

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΠΑΤΡΑ, ΜΑΙΟΣ 2022

ΒΑΡΘΑΛΑΜΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΟΥΛΑΚΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΠΕΣΚΟΥ ΝΙΚΗ

Ευχαριστίες

Η πτυχιακή εργασία με τίτλο « Κατασκευή Αεροδρομίων » πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια φοίτησης του προγράμματος σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021. Η ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας υλοποιήθηκε με την υποστήριξη της κ. Νίκης Μπέσκου (Επίκουρη καθηγήτρια ΠΔ407/80 της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Πα.Πελ.) στην οποία θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες για την άριστη συνεργασία που είχαμε, τη συνεχή καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μελέτης, καθώς και για την προθυμία της και τον πολύτιμο χρόνο που μας διέθεσε.

Περίληψη

Τα αεροδρόμια είναι ένα από τα στολίδια τα οποία αναδεικνύουν τόσο την αισθητική μιας χώρας, μέσω του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, όσο και την οργάνωση της σε διάφορους τομείς. Σε συνδυασμό αυτές οι δυο κατηγορίες καθιστούν τον σχεδιασμό κάθε αεροδρομίου ως ένα βασικό παράγοντα για την επίτευξη των αναμενόμενων προδιαγραφών αλλά και προσδοκιών.

.Στις ακόλουθες σελίδες της εργασίας θα αναφερθούν και θα σχολιαστούν θέματα τα οποία έχουν ως βασικό σκοπό αυτής τη συλλογή, την αξιολόγηση και τη συζήτηση στοιχείων που τοποθετούνται στο πλαίσιο της ανάλυσης των δεδομένων για το θέμα της κατασκευής αεροδρομίων διεθνώς, σε μια ιστορική αναδρομή για το πως ξεκίνησαν να κατασκευάζονται τα αεροδρόμια και πως τα κατασκευάζουν στις μέρες μας αλλά στο τέλος μελλοντικές έρευνες που μπορεί να έχουν γίνει για νέους τρόπους κατασκευές και τεχνικές αεροδρομίων με σχετικές καινοτομίες και τρόπους επίτευξης των καινοτομιών αυτών.

Ως εκ τούτου, η προκειμένου εν λόγω εργασία να θεωρείται ορθή και αποτελεσματική ως προς τα στοιχεία που εξετάζει, διαχωρίζεται σχετικά σε τρία (3) κεφάλαια, με το Κεφάλαιο 1 να αναφέρεται στην Έννοια, τα Χαρακτηριστικά των Αεροδρομίων, την Εξέλιξη Αυτών και τα Βασικά Στοιχεία Λειτουργίας τους. Το Κεφάλαιο 2 οροθετείται στην Τεχνολογία με Είδη Τσιμέντου και Σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στην Κατασκευή Αεροδρομίων Διεθνώς. Το Κεφάλαιο 3 αναφέρεται στους Τρόπους και Μεθόδους Καινοτομιών όπως και στις Νέες Τεχνολογίες στην Κατασκευή Αεροδρομίων Διεθνώς και τέλος το Κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει τα τελικά συμπεράσματα.

Περιεχόμενα

1	Κεφάλαιο Πρώτο – Η έννοια και τα χαρακτηριστικά των αεροδρομίων, εξέλιξη αυτών καθώς και βασικά στοιχεία λειτουργία τους	8
1.1	Εισαγωγή	8
1.2	Ορισμός, ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των αεροδρομίων διεθνώς	10
1.3	Χαρακτηριστικά λειτουργίας των σύγχρονων αεροδρομίων.....	13
1.4	Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στην δημιουργία και λειτουργία των αεροδρομίων.....	14
1.5	Ο παράγοντας της διαδικασίας επιλογής χώρου για την δημιουργία ενός αεροδρομίου.....	15
1.6	Λειτουργικές απαιτήσεις και διάταξη διαμόρφωσης ενός αεροδρομίου.....	17
1.7	Κατασκευαστικές απαιτήσεις στην διαμόρφωση αεροδρομίων	20
1.8	Βοηθήματα πλοήγησης, φωτισμός και σήμανση στα αεροδρόμια	22
1.9	Η σημασία του φωτισμού στα αεροδρόμια.....	23
1.9.1	Σήμανση αεροδιαδρόμου	24
1.10	Έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας	25
1.11	Ο παράγοντας της χωρητικότητας του αεροδρομίου.....	26
1.12	Στοιχεία αποχέτευσης – απορροής σε ένα αεροδρόμιο	27
1.13	Εγκαταστάσεις απόθεσης φορτίων στα αεροδρόμια.....	28
1.14	Ο παράγοντας της ικανότητας εξυπηρέτησης και καθυστέρησης σε ένα αεροδρόμιο	30
1.15	Υποδοχή των νέων γιγάντιων αεροσκαφών από τα υφιστάμενα αεροδρόμια.....	31
1.16	Συμβατότητα αεροσκαφών και αεροδρομίων.....	33
1.17	Περιβαλλοντικές ανησυχίες στην δημιουργία και λειτουργία των αεροδρομίων	35
2	Κεφάλαιο Δεύτερο – Τεχνολογία με είδη τσιμέντου και σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αεροδρομίων διεθνώς	36
2.1	Η χρήση του τσιμέντου – σκυροδέματος για κατασκευή οδοστρώματος σε αεροδιάδρομο	36
2.1.1	Ορισμός και χαρακτηριστικά του τσιμέντου	36
2.2	Τύποι τσιμέντου και σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται σε κατασκευή αεροδρομίων και αεροδιαδρόμων.....	39
2.2.1	Τύπος Self-Healing σκυρόδεμα	39
2.2.2	Πως προέκυψε το self-healing σκυρόδεμα για χρήση στα αεροδρόμια.....	41

2.3	Μέθοδοι εφαρμογής του Self-Healing σκυροδέματος με κάψουλες, νανοσωματίδια και βακτήρια για κατασκευή αεροδρομίων και οδοστρώματος στα αεροδρόμια.....	46
2.3.1	Εφαρμογή του Self-Healing σκυροδέματος με κάψουλες.....	46
2.3.2	Εφαρμογή του Self-Healing σκυροδέματος με νανοσωματίδια (νανοτεχνολογία)	49
2.3.3	Εφαρμογή του Self-Healing σκυροδέματος με βακτήρια.....	51
3	Κεφάλαιο Τρίτο – Τρόποι και μέθοδοι καινοτομιών καθώς και νέων τεχνολογιών στην κατασκευή αεροδρομίων διεθνώς.....	56
3.1	Καινοτομία στους τρόπους και υλικά κατασκευής των αεροδρομίων	56
3.2	Σχεδιασμός των μελλοντικών αεροδρομίων	61
3.3	Παραδείγματα αεροδρομίων ως προς τις εφαρμογές νέων τεχνολογιών και μεθόδων κατασκευής και λειτουργίας διεθνώς.....	64
3.3.1	Το αεροδρόμιο του Heathrow στο Λονδίνο και η κατασκευή ενός νέου πιλοτικού συστήματος παρακολούθησης εξαρτημάτων για τη λειτουργία του.....	65
3.3.2	Το αεροδρόμιο Γλασκόβης και ο στοιχηματισμός σε ένα νέο ψηφιακό σύνολο εργαλείων και τεχνολογιών	66
3.3.3	Το διεθνές αεροδρόμιο του Λος Άντζελες και η ανάπτυξη της τεχνολογίας GIS.....	67
3.3.4	Το αεροδρόμιο Κοπεγχάγης και η χρήση της εικονικής πραγματικότητας σε συνδυασμό με τη μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίου (BIM).....	68
3.3.5	Διεθνές αεροδρόμιο του Χονγκ Κονγκ και η χρήση της ψηφιακής μοντελοποίησης	69
3.4	Οι μελλοντικές προοπτικές στην κατασκευή αεροδρομίων	70
4	Κεφάλαιο Τέταρτο - Επίλογος – Συμπεράσματα	75
	Βιβλιογραφία	78

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Εικόνα Νο.1 - Διαμορφώσεις διαδρόμου σε ένα αεροδρόμιο18
2. Εικόνα Νο.2 – Τρόπος διαμόρφωσης διαδρόμων σε ένα αεροδρόμιο
20
3. Εικόνα Νο.3. - Το Boeing 747 πρόκειται να φτάσει στο αεροδρόμιο
Schiphol του Άμστερνταμ, οδηγούμενο από φώτα προσέγγισης
διαδρόμου.....24
4. Εικόνα Νο.4 - Εσωτερική άποψη ενός πύργου ελέγχου
κυκλοφορίας αεροδρομίου το σούρουπο..25
5. Εικόνα Νο.5 – Διαμόρφωση αεροδρομίου με σταθμούς απόθεσης
εμπορευμάτων και επιβατών30
6. Εικόνα Νο.6 – Η νέα προοπτική στον σχεδιασμό αεροδρομίων70
7. Εικόνα Νο.7 – Η μετασχηματιστική διαδικασία στην διαχείριση
σχεδίων και έργων στα αεροδρόμια72

EYPETHPIO ΔΙΑΠΑΜΜΑΤΩΝ

1. Amount of water released versus dosage of capsules46
2. Filling fraction of cracks versus healing time (10 μm crack)46
3. Crack saturation time versus of water provided.....47
4. Filling fraction versus amount of water provided47
5. Filling fraction of cracks due to self-healing by capsules.....48
6. Ultrasonic pulse velocity before/after self-healing by vascular.....48

1 Κεφάλαιο Πρώτο – Η έννοια και τα χαρακτηριστικά των αεροδρομίων, εξέλιξη αυτών καθώς και βασικά στοιχεία λειτουργία τους

1.1 Εισαγωγή

Λαμβάνοντας υπόψη τα χαμηλά περιθώρια κέρδους στο ξεκίνημα κάθε εταιρίας και εστιάζοντας περισσότερο στα πρώτιστα λειτουργικά ζητήματα και στην ασφάλεια, οι αεροπορικές εταιρείες στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν είχαν τα χρηματικά κεφάλαια να επενδύσουν σε τεχνολογία αιχμής (Tilling, 2019). Είναι ακόμη η έλλειψη προτεραιότητας της τεχνολογίας για την ανώτερη διοίκηση όπου ο σχεδιασμός κάθε αεροδρομίου διαφέρει ανάλογα τις εκάστοτε απαιτήσεις όπως είναι ο αριθμός των επιβατών, ο τύπος του αερολιμένα και οι καινοτόμες μεθοδολογίες που θα ακολουθήσουν για την λειτουργικότητα. Οι περισσότερες ηγετικές ομάδες αεροσκαφών τα τελευταία έτη έχουν εφαρμόσει νέες παραμέτρους για την διασφάλιση της άνεσης και την ικανοποίηση των επιβατών, ενθαρρύνοντας έτσι την πελατοκεντρικότητα. Σε μία άλλη όψη, οι μικρομεσαίες αεροπορικές εταιρείες έχουν συσταθεί με πιο παραδοσιακή διαχείριση, παραβλέποντας την ψηφιακή βελτίωση αλλά και την εμπειρία των ταξιδιών, στοχεύοντας πλέον περισσότερο στην εκμετάλλευση των πελατών προσεγγίζοντας τους με χαμηλές τιμές εισιτηρίων. Το ενδιαφέρον εδώ στρέφεται στην είσπραξη και στην βόλεψη μιας μεγάλης μάζας, αδιαφορώντας για την άνεση των ταξιδιωτών, ωστόσο η δεύτερη κατηγορία συνεχίζει να διατηρείται στις προτιμήσεις λόγω των οικονομικών κρίσεων της κάθε χώρας.

Θα πρέπει λοιπόν να σημειωθεί πως καθώς ο αριθμός των επιβατών αεροσκαφών συνεχίζει να αυξάνεται, το ίδιο κάνουν και οι προσδοκίες για ολόκληρη την εμπειρία των επιβατών - συμπεριλαμβανομένης της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας, της υγείας και της άνεσης, της αξίας, της βιωσιμότητας και, φυσικά, των υπέροχων αγορών. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Αερομεταφορών (IATA), οι παγκόσμιοι προγραμματισμένοι αριθμοί πτήσεων επιβατών αναμένεται να ξεπεράσουν τα τέσσερα δισεκατομμύρια για πρώτη φορά φέτος, με αναμενόμενα έσοδα για εμπορικές αεροπορικές εταιρείες σχεδόν 750 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Σύμφωνα με την IATA, η ζήτηση επιβατών παραμένει ισχυρή και είναι πολύ μπροστά από το μέσο όρο των πέντε και των 10 ετών (6,4% και 5,5%, αντίστοιχα) (Silling, 2019).

Για την αντιμετώπιση όλων αυτών των τομέων προς βελτίωση, οι καινοτομίες των αεροδρομίων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία και λειτουργία της επόμενης γενιάς αεροδρομίων. Εδώ παρουσιάζουμε μερικές από τις εξαιρετικές προόδους που γίνονται σε όλο τον κόσμο. Η διάταξη, η γεωμετρία των οδών μεταφοράς και των διαδρόμων, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για να διασφαλιστεί ότι τα αεροσκάφη παραμένουν σε ασφαλή διάδρομο εντός και εκτός αεροδρομίων. Δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς αυξάνεται η κίνηση σε ένα πολύπλοκο αεροδρόμιο, αυξάνεται και ο κίνδυνος εισβολής διαδρόμου (Silling, 2019).

Με τον ορθό σχεδιασμό για να είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη μείωση του κινδύνου, η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας των ΗΠΑ (FAA) ανέθεσε μια άνευ προηγουμένου εθνική κλίμακα σχεδιαστική ανάλυση των διαδρόμων σε όλα τα αεροδρόμια δημόσιας χρήσης, που αριθμούσαν πάνω από έξι χιλιάδες. Χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες, κάθε διάταξη αεροδρομίου αξιολογήθηκε και ταξινομήθηκε. Το λογισμικό χαρτογράφησης που φιλοξενείται σε σύννεφο δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε για την ανάλυση των συνδέσεων μεταξύ του μη τυπικού σχεδιασμού αεροδρομίων και των έξι ετών καταγεγραμμένων εισβολών, μεταξύ 2007 - 2013 (Silling, 2019).

Ως εκ τούτου, η δημιουργία μιας θετικής εμπειρίας επιβατών είναι ένα από τα κλειδιά για τα αεροδρόμια που προσελκύουν επανειλημμένες επιχειρήσεις και νέους πελάτες. Και μια από τις διαδρομές για τη βελτίωση του ταξιδιού ξεκινά με τη φυσική εμπειρία του τερματικού. Για παράδειγμα, σχεδιασμένο για να ενισχύσει αυτή την εμπειρία και να αντικατοπτρίζει το περιβάλλον και τον πολιτισμό των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων (ΗΑΕ), ο ξεχωριστός και βιώσιμος σχεδιασμός τοπίου για το Διεθνές Αεροδρόμιο του Αμπού Ντάμπι, Midfield Terminal Complex, δημιουργεί ένα σκηνογραφικό ταξίδι για τους ταξιδιώτες.

Με τους συνεχώς αυξανόμενους κινδύνους απειλής για το σύνολο της αεροπορικής βιομηχανίας, η σημασία των έξυπνων μέτρων ασφαλείας στα αεροδρόμια, δεν ήταν ποτέ μεγαλύτερη. Δημιουργώντας ισχυρότερους δεσμούς μεταξύ του κέντρου ελέγχου του Διεθνούς Αεροδρομίου του Λος Άντζελες και των εργαζομένων που βρίσκονται γύρω από την εγκατάσταση, έχει αναπτυχθεί ένα κινητό εργαλείο, βασισμένο σε tablet.

Ένας ζωτικός κόμβος για τις λειτουργίες, τη συντήρηση, την ενέργεια και την ασφάλεια, το Κέντρο Συντονισμού Αερολιμενικής Απόκρισης είναι πλέον σε θέση να ανταλλάσσει πληροφορίες και να συνεργάζεται άμεσα με όλο το προσωπικό που εργάζεται στον τομέα. Μια σχετική καινοτομία λοιπόν, μπορεί να παρέχει 24ωρη επαφή και ενημερώσεις για ένα τεράστιο φάσμα θεμάτων, από τη συνήθη συντήρηση κτιρίων έως την ασφαλή μετακίνηση των επιβατών και τη διαπραγμάτευση κλεισίματος δρόμων (Silling, 2019).

1.2 Ορισμός, ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των αεροδρομίων διεθνώς

Ως αεροδρόμιο καλείται ένας τερματικός σταθμός αεροσκαφών με σχετική μεγάλη τοποθεσία και εγκατάσταση για την απογείωση και την προσγείωση αεροσκαφών. Ένα αεροδρόμιο έχει συνήθως πλακόστρωτους διαδρόμους και εγκαταστάσεις συντήρησης και χρησιμεύει ως τερματικός σταθμός για επιβάτες και φορτία (Augustyn, 2010).

Ως προς την εξέλιξη των αεροδρομίων, οι απαιτήσεις για την κατασκευή αυτών έχουν αυξηθεί σε πολυπλοκότητα και κλίμακα από τις πρώτες μέρες της πτήσης των αεροπλάνων σε ιστορική βάση. Ωστόσο, πριν από τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η απόσταση προσγείωσης και απογείωσης των περισσότερων αεροσκαφών μεταφοράς επιβατών ήταν το πολύ 600 μέτρα (2.000 πόδια). Παρέχονται πρόσθετες σαφείς περιοχές για τυφλές προσγειώσεις ή κακές καιρικές συνθήκες, αλλά η συνολική έκταση σπάνια ξεπέρασε τα 500 στρέμματα (200 εκτάρια) με τη πάροδο των ετών (Augustyn, 2011).

Ωστόσο, με την γενική εισαγωγή βαρέων μονοπλάνων για μεταφορά εμπορευμάτων, όπως το Douglas DC-3, στα τέλη της δεκαετίας του 1930, χρειάστηκαν εκτεταμένες αποστάσεις απογείωσης και προσγείωσης. Ακόμα και τότε, τα προπολεμικά αεροδρόμια στη Νέα Υόρκη (La Guardia), το Λονδίνο (Croydon), το Παρίσι (Le Bourget) και το Βερολίνο (Tempelhof), τοποθετήθηκαν σε περιοχές κοντά στα κέντρα της πόλης. Επειδή ακόμη τα αεροσκάφη μεταφοράς της εποχής ήταν σχετικά ελαφριά, οι πλακόστρωτοι διάδρομοι ήταν σπάνιοι ως προς την χρήση τους.

Τα αεροδρόμια του Croydon, Tempelhof και Le Bourget, για παράδειγμα,

λειτουργούσαν μόνο από λωρίδες χόρτου στο οδόστρωμά τους. Τα πρώτα αεροδρόμια ήταν επίσης μεγάλα κέντρα ψυχαγωγικής δραστηριότητας, συχνά προσελκύνοντας περισσότερους επισκέπτες από επιβάτες. Το 1939 το αεροδρόμιο La Guardia προσέλκυε σχεδόν 250.000 επισκέπτες μηνιαίως, φτάνοντας στο μέγιστο των 7.000 επισκεπτών σε μία ημέρα, σε σύγκριση με τη μέγιστη ημερήσια διακίνηση μόνο 3.000 επιβατών. Το έτος 1929 ωστόσο, το αεροδρόμιο του Βερολίνου ανέφερε 750.000 επισκέπτες και διέθετε ένα εστιατόριο που χωρούσε 3.000 άτομα στην οροφή του επιβατικού τερματικού σταθμού. Η κατάσταση των προπολεμικών αεροδρομίων ως κύριων κοινωνικών κέντρων αντικατοπτρίστηκε στο σχεδιασμό τους, ειδικά εκεί όπου οι απαιτήσεις για τροφοδοσία, καταστρώματα παρατήρησης και στάθμευση, ήταν υψίστης σημασίας. Ωστόσο, οι βασικές απαιτήσεις των αεροσκαφών και των επιβατών, δεν ήταν καθόλου κυρίαρχες στα πρώτα αεροδρόμια (Augustyn, 2010).

Επίσης μεγάλες αεροπορικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων πραγματοποιήθηκαν από τα σχετικά μεγάλα υδροπλάνα (Fife, 2008). Αυτά τα αεροσκάφη, όσο αργά και περιορισμένης εμβέλειας ήταν, προσέφεραν ένα επίπεδο άνεσης που ήταν απαραίτητο για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων. Οι εγκαταστάσεις αεροσταθμών κατασκευάστηκαν αναγκαστικά κοντά σε μεγάλες ανοιχτές εκτάσεις νερού.

Το Αεροδρόμιο La Guardia και το Αεροδρόμιο Santos Dumont στο Ρίο ντε Τζανέιρο, είναι παραδείγματα αεροδρομίων που εξακολουθούν να λειτουργούν σε τοποθεσίες που είχαν αρχικά επιλεγεί για την ικανότητά τους να χειρίζονται μεγάλα υδροπλάνα. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις στο Southampton Water στο Ηνωμένο Βασίλειο, έχουν πλέον εξαφανιστεί, αλλά η τεχνητή λίμνη στο αεροδρόμιο Linate κοντά στο Μιλάνο, Ιταλία, βρίσκεται ακόμα κοντά στις σημερινές εγκαταστάσεις διοίκησης (Augustyn, 2011).

Βέβαια η συντριπτική πλειοψηφία των αεροδρομίων σε όλο τον κόσμο, εξακολουθούν να είναι σχετικά απλές εγκαταστάσεις. Ακόμα και σήμερα, πολλά αεροδρόμια έχουν μη ασφαλτοστρωμένους διαδρόμους ή το πολύ ελαφρώς πλακόστρωτους διαδρόμους με μικροσκοπικά κτίρια τερματικού ή διοίκησης, υποτυπώδη πύργο ελέγχου και ακατέργαστα βοηθήματα προσγείωσης. Τέτοιες εγκαταστάσεις μπορούν να αντιμετωπίσουν μόνο ελαφρά αεροσκάφη και αμελητέα ροή επιβατών ή εμπορευμάτων. Η βαριά εναέρια κυκλοφορία, από την άλλη πλευρά,

αντιμετωπίζεται πλέον σχεδόν εξ' ολοκλήρου από εξελιγμένες εγκαταστάσεις αεροδρομίου που μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του πληρώματος, των επιβατών, των εμπορευμάτων και τη μεγάλη γκάμα τύπων αεροσκαφών που έχουν εξελιχθεί για να καλύψουν τις ανάγκες των σύγχρονων αεροπορικών μεταφορών και γενικά αεροπορία (Fife, 2008).

Στις μέρες μας βέβαια, πάνω από 100 αεροδρόμια σε όλο τον κόσμο εξυπηρετούν πλέον τουλάχιστον 10 εκατομμύρια επιβάτες κάθε χρόνο, όπου σχεδόν τα μισά από αυτά βρίσκονται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Δεκάδες αεροδρόμια μεταφέρουν τακτικά περισσότερους από 30 εκατομμύρια επιβάτες σε ετήσια βάση, και σχεδόν δώδεκα, από το Διεθνές Αεροδρόμιο Hartsfield Atlanta στην πολιτεία της Τζόρτζια των ΗΠΑ έως το Αεροδρόμιο Heathrow του Λονδίνου στο Ηνωμένο Βασίλειο έως το Διεθνές Αεροδρόμιο του Πεκίνου στην Κίνα, το καθένα (Transportation Research Board, 2008).

Το Διεθνές Αεροδρόμιο του Μέμφις (Τενεσί), το αεροδρόμιο της FedEx Corporation και το Διεθνές Αεροδρόμιο του Χονγκ Κονγκ, είναι οι μεγαλύτεροι φορτωτές στον κόσμο, καθένας από τους οποίους διακίνησε σχεδόν τέσσερα εκατομμύρια τόνους το έτος 2007. Προκειμένου να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση για αεροπορικά ταξίδια, έχουν κατασκευαστεί μεγάλα αεροσκάφη μεταφοράς που κινούνται με πολλαπλούς κινητήρες jet και turboprop (Fife, 2008).

Τέτοια αεροσκάφη απαιτούν εκτεταμένες χερσαίες εγκαταστάσεις, διαδρόμους, ταξί, υπηρεσίες πυρόσβεσης/διάσωσης, εγκαταστάσεις μεταφοράς επιβατών/φορτίων, πρόσβαση σε χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων/μέσα μαζικής μεταφοράς, φωτισμό, βοηθήματα πλοήγησης/προσέγγισης και διάφορες εγκαταστάσεις υποστήριξης, όπως τροφοδοσία, μετεωρολογία και κυβερνητικός έλεγχος.

Για να είναι ελκυστικά βολικό, το συγκρότημα των δραστηριοτήτων και εγκαταστάσεων που αποτελούν ένα σύγχρονο αεροδρόμιο πρέπει να βρίσκεται αρκετά κοντά στα κύρια κέντρα του παγκόσμιου πληθυσμού. Ταυτόχρονα, πρέπει να απέχουν επαρκώς, έτσι ώστε τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με το θόρυβο των μεγάλων αεροσκαφών και τις δραστηριότητες του μεγάλου αριθμού επιβατών, εργαζομένων και επισκεπτών να μην γίνονται δυσβάσταχτα στις πόλεις

που εξυπηρετούνται (Augustyn, 2011).

1.3 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των σύγχρονων αεροδρομίων

Τα μεγαλύτερα αεροδρόμια στον κόσμο, απασχολούν περισσότερους από 100.000 εργαζόμενους το καθένα. Είναι εξαιρετικά σύνθετες οντότητες όσον αφορά τις φυσικές εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν, τους οργανισμούς που δραστηριοποιούνται εντός των ορίων τους και τις υπηρεσίες που παρέχονται σε συνδυασμό με τη λειτουργία τους (Fife, 2008). Οι φυσικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν διαδρόμους και λωρίδες, που χρησιμοποιούνται για την προσγείωση και απογείωση αεροσκαφών, για ελιγμούς, τη τοποθέτηση αεροσκαφών στο έδαφος και για στάθμευση για φόρτωση - εκφόρτωση επιβατών και φορτίου.

Για την ασφαλή προσγείωση - απογείωση αεροσκαφών, παρέχονται ειδικά φώτα και σχετική ραδιοπλοήγηση. Αυτά συμπληρώνονται με σήμανση αεροδρομίου, πινακίδες, σήματα και εγκαταστάσεις ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας. Οι εγκαταστάσεις υποστήριξης στον αέρα του πεδίου περιλαμβάνουν την υπηρεσία της μετεωρολογίας, πυρκαγιάς και διάσωσης, παροχής ηλεκτρικού ρεύματος όπως και άλλων βοηθητικών υπηρεσιών, την συντήρηση αεροσκαφών και του αεροδρομίου. Οι εγκαταστάσεις ενός αεροδρομίου επίσης, μπορεί να αναφέρονται σε τερματικούς σταθμούς επιβατών και φορτίου, το σύστημα πρόσβασης, το οποίο περιλαμβάνει χώρους στάθμευσης, δρόμους, εγκαταστάσεις δημόσιων συγκοινωνιών, χώρους φόρτωσης και εκφόρτωσης (Augustyn, 2010).

