



πρώην ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
και Βιομηχανικού Σχεδιασμού

Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:

**“Σχεδιασμός και Υλοποίηση Υπαίθριων Σταθμών Μέτρησης
Περιβαλλοντικών Παραμέτρων μέσω "Εξυπνων" Αισθητήρων”**

Του: Παπαγγελή Ευάγγελου Εμμανουήλ

Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιωτόπουλος Δημόκριτος

Κοζάνη 2022

Περιεχόμενα

1.1 Σύντομη ιστορία της μέτρησης καιρικών φαινομένων	8
1.2 Θερμομετρία	9
1.3 Υδρομετρία	12
1.4 Υγρομετρία	14
1.5 Ανεμομετρία	16
1.6 Βροχομετρία	25
1.7 Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους	30
2.1 Ανάλυση Απαιτήσεων για τον Σχεδιασμό “Εξυπνων” Αισθητήρων	34
2.1.1 Εισαγωγή , Μεθοδολογία , Ανάπτυξη Ερωτηματολογίου	34
2.1.2 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου	35
Ερώτηση 1 (E1)	35
Ερώτηση 2 (E2)	42
Ερώτηση 3 (E3)	43
Ερώτηση 4 (E4)	50
Ερώτηση 5 (E5)	52
Ερώτηση 6 (E6)	55
Ερώτηση 7 (E7)	57
Ερώτηση 8A (E8A)	59
Ερώτηση 8B (E8B)	61
Ερώτηση 9 (E9)	62
Ερώτηση 10 (E10)	66
Ερώτηση 11 (E11)	69
2.1.3 Συμπεράσματα Ερωτηματολογίου	72
2.1.4 Συμπεράσματα από διεθνή βιβλιογραφία	75
2.1.5 Έρευνα Αγοράς	78

2.1.5α Μετεωρολογικός σταθμός	78
2.1.5β Σταθμοί μέτρησης στάθμης υδάτων	79
2.1.5γ Σταθμοί μέτρησης ποιότητας υδάτων	80
2.2 Αρχιτεκτονική Λύσης - Εξοπλισμός	81
2.2.1 ELIoT Node	84
2.2.2 Μετεωρολογικός σταθμός	87
2.2.3 Αισθητήρας μέτρησης μεταβλητών ποιότητας υδάτων	88
2.2.4 Αισθητήρας μέτρησης στάθμης υδάτων	89
2.2.5 Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους	90
2.2.6 Ηλεκτρονικά	93
2.3 Διαδικτυακή πλατφόρμα συλλογής, επεξεργασίας και οπτικοποίησης δεδομένων	97
2.3.1 Πίνακες Ελέγχου	97
2.3.1α Πίνακες Ελέγχου ανά Τοποθεσία	98
2.3.1β Πίνακες Ελέγχου ανά Μέτρηση	100
3.1 Ανάλυση Απαιτήσεων για τον επανασχεδιασμό εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT	102
3.2 Σχεδιασμός εκδοχών εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων	103
3.2.1 Πρώτη εκδοχή σχεδιασμού κόμβου ELIoT	103
3.2.2 Πρώτη εκδοχή σχεδιασμού καλύμματος βάσης στήριξης ηλιακού συσσωρευτή	106
3.2.3 Πρώτη εκδοχή σχεδιασμού βάσης στήριξης του κόμβου ELIoT	106
3.2.4 Δεύτερη εκδοχή σχεδιασμού κόμβου ELIoT	108
3.2.5 Δεύτερη εκδοχή σχεδιασμού καλύμματος βάσης στήριξης ηλιακού συσσωρευτή	109
3.2.6 Δεύτερη εκδοχή σχεδιασμού βάσης στήριξης του κόμβου ELIoT	111
3.2.7 Εκδοχή σχεδιασμού περιβλήματος αισθητήρα μέτρησης στάθμης υδάτων	112
3.3 Τελικός σχεδιασμός εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT	

και περιβλημάτων περιφερειακών αισθητήρων	114
3.3.1 Τελική εκδοχή σχεδιασμού κόμβου ELIoT	114
3.3.2 Τελική εκδοχή σχεδιασμού καλύμματος βάσης στήριξης ηλιακού συσσωρευτή	121
3.3.3 Τελική Εκδοχή σχεδιασμού περιβλήματος αισθητήρα μέτρησης στάθμης υδάτων	122
3.4 Σχεδιασμός και έλεγχος κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων	
σε περιβάλλον CAD	123
3.4.1 Σχεδιασμός τρισδιάστατων μοντέλων σε περιβάλλον CAD	124
3.4.2 Βελτιστοποίηση και έλεγχος σχεδιασμού μέσω της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων	137
3.4.3 Αποτελέσματα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων κόμβου ELIoT και περιβλημάτων περιφερειακών αισθητήρων	144
3.4.4 Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις και τελική λίστα υλικών κόμβου ELIoT και περιβλημάτων περιφερειακών αισθητήρων	154
4.1 Προετοιμασία εκτύπωσης εξαρτημάτων εξωτερικού περιβλήματος	
κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων	160
4.2 Υλοποίηση & συναρμολόγηση εξαρτημάτων εξωτερικού περιβλήματος	
κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων	167
4.2.1 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_BOX σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή	168
4.2.2 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_LID σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή	172
4.2.3 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_SOLAR_BASE σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή	175
4.2.4 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_SOLAR_BACK_COVER σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή	179
4.2.5 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου R2_MOUNT_BASE σε περιβάλλον	

FFF εκτυπωτή	181
4.2.6 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G2_MAXBOTIX_ENCLOSURE και G2_MAXBOTIX_CAP σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή	183
4.2.7 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_HINGE, G4_LATCH_ARM, G4_LATCH_CAM σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή	186
4.3 Έλεγχος ποιότητας εξαρτημάτων μέσω καταστροφικού ελέγχου	
- Εξομίωση συσκευών σε πραγματικές συνθήκες	188
4.4 Εγκατάσταση υλισμικού και προετοιμασία κόμβου ELIoT για χρήση στο πεδίο	191
4.4.1 Εγκατάσταση υλισμικού στον κόμβο ELIoT μέσω περιβάλλοντος Visual Studio Code	193
4.4.2 Σύνδεση του κόμβου ELIoT με την διαδικτυακή πλατφόρμα “Thingsboard”	197
4.4.3 Γλωσσάρι κοινών όρων κονσόλας κόμβου ELIoT	201
5.1 Ανάλυση απαιτήσεων για τον σχεδιασμό συσκευασίας κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων	203
5.2 Σχεδιασμός - Ανάπτυξη συσκευασίας κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων	205
5.3 Δημιουργία εκδοχών συσκευασίας συσκευών και περιφερειακών κόμβου ELIoT	206
5.4 Απεικόνιση τελικής συσκευασίας συσκευών και περιφερειακών κόμβου ELIoT	207

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή, ο ανεπαρκής σχεδιασμός αντιπλημμυρικής προστασίας και η ανορθολογική διαχείριση των υδάτων έχουν συμβάλει στην αύξηση της σοβαρότητας των φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών, όπως οι πλημμύρες, οι ξηρασίες και η ρύπανση των υδάτων, τα τελευταία χρόνια. Ως αποτέλεσμα αυτών των παραγόντων, το ύψος των ζημιών που προκαλούνται από αυτού του είδους τις καταστροφές έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Σε επίπεδο Ευρώπης, οι συνέπειες των πλημμυρών και των καταιγίδων κατά τα έτη 1998-2009, όπως προκύπτει από τα 213 αναφερόμενα περιστατικά, έφθασαν τους 1.126 νεκρούς και τις 96 δισεκατομμύρια ευρώ σε οικονομικές απώλειες.

Όσον αφορά τη ρύπανση, διεθνείς έρευνες έχουν διαπιστώσει ότι περίπου 12,6 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο ως άμεσο αποτέλεσμα των συνεπειών της ρύπανσης του νερού, του εδάφους και του αέρα. Αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις θα μπορούσαν να μειωθούν σημαντικά εάν γίνονταν προσιτές έγκαιρες και αξιόπιστες πληροφορίες μέσω της παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραγόντων στα υδάτινα σώματα. Αυτό θα επέτρεπε τον μετριασμό των επιπτώσεων αυτών.

Στην Ελλάδα, δημόσιοι και ιδιωτικοί φορείς παρακολουθούν συχνά τοπικά ή/και εθνικά δίκτυα (για παράδειγμα, το Δίκτυο Επιτήρησης Επιφανειακών Υδάτων σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά, 2000/60/ΕΕ, <http://wfd.ypeka.gr/>).

Ωστόσο, η μέθοδος πάσχει από ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα και περιορισμούς, τα οποία μπορούν να κατανεμηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

Η διαδικασία επιφέρει σημαντική οικονομική επιβάρυνση, διότι απαιτεί την αποστολή εκπαιδευμένων ατόμων στις τοποθεσίες όπου συλλέγονται τα δείγματα, τη χρήση εξειδικευμένων συσκευών και εργαστηριακών εξετάσεων.

Το μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη λήψη πορισμάτων οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά από τα γεγονότα έχουν ήδη κάποιου είδους πρακτική αξία τη στιγμή που γίνονται αντιληπτά (και όχι αργότερα).

Η πυκνότητα των δεδομένων είναι εξαιρετικά χαμηλή, και σε εθνικό επίπεδο, η συχνότητα παρακολούθησης συνήθως δεν υπερβαίνει τη συχνότητα μιας φοράς κάθε τρεις μήνες (<http://wfd.ypeka.gr/>).

Η παρακολούθηση και η ανάλυση των περιβαλλοντικών παραγόντων που αφορούν τα επιφανειακά ύδατα θα είναι το επίκεντρο της λύσης που θα προταθεί. Η λύση που θα εφαρμοστεί θα είναι ολοκληρωμένη και οικονομικά βιώσιμη. Η λύση περιλαμβάνει τα πάντα, από αισθητήρες (συλλογή δεδομένων) έως μια διαδικτυακή πλατφόρμα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων.

Αυτό δημιουργεί άμεση προστιθέμενη αξία για τους τελικούς χρήστες, ενώ η ανοικτή αρχιτεκτονική και η προσέγγιση του έργου ενισχύουν τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητά του.

Ακολουθούν ορισμένοι από τους συγκεκριμένους στόχους που επιδιώκει να επιτύχει η πρωτοβουλία:

- Η δημιουργία και η ενσωμάτωση κατάλληλων "έξυπνων" αισθητήρων ανοικτού κώδικα με σκοπό τη διενέργεια απομακρυσμένης παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων. Τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι το χαμηλό κόστος, η ενεργειακή αυτονομία, η φορητότητα, η ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης και η τεχνολογική υπεροχή τους όσον αφορά τη διαχείριση και τη μετάδοση δεδομένων.
- Ανάπτυξη μιας πλατφόρμας ανοικτού κώδικα για το Διαδίκτυο των πραγμάτων, η οποία είναι ο δικτυακός τόπος που θα χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία, ανάλυση και προβολή δεδομένων. Χρησιμοποιώντας ως θεμέλιο τις ανοικτές τεχνολογίες νέφους, δημιουργεί μια πλατφόρμα για την παροχή λύσεων Platform-as-a-Service. Οι λύσεις αυτές παρέχουν στους πελάτες κλιμακούμενους υπολογιστικούς πόρους που μπορούν να προσαρμοστούν στις συγκεκριμένες ανάγκες τους, βελτιώνοντας έτσι τόσο την οικονομική βιωσιμότητα όσο και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα.

Η λύση που βρέθηκε καθιστά δυνατή την έγκαιρη και σαφή πληροφόρηση ή προειδοποίηση για φαινόμενα που απαιτούν άμεση αντιμετώπιση, όπως πλημμύρες, ξηρασία και ρύπανση των υδάτων, με σκοπό να καταστεί δυνατή η έγκαιρη λήψη μέτρων για τη μείωση των επιπτώσεων των εν λόγω φαινομένων. Πρόκειται για μια υπηρεσία με προστιθέμενη αξία, καθώς και για ένα ζωτικό και ωφέλιμο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων που συμβάλλει στη διατήρηση των πόρων, ενώ παράλληλα βοηθά στην προστασία της δημόσιας υγείας.

Ο κόμβος ELIoT, ο οποίος αποτελεί μέρος του έργου Open ELIoT, είναι ένας κόμβος για τη συλλογή δεδομένων από περιβαλλοντικούς αισθητήρες. Αποτελείται από τη συσκευή ηλεκτρονικής καταγραφής και το σχετικό λογισμικό της. Πρόκειται για μια αδιάβροχη, αυτόνομη συσκευή καταγραφής δεδομένων που χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια για τη φόρτιση των μπαταριών της και μπορεί να λειτουργεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα κάτω από αντίξοες καιρικές συνθήκες (ήλιος, βροχή, υγρασία). Ο κόμβος ELIoT κάθε σταθμού καταγραφής Open ELIoT είναι το πρωταρχικό δομικό στοιχείο με το οποίο συνδέονται όλοι οι αισθητήρες και του οποίου τα δεδομένα καταγράφονται, αποθηκεύονται και παραδίδονται στην πλατφόρμα. Διαθέτει κυκλώματα που του επιτρέπουν να διασυνδέεται με τους αισθητήρες χρησιμοποιώντας μια ποικιλία πρωτοκόλλων καθώς και κυκλώματα διαχείρισης ισχύος που του επιτρέπουν να λειτουργεί αυτόνομα φορτίζοντας μπαταρίες από τον ήλιο και ταυτόχρονα υποστηρίζει ασύρματη μέθοδο επικοινωνίας για τη μετάδοση των δεδομένων. Ο σταθμός αυτός χρησιμοποιεί αισθητήρες

για τη μέτρηση και την καταγραφή διαφόρων μετεωρολογικών δεδομένων προκειμένου να παρακολουθεί τις καιρικές συνθήκες. Ο χρήστης μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα μεταδίδοντάς τα στο cloud. Χρειάζεται λιγότερη συντήρηση και είναι λιγότερο ακριβός από τις εμπορικές εναλλακτικές λύσεις. Η ενεργειακή του ανεξαρτησία του επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων στο σύννεφο ακόμη και όταν δεν υπάρχει συνδεσιμότητα Wi-Fi ή δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Κεφάλαιο 1 - Ιστορική Αναδρομή

1.1 Σύντομη ιστορία της μέτρησης καιρικών φαινομένων

Ο καιρός ορίζεται ως η κατάσταση της ατμόσφαιρας και, ευρύτερα, το στοιχείο του περιβάλλοντος στο οποίο είναι δυνατή η ζωή. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεταβλητές περιλαμβάνουν αναφορά σε θερμοκρασία, περιεκτικότητα σε υγρασία, ταχύτητα ανέμου και πίεση στην επιφάνεια της γης. Γύρω στο 340 π.Χ., ο Αριστοτέλης πρότεινε στο "Meteorologica", το έργο του, εμπειριστατώμενα σχόλια σχετικά με αυτό που βλέπουμε σήμερα, ως κακοκαιρία. Πέρα από τις άγραφες γνώσεις των προγόνων της γεωργίας και των κυνηγών, η ένδειξη κατεύθυνσης στο ανεμοδείκτη στην κορυφή του Πύργου των Ανέμων στην Αθήνα, που χτίστηκε τον δεύτερο αιώνα π.Χ., είναι σχεδόν σίγουρα η πρώτη ατμοσφαιρική μεταβλητή που ποσοτικοποιήθηκε. Στα μέσα του δέκατου πέμπτου αιώνα, ο Γερμανός Καρδινάλιος Νικόλαος ντε Κούσα, μαθηματικός, δημιούργησε το υγρόμετρο με σκοπό τον προσδιορισμό της υγρασίας με την βοήθεια του βάρους της ικανότητας του μαλλιού να απορροφά υδρατμούς σε σύγκριση με μια ζυγαριά. Προς το τέλος του δέκατου έκτου αιώνα για τον καθορισμό μιας τιμής, δημιουργήθηκε το θερμόμετρο. Δείκτης της θερμοκρασίας τόσο για τις θερμές όσο και για τις ψυχρές θερμοκρασίες. Ο Σαντόριο, ο Γαλιλαίος, ο Ντρέμπελ και ο Fludd συνέβαλαν όλοι στη δημιουργία του πιο ευρέως χρησιμοποιούμενου σήμερα "υπολογιστή" καιρού.

Μετά την ανακάλυψη του θερμομέτρου ήρθε μια νέα εφεύρεση, γύρω στο 1640. Ο Evangelista Torricelli εφηύρε το βαρόμετρο υδραργύρου. Το 1670 ο Ρόμπερτ Χουκ βελτίωσε το υγρόμετρο συμπεριλαμβάνοντας τρίχες. Την ικανότητα δηλαδή της τρίχας να διαστέλλεται και να συστέλλεται στην απόκριση της υγρασίας.

Τα ψυχρόμετρα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πτώσης της θερμοκρασίας που παράγεται από την πτώση του υγρού βολβού που καθορίζεται από την εξάτμιση. Αυτή η συσκευή αποδόθηκε στον William Cullen, έναν Σκωτσέζο, τη δεκαετία του 1750 όπου δημιούργησε το πρώτο μετεωρολογικό σύστημα.

Μεταξύ των ετών 1910 και 1930, η επιστήμη της ακουστικής που παρέχεται από αερόστατα και αεροπλάνα αποκάλυψε τις ιδιότητες της ατμόσφαιρας σε σχέση με το ύψος. Αυτή η τρισδιάστατη ανάλυση που αναπτύχθηκε έγινε ένα χρήσιμο εργαλείο για τους μετεωρολόγους, και στη συνέχεια για τις εφαρμογές που δημιουργήθηκαν από υπολογιστές για την πρόγνωση του καιρού.

Το ραντάρ, το οποίο εφαρμόστηκε στον εντοπισμό των αεροσκαφών λίγο πριν από το ξέσπασμα του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, χρησιμοποιήθηκε και για να ενισχύσει την απεικόνιση των μετεωρολογικών φαινομένων καθώς αργότερα ένα δίκτυο ραντάρ στη δεκαετία του 1950, δημιουργήθηκε προς όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες για μετεωρολογικές παρατηρήσεις και δημόσιες προειδοποιήσεις για τον καιρό σε έκτακτη βάση. Το μεγαλύτερο σημερινό εξελιγμένο ραντάρ καιρού τύπου Doppler δημιουργήθηκε το 1960, μέχρι που τελειοποιήθηκε από σχεδιαστικά από ηλεκτρικά κυκλώματα το 1970.

Πιθανώς το πιο κρίσιμο επιτεύγματα στην παρακολούθηση του καιρού με όργανα είναι οι δορυφορικές φωτογραφίες λόγω των προσπαθειών των επιστημόνων και των εθελοντών, σε συνεργασία με τη διοίκηση του προέδρου Τζον Φ. Κένεντι που ζήτησε να εξασφαλιστούν κονδύλια, για το νεοσύστατο National Administration of Aeronautics and Space(NASA).

Την 1η Απριλίου 1960, ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος τέθηκε με επιτυχία σε τροχιά. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι μας επιτρέπουν να βλέπουμε ολόκληρο τον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό Ωκεανό μέσα σε λίγα λεπτά, χάρη στις δυνατότητες υψηλής ανάλυσης που διαθέτουν. Με την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας σε πιο τακτική βάση, οι νέες αυτές τεχνολογίες έχουν μειώσει σημαντικά την εμφάνιση "απρόσμενων καιρικών φαινομένων". Οι φωτογραφίες σύννεφων που συλλέγονται από αυτούς τους δορυφόρους προβάλλονται πλέον σε τακτική βάση στις τηλεοπτικές εκπομπές πρόγνωσης καιρού.

1.2 Θερμομετρία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας (επίσης γνωστή ως θερμομετρία) είναι η διαδικασία λήψης μιας μέτρησης της τρέχουσας τοπικής θερμοκρασίας για άμεση ή μεταγενέστερη αξιολόγηση. Επίσης είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι μεταβολές της θερμοκρασίας με την ανάλυση συνολικών δεδομένων που έχουν επαναλαμβανόμενες τυποποιημένες παρατηρήσεις.

Ορισμένες από τις έννοιες της θερμομετρίας ήταν γνωστές στους Έλληνες φιλοσόφους πριν από δύο χιλιάδες χρόνια, ενώ άλλες ανακαλύφθηκαν πολύ πρόσφατα. "Η ανάπτυξη του θερμομέτρου από ένα ακατέργαστο παιχνίδι σε ένα όργανο ακριβείας χρειάστηκε περισσότερο από έναν αιώνα", έγραψε ο Henry Carrington Bolton (1900), "και η ιστορία της πρώιμης ανάπτυξής του είναι επιβαρυνμένη με λανθασμένες δηλώσεις που επαναλήφθηκαν με τέτοιο δογματισμό ώστε να έχουν λάβει την ψευδή σφραγίδα της αυθεντίας". Ο Daniel Gabriel Fahrenheit, ένας Ολλανδός επιστήμονας που έζησε κατά τις πρώτες δεκαετίες του 18ου αιώνα, πέτυχε δύο σημαντικές προόδους στην ιστορία της θερμομετρίας στις Κάτω Χώρες. Ήταν ο εφευρέτης του θερμομέτρου υδραργύρου σε γυαλί (το πρώτο ευρέως χρησιμοποιούμενο, ακριβές και πρακτικό θερμομέτρο στον κόσμο) και της κλίμακας Φαρενάιτ (η οποία χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα) την πρώτη τυποποιημένη κλίμακα θερμοκρασίας που χρησιμοποιήθηκε ευρέως.

Οι πρώτες προσπάθειες τυποποίησης της μέτρησης της θερμοκρασίας ήταν στην καλύτερη περίπτωση υποτυπώδεις και χρονολογούνται από τον 17ο αιώνα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο γιατρός Κλαύδιος Γαληνός, ο οποίος το 170 μ.Χ. ανακάλυψε ίσα μέρη πάγου και ζεστού νερού για να παράγει ένα "ουδέτερο" πρότυπο θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα. Η επιστήμη, όπως την ξέρουμε σήμερα, μπορεί να αναζητήσει τις απαρχές της στα επιτεύγματα των φλωρεντινών επιστημόνων του 1600, ιδίως του Γαλιλαίου, ο οποίος κατασκεύασε όργανα ικανά να μετρούν τις σχετικές μεταβολές της θερμοκρασίας, τα οποία όμως ήταν επίσης επιρρεπή στις μεταβολές της πίεσης του αέρα. Θερμοσκόπια ήταν η ονομασία που δόθηκε σε αυτά τα πρώιμα μηχανήματα. Ο Φερδινάνδος Β΄, μεγάλος δούκας της Τοσκάνης, κατασκεύασε το πρώτο σφραγισμένο θερμομέτρο στον κόσμο το 1654, το οποίο χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα. Στις

αρχές του 18ου αιώνα, ο Γκαμπριέλ Φαρενάιτ εφηύρε ένα θερμόμετρο υδραργύρου και μια κλίμακα θερμοκρασίας, τα οποία βελτιώθηκαν από τον Ole Christensen Rmer. Αυτό σηματοδότησε την αρχή της δημιουργίας των σύγχρονων θερμομέτρων και κλιμάκων θερμοκρασίας. Η κλίμακα του Φαρενάιτ, μαζί με τις κλίμακες Κελσίου και Κέλβιν, χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα, όπως και η κλίμακα Κελσίου.

Τα συστήματα μέτρησης θερμοκρασίας έχουν δημιουργηθεί με διάφορους τρόπους. Η πλειονότητά τους εξαρτάται από την παρακολούθηση κάποιου φυσικού χαρακτηριστικού ενός υλικού που μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία προκειμένου να λειτουργήσει. Όταν πρόκειται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, ένα γυάλινο θερμόμετρο είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα όργανα. Αυτό αποτελείται από έναν γυάλινο σωλήνα γεμάτο με υδράργυρο ή άλλο υγρό, το οποίο χρησιμεύει ως υγρό εργασίας για το όργανο. Λόγω του γεγονότος ότι το υγρό διαστέλλεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, είναι δυνατή η μέτρηση της θερμοκρασίας με τη μέτρηση του όγκου του υγρού. Είναι κοινή πρακτική η βαθμονόμηση αυτών των τύπων θερμομέτρων, έτσι ώστε η θερμοκρασία να μπορεί να προσδιοριστεί απλώς με τη μέτρηση της στάθμης του υγρού στο θερμόμετρο. Το θερμόμετρο αερίου είναι μια άλλη μορφή θερμομέτρου που δεν χρησιμοποιείται συχνά στην πραγματικότητα, αλλά είναι πολύ ουσιαστικό από θεωρητική άποψη, όπως προαναφέρθηκε.

Άλλες αξιοσημείωτες συσκευές μέτρησης της θερμοκρασίας είναι οι ακόλουθες:

- Θερμοστοιχεία
- Θερμίστορ
- Αισθητήρας θερμοκρασίας με βάση την αντίσταση (RTD)
- Πυρόμετρα
- Αισθητήρες Langmuir (για τη θερμοκρασία ηλεκτρονίων ενός πλάσματος)
- Θερμόμετρο που χρησιμοποιεί τεχνολογία υπερύθρων
- Άλλοι τύποι θερμομέτρων

Προκειμένου να επαληθευτεί ότι η θερμοκρασία που καταγράφεται από τη συσκευή μέτρησης (θερμόμετρο, θερμοστοιχείο κ.λπ.) είναι η ίδια με τη θερμοκρασία που ανιχνεύεται από την εξεταζόμενη ουσία, πρέπει να δίνεται προσοχή κατά τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Η θερμότητα που παράγεται από τη συσκευή μέτρησης ενδέχεται να προκαλέσει μια αποκλιση θερμοκρασίας σε συγκεκριμένες καταστάσεις, με αποτέλεσμα η καταγεγραμμένη θερμοκρασία να διαφέρει από την πραγματική θερμοκρασία του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση, η μετρούμενη θερμοκρασία θα κυμαίνεται όχι μόνο ως απόκριση στη θερμοκρασία του συστήματος, αλλά και ως απόκριση στις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας του συστήματος.

Περισσότερο από τη θερμοκρασία που δείχνει ένα γυάλινο θερμόμετρο καθορίζει το επίπεδο θερμικής άνεσης που αισθάνονται οι άνθρωποι, τα ζώα και τα φυτά. Η ποσότητα της ψύξης με εξάτμιση που λαμβάνει χώρα εξαρτάται από τα επίπεδα σχετικής υγρασίας στον περιβάλλοντα αέρα. Η μέτρηση της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου ομαλοποιεί την επίδραση

της υγρασίας στη θερμοκρασία. Η θερμική άνεση μπορεί επίσης να επηρεάζεται από τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας. Παρόλο που η θερμοκρασία σε ένα γυάλινο θερμόμετρο φαίνεται να είναι η ίδια, το φαινόμενο της ψύξης του ανέμου προκαλεί την αίσθηση ότι ο καιρός είναι πιο κρύος σε συνθήκες ανέμου απ' ό,τι σε ήρεμες συνθήκες. Μεγαλύτερος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από ή προς το σώμα συμβαίνει όταν υπάρχει μεγαλύτερη ροή αέρα, με αποτέλεσμα την αυξημένη μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος για την ίδια θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ο μηδενικός κανόνας της θερμοδυναμικής, ο οποίος δηλώνει ότι αν έχουμε τρεις ουσίες, A, B και Γ, και αν οι A και B βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία και οι B και Γ βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, τότε οι A και Γ βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, αποτελεί τη θεωρητική βάση για τα θερμόμετρα. Το θερμόμετρο, φυσικά, είναι το γράμμα B.

Η εμφάνιση των κελιών τριπλού σημείου χρησιμεύει ως το πρακτικό θεμέλιο για τη θερμομετρία. Τα τριπλά σημεία ορίζονται ως καταστάσεις πίεσης, όγκου και θερμοκρασίας στις οποίες υπάρχουν ταυτόχρονα τρεις φάσεις, για παράδειγμα, στερεό, ατμός και υγρό, αντίστοιχα. Είναι αδύνατο να έχουμε βαθμούς ελευθερίας σε ένα τριπλό σημείο ενώ έχουμε να κάνουμε με ένα μόνο συστατικό και οποιαδήποτε αλλαγή σε οποιαδήποτε από τις τρεις μεταβλητές έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση μιας ή περισσότερων φάσεων από το κελί. Κατά συνέπεια, οι κυψέλες τριπλού σημείου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν καθολικές αναφορές θερμοκρασίας και πίεσης (βλ. κανόνας φάσεων Gibbs).

Η άμεση εφαρμογή της εξίσωσης του Planck για την ακτινοβολία μαύρου σώματος καθιστά εφικτό τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας υπό ορισμένες συνθήκες σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία του κοσμικού μικροκυματικού υποβάθρου έχει προσδιοριστεί από το φάσμα των φωτονίων που καταγράφεται από δορυφόρους όπως ο WMAP, ο οποίος μετρά το φάσμα των φωτονίων. Τα φάσματα μεμονωμένων σωματιδίων χρησιμοποιούνται περιστασιακά ως θερμόμετρο κατά τη διερεύνηση του πλάσματος quark–gluon μέσω συγκρούσεων βαρέων ιόντων, η οποία αποτελεί ένα είδος σωματιδιακής φυσικής.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί πολλές θερμομετρικές τεχνικές. Οι πλέον υποσχόμενες και διαδεδομένες μη επεμβατικές θερμομετρικές τεχνικές σε βιοτεχνολογικό πλαίσιο βασίζονται στην ανάλυση εικόνων μαγνητικού συντονισμού, εικόνων υπολογιστικής τομογραφίας και ηχοτομογραφίας. Οι τεχνικές αυτές επιτρέπουν την παρακολούθηση της θερμοκρασίας εντός των ιστών χωρίς την εισαγωγή αισθητήριου στοιχείου. [4] Στον τομέα των αντιδραστικών ροών (π.χ. καύση, πλάσματα), ο επαγόμενος φθορισμός με λέιζερ (LIF), το CARS και η φασματοσκοπία απορρόφησης με λέιζερ έχουν αξιοποιηθεί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό κινητήρων, αεριοστροβίλων, κρουστικών σωλήνων, αντιδραστήρων σύνθεσης κ.λπ. Οι δυνατότητες αυτών των τεχνικών που βασίζονται στην οπτική περιλαμβάνουν ταχείες μετρήσεις (σε χρονικές κλίμακες νανοδευτερολέπτων), παρά την ικανότητα να μην διαταράσσεται το αντικείμενο της μέτρησης (π.χ. φλόγα, αέρια που θερμαίνονται με κρούσεις).

Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης μετρείται στα μετεωρολογικά παρατηρητήρια και τους μετεωρολογικούς σταθμούς, όπου τα θερμόμετρα τοποθετούνται συνήθως σε ένας αισθητήρας, όπως ο κρύσταλλος Stevenson, το οποίο είναι ένα τυποποιημένο

καλά αεριζόμενο περίβλημα οργάνου με λευκό χρώμα και λευκό φινίρισμα. Τα θερμομέτρα πρέπει να τοποθετούνται 1,25-2 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους για να λαμβάνονται ακριβείς μετρήσεις. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) καθορίζει τις λεπτομέρειες αυτής της διαμόρφωσης (WMO).

Ένας θερμογράφος που καταγράφει συνεχώς δεδομένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό ενός πραγματικού ημερήσιου μέσου όρου. Συνήθως προσεγγίζεται από το μέσο όρο διακριτών μετρήσεων (π.χ. 24 ωριαίες μετρήσεις, τέσσερις εξάωρες μετρήσεις κ.ο.κ.) ή από το μέσο όρο των ημερήσιων ελάχιστων και μέγιστων μετρήσεων (αν και η τελευταία μπορεί να οδηγήσει σε μέσες θερμοκρασίες που είναι έως και 1 βαθμό Κελσίου ψυχρότερες ή θερμότερες από τον πραγματικό μέσο όρο, ανάλογα με τη χρονική στιγμή της παρατήρησης).

Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα σε ολόκληρο τον πλανήτη είναι περίπου 14 βαθμοί Κελσίου.

1.3 Υδρομετρία

Ο Κτησίβιος και ο Ήρων από την Αλεξάνδρεια, δύο Έλληνες μαθηματικοί και μηχανικοί, ήταν οι πρώτοι που μέτρησαν τη ροή των ποταμών, και τους ακολούθησαν και άλλοι (3ος αιώνας π.Χ. και 1ος αιώνας μ.Χ. αντίστοιχα). Ως αποτέλεσμα, οι ιδέες και η πρακτική της υδρομετρίας χάθηκαν σε μεγάλο βαθμό στον δυτικό κόσμο μέχρι την Αναγέννηση, καθιστώντας το έργο αυτό ελάχιστα σημαντικό.

Οι πρώτες συστηματικές εκτιμήσεις της στάθμης των υδάτων στην Κίνα λέγεται ότι ξεκίνησαν γύρω στο 251 π.Χ. σε ένα αρδευτικό συγκρότημα, σύμφωνα με ιστορικά αρχεία. Ήταν το 1078 όταν ο Fan Ziyuan καθιέρωσε τις αρχές της μέτρησης της ροής ενός ποταμού προκειμένου να συγκρίνει την ποσότητα του νερού που θα μπορούσε να ληφθεί από διάφορα υδρόβια συστήματα. Οι αρχικές μετρήσεις της επιφανειακής ταχύτητας διεξάγονται στον Κίτρινο Ποταμό, με ένα άλογο που τρέχει στην όχθη με τον ίδιο ρυθμό με το επιφανειακό ρεύμα, ακολουθούμενο από πλωτήρες που επιπλέουν στον ποταμό.

Από το 3000 π.Χ. έχουν καταγραφεί μετρήσεις της στάθμης του Νείλου, οι οποίες σηματοδοτούσαν την αύξηση και τη σημασία της πλημμύρας του Νείλου ως ενδείξεις της προβλεπόμενης συγκομιδής από τα ανάντη του πρώτου καταρράκτη (προς τον Ασουάν) έως τα κατάντη του πρώτου καταρράκτη. Περίπου το 725 οι Ομαγιάδες άρχισαν να επαναλαμβάνουν τις παρατηρήσεις και κατέστη δυνατό να κατασκευαστεί μια σχεδόν συνεχής ιστορία των ετήσιων ελάχιστων και μέγιστων τιμών του ποταμού μέχρι σήμερα. Ωστόσο, δεν δόθηκε καμία σημασία στην εκτίμηση της συνοδού ροής. Προσπαθήσαμε απλώς να προβλέψουμε πιθανές επισιτιστικές κρίσεις, όπως αυτές που προκαλούνταν από την έλλειψη νερού για τις καλλιέργειες ή από την απώλεια σοδειών που προκαλούνταν από μεγάλες πλημμύρες.

Από την πλευρά του, ο αραβο-μουσουλμανικός πολιτισμός, κατά τον 10ο και 12ο αιώνα (κάτι που δεν είχε καταφέρει η Αρχαιότητα), είχε σχεδόν ολοκληρώσει τον θεωρητικό στοχασμό

πάνω στον κύκλο του νερού και τη γένεση των ποταμών και αναπαρήγαγε τη ροή ενός ποταμού ως τον αριθμό των μύλων που μπορούσε να τροφοδοτήσει.

Οι Δυτικοί ερευνούν την κατανομή των ταχυτήτων στα ποτάμια και ο Λεονάρντο ντα Βίντσι θα πραγματοποιήσει την πρώτη σοβαρή προσπάθεια υπολογισμού της ταχύτητας του ρεύματος με τη χρήση πλωτήρων, η οποία θα λάβει χώρα το 1507.

Η διερεύνηση του κύκλου του νερού στη φύση λειτούργησε ως καταλύτης για τη συνέχιση του στοχασμού τον 17ο αιώνα. Ο Pierre Perrault (1674) και ο Edmée Mariotte (1686) ήταν οι πρώτοι που υπολόγισαν τη βροχόπτωση και τη ροή στη λεκάνη του Σηκουάνα και ήταν επίσης οι πρώτοι που εγκατέστησαν μετρητές στη λεκάνη (μετρήσεις της επιφανειακής ταχύτητας με σταθμισμένα ραβδιά). Ο Edmond Halley (1686) συγκρίνει τις ροές των μεγάλων ποταμών της Μεσογείου με τον Τάμεση στη γέφυρα Kingston και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο πρώτος είναι ισχυρότερος. Ο Domenico Guglielmini είναι ο κάτοχος της πρώτης παγκοσμίως έδρας υδρομετρίας, η οποία ιδρύθηκε στη Μπολόνια το 1694.

Οι πρώτες συστηματικές έρευνες κλίμακας πραγματοποιήθηκαν τον 18ο αιώνα με σκοπό την καταγραφή και τεκμηρίωση του επιπέδου αύξησης των πλημμυρών σε διάφορες τοποθεσίες: στον Σηκουάνα στο Παρίσι (1719), στον Έλβα στο Μαγδεμβούργο (1727), στον Ρήνο στο Έμεριχ (1770). Με την επισημοποίηση των υδραυλικών νόμων (Antoine Chézy, Daniel Bernoulli και άλλοι), η μετρολογία προχώρησε, όπως και η βελτίωση των συσκευών μέτρησης της ταχύτητας των ποταμών: βασιζόμενοι στο έργο των Άγγλων Robert Hooke και Henry de Saumarez για συσκευές μέτρησης της ταχύτητας των πλοίων, οι Estavao Cabral (1786) και Reinhardt Woltman (1790) εφεύραν τον πρώτο υδρομετρικό κύλινδρο. Λίγα χρόνια νωρίτερα, το 1732, ο Γάλλος εφευρέτης Henri Pitot δημιούργησε τον σωλήνα Pitot, τον οποίο περιέγραψε ως "ένα κατασκευάσμα για τη μέτρηση της ταχύτητας του τρεχούμενου νερού και των κυμάτων των πλοίων". Κατά τη διάρκεια της μεγάλης πλημμύρας του 1910 στο Παρίσι, με αυτόν τον εξοπλισμό συγκεκριμένα θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση, και με αυτό το όργανο παρακολουθείται ακόμη και σήμερα τακτικά η ταχύτητα των αεροπλάνων.

Στον Τάμεση στο Sheerness, ο Henry Palmer εφεύρε τον πρώτο καταγραφέα συνεχούς στάθμης νερού (με καταγραφή σε χάρτινο γράφημα), ο οποίος τοποθετήθηκε το 1832. Η εφεύρεση του Πάλμερ ήταν η πρώτη του είδους της.

Η μέτρηση των υψών, οι μετρητές, οι καμπύλες βαθμονόμησης και οι υπολογισμοί συνεχούς ροής εφαρμόζονται σε μερικές ασυνήθιστες τοποθεσίες: στον Ρήνο στη Βασιλεία (1808) και στον Μέμελ στο Schmalleninken (στις Κάτω Χώρες) (1812).

Όταν το κοινωνικοοικονομικό σύστημα της κοινωνίας έγινε πιο εξελιγμένο και σύγχρονο κατά τη διάρκεια του δέκατου ένατου αιώνα, το σύστημα έγινε επίσης πιο ευαίσθητο. Οι μεγάλες πλημμύρες των δεκαετιών 1840 και 1870 προκάλεσαν τεράστιες συζητήσεις σε ολόκληρη τη Δυτική Ευρώπη εκείνη την εποχή. Το 1854, ο Eugène Belgrand δημιούργησε ένα σύστημα παρακολούθησης με στόχο την πρόβλεψη των πλημμυρών του Σηκουάνα στο Παρίσι τρεις ημέρες νωρίτερα, κάτι που κατάφερε.

Ωστόσο, η πραγματική πύκνωση των δικτύων μέτρησης, όπως αποδεικνύεται από την παραγωγή ημερήσιων ακολουθιών ροής, δεν θα συμβεί πριν από την αλλαγή του αιώνα, με σκοπό

τον προσδιορισμό του υδροηλεκτρικού δυναμικού: Νορβηγία (1890), Ισλανδία (1894), Σουηδία (1907), Γαλλία (1909) και Ηνωμένο Βασίλειο (1910). (1903). Το 1906 λειτουργούσαν 290 υδρομετρικοί σταθμοί σε όλη την Ελβετία.

Η μέτρηση της αραίωσης, η οποία προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο Théophile Schloesing το 1863 και αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική στους ορεινούς χείμαρρους, διαχειρίστηκε πλήρως μόλις στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Στις 17 Φεβρουαρίου και στις 11 Μαρτίου 1944, δύο μετρητές στο Guil ζήτησαν την έγχυση 1480 και 2190 kg μετουσιωμένου αλατιού, αντίστοιχα, για ροή ποταμού περίπου 2,5 m³/s. Αυτό κατέστησε αναγκαία την αναζήτηση άλλων ιχνηθετών που ήταν σταθεροί, ιδιαίτερα διαλυτοί και δεν υπήρχαν στο νερό στην κανονική του κατάσταση. Ένας φωτεινός ιχνηθέτης ροδαμίνης αναπτύχθηκε στη Γαλλία στις αρχές της δεκαετίας του 1950 και χρησιμοποιήθηκε ευρέως έως ότου αντικαταστάθηκε από τον ιχνηθέτη διχρωμικού νατρίου τη δεκαετία του 1990.

Ο Maurice Pardé (1893-1973) είναι γνωστός ως ο συγγραφέας μιας σημαντικής διατριβής για τον ποταμό Ροδανό το 1925, η οποία θεωρείται ακόμη και σήμερα έγκυρη. Η ποταμολογία, η μελέτη των ποταμών και των καθεστώτων τους, του αποδίδεται ως ο ιδρυτής του κλάδου. Προωθεί τις υδρομετρικές πληροφορίες σε εκθαμβωτικές συνθέσεις για τους μεγάλους ποταμούς του κόσμου, ιδίως στο πεδίο των πλημμυρών, διατηρώντας ένα δίκτυο ανταποκριτών από όλο τον κόσμο.

Μετά το 1960, προέκυψαν νέες προκλήσεις (γεωργικές, πόσιμο νερό, αναψυχής και ρυθμιστικές)- τα δίκτυα μετρήσεων δεν επικεντρώθηκαν πλέον στις γεωμορφές, αλλά αντίθετα "κατέβηκαν στις πεδιάδες", με σταθμούς πιο ομοιόμορφα διασκορπισμένοι σε όλη τη χώρα.

Η μετάδοση δεδομένων ύψους σε μεγάλες αποστάσεις έγινε συνήθης τη δεκαετία του 1980. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι διακομιστές ηλεκτρονικών υπολογιστών έκαναν τα δεδομένα από τα δίκτυα του Υπουργείου Περιβάλλοντος προσβάσιμα στα μέλη του ευρέος κοινού στη Γαλλία, όπου προηγουμένως δεν ήταν διαθέσιμα.

Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 30 ετών, η ανάπτυξη νέων τεχνικών (μέτρηση ταχύτητας με υπερήχους- ADCP- LSPIV) επέτρεψε στους ερευνητές να αποκτήσουν επιτέλους καλύτερη κατανόηση των διαμερισμάτων που προηγουμένως είχαν αγνοηθεί από την υδρομετρία: πεδινά ποτάμια με χαμηλή ταχύτητα ροής- παλιρροϊκά τμήματα- και χείμαρροι που υπόκεινται σε αστραπιαίες πλημμύρες - οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα σημαντική μετακίνηση των σχετικών ιζημάτων.

1.4 Υδρομετρία

Η υγρασία ορίζεται ως η ποσότητα των υδρατμών που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Γενικά, οι υδρατμοί, που είναι η αέρια κατάσταση του νερού, είναι ανεπαίσθητοι στην ανθρώπινη όραση. Η παρουσία κατακρημνισμάτων, δροσιάς ή ομίχλης υποδεικνύεται από τη σχετική υγρασία του αέρα.

Η υγρασία ενός συστήματος καθορίζεται από τη θερμοκρασία και την πίεση του εξεταζόμενου συστήματος. Όταν η ίδια ποσότητα υδρατμών υπάρχει τόσο στον ψυχρό όσο και στον θερμό αέρα, η υγρασία στον ψυχρό αέρα είναι μεγαλύτερη από ό,τι στον θερμό αέρα. Το σημείο δρόσου είναι μια παράμετρος που συνδέεται με αυτήν. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί την ανάλογη αύξηση του όγκου των υδρατμών που απαιτούνται για να επιτευχθεί ο κορεσμός. Επειδή η θερμοκρασία μειώνεται, ένα πακέτο αέρα θα προσεγγίσει τελικά το σημείο κορεσμού χωρίς να προσθέσει ή να αφαιρέσει μάζα νερού από το περιβάλλον. Η ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται στο εσωτερικό ενός συγκεκριμένου πακέτου αέρα μπορεί να διαφέρει δραματικά από τη μία τοποθεσία στην άλλη. Για παράδειγμα, στους 30 βαθμούς Κελσίου (86 βαθμούς Φαρενάιτ), ένα πακέτο αέρα σε κατάσταση κορεσμού μπορεί να περιέχει 28 γραμμάρια (0,99 ουγγιές) νερού ανά κυβικό μέτρο αέρα, αλλά μόνο 8 γραμμάρια (0,28 ουγγιές) νερού ανά κυβικό μέτρο αέρα στους 8 βαθμούς Κελσίου (46 βαθμούς Φαρενάιτ).

Το ψυχρόμετρο, μερικές φορές γνωστό και ως υγρόμετρο, είναι μια συσκευή που μετρά την υγρασία του αέρα. Ο υγραντήρας είναι ένας διακόπτης που ενεργοποιείται από την υγρασία και χρησιμοποιείται συχνά για τη λειτουργία ενός αφυγραντήρα.

Όταν είναι γνωστές τόσο η θερμοκρασία ξηρού βολβού (T) όσο και η θερμοκρασία υγρού βολβού (Tw) ενός συνδυασμού αέρα και υδρατμών, η υγρασία του μείγματος μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση ψυχομετρικών διαγραμμάτων. Ένα ψυχρόμετρο σφεντόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό αυτών των αριθμών με σχετική ευκολία.

Η μέτρηση και η ρύθμιση της υγρασίας επιτυγχάνονται με τη χρήση διαφόρων ειδών εξοπλισμού. Το βαρυτομετρικό υγρόμετρο, το υγρόμετρο με ψυχόμενο κάτοπτρο και το ηλεκτρολυτικό υγρόμετρο αποτελούν άριστα πρότυπα βαθμονόμησης για την ακριβέστερη δυνατή μέτρηση στο πεδίο. Ενώ η βαρυμετρική προσέγγιση είναι η πιο ακριβής, είναι επίσης η πιο χρονοβόρα. Η τεχνική του ψυχόμενου κατόπτρου είναι αποτελεσματική για τη μέτρηση αποστάσεων γρήγορα και με υψηλή ακρίβεια. Όσον αφορά τις μετρήσεις σε απευθείας σύνδεση με τη διαδικασία, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες στις μέρες μας είναι αισθητήρες χωρητικότητας που ανιχνεύουν τη σχετική υγρασία και είναι συνήθως εξοπλισμένοι με εσωτερικούς μετατροπείς που δείχνουν και την απόλυτη υγρασία. Αυτοί είναι φθηνοί, απλοί, συνήθως ακριβείς και κάπως ανθεκτικοί. Με την παρουσία αερίων με σκόνη, όπως τα ρεύματα καυσαερίων των στεγνωτηρίων, όλοι οι αισθητήρες υγρασίας δυσκολεύονται να ανιχνεύσουν την υγρασία.

Η υγρασία παρακολουθείται επίσης σε παγκόσμια κλίμακα χρησιμοποιώντας δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη. Αυτοί οι δορυφόροι έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν την περιεκτικότητα του νερού στην τροπόσφαιρα σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 4 έως 12 χιλιόμετρα (km). Οι αισθητήρες στους δορυφόρους ανίχνευσης υδρατμών είναι ευαίσθητοι στο υπέρυθρο φως, το οποίο εκπέμπεται από τον ήλιο. Οι υδρατμοί απορροφούν και

επανεκπέμπουν ενέργεια μόνο σε αυτή τη φασματική περιοχή και σε καμία άλλη. Η δορυφορική φωτογράφιση των υδρατμών είναι ζωτικής σημασίας για την παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών (όπως η παραγωγή καταιγίδων) και τη δημιουργία μετεωρολογικών προβλέψεων, μεταξύ άλλων εφαρμογών.

1.5 Ανεμομετρία

Ένα βασικό ατμοσφαιρικό μέγεθος στη μετεωρολογία, η ταχύτητα του ανέμου ή η ταχύτητα ροής του ανέμου, παράγεται από τη ροή του αέρα από υψηλή σε χαμηλή πίεση, κυρίως ως αποτέλεσμα των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας. Ένα ανεμόμετρο χρησιμοποιείται πλέον συνήθως για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου.

Εκτός από τον αντίκτυπο που έχει στις μετεωρολογικές προβλέψεις, στις αεροπορικές και θαλάσσιες επιχειρήσεις, στα οικοδομικά έργα, στην ανάπτυξη και τον ρυθμό μεταβολισμού πολλών φυτικών ειδών, η ταχύτητα του ανέμου έχει μια σειρά από πρόσθετες επιδράσεις.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ως αποτέλεσμα της περιστροφής της Γης, η κατεύθυνση του ανέμου είναι συχνά περίπου παράλληλη με τις ισοβαθείς (και όχι κάθετη, όπως θα υπέθετε κανείς).

Μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) είναι η μονάδα SI για την ταχύτητα και η μονάδα που συνιστάται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό για την αναφορά της ταχύτητας του ανέμου και χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων στις μετεωρολογικές προβλέψεις στις σκανδιναβικές χώρες.

Το ανεμόμετρο είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου. Είναι επίσης μια τυπική συσκευή που χρησιμοποιείται σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Ο όρος προέρχεται από την ελληνική λέξη ANEMOS, που σημαίνει άνεμος, και χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει κάθε όργανο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου που χρησιμοποιείται στη μετεωρολογία, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή. Όταν ο Λεόν Μπατίστα Αλμπέρτι περιέγραψε το ανεμόμετρο το 1450, θεωρείται η πρώτη γνωστή περιγραφή του οργάνου.

Από την εφεύρεσή του τον 15ο αιώνα, το ανεμόμετρο έχει υποστεί μόνο μικρές τροποποιήσεις. Γύρω στο 1450, ο Leon Battista Alberti (1404-1472) πιστώνεται με την εφεύρεση του πρώτου μηχανικού ανεμομέτρου, σύμφωνα με τον θρύλο. