

# Περιεχόμενα

Πρόλογος	15	1.9 Το παρόν σύγγραμμα	33
Ευχαριστίες	18	1.10 Ασκήσεις	34
<b>1 Εισαγωγή και βασικές αρχές</b>	<b>19</b>	Βιβλιογραφικές αναφορές	34
1.1 Τι Είναι η Προσθετική Κατασκευή;	19	<b>2 Η εξέλιξη της τεχνολογίας της προσθετικής κατασκευής</b>	<b>35</b>
1.2 Για ποιο σκοπό χρησιμοποιούνται τα αντικείμενα AM;	21	2.1 Εισαγωγή	35
1.3 Γενικά η διεργασία της AM	21	2.2 Υπολογιστές	35
1.3.1 Βήμα 1: CAD	22	2.3 Τεχνολογία Computer-Aided Design (CAD)	37
1.3.2 Βήμα 2: Μετατροπή σε Αρχείο STL	22	2.4 Άλλες σχετικές τεχνολογίες	41
1.3.3 Βήμα 3: Μεταφορά στη Μηχανή AM και Επεξεργασία του Αρχείου STL	22	2.4.1 Lasers	41
1.3.4 Βήμα 4: Προετοιμασία της Μηχανής	23	2.4.2 Τεχνολογίες εκτύπωσης	42
1.3.5 Βήμα 5: Κατασκευή	23	2.4.3 Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (Programmable Logic Controllers)	42
1.3.6 Βήμα 6: Αφαίρεση	23	2.4.4 Υλικά	43
1.3.7 Βήμα 7: Μετεπεξεργασία	23	2.4.5 Κατεργασία Computer Numerically Controlled	44
1.3.8 Βήμα 8: Εφαρμογή	23	2.5 Η χρήση των στρώσεων υλικού	44
1.4 Γιατί χρησιμοποιούμε τον όρο προσθετική κατασκευή (Additive Manufacturing);	24	2.6 Ταξινόμηση των διεργασιών AM	45
1.4.1 Αυτοματοποιημένη κατασκευή (Automated Fabrication - Autofab)	24	2.6.1 Συστήματα με πολυμερή υγρής κατάστασης	47
1.4.2 Κατασκευή ελεύθερης μορφής ή κατασκευή ελεύθερης μορφής στερεού (FreeformFabrication or Solid FreeformFabrication)	24	2.6.2 Συστήματα με διακριτά σωματίδια	47
1.4.3 Προσθετική κατασκευή ή στρωματική κατασκευή (Additive Manufacturing or Layer-Based Manufacturing)	24	2.6.3 Συστήματα με τηγμένα υλικά	48
1.4.4 Στερεολιθογραφία ή 3D εκτύπωση (Stereolithography or 3D Printing)	25	2.6.4 Συστήματα με φύλλα στερεού υλικού	49
1.4.5 Ταχεία πρωτοτυποποίηση (Rapid Prototyping)	25	2.6.5 Νέες μέθοδοι ταξινόμησης της AM	49
1.5 Τα οφέλη της AM	26	2.7 Συστήματα με μεταλλικά υλικά	50
1.6 Η διαφορά της AM από την κατεργασία CNC	27	2.8 Υβριδικά συστήματα	51
1.6.1 Υλικό	27	2.9 Ορόσημα στην ανάπτυξη της AM	52
1.6.2 Ταχύτητα	27	2.10 Η AM παγκοσμίως	53
1.6.3 Πολυπλοκότητα	28	2.11 Ποιό είναι το μέλλον; Η ταχεία πρωτοτυποποίηση μετεξελίσσεται σε άμεση ψηφιακή κατασκευή	54
1.6.4 Ακρίβεια	28	2.12 Ασκήσεις	55
1.6.5 Γεωμετρία	28	Βιβλιογραφικές αναφορές	56
1.6.6 Προγραμματισμός	29	<b>3 Η αλυσίδα της γενικευμένης διεργασίας προσθετικής κατασκευής</b>	<b>57</b>
1.7 Παράδειγμα κομματιών AM	29	3.1 Εισαγωγή	57
1.8 Άλλες συναφείς τεχνολογίες	31	3.2 Τα οκτώ βήματα στην προσθετική κατασκευή	58
1.8.1 Τεχνολογία Αντίστροφης Μηχανικής	31	3.2.1 Βήμα 1: Σύλληψη της ιδέας και CAD	58