Πολλοί οργανισμοί ωστόσο, συμμετέχουν στη λειτουργία ενός σύγχρονου αεροδρομίου. Η γενική διαχείριση συνήθως ελέγχεται από έναν οργανισμό, αρχή ή εταιρεία που διαθέτει άδεια λειτουργίας της εγκατάστασης. Αυτή η άδεια χορηγείται με την επιφύλαξη απόφασης των εθνικών αρχών πολιτικής αεροπορίας ότι ο διαχειριστικός φορέας είναι ικανός και αρμόδιος για τη λειτουργία του αερολιμένα εντός της εθνικής και, κατά περίπτωση, της διεθνούς νομοθεσίας που διέπει την ασφάλεια και τις λειτουργίες (Transportation Research Board, 2008).

Ενώ η συνολική ευθύνη για την αποτελεσματική, ασφαλή και νόμιμη λειτουργία ανήκει στη διεύθυνση του αεροδρομίου, πολλές από τις επιμέρους υπηρεσίες σε ένα

αεροδρόμιο παρέχονται από άλλους οργανισμούς. Τέτοιοι οργανισμοί περιλαμβάνουν αεροπορικές εταιρείες, αρχές ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, εταιρείες εδάφους χειριστές σταθερής βάσης, παραχωρησιούχοι οργανώσεις ασφαλείας, κυβερνητικές υπηρεσίες αρμόδιες για τελωνεία, μετανάστευση, υγειονομικό έλεγχο, αστυνομία και την υποστήριξη εταιρειών που παρέχουν τροφοδοσία πτήσεων, τροφοδοσία καυσίμων, μηχανική αεροσκαφών και συντήρηση και σχολές εκμάθησης πτήσεων. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν η ιδιωτικοποίηση άρχισε να σαρώνει την πολιτική αεροπορία, οι εταιρείες τερματικών σταθμών έχουν γίνει επίσης συχνότερες, όπως αυτές που διαθέτουν τερματικά στο Μπέρμιγχαμ, Βρυξέλλες και Τορόντο (Transportation Research Board, 2008).

1.4 Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στην δημιουργία και λειτουργία των αεροδρομίων

Οι υπηρεσίες ενός αεροδρομίου που σχετίζονται με το αεροσκάφος, αναφέρονται συχνά ως εναέριες. Πολλές από αυτές τις υπηρεσίες συγκεντρώνονται στο τμήμα της λειτουργικής επιφάνειας δίπλα στους τερματικούς σταθμούς όπου πραγματοποιούνται ελιγμοί ή σταθμεύσεις αεροσκαφών. Οι κινήσεις αυτές περιλαμβάνουν χειρισμό της λειτουργίας αεροσκαφών, μεταφορά επιβατών στο αεροσκάφος, μεταφορά αποσκευών και φορτίου, τροφοδοσία αεροσκαφών, τροφοδοσία και καθαρισμό καμπίνας, εκκίνηση κινητήρα και μηχανική συντήρησης (Transportation Research Board, 2008).

Η επιλογή ενός τόπου ωστόσο, για ένα νέο αεροδρόμιο ή η αξιολόγηση του πόσο καλά μπορεί να επεκταθεί ένας υπάρχων χώρος αεροδρομίου για να επεκταθεί σχετικά, είναι μια περίπλοκη διαδικασία. Πρέπει να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ των απαιτήσεων αεροναυτικών, αεροπορικών μεταφορών και των επιπτώσεων του αεροδρομίου στο περιβάλλον του (Transportation Research Board, 2008). Από αεροναυτική άποψη, η βασική απαίτηση ενός αεροδρομίου είναι να έχει μια σχετικά επίπεδη έκταση επαρκώς μεγάλη για να φιλοξενήσει τους διαδρόμους και άλλες εγκαταστάσεις όπου αυτή η περιοχή να είναι απαλλαγμένη από τέτοια εμπόδια στην αεροναυτιλία όπως βουνά και ψηλά κτίρια (Augustyn, 2010).

Από την άποψη των αναγκών αεροπορικών μεταφορών, οι τοποθεσίες των αεροδρομίων πρέπει να είναι αρκετά κοντά σε πληθυσμιακά κέντρα ώστε να θεωρούνται λογικά προσιτές στους χρήστες τους. Οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις, από την άλλη πλευρά, υπαγορεύουν ότι η τοποθεσία πρέπει να είναι μακριά αρκετά μακριά από τα αστικά κέντρα ώστε ο θόρυβος και άλλες επιβλαβείς επιπτώσεις στον πληθυσμό να διατηρούνται σε αποδεκτά επίπεδα. Επιπλέον, το αεροδρόμιο δεν πρέπει να καταστρέφει περιοχές φυσικού κάλλους ή άλλης σημασίας. Αυτά τα δύο σύνολα απαιτήσεων, η αεροναυτική και η περιβαλλοντική επιστήμη, συγκρούονται σχεδόν αναπόφευκτα, με τη σύγκρουση να γίνεται πιο σοβαρή καθώς αυξάνεται η κλίμακα του προβλεπόμενου αεροδρομίου.

Η πιο απλή λειτουργία ενός αεροδρομίου - με έναν μόνο διάδρομο, μια λωρίδα οδοστρώματος προσγείωσης – απογείωσης, ένα κτίριο που λειτουργεί ταυτόχρονα ως τερματικός σταθμός, η περιοχή διαχείρισης και πύργος ελέγχου μπορεί άνετα να δημιουργηθεί σε μια έκταση μόλις 75 στρεμμάτων, αφού απαιτεί μόνο ένα επίπεδο, μια περιοχή επαρκής για να φιλοξενήσει έναν σύντομο διάδρομο προσγείωσης και τη γύρω ζώνη ασφαλείας του.

Οι μεγαλύτερες και πιο σύγχρονες εγκαταστάσεις του αεροδρομίου, από την άλλη πλευρά, απαιτούν πολλαπλούς διαδρόμους εκτεταμένου μήκους, εκτεταμένους τερματικούς χώρους ποδιάς, μεγάλες εκτάσεις γης για πάρκινγκ και δρόμους πρόσβασης στο αεροδρόμιο. Για ένα τέτοιο αεροδρόμιο, πιθανόν να απαιτείται ελάχιστη έκταση 3.000 στρεμμάτων. Αρκετά μεγάλα αεροδρόμια - όπως το Διεθνές Αεροδρόμιο Ντάλας -Φορτ Γουόρθ στο Τέξας, το Διεθνές Αεροδρόμιο King Abdul Aziz κοντά στο Τζίντα της Σαουδικής Αραβίας και το Αεροδρόμιο Σαρλ ντε Γκωλ κοντά στο Παρίσι - είναι χτισμένα σε τοποθεσίες που υπερβαίνουν αυτόν τον αριθμό χώρων και λειτουργιών (Fife, 2008).

1.5 Ο παράγοντας της διαδικασίας επιλογής χώρου για την δημιουργία ενός αεροδρομίου

Η διαδικασία επιλογής μιας τοποθεσίας για τη δημιουργία σε μεγάλα αεροδρόμια, μπορεί να διαρκέσει πολλούς μήνες και σε ορισμένες αξιοσημείωτες περιπτώσεις να επεκταθεί για πολλά χρόνια. Η διαδικασία περιπλέκεται από τον αριθμό των παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Πρώτον, αξιολογείται η επιχειρησιακή

ικανότητα του τόπου, ιδίως όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες όπως ο άνεμος, το χιόνι, ο πάγος, η ομίχλη, η χαμηλή ορατότητα, καθώς και τα εμπόδια στην αεροναυτιλία γύρω από το αεροδρόμιο, ιδιαίτερα στις διαδρομές προσέγγισης και απογείωσης (Augustyn, 2011).

Η θέση της εγκατάστασης σε σχέση με τον εναέριο χώρο που ελέγχεται από την εναέρια κυκλοφορία, είναι επίσης λειτουργικά σημαντική. Επιπλέον, πρέπει να γίνει αξιολόγηση της ικανότητας του διαθέσιμου εδάφους να φιλοξενήσει την αναμενόμενη διαμόρφωση διαδρόμων και άλλων εγκαταστάσεων. Απαιτείται επίπεδη ή πολύ ήπια κυματοειδής γη, επειδή οι διάδρομοι προσγείωσης πρέπει να κατασκευάζονται σύμφωνα με περιορισμούς στις μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις - οι οποίοι με τη σειρά τους εξαρτώνται από την απόδοση των αεροσκαφών κατά την προσγείωση και την απογείωση.

Λαμβάνεται επίσης υπόψη η επίγεια πρόσβαση στο αεροδρόμιο. Αξιολογείται η απόσταση από τα πληθυσμιακά κέντρα, η περιφερειακή υποδομή των αυτοκινητοδρόμων, οι δημόσιες συγκοινωνίες (συμπεριλαμβανομένων των σιδηροδρόμων) και η διαθεσιμότητα γης για στάθμευση. Το κόστος ανάπτυξης εκτιμάται επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τη φύση του εδάφους, τις συνθήκες του εδάφους, των βράχων, τις απαιτήσεις αποστράγγισης και τις τοπικές αξίες της γης.

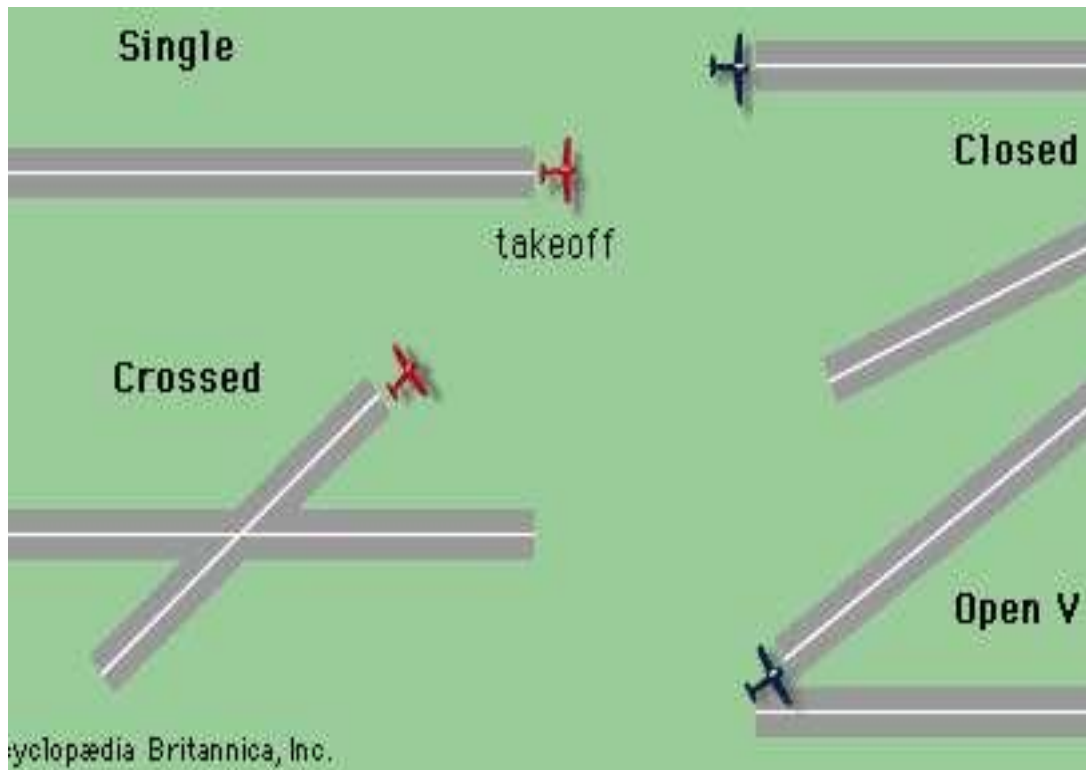
Οι περιβαλλοντικές συνέπειες της ανάπτυξης ενός αεροδρομίου είναι πολύ υψηλές σε οποιαδήποτε διαδικασία επιλογής τοποθεσίας. Ο αντίκτυπος του θορύβου των αεροσκαφών στον γειτονικό πληθυσμό, είναι συχνά ο πιο σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας, αλλά, σε πολλές χώρες, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ο αντίκτυπος στη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής, η ρύπανση μέσω χημικών απορροών στα τοπικά υπόγεια ύδατα, η παρουσία απειλούμενα είδη ή σημαντικές πολιτιστικές τοποθεσίες, ακόμη και ανεπιθύμητες αλλαγές στη χρήση της γης. Πολλές κυβερνήσεις απαιτούν πλέον οι περιβαλλοντικές αναλύσεις των έργων ανάπτυξης αεροδρομίων, να περιλαμβάνουν αξιολογήσεις μετεγκατάστασης πληθυσμού, αλλαγές στα πρότυπα απασχόλησης και στρέβλωση του υφιστάμενου περιφερειακού σχεδιασμού χρήσης γης και μεταφορών (Fife, 2008).

1.6 Λειτουργικές απαιτήσεις και διάταξη διαμόρφωσης ενός αεροδρομίου

Είναι προφανές ακόμη ότι στον πιο απλό παρατηρητή, ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στην εμφάνιση και τη διάταξη των εγκαταστάσεων ενός αεροδρομίου. Τα απλής λειτουργίας αεροδρόμια που έχουν σχεδιαστεί για να φιλοξενούν ελαφριά αεροσκάφη όπου είναι ουσιαστικά παρόμοια, αλλά, καθώς τα αεροδρόμια γίνονται μεγαλύτερα και πιο σύνθετα, φιλοξενούν έτσι περισσότερους επιβάτες και φορτίο, οι ατομικές τους απαιτήσεις επηρεάζουν τη διάταξή τους και διασφαλίζουν ότι το καθένα γίνεται αναγνωρίσιμα διαφορετικό (Augustyn, 2010).

Οι κύριοι καθοριστικοί παράγοντες της διάταξης του αεροδρομίου, είναι ο αριθμός των διαδρόμων, ο προσανατολισμός τους, το σχήμα του διαθέσιμου χώρου και οι περιορισμοί στο χώρο, τόσο στο έδαφος όσο και στον αέρα. Η θέση και ο προσανατολισμός των διαδρόμων διέπεται με τη σειρά τους από την ανάγκη αποφυγής εμποδίων, ιδίως κατά τις διαδικασίες προσγείωσης και απογείωσης.

Για τα μεγαλύτερα αεροδρόμια, τα εμπόδια στην αεροναυτιλία πρέπει να θεωρούνται έως και 15 χιλιόμετρα (10 μίλια) από τους διαδρόμους. Οι διαμορφώσεις του διαδρόμου, πρέπει επίσης να διασφαλίζουν ότι, για το 95% των περιπτώσεων, τα αεροσκάφη μπορούν να πλησιάσουν και να απογειωθούν χωρίς πλευρικούς ανέμους που θα εμπόδιζαν τις λειτουργίες. Στα μικρότερα αεροδρόμια, τα ελαφρά αεροσκάφη δεν μπορούν να λειτουργήσουν με αντίθετους ανέμους μεγαλύτερους από 10 κόμβους. Σε όλα τα αεροδρόμια, δεν συνιστάται από τους κατασκευαστές αεροσκαφών η λειτουργία στους πίσω ανέμους άνω των 10 κόμβων (10 κόμβοι, ή ναυτικά μίλια ανά ώρα, ισούται με περίπου 12 νόμιμα μίλια ανά ώρα ή 19 χιλιόμετρα την ώρα) (Transportation Research Board, 2008).



Εικόνα Νο.1 - Διαμορφώσεις διαδρόμου σε ένα αεροδρόμιο

Η λειτουργική ικανότητα ενός αεροδρομίου, η οποία συνήθως ορίζεται ως ο μέγιστος δυνατός αριθμός προσγειώσεων και απογειώσεων αεροσκαφών, καθορίζεται από τον αριθμό των διαδρόμων που είναι διαθέσιμο για χρήση ανά πάσα στιγμή. Η συντριπτική πλειοψηφία των αεροδρομίων σε όλο τον κόσμο έχει την απλούστερη δυνατή διάταξη, έναν ενιαίο διάδρομο. Όπου οι πλευρικοί άνεμοι θα ήταν υψηλοί για ένα απαράδεκτο ποσοστό λειτουργίας, απαιτείται διαμόρφωση δύο διαδρόμων, συνήθως με τη μορφή κύριου διαδρόμου και βοηθητικού διαδρόμου πλευρικού ανέμου. Ανάλογα με το σχήμα του χώρου και τη διαθεσιμότητα της γης, η εγκατάσταση πλευρικών ανέμων μπορεί να λάβει διασταυρωμένη διαμόρφωση ή ανοιχτή ή κλειστή διάταξη V (Fife, 2008).

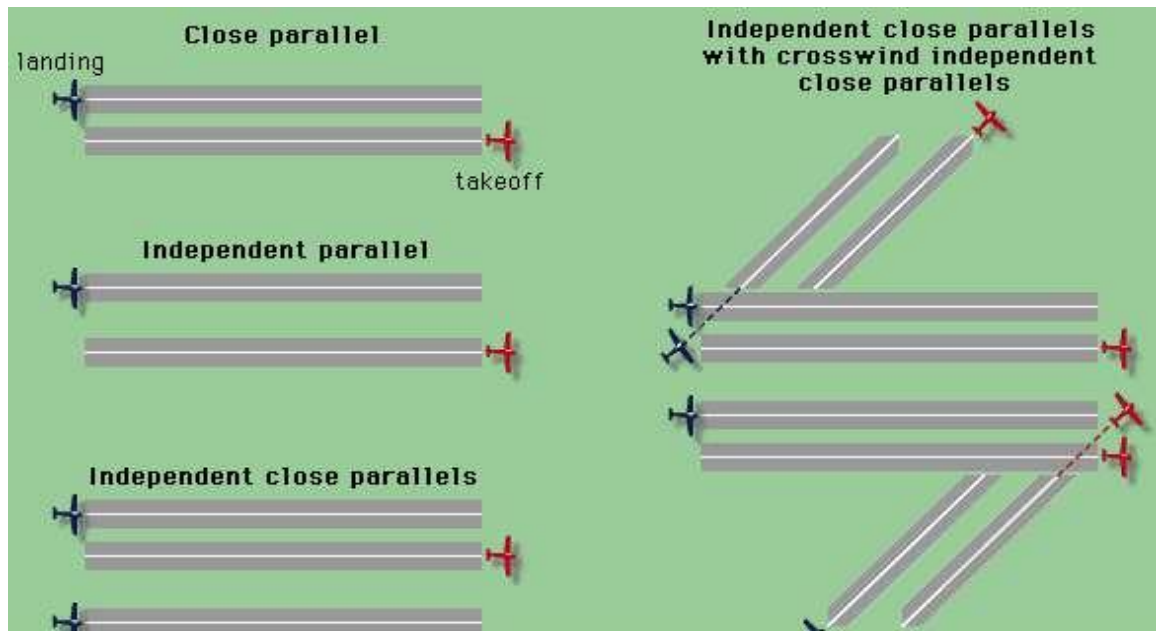
Όπου η ορατότητα είναι καλή και τα αεροσκάφη μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με τους κανόνες οπτικής πτήσης (VFR), η επιχειρησιακή ικανότητα αυξάνεται από το χαμηλότερο επίπεδο, διασταυρωμένους διαδρόμους, μέσω των κλειστών διαμορφώσεων V και ανοικτού V. Ωστόσο, σε χαμηλή ορατότητα ή υπό ορισμένες συνθήκες πολύ βαριάς εναέριας κυκλοφορίας, τα αεροσκάφη πρέπει να λειτουργούν σύμφωνα με τις αυστηρές οδηγίες, με κανόνες ελέγχου της εναέριας κυκλοφορίας και

λειτουργίας οργάνων, αυτά ονομάζονται κανόνες πτήσης με όργανα (IFR). Υπό τέτοιες συνθήκες, οι διάδρομοι αντίθετου ανέμου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα με τους κύριους διαδρόμους, έτσι ώστε οι χωρητικότητες των διασταυρωμένων και V διαμορφώσεων να είναι ισοδύναμες με αυτές ενός μεμονωμένου διαδρόμου.

Ωστόσο, μια αύξηση της λειτουργικής ικανότητας στο πλαίσιο VFR, είναι δυνατή με τη χρήση μιας στενής παράλληλης διαμόρφωσης διαδρόμου. Τα περισσότερα πολύ μεγάλα αεροδρόμια πρέπει να έχουν επαρκή χωρητικότητα ακόμη και υπό συνθήκες IFR, αυτό μπορεί να επιτευχθεί διαχωρίζοντας τους παράλληλους διαδρόμους κατά 1.035 μέτρα (3.400 πόδια), που ήταν η απόσταση που εγκρίθηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας στις 9 Νοεμβρίου. 9, 1995.

Αυτή η ανεξάρτητη παράλληλη διαμόρφωση επιτρέπει ταυτόχρονες ανεξάρτητες προσγειώσεις - απογειώσεις και στους δύο διαδρόμους. Το αεροδρόμιο του Μονάχου αποτελεί παράδειγμα αυτού του τύπου διαμόρφωσης. Ακόμη μεγαλύτερη χωρητικότητα είναι δυνατή χρησιμοποιώντας μια διαμόρφωση τεσσάρων διαδρόμων ανεξάρτητων στενών παραλληλισμών, όπως συμβαίνει στο Διεθνές Αεροδρόμιο του Λος Άντζελες. Με μια τέτοια διαμόρφωση, ακόμη και υπό IFR, είναι δυνατόν δύο αεροσκάφη να προσγειωθούν ταυτόχρονα ενώ δύο άλλα αεροσκάφη απογειώνονται.

Ορισμένα από τα μεγαλύτερα αεροδρόμια του κόσμου διαθέτουν γενικά σχέδια που διαθέτουν οκτώ (8) διαδρόμους με τη μορφή ανεξάρτητων κοντινών παραλλήλων που συμπληρώνονται με άλλους κοντινούς παραλληλισμούς που μπορούν να λειτουργήσουν αντίθετα. Ωστόσο, με το επιβατικό αεροσκάφος να αυξάνεται σε μέγεθος, τα περισσότερα μπορούν πλέον να λειτουργούν με αντίθετους ανέμους 20 κόμβων και άνω. Αυτό μειώνει την πιθανότητα να κατασκευαστούν ποτέ διαμορφώσεις με τέσσερις διαδρόμους πλευρικού ανέμου (Augustyn, 2011).



Εικόνα Νο.2 – Τρόπος διαμόρφωσης διαδρόμων σε ένα αεροδρόμιο

1.7 Κατασκευαστικές απαιτήσεις στην διαμόρφωση αεροδρομίων

Μέχρι την εισαγωγή βαρέων μονοπλάνων αεροσκαφών στο τέλος της δεκαετίας του 1930, τα αεροσκάφη πολιτικών αερομεταφορών, ήταν σε θέση να λειτουργούν από διαδρόμους με αποστάσεις απογείωσης μικρότερες από 600 μέτρα (2.000 πόδια). Η εμφάνιση βαρέων αεροσκαφών όπως το DC-3 απαιτούσε την παροχή πλακόστρωτων διαδρόμων.

Την ίδια στιγμή, οι αποστάσεις απογείωσης αυξήθηκαν σε περισσότερα από 900 μέτρα (3.000 πόδια). Οι απαιτήσεις μήκους για διαδρόμους συνεχίστηκαν να αυξάνονται στα μέσα της δεκαετίας του 1970, όταν μεγάλα πολιτικά αεροσκάφη όπως το Douglas DC-8 και ορισμένα μοντέλα του Boeing 747 απαιτούσαν σχεδόν 3.600 μέτρα (12.000 πόδια) διαδρόμου στο επίπεδο της θάλασσας. Ακόμη και μεγαλύτεροι διάδρομοι ήταν απαραίτητοι σε υψηλότερα υψόμετρα ή όπου σημειώθηκαν υψηλές θερμοκρασίες αέρα περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Η τάση αύξησης του μήκους των διαδρόμων προκάλεσε πολλά προβλήματα στα υπάρχοντα πολιτικά αεροδρόμια, όπου οι διάδρομοι έπρεπε να επεκταθούν για να

φιλοξενήσουν το νέο αεροσκάφος. Τελικά, η πίεση από τους φορείς εκμετάλλευσης αεροδρομίων, η ανάπτυξη κινητήρων τζετ ανεμιστήρα συνέβαλαν και τελικά ανέτρεψαν την τάση αυτή. Έπειτα από τη δεκαετία του 1970, οι απαιτήσεις μήκους διαδρόμου μειώθηκαν και οι επιδόσεις απογείωσης και ανόδου των πολιτικών αεροσκαφών, βελτιώθηκαν σημαντικά. Αυτό είχε διπλό όφελος στη μείωση της έκτασης γης που απαιτείται από ένα αεροδρόμιο και επίσης στη μείωση της περιοχής γύρω από το αεροδρόμιο που επηρεάζεται αρνητικά από θόρυβο κατά την απογείωση.

Σε όλα τα αεροδρόμια πλην των μικρότερων, προβλέπονται χώροι για διαδρόμους, ταξί και οποιεσδήποτε άλλες περιοχές όπου πραγματοποιούνται ελιγμοί αεροσκαφών. Οι χώροι για τους διαδρόμους, πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν τα φορτία που αφήνονται από τα αεροσκάφη χωρίς βλάβη. Ένας τέτοιος χώρος πρέπει να είναι λείο και σταθερό υπό συνθήκες φόρτωσης κατά τη διάρκεια της αναμενόμενης ή οικονομικής ζωής του.

Θα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από σκόνη και άλλα σωματίδια που θα μπορούσαν να παραχθούν και να απορροφηθούν στους κινητήρες, θα πρέπει να είναι σε θέση να μεταδώσει το βάρος ενός αεροσκάφους στο υπάρχον υπεδάφος (ή υπόγειο) με τρόπο που αποκλείει την αστοχία του υπεδάφους. Μια άλλη λειτουργία του χώρου δίπλα στους αεροδιαδρόμους, είναι να αποτρέψει την αποδυνάμωση του υπεδάφους από την εισβολή υγρασίας, ειδικά από βροχοπτώσεις και παγετό (Transportation Research Board, 2008).

Οι διάδρομοι των αεροδρομίων είναι δύο τύπων, άκαμπτοι και εύκαμπτοι. Οι άκαμπτοι διάδρομοι είναι κατασκευασμένοι από πλάκες από τσιμέντο τύπου Portland που στηρίζονται σε ήδη προετοιμασμένη υπόβαση κοκκώδους υλικού ή απευθείας σε κοκκώδη υποστρώματα. Το φορτίο μεταφέρεται μέσω των πλακών στο υποκείμενο υπόστρωμα με κάμψη αυτών. Τα εύκαμπτα μέρη οδοστρώματος ενός αεροδιάδρομου, είναι κατασκευασμένα από διάφορα πάχη ασφάλτου ή στρώματος ασφαλικού σκυροδέματος που υπερκαλύπτουν μια βάση κοκκώδους υλικού σε ένα ήδη προκατασκευασμένο υπόστρωμα (Augustyn, 2011).

Επίσης σε όλα τα μήκη, η αντοχή του οδοστρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα φορτία που τοποθετούνται επάνω του από τους τροχούς του αεροσκάφους. Η

επιλογή του τύπου του οδοστρώματος καθορίζεται συχνά από τα οικονομικά μεγέθη και απαιτήσεις. Σε ορισμένα μέρη του κόσμου, το τσιμέντο σκυροδέματος Portland είναι φθηνότερο από την άσφαλτο και χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό σε άλλα μέρη, το αντίστροφο ισχύει.

