

Διδάγματα της χρήσης χαμηλού κόστους και διαστάσεων μη επανδρωμένων συστημάτων (ΣμηΕΑ) υπό το πρίσμα της ανθεκτικότητας στο σύγχρονο πεδίο επιχειρήσεων



Ελευθέριος Καρατζάς

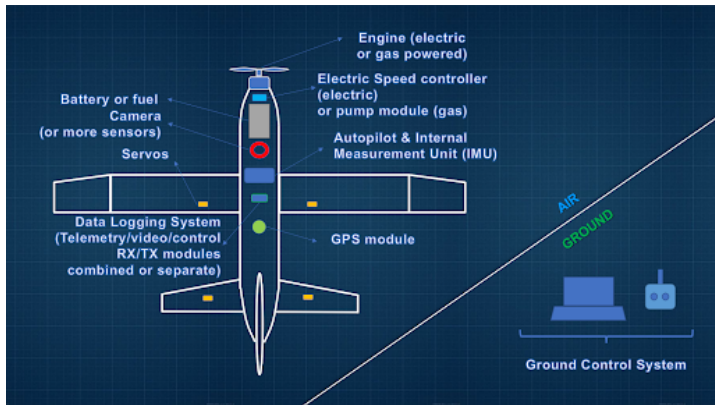
Αξιωματικός Ε.Σ. (ΟΦ-1), Ερευνητής του Διακλαδικού Κέντρου Έρευνας/Τεχνολογικής Ανάπτυξης και Καινοτομίας (ΚΕΤΑΚ)

[Eleftherios Karatzas | LinkedIn](#)

Περίληψη

Το άρθρο πραγματεύεται τον τρόπο που τα ΣμηΕΑ αυτής της κατηγορίας έχουν κυριαρχήσει στο σύγχρονο πολυχωρικό πεδίο επιχειρήσεων, καθώς και τους λόγους που οδήγησαν στην εκτεταμένη χρήση τους. Ο αναγνώστης διαβάζοντας το παρακάτω άρθρο θα είναι σε θέση, εάν το επιθυμεί, να συνεχίσει την έρευνά του σε άλλα πεδία ενδιαφέροντος (policy, technical).

Σε μία περίοδο τεχνολογικής άνθισης των ρομποτικών εφαρμογών και των μη επανδρωμένων συστημάτων (Unmanned Systems), αυτά δεν γίνεται να μην επηρεάσουν τον τρόπο διεξαγωγής και σχεδίασης επιχειρήσεων στο νέο, σύγχρονο πολυχωρικό επιχειρησιακό περιβάλλον. Τα διδάγματα από την χρήση τους στον 20ο αιώνα, σε συνδυασμό με την εν παραλλήλω εξέλιξή τους με τα αντίστοιχα επανδρωμένα, μπορούν να θεωρηθούν ως προπομπός της σημερινής εκτεταμένης, άνευ ελέγχου εξάπλωσης αυτών, σε σημείο όπου απόψεις περί μερικής ή ολικής αντικατάστασης του ανθρώπινου παράγοντα στο εγγύς μέλλον, έχουν αρχίσει να παρουσιάζονται μεταξύ των αμυντικών, βιομηχανικών και ακαδημαϊκών κύκλων. Η μελέτη των παρουσιών όμως εξελίξεων αποδίδουν μία διαφορετική εικόνα από την εκτιμητέα, η οποία τονίζει ότι **το επίπεδο τεχνολογικής ωριμότητας, ιδιαίτερα στα μικρά (σε διαστάσεις και βάρη) συστήματα, δεν μπορεί να απορρίψει την άμεση εξάρτηση του συστήματος από τον χειριστή (operator) και το λοιπό προσωπικό που απαιτείται.** Το παρακάτω άρθρο, θα παρουσιάσει στον αναγνώστη μία προσέγγιση για τα αυτόνομα συστήματα χαμηλού κόστους προκειμένου να κατανοήσει τις δυνατότητες αυτών και το πώς αυτές διαμορφώνουν τον υφιστάμενο σχεδιασμό σε εθνικό και συμμαχικό επίπεδο.

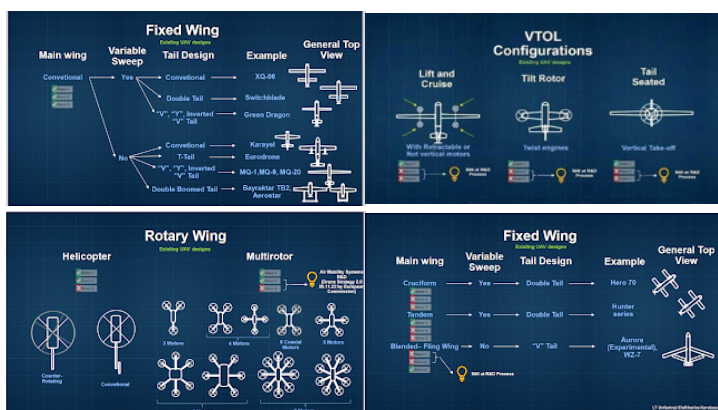


Βασική αρχιτεκτονική ΣμηΕΑ (Καρατζάς Ελευθέριος)

Η παρουσία διαφόρων σχεδιασμών και κατασκευών μικρών έναντι μεγάλων μη επανδρωμένων συστημάτων είναι πραγματικότητα και το κόστος δεν αποτελεί μοναδικό παράγοντα αλλά απαιτούμενο. Η σχέση αυτή λοιπόν, σε συνδυασμό με την ανάγκη χρήσης υλικοτεχνικού (hardware) και λογισμικού (software) με ή χωρίς εν δυνάμει περιορισμούς σε μεγάλες ποσότητες στην διάρκεια του χρόνου, δίνει στον ενδιαφερόμενο **δύο πιθανούς τρόπους ενεργείας**. Ο πρώτος, κυρίως αναγκαίος σε αμυντικές εφαρμογές, είναι η χρήση υποσυστημάτων στρατιωτικών προδιαγραφών (mil-spec), ενώ ο δεύτερος η χρήση εμπορικά διαθέσιμων υλικών (commerce of the self). Η πρώτη περίπτωση, δίνει πρόσβαση στην πλέον καινοτόμο τεχνολογία (disruptive technologies), συνήθως εμπορικά μη διαθέσιμη, με το κόστος της περιορισμένης ή και μηδενικής επέμβασης στον κώδικα και την αρχιτεκτονική αυτού, καθώς και του υψηλού οικονομικού αντιτίμου. Επιπρόσθετα, οι πιθανές κυρώσεις κρατών κάτω από το πλαίσιο εθνικών και συμμαχικών στρατηγικών έχουν ως αποτέλεσμα τον αποκλεισμό (embargo) αυτών των συστημάτων ανεξαρτήτως πιθανών επιβληθεισών περιορισμών χρήσης υλικοτεχνικού εξοπλισμού από τρίτους, και συνεπώς στην πιθανή ή ολική παύση της παραγωγής και χρήσης ή και τροποποίησης του εν λόγω συστήματος. Συνεπώς, οι παραπάνω παράγοντες οδηγούν στην εναλλακτική οδό των εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών.

έλευση αυτών, έκανε ακόμη και τα πιο δύσκολα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα, όπως τα ακροβατικά σταθερής πτέρυγας, να χειρίζονται με μεγαλύτερη άνεση και να εκτελούν αυτόνομες ή ημιαυτόματες αποστολές. Παράλληλα, η χρήση συνθέτων υλικών και 3D εκτυπωτών, σε συνδυασμό με τους χαμηλού κόστους ηλεκτροκινητήρες, δίνουν την δυνατότητα εμφάνισης μίας νέας μορφής ιπτάμενου μέσου, το οποίο σε επανδρωμένη μορφή είχε εμφανιστεί ήδη από την δεκαετία του 1960, τα πολυκόπτερα (multirotors) περιστρεφόμενης πτέρυγας. Τα παραπάνω επέφεραν **δύο κατευθύνσεις ανάπτυξης**. Πρώτον, την εμφάνιση εταιριών κατασκευής drone να επενδύουν σε αυτά τα μοντέλα, παρέχοντας ένα ιπτάμενο μέσο, το οποίο είναι φιλικό στον χρήστη, με λιγότερους περιορισμούς σε σχέση με αντίστοιχα σταθερής πτέρυγας. Έπειτα, η φιλοσοφία των αυτοσχέδιων (custom), μετατρέπει τον χειριστή σε κατασκευαστή αυτόνομων αεροχημάτων σταθερών ή και περιστρεφόμενων πτερύγων. Σε κάθε περίπτωση βλέπουμε τη δημιουργία του, γνωστού σήμερα, Συστήματος μη Επανδρωμένου Αεροχήματος (ΣμηΕΑ) καθώς το ίδιο το ιπτάμενο μη επανδρωμένο μέσο (unmanned vehicle) παύει να ακολουθεί τη φιλοσοφία του τηλεκατευθυνόμενου (remote piloted).

Αυτό θα οδηγήσει και στην άμετρη ανάπτυξη αυτών από κρατικούς και μη δρώντες. Το πολύ χαμηλό κόστος και η προμήθεια υποσυστημάτων από την παγκόσμια αγορά, κυρίως ασιατική, επιτρέπει την έρευνα, ανάπτυξη και παραγωγή αυτοσχέδιων ΣμηΕΑ που δεν εμπίπτουν στους περιορισμούς των έτοιμων προς πτήση (RTF-Ready To Flight), όπως η απαγόρευση πτήσης σε συγκεκριμένες περιοχές (γεωπεριφράξεις – Geofences). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, δεν είναι άλλο από τα αυτοσχέδια FPV (first person view) τετρακόπτερα, που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην Ρωσο-Ουκρανική σύγκρουση λόγω της μεγάλης ταχύτητας που μπορούν να αναπτύξουν, αλλά και τη δυνατότητα πτήσης χωρίς GPS. Ωστόσο αντίστοιχες τεχνικές έχουν ήδη εφαρμοστεί στη Συρία και σε άλλες ένοπλες συγκρούσεις στη Μέση Ανατολή. Οι **κύριες αποστολές** κατά τις οποίες τα ΣμηΕΑ εντάχθηκαν σε επιχειρήσεις, δεν είναι άλλες από την αναγνώριση, τη συλλογή πληροφοριών, την παρατήρηση και την προσβολή στόχων. Στην πραγματικότητα, το κενό της εγγύς αεροπορικής υποστήριξης καλύπτεται από πλατφόρμες με κόστος μερικών εκατοντάδων ευρώ.



Σχεδιαστικές τάσεις ΣμηΕΑ (Καρατζάς Ελευθέριος)

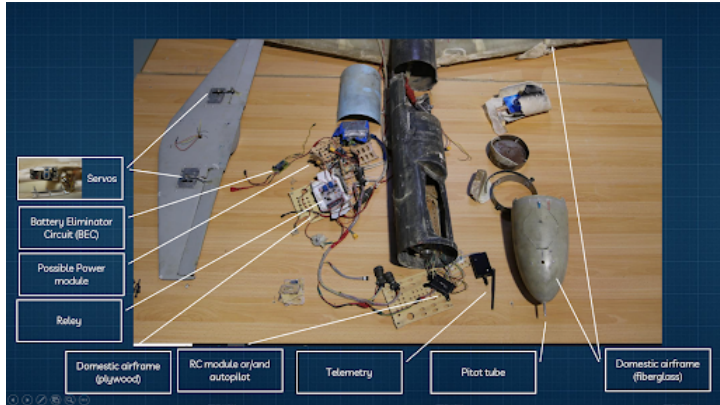
Θα λέγαμε πως η μετάπτωση αυτή, εμφανίστηκε κυρίως κατά τη δεύτερη δεκαετία του 21ου αιώνα, καθώς τεχνολογίες όπως η μονάδα αυτομάτου πιλότου (autopilot) και Global Positioning System (GPS) έχουν γίνει διαθέσιμες εμπορικά, σε έναν τομέα, που μέχρι τότε αποτελούσε μία πολύ ιδιαίτερη και εξειδικευμένη ασχολία, τον αερομοντελισμό. Η