1.8.2 Μελέτη με την βοήθεια Η/Υ - Computer Aided Engineering	32	3.2.2 Βήμα 2: Μετατροπή σε αρχείο STL/AMF	59
1.8.3 Απτικό CAD	32	3.2.3 Βήμα 3: Μεταφορά στη μηχανή AM και διαχείριση του αρχείου STL	60
		3.2.4 Βήμα 4: Προετοιμασία της μηχανής	61
		3.2.5 Βήμα 5: Κατασκευή	61
		3.2.6 Βήμα 6: Απομάκρυνση και καθαρισμός	62

3.2.7	Βήμα 7: Μετεπεξεργασία	62	4.3	Ταχύτητες αντίδρασης	84
3.2.8	Βήμα 8: Εφαρμογή	62	4.4	Φωτοπολυμερισμός σε κάδο με σάρωση Laser	84
3.3	Διαφοροποιήσεις από μία μηχανή AM σε άλλη	63	4.5	Μοντελοποίηση διεργασίας φωτοπολυμερισμού	85
3.3.1	Συστήματα που βασίζονται σε φωτοπολυμερή	63	4.5.1	Ένταση ακτινοβολίας (Irradiance) και έκθεση (Exposure)	86
3.3.2	Συστήματα που βασίζονται σε πούδρα	64	4.5.2	Αλληλεπίδραση Laser-Ρητίνης	88
3.3.3	Συστήματα τηγμένου υλικού	65	4.5.3	Φωτοταχύτητα (Photospeed)	90
3.3.4	Φύλλα στερεού	65	4.5.4	Χρονικές κλίμακες	91
3.4	Συστήματα με μέταλλα	65	4.6	VP μηχανές διανυσματικής σάρωσης	92
3.4.1	Η Χρήση υποστρωμάτων	66	4.7	Μοτίβα σάρωσης (Scan Patterns)	95
3.4.2	Ενεργειακή πυκνότητα	66	4.7.1	Φαινόμενα και σφάλματα στρωματικής κατασκευής	95
3.4.3	Βάρος	66	4.7.2	WEAVE	96
3.4.4	Ακρίβεια	66	4.7.3	STAR-WEAVE	97
3.4.5	Ταχύτητα	66	4.7.4	Μοτίβο σάρωσης ACES	99
3.5	Συντήρηση εξοπλισμού	67	4.8	Φωτοπολυμερισμός σε μικρο-κάδο με διανυσματική σάρωση	102
3.6	Ζητήματα αναφορικά με τη διαχείριση υλικών	67	4.9	Τεχνολογίες και διεργασίες VP προβολής με μάσκα	103
3.7	Σχεδιασμός για AM	68	4.9.1	Τεχνολογία VP προβολής με μάσκα	104
3.7.1	Προσανατολισμός κομματιού	68	4.9.2	Εμπορικά MPVP συστήματα	105
3.7.2	Αφαίρεση των στηριγμάτων	69	4.9.3	MPVP μοντελοποίηση	106
3.7.3	Κομμάτια με κοίλα τοιχώματα	69	4.10	Πολυμερισμός δύο-φωτονίων σε κάδο	107
3.7.4	Ενσωμάτωση υποκοπών και άλλων κατασκευαστικών περιοριστικών χαρακτηριστικών	70	4.11	Ωφελήματα και μειονεκτήματα της διεργασίας	108
3.7.5	Συνδετικά χαρακτηριστικά (Interlocking Features)	70	4.12	Σύνοψη	109
3.7.6	Μείωση αριθμού κομματιών σε ένα συναρμολογημένο σύνολο	70	4.13	Ασκήσεις	110
3.7.7	Σήμανση/Αριθμοί αναγνώρισης	71		Βιβλιογραφικές αναφορές	111
3.8	Περιοχές εφαρμογών που δεν εμπλέκουν τη συμβατική μοντελοποίηση CAD	71	<b>5</b>	<b>Διεργασίες σύντηξης πούδρας σε κλίνη</b>	<b>115</b>
3.8.1	Κατασκευή ιατρικών μοντέλων	72	5.1	Εισαγωγή	115
3.8.2	Δεδομένα αντίστροφης μηχανικής	72	5.2	Υλικά	117
3.8.3	Κατασκευή αρχιτεκτονικών μοντέλων	72	5.2.1	Πολυμερή και Σύνθετα (Composites)	117
3.9	Περαιτέρω εξέταση	72	5.2.2	Μέταλλα και Σύνθετα (Composites)	118
