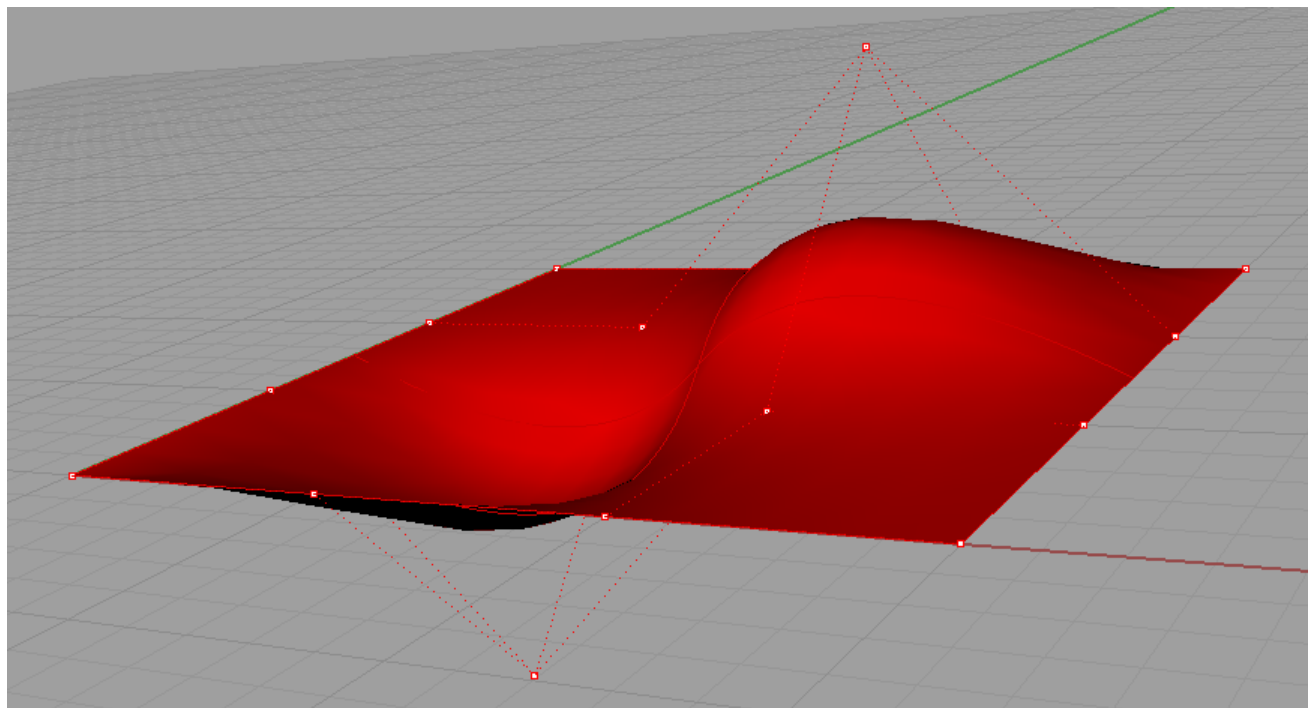
$$\mathbf{knotU}=[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2]$$

$$\mathbf{knotV}=[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2]$$

(X, Y, Z)	(W)
0.0, 0.0, 0.0	1.0
0.0, 5.0, 0.0	1.0
0.0, 10.0, 0.0	1.0
0.0, 15.0, 0.0	1.0
5.0, 0.0, 0.0	1.0
5.0, 5.0, -5.0	1.0
5.0, 10.0, 0.0	1.0
5.0, 15.0, 0.0	1.0
10.0, 0.0, 0.0	1.0
10.0, 5.0, 0.0	1.0
10.0, 10.0, 5.0	1.0
10.0, 15.0, 0.0	1.0
15.0, 0.0, 0.0	1.0
15.0, 5.0, 0.0	1.0
15.0, 10.0, 0.0	1.0
15.0, 15.0, 0.0	1.0

NURBS Surface example.1 IGES file	S0000001
1H,,1H;,5HGePAS,12Hexample1.igs,	G0000001
5HGePAS,4HIGES,	G0000002
32,75,6,75,15,3HCAD,	G0000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220,	G0000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,	G0000005
11,0,13H040901.154220;	G0000006
128 1 0 0 1 0 0 0	0D0000001
128 0 2 13 0 0 0 0	0D0000002
128 3,3,2,2,0,0,1,0,0,	1P0000001
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,2.0,2.0,	1P0000002
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,2.0,2.0,	1P0000003
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000005
1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000006
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,5.0,0.0,0.0,	1P0000007
10.0,0.0,0.0,15.0,0.0,5.0,0.0,0.0,5.0,5.0,	1P0000008
-5.0,5.0,10.0,0.0,5.0,15.0,0.0,10.0,0.0,0.0,	1P0000009
10.0,5.0,0.0,10.0,10.0,5.0,10.0,15.0,0.0,	1P0000010
15.0,0.0,0.0,15.0,5.0,0.0,15.0,10.0,0.0,	1P0000011
15.0,15.0,0.0,	1P0000012
0.0,2.0,0.0,2.0;	1P0000013
S0000001G0000006D0000002P0000013	T0000001

Εικόνα 4.15: IGES αρχείο – Παράδειγμα 1



Εικόνα 4.16: Προεπισκόπηση επιφάνειας – Παράδειγμα 1

Παράδειγμα 2

$n=4, m=4$

$p=2, q=2$

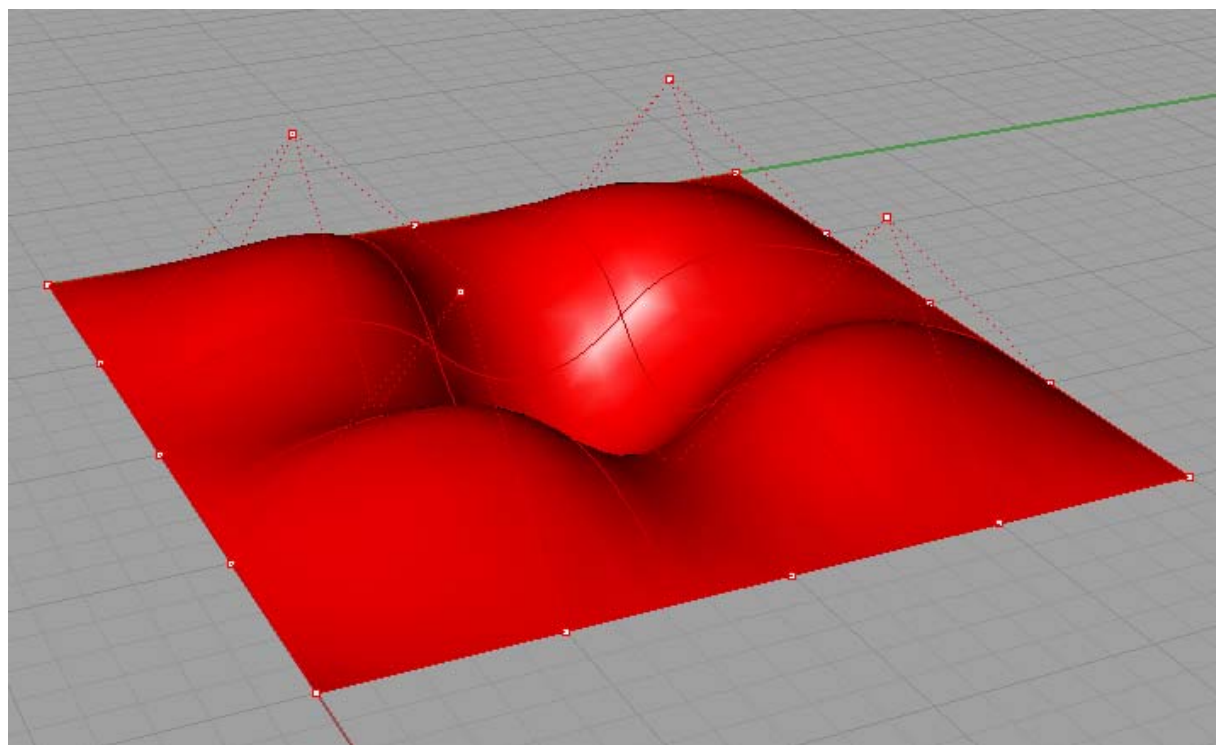
$knotU=[0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 3\ 3]$

$knotV=[0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 3\ 3]$

(X, Y, Z)	(W)
0.0, 0.0, 0.0	1.0
0.0, 5.0, 0.0	1.0
0.0, 10.0, 0.0	1.0
0.0, 15.0, 0.0	1.0
0.0, 20.0, 0.0	1.0
5.0, 0.0, 0.0	1.0
5.0, 5.0, 5.0	1.0
5.0, 10.0, 0.0	1.0
5.0, 15.0, 5.0	1.0
5.0, 20.0, 0.0	1.0
10.0, 0.0, 0.0	1.0
10.0, 5.0, 0.0	1.0
10.0, 10.0, -5.0	1.0
10.0, 15.0, 0.0	1.0
10.0, 20.0, 0.0	1.0
15.0, 0.0, 0.0	1.0
15.0, 5.0, 5.0	1.0
15.0, 10.0, 0.0	1.0
15.0, 15.0, 5.0	1.0
15.0, 20.0, 0.0	1.0
20.0, 0.0, 0.0	1.0
20.0, 5.0, 0.0	1.0
20.0, 10.0, 0.0	1.0
20.0, 15.0, 0.0	1.0
20.0, 20.0, 0.0	1.0

NURBS Surface example.2 IGES file	S0000001
1H,,1H;,5HGePAS,12Hexample2.igs,	G0000001
5HGePAS,4HIGES,	G0000002
32,75,6,75,15,3HCAD,	G0000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220,	G0000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,	G0000005
11,0,13H040901.154220;	G0000006
128 1 0 0 1 0 0 0	0D0000001
128 0 2 16 0 0 0 0	0D0000002
128 4,4 2,2 0,0,1,0,0,	1P0000001
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,3.0,3.0,	1P0000002
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,3.0,3.0,	1P0000003
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000005
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000006
0.0,0.0,0.0,0.0,5.0,0.0,	1P0000007
0.0,10.0,0.0,0.0,15.0,0.0,0.0,20.0,0.0,5.0,	1P0000008
0.0,0.0,5.0,5.0,5.0,5.0,10.0,0.0,5.0,15.0,	1P0000009
5.0,5.0,20.0,0.0,10.0,0.0,0.0,10.0,5.0,0.0,	1P0000010
10.0,10.0,-5.0,10.0,15.0,0.0,10.0,20.0,0.0,	1P0000011
15.0,0.0,0.0,15.0,5.0,5.0,15.0,10.0,0.0,	1P0000012
15.0,15.0,5.0,15.0,20.0,0.0,20.0,0.0,0.0,	1P0000013
20.0,5.0,0.0,20.0,10.0,0.0,20.0,15.0,0.0,	1P0000014
20.0,20.0,0.0,	1P0000015
0.0,3.0,0.0,3.0;	1P0000016
S0000001G0000006D0000002P0000016	T0000001

Εικόνα 4.17: IGES αρχείο – Παράδειγμα 2



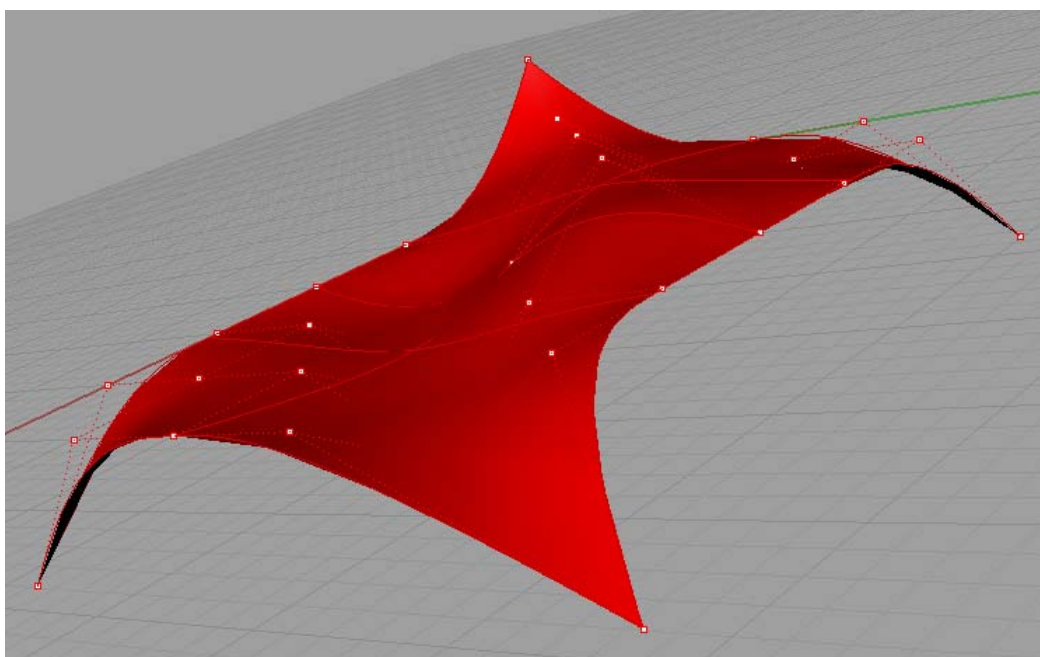
Εικόνα 4.18: Προεπισκόπηση επιφάνειας – Παράδειγμα 2

Παράδειγμα 3 $n=4, m=6$ $p=3, q=3$ $knotU=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 2\ 2\ 2]$ $knotV=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 4]$

(X, Y, Z)	(W)
0.0, 0.0, 5.0	1.0
0.0, 5.0, 0.0	1.0
0.0, 10.0, 0.0	1.0
0.0, 15.0, 0.0	1.0
0.0, 20.0, -5.0	1.0
5.0, 0.0, 0.0	1.0
5.0, 5.0, 3.0	1.0
5.0, 10.0, 0.0	1.0
5.0, 15.0, 0.0	1.0
5.0, 20.0, 0.0	1.0
10.0, 0.0, 0.0	1.0
10.0, 5.0, 0.0	1.0
10.0, 10.0, 3.0	1.0
10.0, 15.0, 0.0	1.0
10.0, 20.0, 0.0	1.0
15.0, 0.0, 0.0	1.0
15.0, 5.0, -3.0	1.0
15.0, 10.0, 0.0	1.0
15.0, 15.0, 3.0	1.0
15.0, 20.0, 0.0	1.0
20.0, 0.0, 0.0	1.0
20.0, 5.0, 0.0	1.0
20.0, 10.0, -3.0	1.0
20.0, 15.0, 0.0	1.0
20.0, 20.0, 0.0	1.0
25.0, 0.0, 0.0	1.0
25.0, 5.0, 0.0	1.0
25.0, 10.0, 0.0	1.0
25.0, 15.0, -3.0	1.0
25.0, 20.0, 0.0	1.0
30.0, 0.0, -5.0	1.0
30.0, 5.0, 0.0	1.0
30.0, 10.0, 0.0	1.0
30.0, 15.0, 0.0	1.0
30.0, 25.0, -5.0	1.0

NURBS Surface example.3 IGES file	S0000001
1H,,1H;,5HGePAS,12Hexample3.igs,	G0000001
5HGePAS,4HIGES,	G0000002
32,75,6,75,15,3HCAD,	G0000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220,	G0000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,	G0000005
11,0,13H040901.154220;	G0000006
128,1,0,0,0,1,0,0,	0D0000001
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,2.0,2.0,	0D0000002
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	1P0000001
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000002
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000003
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000005
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000006
0.0,0.0,5.0,0.0,5.0,0.0,0.0,10.0,0.0,0.0,15.0,	1P0000007
0.0,0.0,20.0,-5.0,5.0,0.0,0.0,5.0,5.0,3.0,5.0,	1P0000008
10.0,0.0,5.0,15.0,0.0,5.0,20.0,0.0,10.0,0.0,	1P0000009
0.0,10.0,5.0,0.0,10.0,10.0,3.0,10.0,15.0,	1P0000010
0.0,10.0,20.0,0.0,15.0,0.0,0.0,15.0,5.0,	1P0000011
-3.0,15.0,10.0,0.0,15.0,15.0,3.0,15.0,20.0,	1P0000012
0.0,20.0,0.0,0.0,20.0,5.0,0.0,20.0,10.0,	1P0000013
-3.0,20.0,15.0,0.0,20.0,20.0,0.0,25.0,0.0,	1P0000014
0.0,25.0,5.0,0.0,25.0,10.0,0.0,25.0,15.0,	1P0000015
-3.0,25.0,20.0,0.0,30.0,0.0,-5.0,30.0,5.0,	1P0000016
0.0,30.0,10.0,0.0,30.0,15.0,0.0,30.0,25.0,-5.0,	1P0000017
0.0,2.0,0.0,4.0;	1P0000018
S0000001G0000006D0000002P0000019	1P0000019
	T0000001

Εικόνα 4.19: IGES αρχείο – Παράδειγμα 3



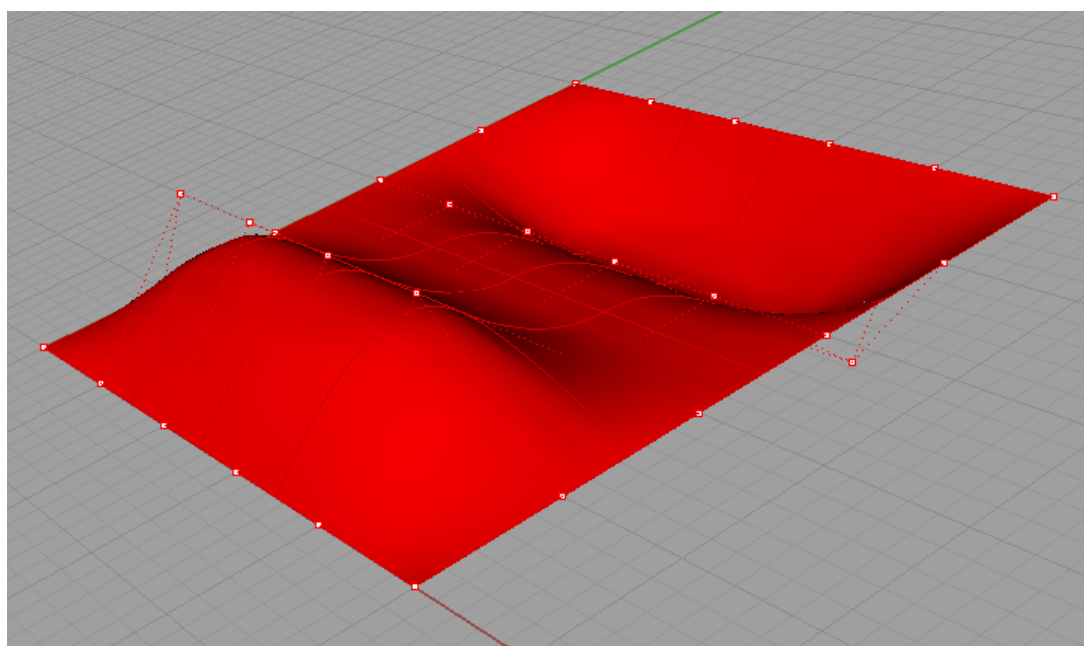
Εικόνα 4.20: Προεπισκόπηση επιφάνειας – Παράδειγμα 3

Παράδειγμα 4 $n=5, m=5$ $p=2, q=2$ $knotU=[0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4]$ $knotV=[0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4]$

(X, Y, Z)	(W)
0.0, 0.0, 0.0	1.0
0.0, 5.0, 0.0	1.0
0.0, 10.0, 0.0	1.0
0.0, 15.0, 0.0	1.0
0.0, 20.0, 0.0	1.0
0.0, 25.0, 0.0	1.0
5.0, 0.0, 0.0	1.0
5.0, 5.0, 5.0	1.0
5.0, 10.0, 0.0	1.0
5.0, 15.0, 0.0	1.0
5.0, 20.0, -5.0	1.0
5.0, 25.0, 0.0	1.0
10.0, 0.0, 0.0	1.0
10.0, 5.0, 5.0	1.0
10.0, 10.0, 0.0	1.0
10.0, 15.0, 0.0	1.0
10.0, 20.0, -5.0	1.0
10.0, 25.0, 0.0	1.0
15.0, 0.0, 0.0	1.0
15.0, 5.0, 5.0	1.0
15.0, 10.0, 0.0	1.0
15.0, 15.0, 0.0	1.0
15.0, 20.0, -5.0	1.0
15.0, 25.0, 0.0	1.0
20.0, 0.0, 0.0	1.0
20.0, 5.0, 5.0	1.0
20.0, 10.0, 0.0	1.0
20.0, 15.0, 0.0	1.0
20.0, 20.0, -5.0	1.0
20.0, 25.0, 0.0	1.0
25.0, 0.0, 0.0	1.0
25.0, 5.0, 0.0	1.0
25.0, 10.0, 0.0	1.0
25.0, 15.0, 0.0	1.0
25.0, 20.0, 0.0	1.0
25.0, 25.0, 0.0	1.0

NURBS Surface example.4 IGES file		S0000001
1H,,1H;;5HGePAS,12Hexample4.igs,		G0000001
5HGePAS,4HIGES,		G0000002
32,75,6,75,15,3HCAD,		G0000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220,		G0000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,		G0000005
11,0,13H040901.154220;		G0000006
128 1 0 0 1 0 0 0		0D0000001
128 0 2 21 0 0 0 0		0D0000002
128 5,5 2,2 0,0,1,0,0,		1P0000001
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,		1P0000002
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,		1P0000003
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000005
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000006
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000007
0.0,0.0,0.0,0.0,5.0,0.0,0.0,10.0,0.0,		1P0000008
0.0,15.0,0.0,0.0,20.0,0.0,0.0,25.0,0.0,		1P0000009
5.0,0.0,0.0,5.0,5.0,5.0,5.0,10.0,0.0,		1P0000010
5.0,15.0,0.0,5.0,20.0,-5.0,5.0,25.0,0.0,		1P0000011
10.0,0.0,0.0,10.0,5.0,5.0,10.0,10.0,0.0,		1P0000012
10.0,15.0,0.0,10.0,20.0,-5.0,10.0,25.0,		1P0000013
0.0,15.0,0.0,0.0,15.0,5.0,5.0,15.0,10.0,		1P0000014
0.0,15.0,15.0,0.0,15.0,20.0,-5.0,15.0,		1P0000015
25.0,0.0,20.0,0.0,0.0,20.0,5.0,5.0,20.0,		1P0000016
10.0,0.0,20.0,15.0,0.0,20.0,20.0,-5.0,		1P0000017
20.0,25.0,0.0,25.0,0.0,0.0,25.0,5.0,0.0,		1P0000018
25.0,10.0,0.0,25.0,15.0,0.0,25.0,20.0,0.0,		1P0000019
25.0,25.0,0.0,		1P0000020
0.0,4.0,0.0,4.0;		1P0000021
S0000001G0000006D0000002P0000021		T0000001

Εικόνα 4.21: IGES αρχείο – Παράδειγμα 4



Εικόνα 4.22: Προεπισκόπηση επιφάνειας – Παράδειγμα 4

Παράδειγμα 5

$$n1=3, m1=3$$

$$p1=3, q1=3$$

$$n2=3, m2=3$$

$$p2=3, q2=3$$

$$knotU1=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$$

$$knotV1=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$$

$$knotU2=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$$

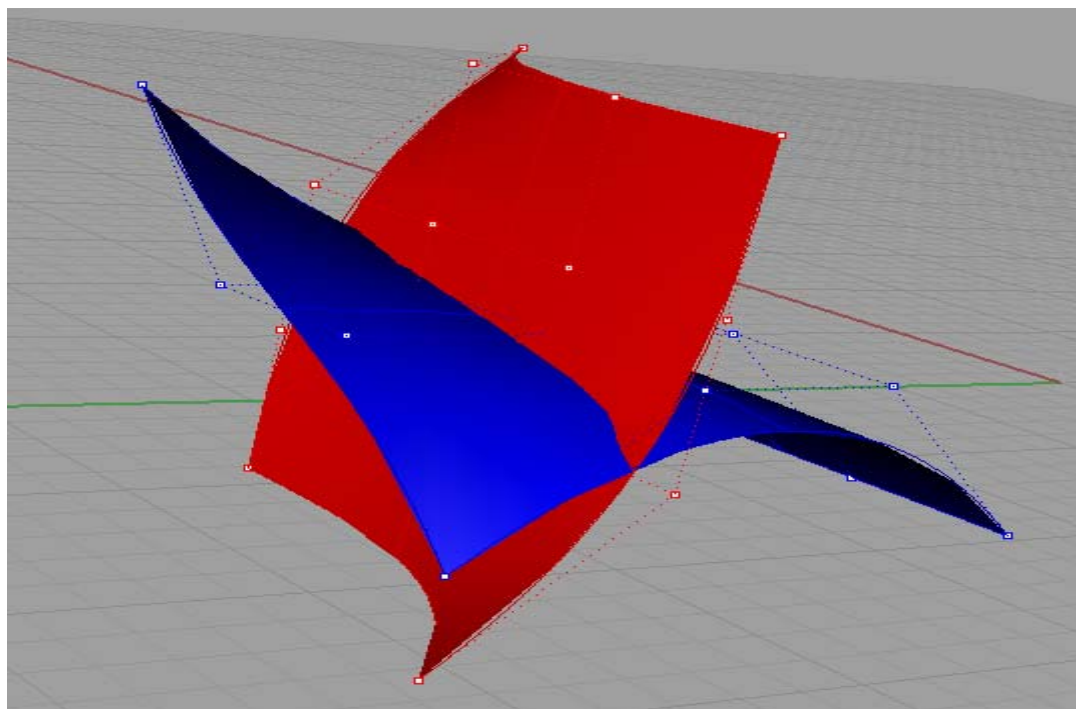
$$knotV2=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$$

(X, Y, Z)	(W)
0.0, 15.0, -8.0	1.0
0.0, 10.0, -3.0	1.0
0.0, 10.0, 2.0	1.0
0.0, 10.0, 7.0	1.0
5.0, 10.0, -8.0	1.0
5.0, 10.0, -3.0	1.0
5.0, 10.0, 2.0	1.0
5.0, 10.0, 7.0	1.0
10.0, 10.0, -8.0	1.0
10.0, 10.0, -3.0	1.0
10.0, 10.0, 2.0	1.0
10.0, 10.0, 7.0	1.0
15.0, 10.0, -8.0	1.0
15.0, 10.0, -3.0	1.0
15.0, 10.0, 2.0	1.0
15.0, 5.0, 7.0	1.0

(X, Y, Z)	(W)
0.0, 0.0, -5.0	1.0
0.0, 5.0, 0.0	1.0
0.0, 10.0, 0.0	1.0
0.0, 15.0, -5.0	1.0
5.0, 0.0, -5.0	1.0
5.0, 5.0, 0.0	1.0
5.0, 10.0, 0.0	1.0
5.0, 15.0, 0.0	1.0
10.0, 0.0, -5.0	1.0
10.0, 5.0, 0.0	1.0
10.0, 10.0, 0.0	1.0
10.0, 15.0, 0.0	1.0
15.0, 0.0, -5.0	1.0
15.0, 5.0, 0.0	1.0
15.0, 10.0, 0.0	1.0
15.0, 15.0, 5.0	1.0

NURBS Surface example.5 IGES file										S00000001
1H,,1H;,5HGEPAS,12Hexample5.igs,										G00000001
5HGEPAS,4HIGES,										G00000002
32,75,6,75,15,3HCAD,										G00000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220;										G00000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,										G00000005
11,0,13H040901.154220;										G00000006
128	1	0	0	1	0	0	0	0	0D00000001	
128	0	2	12	0	0	0	0	NURBS51	0D00000002	
128	13	0	0	1	0	0	0	0	0D00000003	
128	0	4	12	0	0	0	0	NURBS52	0D00000004	
128	3,3,3,3	0,0,1,0,0,								1P00000001
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										1P00000002
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										1P00000003
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										1P00000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										1P00000005
0.0,15.0,-8.0,0.0,10.0,										1P00000006
-3.0,0.0,10.0,2.0,0.0,10.0,7.0,5.0,10.0,										1P00000007
-8.0,5.0,10.0,-3.0,5.0,10.0,2.0,5.0,10.0,										1P00000008
7.0,10.0,10.0,-8.0,10.0,10.0,-3.0,10.0,10.0,										1P00000009
2.0,10.0,10.0,7.0,15.0,10.0,-8.0,15.0,10.0,										1P00000010
-3.0,15.0,10.0,2.0,15.0,5.0,7.0,										1P00000011
0.0,1.0,0.0,1.0;										1P00000012
128	3,3,3,3	0,0,1,0,0,	start and end parameter values in both directions							1P00000012
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										3P00000013
0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										3P00000014
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										3P00000015
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,										3P00000016
0.0,0.0,-5.0,0.0,5.0,										3P00000017
0.0,0.0,10.0,0.0,0.0,15.0,-5.0,5.0,0.0,-5.0,										3P00000018
5.0,5.0,0.0,5.0,10.0,0.0,5.0,15.0,0.0,10.0,										3P00000019
0.0,-5.0,10.0,5.0,0.0,10.0,10.0,0.0,10.0,										3P00000020
15.0,0.0,15.0,0.0,-5.0,15.0,5.0,0.0,15.0,										3P00000021
10.0,0.0,15.0,15.0,5.0,										3P00000022
0.0,1.0,0.0,1.0;										3P00000023
0.0,1.0,0.0,1.0;										3P00000024
S00000001G00000006D00000004P00000024										T00000001

Εικόνα 4.23: IGES αρχείο – Παράδειγμα 5



Εικόνα 4.24: Προεπισκόπηση επιφανειών – Παράδειγμα 5

Παράδειγμα 6

$n1=3, m1=3$

$p1=3, q1=3$

$n2=3, m2=3$

$p2=3, q2=3$

$knotU1=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$

$knotV1=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$

$knotU2=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$

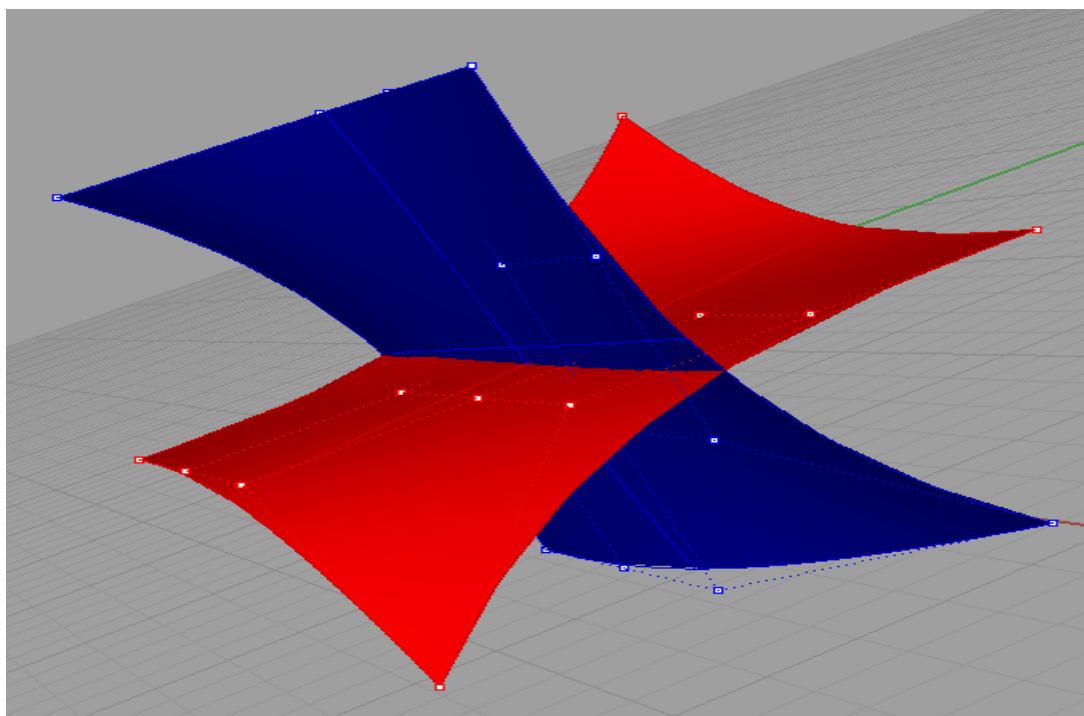
$knotV2=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$

(X, Y, Z)	(W)
-5.0, -3.0, 0.0	1.0
-5.0, 2.0, 0.0	1.0
-5.0, 7.0, 0.0	1.0
-5.0, 12.0, 5.0	1.0
0.0, -3.0, 0.0	1.0
0.0, 2.0, 0.0	1.0
0.0, 7.0, 0.0	1.0
0.0, 12.0, 0.0	1.0
5.0, -3.0, 0.0	1.0
5.0, 2.0, 0.0	1.0
5.0, 7.0, 0.0	1.0
5.0, 12.0, 0.0	1.0
10.0, -3.0, -5.0	1.0
10.0, 2.0, 0.0	1.0
10.0, 7.0, 0.0	1.0
10.0, 12.0, 0.0	1.0

(X, Y, Z)	(W)
-5.0, 4.0, -7.0	1.0
-5.0, 4.0, -2.0	1.0
-5.0, 4.0, 3.0	1.0
-5.0, -1.0, 8.0	1.0
0.0, 4.0, -7.0	1.0
0.0, 4.0, -2.0	1.0
0.0, 4.0, 3.0	1.0
0.0, 4.0, 8.0	1.0
5.0, 4.0, -7.0	1.0
5.0, 4.0, -2.0	1.0
5.0, 4.0, 3.0	1.0
5.0, 4.0, 8.0	1.0
10.0, 9.0, -7.0	1.0
10.0, 4.0, -2.0	1.0
10.0, 4.0, 3.0	1.0
10.0, 4.0, 8.0	1.0

NURBS Surface example.6 IGES file		S00000001
1H,,1H;,5HGePAS,12Hexample6.igs,		G00000001
5HGePAS,4HIGES,		G00000002
32,75,6,75,15,3HCAD,		G00000003
1.0,2,2HMM,1000,1.0,13H040901.154220,		G00000004
0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,		G00000005
11,0,13H040901.154220;		G00000006
128 1 0 0 1 0 0 0		0D0000001
128 0 2 12 0 0 0 0		0D0000002
128 13 0 0 1 0 0 0		0D0000003
128 0 4 12 0 0 0 0		0D0000004
128 3,3,3,3,0,0,1,0,0,		1P0000001
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000002
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000003
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		1P0000005
-5.0,-3.0,0.0,-5.0,2.0,0.0,		1P0000006
-5.0,7.0,0.0,-5.0,12.0,5.0,0.0,-3.0,0.0,		1P0000007
0.0,2.0,0.0,0.0,7.0,0.0,0.0,12.0,0.0,5.0,		1P0000008
-3.0,0.0,5.0,2.0,0.0,5.0,7.0,0.0,5.0,12.0,		1P0000009
0.0,10.0,-3.0,-5.0,10.0,2.0,0.0,10.0,7.0,		1P0000010
0.0,10.0,12.0,0.0,		1P0000011
0.0,1.0,0.0,1.0;		1P0000012
128 3,3,3,3,0,0,1,0,0,		3P0000013
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		3P0000014
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		3P0000015
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		3P0000016
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,		3P0000017
-5.0,4.0,-7.0,-5.0,4.0,-2.0,		3P0000018
-5.0,4.0,3.0,-5.0,-1.0,8.0,0.0,4.0,		3P0000019
-7.0,0.0,4.0,-2.0,0.0,4.0,3.0,0.0,4.0,8.0,		3P0000020
5.0,4.0,-7.0,5.0,4.0,-2.0,5.0,4.0,3.0,5.0,		3P0000021
4.0,8.0,10.0,9.0,-7.0,10.0,4.0,-2.0,10.0,		3P0000022
4.0,3.0,10.0,4.0,8.0,		3P0000023
0.0,1.0,0.0,1.0;		3P0000024
S00000001G00000006D00000004P00000024		T00000001

Εικόνα 4.25: IGES αρχείο – Παράδειγμα 6



Εικόνα 4.26: Προεπισκόπηση επιφανειών – Παράδειγμα 6

4.2.3 Εφαρμογή στο λογισμικό GePAS

Παρακάτω παρουσιάζεται μια εφαρμογή του προεπεξεργαστή αρχείων IGES στο λογισμικό GePAS για την απεικόνιση των αεροδυναμικών επιφανειών ενός αεροσκάφους τύπου C-17. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του αρχείου εξόδου IGES (c-17.igs) παραλείπεται η αναλυτική παρουσίασή του, όπως έγινε στα προηγούμενα παραδείγματα, επισημαίνεται όμως ότι η δομή του θα είναι ακριβώς η ίδια. Το αρχείο δίνεται στο **Παράρτημα Γ** και οι NURBS επιφάνειες (γεωμετρικές οντότητες) που απαρτίζουν το αεροσκάφος είναι οι εξής:

- *F_lage1*: Κεντρική άτρακτος (fuselage) του αεροσκάφους.
- *F_lage2*: Μικρή άτρακτός στην κορυφή της ουραίας πτέρυγας.
- *F_lage3, 4, 5, 6*: Κελύφη μηχανών του αεροσκάφους (nacelles).
- *Wing1, 2*: Κεντρικές πτέρυγες.
- *Wing3*: Κεντρική ουραία πτέρυγα (tail wing).
- *Wing4, 5*: Ουραίες πτέρυγες.
- *Wing6, 7, 8, 9*: Πτέρυγες στήριξης κελυφών στις κεντρικές πτέρυγες.

Στις **Εικόνες 4.27, 4.28 και 4.29** παρουσιάζονται τρισδιάστατες απεικονίσεις του αεροσκάφους C-17 σε μερικά δημοφιλή προγράμματα CAD (CATIA, Pro/Engineer, Rhinoceros) με τη χρήση του εξαγόμενου από το λογισμικό IGES αρχείου.



Εικόνα 4.27: C-17 - CATIA



Εικόνα 4.28: C-17 – Pro/Engineer



Εικόνα 4.29: C-17 - Rhinoceros

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ CAD ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ: STEP format

5.1 STEP

Ιστορικά η ανάπτυξη του προτύπου STEP (STandard for the Exchange of Product data) ξεκίνησε παράλληλα με τη δημοσίευση δεύτερων ή ακόμα και τρίτων εκδόσεων των ήδη υπαρχόντων προτύπων δεύτερης γενιάς. Παρόλα αυτά παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον σε σχέση με τα υπόλοιπα format εκείνης της περιόδου για δύο βασικούς λόγους. Πρώτον ήταν το αποτέλεσμα μιας συλλογικής προσπάθειας σε διεθνές επίπεδο, βασισμένη σε ένα σύνολο αξιοσημείωτων εμπειρικών δεδομένων, τα οποία αποκτήθηκαν μέσα από την ανάπτυξη και την εφαρμογή των ήδη υπαρχόντων προτύπων και προδιαγραφών. Δεύτερον, καθώς ήταν ένα καινούργιο πρότυπο και υπήρχε η απαραίτητη εμπειρία, δεν μπορούσαν να σταθούν ως εμπόδια λάθη και παραδρομές προηγούμενων εκδόσεων [4].

5.1.1 Οι προϋποθέσεις για το STEP

Το format που έγινε γνωστό ως STEP (αρχεία τύπου *.stp ή *.step) αποτέλεσε ένα ISO πρότυπο για την ανάπτυξη μιας νέας προδιαγραφής για την ανταλλαγή μηχανολογικών δεδομένων προϊόντος και έχει καταγραφεί και ως προδιαγραφή ISO 10303. Βασικός στόχος ήταν αντί για την ύπαρξη πολλών ξεχωριστών διεθνών προτύπων, να αναπτυχθεί ένα ενιαίο και καλύτερο πρότυπο, το οποίο να καλύπτει από όλες τις απόψεις τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς. Ως γνωστό ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος μπορεί να είναι πολύ μεγάλος: από την αρχική μελέτη μιας τοποθεσίας, μαζί με την απαραίτητη αποθήκευση γεωγραφικών και γεωφυσικών δεδομένων, στην τελική διακοπή της λειτουργίας της εγκατάστασης (αρκετές δεκαετίες ίσως αργότερα) που υπήρχε εκεί. Πρέπει να ληφθούν επίσης υπόψη διαδικασίες συντήρησης του προϊόντος, καθώς και τυχόν διεργασίες ανακύκλωσης κάποιων τμημάτων του.

Παρόλο που κάποιες απαραίτητες προβλέψεις για την ανταλλαγή μηχανολογικών σχεδίων έχουν συμπεριληφθεί, το STEP ποτέ δεν προοριζόταν ως ένα πρότυπο ανταλλαγής «γραφικών» δεδομένων, καθώς ο συγκεκριμένος τομέας είχε ήδη καλυφθεί από ήδη υπάρχοντα ISO πρότυπα [19].

Στόχοι σχεδίασης

Οι στόχοι σχεδίασης για το πρότυπο STEP καθορίστηκαν από την αρχή της ανάπτυξής του [24]. Οι σημαντικότεροι από αυτούς παρουσιάζονται παρακάτω:

- *Πληρότητα:* το STEP πρέπει να καθιστά δυνατή μια πλήρη αναπαράσταση ενός προϊόντος είτε τα δεδομένα προορίζονται για ανταλλαγή είτε για αρχειοθέτηση.
- *Επεκτασιμότητα:* πρέπει να παρέχονται οι βάσεις για περεταίρω επέκταση σε όλους τους τομείς του φάσματος, στο οποίο το STEP αποσκοπεί.
- *Αποτελεσματικότητα:* το STEP πρέπει να είναι αποτελεσματικό, όσον αφορά στο τελικό μέγεθός των αρχείων, καθώς και τους υπολογιστικούς πόρους που απαιτούνται για την επεξεργασία. Βέβαια το τελευταίο δεν αποτελεί ιδιαίτερη απαίτηση σήμερα, λόγω της σημαντικής μείωσης του κόστους των Η/Υ.
- *Δοκιμή επιπρόσθετων μερών:* οποιαδήποτε προσθήκη κάποιου νέου μέρους στο πρότυπο (περιλαμβάνεται και η αρχική έκδοση), πρέπει να υπόκειται πρώτα σε εκτενή έλεγχο και αν είναι δυνατόν σε περεταίρω δοκιμή σε πραγματικά προβλήματα.
- *Συμβατότητα με άλλα πρότυπα:* το STEP πρέπει να είναι συμβατό με όσο το δυνατόν περισσότερα πρότυπα, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η μετάβαση από τα ήδη υπάρχοντα. Πρέπει επίσης να ενσωματώνει τεχνολογίες από άλλα πρότυπα, όπου αυτό είναι εφικτό, όπως για γραφικά, σύνολα χαρακτήρων και ορολογίες.
- *Μη πλεονασμός:* κάθε έννοια πρέπει να αναπαρίσταται με μονοσήμαντο τρόπο.
- *Ανεξάρτητο πλατφόρμας:* το STEP πρέπει να είναι ανεξάρτητο λογισμικού ή συστήματος Η/Υ.
- *Λογική αξιολόγηση των δεδομένων:* το STEP πρέπει να καθορίζει εκ των προτέρων λειτουργικά υποσύνολα (πληροφορίες) για εφαρμογές, οι οποίες είναι προφανείς.
- *Επικύρωση εφαρμογών:* πρέπει να υπάρξει μια βάση για επιμορφωτικές δοκιμές ως μέρος του προτύπου, έτσι ώστε αυτές οι υπηρεσίες να είναι διαθέσιμες τη χρονική στιγμή που θα δημοσιευτεί η αρχική του έκδοση.

Μια από τις σημαντικότερες διαφορές ανάμεσα στο STEP και στις άλλες προσπάθειες προτυποποίησης είναι ότι το STEP είναι κατά κύριο λόγο πρωτοποριακό και όχι αναδρομικό. Πολλά από τα άτομα που έχουν εμπλακεί στην ανάπτυξη του προτύπου προέρχονται από προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης και άλλοι από το χώρο της μηχανολογικής σχεδίασης με χρήση Η/Υ (CAE – Computer Aided Engineering). Οι ιδέες, οι οποίες προτείνονται για το STEP συχνά δεν είναι διαθέσιμες σε ένα σύστημα CAE του εμπορίου, αλλά δοκιμάζονται σε αυτά κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του προτύπου. Επομένως με τη δημοσίευση του STEP τα συστήματα CAE με αυτές τις νέες δυνατότητες βγαίνουν παράλληλα στην αγορά, και αντιμετωπίζονται άμεσα αρκετά προβλήματα συμβατότητας.

Επίσης για να γίνει αποδεκτό το νέο πρότυπο από το ευρύ κοινό πρέπει να είναι καλύτερο από τα ήδη υπάρχοντα είτε παρέχοντας ακριβέστερη και πιο αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, είτε δίνοντας νέες δυνατότητες στο χώρο της ανταλλαγής δεδομένων. Μαθαίνοντας από τα υπάρχοντα πρότυπα το STEP έχει τη δυνατότητα να τα ξεπεράσει, εξασφαλίζοντας όμως παράλληλα και τα μέσα για τη μετάβαση (migration) από αυτά [19].

Ενσωμάτωση τεχνολογιών

Από τα υπάρχοντα πρότυπα έγινε φανερό, ότι είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση κάποιων σημαντικών τεχνολογιών, οι οποίες θα προσδώσουν μεγάλη αξία και θα αποτελέσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του STEP. Αυτές θα βοηθήσουν επίσης στην αποφυγή αρκετών μειονεκτημάτων, που είχαν παρατηρηθεί κατά τη χρήση των υπόλοιπων προτύπων.

- ο Υιοθετήθηκε μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων (three-layer architecture), η οποία προήλθε από ένα συνέδριο της επιτροπής ANSI/SPARC (Standards Planning And Requirements Committee) πάνω στις αρχιτεκτονικές τύπου DBMS (Database Management System) [23], και καθορίστηκαν ως εξής:

Εξωτερικό: οι πληροφορίες που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Βασικό: οι πληροφορίες που περιγράφουν όλες τις περιοχές ενδιαφέροντος.

Εσωτερικό: η εφαρμογή των παραπάνω ως ένα σύστημα αρχείων σε H/Y.

Ο παραπάνω διαχωρισμός επέτρεψε τον καθορισμό πολλαπλών όψεων για μια εφαρμογή, καθώς και διαφορετικών τρόπων υλοποίησης της. Στο STEP τα επίπεδα αυτά είχαν αρχικά οριστεί ως *επίπεδο εφαρμογών (application)*, *λογικό επίπεδο (logical)* και *φυσικό επίπεδο (physical)*.

- ο Υιοθετήθηκαν μεθοδολογίες από το χώρο της μοντελοποίησης πληροφοριών (information modeling) [26, 27], για τον καθορισμό μοντέλων αναφοράς.
- ο Χρησιμοποιήθηκε για τα μοντέλα εφαρμογών καθώς και για τα «λογικά» μοντέλα, μια επίσημα καθορισμένη για την περιγραφή δεδομένων γλώσσα, η EXPRESS.
- ο Χρησιμοποιήθηκε μια επίσημη προδιαγραφή για τις μεθόδους ενσωμάτωσης των πληροφοριών στο πρότυπο, συμπεριλαμβανομένης και της σχεδίασης του «φυσικού» επιπέδου.
- ο Οι απαιτήσεις για τις διαδικασίες επιμορφωτικού ελέγχου (conformance testing) καθορίστηκαν ως μέρος του προτύπου για τη διευκόλυνση του ελέγχου των επεξεργασιών.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η δημιουργία δύο σημαντικών μοντέλων πληροφοριών για το STEP, τα οποία ανταποκρίνονται στα δύο επίπεδα αρχιτεκτονικής της ANSI/SPARC [19]:

- ο *Μοντέλα πηγής πληροφοριών (resource information models – θεμελιώδες επίπεδο)*: τα μοντέλα αυτά παρέχουν πληροφορίες σε ένα επαρκώς καθορισμένο γενικό ή ανεξάρτητο περιεχομένου πεδίο, όπως είναι οι μονάδες, η γεωμετρία, η τοπολογία, το σχήμα, η δομή του προϊόντος και η διαχείριση διαμόρφωσης. Αποτελούν μια ολοκληρωμένη πηγή πληροφοριών, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια πληθώρα εφαρμογών.
- ο *Πρωτόκολλα εφαρμογών (application protocols – εξωγενές επίπεδο)*: τα πρωτόκολλα εφαρμογών παρέχουν πληροφορίες για συγκεκριμένα πεδία εφαρμογών, όπως είναι η παραμετρική τρισδιάστατη σχεδίαση ή γεωμετρικές επιφανειών και οριακές αναπαραστάσεις για μηχανολογική σχεδίαση. Τα πρωτόκολλα αυτά επίσης είναι αρκετά ευέλικτα και παρέχουν με αυτό τον τρόπο τις βάσεις για την ανάπτυξη επεξεργασιών και τη χρησιμοποίησή τους στην ανταλλαγή δεδομένων στη βιομηχανία.

Τέλος οι μέθοδοι εφαρμογής του προτύπου STEP ανταποκρίνονται στο τρίτο επίπεδο του μοντέλου της ANSI/SPARC [19].

5.1.2 Ιστορικό της ανάπτυξης

Το 1984, έκαναν την εμφάνισή τους δυσκολίες στην υπάρχουσα γενιά των προτύπων και προδιαγραφών για την ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων, από την ανάλυση των προτύπων, αλλά και από την εμπειρία της πρακτικής εφαρμογής τους όταν δεν υπήρχε αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων γεωμετρίας. Κατά διαστήματα παρουσιάστηκαν προσωρινές και εναλλακτικές λύσεις σε αυτά τα προβλήματα. Παρόλα αυτά υπήρχε ο κίνδυνος ότι οι προδιαγραφές για την αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων ξαφνικά θα εξαπλώνονταν, προξενώντας καινούργια προβλήματα. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, οι αντιπρόσωποι διαφόρων εθνικών προτύπων, σχημάτισαν την τέταρτη υποεπιτροπή (Subcommittee 4 – SC4) της τεχνικής επιτροπής 184 (Technical Committee 184 – TC184) των αυτοματοποιημένων βιομηχανικών συστημάτων και συγκάλεσαν έτσι το πρώτο ISO TC184/SC4 συνέδριο στην Ουάσιγκτον, τον Ιούλιο του 1984, με την προοπτική να αναπτυχθεί ένα ενιαίο διεθνές πρότυπο, βασισμένο σε υπάρχοντα πρότυπα ανταλλαγής δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των αμερικάνικων IGES και PDDI, του γαλλικού SET, του γερμανικού VDA/VDMA-FS και του αγγλικού γραφείου εθνικής οικονομικής ανάπτυξης NEDO (National Economic Development Office). Επίσης συμφωνήθηκε ότι τεχνικές διεργασίες θα πραγματοποιούνταν από υπάρχοντα και μελλοντικά εθνικά έργα (projects), οργανισμούς και διάφορες άλλες πηγές, οι οποίες θα συντονίζονται και θα ελέγχονται από την επιτροπή SC4. Η τελευταία θα θέσει επίσης τους στόχους της σχεδίασης, θα καθορίσει τις προτεραιότητες, θα

αναλάβει την επίλυση των διαφορών και τέλος θα διασφαλίσει την επίτευξη των στόχων και τη διατήρηση της συνοχής [Απόφαση 1 (Ιούλιος 1984, Ουάσιγκτον)].

Σύντομα έγινε αντιληπτό το γεγονός ότι η ανάπτυξη ενός τέτοιου προτύπου χρειάζεται αρκετό χρόνο. Πριν ακόμα γίνει διαθέσιμο, ήταν εμφανής η ανάγκη για διεύρυνση των υπαρχόντων εθνικών προτύπων, έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις των βιομηχανιών. Γι' αυτό το λόγο προτάθηκε να δοθεί έμφαση σε κάποιο από τα πρότυπα για να αποτελέσει μια προσωρινή λύση, η οποία θα γίνει αποδεκτή σε παγκόσμιο επίπεδο.

Παρόλα αυτά ήταν ομόφωνη η απόφαση, ότι κανένα από τα υπάρχοντα πρότυπα δεν ήταν αποδεκτό και οποιαδήποτε προσπάθεια για περαιτέρω τροποποίηση ενός πρότυπου θα χρειαζόταν περισσότερο χρόνο από το να ξεκινήσει κάποιος από την αρχή. Την ίδια στιγμή επιβεβαιώθηκε επίσης ότι θα συνεχίσουν να υφίστανται βελτιώσεις στα υπάρχοντα πρότυπα και ότι θα ήταν λογικό τέτοιες εξελίξεις να λάβουν χώρα ταυτόχρονα με την εξέλιξη ενός νέου προτύπου. Τότε ήταν που συλλήφθηκε το ακρωνύμιο «STEP» και προέκυψαν οι παρακάτω δύο αποφάσεις μαζί με μια κοινή συμφωνία.

Στην απόφαση 2 η επιτροπή SC4 επαναπροσδιόρισε τους στόχους της και το Μάρτιο του 1985 στο Παρίσι αποφασίστηκε η ανάπτυξη, όσο το δυνατόν γρηγορότερα, ενός ενιαίου διεθνούς προτύπου για την ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων, το οποίο θα ονομαστεί πρότυπο για την ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων (STEP - STandard for the Exchange of Product data). Επίσης η επιτροπή δεν θεωρεί το πρότυπο αυτό σαν προσωρινή λύση βασισμένη σε υπάρχοντα πρότυπα, παρόλο που αναγνωρίζει ότι αυτά τα πρότυπα θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται παράλληλα μέχρι την πλήρη ολοκλήρωση του STEP. Τέλος όλες οι προσπάθειες θα επικεντρωθούν για την ανάπτυξη της πρώτης έκδοσης του STEP, έτσι ώστε η χρήση του από τις βιομηχανίες να ξεκινήσει το 1990 [Απόφαση 9 (Μάρτιος 1985, Παρίσι)].

Η επιτροπή επίσης συμφωνεί ότι οποτεδήποτε λαμβάνουν χώρα περαιτέρω βελτιώσεις σε υπάρχοντα εθνικά πρότυπα, αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράλληλα με την ανάπτυξη του STEP, χρησιμοποιώντας τα ίδια μοντέλα αναφοράς για τη διασφάλιση της συμβατότητας. Με αυτό τον τρόπο τα υπόλοιπα πρότυπα θα αρχίσουν να συγκλίνουν προς το STEP και θα απλοποιηθούν κατά πολύ ενδεχόμενες διαδικασίες μετάβασης από τα παλιά πρότυπα στο καινούργιο [Απόφαση 10 (Μάρτιος 1985, Παρίσι)].

Ο οργανισμός των Ηνωμένων Πολιτειών θα αναλάβει τον ηγετικό ρόλο για την ανάπτυξη του ISO STEP προτύπου. Επίσης οι προσπάθειες θα κατευθυνθούν προς την ανάπτυξη του προτύπου, με την ολοκλήρωση του τρέχοντος προτύπου PDES. Μετά το πέρας της ολοκλήρωσης του STEP, τα εθνικά πρότυπα και το ISO πρότυπο πρέπει να είναι ταυτόσημα [Κοινή συμφωνία].

Όπως είναι εμφανές στην Απόφαση 9, η αναμενόμενη περίοδος για την ανάπτυξη του προτύπου ήταν περίπου πέντε έτη. Παρόλο που η αναμενόμενη

αποτελεσματική βιομηχανική χρήση του STEP, στην πραγματικότητα δεν ανταποκρίθηκε πλήρως στις προσδοκίες του συνεδρίου στο Παρίσι, τα πρώτα λειτουργικά έγγραφα του STEP ψηφίστηκαν στο συνέδριο του Τόκιο το 1989. Την ίδια στιγμή το έργο CAD*I (CAD*Interfaces), που χρηματοδοτείται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα ESPRIT (European Strategic Program for Research and development in Information Technology) [10], είχε ήδη επιδείξει την ανταλλαγή αρχείων, τα οποία περιλάμβαναν γεωμετρικές επιφανειών, γεωμετρικές στερεών μοντέλων και πληροφορίες πεπερασμένων στοιχείων ανάμεσα σε διάφορα CAE συστήματα, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που ήταν βασισμένες στο STEP [19]. Τα εμπειρικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν τροφοδοτήθηκαν άμεσα στο ήδη αναπτυσσόμενο STEP.

Μέχρι σήμερα, όλες οι σημαντικές κατασκευάστριες εταιρίες CAD προγραμμάτων μπόρεσαν να επιδείξουν τις δυνατότητες του STEP βασιζόμενες αρχικά στη δοκιμαστική έκδοση του Τόκιο και μετέπειτα στην αρχική ISO έκδοση. Επίσης πολλές εταιρίες ήδη χρησιμοποιούν τεχνικές και τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν κατά τη σχεδίαση του STEP για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας δικών τους εγχειρημάτων.

Η πρώτη διεθνής ψηφοφορία του STEP, η οποία έλαβε χώρα στο συνέδριο του Τόκιο το 1989 έχει καταγραφεί ως *πρόταση 10303* (draft proposal), συνετέλεσε σε μια σημαντική αναδιάταξη της δομής του προτύπου [28, 29]. Προτάθηκε ένα ενιαίο έγγραφο για σχολιασμό, που αποτελούταν από αρκετά άρθρα και τρία παραρτήματα, συνολικού μήκους εννιάκοσίων περίπου σελίδων, τα περιεχόμενα του οποίου δίνονται στον **Πίνακα 5.1**. Συνοδεύονταν επίσης και από ένα επεξηγηματικό παράρτημα δίνοντας τις προϋποθέσεις, με βάση τις οποίες αναπτύχθηκαν τα αντίστοιχα πληροφοριακά μοντέλα προϊόντων.

Με την αναγνώριση του γεγονότος, ότι το πρότυπο θα είναι τελικά πολύ μεγάλο σε έκταση, κρίθηκαν αναγκαίοι οι ορισμοί κάποιων λειτουργικών υποσυνόλων. Επίσης η χρήση των πρωτοκόλλων εφαρμογών [14], τα οποία ήδη είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται από τον οργανισμό IGES/PDES, θα απέτρεπε την πρόωρη ανάπτυξη εξειδικευμένων επεξεργαστών από τις διάφορες εταιρίες του χώρου. Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη ύπαρξης ενός σαφούς πλαισίου για τα πληροφοριακά μοντέλα των προϊόντων και την ανάγκη κατακερματισμού του STEP σε μεμονωμένα τμήματα, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο την ευκολία διακριτής ανάπτυξης του καθενός σε διαφορετικούς ρυθμούς, το STEP διαχωρίστηκε σε ένα πλήθος κλάσεων αποτελούμενων από μέρη (parts), με κατάλληλα καθορισμένες συσχετίσεις ανάμεσά τους.

Βασισμένη στα παραπάνω, η επιτροπή SC4 υιοθέτησε τη γενική στρατηγική διάσπασης του προτύπου 10303 σε ένα πλήθος μικρότερων ποσοτήτων και κάθε μια από αυτές θα αναλυθεί και θα εξεταστεί ξεχωριστά, μετά από έγκριση της επιτροπής, και μετά θα ψηφιστεί βάσει ενός εγκεκριμένου και ολοκληρωμένου συνόλου

εγγράφων, τα οποία θα αντιπροσωπεύουν ένα διεθνές πρότυπο [Απόφαση 55, (Ιανουάριος 1990, Παρίσι)].

0	foreword	4.13	product life cycle
1	introduction	4.14	applications
2	scope	4.15	product manifestation
3	normative references	4.16	product structure
4.1	definitions	4.17	AEC applications
4.2	introduction	4.18	ship models
4.3	resource schema	4.19	electrical applications
4.4	types and functions	4.20	analysis applications
4.5	miscellaneous resources	4.21	data transfer applications
4.6	geometry	5	conformance
4.7	topology	6	classification methods appendices
4.8	shape representation	A	EXPRESS
4.9	features	B	physical file structure
4.10	shape representation interface	C	mapping to physical
4.11	tolerancing	D	information models
4.12	materials	E	development support
4.13	presentation		

Πίνακας 5.1: Περιεχόμενα της πρότασης 10303 [19]

Το περιεχόμενο της αρχικής έκδοσης του STEP καθορίστηκε σύντομα μετά την Απόφαση 55, αντικατοπτρίζοντας παράλληλα τη σημαντικότητα που έδωσαν τα συμμετέχοντα έθνη σε συγκεκριμένα πεδία των δεδομένων προϊόντων. Η επιτροπή SC4 κατέληξε ότι η πρώτη έκδοση του STEP (Version 1.0) θα αποτελείται από τα παρακάτω μέρη [Απόφαση 68 (Ιούνιος 1990, Γκέτεμποργκ)]:

Περίληψη	Μέρος 1
EXPRESS	Μέρος 11
Φυσικό Αρχείο	Μέρος 21
Αναμορφωτικός Έλεγχος	Μέρος 31
Γενικό Μοντέλο Δεδομένων Προϊόντος	Μέρος 41
Αναπαράσταση Σχημάτων	Μέρος 42
Παρουσίαση	Μέρος 46
Σχεδίαση	Μέρος 101

Τέλος η SC4 υιοθέτησε την παρακάτω πρόταση για την ομάδα των πρωτοκόλλων εφαρμογών (application protocols) που θα περιλαμβάνονται στην αρχική έκδοση του STEP [Απόφαση 62 (Ιούνιος 1990, Γκέτεμποργκ)]:

- ο AP #3, ανταλλαγή δισδιάστατων γεωμετρικών CAD σχεδίων και διαστασιολόγηση.
- ο AP #4, ανταλλαγή σχεδίων CAD τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων και διαστασιολόγηση.
- ο AP #5, ανταλλαγή τρισδιάστατων σχεδίων για τον παραμετρικό καθορισμό δεδομένων προϊόντων.
- ο AP #6, ανταλλαγή μοντέλων με χρήση επιφανειών.
- ο AP #18, ανταλλαγή γεωμετρικών μοντέλων οριακής αναπαράστασης [19].

5.1.3 Δομή του αρχείου

Το STEP είναι χωρισμένο σε ένα πλήθος κλάσεων ή κατηγοριών αποτελούμενων από μέρη, τα οποία απαρτίζουν την κεντρική δομή του προτύπου. Με τη δομή αυτή πληρούνται κάποιες από τις αρχικές προϋποθέσεις, όπως η χρησιμοποίηση επίσημων μεθόδων για τη σαφή περιγραφή των πληροφοριακών μοντέλων, η ομαδοποίηση των εφαρμογών σε σύνολα από ολοκληρωμένα μοντέλα και τέλος η αναπαράσταση όλων αυτών σε ένα φυσικό μέσο. Οι κλάσεις (classes) του STEP παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.2** μαζί με τους αριθμούς των μερών (part numbers) που αντιστοιχούν σε αυτές.

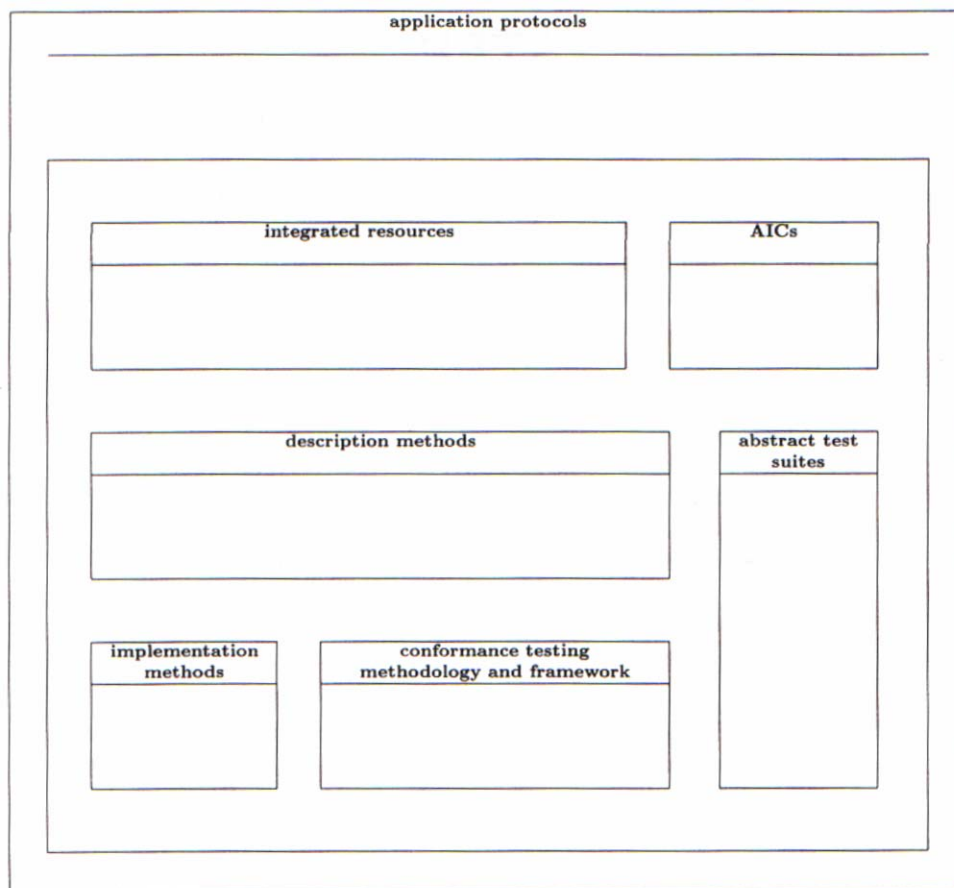
Κλάσεις	Αριθμοί μερών
Εισαγωγικά	1-9
Μέθοδοι περιγραφής	11-19
Μέθοδοι εκτέλεσης	21-29
Μεθοδολογία και πλαίσιο αναμορφωτικού ελέγχου	31-39
Ολοκληρωμένες πηγές	41-99, 101-199
Πρωτόκολλα εφαρμογών	201-299
Περιληπτικές συλλογές δοκιμών	301-399
Δομές εφαρμογών	501-599

Πίνακας 5.2: Οι κλάσεις του STEP [19]

Επισημαίνεται ότι ο αριθμητικός διαχωρισμός των ολοκληρωμένων πηγών σε δύο ομάδες, δείχνει ότι μερικές πηγές είναι γενικές (generic) από τη φύση τους και άλλες αναφέρονται σε μία μόνο εφαρμογή (explicit) ή σε ένα ορισμένο εύρος συσχετιζόμενων εφαρμογών.

Η **Εικόνα 5.1** αναπαριστά την κατηγοριοποίηση του STEP γραφικά. Οι κλάσεις δίνονται στη μορφή κουτιών προσδιορίζοντας τις συσχετίσεις μεταξύ τους με

την ύπαρξη γειτονικών ακμών. Παρατηρείται λοιπόν, ότι η κλάση των μεθόδων περιγραφής (description methods) βρίσκεται στην καρδιά του διαγράμματος και σχετίζεται με όλες τις υπόλοιπες. Επίσης, η κλάση των πρωτοκόλλων εφαρμογών (application protocols) στην κορυφή της εικόνας, παρόλο που έχει την ισχυρότερη συσχέτιση με τα μοντέλα ολοκληρωμένων πηγών (integrated resources), το κουτί της εκτείνεται και περικλείει όλες τις υπόλοιπες κλάσεις. Αυτό δείχνει ότι τα πρωτόκολλα εφαρμογών, όχι μόνο αλληλεπιδρούν με όλες τις υπόλοιπες κλάσεις, αλλά αποτελούν και το σύνδεσμο του προτύπου με τον εξωτερικό κόσμο. Ένας χρήστης μπορεί να μελετήσει τη χρησιμότητα ενός πρωτοκόλλου και να δει πως αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στο πρόβλημά του. Ο προγραμματιστής μπορεί μετά να χρησιμοποιήσει το περιεχόμενο EXPRESS μοντέλο (EXPRESS schema) [22] ως βάση για την ανάπτυξη του λογισμικού.



Εικόνα 5.1: Γραφική αναπαράσταση των κλάσεων του STEP [19]

Αξίζει να αναφερθεί, ότι η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων του STEP, όπως προήλθε από το μοντέλο της ANSI/SPARC, φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα με τα πρωτόκολλα εφαρμογών στην κορυφή, τις ολοκληρωμένες πηγές στη μέση και τις μεθόδους εκτέλεσης (implementation methods) στο κάτω μέρος, τα οποία

αντιστοιχούν στο εξωτερικό (εφαρμογών) επίπεδο, στο βασικό (λογικό) επίπεδο και τέλος στο εσωτερικό (φυσικό) επίπεδο.

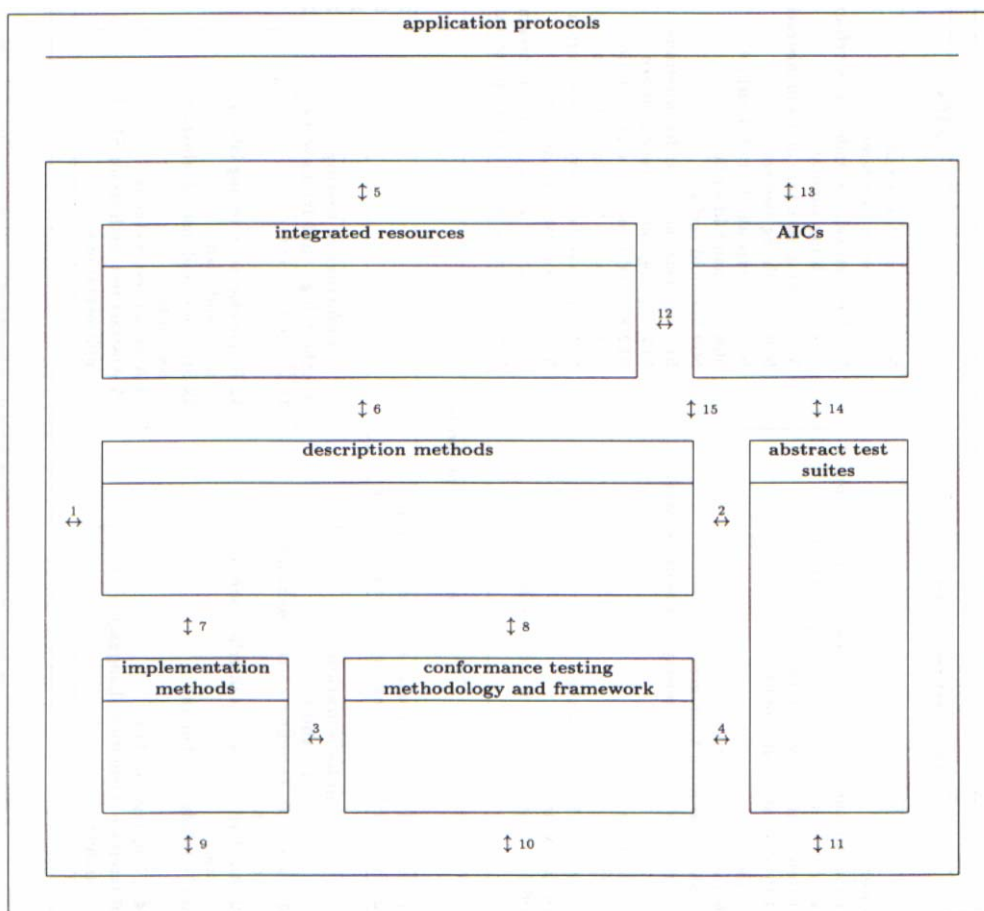
Μερικές από τις επτά αυτές διαφορετικές κλάσεις θα αναπτυχθούν εκτενέστερα παρακάτω. Οι βασικοί ρόλοι τους μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- ο Οι επίσημες μέθοδοι περιγραφής χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των ολοκληρωμένων πηγών.
- ο Τα πρωτόκολλα εφαρμογών αναπτύσσονται για ξεχωριστές και συγκεκριμένες εφαρμογές χρησιμοποιώντας τις ολοκληρωμένες πηγές και τις μεθόδους περιγραφής, και όπου είναι απαραίτητο τις αντίστοιχες δομές εφαρμογών (*application interpreted constructs – AICs*).
- ο Ένα πρωτόκολλο εφαρμογής συνδυάζεται κατάλληλα με μια μέθοδο εκτέλεσης, για τη διαμόρφωση της βάσης μιας εφαρμογής του STEP.
- ο Μια εφαρμογή του STEP περνάει από μια διαδικασία αναμορφωτικού ελέγχου του προτύπου χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία και το πλαίσιο αναμορφωτικού ελέγχου (*conformance testing methodology and framework*) καθώς και τις αντίστοιχες περιληπτικές συλλογές δοκιμών (*abstract test suites*) για το εκάστοτε πρωτόκολλο εφαρμογής [19].

Για να γίνουν περισσότερο κατανοητές οι κλάσεις που απαρτίζουν το STEP, τα ονόματα και οι περιγραφές όλων των μερών για κάθε κλάση αντίστοιχα, δίνονται αναλυτικά στο **Παράρτημα Β**. Αξίζει τέλος να διερευνηθούν περαιτέρω οι σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στις κλάσεις του STEP, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στην **Εικόνα 5.2** μαζί με τις επεξηγήσεις των αριθμών για τις συσχετίσεις που δίνονται στον **Πίνακα 5.3**.

class title	DM	IM	CT	IR	AP	ATS	AIC
description methods		7	8	6	1	2	15
implementation methods	7		3	none	9	none	none
conformance testing	8	3		none	10	4	none
integrated resources	6	none	none		5	none	12
application protocols	1	9	10	5		11	13
abstract test suites	2	none	4	none	11		14
application interpreted constructs	15	none	none	12	13	14	

Πίνακας 5.3: Πίνακας συσχετίσεων ανάμεσα στις κλάσεις του STEP [19]



Εικόνα 5.2: Οι κλάσεις του STEP με τις συσχετίσεις [19]

Μέθοδοι περιγραφής (Description methods)

Η EXPRESS αποτελεί μια αντικειμενοστραφή (object oriented) γλώσσα περιγραφής πληροφοριακών μοντέλων, δομημένη έτσι ώστε να επιτρέπει την ανάπτυξη κώδικα πληροφοριακών μοντέλων που περιγράφουν μηχανολογικά προϊόντα [13]. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό όλων των πληροφοριακών μοντέλων του STEP: των ολοκληρωμένων πηγών, των πρωτόκολλων εφαρμογών και των δομών εφαρμογών. Αποτελεί δηλαδή την πηγή για τον καθορισμό πολλαπλών μεθόδων εκτέλεσης. Οι δύο βασικές προϋποθέσεις για την EXPRESS είναι ότι πρέπει να είναι αναγνώσιμη από άνθρωπο (man readable) και να μπορεί να επεξεργαστεί από Η/Υ (computer processable), επομένως πρέπει να έχει μια προκαθορισμένη σύνταξη και τη δυνατότητα επεξεργασίας από λογισμικό Η/Υ. Παρόλο που η γλώσσα αυτή αρχικά αναπτύχθηκε ειδικά για τη μοντελοποίηση μηχανολογικών δεδομένων, με την πάροδο του χρόνου έχει αρχίσει να αποκτά ευρείες εφαρμογές σε βιομηχανικά και ερευνητικά έργα, οι οποίες ξεφεύγουν από τη χρησιμοποίηση του προτύπου STEP.

Επισημαίνεται για την αποφυγή συγχύσεων ότι η EXPRESS δεν αποτελεί μια μεθοδολογία και δεν είναι μια αυτόνομη γλώσσα προγραμματισμού. Ουσιαστικά

αποτελεί μια συγκεκριμένη μέθοδο περιγραφής, η οποία διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες και χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με τη μορφή που χρησιμοποιείται. Η EXPRESS-G αναφέρεται στη γραφική μορφή (graphical), η EXPRESS-I αναφέρεται στην περιγραφική μορφή (instance) και τέλος υπάρχει και η EXPRESS-X που αναφέρεται στη μορφή συσχετίσεων και είναι ακόμα υπό ανάπτυξη [22]. Στη γενική της μορφή η EXPRESS έχει επτά χαρακτηριστικές δομές:

1. *Περίγραμμα (Schema).*
2. *Τύπος (Type).*
3. *Οντότητα (Entity).*
4. *Σταθερά (Constant).*
5. *Συνάρτηση (Function).*
6. *Διαδικασία (Procedure).*
7. *Κανόνας (Rule).*

Στην EXPRESS υπάρχουν επτά βασικοί προκαθορισμένοι τύποι: αριθμοί, ακέραιοι, πραγματικοί, αλφαριθμητικά, λογικοί τελεστές και δυαδικά ψηφία. Τα τελευταία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δήλωση μιας οντότητας. Για παράδειγμα:

ENTITY point ;

x : REAL ;

y : REAL ;

z : REAL ;

END_ENTITY ;

Αφού δηλωθεί η οντότητα, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετέπειτα ως ιδιότητα μιας άλλης οντότητας:

ENTITY line ;

p0 : point ;

p1 : point ;

END_ENTITY ;

Μέσα σε ένα STEP αρχείο αυτές οι πληροφορίες για την αναπαράσταση μιας γραμμής θα εμφανίζονταν ως εξής:

#21 = POINT (1.0, 3.0, -4.5) ;

#22 = POINT (1.0, -3.0, -4.5) ;

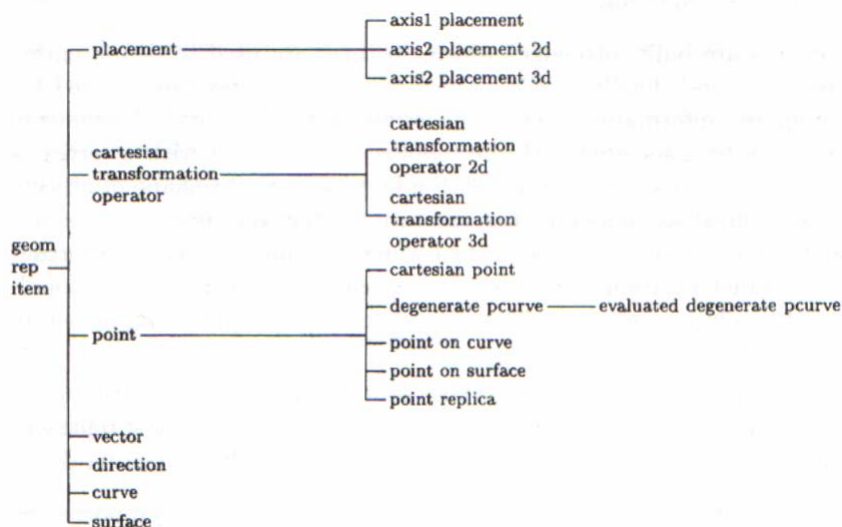
#23 = LINE (#21, #22) ;

Ολοκληρωμένες πηγές (Integrated resources)

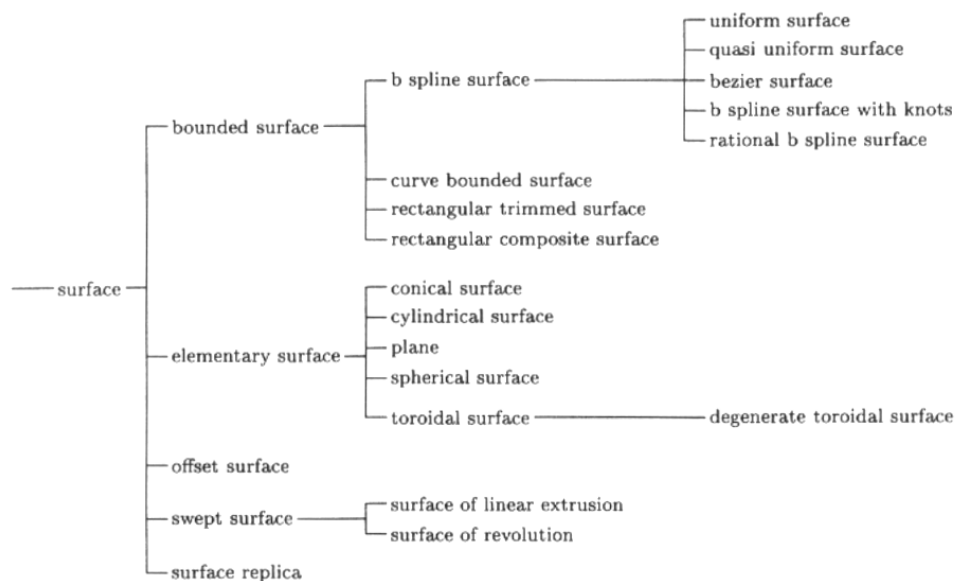
Η κλάση των ολοκληρωμένων πηγών, όπως υποδηλώνει το όνομα, παρέχει μια ενοποιημένη ομάδα από πληροφοριακά μοντέλα, που αποτελούν την πηγή από την οποία χτίζονται τα πρωτόκολλα εφαρμογών. Η κλάση αποτελείται από δύο τύπους ολοκληρωμένων πηγών: τις γενικές, που έχουν εφαρμογή σε γενικού τύπου προβλήματα και τις προσανατολισμένες σε ένα μόνο είδος ή σε μια ομάδα παρόμοιων εφαρμογών. Αυτό το είδος των ανεξαρτήτων περιεχομένου (context- independent) δεδομένων, είναι δομημένο σε μια ανεξάρτητη εφαρμογής (implementation-independent) μορφή στην EXPRESS και στην πράξη εφαρμόζεται μόνο έμμεσα χρησιμοποιώντας κάποιο πρωτόκολλο εφαρμογής.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το *Μέρος 42 (Part 42)*, το οποίο περιλαμβάνει γεωμετρικές και τοπολογικές αναπαραστάσεις (*geometric and topological representation*) σε τρία συνολικά «περιγράμματα»: στο γεωμετρικό (geometry schema), στο τοπολογικό περίγραμμα (topology schema) και στο περίγραμμα του γεωμετρικού μοντέλου (geometric model schema).

Στην **Εικόνα 5.3** παρουσιάζεται η διάταξη της γεωμετρικής αναπαράστασης (geometric representation item). Οι βασικοί δομικοί λίθοι για το γεωμετρικό περίγραμμα είναι το καρτεσιανό σημείο (cartesian point) και η κατεύθυνση (direction). Αυτές χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις τοποθεσίες (placements), οι οποίες δίνουν τη θέση και τον προσανατολισμό στο δισδιάστατο ή στον τρισδιάστατο χώρο. Τοποθετείται με τη σειρά μια καμπύλη (curve) ή μια επιφάνεια (surface) στον χώρο χρησιμοποιώντας την κατάλληλη τοποθεσία. Στην **Εικόνα 5.4** δίνεται με περισσότερη λεπτομέρεια το γεωμετρικό περίγραμμα που αφορά τη δομή των επιφανειών και περιλαμβάνει από απλές μέχρι B-spline και NURBS επιφάνειες.

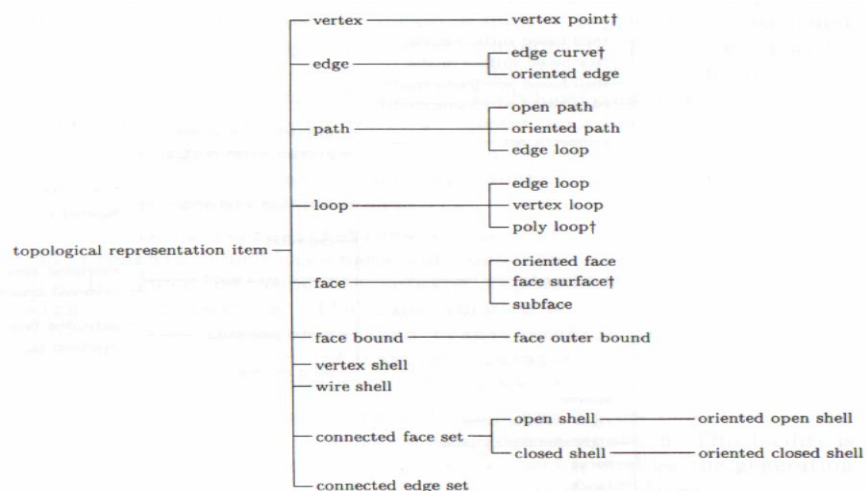


Εικόνα 5.3: Γεωμετρικό περίγραμμα [19]



Εικόνα 5.4: Γεωμετρικό περίγραμμα δομής επιφανειών [19]

Στην **Εικόνα 5.5** παρουσιάζεται η διάταξη της τοπολογικής αναπαράστασης (topological representation item). Οι κορυφές (vertices) δημιουργούν ακμές (edges), οι οποίες με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό διαδρομών (paths), βρόχων (loops), προσόψεων (faces) και κελυφών (shells). Αυτές οι τοπολογικές οντότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό οποιονδήποτε πληροφοριών, όπου είναι χρήσιμη η συνδεσιμότητα (connectivity). Μια γεωμετρική οντότητα μπορεί να συσχετίζεται με μια τοπολογία (π.χ. ένα σημείο με μια κορυφή, μια καμπύλη με μια ακμή, μια επιφάνεια με ένα κέλυφος), με τρόπο ώστε η μορφή του αντικειμένου να μπορεί να καθοριστεί με χρήση οριακών αναπαραστάσεων (boundary representations – B-rep), ο συσχετισμός όμως αυτός είναι προαιρετικός.

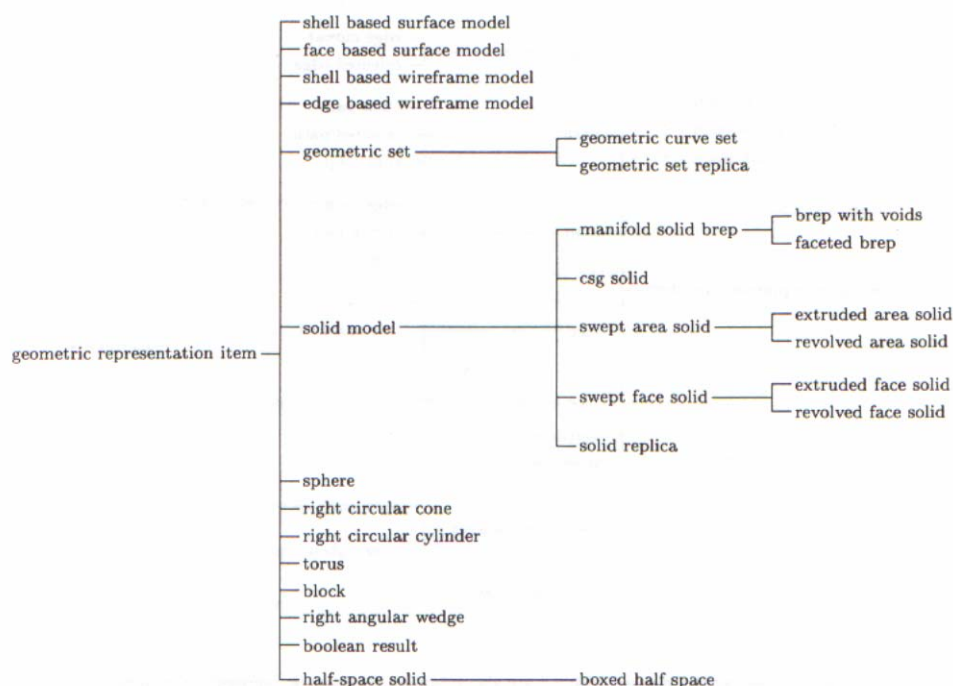


Εικόνα 5.5: Τοπολογικό περίγραμμα [19]

Το σχήμα του γεωμετρικού μοντέλου, το οποίο παρουσιάζεται στην **Εικόνα 5.6** με τη διάταξη της γεωμετρικής αναπαράστασης (geometric representation item), παρέχει μερικές επιπλέον κατηγορίες γεωμετρικών μοντέλων που συνοψίζονται στα εξής:

- ο Μοντέλα επιφανειών (surface models), βασισμένα είτε σε κελύφη (shell-based) είτε σε προσόψεις (face-based), υποστηριζόμενα από οντότητες του τοπολογικού περιγράμματος.
- ο Μοντέλα ακμών (wireframe models), βασισμένα είτε σε κελύφη, είτε σε ακμές (edge-based), υποστηριζόμενα επίσης από οντότητες του τοπολογικού περιγράμματος.
- ο Γεωμετρικών συνόλων (geometric sets), δηλαδή συλλογές σημείων, καμπυλών και / ή επιφανειών, οι οποίες δεν ακολουθούν καμία τοπολογία [19].