Κατηγοριοποίηση ΣμηΕΑ βάσει NATO

Class & Weight (kg)	Category	Normal Employment	Normal Operating Altitude, h(ft)	Normal Mission Radius	Primary Supported Commander	Example Platform
Class I, w<150 kg	Small, 150>w>20 kg	Tactical Unit (employs launch system)	h =< 5000 AGL	50 (LOS)	Battalion, Regiment	Luna, Hermes 90
	Mini, 2=<w=<20 kg	Tactical Unit (manual launch)	h =< 3000 AGL	25 (LOS)	Company, Platoon, Squad	Scan Eagle, Skylark, Raven, DH3, Aladin, Strix
	Micro < 2 kg	Tactical Patrol/Section, individual (single operator)	h =< 200 AGL	5 (LOS)	Platoon, Squad	Black Widow
Class II, 150<w<600	Tactical	Tactical Formation	h =< 10000 AGL	200 (LOS)	Division, Brigade	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Range
	Strike/Combat	Strategic/National	h =< 65000 MSL	Unlimited (BVLOS)	Theater	Loyal Wingman
Class III, w>600	HALE	Strategic/National	h =< 65000 MSL	Unlimited (BVLOS)	Theater	Global Hawk
	MALE	Operational/Theater	h =< 45000 MSL	Unlimited (BVLOS)	Joint Task Force	Predator A, Predator B, Heron, Heron TP, Hermes 900

Ως επακόλουθο, η σταδιακή ένταξή τους στο πεδίο επιχειρήσεων, ανέδειξε την αδυναμία αναχαίτισης αυτών από τα υφιστάμενα αντιαεροπορικά συστήματα. Ιδιαίτερα, **οι πολύ μικρές πλατφόρμες αποτελούν την μεγαλύτερη απειλή**. Σε αυτή την κατηγορία, παρατηρούμε τις παρακάτω σχεδιαστικές τάσεις: ηλεκτροκινητήρες

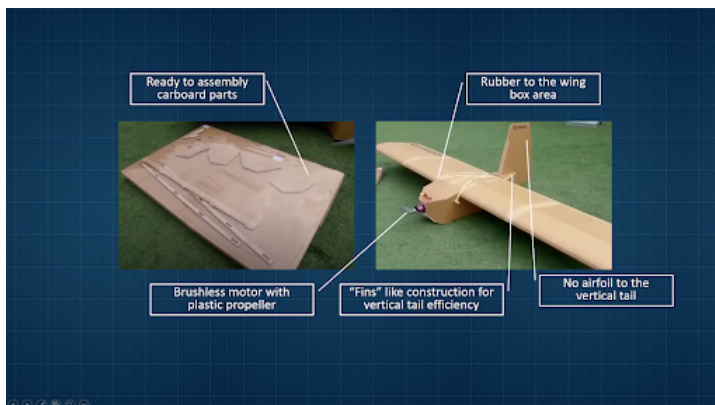
με χρήση έλικας, μπαταρίες λιθίου υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και ρυθμού αποφόρτισης, χρήση χαμηλού κόστους αυτομάτων πιλότων και χρήση διαφορετικών συχνοτήτων για μεταφορά εικόνας, χειρισμού και στοιχείων πτήσης (MHz – GHz). Μεγάλο ρόλο ακόμη διαδραματίζει η χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, για την ανταλλαγή πληροφοριών και τεχνικών επιχειρησιακής αξιοποίησης και συναρμολόγησης – κατασκευής αυτών.



Ανακτημένο ΣμηEA των Χούθι από τα ΗΑΕ

(<https://storymaps.arcgis.com/stories/46283842630243379f0504e90a821f/print>)