3.10	Ασκήσεις	73	5.2.3	Κεραμικά και Σύνθετα Κεραμικών (Ceramic Composites)	119
	Βιβλιογραφικές αναφορές	74	5.3	Μηχανισμοί Σύντηξης της Πούδρας	120
<b>4</b>	<b>Διεργασίες φωτοπολυμερισμού σε κάδο</b>	<b>75</b>	5.3.1	Συσσωμάτωση Στερεάς Κατάστασης	120
4.1	Εισαγωγή	75	5.3.2	Χημικά Προκαλούμενη Συσσωμάτωση	122
4.2	Υλικά της διεργασίας φωτοπολυμερισμού σε κάδο	77	5.3.3	LPS και Μερική Τήξη	123
4.2.1	Φωτοπολυμερή UV-πολυμερισμού	77	5.3.4	Πλήρης Τήξη	126
4.2.2	Επισκόπηση χημείας φωτοπολυμερών	79	5.3.5	Κατασκευή Κομματιού	127
4.2.3	Συνθέσεις ρητίνης και μηχανισμοί αντίδρασης	81	5.4	Παράμετροι Διεργασίας και Μοντελοποίηση	129
4.2.3.1	Σύστημα φωτοεκκινητή	81	5.4.1	Παράμετροι Διεργασίας	129
4.2.3.2	Συνθέσεις μονομερών	82	5.4.2	Συσχετίσεις της Προσδιόσμης Ενέργειας και Μοτίβα Σάρωσης	131
4.2.3.3	Σχηματισμός αλληλοδιεισδύοντος πολυμερικού πλέγματος	83	5.5	Διαχείριση της Πούδρας	133
			5.5.1	Ζητήματα Αναφορικά με τη Διαχείριση της Πούδρας	133
			5.5.2	Συστήματα Διαχείρισης της Πούδρας	134
			5.5.3	Ανακύκλωση της Πούδρας	136

5.6	Παραλλαγές Διεργασιών PBF και Μηχανές του Εμπορίου	137	7.2.3	Μέταλα	182
5.6.1	Συσσωμάτωση Πολυμερών με Laser	137	7.2.4	Εναπόθεση μέσω διαλύματος και εναιωρήματος (Solution-and Dispersion-Based Deposition)	184
5.6.2	Συστήματα με Βάση το Laser για Μέταλλα και Κεραμικά	140	7.3	Βασικές αρχές της επεξεργασίας υλικών	185
5.6.3	Τήξη με Δέσμη Ηλεκτρονίων	142	7.3.1	Οι τεχνικές προκλήσεις της εναπόθεσης υλικού	185
5.6.4	Γραμμικές και Διαστρωματικές PBF Διεργασίες για Πολυμερή	145	7.3.2	Τεχνολογίες σχηματισμού σταγονιδίων	187
5.7	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Διεργασίας	148	7.3.3	Συνεχής τύπος εναπόθεσης (Continuous mode)	188
5.8	Συμπεράσματα	149	7.3.4	DOD τύπος εναπόθεσης	189
5.9	Ασκήσεις	149	7.3.5	Άλλες μέθοδοι σχηματισμού σταγονιδίων	190
	Βιβλιογραφικές αναφορές	150	7.4	Μοντελοποίηση της διεργασίας εναπόθεσης υλικού	191
<b>6</b>	<b>Συστήματα εξώθησης υλικού</b>	<b>151</b>	7.5	Μηχανές εναπόθεσης υλικού	195
6.1	Εισαγωγή	151	7.6	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διεργασίας	198
6.2	Βασικές αρχές	152	7.7	Σύνοψη	198
6.2.1	Τροφοδότηση με υλικό	152	7.8	Ασκήσεις	199
6.2.2	Ρευστοποίηση	153		Βιβλιογραφικές αναφορές	201
6.2.3	Εξώθηση	154	<b>8</b>	<b>Εναπόθεση συγκολλητικής ουσίας</b>	<b>203</b>
6.2.4	Στερεοποίηση	156	8.1	Εισαγωγή	203
6.2.5	Σημειακός έλεγχος	157	8.2	Υλικά	205
6.2.6	Συγκόλληση	158	8.2.1	Υλικά που διατίθενται στο εμπόριο	205