Τέλος επισημαίνεται ότι στο **Παράρτημα Β** δίνονται τα αναλυτικά διαγράμματα για το γεωμετρικό περίγραμμα των επιφανειών και για το τοπολογικό περίγραμμα.



Εικόνα 5.6: Περίγραμμα γεωμετρικού μοντέλου [19]

Πρωτόκολλα εφαρμογών (Application protocols)

Χωρίς τα πρωτόκολλα εφαρμογών, οι κατασκευαστές θα ήταν ελεύθεροι να ενσωματώσουν τις ολοκληρωμένες πηγές σε μηχανολογικά συστήματα δεδομένων

προϊόντων, χρησιμοποιώντας μη τυποποιημένα λειτουργικά υποσύνολα των πηγών. Αυτό θα επαναλάμβανε κάποια από τα λάθη, που είχαν ήδη γίνει στο παρελθόν (όπως στο IGES), σε περιπτώσεις όπου λάμβανε χώρα ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα σε τέτοια συστήματα. Αναπτύχθηκαν λοιπόν για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων τα πρωτόκολλα εφαρμογών, χρησιμοποιώντας ανάλογα κάθε φορά με την εκάστοτε εφαρμογή, τις ανεξάρτητες περιεχομένου οντότητες από τις ολοκληρωμένες πηγές. Περεταίρω ένα πρωτόκολλο εφαρμογής καθορίζει τις προϋποθέσεις που θα θέσουν τις βάσεις για τις διαδικασίες αναμορφωτικού ελέγχου, συμπεριλαμβάνοντας τυχόν χαρακτηριστικά της μεθόδου εκτέλεσης που χρησιμοποιείται. Μια εφαρμογή λοιπόν που βασίζεται στο πρότυπο STEP πραγματοποιείται με το συνδυασμό ενός πρωτοκόλλου εφαρμογής και μιας συγκεκριμένης μεθόδου εκτέλεσης.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το *Μέρος 203 ή πρωτόκολλο εφαρμογής 203 (Part 203-AP203)*, το οποίο επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών *παραμετρικά ελεγχόμενης σχεδίασης (configuration controlled design)* για μηχανικά εξαρτήματα και συναρμολογήσεις. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να περιλαμβάνουν το σχήμα του αντικειμένου, χωρίς αυτό όμως να είναι απαραίτητο. Το *AP203* αποτελείται από έξι προσαρμοσμένες σε εφαρμογές κλάσεις, κάθε μια από τις οποίες πρέπει να υποστηρίζεται και από μια τουλάχιστον εφαρμογή. Πέντε επιπλέον προσαρμοσμένες σε εφαρμογές κλάσεις, παρέχουν τη δυνατότητα παραμετρικού ελέγχου, περιλαμβανομένου και του σχήματος, χρησιμοποιώντας τις παρακάτω κατηγορίες:

1. Δομές που αναπαριστούν πληροφορίες παραμετρικά ελεγχόμενης σχεδίασης χωρίς το σχήμα.
2. Μοντέλα ακμών, τα οποία δεν ακολουθούν κάποια τοπολογία επιφανειών (no surface topology).
3. Μοντέλα ακμών με τοπολογία (wireframe models with topology).
4. Πολυσύνθετα μοντέλα επιφανειών με τοπολογία (manifold surface models with topology).
5. Οριακές αναπαραστάσεις προσόψεων (faceted boundary representations).
6. Εξελιγμένες οριακές αναπαραστάσεις (advanced boundary representations).

Τα παραπάνω επιτρέπουν στο σχήμα να πάρει εναλλακτικές αναπαραστάσεις κατά τη διαδικασία της σχεδίασης. Οι πρώτες έξι κατηγορίες επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση προδιαγραφών για τη σχεδίαση, την επεξεργασία, το φινίρισμα της επιφάνειας και το είδος του υλικού. Επιπρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα παρακάτω:

- ο Τυποποιημένα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στη σχεδίαση.
- ο Δεδομένα που αφορούν την έγκριση και την έκδοση της σχεδίασης.
- ο Δεδομένα που αφορούν τον προμηθευτή.
- ο Δεδομένα που αφορούν το συμβόλαιο της σχεδίασης.

- ο Διαχείριση προστασίας δεδομένων (security classification) για συγκεκριμένα εξαρτήματα.

Η PDES Inc, ένας πολυεθνικός όμιλος εταιριών, που διαρκώς συνεισφέρει στην ανάπτυξη του STEP, παρέχει υποστήριξη των δεδομένων που δημιουργούνται από εφαρμογές του AP203, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλα πρωτόκολλα εφαρμογών (όπως είναι τα AP202, AP207 και AP224). Τέλος επισημαίνεται ότι στο **Παράρτημα Β** δίνονται όλα τα υποστηριζόμενα από το STEP πρωτόκολλα εφαρμογών, μαζί με τα ονόματά τους [19].

Μέθοδοι εκτέλεσης (Implementation methods)

Ένα από τα πρώτα προβλήματα που εμφανίστηκαν με την τρίτη γενιά ανταλλαγής δεδομένων προϊόντων ήταν η εύρεση μιας ικανοποιητικής και επαρκούς μεθόδου για την αναπαράσταση όλων αυτών των νέων απαιτήσεων, που ακολούθησαν με τον καθορισμό του προτύπου STEP, σε ένα αρχείο. Για το σκοπό αυτό επινοήθηκε η κλάση των μεθόδων εκτέλεσης, με βάση την οποία γίνεται εφικτός ο καθορισμός της δομής και της σύνταξης του φυσικού αρχείου, ανεξάρτητα από το είδος του λογισμικού που θα το επεξεργαστεί και από τη μορφή των πληροφοριών που θα περιλαμβάνονται. Με αυτό τον τρόπο ικανοποιήθηκε η απαίτηση για ανεξάρτητη μορφή του προτύπου και το σημαντικότερο είναι, ότι άνοιξε ο δρόμος για την ανάπτυξη νέων μεθόδων εκτέλεσης πέρα από αυτή του φυσικού αρχείου. Αρχικά προτάθηκαν τέσσερις μέθοδοι, αλλά σε ευρεία χρησιμοποίηση παρέμεινε μέχρι και σήμερα η πρώτη από αυτές:

1. Φυσικό αρχείο – αρχείο κειμένου.
2. Ενεργή ανταλλαγή αρχείου – με χρήση κατάλληλου λογισμικού.
3. Κοινές βάσεις δεδομένων (DBMS) – τεχνολογία σχεσιακών και βασισμένων σε δίκτυο βάσεων δεδομένων.
4. Ευφυή συστήματα γνώσεων.

Εξίσου ενδιαφέρον είναι το *Μέρος 21 (Part 21)*, το οποίο αφορά στην *κωδικοποίηση σε μορφή κειμένου της δομής της ανταλλαγής (clear text encoding of the exchange structure)*. Το φυσικό αρχείο του STEP μπορεί να προσπελαστεί με σειριακό τρόπο και είναι γραμμένο σε ελεύθερη μορφή (free format). Δεν υπάρχουν δεδομένα βασισμένα σε συγκεκριμένες θέσεις χαρακτήρων στο αρχείο, όπως στο IGES, και αποτελείται από δύο τομείς: την **επικεφαλίδα (header)** και τα **δεδομένα (data)**. Τα δεδομένα αποτελούνται από ένα πλήθος χαρακτήρων, χωρίς την ύπαρξη χαρακτήρων κενού (carriage-return characters). Η σύνταξη του αρχείου καθορίζεται με βάση το σύστημα της Σημειογραφικής Σύνταξης του Wirth (Wirth Syntax Notation [30]), που αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αλφάβητο και ένα πλήθος

συμβόλων, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα στο αρχείο να μπορεί να αναλυθεί από έναν επεξεργαστή. Η προσπέλαση των δεδομένων του φυσικού αρχείου (physical file parsing) από τον επεξεργαστή γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: «Για κάθε οντότητα: βρες τον αναγνωριστικό αριθμό, ίσον, άνοιξε παρένθεση, παράμετροι, κλείσε παρένθεση, ερωτηματικό» [19]. Η τυπική μορφή ενός αρχείου STEP είναι η εξής:

```
ISO-10303-21;
HEADER;
.....
.....
ENDSEC;
DATA;
.....
.....
.....
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```

Στην **Εικόνα 5.7** δίνονται αναλυτικά τα περιεχόμενα του τομέα της επικεφαλίδας (header section), τα οποία είναι τα ίδια για κάθε αρχείο και στην **Εικόνα 5.8** δίνεται ένα τυπικό παράδειγμα αρχείου STEP για την αναπαράσταση ενός γενεαλογικού δέντρου.

file_description	
<i>description</i>	ανεπίσημη περιγραφή των περιεχομένων
<i>implementation_level</i>	αναγνώριση της έκδοσης του ISO-10303-21 και της κλάσης αναμορφωτικού ελέγχου, στην οποία τα δεδομένα υπάγονται (δύο ακέραιοι χωριζόμενοι με ερωτηματικό)
file_name	
<i>name</i>	όνομα του αρχείου προς ανταλλαγή
<i>time_stamp</i>	ώρα και ημερομηνία δημιουργίας του αρχείου
<i>author</i>	το άτομο που δημιούργησε το αρχείο
<i>organization</i>	οργανισμός του συντάκτη του αρχείου
<i>preprocessor_version</i>	όνομα και έκδοση του προεπεξεργαστή
<i>originating_system</i>	το σύστημα από το οποίο προήλθαν τα δεδομένα
<i>authorization</i>	εξουσιοδότηση για την αποστολή του αρχείου
file_schema	
<i>schema_identifiers</i>	όνομα του πρωτοκόλλου εφαρμογής

Εικόνα 5.7: Περιεχόμενα του τομέα της επικεφαλίδας [19]

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('British royal family details (incomplete)'), '1');
FILE_NAME('ROYAL.STEP', '1995-07-22 T23:38:00',
('Jon Owen'), ('The University of Leeds', 'England'),
'Hand-crafted systems, plc',
'Generic Almanack 1992, London, England',
'not approved for release');
FILE_SCHEMA(('ROYAL_EXAMPLE'));
ENDSEC;
DATA;
#1 = MALE (
('Albert', 'Frederick', 'Arthur', 'George'), /* first name */
'Windsor', 'George VI', /* last name, title */
(14, 12, 1895), (06, 02, 1952), /* dates */
(#2 /* and Margaret Rose */), .GREY., /* children, hair */
$ ); /* wife (not included) */
#2 = FEMALE ( ('Elizabeth', 'Alexandra', 'Mary'), 'Windsor',
'Elizabeth II, by the Grace of God, of the United Kingdom of
Great Britain and Northern Ireland and of her other Realms and
Territories Queen, Head of the Commonwealth, Defender of the Faith',
(21, 04, 1926), $, (#3, #8, #6, #7), .GREY., $, $ );
#3 = MALE ( ('Charles', 'Philip', 'Arthur', 'George'), 'Windsor',
'HRH The Prince of Wales', (14, 11, 1948), $,
(#4, #5), .BROWN., #99 );
#8 = FEMALE ( ('Anne', 'Elizabeth', 'Alice', 'Louise'), 'Phillips',
'HRH The Princess Royal', (15, 08, 1950), $, (), .BROWN., $, $ );
#6 = MALE ( ('Andrew', 'Albert', 'Christian', 'Edward'), 'Windsor',
'HRH The Duke of York', (19, 02, 1960), $, (), .BROWN., $ );
#7 = MALE ( ('Edward', 'Anthony', 'Richard', 'Louis'), 'Windsor',
'HRH The Prince Edward', (10, 03, 1964), $, (), .BROWN., $ );
#99 = FEMALE ( ('Diana', 'Frances'), 'Windsor',
'The Princess of Wales', (01, 07, 1961), $,
(#4, #5), .FAIR., #3, 'Spencer' );
#4 = MALE ( ('William', 'Arthur', 'Philip', 'Louis'), 'Windsor',
'HRH Prince William of Wales', (21, 06, 1982), $, (), .FAIR., $ );
#5 = MALE ( ('Henry', 'Charles', 'Albert', 'David'), 'Windsor',
'HRH Prince Henry of Wales', (15, 09, 1984), $, (), .FAIR., $ );
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;

```

Εικόνα 5.8: Παράδειγμα STEP αρχείου [19]

5.2 Ανάπτυξη προεπεξεργαστή STEP αρχείων για B-spline επιφάνειες

5.2.1 Περιγραφή

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε για τη δημιουργία των αρχείων IGES, επεκτάθηκε περαιτέρω και για τη δημιουργία αρχείων STEP. Ακολουθώντας παρόμοια λογική, στόχος ήταν η δημιουργία ενός προεπεξεργαστή STEP αρχείων για την ακριβή αναπαράσταση B-spline επιφανειών, από τις οποίες αποτελούνται οι αεροδυναμικές επιφάνειες του λογισμικού GePAS. Δεδομένου ότι το πρότυπο STEP σε σχέση με το IGES μπορεί να επιτύχει σε αρκετές περιπτώσεις καλύτερη μεταφορά δεδομένων επιφανειών, η υλοποίηση του έδωσε μεγαλύτερη ευελιξία στο λογισμικό GePAS.

Όπως και στην περίπτωση του IGES τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος για την κατασκευή του αρχείου STEP είναι όλα τα βασικά γεωμετρικά

χαρακτηριστικά μιας B-spline επιφάνειας, τα οποία δίνονται εσωτερικά στο πρόγραμμα και είναι τα εξής:

- ο p : βαθμός βασικών συναρτήσεων στην πρώτη διεύθυνση.
- ο q : βαθμός βασικών συναρτήσεων στη δεύτερη διεύθυνση.
- ο $[n+p+2]$: διάνυσμα κόμβων στην πρώτη διεύθυνση, όπου n το πλήθος των σημείων ελέγχου στην πρώτη διεύθυνση ($n+1$).
- ο $[m+q+2]$: διάνυσμα κόμβων στη δεύτερη διεύθυνση, όπου m το πλήθος των σημείων ελέγχου στη δεύτερη διεύθυνση ($m+1$).
- ο $(n+1)*(m+1)$: συντεταγμένες XYZ κάθε σημείου ελέγχου.

Η γεωμετρική οντότητα που χρησιμοποιήθηκε είναι η οντότητα *b_spline_surface_with_knots* και στην EXPRESS ορίζεται ως:

```

ENTITY b_spline_surface
SUPERTYPE OF ((ONEOF
    (B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS,
    UNIFORM_SURFACE,
    QUASI_UNIFORM_SURFACE,
    BEZIER_SURFACE)) ANDOR
    RATIONAL_B_SPLINE_SURFACE)
SUBTYPE OF (BOUNDED_SURFACE);
    u_degree : INTEGER;
    v_degree : INTEGER;
    control_points_list : LIST [2:?] OF LIST [2:?] OF
CARTESIAN_POINT;
    surface_form : B_SPLINE_SURFACE_FORM;
    u_closed : LOGICAL;
    v_closed : LOGICAL;
    self_intersect : LOGICAL;
DERIVE
    u_upper : INTEGER := SIZEOF(control_points_list) - 1;
    v_upper : INTEGER := SIZEOF(control_points_list[1]) - 1;
    control_points : ARRAY [0:u_upper] OF ARRAY [0:v_upper] OF
CARTESIAN_POINT :=
    MAKE_ARRAY_OF_ARRAY (control_points_list, 0, u_upper,
0, v_upper);
WHERE
    WRB4 : ('STRUCTURAL_FRAME_SCHEMA.UNIFORM_SURFACE' IN
TYPEOF(SELF)) OR
    ('STRUCTURAL_FRAME_SCHEMA.QUASI_UNIFORM_SURFACE' IN
TYPEOF(SELF)) OR
    ('STRUCTURAL_FRAME_SCHEMA.BEZIER_SURFACE' IN
TYPEOF(SELF)) OR
    ('STRUCTURAL_FRAME_SCHEMA.B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS' IN
TYPEOF(SELF));
END_ENTITY; -- STEP Part 42

```

Τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος συνθέτουν το τελικό STEP αρχείο (*.stp), το οποίο θα έχει την ακόλουθη δομή:

Τομέας επικεφαλίδας (header section)

Ο τομέας επικεφαλίδας περιλαμβάνει όλες τις αρχικές πληροφορίες για το αρχείο και είναι πάντα ο ίδιος. Ανάλογα με την περίπτωση διαφοροποιείται μόνο το όνομα του αρχείου (μπορεί να περιλαμβάνεται και η διαδρομή του στο σκληρό δίσκο), η ώρα και ημερομηνία δημιουργίας του. Στον τομέα επικεφαλίδας δηλώνεται επίσης και το πρωτόκολλο εφαρμογής που θα χρησιμοποιηθεί, το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το AP203 (βλ. §5.1.3). Ένα παράδειγμα του τομέα επικεφαλίδας δίνεται στην **Εικόνα 5.8**:

```
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('GePAS DOG TUC-STEP format Output'),'2;1');
FILE_NAME('example1.stp','29/03/2005
12:51:06',('DOG'),('TUC'),'GePAS','GePAS STEP AP203','DOG');
FILE_SCHEMA(('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;
```

Εικόνα 5.8: Τομέας επικεφαλίδας*Τομέας δεδομένων (data section)*

Ο τομέας δεδομένων περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για το πρωτόκολλο εφαρμογής 203, μαζί με τα δεδομένα για την αναπαράσταση των επιφανειών. Τα αρχικά δεδομένα (οντότητες) για το πρωτόκολλο παραμένουν ίδιες για κάθε αρχείο και παρουσιάζονται στην **Εικόνα 5.9**:

```
#1=APPLICATION_CONTEXT('configuration controlled 3D design of
mechanical parts and assemblies') ;
#2=MECHANICAL_CONTEXT(' ',#1,'mechanical') ;
#3=DESIGN_CONTEXT(' ',#1,'design') ;
#4=APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('international
standard','config_control_design',1994,#1) ;
#5=PRODUCT('Part1','','',( #2)) ;
#6=PRODUCT_DEFINITION_FORMATION_WITH_SPECIFIED_SOURCE(' ','
',#5,.MADE.) ;
#7=PRODUCT_CATEGORY('part',$) ;
#8=PRODUCT_RELATED_PRODUCT_CATEGORY('detail',$,( #5)) ;
#9=PRODUCT_CATEGORY_RELATIONSHIP(' ',' ',#7,#8) ;
#10=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.) ;
#11=CALENDAR_DATE(2005,28,3) ;
#12=LOCAL_TIME(22,16,51.,#10) ;
#13=DATE_AND_TIME(#11,#12) ;
#14=PRODUCT_DEFINITION(' ',' ',#6,#3) ;
#15=SECURITY_CLASSIFICATION_LEVEL('unclassified') ;
#16=SECURITY_CLASSIFICATION(' ',' ',#15) ;
#17=DATE_TIME_ROLE('classification_date') ;
#18=CC_DESIGN_DATE_AND_TIME_ASSIGNMENT(#13,#17,( #16)) ;
#19=APPROVAL_ROLE('APPROVER') ;
#20=APPROVAL_STATUS('not_yet_approved') ;
#21=APPROVAL(#20,' ') ;
```



```
#22=PERSON(' ',' ', '$,$,$') ;  
#23=ORGANIZATION(' ',' ', '$,$,$') ;  
#24=PERSONAL_ADDRESS(' ',' ', ' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ') ;  
(#22), ' ' ) ;  
#25=PERSON_AND_ORGANIZATION(#22,#23) ;  
#26=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('classification_officer') ;  
#27=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#26,(#16)) ;  
#28=DATE_TIME_ROLE('creation_date') ;  
#29=CC_DESIGN_DATE_AND_TIME_ASSIGNMENT(#13,#28,(#14)) ;  
#30=CC_DESIGN_APPROVAL(#21,(#16,#6,#14)) ;  
#31=APPROVAL_PERSON_ORGANIZATION(#25,#21,#19) ;  
#32=APPROVAL_DATE_TIME(#13,#21) ;  
#33=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#34,(#6)) ;  
#34=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_supplier') ;  
#35=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#36,(#6,#14)) ;  
#36=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('creator') ;  
#37=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#38,(#5)) ;  
#38=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_owner') ;  
#39=CC_DESIGN_SECURITY_CLASSIFICATION(#16,(#6)) ;  
#40=PRODUCT_DEFINITION_SHAPE(' ',' ', #14) ;  
#41=(LENGTH_UNIT()NAMED_UNIT(*)SI_UNIT(.MILLI., .METRE.) ) ;  
#42=(NAMED_UNIT(*)PLANE_ANGLE_UNIT()SI_UNIT($ , .RADIAN.) ) ;  
#43=PLANE_ANGLE_MEASURE_WITH_UNIT(PLANE_ANGLE_MEASURE(0.0174532925199  
) , #42) ;  
#44=(NAMED_UNIT(*)SI_UNIT($ , .STERADIAN.)SOLID_ANGLE_UNIT()) ;  
#45=UNCERTAINTY_MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(0.005) , #41 , 'TOL_CRV'  
, 'CONFUSED CURVE UNCERTAINTY' ) ;  
#46=(GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(3)GLOBAL_UNCERTAINTY_ASSIGNED_C  
ONTEXT((#45))GLOBAL_UNIT_ASSIGNED_CONTEXT((#41,#42,#44))REPRESENTATIO  
N_CONTEXT(' ',' ')) ;  
#47=CARTESIAN_POINT(' ', (0.,0.,0.)) ;  
#48=AXIS2_PLACEMENT_3D(' ', #47,$,$) ;
```

Εικόνα 5.9: Αρχικά δεδομένα για το AP203

Επισημαίνεται ότι στην οντότητα με αριθμό #41 ορίζονται οι μονάδες που θα χρησιμοποιηθούν και στις οντότητες #47, #48 γίνεται η αρχικοποίηση του συστήματος συντεταγμένων καθώς και η τοποθέτηση των αξόνων στο τρισδιάστατο επίπεδο.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα δεδομένα που ορίζουν κάθε φορά τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για την αναπαράσταση κάθε επιφάνειας. Σε κάθε γεωμετρική οντότητα *b_spline_surface_with_knots* ορίζονται τα p, q , η διάταξη των σημείων ελέγχου στο χώρο που ορίζεται η επιφάνεια, οι πολλαπλότητες των κόμβων και τέλος τα διανύσματα κόμβων σε κάθε διεύθυνση (**Εικόνα 5.10**).

```
#53=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS(' ',2,2,((#54,#55,#56,#57),(#58,#59,#60,#61),(#62,#63,#64,#65),(#66,#67,#68,#69)),.UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(3,1,3),(3,1,3),(0.,1.,2.),(0.,1.,2.),.UNSPECIFIED.);
```

Εικόνα 5.10: Δεδομένα γεωμετρικής οντότητας B-spline

5.2.2 Εφαρμογές σε B-Splines επιφάνειες

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του λογισμικού σε μερικά από τα παραδείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για το IGES. Στην αρχή δίνονται τα δεδομένα εισόδου της κάθε B-Splines επιφάνειας και στη συνέχεια παρουσιάζεται το αντίστοιχο STEP αρχείο εξόδου, παραλείποντας τις οντότητες με χαρακτηριστικό αριθμό #I-#48 στα παραδείγματα 2 και 3 που δίνονται για το 1^ο παράδειγμα και παραμένουν ίδιες σε κάθε αρχείο (**Εικόνα 5.9**) για εξοικονόμηση χώρου. Το παράδειγμα 1 αντιστοιχεί στο παράδειγμα 1 της παραγράφου 4.2.2 (**Εικόνα 4.16**), το παράδειγμα 2 αντιστοιχεί στο παράδειγμα 3 της παραγράφου 4.2.2 (**Εικόνα 4.20**), ενώ τέλος το παράδειγμα 3 αντιστοιχεί στο παράδειγμα 5 της παραγράφου 4.2.2 (**Εικόνα 4.24**).

Παράδειγμα 1

$$n=3, m=3$$

$$p=2, q=2$$

$$knotU=[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2]$$

$$knotV=[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2]$$

(X, Y, Z)
0.0, 0.0, 0.0
0.0, 5.0, 0.0
0.0, 10.0, 0.0
0.0, 15.0, 0.0
5.0, 0.0, 0.0
5.0, 5.0, -5.0
5.0, 10.0, 0.0
5.0, 15.0, 0.0
10.0, 0.0, 0.0
10.0, 5.0, 0.0
10.0, 10.0, 5.0
10.0, 15.0, 0.0
15.0, 0.0, 0.0
15.0, 5.0, 0.0
15.0, 10.0, 0.0
15.0, 15.0, 0.0

[illegible]

Εικόνα 5.11: STEP αρχείο – Παράδειγμα 1

Παράδειγμα 2 $n=4, m=6$ $p=3, q=3$ $knotU=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 2\ 2\ 2]$ $knotV=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 4]$

(X, Y, Z)
0.0, 0.0, 5.0
0.0, 5.0, 0.0
0.0, 10.0, 0.0
0.0, 15.0, 0.0
0.0, 20.0, -5.0
5.0, 0.0, 0.0
5.0, 5.0, 3.0
5.0, 10.0, 0.0
5.0, 15.0, 0.0
5.0, 20.0, 0.0
10.0, 0.0, 0.0
10.0, 5.0, 0.0
10.0, 10.0, 3.0
10.0, 15.0, 0.0
10.0, 20.0, 0.0
15.0, 0.0, 0.0
15.0, 5.0, -3.0
15.0, 10.0, 0.0
15.0, 15.0, 3.0
15.0, 20.0, 0.0
20.0, 0.0, 0.0
20.0, 5.0, 0.0
20.0, 10.0, -3.0
20.0, 15.0, 0.0
20.0, 20.0, 0.0
25.0, 0.0, 0.0
25.0, 5.0, 0.0
25.0, 10.0, 0.0
25.0, 15.0, -3.0
25.0, 20.0, 0.0
30.0, 0.0, -5.0
30.0, 5.0, 0.0
30.0, 10.0, 0.0
30.0, 15.0, 0.0
30.0, 25.0, -5.0