Πράγματι, οι χειρότεροι φόβοι έγιναν πραγματικότητα, όπως αποδεικνύεται από την **εκτεταμένη χρήση σε Ουκρανία, Υεμένη και Λωρίδα της Γάζας**. Δεν πρέπει ωστόσο να μας εκπλήσσει αυτή η πραγματικότητα, αν αναλογιστούμε τις ένοπλες συγκρούσεις των προηγούμενων ετών σε Συρία, Ναγκόρνο – Καραμπάχ και Λιβύη. Η άνθιση των μικρών δε ΣμηEA ανέδειξε χώρες όπως το Ιράν και Κίνα ως κύριους μέτοχους σε αυτή την κούρσα κυριαρχίας στον τομέα των αυτόνομων συστημάτων. Τα παραπάνω λοιπόν συντελούν στην ανακατανομή δυνάμεων στο νέο σύγχρονο πολυχωρικό, όπως τονίστηκε στην εισαγωγή, επιχειρησιακό περιβάλλον. Επιπρόσθετα, τα όρια μεταξύ πολιτικών και στρατιωτικών συστημάτων πλέον είναι αμφιλεγόμενα, δεδομένου του τρόπου χρησιμοποίησής τους. Αυτό που πρέπει να τονιστεί ωστόσο, είναι ότι **ο χειριστής δεν αντικαθίσταται ακόμη και αν το ΣμηEA μπορεί να εκτελέσει αυτόνομη αποστολή**, σε σημείο που ο ίδιος μπορεί να αποτελέσει στόχος. Παράδειγμα αυτού δεν είναι άλλο από το C-UAS Aeroscope της DJI, που χρησιμοποιήθηκε επανειλημμένα στην Ουκρανία.



ΣμηEA αυτοκτονίας που χρησιμοποιείται στον Ρωσο-Ουκρανικό πόλεμο κατασκευασμένο από σκληρό χαρτόνι (<https://www.atlanticcouncil.org/blogs/new-atlanticist/ukraines-drone-strikes-are-a-window-into-the-future-of-warfare/>)

Τα παραπάνω, αναμφίβολα έκρουσαν τον κώδωνα του κινδύνου σε Εθνικό, Νατοϊκό και Ευρωπαϊκό επίπεδο. **Εντός των καινοτόμων τεχνολογιών που παρουσιάζει η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Άμυνας (European Defence Agency – EDA) τονίζεται τόσο η σημασία ανάπτυξης αυτόνομων συστημάτων όσο και δυνατοτήτων αντιμετώπισης (Counter UAS – CUAS) αυτών, ιδιαιτέρως των μικρών σε διαστάσεις**. Επιπρόσθετα, το NATO εξέδωσε προσφάτως οδηγίες και προτάσεις περί τεχνολογιών και τακτικών C-UAS. Η παραπάνω κατεύθυνση επιβεβαιώνεται και από τα προϊόντα που παρουσιάζονται σε εγχώριες διεθνείς εκθέσεις όπως η DEFEA που διεξήχθησαν το 2021 και 2023.



Η αναφορά της EDA ως προς τα προγράμματα UAS (<https://eda.europa.eu/uas>)

Η επικράτηση των μικρών ΣμηEA είναι πλέον δεδομένη, καθώς ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου δέχεται συνεχώς ανατροφοδότηση, υπό τη μορφή νέων τεχνολογιών, τακτικών και γραμμών υποστήριξης. Ως επακόλουθο, η αλλαγή της ισορροπίας δυνάμεων είναι αναπόφευκτη. Συνεπώς είναι η κατάλληλη στιγμή να αναληφθεί δράση σε αυτό το πεδίο, όχι μόνο σε ερευνητικό επίπεδο, υπό την μορφή δοκιμαστικού πρωτοτύπου, αλλά και σε βιομηχανική παραγωγή. **Αυτό προϋποθέτει φυσικά την εκτενή μελέτη των διδαγμάτων του σήμερα, αλλά και των τακτικών του παρελθόντος** που τείνουν να επαναληφθούν με την χρήση νέων συστημάτων, κάτι που το συναντάμε στο βιβλίο του Κλαούζεβιτς, «Περί πολέμου» ως φύση και χαρακτηριστικά αυτού.

Πως όμως τα νέα συστήματα θα συμβάλλουν στην επαύξηση της ανθεκτικότητας όχι μόνο του μέσου, αλλά και του ίδιου του δρώντα που το επιχειρεί; **Η απάντηση κρύβεται πίσω από την αρχιτεκτονική του ίδιου του συστήματος**. Ο εντοπισμός ενός τόσων μικρών διαστάσεων ΣμηEA, καθίσταται δυνατός από τις εκπομπές και όχι από την ραδιοτομή (radio cross section) αυτού. Ιδιαίτερα, το στίγμα GPS είναι αυτό που συνήθως προδίδει όχι μόνο το ιπτάμενο μέσο αλλά και τον χειριστή. Για αυτό και βλέπουμε στα υφιστάμενα πεδία μαχών, ιδιαίτερα της Ουκρανίας, να **χρησιμοποιούνται έτοιμα προς πτήση (ready to fly), εμπορικά διαθέσιμα ΣμηEA μαζί με αυτοσχέδια (custom) χωρίς GPS σαν ζεύγος**. Η μέθοδος αυτή, πέραν της ακρίβειας που προσφέρει στην προσβολή στόχων, αυξάνει και την επιβιωσιμότητα του προσωπικού. Στην πραγματικότητα, με κατάλληλη αναγνώριση εδάφους από το πρώτο, το δεύτερο μπορεί να ίπταται από τον χειριστή του στην επιθυμητή περιοχή, χωρίς την χρήση βοηθημάτων, παρά μόνο με χαρακτηριστικά σημεία του εδάφους. Θα μπορούσαμε να το παρομοιάσουμε με τον εξ όψεως κανόνα πτήσης (Visual Flight Rules) που χρησιμοποιείται στη γενική αεροπορία.

Ακόμη, νέα συστήματα έχουν αναπτυχθεί ήδη, για την **πλοήγηση με οπτική αναγνώριση** (terrain-pattern recognition) ή και ακόμη με **εσωτερικά συστήματα πλοήγησης** (internal navigation systems – INS). Αυτές οι μέθοδοι, μαζί με την **κατάλληλη χρήση του ΣμηEA**

από τον χειριστή, όπως η ταχεία ανάπτυξη και ο εξειδικευμένος τρόπος πτήσης, επαυξάνουν την επιβιωσιμότητα του προσωπικού στο πεδίο. Επιπρόσθετα, η **εύρεση νέων αδιάλειπτων χαμηλού κόστους υλικών** θα επαυξήσει την εμπιστοσύνη που οι τελικοί δρώντες έχουν ως προς το σύστημα. Έτσι θα προάγεται και η συνεχής ανατροφοδότηση με νέα στοιχεία και διδάγματα που θα πρέπει να προσαρμοστούν, ώστε να αποτελούν έναν ακόμη πολλαπλασιαστή ισχύος ως προς την ανθεκτικότητα στο νέο σύγχρονο πολυχωρικό επιχειρησιακό περιβάλλον.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Karatzas, E., Kostopoulos, V., & Lappas, V. (2023). Preliminary weight estimation of canister based light foldable wing electric propulsion UAV, as a platform for swarm applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 2526 (2023) 012082, 1–8. <https://www.doi.org/10.1088/1742-6596/2526/1/012082>

Karatzas, E. (2019). ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΑΧΗΣ - ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ (Development of UCAV - Conceptual Study). ΔΔΜΠΣ Πολυτεχνείου Κρήτης-Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων [Master Thesis]. <https://www.doi.org/10.26233/heallink.tuc.83782>

Karatzas, E. (2022). Η άνοδος των τουρκικής προέλευσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών (The rise of Turkish made Unmanned

Aircraft Vehicles). Η Ελλάδα, η Ευρώπη & ο Κόσμος. Τεύχος 17. https://www.researchgate.net/publication/365473051_The_rise_of_Turkish_made_Unmanned_Aircraft_Vehicles_E_anodos_ton_tourkikes_proeleuses_me_epandromenon_aeroskaphon

Development Concepts and Doctrine Centre Crown (UK), 0-30.2 (JDP 0-30.2) Unmanned Aircraft Systems. Royal Ministry of Defence (UK). 2017. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/673940/doctrine_uk_uas_jdp_0_30_2.pdf

Mark Voskuij, Performance analysis and design of loitering munitions: A comprehensive technical survey of recent developments. Faculty of Military Sciences, Netherlands Defence Academy, Den Helder, The Netherlands. 2021.

Daniel P. Raymer, Aircraft Design: A Conceptual Approach, Sixth Edition, AIAA Education Series, 2018.

Roskam, Jan. Preliminary Sizing of Airplanes, Part I, Aviation and Engineering Corporation, 1985.

European Union External Actions, 2022. A Strategic Compass for Security And Defence. Brussels: s.n.