6.2.7	Δημιουργία στηριγμάτων	159	8.2.2	Κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται στο ερευνητικό πεδίο	206
6.3	Σχεδιογράφηση και έλεγχος διαδρομής κεφαλής	160	8.3	Παραλλαγές της διεργασίας	207
6.4	Κατασκευή με εναπόθεση τηγμένου υλικού - FDM από τη Stratasys	163	8.4	Μηχανές εναπόθεσης συγκολλητικής ουσίας	210
6.4.1	Τύποι FDM μηχανών	164	8.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διεργασίας	212
6.5	Υλικά	165	8.6	Σύνοψη	213
6.6	Περιορισμοί της FDM	167	8.7	Ασκήσεις	214
6.7	Βιοεξώθηση (Bioextrusion)	168		Βιβλιογραφικές αναφορές	215
6.7.1	Σχηματισμός γέλης	169	<b>9</b>	<b>Διεργασίες επάλληλων φύλλων</b>	<b>217</b>
6.7.2	Εξώθηση τήγματος	169	9.1	Εισαγωγή	217
6.7.3	Αρχιτεκτονική ικριωμάτων	170	9.1.1	Συγκόλληση με κόλλα	218
6.8	Άλλα συστήματα	171	9.1.2	Διεργασίες τύπου 'συγκόλληση-μετά-διαμόρφωση'	218
6.8.1	Διάπλαση περιγράμματος (Contour Crafting)	171	9.1.3	Διεργασίες τύπου 'διαμόρφωση-μετά-συγκόλληση'	219
6.8.2	Μη επίπεδα συστήματα (Nonplanar Systems)	171	9.2	Υλικά	221
6.8.3	FDM κεραμικών	173	9.3	Βασικές αρχές επεξεργασίας υλικών	223
6.8.4	Reprap και Fab@home	173	9.3.1	Θερμική συγκόλληση	223
6.9	Ασκήσεις	174	9.3.2	Σύσφιξη μεταλλικών φύλλων	224
	Βιβλιογραφικές αναφορές	175	9.4	Προσθετική κατασκευή με υπερήχους	224
<b>7</b>	<b>Εναπόθεση υλικού</b>	<b>177</b>	9.4.1	Ποιότητα συγκόλλησης UAM	227
7.1	Εξέλιξη της εκτύπωσης σε διεργασία προσθετικής κατασκευής	177	9.4.2	Βασικές αρχές διεργασίας συγκόλλησης μετάλλων με υπερήχους	227
7.2	Υλικά για τη διεργασία εναπόθεσης υλικού	178			
7.2.1	Πολυμερή	178			
7.2.2	Κεραμικά	181			

9.4.3	Παράμετροι και βελτιστοποίηση της διεργασίας UAM	229	11.9	Υβριδικές τεχνολογίες	274
9.4.4	Μικροδομές και μηχανικές ιδιότητες των κομματιών UAM	230	11.10	Υβριδικές τεχνολογίες	275
9.4.5	Εφαρμογές της UAM	233	11.11	Ασκήσεις	277
9.5	Συμπεράσματα	237		Βιβλιογραφικές αναφορές	277
9.6	Ασκήσεις	237			
	Βιβλιογραφικές αναφορές	238			
<b>10</b>	<b>Διεργασίες εναπόθεσης με κατευθυνόμενη ενεργειακή δέσμη</b>	<b>239</b>	<b>12</b>	<b>Διεργασίες εναπόθεσης με κατευθυνόμενη ενεργειακή δέσμη</b>	<b>279</b>
10.1	Εισαγωγή	239	12.1	Εισαγωγή	279
10.2	Γενική Περιγραφή της DED Διεργασίας	241	12.2	Πνευματική ιδιοκτησία	280
10.3	Τροφοδοσία Υλικού	242	12.3	Ανατρεπτική καινοτομία	282
10.3.1	Τροφοδοσία Πούδρας	242	12.3.1	Ριζικά νεωτεριστικές επιχειρηματικές ευκαιρίες	282
10.3.2	Τροφοδοσία Σύρματος	245	12.3.2	Το ενδιαφέρον των μέσων ενημέρωσης	283
10.4	Συστήματα DED	245	12.4	Το κίνημα 'Maker'	284
10.4.1	Διεργασίες Εναπόθεσης Μετάλλου με Laser	245	12.5	Το μέλλον της AM χαμηλού κόστους	286
10.4.2	Διεργασίες Εναπόθεσης Μετάλλων με Δέσμη Ηλεκτρονίων	248	12.6	Ασκήσεις	286
10.4.3	Άλλες διεργασίες DED	249		Βιβλιογραφικές αναφορές	286
10.5	Παράμετροι Επεξεργασίας	249	<b>13</b>	<b>Οδηγίες για την επιλογή διεργασίας</b>	<b>287</b>
10.6	Τυπικά Υλικά και Μικροδομή	250	13.1	Εισαγωγή	287
10.7	Σχέσεις μεταξύ Επεξεργασίας-Δομής-Ιδιοτήτων	252	13.2	Μέθοδοι επιλογής κατασκευαστικής διεργασίας	288
10.8	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της DED	256	13.2.1	Θεωρία αποφάσεων	288
10.9	Ασκήσεις	258	13.2.2	Μέθοδοι προσδιορισμού εφικτότητας	289
	Βιβλιογραφικές αναφορές	258	13.2.3	Μέθοδοι επιλογής	290
<b>11</b>	<b>Τεχνολογίες άμεσης εγγραφής</b>	<b>259</b>	13.2.4	Παράδειγμα επιλογής	293
11.1	Τεχνολογίες άμεσης εγγραφής	259	13.3	Προβλήματα και προκλήσεις της διαδικασίας επιλογής	296
11.2	Πλαίσιο ανάλυσης	259	13.4	Παράδειγμα συστήματος για προκαταρκτική επιλογή	299
11.3	Διεργασίες DW με μελάνη	260	13.5	Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής	303
11.3.1	Διεργασίες επίστρωσης με ακροφύσιο	261	13.5.1	Προγραμματισμός παραγωγής	305
11.3.2	Διεργασίες τύπου πένας	262	13.5.2	Προεπεξεργασία	305
11.3.3	Διεργασίες inkjetεκτύπωσης	264	13.5.3	Κατασκευή κομματιού	305
11.3.4	DW αερολύματος	265	13.5.4	Μετεπεξεργασία	306
11.4	DW μεταφοράς με laser	266	13.5.5	Σύνοψη	306
11.5	DW θερμικού ψεκασμού	268	13.6	Ανοικτά θέματα	306
11.6	DW εναπόθεσης δέσμης	269	13.7	Ασκήσεις	307
11.6.1	CVD με laser	270		Βιβλιογραφικές αναφορές	308
11.6.2	CVD εστιασμένης δέσμης ιόντων	271	<b>14</b>	<b>Μετεπεξεργασία</b>	<b>309</b>
11.6.3	CVD δέσμης ηλεκτρονίων	272	14.1	Εισαγωγή	309
11.7	Άμεση εναπόθεση υγρής κατάστασης	272	14.2	Αφαίρεση του υλικού των στηριγμάτων	309
11.8	Προσεγγίσεις αποτύπωσης δέσμης στην προσθετική/αφαιρετική DW	273	14.2.1	Μετεπεξεργασία των φυσικών στηριγμάτων	309
11.8.1	Αποτύπωση με δέσμη ηλεκτρονίων	273	14.2.2	Αφαίρεση των συνθετικών στηριγμάτων	311
11.8.2	Αποτύπωση με εστιασμένη δέσμη ιόντων	274	14.3	Βελτίωση της επιφανειακής υφής	313
11.8.3	Αποτύπωση με δέσμη laser	274	14.4	Βελτίωση της ακρίβειας	314
			14.4.1	Πηγές ανακρίβειας	314

14.4.2 Προεπεξεργασία του μοντέλου για αντιστάθμιση της ανακρίβειας	315	<b>16 Άμεση ψηφιακή κατασκευή</b>	<b>351</b>
14.4.3 Στρατηγική κατεργασίας	316	16.1 Η εταιρεία Align Technology	351
14.5 Αισθητικές βελτιώσεις	320	16.2 Οι εταιρείες Siemens και Phonak	353
14.6 Προετοιμασία για χρήση σαν πρότυπο χύτευσης	321	16.3 Εξατομικευμένη κατασκευή υποδήματος και άλλα παραδείγματα DDM	355
14.6.1 Πρότυπα χύτευσης ακριβείας	321	16.4 Παράγοντες που ευνοούν την Άμεση Ψηφιακή Κατασκευή - DDM	358
14.6.2 Πρότυπα χύτευσης σε άμμο	322	16.5 Παραγωγή έναντι πρωτοτυποποίησης	360
14.6.3 Άλλες μέθοδοι αναπαραγωγής με πρότυπα χύτευσης	323	16.6 Υπολογισμός κόστους	362
14.7 Βελτιώσεις ιδιοτήτων χρησιμοποιώντας μη θερμικές τεχνικές	324	16.6.1 Μοντέλο κόστους	363
14.8 Βελτιώσεις ιδιοτήτων χρησιμοποιώντας θερμικές τεχνικές	325	16.6.2 Μοντέλο χρόνου κατασκευής	364
14.9 Συμπεράσματα	327	16.6.3 Παράδειγμα εφαρμογής σε διεργασία φωτοπολυμερισμού σε κάδο με laser	367
14.10 Ασκήσεις	328	16.7 Το κόστος σε όλο τον κύκλο ζωής του κομματιού	369
Βιβλιογραφικές αναφορές	328	16.8 Το μέλλον της DDM	370
<b>15 Θέματα λογισμικού προσθετικής κατασκευής</b>	<b>329</b>	16.9 Ασκήσεις	371
15.1 Εισαγωγή	329	Βιβλιογραφικές αναφορές	373
15.2 Προετοιμασία των CAD μοντέλων: Το STL αρχείο	330	<b>17 Σχεδιασμός για προσθετική κατασκευή</b>	<b>375</b>
15.2.1 Το πρότυπο STL αρχείου, δυαδικό/ASCII	330	17.1 Σκοπιμότητα	376
15.2.2 Δημιουργία STL αρχείων, από CAD σύστημα	331	17.2 Σχεδιασμός για παραγωγή και συναρμολόγηση	377
15.2.3 Υπολογισμός του περιγράμματος της κατασκευαστικής στρώσης/διατομής	332	17.3 Οι μοναδικές δυνατότητες της AM	380
15.2.4 Στοιχεία που εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη τεχνολογία	336	17.3.1 Πολυπλοκότητα μορφής	380
15.3 Προβλήματα των STL αρχείων	338	17.3.2 Ιεραρχικά διαβαθμισμένη πολυπλοκότητα	381
15.4 Διαχείριση του STL αρχείου	341	17.3.3 Λειτουργική πολυπλοκότητα	382
15.4.1 Απεικονιστές	341	17.3.4 Πολυπλοκότητα του υλικού	384
15.4.2 Διαχείριση του STL αρχείου στην AM μηχανή	342	17.4 Κύριες έννοιες και αντικειμενικοί σκοποί του DFAM	385
15.5 Πέρα από το STL αρχείο	343	17.4.1 Πολύπλοκη γεωμετρική μορφή	386
15.5.1 Απ' ευθείας τεμαχισμός του CAD μοντέλου	343	17.4.2 Ενσωματωμένα συναρμολογημένα σύνολα	386
15.5.2 Έγχρωμα μοντέλα	344	17.4.3 Εξατομικευμένη γεωμετρική μορφή	387
15.5.3 Πολλαπλά υλικά	344	17.4.4 Πολυλειτουργικές σχεδιαστικές λύσεις	387
15.5.4 Χρήση του STL αρχείου για μηχανουργικές κατεργασίες	345	17.4.5 Κατάργηση των περιορισμών του συμβατικού DFM	387
15.6 Επιπρόσθετο λογισμικό για την υποβοήθηση της AM	346	17.5 Διερευνώντας τις σχεδιαστικές ελευθερίες	388
15.6.1 Επισκόπηση λειτουργιών λογισμικού	346	17.5.1 Ενοποίηση και ανασχεδιασμός κομματιών	388
15.6.2 Προσομοιώσεις AM διεργασίας χρησιμοποιώντας την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων	347	17.5.2 Ιεραρχικά διαρθρωμένες δομές	389
15.7 Το πρότυπο αρχείου προσθετικής κατασκευής	348	17.5.3 Εφαρμογές βιομηχανικού σχεδιασμού	391
15.8 Ασκήσεις	350	17.6 Εργαλεία CAD για AM	392
Βιβλιογραφικές αναφορές	350	17.6.1 Οι προκλήσεις για το CAD	393
		17.6.2 Συστήματα CAD στερεάς μοντελοποίησης	394
		17.6.3 Τεχνολογίες CAD με δυνατότητες και προοπτικές	396
		17.7 Μέθοδοι σχεδιαστικής σύνθεσης	399
		17.7.1 Θεωρητικά βέλτιστες κατασκευές με μικρό βάρος	400

17.7.2	Μέθοδοι βελτιστοποίησης	400	19.4	Λογισμικό υποστήριξης ιατρικών εφαρμογών	430
17.7.3	Τοπολογική βελτιστοποίηση	401	19.5	Περιορισμοί στη χρήση της AM σε ιατρικές εφαρμογές	432
17.8	Σύνοψη	406	19.5.1	Ταχύτητα	432
17.9	Ασκήσεις	406	19.5.2	Κόστος	433
	Βιβλιογραφικές αναφορές	407	19.5.3	Ακρίβεια	433
			19.5.4	Υλικά	433
			19.5.5	Ευκολία χρήσης	434
<b>18</b>	<b>Ταχεία κατασκευή εργαλείων παραγωγής</b>	<b>409</b>	19.6	Περαιτέρω εξέλιξη των ιατρικών εφαρμογών της AM	434
18.1	Εισαγωγή	409	19.6.1	Εγκρίσεις	434
18.2	Άμεση κατασκευή ένθετων μητρών με AM για χύτευση έγχυσης	411	19.6.2	Ασφαλιστική κάλυψη	435
18.3	Ηλεκτρόδια EDM	415	19.6.3	Τεχνική εκπαίδευση	435
18.4	Χύτευση ακριβείας	415	19.6.4	Χωροταξική διευθέτηση της τεχνολογίας	435
18.5	Άλλα συστήματα	417	19.6.5	Γραφεία παροχής υπηρεσιών	436
18.5.1	Εργαλεία διαμόρφωσης υπό κενό	417	19.7	Εφαρμογές στην αεροδιαστημική	436
18.5.2	Εργαλεία χύτευσης χαρτοπολτού	417	19.7.1	Χαρακτηριστικά που ευνοούν την AM	436
18.5.3	Καλούπια διαμόρφωσης σύνθετων υλικών	418	19.7.2	Βιομηχανική παραγωγή	437
18.5.4	Εργαλεία συναρμολόγησης και μετροτεχνικοί οδηγοί εργαλεία	418	19.8	Εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία	439
18.6	Ασκήσεις	419	19.9	Ασκήσεις	440
	Βιβλιογραφικές αναφορές	420		Βιβλιογραφικές αναφορές	441
<b>19</b>	<b>Εφαρμογές προσθετικής κατασκευής</b>	<b>421</b>	<b>20</b>	<b>Επιχειρηματικές ευκαιρίες και μελλοντικές κατευθύνσεις</b>	<b>443</b>
19.1	Εισαγωγή	421	20.1	Εισαγωγή	443
19.2	Ιστορική αναδρομή	422	20.2	Τι είναι το νέο που έρχεται;	445
19.2.1	Η αξία των φυσικών μοντέλων	422	20.2.1	Νέα είδη προϊόντων	445
19.2.2	Λειτουργικές δοκιμές	423	20.2.2	Νέοι τρόποι εταιρικής οργάνωσης	446
19.2.3	Ταχεία κατασκευή εργαλείων	424	20.2.3	Νέες μορφές εργασιακής απασχόλησης	448
19.3	Η χρήση της AM σε ιατρικές εφαρμογές	425	20.3	Digipreneurship	450
19.3.1	Χειρουργικά και διαγνωστικά βοηθήματα	426		Συμπεράσματα	452
19.3.2	Ανάπτυξη προθέσεων/τεχνητών μελών	427	20.4	Ασκήσεις	453
19.3.3	Παραγωγή	429		Βιβλιογραφικές αναφορές	453
19.3.4	Δημιουργία τεχνητών ιστών και εκτύπωση οργάνων	429			