Ωστόσο, για ορισμένα τμήματα του αεροδρομίου, το σκυρόδεμα ασφάλτου είναι ένα ακατάλληλο υλικό για την κατασκευή χώρων αεροδιαδρόμων, λόγω της ευπάθειας του σε ζημιές από καύσιμα αεροσκαφών. Επομένως, ακόμη και σε αεροδρόμια όπου χρησιμοποιούνται γενικά εύκαμπτα σημεία χώρων αεροδιαδρόμων, είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται χώροι από σκυρόδεμα όπου τα αεροσκάφη στέκονται στα άκρα του διαδρόμου, όπου η συχνή διαρροή καυσίμου είναι συχνή (Augustyn, 2010).

1.8 Βοηθήματα πλοήγησης, φωτισμός και σήμανση στα αεροδρόμια

Μόνο τα απλούστερα αεροδρόμια έχουν σχεδιαστεί για επιχειρήσεις που εκτελούνται υπό οπτικές μετεωρολογικές συνθήκες (VMC). Αυτές οι εγκαταστάσεις λειτουργούν μόνο το φως της ημέρας και η μόνη καθοδήγηση που απαιτείται να προσφέρουν είναι μια βαμμένη κεντρική γραμμή διαδρόμου όπου οι μεγάλοι βαμμένοι αριθμοί που υποδεικνύουν την τοποθεσία του διαδρόμου.

Τα μεγαλύτερα εμπορικά αεροδρόμια, από την άλλη πλευρά, πρέπει επίσης να λειτουργούν τις ώρες του σκότους και υπό μετεωρολογικές συνθήκες οργάνων (IMC), όταν η οριζόντια ορατότητα είναι 600 μέτρα (2.000 πόδια) ή λιγότερο και η βάση του νέφους (ή "ύψος απόφασης") είναι 60 μέτρα (200 πόδια) ή χαμηλότερα. Προκειμένου να βοηθήσουν τα αεροσκάφη σε προσεγγίσεις - απογειώσεις και σε ελιγμούς στο έδαφος, αυτά τα αεροδρόμια είναι εξοπλισμένα με εξελιγμένα ραδιοπλοήγηση (μέσα), οπτικά βοηθήματα με τη μορφή φωτισμού και σήμανσης (Fife, 2008).

Η πιο κοινή μορφή βοηθήματος πλοήγησης που χρησιμοποιείται για τη φάση προσέγγισης προσγείωσης αεροσκαφών, είναι το σύστημα προσγείωσης οργάνων (ILS). Αυτό είναι ένα ραδιοσήμα που εκπέμπεται κατά μήκος της κεντρικής γραμμής του διαδρόμου και στη σωστή γωνία προσέγγισης (συνήθως 3° πάνω από την

οριζόντια). Η δέσμη αναχαιτίζεται από αεροσκάφος που πλησιάζει έως και 24 χιλιόμετρα (15 μίλια) από την είσοδο του διαδρόμου. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη θέση πάνω και κάτω από την κλίση ολίσθησης και την απόκλιση προς τα δεξιά ή αριστερά της κεντρικής γραμμής. Κατά συνέπεια, ο πιλότος είναι σε θέση να προσδιορίσει από τα όργανα του πιλοτηρίου μια απόκλιση του αεροσκάφους από την κατάλληλη προσέγγιση (Transportation Research Board, 2008).

Ωστόσο, πρόσθετες πληροφορίες προσέγγισης δίνονται οπτικά στον πιλότο με τη μορφή βοηθητικών μέσων προσέγγισης φωτισμού. Χρησιμοποιούνται δύο συστήματα βοήθειας προσέγγισης: το σύστημα δεικτών κλίσης οπτικής προσέγγισης (VASIS) και ο πιο σύγχρονος δείκτης διαδρομής προσέγγισης ακριβείας (PAPI). Και τα δύο λειτουργούν με βάση την αρχή των φώτων οδήγησης που εμφανίζονται λευκά όταν ο πιλότος βρίσκεται πάνω από την κατάλληλη κλίση ολίσθησης και κόκκινο όταν βρίσκεται κάτω από τη κλίση αυτή.

1.9 Η σημασία του φωτισμού στα αεροδρόμια

Η οπτική καθοδήγηση στα αεροσκάφη που πλησιάζουν σε ένα αεροδρόμιο, παρέχεται επίσης από συστήματα φωτισμού προσέγγισης, μια διαμόρφωση λευκών φώτων υψηλής έντασης που βρίσκονται κατά μήκος της κεντρικής γραμμής του διαδρόμου που εκτείνονται έως και 600 μέτρα (2.000 πόδια) πέρα από την είσοδο του αεροδρομίου (Augustyn, 2011). Σε αεροδρόμια όπου τα αεροσκάφη λειτουργούν με πολύ χαμηλή ορατότητα, παρέχεται φωτισμός στην περιοχή προσγείωσης στα πρώτα 900 μέτρα (3.000 πόδια) από την είσοδο του διαδρόμου. Αυτά τα φώτα, τοποθετημένα σε μοτίβα στο ίδιο επίπεδο με τα πλαϊνά μέρη του διαδρόμου, παρέχουν καθοδήγηση μέχρι την τελευταία στιγμή του αεροδιαδρόμου.

Ο ίδιος ο αεροδιάδρομος οριοθετείται έντονα από μια ποικιλία συστημάτων φωτισμού καθοδήγησης. Η είσοδος ορίζεται από μια σειρά πράσινων φώτων όπου οι άκρες και η κεντρική γραμμή οριοθετούνται από λευκά φώτα που ανάβουν προς το αεροσκάφος σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο πιλότος προειδοποιείται για το τέλος του διαδρόμου που πλησιάζει από μια σειρά κόκκινων φώτων στο τέλος του χρησιμοποιήσιμου αεροδιάδρομου (Transportation Research Board, 2008).

1.9.1 Σήμανση αεροδιαδρόμου

Σημαντική πρόσθετη οπτική καθοδήγηση δίνεται στους πιλότους με κάποια βαμμένα σημάδια στο μήκος του διαδρόμου. Η μορφή σήμανσης υποδεικνύει με μια ματιά εάν η καθοδήγηση των οργάνων επικοινωνίας, είναι διαθέσιμη σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο αεροδρόμιο. Στους διαδρόμους οργάνων ακριβείας, οι άκρες του διαδρόμου υποδεικνύονται με βαμμένες γραμμές και οι αποστάσεις κατά μήκος του διαδρόμου από την είσοδο, υποδεικνύονται με σήμανση πεζοδρομίου. Επιπλέον, τα σημάδια της ζώνης προσγείωσης, ζωγραφίζονται στα πλαϊνά σημεία αμέσως μετά την είσοδο, παρέχοντας ζωτική οπτική καθοδήγηση κατά τις στιγμές αμέσως πριν από την προσγείωση, όταν όλος ο φωτισμός μπορεί να αποκρύπτεται από την ομίχλη (Transportation Research Board, 2008).



Εικόνα Νο.3. - Το Boeing 747 πρόκειται να φτάσει στο αεροδρόμιο Schiphol του Άμστερνταμ, οδηγούμενο από φώτα προσέγγισης διαδρόμου. Τα φώτα του διαδρόμου και τα φώτα προσέγγισης καθοδηγούν τους πιλότους σε ασφαλείς προσγειώσεις και είναι απαραίτητα για πτήσεις τη νύχτα ή κατά τη διάρκεια χαμηλής ορατότητας.

1.10 Έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας

Σε κοντινή απόσταση από τα αεροδρόμια - ιδιαίτερα τα μεγάλα αεροδρόμια, όπου σε συνθήκες αιχμής μπορεί να συμβούν έως και τρεις περιπτώσεις προσγείωσης ή απογείωσης αεροσκαφών κάθε λεπτό ο έλεγχος των αεροσκαφών στον αέρα είναι μια δύσκολη αλλά εξαιρετικά σημαντική επιχείρηση. Τα αεροσκάφη απαιτούν πολύ μεγάλες ποσότητες εναέριου χώρου, αλλά ταυτόχρονα ο κίνδυνος σύγκρουσης πρέπει να οριστεί σε πολύ χαμηλά, σχεδόν αμελητέα επίπεδα. Επειδή τα αεροσκάφη συγκεντρώνονται στον εναέριο χώρο γύρω από τα αεροδρόμια, αποδεκτά επίπεδα κινδύνου σύγκρουσης μπορούν να επιτευχθούν μόνο με αυστηρή τήρηση των διαδικασιών που καθορίζονται και παρακολουθούνται από τις αρχές ελέγχου της εναέριας κυκλοφορίας.



Εικόνα Νο.4 - Εσωτερική άποψη ενός πύργου ελέγχου κυκλοφορίας αεροδρομίου το σούρουπο. Ο πύργος ελέγχου της κυκλοφορίας του αεροδρομίου διαχειρίζεται τις απογειώσεις και κάθε κίνηση εντός της περιοχής ελέγχου του τερματικού αεροδρομίου.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως ένα αεροσκάφος κατά την πτήση ακολουθεί τις οδηγίες ελέγχου της εναέριας κυκλοφορίας κατά τη διαδρομή καθώς πετά μέσω διαδοχικών περιοχών πληροφοριών πτήσης (FIR). Πλησιάζοντας σε ένα αεροδρόμιο στο οποίο πρόκειται να γίνει προσγείωση, το αεροσκάφος περνά στην περιοχή τερματικού ελέγχου (TCA). Σε αυτήν την περιοχή, μπορεί να υπάρχει πολύ αυξημένη πυκνότητα

εναέριας κυκλοφορίας, και αυτό παρακολουθείται στενά στο ραντάρ από τους ελεγκτές TCA, οι οποίοι συνεχώς δίνουν οδηγίες στους πιλότους για τον τρόπο πλοήγησης στην περιοχή.

Το αεροσκάφος στη συνέχεια εισέρχεται στο τελικό στάδιο προσέγγισης, οπότε ο έλεγχος περνά στον ελεγκτή προσέγγισης, ο οποίος παρακολουθεί το αεροσκάφος στον ίδιο τον διάδρομο. Μόλις βρεθεί στον διάδρομο, στον χειριστή δίνονται οδηγίες για ελιγμούς στο έδαφος από τον ελεγκτή εδάφους, του οποίου η ευθύνη είναι να αποφύγει τις αντικρουόμενες κινήσεις των αεροσκαφών στην επιχειρησιακή περιοχή του αεροδρομίου.

Ο ελεγκτής εδάφους δίνει στον πιλότο οδηγίες σχετικά με την επίτευξη της θέσης της στάθμευσης μέσω των κατάλληλων στροφών και διαδρομών στάθμευσης. Η τελική τοποθέτηση μπορεί να είναι ευθύνη ενός ελεγκτή στάθμευσης. Τα αναχωρούντα αεροσκάφη περνούν από μια αντίστροφη διαδικασία, κατά την οποία ο έλεγχος περνά από τον έλεγχο εδάφους στον έλεγχο αναχώρησης στην περιοχή τερματικού ελέγχου και, τέλος, στον έλεγχο εν πτήσει.

1.11 Ο παράγοντας της χωρητικότητας του αεροδρομίου

Οι διάφορες εγκαταστάσεις σε ένα αεροδρόμιο έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίζουν επαρκώς την αναμενόμενη ροή επιβατών και φορτίου. Η ροή που μπορεί να φιλοξενήσει οποιαδήποτε συγκεκριμένη εγκατάσταση χωρίς σοβαρή ενόχληση στους χρήστες, θεωρείται η σχετική χωρητικότητά της. Τα όρια στην κίνηση που μπορεί λογικά να φιλοξενηθεί σε ένα αεροδρόμιο, επιτυγχάνονται με διάφορους τρόπους. Αυτές περιλαμβάνουν καθυστερήσεις της εναέριας κυκλοφορίας στις προσγειώσεις - απογειώσεις, συμφόρηση στους διαδρόμους και τις θέσεις στάθμευσης, συνωστισμός και καθυστερήσεις σε κτίρια τερματικών σταθμών ή έντονη συμφόρηση σε εγκαταστάσεις πρόσβασης όπως χώροι στάθμευσης, εσωτερικοί δρόμοι και δημόσιες συγκοινωνίες.

Σε μικρότερα αεροδρόμια με έναν διάδρομο, τα όρια χωρητικότητας συνήθως συμβαίνουν στις τερματικές περιοχές, καθώς η λειτουργική ικανότητα ενός μόνο διαδρόμου με επαρκείς διαδρομές στάθμευσης, είναι αρκετά μεγάλη. Όταν ο όγκος των επιβατών φτάνει περίπου τα 25 εκατομμύρια το χρόνο, ένας μόνο διάδρομος

είναι απίθανο να είναι επαρκής για να χειριστεί τον αριθμό των κινήσεων των αεροσκαφών που πραγματοποιούνται κατά τις περιόδους αιχμής.

Σε αυτό το σημείο απαιτείται τουλάχιστον ένας επιπλέον διάδρομος, ο οποίος επιτρέπει ταυτόχρονη λειτουργία. Τα αεροδρόμια με δύο ταυτόχρονους διαδρόμους θα πρέπει να μπορούν να μεταφέρουν περίπου 55 έως 65 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως, και εδώ, επίσης, τα κύρια προβλήματα χωρητικότητας σχετίζονται με την παροχή επαρκούς τερματικού χώρου. Οι διατάξεις με τέσσερις παράλληλους διαδρόμους υπολογίζεται ότι έχουν επιχειρησιακή ικανότητα πάνω από ένα εκατομμύριο κινήσεις αεροσκαφών ετησίως και ετήσιες μετακινήσεις επιβατών άνω των 100 εκατομμυρίων.

Οι κύριοι περιορισμοί χωρητικότητας τέτοιων εγκαταστάσεων είναι η παροχή επαρκούς εναέριου χώρου για ελεγχόμενες κινήσεις αεροσκαφών και η παροχή κατάλληλων εγκαταστάσεων πρόσβασης. Είναι πιθανό ότι πολλά από τα μεγαλύτερα αεροδρόμια του κόσμου θα αντιμετωπίσουν προβλήματα πρόσβασης πριν φτάσουν στη λειτουργική ικανότητα των διαδρόμων τους (Augustyn, 2011).

1.12 Στοιχεία αποχέτευσης – απορροής σε ένα αεροδρόμιο

Τα μεγάλα αεροδρόμια είναι στην πραγματικότητα αστικά συγκροτήματα στα οποία τα κέντρα δραστηριότητας μεγάλου πληθυσμού, συνδέονται στενά με πολύ εκτεταμένες πλακόστρωτες περιοχές. Συνήθως ένα μεγάλο αεροδρόμιο μπορεί, σε καθημερινή βάση, να εξυπηρετεί περισσότερους από 100.000 επιβάτες και να υποστηρίζει έναν εργαζόμενο πληθυσμό άνω των 50.000 εργαζομένων. Το σύστημα αποχέτευσης ενός τέτοιου αεροδρομίου, πρέπει να αντιμετωπίζει μεγάλες καθημερινές ροές λυμάτων υγιεινής. Επιπλέον, πρέπει να φιλοξενεί απορροές από βροχή και χιόνι που συσσωρεύουν πάνω από αρκετές εκατοντάδες στρέμματα αδιαπέραστου οδοστρώματος.

Η κλίμακα του προβλήματος των λυμάτων σε πολλά μεγάλα αεροδρόμια είναι τέτοια που ορισμένες εγκαταστάσεις έχουν τις δικές τους εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ειδικά για τα υγειονομικά λύματα. Επειδή πολλά αεροδρόμια βρίσκονται σε χαμηλό έδαφος, το οποίο είναι πιο πιθανό να παρέχει την επίπεδη γη που είναι απαραίτητη για τις αεροδιάδρομους, το σύστημα αποχέτευσης πρέπει συχνά να

περιλαμβάνει εκτεταμένες εγκαταστάσεις άντλησης (Augustyn, 2010).

Η αυξανόμενη ανησυχία για το περιβάλλον σε συνδυασμό με την αυξανόμενη κλίμακα δραστηριότητας σε πολλά αεροδρόμια, σήμαινε ότι τα νερά απορροής δεν μπορούν πλέον να αποστραγγίζονται απευθείας σε επιφανειακά ύδατα, όπως ποτάμια και λίμνες. Συγκεκριμένα, τα αποχρωματιστικά χημικά που χρησιμοποιούνται στα σημεία αεροδιαδρόμων των αεροσκαφών, των αεροδρομίων και τα χημικά καθαρισμού που χρησιμοποιούνται στη συντήρηση των αεροσκαφών, είναι σοβαροί μολυσματικοί παράγοντες των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.

Κατά συνέπεια, ορισμένα αεροδρόμια υποχρεούνται να παρέχουν τουλάχιστον πρωτογενή επεξεργασία όλων των απορρίψεων απορροής και υπάρχουν νομικοί περιορισμοί στη φύση των χημικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Προκειμένου να αποφευχθεί η ρύπανση των υπόγειων υδάτων, το αεροδρόμιο του Μονάχου σχεδιάστηκε για να φιλοξενήσει τις υπάρχουσες ροές επιφανειακών υδάτων σε ολόκληρη την περιοχή και του δόθηκαν επίσης εκτεταμένες ρυθμίσεις για την ανακύκλωση χημικών.

1.13 Εγκαταστάσεις απόθεσης φορτίων στα αεροδρόμια

Λιγότερο από 1% όλης της χωρητικότητας φορτίου μεταφέρεται αεροπορικώς. Παρ'όλα αυτά, αυτό το στατιστικό στοιχείο υποτιμά σημαντικά τη σημασία των αεροπορικών μεταφορών, διότι, σε αξία μεταφερόμενου φορτίου, οι αεροπορικές μεταφορές κυριαρχούν σε όλα τα άλλα μέσα. Για παράδειγμα, αν και το αεροδρόμιο Χίθροου μεταφέρει μόνο περίπου ένα εκατομμύριο τόνους εμπορευμάτων ετησίως, σε αξία απόδοσης θεωρείται το κορυφαίο λιμάνι της Βρετανίας (Augustyn, 2011).

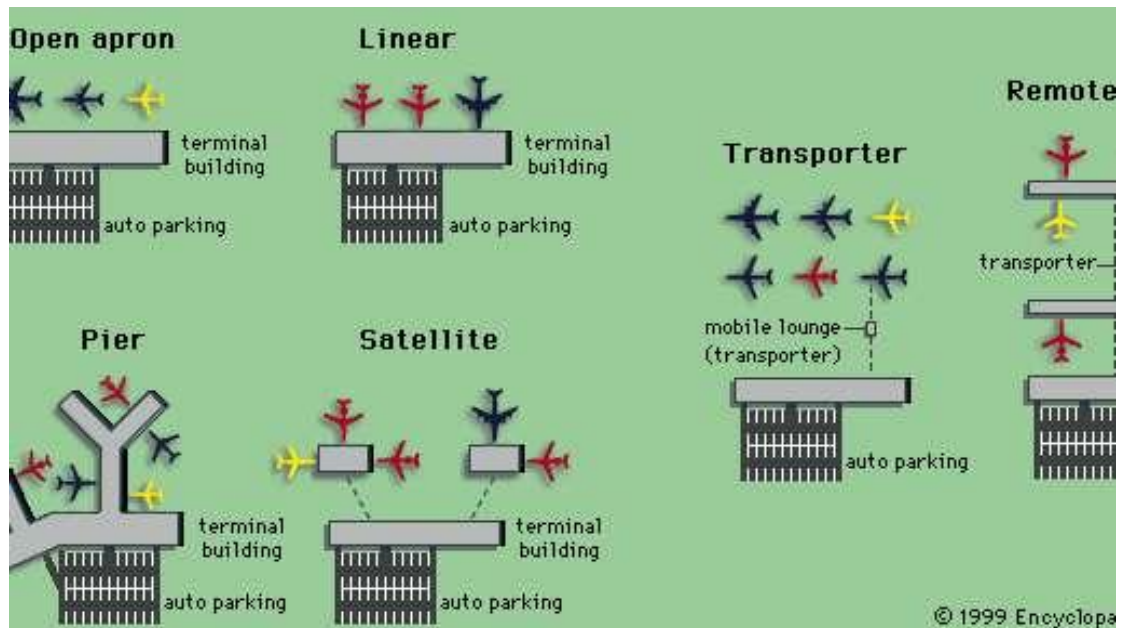
Όπως συμβαίνει με τις επιβατικές εγκαταστάσεις, οι τερματικοί σταθμοί μεταφοράς εμπορευμάτων διαφέρουν σημαντικά στον όγκο των υλικών που μεταφέρονται. Κατά συνέπεια, η κλίμακα των κτιριακών εγκαταστάσεων και η φύση των μεθόδων χειρισμού ποικίλλουν επίσης. Επειδή μόνο το 10% του αεροπορικού φορτίου μεταφέρεται συσκευασμένο ή χύμα, όλες οι σύγχρονες εγκαταστάσεις αεροπορικού φορτίου έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια. Σε χώρες όπου το εργατικό δυναμικό είναι φθινό και όπου οι μεταφορές εμπορευμάτων στο τερματικό δεν είναι υψηλές, τα συστήματα μεταφοράς εμπορευμάτων μπορούν ακόμη να

σχεδιαστούν οικονομικά με βάση την ιδέα χειρισμού.

Αυτό δεν είναι εφικτό στις ανεπτυγμένες χώρες, όπου το κόστος εργασίας είναι υψηλό. Ακόμη σε εγκαταστάσεις με μικρές δυνατότητες μεταφοράς, η μεταφορά εμπορευμάτων γίνεται από κινητό μηχανολογικό εξοπλισμό, όπως αυτοκόλλητα, ρυμουλκά και περονοφόρα οχήματα. Σε εγκαταστάσεις μεγάλου όγκου, πρέπει να χρησιμοποιείται ένα μείγμα κινητού εξοπλισμού, πολύπλοκων σταθερών συστημάτων στοίβαξης και κίνησης. Τα σταθερά συστήματα, τα οποία απαιτούν πολύπλοκο σχεδιασμό και συντήρηση, είναι γνωστά ως οχήματα μεταφοράς (τηλεοράσεις) και ανυψωτικά οχήματα μεταφοράς (ETV) (Fife, 2008).

Κατά το σχεδιασμό εγκαταστάσεων αεροπορικών μεταφορών, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον χειρισμό πολύ βαρέων και υπερμεγεθών εμπορευμάτων, φθαρτών υλικών, επειγόντων υλικών όπως ορών και οργάνων ανθρώπινων δοτών, αγαθών υψηλής αξίας όπως διαμαντιών και χρυσού, επικίνδυνων εμπορευμάτων και ζώα.

Ένας τομέας με πολύ γρήγορη ανάπτυξη στον τομέα των αεροπορικών μεταφορών, είναι η εξειδικευμένη μετακίνηση από ολοκληρωμένους αερομεταφορείς όπως η αμερικανική FedEx Corporation, οι οποίες προσφέρουν παράδοση μικρών πακέτων από πόρτα σε πόρτα σε premium τιμές. Στα πρώτα του χρόνια, αυτός ο τύπος φορτίου αυξήθηκε κατά περισσότερο από 17% ετησίως. Οι τερματικοί σταθμοί φορτίου για μικρές επιχειρήσεις σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ξεχωριστά από τους συμβατικούς τερματικούς σταθμούς αεροπορικού φορτίου. Λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο, με όλα τα πακέτα να εκκαθαρίζονται σε μια νύχτα.



Εικόνα Νο.5 – Διαμόρφωση αεροδρομίου με σταθμούς απόθεσης εμπορευμάτων και επιβατών

1.14 Ο παράγοντας της ικανότητας εξυπηρέτησης και καθυστέρησης σε ένα αεροδρόμιο

Με τα αεροδρόμια σε όλο τον κόσμο να αντιμετωπίζουν όλο και υψηλότερα επίπεδα καθυστέρησης, δεν ήταν έκπληξη το γεγονός ότι το ζήτημα της χωρητικότητας και της καθυστέρησης εξυπηρέτησης, ήταν στην κορυφή σχεδόν κάθε λίστας. Με πολλούς αναλυτές του κλάδου να προβλέπουν υπερδιπλασιασμό της επιβατικής κίνησης στα επόμενα 10 έως 15 χρόνια, το τρέχον πρόβλημα καθυστέρησης θα επιδεινωθεί. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων ικανότητας και καθυστέρησης εξυπηρέτησης επιβατών και αεροσκαφών, θα απαιτηθούν πρόσθετες δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις.

Μεταξύ των ανησυχιών που αναφέρονται σε αυτόν τον τομέα είναι οι ακόλουθες. Για παράδειγμα, στο ποιες είναι οι συνέπειες των καθυστερήσεων πτήσεων σε ένα αεροδρόμιο που επηρεάζουν τις αεροπορικές εταιρείες και τους επιβάτες σε εθνικό επίπεδο; Το διεθνές αεροδρόμιο του Ντένβερ είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα για το πώς η κατασκευή ενός νέου αεροδρομίου για τη μείωση των καθυστερήσεων σε μια πόλη θα μπορούσε να οδηγήσει σε μειωμένες καθυστερήσεις σε όλο το σύστημα. Καθώς το NAS γίνεται ακόμη πιο περίπλοκο, η αλληλεπίδραση καθυστέρησης και

συμφόρησης σε ένα αεροδρόμιο μπορεί να επηρεάσει ολόκληρο το σύστημα (Fife, 2008).

Υπάρχουν επίσης σοβαρές ανησυχίες σχετικά με το προσωπικό της Federal Aviation Administration (FAA) και τον ξεπερασμένο εξοπλισμό. Η ομοσπονδιακή υπηρεσία που ρυθμίζει και ελέγχει τις κινήσεις των αεροσκαφών και την πρόσβαση στο αεροδρόμιο έχει αλλάξει πολλές φορές τα τελευταία 75 χρόνια. Έχουν γίνει συζητήσεις για σημαντικές επικείμενες αλλαγές που θα συμβούν αρκετές φορές τον επόμενο αιώνα. Πώς αυτές οι αλλαγές θα επηρεάσουν τη διαμόρφωση και τη ρύθμιση των αεροδρομίων στο μέλλον;

Ποιες είναι οι επιπτώσεις του μεταβαλλόμενου μείγματος στόλου και της νέας τεχνολογίας, όπως το Global Positioning System (GPS); Ποιο θα είναι το μελλοντικό μείγμα στόλου αεροσκαφών στα εμπορικά αεροδρόμια εξυπηρέτησης; Θα προσγειωθούν σούπερ-τζάμπο αεροσκάφη σε μεγάλο αριθμό; Θα έχουμε ανάπτυξη μικρών αεροσκαφών που θα καταστεί δυνατή χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας των αεροσκαφών και την παραγωγή μεγάλης κλίμακας;

Οι εξελίξεις στις προσεγγίσεις εργαλείων με καθοδηγούμενη ακρίβεια είναι στον άμεσο ορίζοντα με δορυφόρο GPS και παρακολούθηση διαδρόμου ακριβείας (PRM). Αυτές οι νέες πρόοδοι θα παρέχουν βραχυπρόθεσμες μειώσεις στην κατάσταση καθυστέρησης.

1.15 Υποδοχή των νέων γιγάντιων αεροσκαφών από τα υφιστάμενα αεροδρόμια

Το πιο σημαντικό ζήτημα σχετικά με τη συμβατότητα αεροσκαφών και αεροδρομίων, αφορά την εισαγωγή νέων σούπερ-τζάμπο αεροσκαφών στα αεροδρόμια. Η εισαγωγή των επιβατικών αεροσκαφών jet στις εμπορικές υπηρεσίες των ΗΠΑ το 1958, δημιούργησε μια κρίσιμη ανάγκη για μεγαλύτερους διαδρόμους σε μεγάλα αμερικανικά αεροδρόμια. Το 1970, η εισαγωγή του ευρέος σώματος Boeing 747 δημιούργησε την ανάγκη για μια άλλη σημαντική αναθεώρηση της υποδομής του αεροδρομίου για να φιλοξενήσει αεροσκάφη που μετέφεραν πάνω από 400 επιβάτες και είχαν άνοιγμα φτερών σχεδόν 60 μέτρα. Ωστόσο, η ματιά στην κρυστάλλινη σφαίρα είναι δύσκολη.

Το Νέο Μεγάλο Αεροσκάφος (NLA) που προτείνουν η Airbus και η Boeing, το οποίο θα μπορούσε να έχει άνοιγμα φτερών πάνω από 80 μέτρα και να μεταφέρει πάνω από 600 επιβάτες, θα κατασκευαστεί πραγματικά σε μεγάλες ποσότητες. Δυστυχώς, δεν είναι μια απόφαση που μπορεί να πάρει κάποιος σήμερα. Η τεχνολογία υπάρχει, αλλά το κόστος ανάπτυξης είναι πολύ υψηλό. Μόνο οι δυνάμεις της αγοράς για τα επόμενα 10 χρόνια θα καθορίσουν εάν το NLA θα χτιστεί σε μεγάλο αριθμό. Η παγκόσμια οικονομία, οι περιορισμοί στο σύστημα που επιβάλλει ο ανταγωνισμός μεταξύ των αεροπορικών εταιρειών, η συμφόρηση απογείωσης - προσγείωσης και τα λειτουργικά έξοδα των αεροπορικών εταιρειών θα καθορίσουν εάν το προτεινόμενο NLA θα έχει επιχειρηματικό νόημα.

Στις περισσότερες από τις απαντήσεις της αεροπορικής βιομηχανίας, αυτό το ζήτημα ξεκίνησε ως ανησυχία για τις επιπτώσεις της εισαγωγής του NLA, αλλά γρήγορα εξελίχθηκε σε συζήτηση για την ποικιλομορφία του στόλου και την επίδραση των αεροσκαφών νέας γενιάς σε όλα τα μεγέθη των αεροδρομίων. Το νέο αεροσκάφος καλύπτει όλο το φάσμα από περιφερειακά αεριωθούμενα αεροπλάνα έως δίδυμο στενού σώματος έως την προγραμματισμένη NLA. Κάθε ένας από αυτούς τους νέους τύπους αεροσκαφών θα παρουσιάσει διαφορετικές προκλήσεις στους σχεδιαστές αεροδρομίων, τους χειριστές και τις αεροπορικές εταιρείες. Ως εκ τούτου, τα βασικά σημεία που τονίζονται σε αυτόν τον τομέα, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στοιχεία (Transportation Research Board, 2008):

✓ Η ανάγκη για νέα πρότυπα FAA και International Civil Aeronautics Organization (ICAO) έναντι υφιστάμενων αεροδρομίων: Είναι πολύ πιο εύκολο να εφαρμοστούν πρότυπα για πολύ μεγάλα αεροσκάφη σε νέα αεροδρόμια παρά σε υπάρχοντα αεροδρόμια. Η αύξηση των αποστάσεων μεταξύ των διαδρόμων, είναι απαγορευτική από πλευράς κόστους στα περισσότερα από τα μεγάλα αεροδρόμια στις Ηνωμένες Πολιτείες χωρίς ενδοχώρα.

✓ Η σημασία της έναρξης σχεδιασμού για αυτά τα αεροσκάφη σήμερα, όχι όταν πρόκειται να τεθούν σε υπηρεσία: Ευτυχώς, χρειάζονται αρκετά χρόνια για την κατασκευή, τη δοκιμή και την πιστοποίηση ενός νέου αεροσκάφους. Δυστυχώς, χρειάζεται περισσότερος χρόνος στις περισσότερες περιοχές παγκοσμίως για να αποφασίσουν, να σχεδιάσουν, να σχεδιάσουν και να δημιουργήσουν ένα νέο πλαίσιο

αεροδρομίων.

✓ Θέματα αλληλεπίδρασης αεροσκάφους-διαδρόμου: Τα μεγαλύτερα και βαρύτερα αεροσκάφη θα ανταποκριθούν σε ανομοιομορφίες πεζοδρομίων μεγάλου μήκους κύματος, που δεν ήταν ποτέ θέμα ασφάλειας στο παρελθόν. Αυτή η αυξημένη απόκριση του αεροσκάφους θα φορτίσει δυναμικά τόσο το πεζοδρόμιο όσο και τη δομή του αεροσκάφους, τον εξοπλισμό προσγείωσης και το αντιολισθητικό σύστημα πέδησης. Τα αποτελέσματα ενδέχεται να αυξήσουν την απειλή για τις υποδομές του έθνους καθώς και να επηρεάσουν την ασφάλεια των επιχειρήσεων των αεροσκαφών. Υπάρχει ανάγκη για τον καθορισμό του υπάρχοντος περιβάλλοντος διαδρόμου και την ανάγκη FAA και ICAO να ορίσουν κριτήρια που περιορίζουν την ανομοιομορφία του οδοστρώματος.

✓ Ευκαιρίες για βελτιωμένα συστήματα καθοδήγησης διαδρομών και διαχείρισης καταστώματος πτήσης για τη μείωση των απαιτήσεων διαχωρισμού αεροσκαφών: Οι βελτιώσεις στην τεχνολογία του πιλοτηρίου, θα μπορούσαν να επιτρέψουν εμπορικά αεροσκάφη χωρίς χειριστές. Ωστόσο, σχεδόν κανείς δεν πιστεύει ότι το περιοδεύον κοινό θα δεχόταν αυτήν την υπηρεσία στο εγγύς μέλλον. Παρ' όλα αυτά, η τεχνολογία θα επιτρέψει σίγουρα μειώσεις στις ασφαλείς αποστάσεις διαχωρισμού των αεροσκαφών μεταξύ τους στον αέρα και στο έδαφος. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής της νέας τεχνολογίας θα είναι τεράστια επιβάρυνση για τα αεροδρόμια ή θα οδηγήσουν σε εξοικονόμηση πόρων.

1.16 Συμβατότητα αεροσκαφών και αεροδρομίων

Όλες οι πτυχές της αεροπορικής βιομηχανίας επηρεάζονται από την εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν πιο γρήγορα από ποτέ, ωστόσο η διαδικασία αντιμετώπισης αυτού του αλλαγμένου περιβάλλοντος φαίνεται να διαρκεί περισσότερο. Είναι σαφές από τα στοιχεία σε αυτόν τον τομέα, ότι υπάρχει πραγματική ανάγκη να είναι κανείς πιο προληπτικός με την τεχνολογία. Τα αεροδρόμια δεν μπορούν να περιμένουν αλλά πρέπει να προβλέψουν την εισαγωγή νέας τεχνολογίας. Μια ανάγκη που εντοπίζεται, είναι ότι τα αεροδρόμια παρέχουν χρηματοδότηση για έρευνα και ανάπτυξη. Στο μέλλον, τα αεροδρόμια θα ενταχθούν στη χρηματοδότηση για τη βελτίωση του σχεδιασμού, της κατασκευής και της συντήρησης των εγκαταστάσεων του αεροδρομίου.

Τα στοιχεία λοιπόν που αναφέρονται στον τομέα της νέας τεχνολογίας και στη συμβατότητα αεροσκαφών και αεροδρομίων, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στοιχεία (Transportation Research Board, 2008):

- ✓ Νέος εξοπλισμός ασφαλείας: Το υψηλό κόστος του νέου εξοπλισμού ανίχνευσης εκρηκτικών (CTX 5000) αποτελεί μεγάλο βάρος για πολλά αεροδρόμια. Πώς πρέπει λοιπόν τα αεροδρόμια να σχεδιάσουν χρηματοδότηση και πού θα εντοπίσουν τον εξοπλισμό;
- ✓ Ταξίδια χωρίς εισιτήρια: Ποιες είναι οι επιπτώσεις των ηλεκτρονικών εισιτηρίων και των αγορών μέσω Διαδικτύου; Θα υπάρξει μειωμένη ανάγκη για πάγκους εισιτηρίων; Η ευκολία της έκδοσης εισιτηρίων θα βοηθήσει πραγματικά στην αύξηση των πωλήσεων εισιτηρίων;
- ✓ Ανησυχίες για την ασφάλεια: Όσο περισσότερο διαρκεί η διαδικασία ασφάλειας, τόσο νωρίτερα θα φτάνουν οι επιβάτες στο αεροδρόμιο. Αυτό με τη σειρά του δημιουργεί μεγαλύτερη ζήτηση για χώρο αποθήκευσης στις πύλες. Μια πολιτική που απαιτεί θετική αντιστοίχιση σάκων σε μεγάλα αεροδρόμια θα ήταν καταστροφική για τον κρίσιμο χρόνο ανακύκλωσης των αεροσκαφών στις τρέχουσες πτήσεις.
- ✓ Ευφυή συστήματα μεταφοράς (ITS): Πώς θα επηρεάσει αυτή η τεχνολογία την πρόσβαση στα αεροδρόμια, τον σχεδιασμό και τις λειτουργίες της ξηράς; Ποια είναι η σχέση του ITS με τις λειτουργίες και το σχεδιασμό των χώρων στάθμευσης;
- ✓ Σύστημα δορυφορικού παγκόσμιου εντοπισμού θέσης (DGPS): Η εφαρμογή του DGPS για την επίγεια και αεροπορική πλοήγηση αεροσκαφών, είναι ένα προαπαιτούμενο συμπέρασμα για το εγγύς μέλλον. Το DGPS θα χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των επιπτώσεων θορύβου, το κόστος μετριάσμού του θορύβου, καθώς για τη μείωση των καθυστερήσεων και την αύξηση της χωρητικότητας.

Καταλήγοντας στο εν λόγω κεφάλαιο, θα λέγαμε πως οι τομείς που περιγράφονται, περιέχουν μια συλλογή θεμάτων και ιδεών από πολλούς από τους καλύτερους στοχαστές, σχεδιαστές και διευθυντές στον κλάδο της αεροπορίας. Αυτό το κεφάλαιο δεν προσπάθησε να δώσει απαντήσεις ή λύσεις, αλλά αντ' αυτού εντόπισε ένα πλήρες

φάσμα θεμάτων που πρέπει να αντιμετωπιστούν προσεκτικά από την κοινότητα του αεροδρομίου και της αεροπορίας. Τα ζητήματα που προσδιορίζονται σχετικά, προσφέρουν στην κοινότητα των αερολιμένων τόσο προκλήσεις όσο και ευκαιρίες. Θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τόσο συλλογικά όσο και ανεξάρτητα, καθώς πολλά στοιχεία είναι αλληλένδετα.

1.17 Περιβαλλοντικές ανησυχίες στην δημιουργία και λειτουργία των αεροδρομίων

Η αυξημένη έμφαση στο περιβάλλον σε όλους τους τομείς της κοινωνίας αποδεικνύεται επίσης στην αεροπορική *αρένα*. Για πολλά χρόνια, ο κύριος στόχος στον περιβαλλοντικό τομέα των αεροδρομίων, ήταν ο θόρυβος. Πλέον ένα πλήρες φάσμα περιβαλλοντικών θεμάτων βρίσκεται πλέον στο πιάτο σχεδόν κάθε διαχειριστή αεροδρομίου. Στην πραγματικότητα, συχνά οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και η απαραίτητη αποκατάσταση μπορεί να είναι ο καθοριστικός παράγοντας για το αν μπορούν να κατασκευαστούν οικονομικά οι εγκαταστάσεις. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πλειοψηφία των κανονισμών του νόμου περί περιβαλλοντικής πολιτικής του 1969 (NEPA), ισχύει μόνο για 30 χρόνια, τι θα φέρουν τα επόμενα 30 ή 50 χρόνια.

Η περιβαλλοντική ρύθμιση, η διατήρηση του περιβάλλοντος θα μπορούσαν να έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στα αεροδρόμια και στα αεροσκάφη στο μέλλον όπου θα μπορούσαν να απειλήσουν το εθνικό σύστημα αεροπορίας όπως το σκεφτόμαστε σήμερα. Ωστόσο, με την ίδια λογική, η νέα τεχνολογία μπορεί να αναπτύξει εναλλακτικά μέτρα που μειώνουν την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα. Στις απαντήσεις των επαγγελματιών της αεροπορίας, καλύπτονται τα ακόλουθα κύρια σημεία:

✓ Αποκατάσταση εδάφους και τεχνικές προσεγγίσεις: Πόσο καθαρό είναι το αεροδρόμιο και πώς ανακτά το κόστος καθαρισμού του εδάφους;

✓ Προστίθεται χρόνος για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών διαδικασιών και ζητημάτων: Τριάντα χρόνια κανονισμοί NEPA που προστέθηκαν αποσπασματικά, με διαφορετικές ερμηνείες για διαφορετικούς τυπικούς βιομηχανικούς κώδικες, οδήγησαν σε μια μακρά διαδικασία αντιμετώπισης των κανονισμών. Θα καθυστερήσει τόσο η διαδικασία συμμόρφωσης με το περιβάλλον ώστε οι νέες

κατασκευές να στραγγαλιστούν σε ένα σημείο όπου το σύστημα δεν θα μπορέσει ποτέ να προλάβει την προσθήκη χωρητικότητας στα αεροδρόμια; Τα αεροδρόμια κατάφεραν πάντα να είναι ευέλικτα στην κατασκευή εγκαταστάσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα σε μια προσπάθεια να ικανοποιήσουν τη ζήτηση των αεροπορικών εταιρειών. Αυτή η ευελιξία θα μειωθεί λόγω της μακράς διαδικασίας συμμόρφωσης με το περιβάλλον.

✓ Θέματα ποιότητας του αέρα: Η βιομηχανία αεροπορικών μεταφορών είναι ένας μικρός συντελεστής στις εκπομπές ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε σχέση με άλλες εκπομπές μεταφορών και βιομηχανικές εκπομπές σε μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές. Τα εδάφη εναλλακτικών καυσίμων θα γίνουν στάνταρ εξοπλισμός στα περισσότερα αεροδρόμια μεγάλων μητροπολιτικών περιοχών. Ωστόσο, απαιτείται μεγάλη έρευνα σε αυτόν τον τομέα τόσο στις τεχνικές ανάλυσης όσο και στις τεχνικές αποκατάστασης.

✓ Εξοικονόμηση ενέργειας: Τα μελλοντικά αεροδρόμια θα λειτουργήσουν για την επίτευξη βιώσιμων πόρων. Υπάρχει μεγάλη ανάγκη να αναπτυχθούν καλύτερα φώτα εξοικονόμησης ενέργειας και καλύτερες πρακτικές διαχείρισης απορριμμάτων που ανακυκλώνουν ανανεώσιμους πόρους. Τα αεροδρόμια θα αναπτύξουν ενεργειακά στρατηγικά σχέδια τόσο συχνά και με τον ίδιο τρόπο που κάνουν στη διαδικασία του κύριου σχεδιασμού που χρησιμοποιείται σήμερα.

2 Κεφάλαιο Δεύτερο – Τεχνολογία με είδη τσιμέντου και σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αεροδρομίων διεθνώς

2.1 Η χρήση του τσιμέντου – σκυροδέματος για κατασκευή οδοστρώματος σε αεροδιάδρομο

2.1.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά του τσιμέντου

Το τσιμέντο είναι ένα συνδετικό υλικό, μια ουσία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή, η οποία στερεώνει, *σκληραίνει* και προσκολλάται σε άλλα υλικά για να τα συνδέσει μαζί. Το τσιμέντο σπάνια χρησιμοποιείται από μόνο του, αλλά συνδέει μαζί την άμμο και το χαλίκι (αδρανή υλικά) (Κορωναίος, Πουλάκος, 2006).

Το τσιμέντο που αναμιγνύεται με λεπτόκοκκο αδρανής μορφής, παράγει κονίαμα για τοιχοποιία ή με άμμο και χαλίκι, όπου παράγει το σκυρόδεμα (Παπανικολάου, Μουζάκης, 2007). Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κτιρίων, είναι συνήθως ανόργανα, συχνά βασισμένα σε ασβέστιο και μπορούν να χαρακτηριστούν ως υδραυλικά ή μη υδραυλικά, ανάλογα με την ικανότητα του τσιμέντου να τοποθετηθεί με παρουσία νερού (Σπυράκος, 2004).

Το μη υδραυλικό τσιμέντο δεν τοποθετείται σε υγρές συνθήκες ή κάτω από το νερό. Αντίθετα, συμπυκνώνεται καθώς στεγνώνει και αντιδρά με διοξείδιο του άνθρακα στον αέρα. Τα υδραυλικά τσιμέντα (π.χ. τσιμέντο Portland) κατασκευάζονται και καθίστανται κολλημένα λόγω χημικής αντίδρασης μεταξύ των ξηρών συστατικών και του νερού (Παπανικολάου, Μουζάκης, 2007).

Η χημική αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα τα ένυδρα άλατα που δεν είναι πολύ υδατοδιαλυτά αλλά είναι αρκετά ανθεκτικά στο νερό και ασφαλή από κάθε χημική επίθεση. Αυτό επιτρέπει τη ρύθμιση σε υγρές συνθήκες ή κάτω από το νερό και προστατεύει περαιτέρω το πηγμένο υλικό από χημική επίθεση. Η χημική διαδικασία για το υδραυλικό τσιμέντο που βρέθηκε από τους αρχαίους Ρωμαίους, χρησιμοποίησε την ηφαιστειακή τέφρα (ποζολάνια) με προσθήκη ασβεστίου (οξείδιο του ασβεστίου) (Κορωνάιος, Πουλάκος, 2006).

Η λέξη "τσιμέντο" μπορεί να αναχθεί στον ρωμαϊκό όρο *opus caementicium*, που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την τοιχοποιία που μοιάζει με μοντέρνο σκυρόδεμα που κατασκευάστηκε από θρυμματισμένο βράχο με καμένο ασβέστη ως συνδετικό υλικό. Η ηφαιστειακή τέφρα και τα κονιορτοποιημένα συμπληρώματα από τούβλα που προστέθηκαν στον καμένο ασβέστη, για να αποκτήσουν ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό, αργότερα αναφέρθηκαν ως τσιμέντο (Σπυράκος, 2004). Στη σύγχρονη εποχή, τα οργανικά πολυμερή χρησιμοποιούνται μερικές φορές ως τσιμέντα σε σκυρόδεμα.

Το μη υδραυλικό τσιμέντο, όπως ο ασβεστοποιημένος άσβεστος (οξείδιο του ασβεστίου αναμεμειγμένο με νερό), συμπυκνώνεται με ανθρακωρύαση παρουσία διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο είναι φυσικά παρόν στον αέρα. Το πρώτο οξείδιο του ασβεστίου (ασβέστη) παράγεται από ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστόλιθο ή

κιμωλία) σε θερμοκρασίες άνω των 825°C (1,517 ° F) για περίπου 10 ώρες σε ατμοσφαιρική πίεση:

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ - Το οξείδιο του ασβεστίου στη συνέχεια, ξοδεύεται (σβήνεται) αναμειγνύοντάς το με νερό για να κάνει ασβέστιο σβησμένο (υδροξείδιο του ασβεστίου):

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ - Μόλις η περίσσεια του νερού εξατμιστεί πλήρως (αυτή η διαδικασία ονομάζεται τεχνικά ρύθμιση), αρχίζει η ενανθράκωση:

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ - Αυτή η αντίδραση απαιτεί χρόνο, επειδή η μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα είναι χαμηλή. Η αντίδραση ενανθράκωσης απαιτεί το ξηρό τσιμέντο να εκτεθεί στον αέρα, οπότε ο ασβεστοποιημένος ασβέστης είναι ένα μη υδραυλικό τσιμέντο και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από το νερό. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται κύκλος ασβέστη.

Αντίστροφα, το υδραυλικό τσιμέντο σκληραίνει με ενυδάτωση όταν προστίθεται νερό. Τα υδραυλικά τσιμέντα (όπως το τσιμέντο Portland) κατασκευάζονται από ένα μίγμα πυριτικών και οξειδίων, ενώ τα τέσσερα βασικά συστατικά είναι:

- Belite ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
- Alite ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
- Αργιλικό τριασβέστιο ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) (ιστορικά, και ακόμα περιστασιακά, που ονομάζεται «celite»);
- Brownmillerite ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$).

Τα πυριτικά άλατα είναι υπεύθυνα για τις μηχανικές ιδιότητες του τσιμέντου - το αργιλικό τριασβέστιο και ο καμμιμίτης, είναι απαραίτητα για τον σχηματισμό της υγρής φάσης κατά τη διάρκεια της πυροσυσσωμάτωσης του κλιβάνου. Η χημεία αυτών των αντιδράσεων δεν είναι απολύτως σαφής και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο έρευνας (Τριανταφύλλου, 2004). Η σύγχρονη υδραυλική ανάπτυξη άρχισε με την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης (γύρω στο 1800), που οφείλεται σε τρεις βασικές ανάγκες:

- Υδραυλική τσιμεντοκονία (γυψομάρμαρο) για το φινίρισμα κτιρίων από τούβλα σε υγρό κλίμα
- Υδραυλικά κονιάματα κατασκευής λιμενικών έργων, κ.λπ., σε επαφή με το θαλασσίνο νερό
- Ανάπτυξη ισχυρών σκυροδεμάτων

Τα σύγχρονης μορφής τσιμέντα, είναι συχνά μίγματα τσιμέντου Portland αλλά η βιομηχανία χρησιμοποιεί επίσης και άλλα είδη τσιμέντων. Το τσιμέντο Portland είναι μακράν το πιο κοινό είδος τσιμέντου γενικής χρήσης σε όλο τον κόσμο.

Αυτό το τσιμέντο γίνεται με θέρμανση ασβεστόλιθου (ανθρακικό ασβέστιο) με άλλα υλικά (όπως πηλό) στους 1450°C σε κλίβανο, με διαδικασία γνωστή ως φρύξη που απελευθερώνει μόριο διοξειδίου του άνθρακα από ανθρακικό ασβέστιο για να σχηματίσει οξείδιο ασβεστίου ή που στη συνέχεια χημικά συνδυάζεται με τα άλλα υλικά στο μείγμα για να σχηματίσουν πυριτικά ασβέστιο και άλλες ενώσεις τσιμέντου (Σπυράκος, 2004).

2.2 Τύποι τσιμέντου και σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται σε κατασκευή αεροδρομίων και αεροδιαδρόμων

2.2.1 Τύπος Self-Healing σκυρόδεμα

Οι ρωγμές στο σκυρόδεμα είναι ένα κοινό φαινόμενο λόγω της σχετικά χαμηλής αντοχής σε κάθε φαινόμενο εφελκυσμού. Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος επηρεάζεται από αυτές τις ρωγμές, καθώς παρέχει μια εύκολη διαδρομή για τη μεταφορά υγρών και αερίων που ενδέχεται να περιέχουν επιβλαβείς ουσίες. Εάν οι μικρές ρωγμές μεγαλώσουν και φθάσουν στον οπλισμό του σκυροδέματος, δεν μπορεί να προσβληθεί μόνο το ίδιο το σκυρόδεμα, αλλά και ο οπλισμός θα διαβρωθεί (Κορωνάιος, Πουλάκος, 2006).

Επομένως, είναι σημαντικό να ελέγχεται το πλάτος της ρωγμής και να θεραπεύει τις ρωγμές όσο το δυνατόν συντομότερα. Δεδομένου ότι τα έξοδα συντήρησης και επισκευής δομών από σκυρόδεμα είναι συνήθως υψηλά, η έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη αυτοθεραπευόμενου σκυροδέματος. Η διαδικασία αυτοθεραπείας των

ρωγμών στο σκυρόδεμα θα συμβάλει στη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα και θα κάνει το υλικό όχι μόνο πιο ανθεκτικό αλλά και πιο βιώσιμο.

Το self-healing σκυρόδεμα είναι ένα προϊόν που βιολογικά παράγει ασβεστόλιθο για να θεραπεύσει ρωγμές που εμφανίζονται στην επιφάνεια των δομών από σκυρόδεμα. Ειδικά επιλεγμένοι τύποι του βακτηρίου γένος *Bacillus*, μαζί με ένα θρεπτικό συστατικό με βάση το ασβέστιο γνωστό ως γαλακτικό ασβέστιο, άζωτο και φωσφόρο, προστίθενται στα συστατικά του σκυροδέματος όταν αναμειγνύεται. Αυτοί οι αυτοθεραπευτικοί παράγοντες μπορούν να βρίσκονται αδρανείς μέσα στο σκυρόδεμα για μέχρι 200 χρόνια (Σπυράκος, 2004).

Ωστόσο, όταν μια δομή σκυροδέματος υποστεί βλάβη και το νερό αρχίζει να διαρρέει μέσα από τις ρωγμές που εμφανίζονται στο σκυρόδεμα, τα σπόρια των βακτηρίων βλασταίνουν κατά την επαφή με το νερό και τα θρεπτικά συστατικά. Αφού ενεργοποιηθεί, τα βακτηρίδια αρχίζουν να τρέφονται με το γαλακτικό ασβέστιο.

Καθώς τα βακτήρια τροφοδοτούνται, το οξυγόνο καταναλώνεται και το διαλυτό γαλακτικό ασβέστιο μετατρέπεται σε αδιάλυτο ασβεστόλιθο. Ο ασβεστόλιθος στερεοποιείται πάνω στη επιφάνεια με ρωγμές, σφραγίζοντας το έτσι. Μιμείται τη διαδικασία με την οποία τα οστά καταστρέφονται σε ένα παράδειγμα βαριάς βλάβης δοκού στήριξης από σκυρόδεμα μιας γέφυρας αυτοκινητοδρόμου. Αυτός ο στύλος έχει υποστεί ενίσχυση διάβρωσης εξαιτίας της εισόδου των αλάτων μέσω μικρών ρωγμών που σχηματίζονται στο σκυρόδεμα (Παπανικολάου, Μουζάκης, 2007).

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα σχεδιάζονται επί του παρόντος σύμφωνα με καθορισμένα πρότυπα που επιτρέπουν τη δημιουργία ρωγμών μέχρι πλάτους 0,2 mm. Τέτοιες μικρές ρωγμές θεωρούνται γενικά αποδεκτές, καθώς αυτές δεν επηρεάζουν άμεσα την ασφάλεια και την αντοχή μιας κατασκευής. Επιπλέον, οι μικροσκοπικές ρωγμές μερικές φορές θεραπεύονται καθώς πολλοί τύποι σκυροδέματος παρουσιάζουν μια ορισμένη ικανότητα ρωγμής-ρωγμών (Τριανταφύλλου, 2004).

Έρευνες έχουν δείξει ότι αυτή η αποκαλούμενη «αυτόνομη» θεραπευτική ικανότητα self-healing, σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τον αριθμό των μη αντιδρώντων σωματιδίων τσιμέντου που υπάρχουν στη μήτρα σκυροδέματος. Στον σχηματισμό

ρωγμών, το νερό εισόδου αντιδρά με αυτά τα σωματίδια, με αποτέλεσμα το κλείσιμο μικρορωγμών. Ωστόσο, εξαιτίας της μεταβλητότητας της αυτόνομης επουλώσης των ρωγμών στις κατασκευές από σκυρόδεμα, μπορεί να προκύψει διαρροή νερού ως αποτέλεσμα του σχηματισμού μικροπυρήνων σε σήραγγες και υπόγειες κατασκευές.