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('GePAS DOG TUC-STEP format Output'),'2;1');
FILE_NAME('example.2.stp','29/03/2005 12:51:06',('DOG'),('TUC'),'GePAS','GePAS STEP
AP203','DOG');
FILE_SCHEMA(('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;
DATA;
#49=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#50=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#49);
#51=OPEN_SHELL('Example.1',(#89));
#52=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#51));
#53=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('3,3',((#54,#55,#56,#57,#58),(#59,#60,#61,#62,#63),(#64,#65,#66,
#67,#68),(#69,#70,#71,#72,#73),(#74,#75,#76,#77,#78),(#79,#80,#81,#82,#83),(#84,#85,#86,#87,#88))
,UNSPECIFIED,,F,,F,,U,,4,1,1,1,4),(4,1,4),(0,1,2,3,4),(0,1,2,3,4),UNSPECIFIED.);
#54=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,0.0,5.0));
#55=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,5.0,0.0));
#56=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,10.0,0.0));
#57=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,15.0,0.0));
#58=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,20.0,-5.0));
#59=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,0.0,0.0));
#60=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,5.0,3.0));
#61=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,10.0,0.0));
#62=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,15.0,0.0));
#63=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,20.0,0.0));
#64=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,0.0,0.0));
#65=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,5.0,0.0));
#66=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,10.0,3.0));
#67=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,15.0,0.0));
#68=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,20.0,0.0));
#69=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,0.0,0.0));
#70=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,5.0,-3.0));
#71=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,10.0,0.0));
#72=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,15.0,3.0));
#73=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,20.0,0.0));
#74=CARTESIAN_POINT('Control Point',(20.0,0.0,0.0));
#75=CARTESIAN_POINT('Control Point',(20.0,5.0,0.0));
#76=CARTESIAN_POINT('Control Point',(20.0,10.0,-3.0));
#77=CARTESIAN_POINT('Control Point',(20.0,15.0,0.0));
#78=CARTESIAN_POINT('Control Point',(20.0,20.0,0.0));
#79=CARTESIAN_POINT('Control Point',(25.0,0.0,0.0));
#80=CARTESIAN_POINT('Control Point',(25.0,5.0,0.0));
#81=CARTESIAN_POINT('Control Point',(25.0,10.0,0.0));
#82=CARTESIAN_POINT('Control Point',(25.0,15.0,-3.0));
#83=CARTESIAN_POINT('Control Point',(25.0,20.0,0.0));
#84=CARTESIAN_POINT('Control Point',(30.0,0.0,-5.0));
#85=CARTESIAN_POINT('Control Point',(30.0,5.0,0.0));
#86=CARTESIAN_POINT('Control Point',(30.0,10.0,0.0));
#87=CARTESIAN_POINT('Control Point',(30.0,15.0,0.0));
#88=CARTESIAN_POINT('Control Point',(30.0,25.0,-5.0));
#89=ADVANCED_FACE('surface1','',#53,.T.);
#90=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#52),#46);
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;

```

Annotations in the image:

- p,q: degree in both direction** points to the knot multiplicities '3,3'.
- knots multiplicity in first direction** points to the first knot vector '(4,1,1,1,4)'.
- knots multiplicity in second direction** points to the second knot vector '(4,1,4)'.
- knot vector in first direction** points to the first knot vector '(4,1,1,1,4)'.
- knot vector in second direction** points to the second knot vector '(4,1,4)'.
- XYZ control points coordinates** points to the list of Cartesian points from #54 to #88.

Εικόνα 5.12: STEP αρχείο – Παράδειγμα 2

Παράδειγμα 3

 $n1=3, m1=3$ $p1=3, q1=3$ $knotU1=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$ $knotV1=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$ $n2=3, m2=3$ $p2=3, q2=3$ $knotU2=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$ $knotV2=[0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$

(X, Y, Z)
0.0, 15.0, -8.0
0.0, 10.0, -3.0

(X, Y, Z)
0.0, 0.0, -5.0
0.0, 5.0, 0.0

0.0, 10.0, 2.0	0.0, 10.0, 0.0
0.0, 10.0, 7.0	0.0, 15.0, -5.0
5.0, 10.0, -8.0	5.0, 0.0, -5.0
5.0, 10.0, -3.0	5.0, 5.0, 0.0
5.0, 10.0, 2.0	5.0, 10.0, 0.0
5.0, 10.0, 7.0	5.0, 15.0, 0.0
10.0, 10.0, -8.0	10.0, 0.0, -5.0
10.0, 10.0, -3.0	10.0, 5.0, 0.0
10.0, 10.0, 2.0	10.0, 10.0, 0.0
10.0, 10.0, 7.0	10.0, 15.0, 0.0
15.0, 10.0, -8.0	15.0, 0.0, -5.0
15.0, 10.0, -3.0	15.0, 5.0, 0.0
15.0, 10.0, 2.0	15.0, 10.0, 0.0
15.0, 5.0, 7.0	15.0, 15.0, 5.0

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE DESCRIPTION(('GePAS DOG TUC-STEP format Output'),'2;1');
FILE_NAME('example3.stp','29/03/2005 12:51:06','DOG'),('DOG'),('TUC'),('GePAS','GePAS STEP AP203','DOG');
FILE_SCHEMA(('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;
DATA;
#49=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#50=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#49);
#51=OPEN_SHELL('Example.31',(#70));
#52=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#51));
#53=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('3,3)((#54,#55,#56,#57),(#58,#59,#60,#61),(#62,#63,#64,#65),(#66,#67,#68,#69)),UNSPECIFIED.,F.,F.,F.,U.,(4,4),(4,4),(0,1),(0,1),UNSPECIFIED.);
#54=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,15.0,-8.0));
#55=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,10.0,-3.0));
#56=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,10.0,2.0));
#57=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,10.0,7.0));
#58=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,10.0,-8.0));
#59=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,10.0,-3.0));
#60=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,10.0,2.0));
#61=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,10.0,7.0));
#62=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,10.0,-8.0));
#63=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,10.0,-3.0));
#64=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,10.0,2.0));
#65=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,10.0,7.0));
#66=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,10.0,-8.0));
#67=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,10.0,-3.0));
#68=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,10.0,2.0));
#69=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,5.0,7.0));
#70=ADVANCED_FACE('surface31','',#53,T.);
#71=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#52),#46);
#72=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#73=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#72);
#74=OPEN_SHELL('Example.32',(#93));
#75=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#74));
#76=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('3,3)((#77,#78,#79,#80),(#81,#82,#83,#84),(#85,#86,#87,#88),(#89,#90,#91,#92)),UNSPECIFIED.,F.,F.,F.,U.,(4,4),(4,4),(0,1),(0,1),UNSPECIFIED.);
#77=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,0.0,-5.0));
#78=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,5.0,0.0));
#79=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,10.0,0.0));
#80=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.0,15.0,-5.0));
#81=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,0.0,-5.0));
#82=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,5.0,0.0));
#83=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,10.0,0.0));
#84=CARTESIAN_POINT('Control Point',(5.0,15.0,0.0));
#85=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,0.0,-5.0));
#86=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,5.0,0.0));
#87=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,10.0,0.0));
#88=CARTESIAN_POINT('Control Point',(10.0,15.0,0.0));
#89=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,0.0,-5.0));
#90=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,5.0,0.0));
#91=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,10.0,0.0));
#92=CARTESIAN_POINT('Control Point',(15.0,15.0,5.0));
#93=ADVANCED_FACE('surface32','',#76,T.);
#94=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#75),#46);
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;

```

Diagram illustrating the STEP file structure and control points for two surfaces (Example.31 and Example.32). The diagram shows the hierarchy from FILE DESCRIPTION to MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION, then to SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION, OPEN_SHELL, SHELL_BASED_SURFACE_MODEL, and finally B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS. The B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS section details the knot multiplicities (p1,q1 and p2,q2) and the XYZ control points coordinates for each surface. Arrows indicate the flow of data from the knot multiplicities to the control points.

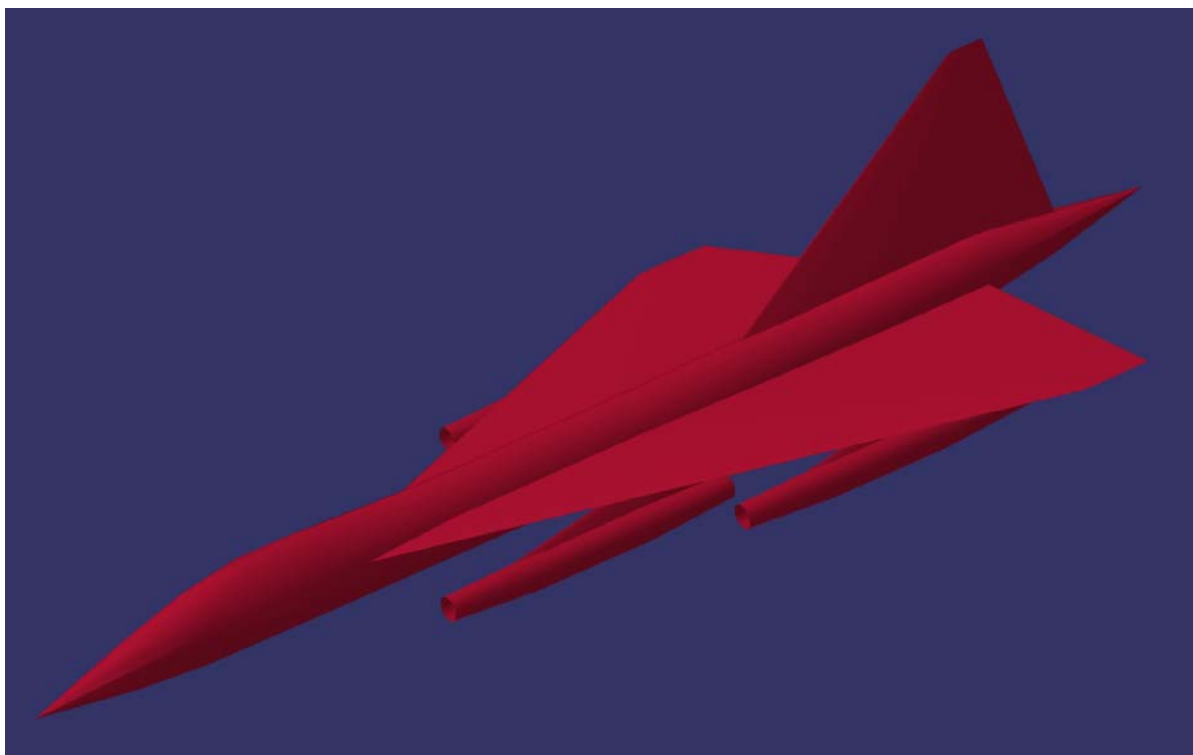
Εικόνα 5.13: STEP αρχείο – Παράδειγμα 3

5.2.3 Εφαρμογή στο λογισμικό GePAS

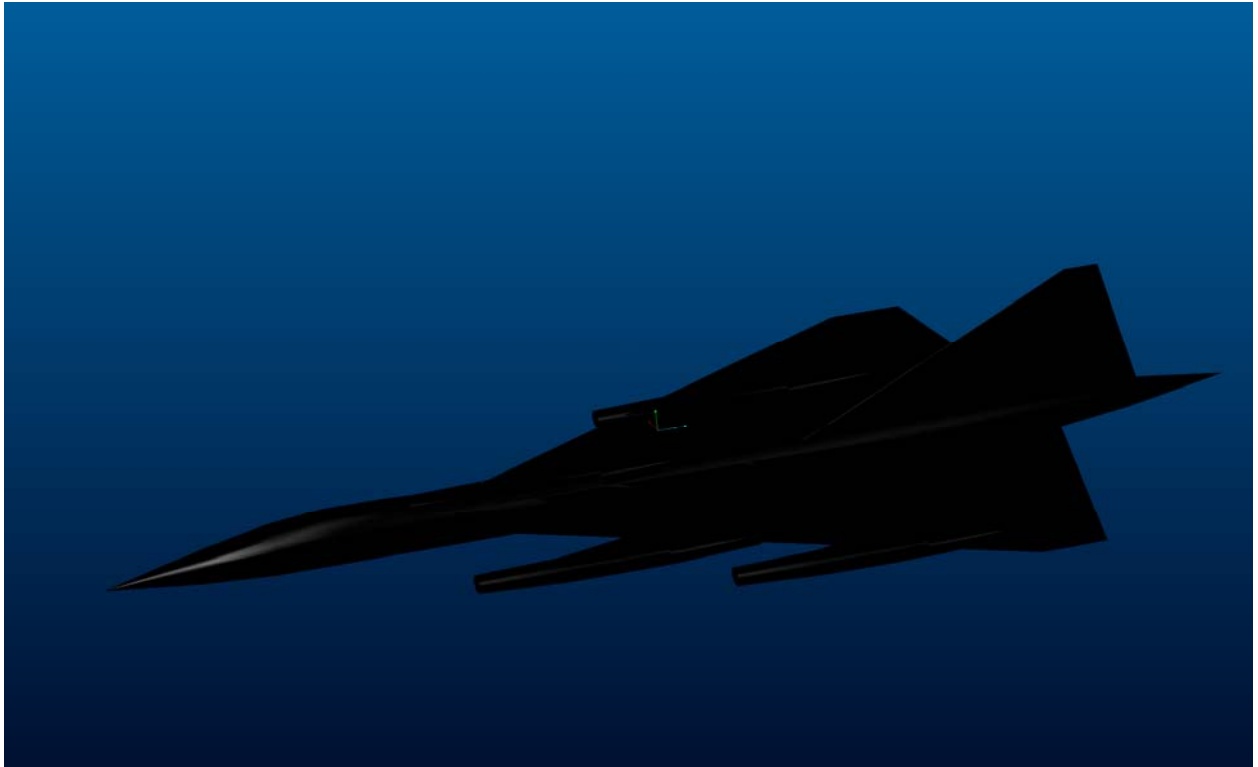
Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια εφαρμογή του προεπεξεργαστή αρχείων STEP στο λογισμικό GePAS για την απεικόνιση των αεροδυναμικών επιφανειών ενός αεροσκάφους τύπου B58. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του αρχείου εξόδου STEP (b58.stp) παραλείπεται η αναλυτική παρουσίασή του, όπως έγινε στα προηγούμενα παραδείγματα, επισημαίνεται όμως ότι η δομή του θα είναι ακριβώς η ίδια. Το αρχείο δίνεται στο **Παράρτημα Γ** και οι B-spline επιφάνειες (γεωμετρικές οντότητες) που απαρτίζουν το αεροσκάφος είναι οι εξής:

- *F_lage1*: Κεντρική άτρακτος (fuselage) του αεροσκάφους.
- *F_lage2, 3, 4, 5*: Κελύφη μηχανών του αεροσκάφους (nacelles).
- *Wing1, 3*: Κεντρικές πτέρυγες.
- *Wing2*: Κεντρική ουραία πτέρυγα (tail wing).
- *Wing4, 5, 6, 7*: Πτέρυγες στήριξης κελυφών στις κεντρικές πτέρυγες.

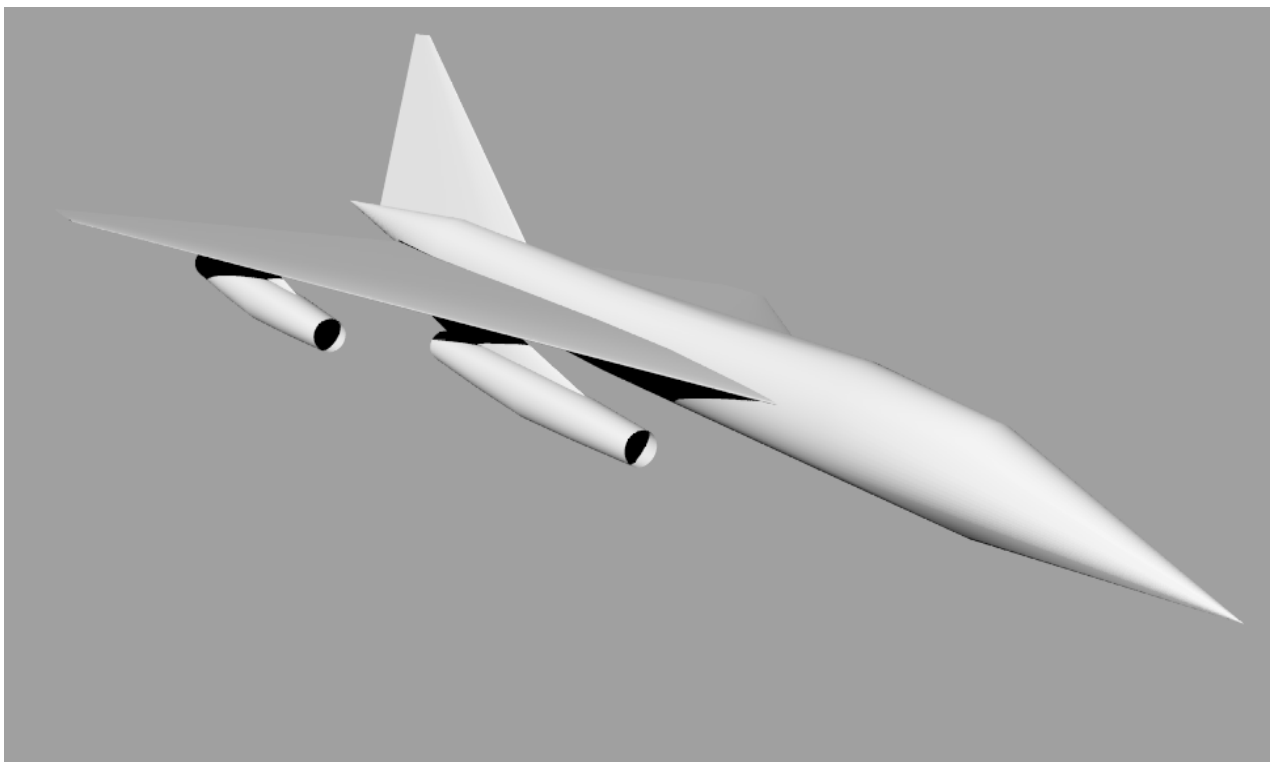
Στις **Εικόνες 5.14, 5.15** και **5.16** παρουσιάζονται τρισδιάστατες απεικονίσεις του αεροσκάφους B58 σε μερικά δημοφιλή εμπορικά προγράμματα CAD (CATIA, Pro/Engineer, Rhinoceros) με τη χρήση του εξαγόμενου από το λογισμικό STEP αρχείου.



Εικόνα 5.14: B58 – CATIA



Εικόνα 5.15: B58 – Pro/Engineer



Εικόνα 5.16: B58 – Rhinoceros

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια εισαγωγική προσέγγιση και εξηγήθηκε η σπουδαιότητα της τεχνολογίας ανταλλαγής δεδομένων προϊόντων, η οποία αποδείχτηκε καταλυτική για τα παρακάτω:

1. ολοκληρωμένα συστήματα
2. διαχείριση μηχανολογικών δεδομένων
3. ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων

Επιπρόσθετα η τεχνολογία δεδομένων προϊόντων αποτέλεσε αδιαμφισβήτητα έναν πρωταρχικό πυρήνα, ως χρήσιμο εργαλείο στην παράλληλη μηχανική καθώς και για γρήγορη πρόσβαση σε σωστές πληροφορίες.

Επίσης αναλύθηκε η διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων, που βασίζεται στην τεχνολογία του ουδέτερου format και επισημάνθηκαν τα προβλήματα που εξηγούν σε ένα βαθμό τον λόγο, για τον οποίο η τεχνολογία αυτή δεν αποτελεί την απόλυτη λύση. Ο μόνος τρόπος ώστε να ξεπεραστούν πλήρως αυτά τα προβλήματα είναι με τη βαθύτερη κατανόηση της έννοιας των δεδομένων προϊόντος, του καθορισμού τους όπως αυτά δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της σχεδίασης, της μετατροπής των διαφόρων γραφικών αναπαραστάσεων και των δοκιμών για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας των επεξεργαστών. Ο συνδυασμός αυτών των πραγμάτων μπορεί να καταστήσει την ανταλλαγή δεδομένων δεύτερης γενιάς ανάμεσα σε CAD συστήματα με τη χρήση του ουδέτερου format, λειτουργική σε όλα τα πεδία για τα οποία αρχικά σχεδιάστηκε, γεγονός που θα οδηγήσει με την πάροδο του χρόνου στη έλλειψη της ανάγκης χρησιμοποίησης άμεσων μεταγλωττιστών.

Η εισαγωγή του προτύπου STEP σηματοδότησε την αρχή της τρίτης γενιάς στην ανταλλαγή δεδομένων προϊόντων, απαλλαγμένου από τα λάθη του παρελθόντος με τον προσδιορισμό καινοτομικών λύσεων. Παρόλα αυτά η τεχνολογία δεδομένων προϊόντων ακόμα και με τα αλματώδη βήματα που πραγματοποίησε τα τελευταία χρόνια, με την παράλληλη εξέλιξη των H/Y, παραμένει ακόμα ένα ανοικτό ερευνητικό ζήτημα.

Στα πλαίσια της εργασίας αναπτύχθηκε λογισμικό προεπεξεργαστή τόσο για αρχεία IGES, όσο και για αρχεία STEP. Το μέγεθος του κώδικα που απαιτήθηκε και για στις δύο περιπτώσεις, παρ' όλες τις διαφορές μεταξύ των προτύπων κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα. Συνεπώς η μεγαλύτερη λειτουργικότητα του STEP δεν προκύπτει από προγραμματιστική πολυπλοκότητα, αλλά από τον «εξυπνότερο» τρόπο προσδιορισμού του. Αντίθετα το IGES είναι αυτό που παρουσιάζει μεγαλύτερη προγραμματιστική δυσκολία, καθώς απαιτεί εγγραφή χαρακτήρων σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο αρχείο και τη χρησιμοποίηση ειδικών δεικτών και μετρητών, ενώ το STEP, λαμβάνει τα πλεονεκτήματα του ελεύθερου format, γεγονός που το καθιστά περισσότερο ευέλικτο για περαιτέρω προσθήκες.

Τα πρότυπα IGES και STEP στη γενική τους μορφή περιλαμβάνουν πλήθος γεωμετρικών και άλλων οντοτήτων, για τον πλήρη καθορισμό όλων των δυνατών στοιχείων του προϊόντος, εξαιτίας της μέγιστης δυνατής γενικότητας που πρέπει να περιλαμβάνουν ως διεθνή πρότυπα, για τη συνεργασία διαφορετικών συστημάτων. Οι προεπεξεργαστές που αναπτύχθηκαν, με σκοπό την ενσωμάτωσή τους στο λογισμικό GePAS, για την αναπαράσταση αεροδυναμικών επιφανειών (B-spline, NURBS) είναι προσανατολισμένοι στην εφαρμογή (application oriented), με αποτέλεσμα την παραγωγή «καθαρών» αρχείων, απαλλαγμένων από περιττές γεωμετρικές οντότητες. Αυτό οδηγεί στην παραγωγή μικρού μεγέθους αρχείων, που στη συγκεκριμένη εφαρμογή συνεπάγεται καλύτερα αποτελέσματα στην αναπαράσταση των επιφανειών. Έχει παρατηρηθεί σε κάποια εμπορικά CAD προγράμματα η μεταφορά των δεδομένων για μια επιφάνεια που πραγματοποιείται, μέσω των προτύπων IGES και STEP, με το σπάσιμο τους σε επιμέρους μπαλώματα (patches), να οδηγεί σε αλλοίωση των αρχικών δεδομένων (σημειώνεται ότι αυτό μπορεί να οφείλεται σε κακή μεταεπεξεργασία). Ο **Πίνακας 6.1** παρουσιάζει μια σύγκριση των προτύπων IGES και STEP, όσον αφορά στο μέγεθος των αρχείων μεταξύ του λογισμικού GePAS και των CAD προγραμμάτων CATIA και Rhinoceros.

	IGES (c-17.igs)		STEP (b58.stp)	
	Μέγεθος αρχείου (kb)	Πλήθος γραμμών αρχείου	Μέγεθος αρχείου (kb)	Πλήθος γραμμών αρχείου
GePAS	67,9	849	49,5	722
CATIA	1750	22660	483	6992
Rhinoceros	437	5466	80,6	1431

Πίνακας 6.1: Συγκριτικός πίνακας

Ολοκληρώνοντας αναφέρονται κάποια μελλοντικά σχέδια για περαιτέρω προσθήκες. Αρκετά χρήσιμη θα ήταν η αναπαράσταση κάποιων αεροδυναμικών επιφανειών που απαρτίζουν το αεροσκάφος με τη χρήση μιας γεωμετρικής οντότητας (ενιαία επιφάνεια). Επίσης μπορούν να αξιοποιηθούν επιπλέον οντότητες που αφορούν για παράδειγμα υλικά, B-spline ή NURBS καμπύλες για τον προσδιορισμό εξειδικευμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Τέλος υπάρχει η δυνατότητα οι επιφάνειες να περιγράφονται με οριακή αναπαράσταση ή με χρήση μπαλωμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Amoiralis, E., Valakos, I., Nikolos, I., Sarakinos, S., *Generic Parameterized Aircraft Surface Generation for Design Optimization*. 7th National Congress on Mechanics, Chania, Greece, June 24-26, 2004.
- [2] Αμοιραλής, Ε., *Ανάπτυξη λογισμικού για διεπιδραστική σχεδίαση και μελέτη αεροτομών*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2004.
- [3] Blacker, K., *The basics of electronic data exchange*. EDiSTONE Books, Birmingham, 1994.
- [4] Bloor, M.S. & Owen, J., *Product Data Exchange*. UCL Press, London, 1995.
- [5] CAM-I, *An interface between geometric modelers and application programs*. CAM-I Report R-80-GM-04, 1980.
- [6] Cox, M.G., The numerical evaluation of B-Splines. *Jour. Inst. Math. Applic.*, Vol.10, 1972.
- [7] DeBoor, C., On calculating with B-Splines. *Jour. Approx. Theory*, Vol.6, 1972.
- [8] DTI, *Open systems in manufacturing: product data exchange*. Department of Trade and Industry, London, 1990.
- [9] Gordon, W.J. & Riesenfeld, R.F., B-Spline curves and surfaces. In Barnhill, R.E. & Riesenfeld, R.F., editors, *Computer aided geometric design*, Academic Press, 1974.
- [10] Helpenstein, H.J., *CAD Geometry Data Exchange Using STEP: Realization of Interface processors*. Research Reports ESPRIT, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1993.
- [11] IGES, *The Initial Graphics Exchange Specification (IGES) version 1.0*. NBSIR 80-1978 (R), National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, 1980.
- [12] IGES, *ANSI Y14.26M: Digital representation for communication of product definition data*. American Society of Mechanical Engineers, New York, 1981.
- [13] ISO, *ISO Technical Report 9007: Information processing systems – concepts and terminology for the conceptual schema and the information base*. ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland, 1987.
- [14] Liewald, M.H. & Kennicott, P.R., Intersystem data transfer via IGES. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.2, 1982.
- [15] Mayer, R.J., *Making CAD/CAM Data Transfer Work: IGES and Other Solutions, A Hands-On Guide*. CAD/CIM Management Roundtable Inc., Massachusetts.

- [16] Μπιλλάλης, Ν., *Μελέτη Σχεδίαση Με Χρήση Η/Υ (CAD)*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2003.
- [17] Pahl, G. & Beitz, W., *Engineering design*. Design Council, London, 1984.
- [18] Piegl, L. & Tiller, W., *The NURBS Book*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995.
- [19] Owen, J., *STEP: An Introduction*. Information Geometers Ltd, Winchester, UK, 1997.
- [20] Requicha, A.A.G., *Representations for rigid solids: theory, methods and systems*. ACM Computing Surveys, 1980.
- [21] Riesenfeld, R.F., *Applications of B-Spline approximation to geometric problems of computer-aided design*. Ph.D. dissertation, Syracuse University, 1973.
- [22] Schenck, D. & Wilson, P., *Information Modelling: The EXPRESS Way*. Oxford University Press, New York, 1994.
- [23] Tsichritzis, D. & Klug, A., The ANSI/X3/SPARC DBMS framework: report of the study group on database management systems. *Information Systems, Vol.3*, Pergamon Press, Oxford, UK, 1978.
- [24] Weiss, J., *STEP functional requirements*. ISO TC184/SC4 N30, 1986.
- [25] Wilson, P.R., Faux, I.D., Ostrowski, M.C. & Pasquill, K.,G., Interfaces for data transfer between solid modeling systems. *IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.5*, 1985.
- [26] Wilson, P.R., Information and/or data? *IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.7*, 1987.
- [27] Wilson, P.R., Information modeling. *IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.7*, 1987.
- [28] Wilson, P.R., PDES STEPs forward. *IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.9*, 1989.
- [29] Wilson, P.R., STEP ballot results. *IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.10*, 1990.
- [30] Wirth, N., What can we do about the unnecessary diversity of notation for syntactic definitions? *Communications of the ACM, Vol.20*, 1977.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι γεωμετρικές οντότητες που υποστηρίζονται από το IGES (μέχρι την έκδοση 5.1), μαζί με την έκδοση στην οποία εισήχθησαν [4]:

Geometry entities			
Entity	Form	Description	Version
0		null	4.0
100		circular arc	1.0
102		composite curve	1.0
104		conic arc	
	0	determined by parameters	1.0
	1	elliptic	1.0
	2	hyperbolic	1.0
	3	parabolic	1.0
106		copious data	
	1	data pairs in a plane	1.0
	2	data triples in a plane	1.0
	3	data sextuples in a plane	1.0
	11	2D linear path	1.0
	12	3D linear path	1.0
	13	piecewise linear string	1.0
	20	centerline through points	1.0
	21	centerline through circle centers	1.0
	31	section: solid	1.0
	32	section: solid pairs	1.0
	33	section: solid + dash	1.0
	34	section: solid quads	1.0
	35	section: solid + dash + solid	1.0
	36	section: dash	1.0
	37	section: solid + perpendicular solid	1.0
	38	section: solid + perpendicular dash	1.0
	40	witness line	1.0
	63	simple closed planar curve	2.0
108		plane	
	-1	bounded void	1.0
	0	unbounded	4.0
	1	bounded	1.0
110		line	1.0
112		parametric spline curve	1.0
114		parametric spline surface	1.0
116		point	1.0
118		ruled surface	
	0	equal relative arc length	1.0
	1	equal relative parametric values	2.0
120		surface of revolution	1.0
122		tabulated cylinder	1.0

123	direction	5.1
124	transformation matrix	
	0 orthonormal rotate/translate	1.0
	1 orthonormal rotate-reflect/translate	3.0
	10 cartesian co-ordinates	2.0
	11 cylindrical co-ordinates	2.0
	12 spherical co-ordinates	2.0
125	flash	
	0 defined by referenced entity	2.0
	1 circular	2.0
	2 rectangle	2.0
	3 doughnut	2.0
	4 canoe	2.0
126	rational B-spline	
	0 determined by parameters	2.0
	1 line	2.0
	2 circular arc	2.0
	3 elliptical arc	2.0
	4 parabolic arc	2.0
	5 hyperbolic arc	2.0
128	rational B-spline surface	
	0 determined by parameters	2.0
	1 plane	2.0
	2 right circular cylinder	2.0
	3 cone	2.0
	4 sphere	2.0
	5 torus	2.0
	6 surface of revolution	2.0
	7 tabulated cylinder	2.0
	8 ruled surface	2.0
	9 general quadric surface	2.0
130	offset curve	3.0
132	connect point	3.0
134	node	2.0
136	finite element	2.0
138	nodal displacement and rotation	3.0
140	offset surface	3.0
141	boundary	5.0
142	curve on a parametric surface	3.0
143	bounded surface	5.0
144	trimmed parametric surface	3.0
146	FEM nodal results	4.0
148	FEM element results	4.0
150	block	4.0
152	right angular wedge	4.0
154	right circular cylinder	4.0
156	right circular cone frustum	4.0
158	sphere	4.0
160	torus	4.0
162	solid of revolution	

	0	closed to axis	4.0
	1	closed to itself	4.0
164		solid of linear extrusion	4.0
168		ellipsoid	4.0
180		boolean tree	4.0
182		selected component	5.0
184		solid assembly	4.0
186		manifold solid B-rep object	5.1
190		plane nsurface	
	0	unparameterized surface	5.1
	1	parameterized surface	5.1
192		right circular cylindrical surface	
	0	unparameterized surface	5.1
	1	parameterized surface	5.1
194		right circular conical surface	
	0	unparameterized surface	5.1
	1	parameterized surface	5.1
196		spherical surface	
	0	unparameterized surface	5.1
	1	parameterized surface	5.1
198		toroidal surface	
	0	unparameterized surface	5.1
	1	parameterized surface	5.1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Υποστηριζόμενες μέθοδοι περιγραφής, μέθοδοι εκτέλεσης, μεθοδολογίες και πλαίσια αναμορφωτικού ελέγχου και ολοκληρωμένες πηγές από το STEP [19]:

part	title	date
1	Overview and fundamental principles	1994
Description methods:		
11	The EXPRESS language reference manual	1994
12	The EXPRESS-I language reference manual	1994
13	Architecture and methodology reference manual	(cancelled)
Implementation methods:		
21	Clear text encoding of the exchange structure	1994
22	Standard data access interface specification	1996
23	C++ language binding	1995
24	C language binding	1997
25	FORTRAN language binding	(cancelled)
26	Interface Definition Language (IDL) binding	
Conformance testing methodology and framework:		
31	General concepts	1994
32	Requirements on testing laboratories and clients	1995
33	Structure and use of abstract test suites	1995
34	Abstract test methods	1997
35	Abstract test methods for SDAI implementations	
Integrated resources:		
41	Fundamentals of product description and support	1994
42	Geometric and topological representation	1994
43	Representation structures	1994
44	Product structure configuration	1994
45	Materials	1995
46	Visual presentation	1994
47	Shape variation tolerances	1995
48	Form features	(cancelled)
49	Process structure, property and presentation	1995
101	Draughting	1994
102	Ship structures	(cancelled)
103	Electrical applications	(cancelled)
104	Finite element analysis	1996
105	Kinematics	1996
106	Building construction core model	

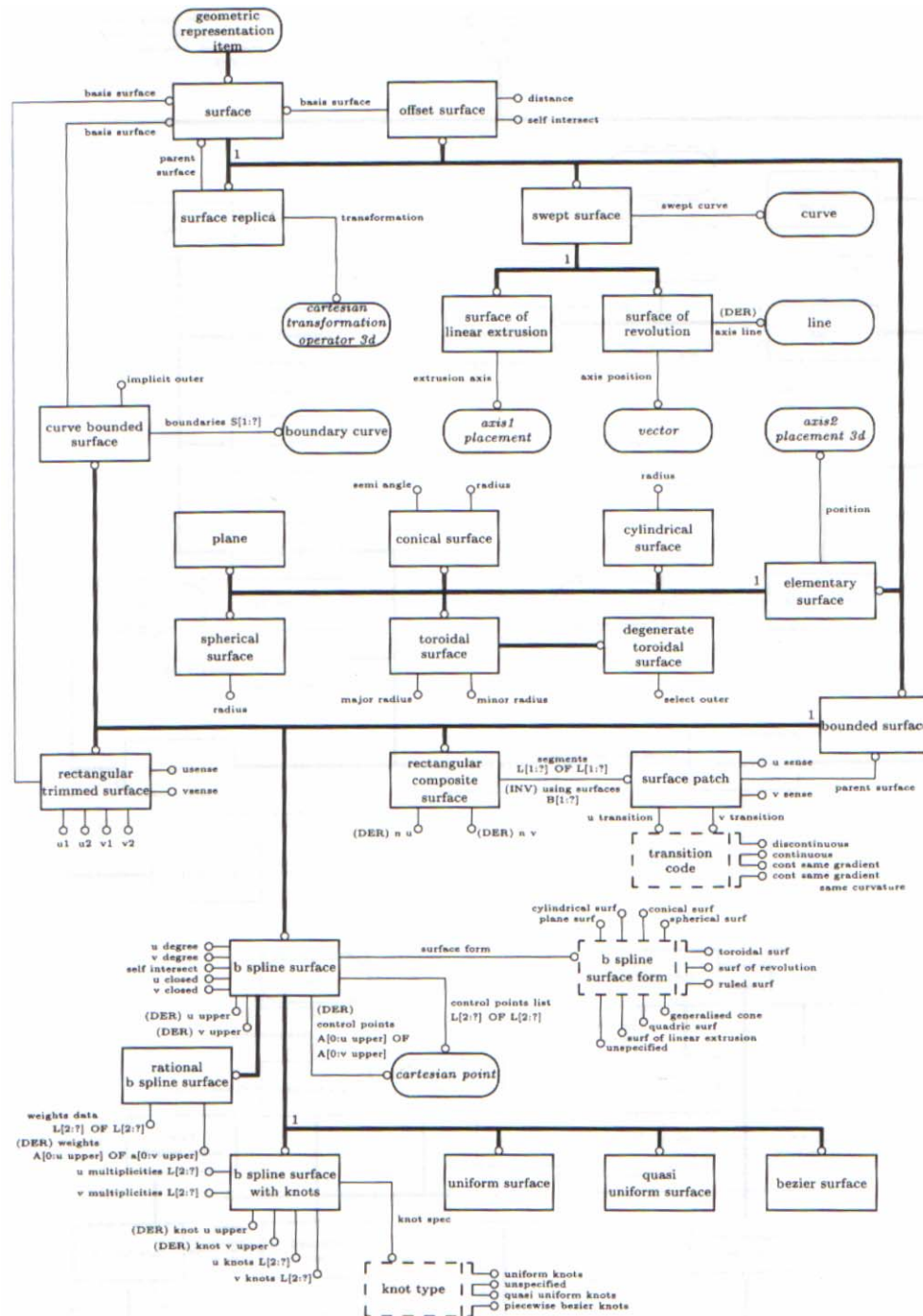
Υποστηριζόμενα πρωτόκολλα εφαρμογών από το STEP [19]:

part	title	date
Application protocols:		
201	Explicit draughting	1994
202	Associative draughting	1995
203	Configuration controlled design	1994
204	Mechanical design using boundary representation	1994
205	Mechanical design using surface representation	1994
206	Mechanical design using wireframe representation	(cancelled)
207	Sheet metal die planning and design	1995
208	Life cycle management – change process	1995
209	Composite and metallic structural analysis and related design	1996
210	Electronic assembly, interconnect and packaging design	1994
211	Electronics test, diagnostics and remanufacture	(cancelled)
212	Electrotechnical design and installation	1996
213	Numerical control process plans for machined parts	1995
214	Core data for automotive mechanical design	1995
215	Ship arrangement	
216	Ship moulded forms	
217	Ship piping	
218	Ship structures	1996
219	Dimensional inspection process planning for coordinate measuring machines using tactile and video sensors	
220	Process planning, manufacturing and assembly of layered electronic products	1994
221	Functional data and their schematic representation for process plants	1994
222	Exchange of product data for composite structures	
223	Exchange of design and manufacturing product information for casting parts	1995
224	Mechanical product definition for process plans using machining features	1997
225	Building elements using explicit shape representation	1996
226	Ship mechanical systems	
227	Plant spatial configuration	1995
228	Building services: heating, ventilation and air conditioning	
229	Exchange of design and manufacturing product information for forged parts	
230	Building structural frame: steelwork	
231	Process design and process specifications of major equipment	1996
232	Technical data packaging core information and exchange	

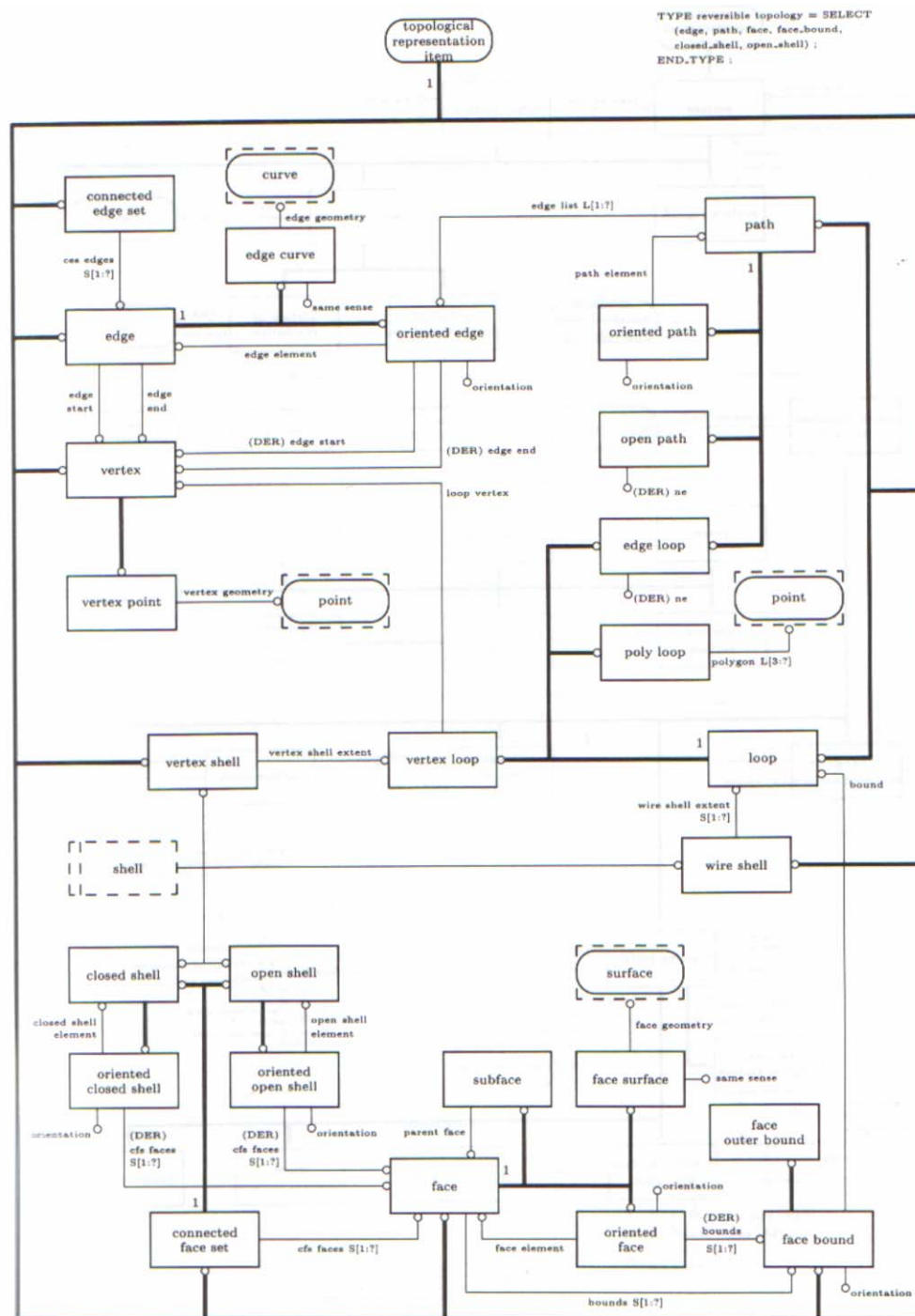
Υποστηριζόμενες περιληπτικές συλλογές δοκιμών και δομές εφαρμογών από το STEP [19]:

part	title	date
Abstract test suites:		
301	ATS for 201	1996
302	ATS for 202	1996
303	ATS for 203	1996
304	ATS for 204	1996
305	ATS for 205	1996
Application interpreted constructs:		
501	Edge-based wireframe	1997
502	Shell-based wireframe	1997
503	Geometrically bounded 2D wireframe	1997
504	Draughting annotation	1995
505	Drawing structure and administration	1995
506	Draughting elements	1995
507	Geometrically bounded surface	1995
508	Non-manifold surface	1995
509	Manifold surface	1995
510	Geometrically bounded wireframe	1997
511	Topologically bounded surface	1997
512	Faceted boundary representation	1997
513	Elementary boundary representation	1995
514	Advanced boundary representation	1995
515	Constructive solid geometry	1995
516	Mechanical design context	(cancelled)
517	Mechanical design geometric representation	1995
518	Mechanical design shaded presentation	1995

Το αναλυτικό γεωμετρικό περίγραμμα του STEP (Μέρος 42) για επιφάνειες [19]:



Το αναλυτικό τοπολογικό περίγραμμα του STEP (Μέρος 42) [19]:



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Στη συνέχεια δίνεται το IGES αρχείο εξόδου του λογισμικού GePAS για το αεροσκάφος τύπου C-17, όπως προέκυψε από το λογισμικό που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας:

GePAS DOG TUC-IGES format Output	S0000001
1H,,1H;,5HGePAS,8Hc-17.igs,5HGePAS,4HIGES,	G0000001
32,75,6,75,15,3HCAD,1.0,6,1HM,1000,1.0,	G0000002
19H23/03/2005 14:22:06,0.001,10000.0,3HDOG,3HTUC,	G0000003
11,0,19H23/03/2005 14:22:06;	G0000004
128 1 0 0 1 0 0 0	0D0000001
128 0 8 157 0 0 0 F_lage1	0D0000002
128 158 0 0 1 0 0 0	0D0000003
128 0 8 245 0 0 0 F_lage2	0D0000004
128 246 0 0 1 0 0 0	0D0000005
128 0 8 333 0 0 0 F_lage3	0D0000006
128 334 0 0 1 0 0 0	0D0000007
128 0 8 421 0 0 0 F_lage4	0D0000008
128 422 0 0 1 0 0 0	0D0000009
128 0 8 509 0 0 0 F_lage5	0D0000010
128 510 0 0 1 0 0 0	0D0000011
128 0 8 597 0 0 0 F_lage6	0D0000012
128 598 0 0 1 0 0 0	0D0000013
128 0 8 621 0 0 0 Wing1	0D0000014
128 622 0 0 1 0 0 0	0D0000015
128 0 8 645 0 0 0 Wing2	0D0000016
128 646 0 0 1 0 0 0	0D0000017
128 0 8 669 0 0 0 Wing3	0D0000018
128 670 0 0 1 0 0 0	0D0000019
128 0 8 693 0 0 0 Wing4	0D0000020
128 694 0 0 1 0 0 0	0D0000021
128 0 8 717 0 0 0 Wing5	0D0000022
128 718 0 0 1 0 0 0	0D0000023
128 0 8 741 0 0 0 Wing6	0D0000024
128 742 0 0 1 0 0 0	0D0000025
128 0 8 765 0 0 0 Wing7	0D0000026
128 766 0 0 1 0 0 0	0D0000027
128 0 8 789 0 0 0 Wing8	0D0000028
128 790 0 0 1 0 0 0	0D0000029
128 0 8 813 0 0 0 Wing9	0D0000030
128,12,10,2,2,0,0,1,0,0,	1P0000001
0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,	1P0000002
14.0,15.0,	1P0000003
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,9.0,9.0,	1P0000004
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000005
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000006
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000007
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000008
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000009
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000010
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000011
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000012
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	1P0000013
0.0,-0.28,0.0,	1P0000014
0.0,-0.28,0.0,	1P0000015
0.0,-0.28,0.0,	1P0000016
0.0,-0.28,0.0,	1P0000017
0.0,-0.28,0.0,	1P0000018
0.0,-0.28,0.0,	1P0000019
0.0,-0.28,0.0,	1P0000020
0.0,-0.28,0.0,	1P0000021
0.0,-0.28,0.0,	1P0000022
0.0,-0.28,0.0,	1P0000023
0.0,-0.28,0.0,	1P0000024
0.0,-0.28,0.0,	1P0000025
0.0,-0.28,0.0,	1P0000026
0.115979797464467,0.0,0.1,	1P0000027
0.28,-0.12301515190165,0.1,	1P0000028
0.28,-0.325979797464467,0.1,	1P0000029

0.115979797464467,-0.49,0.1,	1P0000030
-0.115979797464467,-0.49,0.1,	1P0000031
-0.28,-0.325979797464467,0.1,	1P0000032
-0.28,-0.12301515190165,0.1,	1P0000033
-0.115979797464467,0.0,0.1,	1P0000034
0.115979797464467,0.0,0.1,	1P0000035
0.28,-0.12301515190165,0.1,	1P0000036
0.28,-0.325979797464467,0.1,	1P0000037
0.115979797464467,-0.49,0.1,	1P0000038
-0.115979797464467,-0.49,0.1,	1P0000039
0.231959594928933,0.63,1.0,	1P0000040
0.56,0.26095454429505,1.0,	1P0000041
0.56,-0.289949493661167,1.0,	1P0000042
0.231959594928933,-0.7,1.0,	1P0000043
-0.231959594928933,-0.7,1.0,	1P0000044
-0.56,-0.289949493661167,1.0,	1P0000045
-0.56,0.26095454429505,1.0,	1P0000046
-0.231959594928933,0.63,1.0,	1P0000047
0.231959594928933,0.63,1.0,	1P0000048
0.56,0.26095454429505,1.0,	1P0000049
0.56,-0.289949493661167,1.0,	1P0000050
0.231959594928933,-0.7,1.0,	1P0000051
-0.231959594928933,-0.7,1.0,	1P0000052
0.289949493661167,0.7,2.0,	1P0000053
0.7,0.289949493661167,2.0,	1P0000054
0.7,-0.289949493661167,2.0,	1P0000055
0.289949493661167,-0.7,2.0,	1P0000056
-0.289949493661167,-0.7,2.0,	1P0000057
-0.7,-0.289949493661167,2.0,	1P0000058
-0.7,0.289949493661167,2.0,	1P0000059
-0.289949493661167,0.7,2.0,	1P0000060
0.289949493661167,0.7,2.0,	1P0000061
0.7,0.289949493661167,2.0,	1P0000062
0.7,-0.289949493661167,2.0,	1P0000063
0.289949493661167,-0.7,2.0,	1P0000064
-0.289949493661167,-0.7,2.0,	1P0000065
0.289949493661167,0.7,3.5,	1P0000066
0.7,0.289949493661167,3.5,	1P0000067
0.7,-0.289949493661167,3.5,	1P0000068
0.289949493661167,-0.7,3.5,	1P0000069
-0.289949493661167,-0.7,3.5,	1P0000070
-0.7,-0.289949493661167,3.5,	1P0000071
-0.7,0.289949493661167,3.5,	1P0000072
-0.289949493661167,0.7,3.5,	1P0000073
0.289949493661167,0.7,3.5,	1P0000074
0.7,0.289949493661167,3.5,	1P0000075
0.7,-0.289949493661167,3.5,	1P0000076
0.289949493661167,-0.7,3.5,	1P0000077
-0.289949493661167,-0.7,3.5,	1P0000078
0.289949493661167,0.7,5.0,	1P0000079
0.7,0.289949493661167,5.0,	1P0000080
0.7,-0.289949493661167,5.0,	1P0000081
0.289949493661167,-0.7,5.0,	1P0000082
-0.289949493661167,-0.7,5.0,	1P0000083
-0.7,-0.289949493661167,5.0,	1P0000084
-0.7,0.289949493661167,5.0,	1P0000085
-0.289949493661167,0.7,5.0,	1P0000086
0.289949493661167,0.7,5.0,	1P0000087
0.7,0.289949493661167,5.0,	1P0000088
0.7,-0.289949493661167,5.0,	1P0000089
0.289949493661167,-0.7,5.0,	1P0000090
-0.289949493661167,-0.7,5.0,	1P0000091
0.289949493661167,0.7,6.0,	1P0000092
0.7,0.289949493661167,6.0,	1P0000093
0.7,-0.26095454429505,6.0,	1P0000094
0.289949493661167,-0.63,6.0,	1P0000095
-0.289949493661167,-0.63,6.0,	1P0000096
-0.7,-0.26095454429505,6.0,	1P0000097
-0.7,0.289949493661167,6.0,	1P0000098
-0.289949493661167,0.7,6.0,	1P0000099
0.289949493661167,0.7,6.0,	1P0000100
0.7,0.289949493661167,6.0,	1P0000101
0.7,-0.26095454429505,6.0,	1P0000102
0.289949493661167,-0.63,6.0,	1P0000103
-0.289949493661167,-0.63,6.0,	1P0000104
0.289949493661167,0.7,7.0,	1P0000105

0.7,0.289949493661167,7.0,	1P0000106
0.7,-0.231959594928933,7.0,	1P0000107
0.289949493661167,-0.56,7.0,	1P0000108
-0.289949493661167,-0.56,7.0,	1P0000109
-0.7,-0.231959594928933,7.0,	1P0000110
-0.7,0.289949493661167,7.0,	1P0000111
-0.289949493661167,0.7,7.0,	1P0000112
0.289949493661167,0.7,7.0,	1P0000113
0.7,0.289949493661167,7.0,	1P0000114
0.7,-0.231959594928933,7.0,	1P0000115
0.289949493661167,-0.56,7.0,	1P0000116
-0.289949493661167,-0.56,7.0,	1P0000117
0.289949493661167,0.7,7.5,	1P0000118
0.7,0.33095454429505,7.5,	1P0000119
0.7,-0.132964645562817,7.5,	1P0000120
0.289949493661167,-0.42,7.5,	1P0000121
-0.289949493661167,-0.42,7.5,	1P0000122
-0.7,-0.132964645562817,7.5,	1P0000123
-0.7,0.33095454429505,7.5,	1P0000124
-0.289949493661167,0.7,7.5,	1P0000125
0.289949493661167,0.7,7.5,	1P0000126
0.7,0.33095454429505,7.5,	1P0000127
0.7,-0.132964645562817,7.5,	1P0000128
0.289949493661167,-0.42,7.5,	1P0000129
-0.289949493661167,-0.42,7.5,	1P0000130
0.115979797464467,0.77,9.8,	1P0000131
0.28,0.687989898732233,9.8,	1P0000132
0.28,0.572010101267767,9.8,	1P0000133
0.115979797464467,0.49,9.8,	1P0000134
-0.115979797464467,0.49,9.8,	1P0000135
-0.28,0.572010101267767,9.8,	1P0000136
-0.28,0.687989898732233,9.8,	1P0000137
-0.115979797464467,0.77,9.8,	1P0000138
0.115979797464467,0.77,9.8,	1P0000139
0.28,0.687989898732233,9.8,	1P0000140
0.28,0.572010101267767,9.8,	1P0000141
0.115979797464467,0.49,9.8,	1P0000142
-0.115979797464467,0.49,9.8,	1P0000143
5.79898987322333E-02,0.63,10.0,	1P0000144
0.14,0.63,10.0,	1P0000145
0.14,0.63,10.0,	1P0000146
5.79898987322333E-02,0.63,10.0,	1P0000147
-5.79898987322333E-02,0.63,10.0,	1P0000148
-0.14,0.63,10.0,	1P0000149
-0.14,0.63,10.0,	1P0000150
-5.79898987322333E-02,0.63,10.0,	1P0000151
5.79898987322333E-02,0.63,10.0,	1P0000152
0.14,0.63,10.0,	1P0000153
0.14,0.63,10.0,	1P0000154
5.79898987322333E-02,0.63,10.0,	1P0000155
-5.79898987322333E-02,0.63,10.0,	1P0000156
0.0,10.0,0.0,9.0,	1P0000157
128,12,5,2,2,0,0,1,0,0,	3P0000158
0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,	3P0000159
14.0,15.0,	3P0000160
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	3P0000161
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000162
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000163
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000164
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000165
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	3P0000166
0.0,2.135,8.9,	3P0000167
0.0,2.135,8.9,	3P0000168
0.0,2.135,8.9,	3P0000169
0.0,2.135,8.9,	3P0000170
0.0,2.135,8.9,	3P0000171
0.0,2.135,8.9,	3P0000172
0.0,2.135,8.9,	3P0000173
0.0,2.135,8.9,	3P0000174
0.0,2.135,8.9,	3P0000175
0.0,2.135,8.9,	3P0000176
0.0,2.135,8.9,	3P0000177
0.0,2.135,8.9,	3P0000178
0.0,2.135,8.9,	3P0000179
5.30193359837562E-02,2.263,8.98,	3P0000180
0.128,2.18801933598376,8.98,	3P0000181

0.128,2.08198066401624,8.98,	3P0000182
5.30193359837562E-02,2.007,8.98,	3P0000183
-5.30193359837562E-02,2.007,8.98,	3P0000184
-0.128,2.08198066401624,8.98,	3P0000185
-0.128,2.18801933598376,8.98,	3P0000186
-5.30193359837562E-02,2.263,8.98,	3P0000187
5.30193359837562E-02,2.263,8.98,	3P0000188
0.128,2.18801933598376,8.98,	3P0000189
0.128,2.08198066401624,8.98,	3P0000190
5.30193359837562E-02,2.007,8.98,	3P0000191
-5.30193359837562E-02,2.007,8.98,	3P0000192
3.71135351886293E-02,2.2246,9.54,	3P0000193
0.0896,2.17211353518863,9.54,	3P0000194
0.0896,2.09788646481137,9.54,	3P0000195
3.71135351886293E-02,2.0454,9.54,	3P0000196
-3.71135351886293E-02,2.0454,9.54,	3P0000197
-0.0896,2.09788646481137,9.54,	3P0000198
-0.0896,2.17211353518863,9.54,	3P0000199
-3.71135351886293E-02,2.2246,9.54,	3P0000200
3.71135351886293E-02,2.2246,9.54,	3P0000201
0.0896,2.17211353518863,9.54,	3P0000202
0.0896,2.09788646481137,9.54,	3P0000203
3.71135351886293E-02,2.0454,9.54,	3P0000204
-3.71135351886293E-02,2.0454,9.54,	3P0000205
2.12077343935025E-02,2.1862,9.86,	3P0000206
0.0512,2.1562077343935,9.86,	3P0000207
0.0512,2.1137922656065,9.86,	3P0000208
2.12077343935025E-02,2.0838,9.86,	3P0000209
-2.12077343935025E-02,2.0838,9.86,	3P0000210
-0.0512,2.1137922656065,9.86,	3P0000211
-0.0512,2.1562077343935,9.86,	3P0000212
-2.12077343935025E-02,2.1862,9.86,	3P0000213
2.12077343935025E-02,2.1862,9.86,	3P0000214
0.0512,2.1562077343935,9.86,	3P0000215
0.0512,2.1137922656065,9.86,	3P0000216
2.12077343935025E-02,2.0838,9.86,	3P0000217
-2.12077343935025E-02,2.0838,9.86,	3P0000218
1.06038671967512E-02,2.1606,10.18,	3P0000219
0.0256,2.14560386719675,10.18,	3P0000220
0.0256,2.12439613280325,10.18,	3P0000221
1.06038671967512E-02,2.1094,10.18,	3P0000222
-1.06038671967512E-02,2.1094,10.18,	3P0000223
-0.0256,2.12439613280325,10.18,	3P0000224
-0.0256,2.14560386719675,10.18,	3P0000225
-1.06038671967512E-02,2.1606,10.18,	3P0000226
1.06038671967512E-02,2.1606,10.18,	3P0000227
0.0256,2.14560386719675,10.18,	3P0000228
0.0256,2.12439613280325,10.18,	3P0000229
1.06038671967512E-02,2.1094,10.18,	3P0000230
-1.06038671967512E-02,2.1094,10.18,	3P0000231
0.0,2.135,10.5,	3P0000232
0.0,2.135,10.5,	3P0000233
0.0,2.135,10.5,	3P0000234
0.0,2.135,10.5,	3P0000235
0.0,2.135,10.5,	3P0000236
0.0,2.135,10.5,	3P0000237
0.0,2.135,10.5,	3P0000238
0.0,2.135,10.5,	3P0000239
0.0,2.135,10.5,	3P0000240
0.0,2.135,10.5,	3P0000241
0.0,2.135,10.5,	3P0000242
0.0,2.135,10.5,	3P0000243
0.0,2.135,10.5,	3P0000244
0.0,10.0,0.0,4.0;	3P0000245
128,12,5,2,2,0,0,1,0,0,	5P0000246
0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,	5P0000247
14.0,15.0,	5P0000248
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	5P0000249
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	5P0000250
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	5P0000251
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	5P0000252
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	5P0000253
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	5P0000254
1.7969259735953,0.174,3.0,	5P0000255
1.934,3.69259735953042E-02,3.0,	5P0000256
1.934,-0.156925973595304,3.0,	5P0000257

1.7969259735953,-0.294,3.0,	5P0000258
1.6030740264047,-0.294,3.0,	5P0000259
1.466,-0.156925973595304,3.0,	5P0000260
1.466,3.69259735953042E-02,3.0,	5P0000261
1.6030740264047,0.174,3.0,	5P0000262
1.7969259735953,0.174,3.0,	5P0000263
1.934,3.69259735953042E-02,3.0,	5P0000264
1.934,-0.156925973595304,3.0,	5P0000265
1.7969259735953,-0.294,3.0,	5P0000266
1.6030740264047,-0.294,3.0,	5P0000267
1.807695526217,0.2,3.26,	5P0000268
1.96,4.76955262170047E-02,3.26,	5P0000269
1.96,-0.167695526217005,3.26,	5P0000270
1.807695526217,-0.32,3.26,	5P0000271
1.592304473783,-0.32,3.26,	5P0000272
1.44,-0.167695526217005,3.26,	5P0000273
1.44,4.76955262170047E-02,3.26,	5P0000274
1.592304473783,0.2,3.26,	5P0000275
1.807695526217,0.2,3.26,	5P0000276
1.96,4.76955262170047E-02,3.26,	5P0000277
1.96,-0.167695526217005,3.26,	5P0000278
1.807695526217,-0.32,3.26,	5P0000279
1.592304473783,-0.32,3.26,	5P0000280
1.80231074990615,0.187,3.52,	5P0000281
1.947,4.23107499061545E-02,3.52,	5P0000282
1.947,-0.162310749906154,3.52,	5P0000283
1.80231074990615,-0.307,3.52,	5P0000284
1.59768925009385,-0.307,3.52,	5P0000285
1.453,-0.162310749906154,3.52,	5P0000286
1.453,4.23107499061545E-02,3.52,	5P0000287
1.59768925009385,0.187,3.52,	5P0000288
1.80231074990615,0.187,3.52,	5P0000289
1.947,4.23107499061545E-02,3.52,	5P0000290
1.947,-0.162310749906154,3.52,	5P0000291
1.80231074990615,-0.307,3.52,	5P0000292
1.59768925009385,-0.307,3.52,	5P0000293
1.80231074990615,0.187,3.78,	5P0000294
1.947,4.23107499061545E-02,3.78,	5P0000295
1.947,-0.162310749906154,3.78,	5P0000296
1.80231074990615,-0.307,3.78,	5P0000297
1.59768925009385,-0.307,3.78,	5P0000298
1.453,-0.162310749906154,3.78,	5P0000299
1.453,4.23107499061545E-02,3.78,	5P0000300
1.59768925009385,0.187,3.78,	5P0000301
1.80231074990615,0.187,3.78,	5P0000302
1.947,4.23107499061545E-02,3.78,	5P0000303
1.947,-0.162310749906154,3.78,	5P0000304
1.80231074990615,-0.307,3.78,	5P0000305
1.59768925009385,-0.307,3.78,	5P0000306
1.7861564209736,0.148,4.04,	5P0000307
1.908,2.61564209736038E-02,4.04,	5P0000308
1.908,-0.146156420973604,4.04,	5P0000309
1.7861564209736,-0.268,4.04,	5P0000310
1.6138435790264,-0.268,4.04,	5P0000311
1.492,-0.146156420973604,4.04,	5P0000312
1.492,2.61564209736038E-02,4.04,	5P0000313
1.6138435790264,0.148,4.04,	5P0000314
1.7861564209736,0.148,4.04,	5P0000315
1.908,2.61564209736038E-02,4.04,	5P0000316
1.908,-0.146156420973604,4.04,	5P0000317
1.7861564209736,-0.268,4.04,	5P0000318
1.6138435790264,-0.268,4.04,	5P0000319
1.78077164466275,0.135,4.3,	5P0000320
1.895,2.07716446627535E-02,4.3,	5P0000321
1.895,-0.140771644662754,4.3,	5P0000322
1.78077164466275,-0.255,4.3,	5P0000323
1.61922835533725,-0.255,4.3,	5P0000324
1.505,-0.140771644662754,4.3,	5P0000325
1.505,2.07716446627535E-02,4.3,	5P0000326
1.61922835533725,0.135,4.3,	5P0000327
1.78077164466275,0.135,4.3,	5P0000328
1.895,2.07716446627535E-02,4.3,	5P0000329
1.895,-0.140771644662754,4.3,	5P0000330
1.78077164466275,-0.255,4.3,	5P0000331
1.61922835533725,-0.255,4.3,	5P0000332
0.0,10.0,0.0,4.0;	5P0000333

128,12,5,2,2,0,0,1,0,0,	7P0000334
0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,	7P0000335
14.0,15.0,	7P0000336
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	7P0000337
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	7P0000338
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	7P0000339
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	7P0000340
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	7P0000341
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	7P0000342
3.0969259735953,0.064,4.0,	7P0000343
3.234,-7.30740264046958E-02,4.0,	7P0000344
3.234,-0.266925973595304,4.0,	7P0000345
3.0969259735953,-0.404,4.0,	7P0000346
2.9030740264047,-0.404,4.0,	7P0000347
2.766,-0.266925973595304,4.0,	7P0000348
2.766,-7.30740264046958E-02,4.0,	7P0000349
2.9030740264047,0.064,4.0,	7P0000350
3.0969259735953,0.064,4.0,	7P0000351
3.234,-7.30740264046958E-02,4.0,	7P0000352
3.234,-0.266925973595304,4.0,	7P0000353
3.0969259735953,-0.404,4.0,	7P0000354
2.9030740264047,-0.404,4.0,	7P0000355
3.107695526217,0.09,4.26,	7P0000356
3.26,-6.23044737829953E-02,4.26,	7P0000357
3.26,-0.277695526217005,4.26,	7P0000358
3.107695526217,-0.43,4.26,	7P0000359
2.892304473783,-0.43,4.26,	7P0000360
2.74,-0.277695526217005,4.26,	7P0000361
2.74,-6.23044737829953E-02,4.26,	7P0000362
2.892304473783,0.09,4.26,	7P0000363
3.107695526217,0.09,4.26,	7P0000364
3.26,-6.23044737829953E-02,4.26,	7P0000365
3.26,-0.277695526217005,4.26,	7P0000366
3.107695526217,-0.43,4.26,	7P0000367
2.892304473783,-0.43,4.26,	7P0000368
3.10231074990615,0.077,4.52,	7P0000369
3.247,-6.76892500938455E-02,4.52,	7P0000370
3.247,-0.272310749906154,4.52,	7P0000371
3.10231074990615,-0.417,4.52,	7P0000372
2.89768925009385,-0.417,4.52,	7P0000373
2.753,-0.272310749906154,4.52,	7P0000374
2.753,-6.76892500938455E-02,4.52,	7P0000375
2.89768925009385,0.077,4.52,	7P0000376
3.10231074990615,0.077,4.52,	7P0000377
3.247,-6.76892500938455E-02,4.52,	7P0000378
3.247,-0.272310749906154,4.52,	7P0000379
3.10231074990615,-0.417,4.52,	7P0000380
2.89768925009385,-0.417,4.52,	7P0000381
3.10231074990615,0.077,4.78,	7P0000382
3.247,-6.76892500938455E-02,4.78,	7P0000383
3.247,-0.272310749906154,4.78,	7P0000384
3.10231074990615,-0.417,4.78,	7P0000385
2.89768925009385,-0.417,4.78,	7P0000386
2.753,-0.272310749906154,4.78,	7P0000387
2.753,-6.76892500938455E-02,4.78,	7P0000388
2.89768925009385,0.077,4.78,	7P0000389
3.10231074990615,0.077,4.78,	7P0000390
3.247,-6.76892500938455E-02,4.78,	7P0000391
3.247,-0.272310749906154,4.78,	7P0000392
3.10231074990615,-0.417,4.78,	7P0000393
2.89768925009385,-0.417,4.78,	7P0000394
3.0861564209736,0.038,5.04,	7P0000395
3.208,-8.38435790263962E-02,5.04,	7P0000396
3.208,-0.256156420973604,5.04,	7P0000397
3.0861564209736,-0.378,5.04,	7P0000398
2.9138435790264,-0.378,5.04,	7P0000399
2.792,-0.256156420973604,5.04,	7P0000400
2.792,-8.38435790263962E-02,5.04,	7P0000401
2.9138435790264,0.038,5.04,	7P0000402
3.0861564209736,0.038,5.04,	7P0000403
3.208,-8.38435790263962E-02,5.04,	7P0000404
3.208,-0.256156420973604,5.04,	7P0000405
3.0861564209736,-0.378,5.04,	7P0000406
2.9138435790264,-0.378,5.04,	7P0000407
3.08077164466275,0.025,5.3,	7P0000408
3.195,-8.92283553372465E-02,5.3,	7P0000409

3.195,-0.250771644662754,5.3,	7P0000410
3.08077164466275,-0.365,5.3,	7P0000411
2.91922835533725,-0.365,5.3,	7P0000412
2.805,-0.250771644662754,5.3,	7P0000413
2.805,-8.92283553372465E-02,5.3,	7P0000414
2.91922835533725,0.025,5.3,	7P0000415
3.08077164466275,0.025,5.3,	7P0000416
3.195,-8.92283553372465E-02,5.3,	7P0000417
3.195,-0.250771644662754,5.3,	7P0000418
3.08077164466275,-0.365,5.3,	7P0000419
2.91922835533725,-0.365,5.3,	7P0000420
0.0,10.0,0.0,4.0;	7P0000421
128,12,5,2,2,0,0,1,0,0,	9P0000422
0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,	9P0000423
14.0,15.0,	9P0000424
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	9P0000425
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	9P0000426
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	9P0000427
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	9P0000428
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	9P0000429
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	9P0000430
-1.6030740264047,0.174,3.0,	9P0000431
-1.466,3.69259735953042E-02,3.0,	9P0000432
-1.466,-0.156925973595304,3.0,	9P0000433
-1.6030740264047,-0.294,3.0,	9P0000434
-1.7969259735953,-0.294,3.0,	9P0000435
-1.934,-0.156925973595304,3.0,	9P0000436
-1.934,3.69259735953042E-02,3.0,	9P0000437
-1.7969259735953,0.174,3.0,	9P0000438
-1.6030740264047,0.174,3.0,	9P0000439
-1.466,3.69259735953042E-02,3.0,	9P0000440
-1.466,-0.156925973595304,3.0,	9P0000441
-1.6030740264047,-0.294,3.0,	9P0000442
-1.7969259735953,-0.294,3.0,	9P0000443
-1.592304473783,0.2,3.26,	9P0000444
-1.44,4.76955262170047E-02,3.26,	9P0000445
-1.44,-0.167695526217005,3.26,	9P0000446
-1.592304473783,-0.32,3.26,	9P0000447
-1.807695526217,-0.32,3.26,	9P0000448
-1.96,-0.167695526217005,3.26,	9P0000449
-1.96,4.76955262170047E-02,3.26,	9P0000450
-1.807695526217,0.2,3.26,	9P0000451
-1.592304473783,0.2,3.26,	9P0000452
-1.44,4.76955262170047E-02,3.26,	9P0000453
-1.44,-0.167695526217005,3.26,	9P0000454
-1.592304473783,-0.32,3.26,	9P0000455
-1.807695526217,-0.32,3.26,	9P0000456
-1.59768925009385,0.187,3.52,	9P0000457
-1.453,4.23107499061545E-02,3.52,	9P0000458
-1.453,-0.162310749906154,3.52,	9P0000459
-1.59768925009385,-0.307,3.52,	9P0000460
-1.80231074990615,-0.307,3.52,	9P0000461
-1.947,-0.162310749906154,3.52,	9P0000462
-1.947,4.23107499061545E-02,3.52,	9P0000463
-1.80231074990615,0.187,3.52,	9P0000464
-1.59768925009385,0.187,3.52,	9P0000465
-1.453,4.23107499061545E-02,3.52,	9P0000466
-1.453,-0.162310749906154,3.52,	9P0000467
-1.59768925009385,-0.307,3.52,	9P0000468
-1.80231074990615,-0.307,3.52,	9P0000469
-1.59768925009385,0.187,3.78,	9P0000470
-1.453,4.23107499061545E-02,3.78,	9P0000471
-1.453,-0.162310749906154,3.78,	9P0000472
-1.59768925009385,-0.307,3.78,	9P0000473
-1.80231074990615,-0.307,3.78,	9P0000474
-1.947,-0.162310749906154,3.78,	9P0000475
-1.947,4.23107499061545E-02,3.78,	9P0000476
-1.80231074990615,0.187,3.78,	9P0000477
-1.59768925009385,0.187,3.78,	9P0000478
-1.453,4.23107499061545E-02,3.78,	9P0000479
-1.453,-0.162310749906154,3.78,	9P0000480
-1.59768925009385,-0.307,3.78,	9P0000481
-1.80231074990615,-0.307,3.78,	9P0000482
-1.6138435790264,0.148,4.04,	9P0000483
-1.492,2.61564209736038E-02,4.04,	9P0000484
-1.492,-0.146156420973604,4.04,	9P0000485

-1.6138435790264,-0.268,4.04,	9P0000486
-1.7861564209736,-0.268,4.04,	9P0000487
-1.908,-0.146156420973604,4.04,	9P0000488
-1.908,2.61564209736038E-02,4.04,	9P0000489
-1.7861564209736,0.148,4.04,	9P0000490
-1.6138435790264,0.148,4.04,	9P0000491
-1.492,2.61564209736038E-02,4.04,	9P0000492
-1.492,-0.146156420973604,4.04,	9P0000493
-1.6138435790264,-0.268,4.04,	9P0000494
-1.7861564209736,-0.268,4.04,	9P0000495
-1.61922835533725,0.135,4.3,	9P0000496
-1.505,2.07716446627535E-02,4.3,	9P0000497
-1.505,-0.140771644662754,4.3,	9P0000498
-1.61922835533725,-0.255,4.3,	9P0000499
-1.78077164466275,-0.255,4.3,	9P0000500
-1.895,-0.140771644662754,4.3,	9P0000501
-1.895,2.07716446627535E-02,4.3,	9P0000502
-1.78077164466275,0.135,4.3,	9P0000503
-1.61922835533725,0.135,4.3,	9P0000504
-1.505,2.07716446627535E-02,4.3,	9P0000505
-1.505,-0.140771644662754,4.3,	9P0000506
-1.61922835533725,-0.255,4.3,	9P0000507
-1.78077164466275,-0.255,4.3,	9P0000508
0.0,10.0,0.0,4.0;	9P0000509
128,12,5,2,2,0,0,1,0,0,	11P0000510
0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,	11P0000511
14.0,15.0,	11P0000512
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	11P0000513
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	11P0000514
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	11P0000515
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	11P0000516
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	11P0000517
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	11P0000518
-2.9030740264047,0.064,4.0,	11P0000519
-2.766,-7.30740264046958E-02,4.0,	11P0000520
-2.766,-0.266925973595304,4.0,	11P0000521
-2.9030740264047,-0.404,4.0,	11P0000522
-3.0969259735953,-0.404,4.0,	11P0000523
-3.234,-0.266925973595304,4.0,	11P0000524
-3.234,-7.30740264046958E-02,4.0,	11P0000525
-3.0969259735953,0.064,4.0,	11P0000526
-2.9030740264047,0.064,4.0,	11P0000527
-2.766,-7.30740264046958E-02,4.0,	11P0000528
-2.766,-0.266925973595304,4.0,	11P0000529
-2.9030740264047,-0.404,4.0,	11P0000530
-3.0969259735953,-0.404,4.0,	11P0000531
-2.892304473783,0.09,4.26,	11P0000532
-2.74,-6.23044737829953E-02,4.26,	11P0000533
-2.74,-0.277695526217005,4.26,	11P0000534
-2.892304473783,-0.43,4.26,	11P0000535
-3.107695526217,-0.43,4.26,	11P0000536
-3.26,-0.277695526217005,4.26,	11P0000537
-3.26,-6.23044737829953E-02,4.26,	11P0000538
-3.107695526217,0.09,4.26,	11P0000539
-2.892304473783,0.09,4.26,	11P0000540
-2.74,-6.23044737829953E-02,4.26,	11P0000541
-2.74,-0.277695526217005,4.26,	11P0000542
-2.892304473783,-0.43,4.26,	11P0000543
-3.107695526217,-0.43,4.26,	11P0000544
-2.89768925009385,0.077,4.52,	11P0000545
-2.753,-6.76892500938455E-02,4.52,	11P0000546
-2.753,-0.272310749906154,4.52,	11P0000547
-2.89768925009385,-0.417,4.52,	11P0000548
-3.10231074990615,-0.417,4.52,	11P0000549
-3.247,-0.272310749906154,4.52,	11P0000550
-3.247,-6.76892500938455E-02,4.52,	11P0000551
-3.10231074990615,0.077,4.52,	11P0000552
-2.89768925009385,0.077,4.52,	11P0000553
-2.753,-6.76892500938455E-02,4.52,	11P0000554
-2.753,-0.272310749906154,4.52,	11P0000555
-2.89768925009385,-0.417,4.52,	11P0000556
-3.10231074990615,-0.417,4.52,	11P0000557
-2.89768925009385,0.077,4.78,	11P0000558
-2.753,-6.76892500938455E-02,4.78,	11P0000559
-2.753,-0.272310749906154,4.78,	11P0000560
-2.89768925009385,-0.417,4.78,	11P0000561

-3.10231074990615,-0.417,4.78,	11P0000562
-3.247,-0.272310749906154,4.78,	11P0000563
-3.247,-6.76892500938455E-02,4.78,	11P0000564
-3.10231074990615,0.077,4.78,	11P0000565
-2.89768925009385,0.077,4.78,	11P0000566
-2.753,-6.76892500938455E-02,4.78,	11P0000567
-2.753,-0.272310749906154,4.78,	11P0000568
-2.89768925009385,-0.417,4.78,	11P0000569
-3.10231074990615,-0.417,4.78,	11P0000570
-2.9138435790264,0.038,5.04,	11P0000571
-2.792,-8.38435790263962E-02,5.04,	11P0000572
-2.792,-0.256156420973604,5.04,	11P0000573
-2.9138435790264,-0.378,5.04,	11P0000574
-3.0861564209736,-0.378,5.04,	11P0000575
-3.208,-0.256156420973604,5.04,	11P0000576
-3.208,-8.38435790263962E-02,5.04,	11P0000577
-3.0861564209736,0.038,5.04,	11P0000578
-2.9138435790264,0.038,5.04,	11P0000579
-2.792,-8.38435790263962E-02,5.04,	11P0000580
-2.792,-0.256156420973604,5.04,	11P0000581
-2.9138435790264,-0.378,5.04,	11P0000582
-3.0861564209736,-0.378,5.04,	11P0000583
-2.91922835533725,0.025,5.3,	11P0000584
-2.805,-8.92283553372465E-02,5.3,	11P0000585
-2.805,-0.250771644662754,5.3,	11P0000586
-2.91922835533725,-0.365,5.3,	11P0000587
-3.08077164466275,-0.365,5.3,	11P0000588
-3.195,-0.250771644662754,5.3,	11P0000589
-3.195,-8.92283553372465E-02,5.3,	11P0000590
-3.08077164466275,0.025,5.3,	11P0000591
-2.91922835533725,0.025,5.3,	11P0000592
-2.805,-8.92283553372465E-02,5.3,	11P0000593
-2.805,-0.250771644662754,5.3,	11P0000594
-2.91922835533725,-0.365,5.3,	11P0000595
-3.08077164466275,-0.365,5.3,	11P0000596
0.0,10.0,0.0,4.0;	11P0000597
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	13P0000598
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	13P0000599
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	13P0000600
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	13P0000601
1.0,1.0,	13P0000602
0.0,0.595,4.6875,	13P0000603
0.0,0.522857385085146,2.88278569611861,	13P0000604
0.0,0.662321731356432,2.43710714134322,	13P0000605
0.0,0.684821731356432,2.43789285865678,	13P0000606
0.0,0.792857385085146,2.89221430388139,	13P0000607
0.0,0.595,4.6875,	13P0000608
2.5,0.37627834118519,5.28712567297406,	13P0000609
2.5,0.30877834118519,4.38712567297406,	13P0000610
2.5,0.37065334118519,4.16212567297406,	13P0000611
2.5,0.38190334118519,4.16212567297406,	13P0000612
2.5,0.44377834118519,4.38712567297406,	13P0000613
2.5,0.37627834118519,5.28712567297406,	13P0000614
5.0,0.15755668237038,6.39300134594813,	13P0000615
5.0,9.81994668448367E-02,5.85441563711254,	13P0000616
5.0,0.130610162963451,5.71811920354516,	13P0000617
5.0,0.137360162963451,5.71788348835109,	13P0000618
5.0,0.179199466844837,5.85158705478371,	13P0000619
5.0,0.15755668237038,6.39300134594813,	13P0000620
0.0,1.0,0.0,1.0;	13P0000621
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	15P0000622
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	15P0000623
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	15P0000624
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	15P0000625
1.0,1.0,	15P0000626
0.0,0.595,4.6875,	15P0000627
0.0,0.522857385085146,2.88278569611861,	15P0000628
0.0,0.662321731356432,2.43710714134322,	15P0000629
0.0,0.684821731356432,2.43789285865678,	15P0000630
0.0,0.792857385085146,2.89221430388139,	15P0000631
0.0,0.595,4.6875,	15P0000632
-2.5,0.37627834118519,5.28712567297406,	15P0000633
-2.5,0.30877834118519,4.38712567297406,	15P0000634
-2.5,0.37065334118519,4.16212567297406,	15P0000635
-2.5,0.38190334118519,4.16212567297406,	15P0000636
-2.5,0.44377834118519,4.38712567297406,	15P0000637

-2.5,0.37627834118519,5.28712567297406,	15P0000638
-5.0,0.15755668237038,6.39300134594813,	15P0000639
-5.0,9.81994668448367E-02,5.85441563711254,	15P0000640
-5.0,0.130610162963451,5.71811920354516,	15P0000641
-5.0,0.137360162963451,5.71788348835109,	15P0000642
-5.0,0.179199466844837,5.85158705478371,	15P0000643
-5.0,0.15755668237038,6.39300134594813,	15P0000644
0.0,1.0,0.0,1.0;	15P0000645
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	17P0000646
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	17P0000647
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	17P0000648
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	17P0000649
1.0,1.0,	17P0000650
0.0,0.63,9.85,	17P0000651
0.108,0.63,8.41,	17P0000652
0.009,0.63,8.05,	17P0000653
-0.009,0.63,8.05,	17P0000654
-0.108,0.63,8.41,	17P0000655
0.0,0.63,9.85,	17P0000656
1.21165691412475E-15,1.38,10.0805127018922,	17P0000657
9.18000000000012E-02,1.38,8.85651270189222,	17P0000658
7.65000000000121E-03,1.38,8.55051270189222,	17P0000659
-7.64999999999879E-03,1.38,8.55051270189222,	17P0000660
-9.17999999999988E-02,1.38,8.85651270189222,	17P0000661
1.21165691412475E-15,1.38,10.0805127018922,	17P0000662
2.42331382824951E-15,2.13,10.3110254037844,	17P0000663
7.56000000000024E-02,2.13,9.30302540378444,	17P0000664
6.300000000000242E-03,2.13,9.05102540378444,	17P0000665
-6.29999999999758E-03,2.13,9.05102540378444,	17P0000666
-7.5599999999976E-02,2.13,9.30302540378444,	17P0000667
2.42331382824951E-15,2.13,10.3110254037844,	17P0000668
0.0,1.0,0.0,1.0;	17P0000669
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	19P0000670
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	19P0000671
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	19P0000672
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	19P0000673
1.0,1.0,	19P0000674
0.0,2.135,10.35,	19P0000675
0.0,2.063,9.39,	19P0000676
0.0,2.129,9.15,	19P0000677
0.0,2.141,9.15,	19P0000678
0.0,2.207,9.39,	19P0000679
0.0,2.135,10.35,	19P0000680
0.75,2.135,10.3979776756997,	19P0000681
0.75,2.081,9.67797767569965,	19P0000682
0.75,2.1305,9.49797767569965,	19P0000683
0.75,2.1395,9.49797767569965,	19P0000684
0.75,2.189,9.67797767569965,	19P0000685
0.75,2.135,10.3979776756997,	19P0000686
1.5,2.135,10.4459553513993,	19P0000687
1.5,2.099,9.9659553513993,	19P0000688
1.5,2.132,9.8459553513993,	19P0000689
1.5,2.138,9.8459553513993,	19P0000690
1.5,2.171,9.9659553513993,	19P0000691
1.5,2.135,10.4459553513993,	19P0000692
0.0,1.0,0.0,1.0;	19P0000693
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	21P0000694
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	21P0000695
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	21P0000696
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	21P0000697
1.0,1.0,	21P0000698
0.0,2.135,10.35,	21P0000699
0.0,2.063,9.39,	21P0000700
0.0,2.129,9.15,	21P0000701
0.0,2.141,9.15,	21P0000702
0.0,2.207,9.39,	21P0000703
0.0,2.135,10.35,	21P0000704
-0.75,2.135,10.3979776756997,	21P0000705
-0.75,2.081,9.67797767569965,	21P0000706
-0.75,2.1305,9.49797767569965,	21P0000707
-0.75,2.1395,9.49797767569965,	21P0000708
-0.75,2.189,9.67797767569965,	21P0000709
-0.75,2.135,10.3979776756997,	21P0000710
-1.5,2.135,10.4459553513993,	21P0000711
-1.5,2.099,9.9659553513993,	21P0000712
-1.5,2.132,9.8459553513993,	21P0000713

-1.5,2.138,9.8459553513993,	21P0000714
-1.5,2.171,9.9659553513993,	21P0000715
-1.5,2.135,10.4459553513993,	21P0000716
0.0,1.0,0.0,1.0;	21P0000717
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	23P0000718
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	23P0000719
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	23P0000720
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	23P0000721
1.0,1.0,	23P0000722
1.7,0.17,3.8625,	23P0000723
1.745,0.17,3.2625,	23P0000724
1.70375,0.17,3.1125,	23P0000725
1.69625,0.17,3.1125,	23P0000726
1.655,0.17,3.2625,	23P0000727
1.7,0.17,3.8625,	23P0000728
1.7,0.32,4.12230762113533,	23P0000729
1.745,0.32,3.52230762113533,	23P0000730
1.70375,0.32,3.37230762113533,	23P0000731
1.69625,0.32,3.37230762113533,	23P0000732
1.655,0.32,3.52230762113533,	23P0000733
1.7,0.32,4.12230762113533,	23P0000734
1.7,0.47,4.38211524227066,	23P0000735
1.745,0.47,3.78211524227066,	23P0000736
1.70375,0.47,3.63211524227066,	23P0000737
1.69625,0.47,3.63211524227066,	23P0000738
1.655,0.47,3.78211524227066,	23P0000739
1.7,0.47,4.38211524227066,	23P0000740
0.0,1.0,0.0,1.0;	23P0000741
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	25P0000742
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	25P0000743
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	25P0000744
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	25P0000745
1.0,1.0,	25P0000746
-1.7,0.17,3.8625,	25P0000747
-1.745,0.17,3.2625,	25P0000748
-1.70375,0.17,3.1125,	25P0000749
-1.69625,0.17,3.1125,	25P0000750
-1.655,0.17,3.2625,	25P0000751
-1.7,0.17,3.8625,	25P0000752
-1.7,0.32,4.12230762113533,	25P0000753
-1.745,0.32,3.52230762113533,	25P0000754
-1.70375,0.32,3.37230762113533,	25P0000755
-1.69625,0.32,3.37230762113533,	25P0000756
-1.655,0.32,3.52230762113533,	25P0000757
-1.7,0.32,4.12230762113533,	25P0000758
-1.7,0.47,4.38211524227066,	25P0000759
-1.745,0.47,3.78211524227066,	25P0000760
-1.70375,0.47,3.63211524227066,	25P0000761
-1.69625,0.47,3.63211524227066,	25P0000762
-1.655,0.47,3.78211524227066,	25P0000763
-1.7,0.47,4.38211524227066,	25P0000764
0.0,1.0,0.0,1.0;	25P0000765
128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	27P0000766
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	27P0000767
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	27P0000768
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	27P0000769
1.0,1.0,	27P0000770
3.0,0.04,4.8625,	27P0000771
3.045,3.999999999999999E-02,4.2625,	27P0000772
3.00375,0.04,4.1125,	27P0000773
2.99625,0.04,4.1125,	27P0000774
2.955,4.000000000000001E-02,4.2625,	27P0000775
3.0,0.04,4.8625,	27P0000776
3.0,0.19,5.12230762113533,	27P0000777
3.045,0.19,4.52230762113533,	27P0000778
3.00375,0.19,4.37230762113533,	27P0000779
2.99625,0.19,4.37230762113533,	27P0000780
2.955,0.19,4.52230762113533,	27P0000781
3.0,0.19,5.12230762113533,	27P0000782
3.0,0.34,5.38211524227066,	27P0000783
3.045,0.34,4.78211524227066,	27P0000784
3.00375,0.34,4.63211524227066,	27P0000785
2.99625,0.34,4.63211524227066,	27P0000786
2.955,0.34,4.78211524227066,	27P0000787
3.0,0.34,5.38211524227066,	27P0000788
0.0,1.0,0.0,1.0;	27P0000789

128,5,2,2,2,0,0,1,0,0,	29P0000790
0.0,0.0,0.0,1.0,2.0,3.0,4.0,4.0,4.0,	29P0000791
0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,	29P0000792
1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,	29P0000793
1.0,1.0,	29P0000794
-3.0,0.04,4.8625,	29P0000795
-3.045,3.999999999999999E-02,4.2625,	29P0000796
-3.00375,0.04,4.1125,	29P0000797
-2.99625,0.04,4.1125,	29P0000798
-2.955,4.000000000000001E-02,4.2625,	29P0000799
-3.0,0.04,4.8625,	29P0000800
-3.0,0.19,5.12230762113533,	29P0000801
-3.045,0.19,4.52230762113533,	29P0000802
-3.00375,0.19,4.37230762113533,	29P0000803
-2.99625,0.19,4.37230762113533,	29P0000804
-2.955,0.19,4.52230762113533,	29P0000805
-3.0,0.19,5.12230762113533,	29P0000806
-3.0,0.34,5.38211524227066,	29P0000807
-3.045,0.34,4.78211524227066,	29P0000808
-3.00375,0.34,4.63211524227066,	29P0000809
-2.99625,0.34,4.63211524227066,	29P0000810
-2.955,0.34,4.78211524227066,	29P0000811
-3.0,0.34,5.38211524227066,	29P0000812
0.0,1.0,0.0,1.0;	29P0000813
S00000001G0000004D0000030P0000813	T00000001

Στη συνέχεια παρατίθεται το STEP αρχείο εξόδου του λογισμικού GePAS για το αεροσκάφος τύπου B58, όπως προέκυψε από το λογισμικό που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας:

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('GePAS DOG TUC-STEP format Output'),'2;1');
FILE_NAME('b58.stp','30/03/2005 19:36:28',('DOG'),('TUC'),'GePAS','GePAS STEP
AP203','DOG');
FILE_SCHEMA(('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;
DATA;
#1=APPLICATION_CONTEXT('configuration controlled 3D design of mechanical parts and
assemblies') ;
#2=MECHANICAL_CONTEXT(' ','#1,'mechanical') ;
#3=DESIGN_CONTEXT(' ','#1,'design') ;
#4=APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('international
standard','config_control_design',1994,#1) ;
#5=PRODUCT('Part1','','',( #2)) ;
#6=PRODUCT_DEFINITION_FORMATION_WITH_SPECIFIED_SOURCE(' ',' ',#5,.MADE.) ;
#7=PRODUCT_CATEGORY('part',$) ;
#8=PRODUCT_RELATED_PRODUCT_CATEGORY('detail',$,(#5)) ;
#9=PRODUCT_CATEGORY_RELATIONSHIP(' ',' ',#7,#8) ;
#10=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.) ;
#11=CALENDAR_DATE(2005,28,3) ;
#12=LOCAL_TIME(22,16,51.,#10) ;
#13=DATE_AND_TIME(#11,#12) ;
#14=PRODUCT_DEFINITION(' ',' ',#6,#3) ;
#15=SECURITY_CLASSIFICATION_LEVEL('unclassified') ;
#16=SECURITY_CLASSIFICATION(' ',' ',#15) ;
#17=DATE_TIME_ROLE('classification_date') ;
#18=CC_DESIGN_DATE_AND_TIME_ASSIGNMENT(#13,#17,(#16)) ;
#19=APPROVAL_ROLE('APPROVER') ;
#20=APPROVAL_STATUS('not_yet_approved') ;
#21=APPROVAL(#20,' ') ;
#22=PERSON(' ',' ',' ',#21,$,$,$) ;
#23=ORGANIZATION(' ',' ',' ',#21,$,$,$) ;
#24=PERSONAL_ADDRESS(' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',(#22),' ') ;
#25=PERSON_AND_ORGANIZATION(#22,#23) ;
#26=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('classification_officer') ;
#27=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#26,(#16)) ;
#28=DATE_TIME_ROLE('creation_date') ;
#29=CC_DESIGN_DATE_AND_TIME_ASSIGNMENT(#13,#28,(#14)) ;
#30=CC DESIGN APPROVAL(#21,(#16.#6.#14)) ;
```



```

#31=APPROVAL_PERSON_ORGANIZATION(#25,#21,#19) ;
#32=APPROVAL_DATE_TIME(#13,#21) ;
#33=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#34,(#6)) ;
#34=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_supplier') ;
#35=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#36,(#6,#14)) ;
#36=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('creator') ;
#37=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#25,#38,(#5)) ;
#38=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_owner') ;
#39=CC_DESIGN_SECURITY_CLASSIFICATION(#16,(#6)) ;
#40=PRODUCT_DEFINITION_SHAPE(' ',' ',#14) ;
#41=(LENGTH_UNIT()NAMED_UNIT(*)SI_UNIT(.MILLI.,.METRE.)) ;
#42=(NAMED_UNIT(*)PLANE_ANGLE_UNIT()SI_UNIT($,.RADIAN.)) ;
#43=PLANE_ANGLE_MEASURE_WITH_UNIT(PLANE_ANGLE_MEASURE(0.0174532925199),#42) ;
#44=(NAMED_UNIT(*)SI_UNIT($,.STERADIAN.)SOLID_ANGLE_UNIT()) ;
#45=UNCERTAINTY_MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(0.005),#41,'TOL_CRV','CONFUSED CURVE
UNCERTAINTY') ;
#46=(GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(3)GLOBAL_UNCERTAINTY_ASSIGNED_CONTEXT((#45))GLOB
AL_UNIT_ASSIGNED_CONTEXT((#41,#42,#44))REPRESENTATION_CONTEXT(' ',' ')) ;
#47=CARTESIAN_POINT(' ',(0.,0.,0.)) ;
#48=AXIS2_PLACEMENT_3D(' ',#47,$,$) ;
#49=SHAPE_REPRESENTATION(' ',(#48),#46) ;
#50=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#49) ;
#51=OPEN_SHELL('F_lagel',(#197));
#52=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#51));
#53=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS(' ',2,2,((#54,#67,#80,#93,#106,#119,#132,#145,#158,#171
,#184),(#55,#68,#81,#94,#107,#120,#133,#146,#159,#172,#185),(#56,#69,#82,#95,#108,#121
,#134,#147,#160,#173,#186),(#57,#70,#83,#96,#109,#122,#135,#148,#161,#174,#187),(#58,#
71,#84,#97,#110,#123,#136,#149,#162,#175,#188),(#59,#72,#85,#98,#111,#124,#137,#150,#1
63,#176,#189),(#60,#73,#86,#99,#112,#125,#138,#151,#164,#177,#190),(#61,#74,#87,#100,#
113,#126,#139,#152,#165,#178,#191),(#62,#75,#88,#101,#114,#127,#140,#153,#166,#179,#19
2),(#63,#76,#89,#102,#115,#128,#141,#154,#167,#180,#193),(#64,#77,#90,#103,#116,#129,#
142,#155,#168,#181,#194),(#65,#78,#91,#104,#117,#130,#143,#156,#169,#182,#195),(#66,#7
9,#92,#105,#118,#131,#144,#157,#170,#183,#196)),.UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1),(3,1,1,1,1,1,1,1,1,3),(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15),(0
,1,2,3,4,5,6,7,8,9),.UNSPECIFIED.);
#54=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#55=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#56=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#57=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#58=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#59=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#60=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#61=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#62=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#63=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#64=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#65=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#66=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.15,0));
#67=CARTESIAN_POINT('Control Point',(7.95290039756342E-02,0.15,1));
#68=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.192,6.21320343559642E-02,1));
#69=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.192,-0.124264068711928,1));
#70=CARTESIAN_POINT('Control Point',(7.95290039756342E-02,-0.3,1));
#71=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-7.95290039756342E-02,-0.3,1));
#72=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.192,-0.124264068711928,1));
#73=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.192,6.21320343559642E-02,1));
#74=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-7.95290039756342E-02,0.15,1));
#75=CARTESIAN_POINT('Control Point',(7.95290039756342E-02,0.15,1));
#76=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.192,6.21320343559642E-02,1));
#77=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.192,-0.124264068711928,1));
#78=CARTESIAN_POINT('Control Point',(7.95290039756342E-02,-0.3,1));
#79=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-7.95290039756342E-02,-0.3,1));
#80=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.39,2));
#81=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.161543289325507,2));
#82=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,2));
#83=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,2));
#84=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,2));
#85=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,-0.124264068711928,2));
#86=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,0.161543289325507,2));
#87=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,0.39,2));
#88=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.39,2));
#89=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.161543289325507,2));
#90=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,2));
#91=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,2));
#92=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,2));
#93=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,3));
#94=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,3));

```

```

#95=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,3));
#96=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,3));
#97=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,3));
#98=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,-0.124264068711928,3));
#99=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,0.124264068711928,3));
#100=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,0.3,3));
#101=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,3));
#102=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,3));
#103=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,3));
#104=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,3));
#105=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,3));
#106=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,4));
#107=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,4));
#108=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,4));
#109=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,4));
#110=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,4));
#111=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,-0.124264068711928,4));
#112=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,0.124264068711928,4));
#113=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,0.3,4));
#114=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,4));
#115=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,4));
#116=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,4));
#117=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,4));
#118=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,4));
#119=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,5));
#120=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,5));
#121=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,5));
#122=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,5));
#123=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,5));
#124=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,-0.124264068711928,5));
#125=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,0.124264068711928,5));
#126=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,0.3,5));
#127=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,5));
#128=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,5));
#129=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,5));
#130=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,5));
#131=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,5));
#132=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,6));
#133=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,6));
#134=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,6));
#135=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,6));
#136=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,6));
#137=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,-0.124264068711928,6));
#138=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,0.124264068711928,6));
#139=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,0.3,6));
#140=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.3,6));
#141=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.124264068711928,6));
#142=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-0.124264068711928,6));
#143=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.3,6));
#144=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.3,6));
#145=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.33,7));
#146=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.154264068711928,7));
#147=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-9.42640687119285E-02,7));
#148=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.27,7));
#149=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.27,7));
#150=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,-9.42640687119285E-02,7));
#151=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.24,0.154264068711928,7));
#152=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,0.33,7));
#153=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,0.33,7));
#154=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,0.154264068711928,7));
#155=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.24,-9.42640687119285E-02,7));
#156=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.94112549695428E-02,-0.27,7));
#157=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-9.94112549695428E-02,-0.27,7));
#158=CARTESIAN_POINT('Control Point',(8.94701294725885E-02,0.36,8));
#159=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.216,0.201837661840736,8));
#160=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.216,-2.18376618407357E-02,8));
#161=CARTESIAN_POINT('Control Point',(8.94701294725885E-02,-0.18,8));
#162=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-8.94701294725885E-02,-0.18,8));
#163=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.216,-2.18376618407357E-02,8));
#164=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.216,0.201837661840736,8));
#165=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-8.94701294725885E-02,0.36,8));
#166=CARTESIAN_POINT('Control Point',(8.94701294725885E-02,0.36,8));
#167=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.216,0.201837661840736,8));
#168=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.216,-2.18376618407357E-02,8));
#169=CARTESIAN_POINT('Control Point',(8.94701294725885E-02,-0.18,8));
#170=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-8.94701294725885E-02,-0.18,8));

```

```

#171=CARTESIAN_POINT('Control Point',(6.95878784786799E-02,0.33,9));
#172=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.168,0.20698484809835,9));
#173=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.168,3.30151519016501E-02,9));
#174=CARTESIAN_POINT('Control Point',(6.95878784786799E-02,-0.09,9));
#175=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-6.95878784786799E-02,-0.09,9));
#176=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.168,3.30151519016501E-02,9));
#177=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.168,0.20698484809835,9));
#178=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-6.95878784786799E-02,0.33,9));
#179=CARTESIAN_POINT('Control Point',(6.95878784786799E-02,0.33,9));
#180=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.168,0.20698484809835,9));
#181=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.168,3.30151519016501E-02,9));
#182=CARTESIAN_POINT('Control Point',(6.95878784786799E-02,-0.09,9));
#183=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-6.95878784786799E-02,-0.09,9));
#184=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#185=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#186=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#187=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#188=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#189=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#190=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#191=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#192=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#193=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#194=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#195=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#196=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.15,10));
#197=ADVANCED_FACE('F_lage1','',#53,.T.);
#198=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#52),#46);
#199=SHAPE_REPRESENTATION('',( #48),#46);
#200=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#199);
#201=OPEN_SHELL('F_lage2',(#282));
#202=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#201));
#203=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS(' ',2,2,((#204,#217,#230,#243,#256,#269),(#205,#218,#2
31,#244,#257,#270),(#206,#219,#232,#245,#258,#271),(#207,#220,#233,#246,#259,#272),(#2
08,#221,#234,#247,#260,#273),(#209,#222,#235,#248,#261,#274),(#210,#223,#236,#249,#262
,#275),(#211,#224,#237,#250,#263,#276),(#212,#225,#238,#251,#264,#277),(#213,#226,#239
,#252,#265,#278),(#214,#227,#240,#253,#266,#279),(#215,#228,#241,#254,#267,#280),(#216
,#229,#242,#255,#268,#281)),.UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
),(3,1,1,1,3),(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15),(0,1,2,3,4),.UNSPECIFIED.);
#204=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.04142135623731,-0.2,3));
#205=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.1,-0.25857864376269,3));
#206=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.1,-0.34142135623731,3));
#207=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.04142135623731,-0.4,3));
#208=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.958578643762691,-0.4,3));
#209=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.9,-0.34142135623731,3));
#210=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.9,-0.25857864376269,3));
#211=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.958578643762691,-0.2,3));
#212=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.04142135623731,-0.2,3));
#213=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.1,-0.25857864376269,3));
#214=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.1,-0.34142135623731,3));
#215=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.04142135623731,-0.4,3));
#216=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.958578643762691,-0.4,3));
#217=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.05177669529664,-0.175,3.5));
#218=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.248223304703363,3.5));
#219=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.351776695296637,3.5));
#220=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.05177669529664,-0.425,3.5));
#221=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.948223304703363,-0.425,3.5));
#222=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.875,-0.351776695296637,3.5));
#223=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.875,-0.248223304703363,3.5));
#224=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.948223304703363,-0.175,3.5));
#225=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.05177669529664,-0.175,3.5));
#226=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.248223304703363,3.5));
#227=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.351776695296637,3.5));
#228=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.05177669529664,-0.425,3.5));
#229=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.948223304703363,-0.425,3.5));
#230=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.05177669529664,-0.175,4));
#231=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.248223304703363,4));
#232=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.367309703885628,4));
#233=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.05177669529664,-0.4625,4));
#234=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.948223304703363,-0.4625,4));
#235=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.875,-0.367309703885628,4));
#236=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.875,-0.248223304703363,4));
#237=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.948223304703363,-0.175,4));
#238=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.05177669529664,-0.175,4));
#239=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.248223304703363,4));
#240=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.125,-0.367309703885628,4));

```



```

#381=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.04142135623731,-0.2,3));
#382=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.958578643762691,-0.2,3));
#383=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.9,-0.25857864376269,3));
#384=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.9,-0.34142135623731,3));
#385=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.958578643762691,-0.4,3));
#386=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.04142135623731,-0.4,3));
#387=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,3.5));
#388=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,3.5));
#389=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.351776695296637,3.5));
#390=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.425,3.5));
#391=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.425,3.5));
#392=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.351776695296637,3.5));
#393=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.248223304703363,3.5));
#394=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.175,3.5));
#395=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,3.5));
#396=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,3.5));
#397=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.351776695296637,3.5));
#398=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.425,3.5));
#399=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.425,3.5));
#400=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,4));
#401=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,4));
#402=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.367309703885628,4));
#403=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.4625,4));
#404=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.4625,4));
#405=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.367309703885628,4));
#406=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.248223304703363,4));
#407=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.175,4));
#408=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,4));
#409=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,4));
#410=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.367309703885628,4));
#411=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.4625,4));
#412=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.4625,4));
#413=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,4.5));
#414=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,4.5));
#415=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.367309703885628,4.5));
#416=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.4625,4.5));
#417=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.4625,4.5));
#418=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.367309703885628,4.5));
#419=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.248223304703363,4.5));
#420=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.175,4.5));
#421=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,4.5));
#422=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,4.5));
#423=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.367309703885628,4.5));
#424=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.4625,4.5));
#425=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.4625,4.5));
#426=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,5));
#427=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,5));
#428=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.351776695296637,5));
#429=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.425,5));
#430=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.425,5));
#431=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.351776695296637,5));
#432=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.125,-0.248223304703363,5));
#433=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.175,5));
#434=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.175,5));
#435=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.248223304703363,5));
#436=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.875,-0.351776695296637,5));
#437=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.948223304703363,-0.425,5));
#438=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.05177669529664,-0.425,5));
#439=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.958578643762691,-0.2,5.5));
#440=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.9,-0.25857864376269,5.5));
#441=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.9,-0.34142135623731,5.5));
#442=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.958578643762691,-0.4,5.5));
#443=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.04142135623731,-0.4,5.5));
#444=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.1,-0.34142135623731,5.5));
#445=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.1,-0.25857864376269,5.5));
#446=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.04142135623731,-0.2,5.5));
#447=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.958578643762691,-0.2,5.5));
#448=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.9,-0.25857864376269,5.5));
#449=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.9,-0.34142135623731,5.5));
#450=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.958578643762691,-0.4,5.5));
#451=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.04142135623731,-0.4,5.5));
#452=ADVANCED_FACE('F_lage4','',#373,.T.);
#453=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#372),#46);
#454=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#455=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#454);
#456=OPEN_SHELL('F_lage5',(#537));

```

```

#457=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#456));
#458=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS(' ',2,2,((#459,#472,#485,#498,#511,#524),(#460,#473,#4
86,#499,#512,#525),(#461,#474,#487,#500,#513,#526),(#462,#475,#488,#501,#514,#527),(#4
63,#476,#489,#502,#515,#528),(#464,#477,#490,#503,#516,#529),(#465,#478,#491,#504,#517
,#530),(#466,#479,#492,#505,#518,#531),(#467,#480,#493,#506,#519,#532),(#468,#481,#494
,#507,#520,#533),(#469,#482,#495,#508,#521,#534),(#470,#483,#496,#509,#522,#535),(#471
,#484,#497,#510,#523,#536)),.UNSPECIFIED,.F,.F,.U.,(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
),(3,1,1,1,3),(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15),(0,1,2,3,4),.UNSPECIFIED.);
#459=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.1,5));
#460=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.158578643762691,5));
#461=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.24142135623731,5));
#462=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.3,5));
#463=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.04142135623731,-0.3,5));
#464=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.1,-0.24142135623731,5));
#465=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.1,-0.158578643762691,5));
#466=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.04142135623731,-0.1,5));
#467=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.1,5));
#468=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.158578643762691,5));
#469=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.24142135623731,5));
#470=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.3,5));
#471=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.04142135623731,-0.3,5));
#472=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,5.5));
#473=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,5.5));
#474=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.251776695296637,5.5));
#475=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.325,5.5));
#476=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.325,5.5));
#477=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.251776695296637,5.5));
#478=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.148223304703363,5.5));
#479=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.075,5.5));
#480=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,5.5));
#481=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,5.5));
#482=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.251776695296637,5.5));
#483=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.325,5.5));
#484=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.325,5.5));
#485=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,6));
#486=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,6));
#487=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.267309703885628,6));
#488=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.3625,6));
#489=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.3625,6));
#490=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.267309703885628,6));
#491=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.148223304703363,6));
#492=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.075,6));
#493=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,6));
#494=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,6));
#495=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.267309703885628,6));
#496=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.3625,6));
#497=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.3625,6));
#498=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,6.5));
#499=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,6.5));
#500=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.267309703885628,6.5));
#501=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.3625,6.5));
#502=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.3625,6.5));
#503=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.267309703885628,6.5));
#504=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.148223304703363,6.5));
#505=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.075,6.5));
#506=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,6.5));
#507=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,6.5));
#508=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.267309703885628,6.5));
#509=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.3625,6.5));
#510=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.3625,6.5));
#511=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,7));
#512=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,7));
#513=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.251776695296637,7));
#514=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.325,7));
#515=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.325,7));
#516=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.251776695296637,7));
#517=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.125,-0.148223304703363,7));
#518=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.075,7));
#519=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.075,7));
#520=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.148223304703363,7));
#521=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.875,-0.251776695296637,7));
#522=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.94822330470336,-0.325,7));
#523=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.05177669529664,-0.325,7));
#524=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.1,7.5));
#525=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.158578643762691,7.5));
#526=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.24142135623731,7.5));

```

```

#527=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.3,7.5));
#528=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.04142135623731,-0.3,7.5));
#529=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.1,-0.24142135623731,7.5));
#530=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.1,-0.158578643762691,7.5));
#531=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.04142135623731,-0.1,7.5));
#532=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.1,7.5));
#533=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.158578643762691,7.5));
#534=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.9,-0.24142135623731,7.5));
#535=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.95857864376269,-0.3,7.5));
#536=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.04142135623731,-0.3,7.5));
#537=ADVANCED_FACE('F_lage5','',#458,.T.);
#538=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#457),#46);
#539=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#540=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#539);
#541=OPEN_SHELL('Wing1',(#562));
#542=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#541));
#543=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('',2,2,((#544,#550,#556),(#545,#551,#557),(#546,#552,
#558),(#547,#553,#559),(#548,#554,#560),(#549,#555,#561)),UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(3
,1,1,1,3),(3,3),(0,1,2,3,4),(0,1),UNSPECIFIED.);
#544=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0,8.5));
#545=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.09,4.3));
#546=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.018,2.5));
#547=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.018,2.5));
#548=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.09,4.3));
#549=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0,8.5));
#550=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.5,0,8.26263038889131));
#551=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.5,-0.0495,5.95263038889131));
#552=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.5,-0.0099,4.96263038889131));
#553=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.5,0.0099,4.96263038889131));
#554=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.5,0.0495,5.95263038889131));
#555=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.5,0,8.26263038889131));
#556=CARTESIAN_POINT('Control Point',(3,0,8.02526077778262));
#557=CARTESIAN_POINT('Control Point',(3,-0.009,7.60526077778262));
#558=CARTESIAN_POINT('Control Point',(3,-0.0018,7.42526077778262));
#559=CARTESIAN_POINT('Control Point',(3,0.0018,7.42526077778262));
#560=CARTESIAN_POINT('Control Point',(3,0.009,7.60526077778262));
#561=CARTESIAN_POINT('Control Point',(3,0,8.02526077778262));
#562=ADVANCED_FACE('Wing1','',#543,.T.);
#563=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#542),#46);
#564=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#565=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#564);
#566=OPEN_SHELL('Wing2',(#587));
#567=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#566));
#568=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('',2,2,((#569,#575,#581),(#570,#576,#582),(#571,#577,
#583),(#572,#578,#584),(#573,#579,#585),(#574,#580,#586)),UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(3
,1,1,1,3),(3,3),(0,1,2,3,4),(0,1),UNSPECIFIED.);
#569=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.2,9.25));
#570=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.045,0.2,7.15));
#571=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.009,0.2,6.25));
#572=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.009,0.2,6.25));
#573=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.045,0.2,7.15));
#574=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.2,9.25));
#575=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.21165691412475E-15,0.95,9.13131519444566));
#576=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.47500000000012E-02,0.95,7.97631519444566));
#577=CARTESIAN_POINT('Control Point',(4.95000000000121E-03,0.95,7.48131519444566));
#578=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-4.949999999999879E-03,0.95,7.48131519444566));
#579=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.47499999999988E-02,0.95,7.97631519444566));
#580=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.21165691412475E-15,0.95,9.13131519444566));
#581=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.42331382824951E-15,1.7,9.01263038889131));
#582=CARTESIAN_POINT('Control Point',(4.50000000000242E-03,1.7,8.80263038889131));
#583=CARTESIAN_POINT('Control Point',(9.00000000002423E-04,1.7,8.71263038889131));
#584=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-8.9999999997577E-04,1.7,8.71263038889131));
#585=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-4.4999999999758E-03,1.7,8.80263038889131));
#586=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.42331382824951E-15,1.7,9.01263038889131));
#587=ADVANCED_FACE('Wing2','',#568,.T.);
#588=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#567),#46);
#589=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#590=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#589);
#591=OPEN_SHELL('Wing3',(#612));
#592=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#591));
#593=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('',2,2,((#594,#600,#606),(#595,#601,#607),(#596,#602,
#608),(#597,#603,#609),(#598,#604,#610),(#599,#605,#611)),UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(3
,1,1,1,3),(3,3),(0,1,2,3,4),(0,1),UNSPECIFIED.);
#594=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0,8.5));
#595=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.09,4.3));
#596=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,-0.018,2.5));

```



```

#597=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.018,2.5));
#598=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0.09,4.3));
#599=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0,0,8.5));
#600=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.5,0,8.26263038889131));
#601=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.5,-0.0495,5.95263038889131));
#602=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.5,-0.0099,4.96263038889131));
#603=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.5,0.0099,4.96263038889131));
#604=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.5,0.0495,5.95263038889131));
#605=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.5,0,8.26263038889131));
#606=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-3,0,8.02526077778262));
#607=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-3,-0.009,7.60526077778262));
#608=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-3,-0.0018,7.42526077778262));
#609=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-3,0.0018,7.42526077778262));
#610=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-3,0.009,7.60526077778262));
#611=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-3,0,8.02526077778262));
#612=ADVANCED_FACE('Wing3','',#593,.T.);
#613=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#592),#46);
#614=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#615=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#614);
#616=OPEN_SHELL('Wing4',(#637));
#617=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#616));
#618=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('',2,2,((#619,#625,#631),(#620,#626,#632),(#621,#627,
#633),(#622,#628,#634),(#623,#629,#635),(#624,#630,#636)),.UNSPECIFIED,.F.,.F.,.U.,(3
,1,1,3),(3,3),(0,1,2,3,4),(0,1),.UNSPECIFIED.);
#619=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1,-0.2,5.5));
#620=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.03,-0.2,4.1));
#621=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.006,-0.2,3.5));
#622=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.994,-0.2,3.5));
#623=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.97,-0.2,4.1));
#624=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1,-0.2,5.5));
#625=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1,-0.1,6.06712818196177));
#626=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.03,-0.1,4.66712818196177));
#627=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.006,-0.1,4.06712818196177));
#628=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.994,-0.1,4.06712818196177));
#629=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.97,-0.1,4.66712818196177));
#630=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1,-0.1,6.06712818196177));
#631=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1,0,6.63425636392353));
#632=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.03,-4.84662765649901E-17,5.23425636392353));
#633=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.006,-9.69325531299803E-18,4.63425636392353));
#634=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.994,9.69325531299803E-18,4.63425636392353));
#635=CARTESIAN_POINT('Control Point',(0.97,4.84662765649901E-17,5.23425636392353));
#636=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1,0,6.63425636392353));
#637=ADVANCED_FACE('Wing4','',#618,.T.);
#638=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#617),#46);
#639=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#640=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#639);
#641=OPEN_SHELL('Wing5',(#662));
#642=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#641));
#643=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS('',2,2,((#644,#650,#656),(#645,#651,#657),(#646,#652,
#658),(#647,#653,#659),(#648,#654,#660),(#649,#655,#661)),.UNSPECIFIED,.F.,.F.,.U.,(3
,1,1,3),(3,3),(0,1,2,3,4),(0,1),.UNSPECIFIED.);
#644=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2,-0.1,7.5));
#645=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.03,-0.1,6.1));
#646=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.006,-0.1,5.5));
#647=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.994,-0.1,5.5));
#648=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.97,-0.1,6.1));
#649=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2,-0.1,7.5));
#650=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2,-0.05,7.78356409098088));
#651=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.03,-5.00000000000001E-02,6.38356409098088));
#652=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.006,-0.05,5.78356409098088));
#653=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.994,-0.05,5.78356409098088));
#654=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.97,-0.05,6.38356409098088));
#655=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2,-0.05,7.78356409098088));
#656=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2,0,8.06712818196177));
#657=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.03,-4.84662765649901E-17,6.66712818196177));
#658=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2.006,-9.69325531299803E-18,6.06712818196177));
#659=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.994,9.69325531299803E-18,6.06712818196177));
#660=CARTESIAN_POINT('Control Point',(1.97,4.84662765649901E-17,6.66712818196177));
#661=CARTESIAN_POINT('Control Point',(2,0,8.06712818196177));
#662=ADVANCED_FACE('Wing5','',#643,.T.);
#663=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#642),#46);
#664=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#665=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#664);
#666=OPEN_SHELL('Wing6',(#687));
#667=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#666));

```

```

#668=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS(' ',2,2,((#669,#675,#681),(#670,#676,#682),(#671,#677,
#683),(#672,#678,#684),(#673,#679,#685),(#674,#680,#686)),.UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(3
,1,1,1,3),(3,3),(0,1,2,3,4),(0,1),.UNSPECIFIED.);
#669=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1,-0.2,5.5));
#670=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.03,-0.2,4.1));
#671=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.006,-0.2,3.5));
#672=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.994,-0.2,3.5));
#673=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.97,-0.2,4.1));
#674=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1,-0.2,5.5));
#675=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1,-0.1,6.06712818196177));
#676=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.03,-0.1,4.66712818196177));
#677=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.006,-0.1,4.06712818196177));
#678=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.994,-0.1,4.06712818196177));
#679=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.97,-0.1,4.66712818196177));
#680=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1,-0.1,6.06712818196177));
#681=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1,0,6.63425636392353));
#682=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.03,-4.84662765649901E-17,5.23425636392353));
#683=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.006,-9.69325531299803E-18,4.63425636392353));
#684=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.994,9.69325531299803E-18,4.63425636392353));
#685=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-0.97,4.84662765649901E-17,5.23425636392353));
#686=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1,0,6.63425636392353));
#687=ADVANCED_FACE('Wing6','',#668,.T.);
#688=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#667),#46);
#689=SHAPE_REPRESENTATION('',(#48),#46);
#690=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#40,#689);
#691=OPEN_SHELL('Wing7',(#712));
#692=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('NONE',(#691));
#693=B_SPLINE_SURFACE_WITH_KNOTS(' ',2,2,((#694,#700,#706),(#695,#701,#707),(#696,#702,
#708),(#697,#703,#709),(#698,#704,#710),(#699,#705,#711)),.UNSPECIFIED.,.F.,.F.,.U.,(3
,1,1,1,3),(3,3),(0,1,2,3,4),(0,1),.UNSPECIFIED.);
#694=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2,-0.1,7.5));
#695=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.03,-0.1,6.1));
#696=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.006,-0.1,5.5));
#697=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.994,-0.1,5.5));
#698=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.97,-0.1,6.1));
#699=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2,-0.1,7.5));
#700=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2,-0.05,7.78356409098088));
#701=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.03,-5.000000000000001E-02,6.38356409098088));
#702=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.006,-0.05,5.78356409098088));
#703=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.994,-0.05,5.78356409098088));
#704=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.97,-0.05,6.38356409098088));
#705=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2,-0.05,7.78356409098088));
#706=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2,0,8.06712818196177));
#707=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.03,-4.84662765649901E-17,6.66712818196177));
#708=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2.006,-9.69325531299803E-18,6.06712818196177));
#709=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.994,9.69325531299803E-18,6.06712818196177));
#710=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-1.97,4.84662765649901E-17,6.66712818196177));
#711=CARTESIAN_POINT('Control Point',(-2,0,8.06712818196177));
#712=ADVANCED_FACE('Wing7','',#693,.T.);
#713=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION('NONE',(#692),#46);
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;

```