Η κατανάλωση οξυγόνου κατά τη βακτηριακή μετατροπή του γαλακτικού ασβεστίου σε ασβεστόλιθο, έχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα. Το οξυγόνο είναι ένα βασικό στοιχείο στη διαδικασία διάβρωσης του χάλυβα και όταν η βακτηριακή δραστηριότητα έχει καταναλώσει όλα αυτά αυξάνει την αντοχή των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (Τριανταφύλλου, 2004).

Τα δύο μέρη αυτοεξυπηρέτησης (τα βακτηριακά σπόρια και τα θρεπτικά συστατικά που βασίζονται σε γαλακτικό ασβέστιο) εισάγονται στο σκυρόδεμα μέσα σε ξεχωριστά πεταλοειδή διαστρωμένα άλατα πάχους 2-4 mm, τα οποία εξασφαλίζουν ότι οι παράγοντες δεν θα ενεργοποιηθούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάμειξης του τσιμέντου. Μόνο όταν οι ρωγμές ανοίξουν τα σφαιρίδια και το εισερχόμενο νερό φέρει το γαλακτικό ασβέστιο σε επαφή με τα βακτήρια αυτά ενεργοποιούνται. Οι δοκιμές έδειξαν ότι όταν βράζει νερό στο σκυρόδεμα, τα βακτήρια βλασταίνουν και πολλαπλασιάζονται γρήγορα. Μετατρέπουν τα θρεπτικά συστατικά σε ασβεστόλιθο μέσα σε επτά ημέρες στο εργαστήριο. Έξω, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, η διαδικασία διαρκεί αρκετές εβδομάδες (Τριανταφύλλου, 2004).

2.2.2 Πως προέκυψε το self-healing σκυρόδεμα για χρήση στα αεροδρόμια

Ένα self-healing υλικό περιγράφεται ως υλικό που μπορεί να επισκευαστεί πίσω στην αρχική κατάσταση. Η έννοια του self-healing σκυροδέματος (SHC) που συμβαίνει με την πάροδο του χρόνου (αυτογενής) έχει παρατηρηθεί σε πολλές παλιές δομές που έχουν παραμείνει σταθερές για μεγάλες χρονικές περιόδους, παρά το γεγονός ότι έχουν περιορισμένη συντήρηση. Αυτή η παρατήρηση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι ρωγμές επουλώνονται όταν η υγρασία αλληλοεπιδρά με το μη ενυδατωμένο κλίνκερ τσιμέντου στη ρωγμή. Παρ' όλα αυτά, στις σημερινές κατασκευές το τσιμέντο μειώνεται ως αποτέλεσμα των σύγχρονων μεθόδων κατασκευής (Τριανταφύλλου, 2004).

Ως εκ τούτου, η ποσότητα του διαθέσιμου μη ενυδατωμένου τσιμέντου είναι μικρότερη και ως εκ τούτου, το φυσικό θεραπευτικό αποτέλεσμα μειώνεται. Το self-healing τσιμέντο είναι ένα προϊόν που βιολογικά παράγει ασβεστόλιθο για να θεραπεύσει ρωγμές που εμφανίζονται στην επιφάνεια των δομών από σκυρόδεμα. Ειδικά επιλεγμένοι τύποι του βακτηρίου γένος *Bacillus*, μαζί με ένα θρεπτικό συστατικό με βάση το ασβέστιο γνωστό ως γαλακτικό ασβέστιο, άζωτο και φωσφόρο, προστίθενται στα συστατικά του σκυροδέματος όταν αναμειγνύεται. Αυτοί οι αυτοθεραπευτικοί παράγοντες μπορούν να βρίσκονται αδρανείς μέσα στο σκυρόδεμα για 200 χρόνια.

Ωστόσο, όταν μια δομή σκυροδέματος υποστεί βλάβη και το νερό αρχίζει να διαρρέει μέσα από τις ρωγμές που εμφανίζονται στο σκυρόδεμα, τα σπόρια των βακτηρίων βλασταίνουν κατά την επαφή με το νερό και τα θρεπτικά συστατικά. Αφού ενεργοποιηθεί, τα βακτηρίδια αρχίζουν να τρέφονται με το γαλακτικό ασβέστιο. Καθώς τα βακτήρια τροφοδοτούν το οξυγόνο καταναλώνεται και το διαλυτό γαλακτικό ασβέστιο μετατρέπεται σε αδιάλυτο ασβεστόλιθο. Ο ασβεστόλιθος στερεοποιείται στην επιφάνεια με ρωγμές, σφραγίζοντας το έτσι.

Η κατανάλωση οξυγόνου κατά τη βακτηριακή μετατροπή του γαλακτικού ασβεστίου σε ασβεστόλιθο έχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα. Το οξυγόνο είναι ένα βασικό στοιχείο στη διαδικασία διάβρωσης του χάλυβα και όταν η βακτηριακή δραστηριότητα έχει καταναλώσει όλα αυτά αυξάνει την αντοχή των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα δύο μέρη αυτοεξυπηρέτησης (τα βακτηριακά σπόρια και τα θρεπτικά συστατικά που βασίζονται σε γαλακτικό ασβέστιο) εισάγονται στο σκυρόδεμα μέσα σε ξεχωριστά πεταλοειδή διαστρωμένα άλατα πάχους 2-4 mm, τα οποία εξασφαλίζουν ότι οι παράγοντες δεν θα ενεργοποιηθούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάμειξης του τσιμέντου.

Μόνο όταν οι ρωγμές ανοίξουν τα σφαιρίδια και το εισερχόμενο νερό φέρει το γαλακτικό ασβέστιο σε επαφή με τα βακτήρια, αυτά ενεργοποιούνται. Οι δοκιμές έδειξαν ότι όταν το νερό εισχωρεί στο σκυρόδεμα, τα βακτήρια βλασταίνουν και πολλαπλασιάζονται γρήγορα. Μετατρέπουν τα θρεπτικά συστατικά σε ασβεστόλιθο μέσα σε επτά ημέρες στο εργαστήριο. Έξω, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, η

διαδικασία διαρκεί αρκετές εβδομάδες (Τριανταφύλλου, 2004).

Στο self-healing σκυρόδεμα με βακτηριακή δράση, σημειώνεται πως στο παρελθόν, οι κανονισμοί οικοδόμησης μπορεί να έχουν ρυθμιστεί πάρα πολύ βραχυπρόθεσμα. Το self-healing σκυρόδεμα αναμφίβολα θα αυξήσει το κόστος βραχυπρόθεσμα, αλλά αυτό θα πρέπει να αντισταθμιστεί μακροπρόθεσμα.

Μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναπτύχθηκε από τον Hendrik Jonkers του Τεχνικού Πανεπιστημίου Delft στις Κάτω Χώρες και διατίθεται στο εμπόριο από το Basilisk Concrete, χρησιμοποιεί βακτήρια. Στο αυτοθεραπευτικό σκυρόδεμά τους, αυτά τα βακτήρια παράγουν ασβεστόλιθο όταν ενεργοποιούνται από την επαφή με το νερό και τον αέρα, με αυτόν τον τρόπο επιδιορθώνουν τη ρωγμή. Το Basilisk τσιμέντο χρησιμοποιεί αυτό το αυτόνομο σύστημα επισκευής σε πολλά προϊόντα που ισχύουν τόσο για τις νέες κατασκευές όσο και για τις υπάρχουσες κατασκευές.

Για παράδειγμα, πωλούν ένα self-healing μέσο για μείγματα νωπού σκυροδέματος και αυτοκόλλητο επισκευαστικό κονίαμα για υπάρχουσες κατασκευές. Έτσι πωλούν μια υγρή λύση επισκευής για μικρές, στενές ρωγμές σε σκυρόδεμα που δεν μπορούν να σφραγιστούν με κονίαμα. Μετά την εφαρμογή, το υγρό σχηματίζει ένα πήκτωμα που στεγανοποιεί τη ρωγμή. Στη συνέχεια τα βακτήρια μετατρέπουν το πήκτωμα σε ασβεστόλιθο για μόνιμη σφράγιση (Τριανταφύλλου, 2004).

Με την προσθήκη ελαφράς περίσσειας υδροξειδίου του ασβεστίου στο σκυρόδεμα, μπορεί να εκτελέσει αυτογενή επισκευή σε μικρές ρωγμές. Στο Πανεπιστήμιο της Γάνδης του Βελγίου, διερευνούν περισσότερες επιλογές του self-healing σκυροδέματος. Η βακτηριακή επισκευή είναι μία από αυτές. Οι ερευνητές της Γάνδης ενσωματώνουν τα βακτηρίδια σε μικρές κάψουλες ή μικροπήγματα, όπου μπορούν να επιβιώσουν εκατοντάδες χρόνια, ενώ δεν θα ήταν μακρόβια όταν εισήχθησαν αμέσως στο μπετόν. Αλλά διερευνούν επίσης τη χρήση αυτών των υδροπηκτών ως τέτοια. Αυτά τα πηκτικά διογκώνονται όταν εισέρχεται νερό στο σκυρόδεμα. αυτό σφραγίζει εν μέρει τη ρωγμή (Τριανταφύλλου, 2004).

Στη συνέχεια το πήκτωμα θα παρέχει το υγρό στην περιβάλλουσα μήτρα για εσωτερική σκλήρυνση, περαιτέρω ενυδάτωση και καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου.

Με αυτόν τον τρόπο, οι ρωγμές μπορεί να κλείσουν τελείως. Εναλλακτικά, τα ενθυλακωμένα πολυμερή μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτοθεραπευτικό σκυρόδεμα. Όταν εμφανιστεί ρωγμή, οι τομές σπάνε και το περιεχόμενο απελευθερώνεται. Λόγω της τριχοειδούς δράσης, ο παράγοντας θα ρέει στη ρωγμή.

Η πολυουρεθάνη, ο μεθακρυλικός μεθυλεστέρας, οι παράγοντες απωθήσεως του νερού και τα ελαστικά πολυμερή είναι από τα χρησιμοποιούμενα πολυμερή, ανάλογα με τον πρωταρχικό στόχο της επισκευής των ρωγμών: μείωση της διαπερατότητας του νερού, αποκατάσταση αντοχής, αισθητική θέαση ή αποτελεσματική σφράγιση με ρωγμές.

Τέλος, μια μορφή self-healing σκυροδέματος μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη σκωρίας ιπτάμενης τέφρας ή υψικαμίνου στο μείγμα σκυροδέματος. Αυτές φαίνεται να είναι κατώτερες σε σχέση με την μικροδομή και την ανάπτυξη της αντοχής σε μικρή ηλικία, αλλά η ικανότητα αυτοθεραπείας τους μπορεί να είναι υψηλή, επειδή θα εξακολουθούν να περιέχουν μερικά σωματίδια που δεν έχουν αντιδράσει και τα οποία μπορούν να ενεργοποιηθούν όταν εμφανιστούν ρωγμές (Παπανικολάου, Μουζάκης, 2007).

Ο απώτερος στόχος είναι η ανάπτυξη υλικών από σκυρόδεμα που παρακολουθούν, ρυθμίζουν, προσαρμόζονται και επιδιορθώνονται συνεχώς χωρίς εξωτερική παρέμβαση. Αυτό το αυτοθεραπευτικό σκυρόδεμα θα σώσει πολλούς από τους πόρους και θα μειώσει σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα στον κύκλο ζωής. Ένα εντελώς νέο ελπιδοφόρο ερευνητικό πεδίο έγκειται στην ενσωμάτωση μεταλλικών και χημικών προσθέτων νανομετρικής κλίμακας στο σκυρόδεμα.

Αυτό μπορεί να προσθέσει νέες ιδιότητες, όπως ενισχυμένη απόδοση μηχανικής και αντοχής, ή αυτοκαθαρισμό. Μερικοί ερευνητές είναι ενθουσιασμένοι με την προοπτική προσθήκης γραφθένου στο σκυρόδεμα, το οποίο μπορεί να προσφέρει αυτές τις νέες ιδιότητες που και ακόμη να εξαλείψει το πρόβλημα της διάβρωσης του χάλυβα, το μεγαλύτερο και ακριβότερο πρόβλημα φθοράς στο σκυρόδεμα (Τριανταφύλλου, 2004).

Ωστόσο, αυτό αφήνει μια ερώτηση σχετικά με την αντοχή του σκυροδέματος και αν το κλείσιμο της ρωγμής θα επηρεάσει τη δύναμή του. Όλες οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι τώρα δείχνουν ότι το συγκεκριμένο κέρδος περίπου 25% της αρχικής του αντοχής στο self-healing σημείο, το οποίο περισσότερο από το 15% κέρδισε όταν η ρωγμή σφραγίζεται με τις τρέχουσες μεθόδους.

Καθώς βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, το συγκεκριμένο είδος σκυροδέματος χρησιμοποιείται σε περιορισμένη κλίμακα και δεν είναι εμπορικά ευρέως διαδεδομένο. Μερικά βασικά εμπόδια είναι το κόστος και η παραγωγή. Με την αύξηση της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής, οι αρχιτέκτονες πρέπει να επανεξετάσουν το επίπεδο σχεδιασμού. Μια μακροχρόνια διάρκεια ζωής επηρεάζει το σχεδιασμό οποιασδήποτε κατασκευής, καθώς οι αρχιτέκτονες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη μελλοντική πρόγνωση δύο κύριων παραμέτρων:

- την πιθανή λειτουργία ενός συγκεκριμένου κτιρίου (πιθανές τεχνολογικές ανάγκες, αλλαγή λειτουργίας, αλλαγή τρόπου ζωής κ.λπ.).
- Η μελλοντική λειτουργία του αστικού χώρου που περιβάλλει ένα συγκεκριμένο κτίριο.

Ως εκ τούτου, ο κύριος στόχος των αρχιτεκτόνων είναι να προβλέψουν τις προσεχείς ανάγκες και τις τρέχουσες ανάγκες για να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν ένα χρήσιμο, αισθητικό και πιο σημαντικό, πολύ ευέλικτο κτίριο ώστε να αλλάξουν εύκολα τις λειτουργίες τους. Τέλος, η βιομηχανία τσιμέντου είναι μία από τις κύριες δύο παραγωγούς διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), που βλάπτει άμεσα τον πλανήτη μας. Ως εκ τούτου, με τη χρήση self-healing σκυροδέματος, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται σημαντικά.

2.3 Μέθοδοι εφαρμογής του Self-Healing σκυροδέματος με κάψουλες, νανοσωματίδια και βακτήρια για κατασκευή αεροδρομίων και οδοστρώματος στα αεροδρόμια

2.3.1 Εφαρμογή του Self-Healing σκυροδέματος με κάψουλες

Επειδή οι κάψουλες διασκορπίζονται τυχαία εντός του πλαισίου τσιμέντου, μόνο μερικά μέρη τους διαρρηγνύονται με ρωγμές και επομένως μόνο το νερό των ραγισμένων κάψουλων μπορεί να απελευθερωθεί σε ρωγμές. Η ποσότητα του νερού που απελευθερώνεται ως συνάρτηση της δόσολογίας της κάψουλας που χρησιμοποιείται, υπολογίζεται σε σχετική μελέτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 1 (Bang, Galinat, Ramakrishnan, 200

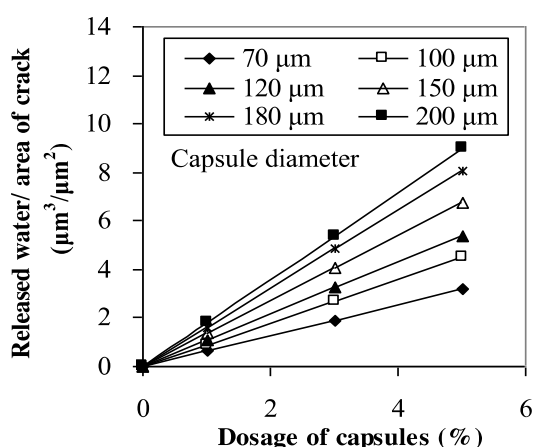


Fig. 1. Amount of water released versus dosage of capsules

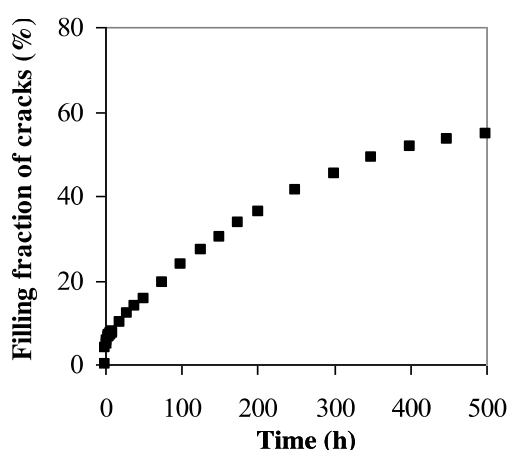


Fig. 2. Filling fraction of cracks versus healing time (10 μm crack)

1. Amount of water released versus dosage of capsules
2. Filling fraction of cracks versus healing time (10 μm crack)

Όταν απελευθερώνεται κάποια ποσότητα νερού από τις ραγισμένες κάψουλες, το νερό σε ρωγμές απορροφάται από τη μήτρα πολτού τσιμέντου και η ποσότητα νερού στη ρωγμή μειώνεται (De Muynck, De Belie, Verstraete, 2007). Μόλις καταναλωθεί το νερό σε σχετικές ρωγμές, σταματάει η αυτοθεραπεία. Ως εκ τούτου, η περίοδος κορεσμού ρωγμών με νερό είναι στην πραγματικότητα ο χρόνος αυτοθεραπείας. Σύμφωνα με τους νόμους μεταφοράς νερού σε πορώδη μέσα, προσδιορίστηκε ο χρόνος κορεσμού ρωγμών έναντι της ποσότητας του παρεχόμενου νερού, όπως φαίνεται στο σχήμα 2 (Jonkers, 2007).

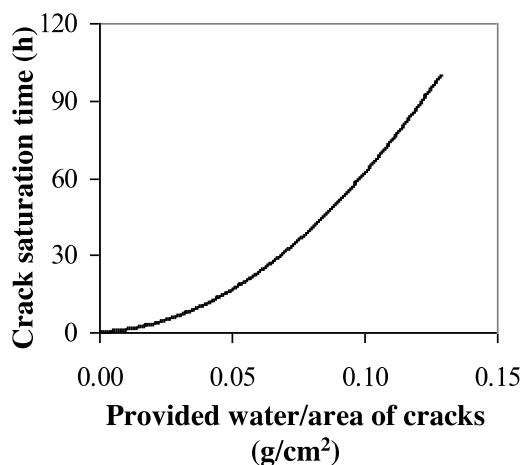


Fig. 3. Crack saturation time versus amount of water provided

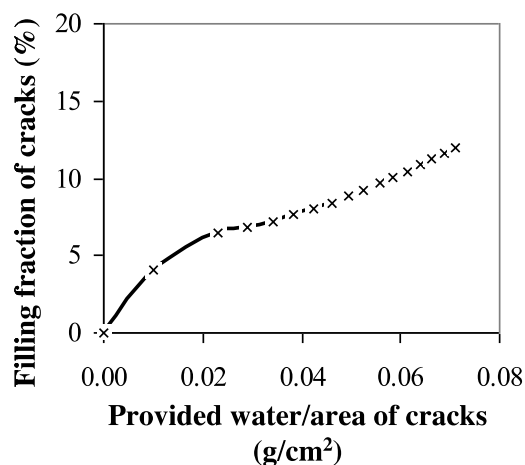


Fig. 4. Filling fraction versus amount of water provided

3. Crack saturation time versus of water provided
4. Filling fraction versus amount of water provided

Σε προηγούμενη μελέτη, η αυτοθεραπεία των ρωγμών λόγω της περαιτέρω ενυδάτωσης ως συνάρτηση του χρόνου επούλωσης στο τσιμέντο, προσομοιώνεται από ένα μοντέλο αντίδρασης που βασίζεται σε διάχυση ιόντων και θερμοδυναμικές νόμους. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3, προβλέπεται το κλάσμα πλήρωσης των ρωγμών από προϊόντα αντίδρασης αυτοθεραπείας. Με τη σύζευξη των αποτελεσμάτων στα Σχήματα 2 και 3, προσδιορίζεται το κλάσμα πλήρωσης των ρωγμών σε σχέση με την ποσότητα του παρεχόμενου νερού, το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 2.1, η ποσότητα νερού που παρέχεται από κάψουλες διέπεται από την προστιθέμενη δόση της κάψουλας σε μήτρα τσιμέντου (Neville, 2002).

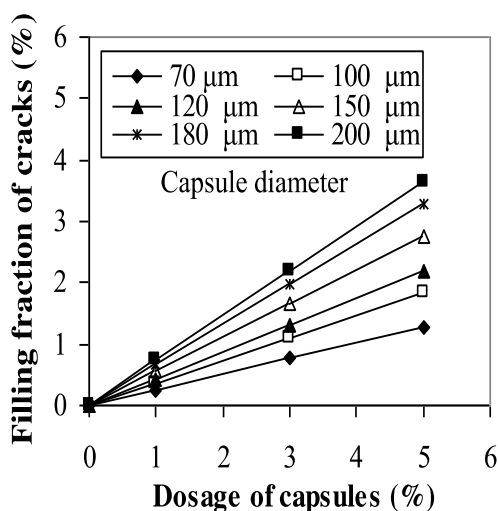


Fig. 5. Filling fraction of cracks due to self-healing by capsules

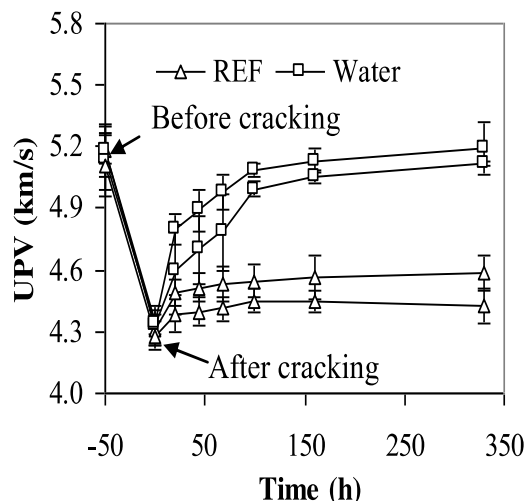


Fig. 6. Ultrasonic pulse velocity before/after self-healing by vascular

5. Filling fraction of cracks due to self-healing by capsules
6. Ultrasonic pulse velocity before/after self-healing by vascular

Συνεπώς, με τον συνδυασμό των Σχημάτων 1 και 4, το κλάσμα πλήρωσης των ρωγμών από προϊόντα αντίδρασης ως συνάρτηση της δοσολογίας της κάψουλας αντιμετωπίζεται στο Σχήμα 5. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, το κλάσμα πλήρωσης αυξάνει με την αύξηση της δοσολογίας και του μεγέθους των καψουλών σε μήτρα πάστας τσιμέντου. Μόνο το 4% της ρωγμής μπορεί να θεραπευθεί όταν η δοσολογία των καψουλών είναι 5% και η διάμετρος των καψουλών είναι 200 μm. Αυτή η τιμή είναι ακόμη μικρότερη όταν μειώνεται το μέγεθος των καψουλών. Από τα αποτελέσματα, μπορεί να διαπιστωθεί ότι η αποτελεσματικότητα της αυτοεπούλωσης με τη χρήση καψουλών για παροχή νερού είναι αρκετά χαμηλή (Jonkers, 2007).

Εκτός από τις κάψουλες, είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθεί σχετικό σύστημα για την παροχή θεραπευτικών παραγόντων για αυτοθεραπεία από το εξωτερικό των υλικών. Σε σχετικό πείραμα, οι δοκοί από οπλισμένο σκυρόδεμα χυτεύθηκαν και σε κάθε δοκό τοποθετήθηκε γυάλινος σωλήνας με εξωτερική διάμετρο 5 mm με πάχος τοιχώματος 1 mm για την παροχή νερού. Στην περίοδο των 28 ημερών, μετρήθηκε η αρχική ταχύτητα υπερήχων συν την ταχύτητα. Μετά από αυτό, τα δείγματα σπάστηκαν με κάμψη τριών σημείων μέχρι το πλάτος ρωγμών να κυμανθεί μεταξύ 0,8 mm και 1 mm. Η ταχύτητα υπερήχων μετρήθηκε και πάλι μετά την πυρόλυση. Επιπλέον νερό εγχύθηκε σε ρωγμές μέσω των σωλήνων για αυτοθεραπεία. Συγκριτικά, τα δείγματα αναφοράς σκλήρυναν χωρίς νερό εκχύλισης (Neville, 2002).

Το Σχήμα 6 δείχνει την ταχύτητα υπερήχων και την ταχύτητα των δειγμάτων σε διαφορετικά στάδια: πριν από τη διάσπαση, μετά από ρωγμές και μετά την επούλωση. Από το Σχήμα 6 μπορεί να φανεί ότι η ταχύτητα διαμέσου των δειγμάτων ελαττώνεται απότομα μετά την πυρόλυση. Ο λόγος είναι ότι η μετάδοση των υπερήχων συν μέσω ρωγμών είναι πολύ πιο αργή από αυτή μέσω του σκυροδέματος μήτρας. Καθώς γίνεται πιο σκληρό για ορισμένο χρονικό διάστημα μετά από ρωγμές, η ταχύτητα αυξάνεται σταδιακά (Bang, Galinat, Ramakrishnan, 2001).

Η ανάκτηση της ταχύτητας υπερήχων μέσω του δείγματος που επουλώνεται από το νερό είναι πολύ υψηλότερη από τα δείγματα αναφοράς, η οποία φθάνει σχεδόν το 80% της αρχικής τιμής πριν από τη δημιουργία ρωγμών. Από τα αποτελέσματα, διαπιστώθηκε ότι σε σύγκριση με τη μέθοδο χρήσης κάψουλων, η χρήση αγγειακού συστήματος για την παροχή νερού για αυτοθεραπεία είναι μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.

2.3.2 Εφαρμογή του Self-Healing σκυροδέματος με νανοσωματίδια (νανοτεχνολογία)

Η νανοτεχνολογία επιτρέπει τον έλεγχο και την παρέμβαση στις ιδιότητες των υλικών στη νανοκλίμακα. Επομένως σε μοριακό επίπεδο. Βρίσκεται ακόμη στο επίπεδο της θεμελιώδους έρευνας και, κατά συνέπεια, της περιορισμένης πρακτικής ανάπτυξης, με εξαιρετικά ενθαρρυντικά αποτελέσματα όσον αφορά τη βελτίωση ορισμένων ή όλων των ιδιοτήτων του σκυροδέματος:

- μηχανικές και ηλεκτροχημικές ιδιότητες (αντοχή, ολκιμότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, αναστολή διάβρωσης)
- αντοχή σκυροδέματος (υδατοστεγανότητα)
- επιφανειακή προστασία του οπλισμού μέσω εφαρμογής επιφανειακών επιστρώσεων (νανομορφωμένη ενίσχυση)
- τεχνολογία σκυροδέματος (δυνατότητα επεξεργασίας)
- μακροπρόθεσμη συντήρηση και παρακολούθηση (αυτοθεραπεία των μικροσκοπικών ρωγμών, ικανότητα αναζήτησης και ανίχνευσης της παρουσίας υγρασίας, θερμοκρασία, άγχος).

Ήδη, προϊόντα με βάση τη νανοτεχνολογία έχουν εισέλθει στην αγορά για τη μείωση της διαπερατότητας του σκυροδέματος μέσω της προσθήκης νανοϋλικών με τη μορφή λύσης. Λόγω της άμεσης βελτίωσης της απόδοσης του υλικού κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας (σταθερότητα χρώματος, ανθεκτικότητα στην ανάπτυξη των μυκήτων στην επιφάνεια, ανθεκτικότητα), αυτά τα προϊόντα στοχεύουν σε δομικές και αρχιτεκτονικές εφαρμογές (μπλοκ από μπετόν, τούβλα, κονιάματα) (De Muynck, De Belie, Verstraete, 2007).

Αναμένεται ότι η τεράστια ανάπτυξη στον τομέα αυτό, αναμφισβήτητα θα επηρεάσει επίσης τον κατασκευαστικό κλάδο και ως εκ τούτου το τσιμέντο μαζί με το σκυρόδεμα. Η νανοτεχνολογία ως νέα τεχνική και προσέγγιση σε υλικά με ελεγχόμενες ιδιότητες σε νανοκλίμακα έχει πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως η ιατρική επιστήμη, η ηλεκτρονική και η οικοδομική βιομηχανία. Εισάγοντας στην περιοχή συνδυασμού ατόμων και μοριακών αλληλεπιδράσεων, επιχειρεί να οργανώσει μόρια με βάση την επιθυμία του, προκειμένου να φθάσει στην απαιτούμενη συμπεριφορά από τον συνδυασμό (Neville, 2002).

Οι επαγγελματίες της νανοεπιστήμης, πιστεύουν ότι μετά την παραγωγή ατμομηχανών και την ανάπτυξη της Πληροφορικής, η νανοτεχνολογία ανοίγει νέους ορίζοντες στον σημερινό κόσμο. Η σημασία της νανοτεχνολογίας στον κλάδο με την αειφόρο ανάπτυξη ως ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος και των ωφελειών των μελλοντικών γενεών μπορεί να υλοποιήσει τους στόχους της αειφόρου ανάπτυξης με μεγαλύτερη ένταση. Η νανοτεχνολογία έχει εισέλθει σε διάφορους τομείς της οικοδομικής βιομηχανίας, όπως μέταλλα, σκυρόδεμα, έδαφος, γυαλί, και βέλτιστο εξαερισμό, επεξεργασία νερού, αισθητήρες, επενδύσεις, βαφές και μονώσεις (Bang, Galinat, Ramakrishnan, 2001).

Κατά την τελευταία δεκαετία, πραγματοποιήθηκαν αρκετές έρευνες σχετικά με την εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στη συγκεκριμένη τεχνολογία. Το σκυρόδεμα ως μακροσκοπικό υλικό επηρεάζεται έντονα από τα νανοχαρακτηριστικά του. Η κατανόηση της συμπεριφοράς σκυροδέματος και της δομικής απόδοσης σε νάνο ή μικρό κλίμακες βελτιώνει και προάγει τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος όπως στην κατασκευή και στην παραγωγή σκυροδέματος ανάλογα με τις σημερινές απαιτήσεις.

Η νανοτεχνολογία στη βιομηχανία σκυροδέματος έχει αποδείξει ότι βελτιώνει τις θεμελιώδεις προδιαγραφές του σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένης της αντοχής, της ανθεκτικότητας, της ελαφρότητας, της ευκαμψίας και της αδιαπερατότητας του. Καθώς επίσης την κατασκευή ευφυών συσσωματωμάτων, βελτιωμένων τσιμέντων, παραγωγή σκυροδέματος με δυνατότητα θερμομονωτικών και ηχομονωτικών μονώσεων (Neville, 2002).

Οι συνεχείς έρευνες αποκαλύπτουν εκκρίσεις σχετικά με αυτήν τη βιομηχανία. Στη νανοτεχνολογία, τα μεγέθη των υλικών μετατρέπονται σε νανοκλίμακα και μετά την ανασυγκρότηση, αυτά παραδίδονται στη βιομηχανία ως υλικά με νέες ιδιότητες. Διαφορετικά οξείδια όπως το νανο-SiO₂, το νανο-Fe₂O₃, το νανο-Al₂O₃ και το νανο-TiO₂ βελτιώνουν τις φυσικές, μηχανικές ιδιότητες και την αντοχή του σκυροδέματος. Για παράδειγμα, δημιουργείται η επίδραση της ενεργοποιημένης ακτινοβολίας και η ιδιότητα του αυτοκαθαρισμού μαζί με την απομάκρυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η χρήση νανοϋλικών σε εξωτερικές επιφάνειες κτιρίων και οδών, ιδιαίτερα σε περιοχές με πολλούς πλουραλισμούς, μειώνει τις οικονομικές και περιβαλλοντικές απώλειες όπου έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές αναπτυγμένες χώρες από το 2008. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση οξειδίου του τιτανίου στα 7000 κυβικά μέτρα δρόμων του Μιλάνου και το 60% μείωση του διοξειδίου του αζώτου στον αέρα (Jonkers, 2007).

2.3.3 Εφαρμογή του Self-Healing σκυροδέματος με βακτήρια

Η εμφάνιση αυτογενών ρωγμών στο σκυρόδεμα και η «επώασης» αυτών με τη μέθοδο self-healing, έχει αναγνωριστεί σε αρκετές πρόσφατες μελέτες (Neville 2002, Reinhardt & Jooss 2003). Η ικανότητα για ρήξη ρωγμών στους περισσότερους κοινούς τύπους σκυροδέματος, ωστόσο, φαίνεται να περιορίζεται σε μικρό-ρωγμές, δηλαδή ρωγμές με πλάτος έως 0,1-0,2 mm (Li & Yang 2007, Edvardsen 1999). Ο μηχανισμός με τη μέθοδο self-healing, μπορεί στην πραγματικότητα να διαφέρει, καθώς εξαρτάται κυρίως από τη σύνθεση του συγκεκριμένου μείγματος.

Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ρωγμή σε κονίαμα κτιρίων από τούβλα στα κανάλια του Άμστερνταμ και εδώ η διαδικασία συνέβαλε στη διάλυση και επανακαθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου εντός του κυρίως κονιάματος με βάση το

ασβέστιο. Το νερό που διεισδύει σε σχισμές δεν θα διαλύσει μόνο τα σωματίδια ασβεστίου (CaCO_3) που υπάρχουν στη μήτρα κονιάματος, αλλά θα αντιδράσει μαζί με το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα με όχι πλήρως ενυδατωμένα συστατικά ασβεστίου όπως το οξείδιο του ασβεστίου και το υδροξείδιο του ασβεστίου σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:

Τα πρόσφατα παραγόμενα ορυκτά από τις προαναφερθείσες αντιδράσεις (1) , (2) και από διαλυμένα και ανακρυσταλλωμένα ορυκτά, κατακρημνίστηκαν στην επιφάνεια των ρωγμών, πράγμα που οδήγησε σε σφράγιση με ρωγμές και ταυτόχρονη μείωση της διαπερατότητας του κονιάματος. Το self-healing δυναμικό αυτού του συστήματος, σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα των μη αντιδρώντων σωματιδίων ασβέστη εντός του καθορισμένου κονιάματος. Οι σύγχρονες κατασκευές από σκυρόδεμα, οι οποίες συνήθως βασίζονται στο τσιμέντο Portland με ποικίλα ποσοστά αντικαταστάσεων τσιμέντου, όπως η τέφρα, ο καπνός από σίλικα ή η σκωρία υψικαμίνου, παρουσιάζουν επίσης ορισμένες δυνατότητες αυτόνομης επούλωσης με ρωγμές.

Η διαδικασία σε αυτό το σύγχρονο σκυρόδεμα είναι, παρόλα αυτά, ανάλογη με εκείνη των κονιαμάτων με βάση ασβέστιο, καθώς τα περίσσεια μη ενυδατωμένων ή μόνο εν μέρει ενυδατωμένων σωματιδίων τσιμέντου υποβάλλονται σε καθυστερημένη ή δευτερογενή ενυδάτωση με νερό. Συγκεκριμένα, το σκυρόδεμα που παράγεται με μίγματα που χαρακτηρίζονται από χαμηλή αναλογία βάρους ύδατος προς τσιμέντο, όπως σκυρόδεμα υψηλής αντοχής ή ενισχυμένο με πολυμερές ινώδες υλικό (Li & Yang 2007), μπορεί να παρουσιάσει υψηλό δυναμικό επούλωσης λόγω ρωγμών λόγω της σχετικά μεγάλης ποσότητας μη- αντιδρώντα σωματίδια τσιμέντου που υπάρχουν στη μήτρα σκυροδέματος.

Ένα υψηλό δυναμικό επούλωσης των σκυροδέματος με τη μέθοδο self-healing, είναι ωφέλιμο καθώς καθιστά το υλικό ισχυρότερο και πάνω από όλα πιο ανθεκτικό. Η συνεχής επούλωση με τη μέθοδο self-healing, ιδιαίτερα ρωγμών επιφανείας, έχει σαν αποτέλεσμα μειωμένη διαπερατότητα του υλικού και σημαντικά μειωμένο κίνδυνο πρόωρης αποικοδόμησης της μήτρας και διάβρωσης του ενσωματωμένου χαλύβδινου οπλισμού λόγω του εισερχομένου νερού και των επιθετικών χημικών ουσιών.

Ένας από τους λόγους για τους οποίους το παραδοσιακό σκυρόδεμα δεν βασίζεται συνήθως σε ένα χαμηλό λόγο βάρους νερού προς τσιμέντο και ταυτόχρονα υψηλό δυναμικό με τη μέθοδο self-healing, είναι το υψηλό κόστος. Επιπλέον, η τρέχουσα πολιτική είναι η μείωση της ποσότητας τσιμέντου που απαιτείται σε ένα συγκεκριμένο μείγμα, καθώς η παραγωγή της είναι φιλική προς το περιβάλλον λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και των ατμοσφαιρικών εκπομπών CO₂ (Gerilla et al., 2007, Peris Mora 2007).

Ωστόσο, το σκυρόδεμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο, δηλαδή με βάση την αναλογία νερού / τσιμέντου, πιθανότατα δεν θα έχει σημαντική αυτογενή ικανότητα επούλωσης των κρாக, καθώς τα περισσότερα, αν όχι όλα, σωματίδια τσιμέντου έχουν ήδη υποβληθεί σε πλήρη ενυδάτωση κατά τη νεαρή ηλικία. Έτσι, για να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα ενός τέτοιου σχετικά φθηνού και περιβαλλοντικά βιώσιμου σκυροδέματος, είναι πιθανό να ενσωματωθεί ένας εναλλακτικός μηχανισμός αυτοθεραπείας. Ένας τέτοιος μηχανισμός μπορεί ενδεχομένως να παρέχεται από βακτήρια που παράγουν ορυκτά.

Τα φυσικά εδάφη είναι ο βίοτοπος μιας μεγάλης ποικιλίας μη παθογόνων βακτηριδίων και πολλά από αυτά έχουν αναφερθεί ότι είναι ισχυροί βιοορυκτοί παραγωγοί (Stocks-Fischer et al., 1999, Castanier et al., 1999, Douglas & Beveridge 1998). Επίσης, οι αλκαλικές λίμνες (Nielsen et al., 1994) και ακόμη ορισμένοι φυσικοί λίθοι και εξειδικευμένων βακτηριδίων (Clegg 2001), που ονομάζονται αλκαλιφιλικά και ενδολιθικά βακτήρια αντίστοιχα, περιλαμβάνουν βακτήρια που παράγουν ασβεστίτη (Rodriguez-Navarro et al. · Fajardo & Nicholson 2006 · Stocks-Fischer et al., 1999).

Ιδιαίτερα τα βακτηρίδια των τελευταίων δύο ομάδων, φαίνονται πολλά υποσχόμενα για εφαρμογή ως μέσα με τη μέθοδο self-healing σε σκυρόδεμα, καθώς τα περιβάλλοντα που προέρχονται από αυτά δείχνουν κάποια αναλογία με τη μήτρα σκυροδέματος, δηλαδή πέτρινο, και πολύ αλκαλικό pH. Ο κύριος στόχος της παρούσας ενότητας, είναι επομένως να διερευνηθεί εάν τα συγκεκριμένα ακινητοποιημένα βακτήρια που παράγουν ασβεστίτη θα μπορούσαν ενδεχομένως να αποτελέσουν έναν εναλλακτικό μηχανισμό θεραπείας ρωγμών στο σκυρόδεμα.

Αν και είναι επιθυμητό σκυρόδεμα με υψηλό δυναμικό αυτοθεραπείας (ρωγμών), η προσθήκη self-healing παραγόντων όπως βακτηρίων και / ή (οργανικών) χημικών ενώσεων στην πάστα, μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητη μείωση των ιδιοτήτων αντοχής. Μία απώλεια 10% συμπιεστικής ισχύος λόγω της ενσωμάτωσης βακτηρίων (*B. Pseudofirmus*) παρατηρείται σε σχετικές μελέτες.

Ωστόσο, μια τέτοια απώλεια δύναμης μπορεί να είναι αποδεκτή όταν αυτό αντισταθμίζεται από μια ουσιαστική αύξηση της χωρητικότητας επεξεργασίας των ιδίων (ρωγμών) υλικών. Τα αποτελέσματα μελετών, δείχνουν ότι το σύστημα δύο συστατικών μπορεί να χαρακτηριστεί από ένα ανώτερο δυναμικό επούλωσης με ρωγμές, καθώς πολύ μεγαλύτερες ρωγμές μπορούν θεωρητικά να σφραγιστούν από τα μεγαλύτερα σωματίδια ασβεστίου που παράγονται. Απομένει, ωστόσο, να αξιολογηθεί σε ποιο βαθμό η αυξημένη παραγωγή βακτηριδιακών ορυκτών σε επιφάνειες (ρωγμές) έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη διαπερατότητα και επομένως την καλύτερη προστασία του υποκείμενου υλικού μήτρας.

Μία μειωμένη διαπερατότητα εξαιτίας της επούλωσης των ρωγμών θα είχε ως αποτέλεσμα μειωμένο ρυθμό εισόδου επιθετικών χημικών ουσιών, πράγμα που θα μπορούσε να οδηγήσει σε πρόωρη υποβάθμιση της μήτρας ή διάβρωση ενσωματωμένου χάλυβα οπλισμού. Η μέθοδος self-healing με τη βοήθεια ενσωματωμένων βακτηριδίων θα μπορούσε έτσι να οδηγήσει σε καλύτερη θεραπεία (σφράγιση μεγαλύτερων ρωγμών) σε σύγκριση με την αυτογενή επούλωση μη τροποποιημένων παστών.

Έχει παρατηρηθεί σε προηγούμενες μελέτες ότι η ιδιαίτερος υψηλή αντοχή, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή αναλογία βάρους νερού προς τσιμέντο, έχει σημαντική ικανότητα αυτοθεραπείας (Edvardsen 1999, Neville 1999). Αυτό οφείλεται στη μεγάλη ποσότητα μη ή μόνο μερικώς ενυδατωμένων σωματιδίων τσιμέντου που υπάρχουν στη μήτρα υλικού. Τέτοια σωματίδια θα υποβληθούν σε δευτερογενή ενυδάτωση με νερό εισχώρησης στη ρωγμή, μια διαδικασία που επίσης παρατηρήθηκε σε αυτή τη μελέτη για την ικανότητα του αυτογενούς χημικού μηχανισμού αυτοθεραπείας σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα μη (πλήρως) ενυδατωμένων σωματιδίων τσιμέντου που υπάρχουν στο υλικό μήτρα.

Το μέγιστο πλάτος ρωγμών που μπορεί να αυτοθερμανθεί σε ένα τέτοιο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής φαίνεται να περιορίζεται σε 0,1 mm (Edvardsen 1999, Li & Yang 2007). Από οικονομική και περιβαλλοντική άποψη, όμως, ένα τέτοιο χημικό αυτοθεραπευτικό σύστημα με βάση σωματίδια τσιμέντου δεν προτιμάται λόγω του υψηλού κόστους του τσιμέντου και της υψηλής ποσότητας CO₂ που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της παραγωγής του (Gerilla κ.ά. 2007, Peris Mora 2007).

Ένα σύστημα αυτοθεραπείας δύο συστατικών που βασίζεται στην παραγωγή βακτηριακών ορυκτών, όπως προτείνεται σε αυτή τη μελέτη, θα ήταν προτιμητέο για τους δύο τελευταίους λόγους και επιπλέον, το μέγεθος των βακτηριακά παραγόμενων ορυκτών υποδηλώνει ότι οι μεγαλύτερες ρωγμές θα μπορούσαν ενδεχομένως να επουλωθούν.

Ο μηχανισμός της βακτηριακά επαγόμενης self-healing μεθόδου, βασίζεται στη μεταβολική μετατροπή κατάλληλων οργανικών ενώσεων σε ασβεστίτη, π.χ. που αντιπροσωπεύεται από τη βιομετατροπή του μυρμηκικού ασβεστίου με πορτολανίτη που υπάρχει στη μήτρα πάστας. Σε αρκετές προηγούμενες μελέτες, χρησιμοποιήθηκαν επίσης βακτηρίδια για βελτίωση της ανθεκτικότητας ή επισκευή σκυροδέματος. Σε αυτές τις μελέτες, διερευνήθηκε το δυναμικό παραγωγής ασβεστίου μιας ειδικής ομάδας ουρεολυτικών βακτηριδίων και η εφαρμογή τους στο σκυρόδεμα (Bang et al., 2001, Ramachandran et al., 2001, De Muynck et al 2007, Ramakrishnan 2007).

Ωστόσο, σε αυτές τις μελέτες οι βακτήρια και τα απαιτούμενα υποστρώματά τους (ουρία συν χλωριούχο ασβέστιο) εφαρμόστηκαν εξωτερικά, δηλαδή σε καθορισμένα δείγματα σκυροδέματος. Καθώς τα βακτήρια τα υποστρώματα δεν ήταν μέρος του αρχικού μίγματος σκυροδέματος, αυτός ο τύπος επισκευής δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αυτοεπούλωση. Ωστόσο, τα βακτηρίδια και οι πρόδρομες ενώσεις ορυκτών αναμείχθηκαν με την πάστα και έτσι έγιναν αναπόσπαστο μέρος του υλικού. Σε μια παράλληλη μελέτη αποδείχθηκε ότι τα σπόρια εξειδικευμένων αλκαλιφιλικών βακτηριδίων, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη, επιβιώνουν εντός του σκυροδέματος και μπορούν να ενεργοποιηθούν με συνδυασμό (εισερχομένου)

ύδατος και κατάλληλου υποστρώματος ανάπτυξης (Jonkers 2007, Jonkers & Schlangen 2007).

Αυτό που είναι ακόμη ασαφές, είναι η έκταση της βιοδιαθεσιμότητας των οργανικών ενώσεων που αναμιγνύονται με την πάστα τσιμέντου. Απομένει να προσδιοριστεί ποιο μέρος των προστιθέμενων οργανικών ουσιών είναι πράγματι διαθέσιμο για τα βακτηρίδια (π.χ. δια διαλύσεως στο νερό της μήτρας μήτρας) και ποιο μέρος θα δεσμευθεί χημικά μέσα στα προϊόντα ενυδάτωσης τσιμέντου και έτσι η μήτρα δεν είναι προσβάσιμη για βακτήρια.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι τουλάχιστον ένα μέρος των προστιθέμενων οργανικών ουσιών ήταν διαθέσιμο για μεταβολική μετατροπή, καθώς τα σωματίδια ασβεστίου ήταν πολύ μεγαλύτερα στα βακτηρίδια και στους οργανικούς τροποποιημένους πολτούς σε σύγκριση με τους ελέγχους. μπορεί να δηλώσει ότι το εξεταζόμενο σύστημα δύο συστατικών που βασίζεται σε βακτήρια φαίνεται μια υποσχόμενη και σίγουρα πιο βιώσιμη, εναλλακτική λύση σε πάστες υψηλής αντοχής που χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Ωστόσο, η ικανότητα self-healing με τη χρήση βακτηρίων, (σφράγιση με ρωγμές και ταυτόχρονη μείωση της διαπερατότητας) θα πρέπει να προσδιοριστεί ποσοτικά σε μελλοντικές μελέτες.

3 Κεφάλαιο Τρίτο – Τρόποι και μέθοδοι καινοτομιών καθώς και νέων τεχνολογιών στην κατασκευή αεροδρομίων διεθνώς

3.1 Καινοτομία στους τρόπους και υλικά κατασκευής των αεροδρομίων

Η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων διεθνώς, απευθύνεται σε παρόχους υπηρεσιών στην βιομηχανία της αεροπορίας. Οι πάροχοι ηλεκτρονικών υπηρεσιών στην αεροπορία για παράδειγμα, συνήθως εστιάζουν όχι μόνο στην ποιότητα των υπηρεσιών, αλλά και στην αποτελεσματικότητα της λειτουργίας των αεροπορικών επιχειρήσεων.

Η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων, είναι μια πολύπλοκη μελλοντική σκέψη για υψηλό βαθμό ανταγωνισμού, ενώ χρησιμοποιούνται νέες μέθοδοι ελέγχου των κινήσεων των οχημάτων στο αεροδρόμιο και στον εξοπλισμό αεροπορίας με νέες μεθόδους, εργαλεία, υλικά με βιώσιμες τεχνολογίες και καλή οργανωμένη υποδομή αεροδρομίου που είναι πολύ σημαντική, διότι όλα αυτά τα στοιχεία είναι απαραίτητα για αποτελεσματικές αερομεταφορές και επίσης για αποτελεσματικό χειρισμό εδάφους στο πλαίσιο της ασφάλειας των επιβατών (International Air Transport Association (IATA), 2017).

Λόγω της τεράστιας ζήτησης για επέκταση της ικανότητας του αεροδρομίου που προκαλείται από τον αυξανόμενο αριθμό επιβατών, τα αεροπορικά ταξίδια έχουν γίνει προσβάσιμα σε δισεκατομμύρια περισσότερους ταξιδιώτες. Το 2012, 2,8 δισεκατομμύρια επιβάτες χρησιμοποίησαν αεροπορικά ταξίδια. Σύμφωνα με την έκθεση της IATA για το 2050, οι ειδικοί αναμένουν ότι 16 δισεκατομμύρια επιβάτες και 400 εκατομμύρια τόνοι φορτίου θα χρησιμοποιηθούν από τις αεροπορικές μεταφορές το 2050 και θα συνεχίσουν να αυξάνονται (International Air Transport Association (IATA), 2017). Είναι τεράστια πρόκληση η παροχή αυτής της εξάπλωσης, χωρίς καλή οργάνωση του κυκλώματος λειτουργίας που εμπλέκεται σε πτητικές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου κατά τον οποίο τα αεροσκάφη παραμένουν στο έδαφος.

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων επιβατών που ταξιδεύουν στα αεροδρόμια διεθνώς. Οι Bonnefoy et al. (2010), εκπόνησαν μια μελέτη γνωστή ως «Εξέλιξη και Ανάπτυξη Συστημάτων Πολλαπλών Αεροδρομίων». Ο πυρήνας της λύσης τους ήταν η δημιουργία συστημάτων λειτουργίας πολλαπλών αεροδρομίων. Ένα σύστημα λειτουργίας πολλαπλών αεροδρομίων, ορίζεται ως ένα σύνολο δύο ή περισσότερων σημαντικών αεροδρομίων που εξυπηρετούν εμπορικές μεταφορές σε μια μητροπολιτική περιοχή. Ωστόσο, με αυτή τη λύση διαπίστωσαν ότι το πρόβλημα συμφόρησης στα τρία μεγάλα αεροδρόμια της Νέας Υόρκης, θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει στην εμφάνιση ενός νέου δευτερεύοντος αεροδρομίου. Παρ' όλα αυτά, η ανάπτυξη ενός συστήματος λειτουργίας πολλαπλών αεροδρομίων, εξακολουθεί να θέτει αρκετές προκλήσεις όσον αφορά τον προγραμματισμό και την ανάπτυξη (Bonnefoy et al., 2010).

Από την άποψη αυτή, ο De Neufville, καθηγητής Μηχανικών Συστημάτων και Πολιτικής και Περιβαλλοντικής Μηχανικής στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης, εξέδωσε επίσης μια μελέτη σε αυτόν τον τομέα στο άρθρο του "Αεροδρόμια του μέλλοντος: Η ανάπτυξη συστημάτων αεροδρομίων". Σε μια άλλη μελέτη, η παγκόσμια ανάπτυξη παρουσιάζεται ως προς τις αναδυόμενες τάσεις προς εστιασμένη εξειδίκευση στις αεροπορικές δραστηριότητες. καθορίζονται οι κύριοι τύποι αεροδρομίων ως εξής (de Neufville 2003):

- ✓ 24/7 διηπειρωτικά αεροδρόμια που εξυπηρετούν το διεθνές επιβατικό ταξίδι
- ✓ φθηνά ναύλα, αεροδρόμια μικρών αποστάσεων που προσπαθούν να είναι φθηνά για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των πελατών τους.
- ✓ αεροδρόμια φορτίου αφιερωμένα στην εξυπηρέτηση ολοκληρωμένων αερομεταφορέων εμπορευμάτων.

Επίσης σε ένα άρθρο των Price και Dreiling, το προτεινόμενο μοντέλο για ένα μελλοντικό αεροδρόμιο αεροδρομίου, επιτρέπει να υποστηρίξει κανείς ότι τα αεροδρόμια λειτουργούν ως πόλεις, ως κατοικία ανθρώπων, επιχειρήσεων, βιομηχανιών και αποτελούν κομβικό σημείο για την οικονομική ανάπτυξη. Ένας πολιτιστικός και οργανωτικός μετασχηματισμός στον τομέα των αεροδρομίων που υποστηρίζεται από καινοτομίες επιχειρηματικού μοντέλου θα απαιτηθεί για τις μελλοντικές λειτουργίες των αεροδρομίων (Price, Dreiling 2013).

Η καινοτομία που καθοδηγείται από το σχεδιασμό, απαιτεί από μια εταιρεία να έχει ένα όραμα για ανάπτυξη κορυφαίας γραμμής, το οποίο βασίζεται σε βαθιές γνώσεις πελατών που διευρύνεται μέσω δεσμεύσεων πελατών και ενδιαφερομένων. Το αποτέλεσμα της καινοτομίας που οδηγεί στο σχεδιασμό, είναι η ενσωμάτωση του σχεδιασμού και της κουλτούρας του σχεδιασμού σε όλες τις πτυχές μιας επιχείρησης για να επιτευχθεί αυτό το όραμα. Οι καινοτομίες στην ψηφιακή τεχνολογία έχουν την ικανότητα να υποστηρίζουν τη λειτουργία του φυσικού περιβάλλοντος ενός αεροδρομίου ενώ παράλληλα δημιουργούν νέα και δυνητικά ενοχλητικά κανάλια για τους πελάτες και τους όποιους ενδιαφερόμενους. Η άνοδος της ψηφιακής οικονομίας παρουσιάζει έναν ενδιαφέροντα σύνδεσμο με το μελλοντικό επιχειρηματικό μοντέλο λειτουργίας αεροδρομίων.

Ο έξυπνος αεροπορικός οργανισμός που υιοθετεί την καινοτομία, επιλέγει και απορροφά την επιτυχία των δημιουργών και ηγετών καινοτομίας εντός και εκτός της βιομηχανίας τους, μειώνοντας τον κίνδυνο αποτυχίας της αγοράς. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση προς την καινοτομία ενισχύει επίσης τον κίνδυνο και την καινοτομία με δυσμενείς πολιτισμικές δυναμικές εντός των ενδιαφερομένων, η οποία μπορεί να αποφέρει χαμηλή οργανωτική δημιουργικότητα και ελλείψεις στην επίλυση προβλημάτων. Όπως αναφέρεται στους νόμους και τους κανονισμούς για τα αεροδρόμια, υπάρχουν βασικοί παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της χωρητικότητας των αεροδρομίων (Abeyratne, 2014):

- ✓ Ενσωμάτωση της χρήσης του GNSS.
- ✓ Ενσωμάτωση διαχείρισης άφιξης/αναχώρησης/επιφάνειας
- ✓ Διαχείριση βελτιστοποίησης
- ✓ Βελτίωση της επιτήρησης της επιφάνειας
- ✓ Συλλογική λήψη αποφάσεων από το αεροδρόμιο
- ✓ Η καλή διαχείριση και βελτιστοποίηση της κίνησης και της λειτουργίας των επίγειων οχημάτων.

Από την άλλη πλευρά, ο αριθμός των ατυχημάτων που συμβαίνουν στα αεροδρόμια λόγω της λειτουργίας των επίγειων οχημάτων και ο αντίκτυπος των αεροσκαφών από αυτά τα οχήματα, αυξάνονται ραγδαία. Στο Συμβούλιο Έρευνας Μεταφορών (2008) σημειώνεται ότι ένας από τους κύριους στόχους αυτού του ερευνητικού έργου, δεν ήταν μόνο ο εντοπισμός καινοτομιών, αλλά η κατανόηση και η αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεών τους στον σχεδιασμό και τον σχεδιασμό των χερσαίων εγκαταστάσεων του αεροδρομίου. Ως αποτέλεσμα, έχουν αναπτυχθεί αρκετές νέες ιδέες για το έδαφος και το τερματικό που ενσωματώνουν μία ή περισσότερες καινοτομίες. Οι έννοιες της ξηράς βασίζονται στις διαδικασίες των επιβατών που περιγράφηκαν νωρίτερα και περιλαμβάνουν δραστηριότητες από την αρχή του ταξιδιού του επιβάτη στο σημείο όπου ο επιβάτης εισέρχεται στο κτίριο του τερματικού και αντίστροφα.

Ο Οργανισμός ICAO και EUROCONTROL έχουν επινοήσει το «Σύστημα καθοδήγησης και ελέγχου προχωρημένης κίνησης επιφάνειας» (A-SMGCS) για να

διασφαλίσουν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της επιφανειακής κίνησης στην περιοχή μετακίνησης του αεροδρομίου (διάδρομοι προσγείωσης, ταξί και περιοχή ποδιάς) (Eurocontrol, 2015).

Οι πιο εκτεταμένες μελέτες παρασχέθηκαν από μια πορτογαλική ομάδα επιστημόνων (Casaca et al. 2015). Παραδείγματος χάριν, σημειώνεται πως το σημερινό επίπεδο τεχνολογικής ανάπτυξης στις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών επιτρέπει την καθιέρωση πλατφόρμας χαμηλού κόστους για το στοιχείο πλοήγησης οχημάτων του A-SMGCS που δίνει καλή παρουσίαση και ιδέες για τον τρόπο χρήσης της ενσωμάτωσης σε ευρέως γνωστά συστήματα δικτύων επικοινωνίας, όπως: Wi-Fi, TETRA, CDMA και WiMAX, για τη βελτιστοποίηση της κίνησης των επίγειων οχημάτων μέσα σε ένα τοπικό δίκτυο αεροδρομίων.

Ο Azorín Gonzalez et al. δήλωσε ότι η βελτιστοποίηση των μελλοντικών επίγειων επιχειρήσεων των αεροδρομίων, δεν μπορεί να κατανοηθεί χωρίς να μελετηθούν οι κύριες πλατφόρμες. Για το σκοπό αυτό ξεχωρίζουν δύο έργα, το Next Gen. και SECAR (Azorín Gonzalez et al., 2013). Το Next Gen. Air Transportation System (Next Gen) στοχεύει στη μεταφορά του συστήματος εναέριας κυκλοφορίας της Αμερικής από το τρέχον επίγειο σύστημα σε δορυφορικό σύστημα με δυνατότητα τεχνολογίας GPS. Ωστόσο, τα σημεία λειτουργίας του εν λόγω έργου, ομαδοποιούνται με τον ακόλουθο τρόπο:

- ✓ A-CDM (λήψη συνεργατικής απόφασης αεροδρομίου)
- ✓ Μονοσήμαντες επικοινωνίες
- ✓ Έλεγχος εισόδου διαδρόμου
- ✓ Βελτιστοποίηση της χρήσης της διαθέσιμης υποδομής

Ωστόσο, περίπου το 90% των υποδομών των αεροδρομίων που χρησιμοποιούν σύστημα επίγειας εξυπηρέτησης και με καλή διαχείριση του, μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει καλή διαχείριση αεροπορικών έργων. Γι 'αυτό η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων, θα πρέπει να δίνει μια ρεαλιστική επισκόπηση ενός τυπικού παρόχου υπηρεσιών που εμπλέκεται σε αεροπορικές εταιρείες, αεροδρόμια, καθώς και σε εργασίες κατασκευής υψηλής ποιότητας και ασφάλειας. Επίσης, είναι προφανές ότι οι καινοτομίες στο σχεδιασμό των αεροδρομίων θα πρέπει να δημιουργήσουν την

αλληλεξάρτηση μεταξύ της ασφάλειας των πτήσεων και της ικανοποίησης των επιβατών από οικονομική άποψη με τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του αεροδρομίου όπου είναι ο χρόνος, η ασφάλεια, η ασφάλεια και το χρηματικό ποσό που δαπανάται, οπότε οι επιβάτες ενδιαφέρονται για τεχνολογικά προηγμένα έργα.

Όλοι οι πελάτες αναζητούν υψηλό επίπεδο άνεσης και ικανοποίησης. Ωστόσο, όλα αυτά τα πράγματα δεν μπορούν να παρασχεθούν χωρίς σωστή οργάνωση διαχείρισης και καλή οργάνωση της μεγάλης εκμετάλλευσης. Φυσικά, η αξία κόστους θα πρέπει να είναι το πιο σημαντικό κριτήριο στην ποιότητα των υπηρεσιών εξυπηρέτησης, διότι η συνολική ποιότητα των υπηρεσιών είναι το μοναδικό και το πιο σημαντικό ζήτημα για την επιτυχή παροχή υπηρεσιών επιβατών. Γι' αυτό η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ακόλουθες πτυχές:

- ✓ Πρώτον, το μελλοντικό έργο θα πρέπει να ασχολείται παράλληλα με δύο τομείς, το σύστημα αεροναυτιλίας και η υποδομή αεροδρομίου.
- ✓ Η χρήση νέας τεχνολογίας στον χειρισμό εδάφους εδώ και σχεδόν δύο δεκαετίες επικεντρώνεται στο έδαφος και την ανταλλαγή μεταφορών.
- ✓ Τα ανθρώπινα λάθη σε όλες τις πτυχές πρέπει να μειωθούν από την αεροπορική αγορά. Προφανώς, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών οδηγεί στη διατήρηση των πελατών, η οποία έχει αποδειχθεί φθηνότερη μακροπρόθεσμα, με υψηλά επίπεδα κύκλου εργασιών πελατών.

3.2 Σχεδιασμός των μελλοντικών αεροδρομίων

Η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων έχει καθοριστικό ρόλο στην αλυσίδα ασφάλειας των αερομεταφορών, συνδέοντας την ασφάλεια των αεροπορικών εταιρειών με την ασφάλεια των επιβατών και των εμπορευμάτων των πελατών τους. Είναι κέντρα οικονομικής δραστηριότητας που προσελκύουν επιχειρηματικά πάρκα και χρησιμεύουν ως πολυτροπικά σημεία μεταφοράς. Είναι ένα συγκρότημα κτιρίων αεροδρομίου νέου σχεδιασμού και συστημάτων υποδομής ασφαλείας που εξυπηρετούν κατά καιρούς τις ανάγκες ποικίλων ενδιαφερόντων.

Τα περισσότερα από αυτά τα ενδιαφέροντα επικεντρώνονται στο κτίριο του νέου κτιρίου (αεροπορικό πάρκο με τους αεραγωγούς για φόρτωση και εκφόρτωση, τις

αποσκευές των επιβατών, τη μεταφορά τους μεταξύ των επίγειων μεταφορών και των αεροπόρων). Οι αεροπορικές εταιρείες, ο αερομεταφορέας και οι επιχειρήσεις θέλουν να παρέχουν συνεχείς υπηρεσίες για να βοηθούν τους επιβάτες, τους επισκέπτες του αεροδρομίου και το κτίριο του τερματικού υποστηρίζει αυτές τις δραστηριότητες. Οι μελλοντικές έννοιες των σύγχρονων αεροδρομίων αφορούν τρία βασικά στοιχεία:

- ✓ Πιο άνετη μεταφορά επιβατών.
- ✓ Η ικανότητα και η ποιότητα αυξάνονται με υψηλό επίπεδο στις αεροπορικές επιχειρήσεις.
- ✓ Η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη φύση και η χρήση έργων καθαρής ενέργειας, για παράδειγμα στη παραγωγή CO₂.

Βέβαια, μεγαλύτερα αεροδρόμια έχουν αναπτυχθεί, και αυτό το έχει προσφέρει τη γνώση για τον τρόπο πρόβλεψης και επίλυσης των μεγάλων προβλημάτων, όπως η βέλτιστη χρήση της χωρητικότητας του αεροδρομίου, η επαρκής χωρητικότητα του διαδρόμου κ.λπ.

Σήμερα, τα κτίρια των τερματικών σταθμών ανακαινίζονται, αναβαθμίζονται και τροποποιούνται. Επιπλέον, χτίστηκαν χώροι ψυχαγωγίας για να φιλοξενήσουν την ανάπτυξη των αεροπορικών ταξιδιών. Στο μέλλον, τα περισσότερα από τα υπάρχοντα αεροδρόμια θα ανακαινιστούν λαμβάνοντας υπόψη την άνεση των εγκαταστάσεων, όπου το κτίριο του τερματικού πρέπει να ανακατασκευαστεί υπό τους περιορισμούς της υπάρχουσας ιδιοκτησίας, του διαδρόμου, των ορίων και των συστημάτων αυτοκινητοδρόμων όσον αφορά την ασφάλεια της συνέχισης αεροπορικές δραστηριότητες. Είναι απίθανο τα μελλοντικά κτίρια τερματικών να είναι ριζικά διαφορετικά στη βασική ιδέα, αλλά σίγουρα θα είναι μεγαλύτερα και πιο πολυσύχναστα από οποιοδήποτε αεροδρόμιο που υπάρχει αυτήν τη στιγμή.

Η παραδοσιακή δομή της διαχείρισης ενός έργου αεροδρομίου, χαρακτηρίζεται μέσω διαδικασίας ρουτίνας εργασίας και σχεδιασμού, οργάνωσης, ελέγχου και συντονισμού της διαδικασίας, μέσα στη δομή της γραμμικής οργάνωσης. Προκειμένου να επιτευχθεί η κατάλληλη ικανότητα και ποιότητα, η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων θα πρέπει να αξιολογηθεί για να αποφευχθούν προβλήματα με τη νομοθεσία. Ένας από τους τρόπους επίτευξης επιτυχίας στο

σχεδιασμό ενός αεροδρομίου, είναι η επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου στη διαχείριση αεροπορικών έργων, απαιτείται έρευνα νέων τομέων ερευνητικής συνεργασίας σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους.

Οι απαραίτητες στρατηγικές χρήσης σύγχρονων τεχνολογιών για την ασφάλεια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους τομείς έρευνας. Η ενσωμάτωση τεχνικών, περιβαλλοντικών, ψυχολογικών και οικονομικών επιστημών δημιουργεί τις πιθανότητες ενός καλύτερου αποτελέσματος στο σχεδιασμό των αεροδρομίων. Επιπλέον, ο σχεδιασμός των αεροδρομίων θα πρέπει να βασίζεται όχι μόνο στην επίβλεψη των διαδικασιών, στη δύναμη της διαχείρισης των αεροπορικών έργων και στους τυπικούς κανόνες ασφάλειας για υπακοή, αλλά και στα δικαιώματα των επιβατών.

Παρ' όλα αυτά, τα εργαλεία του έργου για το σχεδιασμό του αεροδρομίου είναι πολύ γνωστά και διαθέσιμα, π.χ. αναλύσεις κινδύνου, σχεδιασμός, οργάνωση, εκτέλεση, έλεγχος και προϋπολογισμός. Τα αεροπορικά έργα μπορεί να αποτύχουν αλλά αυτό δεν οφείλεται σε έλλειψη μεθόδων και τεχνικών, αλλά μερικές φορές λόγω κακής συσχέτισης μεταξύ της καινοτομικής δύναμης της εκτέλεσης αεροπορικών έργων και της διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού που ασχολείται με την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Επιπλέον, η σχέση μεταξύ της ευαισθητοποίησης των εργαζομένων (της ομάδας) και της προστασίας του περιβάλλοντος, μπορεί να βελτιώσει το επίπεδο ποιότητας της διαχείρισης έργων του αεροδρομίου. Η νέα προσέγγιση της καινοτομίας στο σχεδιασμό των αεροδρομίων, δείχνει ένα ευρύ και νέο όραμα της οργάνωσης της εργασίας όσον αφορά την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος που περιλαμβάνει:

- ✓ Καινοτόμος τεχνολογία σε συνδυασμό με μια νέα διαδικασία σχεδίου για την ηγεσία ενός αεροπορικού έργου.
- ✓ Βελτίωση της αναγνώρισης ομάδων εργασίας σε ένα έργο αεροδρομίου.
- ✓ Μια νέα λύση σε ουσιαστικά προβλήματα για την επίτευξη επιτυχίας στη δομή του αεροδρομίου.
- ✓ Βελτίωση της εκπαίδευσης της ομάδας έργων αεροπορίας.

Η ιδέα αυτή παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για την καθοδήγηση ενός έργου αεροπορίας, ώστε να μειωθεί το επίπεδο κόστους και να βελτιωθεί το επίπεδο ασφάλειας των αεροπόρων και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.

3.3 Παραδείγματα αεροδρομίων ως προς τις εφαρμογές νέων τεχνολογιών και μεθόδων κατασκευής και λειτουργίας διεθνώς

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, θα λέγαμε πως νέα παγκόσμια έργα κατασκευής αεροδρομίων, *ξεπηδούν* όσο ποτέ άλλοτε. Σύμφωνα με μια πρόσφατη έκθεση από το Business Wire, η αξία των έργων στο στάδιο εκτέλεσης ανέρχεται συνολικά στα 377,6 δισ. δολάρια, ενώ αυτά που βρίσκονται στα στάδια προγραμματισμού ανέρχονται σε 215,8 δισ. Δολάρια (International Air Transport Association (IATA), 2017). Με τους παγκόσμιους αριθμούς επιβατών να αναμένεται να φτάσουν τα 8,2 δισεκατομμύρια ετησίως έως το 2037, τα αεροδρόμια δεν έχουν την πολυτέλεια να υποχωρήσουν υπό την πίεση μιας τέτοιας υπερβολικής διόγκωσης στο έθιμο. Η κατασκευή ενός αεροδρομίου - όπως κάθε αρχιτεκτονική επιχείρηση - είναι μια πολύπλοκη επιχείρηση, στην οποία συμμετέχουν πλήθος ενδιαφερομένων, από σχεδιαστές, εργολάβους έως διευθυντές και στελέχη κατασκευών (International Air Transport Association (IATA), 2017).

Όλο και περισσότερο, οι φορείς εκμετάλλευσης των αεροδρομίων στρέφονται στην τεχνολογία μεγάλης κλίμακας για να διασφαλίσουν ότι τα έργα εκτελούνται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά και το πιο σημαντικό από όλα ότι έχουν ολοκληρωθεί εγκαίρως. Παρακάτω είναι μερικοί κόμβοι που θέλουν να αξιοποιήσουν την τεχνολογία αιχμής προς όφελός τους.

3.3.1 Το αεροδρόμιο του Heathrow στο Λονδίνο και η κατασκευή ενός νέου πιλοτικού συστήματος παρακολούθησης εξαρτημάτων για τη λειτουργία του



Σύμφωνα με το τελευταίο σχέδιο λειτουργίας στο αεροδρόμιο του Heathrow το πιο πολυσύχναστο αεροδρόμιο της Ευρώπης στοχεύει να έχει έναν τρίτο διάδρομο σε λειτουργία μέχρι το 2026. Ο αερομεταφορέας ελπίζει ότι η εισαγωγή ενός νέου πιλοτικού συστήματος παρακολούθησης εξαρτημάτων θα τον βοηθήσει να επιτύχει αυτόν τον στόχο εγκαίρως. Χρησιμοποιώντας τεχνολογία που αναπτύχθηκε από την Siemens Digital Logistics, το σύστημα θα παρακολουθεί εκατομμύρια ζωτικά κατασκευαστικά στοιχεία που προορίζονται για τον τόπο του νέου διαδρόμου σε πραγματικό χρόνο (International Air Transport Association (IATA), 2017).

Το Heathrow βρίσκεται αυτή τη στιγμή στη διαδικασία λειτουργίας τεσσάρων *logistics hub*, τα οποία συνδέονται με ένα κεντρικό σύστημα. Λειτουργώντας ως ένα είδος «νευρικού κέντρου», το σύστημα θα συνδέσει κτίρια εκτός κατασκευής, επιτρέποντας την απρόσκοπτη παράδοση εξαρτημάτων στον κόμβο έξω από το Δυτικό Λονδίνο. Θα χρησιμεύσει επίσης για την τακτική ενημέρωση των εργοταξίων.

3.3.2 Το αεροδρόμιο Γλασκώβης και το στοίχημα σε ένα νέο ψηφιακό σύνολο εργαλείων και τεχνολογιών

Το αεροδρόμιο της Γλασκώβης μπορεί να είναι πολύ μικρότερο σε σύγκριση του μεγέθους του αεροδρομίου του Χίθροου, αλλά παραμένει ένα σημαντικό γρανάζι στην οικονομία της Σκωτίας. Υποδεχόμενο 9,7 εκατομμύρια επιβάτες πέρυσι, απέφερε πάνω από 1,44 δισεκατομμύρια £, ενώ υποστήριξε περισσότερες από 30.000 θέσεις εργασίας βόρεια των συνόρων (International Air Transport Association (IATA), 2017). Στο πλαίσιο του σχεδίου λειτουργίας του έτους 2040, το οποίο στοχεύει να αυξήσει το μερίδιο επιβατών στα 17 εκατομμύρια μέσα στις επόμενες δύο δεκαετίες, η Γλασκώβη - η οποία παρουσίασε πρόσφατα την πρώτη της υπηρεσία A380 από και προς το Ντουμπάι - ποντάρει στην ψηφιακή τεχνολογία ως μέρος των μελλοντικών της επεκτατικών προσπαθειών.

Σύμφωνα με τον επικεφαλής της πρωτεύουσας της Γλασκώβης, η ψηφιοποίηση, συμπεριλαμβανομένης της αυτοματοποιημένης επικοινωνίας και των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την απόδοση του έργου, θα παρέχει σαφέστερες, πιο ενημερωμένες πληροφορίες για τους μηχανικούς επί τόπου.

3.3.3 Το διεθνές αεροδρόμιο του Λος Άντζελες και η ανάπτυξη της τεχνολογίας GIS



Ως το δεύτερο μεγαλύτερο αεροδρόμιο στις ΗΠΑ πίσω από την Ατλάντα, το Διεθνές Αεροδρόμιο του Λος Άντζελες (LAX) είδε ένα εκπληκτικό αριθμό με 87,5 εκατομμύρια επιβάτες να περνούν τις πόρτες του το 2019. Δεν είναι περίεργο λοιπόν ότι βρίσκεται σε διαδικασία επέκτασης, με δύο νέους τερματικούς σταθμούς και σε αρκετούς οι πύλες αναμένεται να είναι έτοιμες εγκαίρως όταν η πόλη της Δυτικής Ακτής φιλοξενεί τους Ολυμπιακούς Αγώνες το 2028. Η αλλαγή του νέου αεροδρομίου, κοστίζει περίπου 14 δισεκατομμύρια δολάρια.

Τα Παγκόσμια Αεροδρόμια του Λος Άντζελες (LAWA), το διοικητικό όργανο του αεροδρομίου, έχει αναπτύξει ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) προκειμένου να βελτιώσει καλύτερα τη ροή εργασιών πολλαπλών επιτόπιων έργων, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις διαταραχές στις καθημερινές λειτουργίες. Η πλατφόρμα GIS περιλαμβάνει επίσης δυνατότητες τρισδιάστατης μοντελοποίησης, με στόχο τη βοήθεια μηχανικών στη βελτιστοποίηση του χώρου και των επιφανειών. Το LAWA αναφέρεται ότι χρησιμοποίησε τρισδιάστατες προσομοιώσεις στο σχεδιασμό

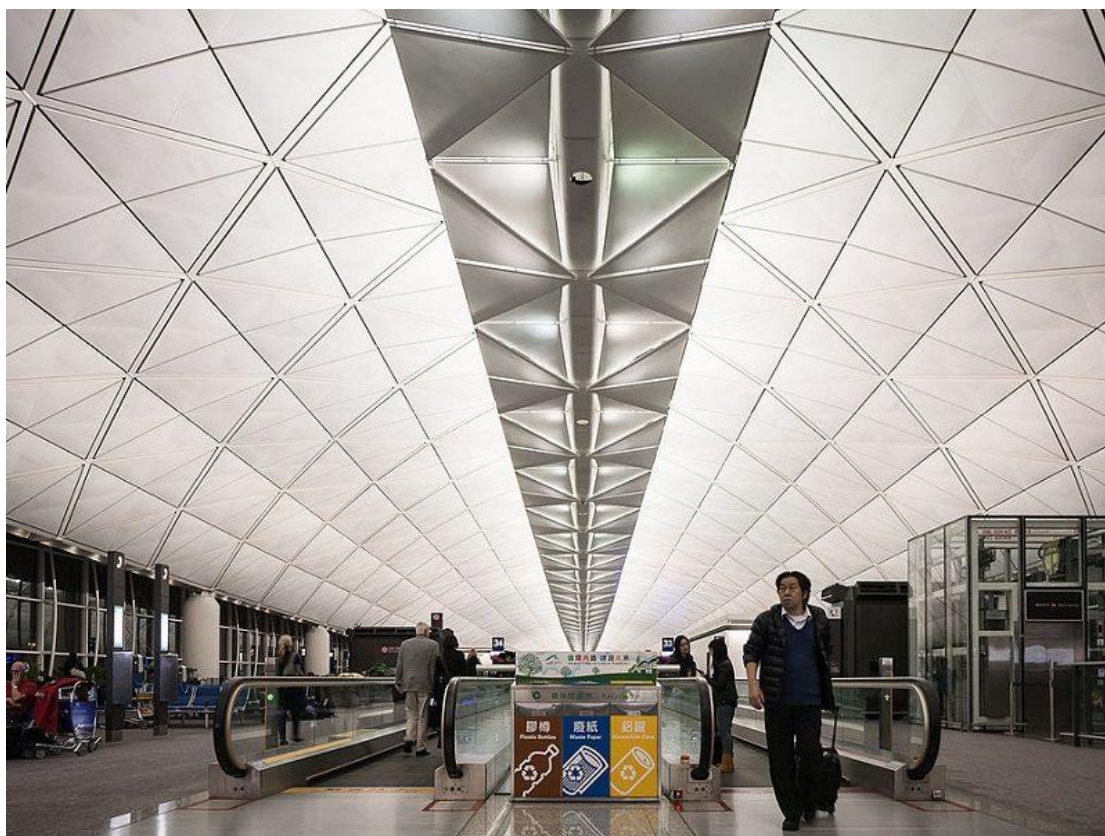
των πάντων, από διαδρόμους έως χώρους παραλαβής αποσκευών και μετρητές εισιτηρίων.

3.3.4 Το αεροδρόμιο Κοπεγχάγης και η χρήση της εικονικής πραγματικότητας σε συνδυασμό με τη μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίου (BIM)

Χρησιμεύοντας ως ο πιο πολυσύχναστος κόμβος στις σκανδιναβικές χώρες, το αεροδρόμιο της Κοπεγχάγης σχεδιάζει να μπορεί να μεταφέρει έως και 40 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως στο εγγύς μέλλον. Αυτό κατέστησε αναγκαία την κατασκευή μιας νέας προβλήτας, προβλήτα E, που καλύπτει 36.000 τ.μ., σηματοδοτώντας ένα από τα μεγαλύτερα κτιριακά έργα στο αεροδρόμιο εδώ και αρκετά χρόνια.

Μερικώς ξεκίνησε να λειτουργεί τον Ιούνιο 2021, όπου η Κοπεγχάγη ξεκίνησε την κατασκευή χρησιμοποιώντας τη μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίου (BIM), η οποία πιστεύει ότι θα ωφελήσει τις ροές εργασιών κατά τη διάρκεια του έργου. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία προτύπων διαδικασιών BIM, η οποία περιλαμβάνει μια προδιαγραφή ενός επιπέδου λεπτομερειών που απαιτείται για νέα κατασκευαστικά έργα. Στο πλαίσιο της φάσης σχεδιασμού, το αεροδρόμιο έχει επίσης χρησιμοποιήσει την εικονική πραγματικότητα και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση βάσει σχεδίων, ερευνών και επιτόπιων επιθεωρήσεων.

3.3.5 Διεθνές αεροδρόμιο του Χονγκ Κονγκ και η χρήση της ψηφιακής μοντελοποίησης

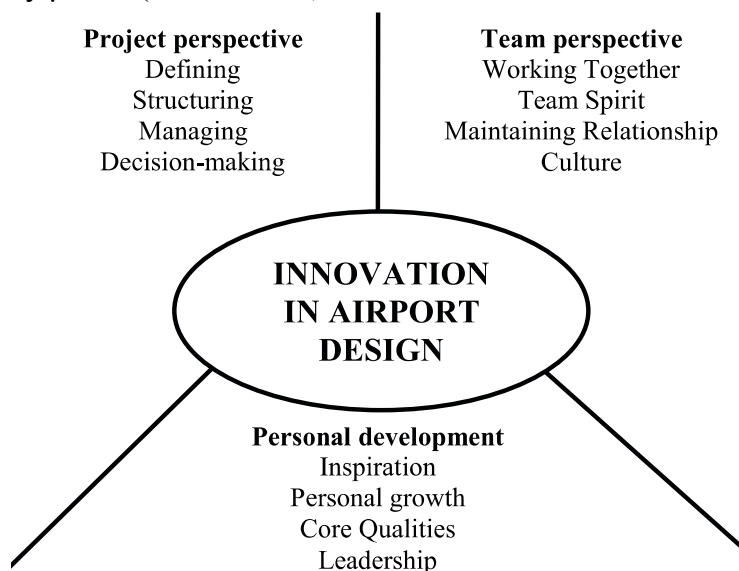


Τον Ιανουάριο, η TDS, ένα γραφείο και σύμβουλος κατασκευής χάλυβα και αρχιτεκτονικής μεταλλουργίας με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο, ανάθεσε ένα συμβόλαιο 5 εκατομμυρίων δολαρίων για να βοηθήσει στην κατασκευή μιας νέας δομής οροφής 9.000 τόνων στον τερματικό σταθμό 2 του Χονγκ Κονγκ. Σε συνεργασία με τη Διεθνή Ένωση Αεροπορίας του Χονγκ Κονγκ, η οποία υπάγεται στη διαχείριση της Αρχής Αεροδρομίου του Χονγκ Κονγκ, η TDS πρόκειται να παρέχει ψηφιακή μοντελοποίηση της οροφής.

Σύμφωνα με τον διευθύνων σύμβουλος της TDS, το πιο συναρπαστικό και ριζικό στοιχείο της ιστορίας είναι ότι αυτό το ψηφιακό μοντέλο λαμβάνει χώρα στην αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού, παρέχοντας μια ανοιχτή και συνεργατική ψηφιακή ροή εργασίας για όλους τους εμπλεκόμενους κάθε στάδιο στη συνέχεια.

3.4 Οι μελλοντικές προοπτικές στην κατασκευή αεροδρομίων

Η όποια προοπτική του σχεδιασμού του αεροδρομίου παρουσιάζει έναν νέο τρόπο προσέγγισης της κουλτούρας, της δομής και των διαδικασιών επικοινωνίας των ομαδικών εργαζομένων (Εικόνα Νο.8).



Εικόνα Νο.6 – Η νέα προοπτική στον σχεδιασμό αεροδρομίων

Η μεθοδολογία ως προς την νέα προοπτική στον σχεδιασμό αεροδρομίων πρέπει να βασίζεται στις ακόλουθες πτυχές:

- ✓ Αντιμετώπιση του προβλήματος ή της πρόκλησης και της αποστολής του έργου του αεροδρομίου.
- ✓ Λογική διάρθρωση του έργου του αεροδρομίου σχετικά με τα προσωρινά αποτελέσματα και συγκεκριμένες δραστηριότητες.
- ✓ Συσχετισμός της διαδικασίας λήψης αποφάσεων κατά την ανάπτυξη του έργου του αεροδρομίου με την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.
- ✓ Σχεδιασμός και έλεγχος του χρονοδιαγράμματος, των χρημάτων, της ποιότητας, της πληροφόρησης και της επικοινωνίας στην οργάνωση του έργου του αεροδρομίου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο καλός σχεδιασμός του

αεροδρομίου θα μπορούσε να δώσει έναν προοπτικό συστηματικό τρόπο ανάπτυξης της διαδικασίας.

Η καινοτομία στον σχεδιασμό των αεροδρομίων θα μπορούσε να δημιουργηθεί σε τουλάχιστον δύο ή περισσότερους πυλώνες. Οι δύο πυλώνες παρέχουν υποστήριξη στην ηγεσία ενός έργου αεροδρομίου με βάση την εύρεση και βέλτιστη χρήση της δύναμης της φαντασίας, της δύναμης της συνεργασίας, της δύναμης για τη διαμόρφωση της δομής αλλά και την συνέργεια της προβολής της ηγεσίας ως προσωπικής προοπτικής ανάπτυξης για την επίτευξη ενός καλού αποτελέσματος της εργασίας της ομάδας έργου και της επιτυχίας από την οπτική γωνία των αεροπορικών προϊόντων.

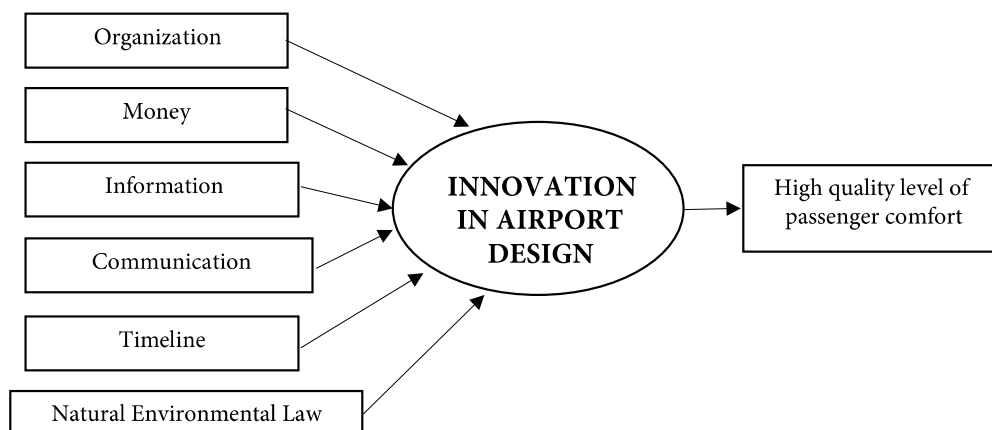
Επιπλέον, η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων θα πρέπει να συσχετίζεται με τρεις προοπτικές και τρεις εξουσίες για την επιχείρηση.

- ✓ Η προοπτική της προσωπικής ανάπτυξης υποστηρίζεται από τη δύναμη της φαντασίας.
- ✓ Η προοπτική της ομάδας έργου και η δύναμη της Συνεργασίας, με στόχο τη συνέργεια της ομάδας, την αμοιβαία εμπιστοσύνη και την καλή διαχείριση των σχέσεων εντός και γύρω από το αεροπορικό έργο.
- ✓ Η προοπτική του έργου διασφαλίζει τη διαχείριση του χρόνου, του χρήματος, της ποιότητας και άλλων παραγόντων ελέγχου. Τα αεροπορικά έργα είναι πολύ επιτυχημένα όταν ο επενδυτής, η ομάδα έργου και οι διαχειριστές γραμμών επιλέγουν να αντιμετωπίσουν την πρόκληση μαζί. παρέχει συμμετοχή, θετική ενέργεια, ικανοποίηση και καλό επιθυμητό αποτέλεσμα.

Με τα ακόλουθα στοιχεία παρέχονται ως παράδειγμα βασισμένα σε ένα καλό πρόγραμμα αεροπορίας που στοχεύει στην επιτυχή αναγνώριση ταυτότητας επιβατών:

- ✓ Η αποστολή του έργου του αεροδρομίου
- ✓ Η πρόκληση και το πρόβλημα του έργου του αεροδρομίου
- ✓ Το επιθυμητό αποτέλεσμα έργου αεροδρομίου
- ✓ Η οριοθέτηση του αποτελέσματος του αεροπορικού έργου
- ✓ Τα αποτελέσματα του έργου του αεροδρομίου
- ✓ Η ώθηση του έργου του αεροδρομίου
- ✓ Οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες θεσπίζεται το έργο του αεροδρομίου. Όταν ο ορισμός του έργου του αεροδρομίου είναι σαφής, η ομάδα του έργου είναι σε θέση να πραγματοποιήσει δραστηριότητες στη δομή του έργου.

Επιπλέον, αντί για μια αυστηρά λογική γραμμική προσέγγιση, η ομάδα του έργου θα πρέπει να χρησιμοποιήσει μια δημιουργική διαδικασία δομής. Το επιθυμητό αποτέλεσμα οποιουδήποτε αεροπορικού έργου είναι ένας παράγοντας ελέγχου κατά τη δημιουργία του έργου: χρονοδιάγραμμα, χρήματα, ποιότητα, οργάνωση, επικοινωνία και περιβαλλοντική νομοθεσία (Εικόνα Νο.9).



Εικόνα Νο.7 – Η μετασχηματιστική διαδικασία στην διαχείριση σχεδίων και έργων στα αεροδρόμια

Αυτοί οι παράγοντες ελέγχου επηρεάζουν το αποτέλεσμα του έργου ως ποιοτικό προϊόν. Συνδυαστικά, οι παράγοντες ελέγχου επιτρέπουν:

- ✓ Για μια αποτελεσματική ομάδα έργου (οργανισμό) εντός συγκεκριμένης περιόδου (χρονοδιάγραμμα)
- ✓ Χρήση προϋπολογισμού (χρήματα)
- ✓ Χρησιμοποίηση σε δεδομένα (πληροφορίες), κουλτούρα, επιβάτες δικαιώματα
- ✓ Παραμονή σε στενή επαφή (επικοινωνία) με το φυσικό περιβάλλον

Με άλλα λόγια, η νέα προοπτική στον τομέα της αεροπορίας, προτείνει μια διαδικασία για την απόκτηση υψηλού επιπέδου ποιότητας αεροπορικού προϊόντος. Χωρίς καινοτόμες μεθόδους συλλογής δεδομένων, είναι αδύνατο να συμπεριληφθεί οποιαδήποτε καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων που θα ταιριάζει με μια νέα ασφαλή και προοδευτική αγορά αεροπορίας. Οι νέες τεχνολογίες μας δίνουν μια μεγάλη ποικιλία επιλογών μονάδων συλλογής δεδομένων, όπως:

α) Αισθητήρες συστήματος τοποθέτησης, όπως αισθητήρες GPS και σύστημα απολέπισης.

β) Πληροφορίες βίντεο. Χρήση ειδικών ευφυών προγραμμάτων που μεταφέρουν εικόνες βίντεο σε αρχείο καταγραφής συμβάντων.

γ) Ερμηνεία πληροφοριών από διάφορα στοιχεία του συστήματος που χρησιμοποιεί διάφορους αισθητήρες εγκατεστημένους στα στοιχεία του συστήματος.

δ) Το πρόσωπο που εμπλέκεται στην παροχή πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση κάθε στοιχείου συστήματος μέσω συσκευών επικοινωνίας.

Όλες αυτές οι 5 μέθοδοι μπορούν να παρέχουν νέες ροές δεδομένων πληροφοριών που απαιτούνται για την προσομοίωση και τη μοντελοποίηση της όλης διαδικασίας, συμπεριλαμβανομένης της κίνησης του ίδιου του αέρα. Είναι αξιοσημείωτο ότι αν και για τη μελέτη μας οι συντεταγμένες (x, y, z) κάθε ξεχωριστού στοιχείου συστήματος είναι σημαντικές, η κατάσταση αυτών των στοιχείων έχει επίσης πολύ υψηλό βαθμό σπουδαιότητας. Το σύστημα που περιγράφεται παραπάνω μπορεί να είναι χρήσιμο στην αεροπορία, επειδή μπορεί:

α) Βελτίωση της ασφαλούς κίνησης των οχημάτων στο αεροδρόμιο, δεδομένου ότι η όλη διαδικασία θα αυτοματοποιηθεί και υπό έλεγχο σε πραγματικό χρόνο.

β) Αύξηση της παραγωγικότητας του συστήματος (δείκτης logistics), ως αποτέλεσμα της ελαχιστοποίησης του χρόνου που χάνεται κατά τη συντήρηση του αεροσκάφους. Επίσης, αυτό το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με το σύστημα ATC, και σε περίπτωση οποιουδήποτε de θέσει ή αλλάξει το πρόγραμμα του αεροσκάφους, ολόκληρο το σύστημα στο έδαφος θα μπορεί να αντιδρά εγκαίρως και να επαναρυθμίζεται για να ταιριάζει με το νέο χρόνο υποδοχής.

γ) Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αφού όλα τα οχήματα μπορούν να ελέγχονται από ένα κέντρο ελέγχου και το κέντρο ελέγχου μπορεί να επιλέξει τον συντομότερο δρόμο και την αφετηρία από την οποία θα αρχίσουν να κινούνται τα οχήματα, ανάλογα με τον αέρα.

4 Κεφάλαιο Τέταρτο - Επίλογος – Συμπεράσματα

Στον κλάδο των αεροπορικών μεταφορών, ιδίως στα μικρά περιθώρια κέρδους των αεροπορικών εταιρειών και τη κακή κεφαλαιοποίηση της αγοράς έναντι των τεχνολογικών εταιρειών και άλλων βιομηχανιών από την αύξηση των προσδοκιών των πελατών, είναι σαφείς δείκτες ότι απαιτούνται ουσιαστικές αλλαγές για να καταστούν κατάλληλοι για τον εικοστό πρώτο αιώνα. Οι αεροπορικές εταιρείες και τα αεροδρόμια έχουν ξεκινήσει αργά τη διαδικασία αλλαγής του σχεδιασμού των αεροδρομίων. Το αεροδρόμιο επιπλέον αποτελεί εθνικό σύνορο για επιβάτες διεθνών πτήσεων επομένως θεωρείτε αρκετά σημαντικό να υπάρχουν οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις ελέγχου, στο μεταξύ πολλές δραστηριότητες ψηφιακού μετασχηματισμού συνεχίζονται.

Κύριος στόχος στον σχεδιασμό και στην κατασκευή θα πρέπει να είναι η βελτίωση των δραστηριοτήτων, της εμπειρίας των πελατών, η αποδοτικότητα κόστους, η καλύτερη ανάλυση, βελτιστοποίηση εσόδων, καθώς και η λειτουργική αριστεία. Εσωτερικά και εξωτερικά εργαστήρια καινοτομίας έχουν δημιουργηθεί για να υποστηρίξουν τη διαδικασία, με περισσότερη ή λιγότερη επιτυχία μέχρι στιγμής. Οι πιο προηγμένες εταιρείες έχουν προμηθευτεί ή δημιουργήσει τουλάχιστον μερικά βασικά μέρη των δραστηριοτήτων ανάπτυξης λογισμικού.

Ωστόσο, οι πιο δραστικές αλλαγές εξακολουθούν να αποτελούν εξαίρεση, οι περισσότερες από τις δραστηριότητες επικεντρώνονται στη δημιουργία εναλλακτικών λύσεων που βασίζονται σε διαδικασίες και συστήματα παλαιών δεκαετιών. Πολλοί *παίκτες* του κλάδου είτε δυσκολεύονται να πλοηγηθούν σε αυτά τα σημεία, είτε προτιμούν να παραμείνουν εκεί που γνωρίζουν καλά και να αποφύγουν τυχόν σημάδια που δείχνουν νέους τρόπους, επειδή δεν μπορούν να φανταστούν ότι θα δουλέψουν.

Είναι ζωτικής σημασίας για όλα τα μέλη του διοικητικού συμβουλίου και το σύνολο των ηγετικών ομάδων να έχουν βαθιά κατανόηση της ψηφιακής ατζέντας, να θέτουν τις σωστές ερωτήσεις για τη καθοδήγηση του οράματος και της στρατηγικής. Ένα μεγάλο όραμα για το ποιος είναι ο προορισμός, η συμπεριφορά ως προαπαιτούμενα για την επωνυμία και την πώληση του ταξιδιού για να δουλέψει όλη η ομάδα για να περάσει τα θυελλώδη νερά και να δοκιμάσει νέους τρόπους για να χτίσει τον νέο

κόσμο, ακόμη και η έναρξη της κατασκευής για την εμφάνιση γρήγορων αποτελεσμάτων είναι οι κύριοι τομείς που πρέπει ακόμη να εκπληρωθούν πλήρως σε πολλές περιπτώσεις.

Υπάρχουν πολλές καινοτόμες νεοσύστατες επιχειρήσεις στην αγορά, πολλές ευκαιρίες για να ξεκινήσει κάποια εταιρεία δραστικές αλλαγές. Διαταραχές και ταχύτερη αλλαγή θα σημαίνει ότι η αλλαγή θα γίνει ακόμη πιο δυνατή. Οι πολιτικές αλλαγές και κανονισμοί, ιδίως με την αυξανόμενη ατζέντα προστατευτισμού ορισμένων χωρών, αποτελούν κίνδυνο για το άμεσο μέλλον όσον αφορά την αναμενόμενη ανάπτυξη.

Οι πιέσεις κόστους κυρίως λόγω του αυξημένου κόστους εργασίας και καυσίμων, αλλά και στον τομέα του κόστους των αεροσκαφών είναι άλλοι κύριοι κίνδυνοι που πρέπει να γνωρίζουμε. Το τελευταίο θα μπορούσε να γίνει μεγαλύτερο με δεδομένες τις συμφωνίες της Airbus με τη Bombardier και της Boeing με την Embraer, οι οποίες θα αποκαταστήσουν το διπλοπώλιο που είχαν οι δύο γιγαντιαίοι κατασκευαστές εδώ και πολλά χρόνια. Τόσο η Bombardier με τη σειρά C όσο και η Embraer με την σειρά E, είχαν αρχίσει να ανταγωνίζονται απευθείας με τις μικρότερες εκδόσεις των αεροσκαφών Boeing και Airbus.

Η τεχνολογία θα παραμείνει βασικός παράγοντας αλλαγής αλλά και βασικός ενεργοποιητής. Εάν το μεγάλο όραμα και η συμπεριφορά αρχίσουν να ζωντανεύουν ακολουθούνται από το branding και τις πωλήσεις, καθώς και τη δημιουργία δραστηριοτήτων που βασίζονται στον προσανατολισμό στη λύση, τις ευέλικτες αρχές με τη θέληση να προχωρήσουμε και να μην παραμείνουμε στο παρελθόν. Τότε η ψηφιοποίηση και οι τρέχουσες τεχνολογικές ευκαιρίες μπορούν να ανοίξουν πόρτες για να κάνουμε πράγματα που θεωρούσαμε αδύνατα, δημιουργώντας απρόσκοπτες εμπειρίες πελατών και προσωπικού, δημιουργώντας ατελείωτες νέες ευκαιρίες εσόδων και εξοικονόμησης κόστους ταυτόχρονα.

Η ψηφιοποίηση προσφέρει ευκαιρίες που δεν είχαμε ξαναδεί για να διαμορφώσουμε το μέλλον. Αλλά οι ηγέτες του κλάδου πρέπει να εκμεταλλευτούν αυτήν την ευκαιρία και να εισάγουν τις ριζικές αλλαγές που απαιτούνται για τη δημιουργία της δυναμικής αξίας. Μόνο οι παίκτες που το κάνουν αυτό καλύτερα θα έχουν την ευκαιρία να

επιβιώσουν και να ανταγωνιστούν επιτυχώς υπό το φως αυτών των δυναμικών τεχνολογικών αλλαγών και των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων των πελατών. Ο ανταγωνισμός είναι πιθανό να αυξήσει τους ισχυρούς παίκτες που προέρχονται από αρχικά άλλα οικοσυστήματα όπως η Google, η Amazon, η Alibaba ή άλλα που δεν είχαμε δει πριν, τα οποία θα συνεχίσουν να προχωρούν στον τομέα της αεροπορίας και των ταξιδιών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, η καινοτομία στο σχεδιασμό των αεροδρομίων σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος, είναι η διαδικασία μετασχηματισμού του σχεδίου που σχεδιάζεται. Στην πράξη, αυτός ο τρόπος δεν είναι πολύ απλός και κάθε ομάδα έργου πρέπει να καταλάβει τι πρέπει να γίνει σε ένα τέτοιο έργο αεροδρομίου. Οι διαχειριστές πρέπει να βρουν μια εμπνευσμένη ιδέα για τη δημιουργία του έργου του αεροδρομίου. Είναι μια νέα αντίληψη του σχεδιασμού των αεροδρομίων που έρχεται σε αντίθεση με τις παραδοσιακές ιδέες για την οργάνωση, την επικοινωνία και το πνεύμα της σκέψης σε συνεργασία με άτομα που εργάζονται για την προστασία του περιβάλλοντος.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι η νέα ιδέα για το σχεδιασμό του αεροδρομίου σε όλα τα επιλεγμένα τμήματα της αεροπορίας, βασίζεται σε ένα δίκτυο εξαιρετικά αλληλεξαρτώμενων εξωτερικών και εσωτερικών σχέσεων πελατών-προμηθευτών. Πολλοί πάροχοι υπηρεσιών δεν εξυπηρετούν άμεσα τους τελικούς πελάτες τους αλλά εξυπηρετούν έναν άλλο πάροχο υπηρεσιών που το εξυπηρετεί.

Βιβλιογραφία

Abeyratne, R. 2014. Low and regulation of aerodrome. Springer International Publishing

Augustyn, S. 2010. The new approach to aviation project management. AON, Warsaw.

Augustyn, S. 2011. Human factors in aviation safety investigations. Acta Avionica, Kosice.

Azorín Gonzalez, I.; Burgaz Aranguren, B.; de Diego Parra, S.; Rodriguez Martínez, J.; Galán Olea, M.; Nakhaee-Zadeh Gutierrez, A. 2013. Optimization of future ground operations for aircra . Universidad Rey Juan Carlos.

Bang, S.S., Galinat, J.K., Ramakrishnan, V. 2001. Calcite precipitation induced by polyurethane-immobilized *Bacillus pasteurii*. *Enzyme and Microbial Technology* 28: 404–409.

Bonnefoy, P. A.; de Neufville, R.; LM ASCE; Hansman, R. J. 2010. Evolution and development of multi-airport systems. A worldwide perspective, *Journal of Transportation Engineering* 136(11): 1021–1029

Castanier, S., Le Metayer-Levrel, G. & Perthuisot J.P. 1999. Ca-carbonates precipitation and limestone genesis – the microbiogeologist point of view. *Sedimentary Geology* 126: 9–23.

Clegg, J.S. 2001. Cryptobiosis – a peculiar state of biological organization. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* 128(8): 613–624.

Casaca, A.; Pestana, G.; Rebelo, I.; Silva, T. 2015. A platform to increase the safety of ground movements in the airside area of airports [online], [cited August 2015]. Available from Internet: https://www.ana.pt/SiteCollectionDocuments/Sobre%20a%20ANA/ArtigosPublicados/20090000_APlat-formIncreaseSafetyGround.pdf

De Muynck, W., De Belie N. & Verstraete W. 2007. Improvement of concrete

durability with the aid of bacteria. Proc of the 1st Int conference on self-healing materials 18–20 April 2007, Noordwijk aan Zee, The Netherlands; p: 1–11.

de Neufville, R. 2003. Airports of the future: the development of airport systems, in International Symposium and Exposition in Celebration of 100 years of powered flight 14–17 July 2003, Dayton, Ohio.

Douglas, S. & Beveridge T.J. 1998. Mineral formation by bacteria in natural microbial communities. *FEMS Microbiology Ecology* 26(2): 79–88.

Edvardsen C. 1999. Water permeability and autogenous healing of cracks in concrete. *ACI Materials Journal* 96(4): 448–454.

Eurocontrol. 2015. Advanced-Surface Movement Guidance and Control System (ASMGCS) [online], [cited August 2015]. Available from Internet: <http://www.eurocontrol.int/articles/advanced-surface-movement-guidance-and-control-systems-smgcs>

Fajardo-Cavazos, P. & Nicholson, W. 2006. Bacillus endospores isolated from granite: Close molecular relationships to globally distributed Bacillus spp. from endolithic and extreme environments. *Appl. Environm. Microbiol.* 72(4):2856–2863.

Fife, W. 2008. Current and Emerging Issues in Airport Planning, Design, and Construction. In *Airport Facilities: Innovations for the Next Century* (M. T. McNerney, ed.), 25th International Air Transportation Conference, ASCE, Reston, Va., June 2008, pp. 1–5.

Gerilla G.P., Teknomo K. & Hokao K. 2007. An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment* 42: 2778–2784.

International Air Transport Association (IATA). 2017. Vision 2050 report. Singapore, 12 February 2011.

Jonkers H.M. 2007. Self-healing concrete: a biological approach. In S. van der Zwaag (ed.) *Self-healing materials – An alternative approach to 20 centuries of materials science*. Springer, The Netherlands; p: 195–204.

Jonkers H.M. & Schlangen E. 2007. Self-healing of cracked concrete: A bacterial approach. In Carpenteri et al (eds): Proc of FRACOS6: Fracture mechanics of concrete and concrete structures, Catania, Italy, 17–22 June 2007; p: 1821–1826.

Li V.C. & Yang E. 2007. Self-healing in concrete materials. In S. van der Zwaag (ed.) Self-healing materials – An alternative approach to 20 centuries of materials science. Springer, The Netherlands; pp: 161–194.

Neville A.M. 2002. Autogenous healing – A concrete miracle? *Concrete Int* 24(11):76–82.

Nielsen, P., Rainey, F.A., Outtrup, H. Priest F.G. & Fritze D. 1994. Comparative 16s Rdna sequence-analysis of some alkaliphilic Bacilli and the establishment of a 6th ribosomal-RNA group within the genus *Bacillus*. *FEMS Microbiol Lett* 117(1): 61–65.

Ofman, D. 2001. *Inspiration and quality in organization*. 11th ed. Utrecht: Service publications.

Peris Mora E. 2007. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. *Building and Environment* 42:1329–1334.

Price, R.; Wrigley, C.; Dreiling, A.; Bucolo, S. 2013. Design led innovation: shi ing from smart follower to digital strategy leader in the Australian airport sector, in *Proceedings IEEE Tsinghua International Design Management Symposium: Design-Driven Business Innovation*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1–2 December 2013, Shenzhen, China, 251–258.

Ramachandran, S.K., Ramakrishnan, V., Bang, S.S. 2001. Remediation of concrete using micro-organisms. *ACI Materials Journal* 98(1):3–9.

Ramakrishnan, V. 2007. Performance characteristics of bacterial concrete – A smart biomaterial. *First Int conference on recent advances in concrete technology* 19–21 September 2007, Washington DC, USA; pp:67–78.

Reinhardt H.W. & Jooss M. 2003. Permeability and self-healing of cracked concrete as a function of temperature and crack width. *Cement and Concrete Res* 33:981–985.

Rodriguez-Navarro, C., Rodriguez-Gallego, M., Ben Chekroun, K. & Gonzalez-Munoz, M.T. 2003. Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus*-induced carbonate biomineralization. *Appl. Environm. Microbiol.* 69(4): 2182–2193.

Silling U., 2019. Aviation of the Future: What Needs to Change to Get Aviation Fit for the Twenty-First Century, *Aviation and Its Management - Global Challenges and Opportunities*, Arif Sikander, IntechOpen

Stocks-Fischer, S., Galinat J. K. & Bang S.S. 1999. Micro-biological precipitation of CaCO₃. *Soil Biology and Biochemistry* 31:1563–1571.

Schulzrinne, H.; Casner, S.; Frederick, R.; Jacobson, V. 2003. RTP: a transport protocol for real-time applications. Network Working Group, July.

Transportation Research Board. 2008. Innovations for Airport Terminal Facilities. Airport Cooperative Research Program. Report 10. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Τριανταφύλλου Α., «ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ», Πάτρα 2004, 2η έκδοση

Δρίτσος Σ., «ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», Πάτρα 2001, 2η έκδοση

Τριανταφύλλου Θ., “Νέα Τεχνική Ενίσχυσης Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά: διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης ”, Πρακτικά 13ου Ελληνικού συνεδρίου σκυροδέματος, Τομ.1, 1999.

Τσώνος Α., Γεωργιάδου Σ. “Προσεισμική και Μετασεισμική Ενίσχυση Δομικών Υποσυνόλων Οπλισμένου Σκυροδέματος με χρήση Σύνθετων Υλικών ”, Πρακτικά 13ου Ελληνικού συνεδρίου σκυροδέματος, Τομ.1, 1999.

Τσώνος Α.Γ, Στυλιανίδης Κ.Α “Σύγκριση Αποδοτικότητας Μετασεισμικής Ενίσχυσης Κόμβου με FRP με την Αποδοτικότητα Ενίσχυσης με Μανδύα από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Πρακτικά Α’ Ελληνικού Συνεδρίου Σύνθετων Υλικών Σκυροδέματος, Ξάνθη 2000.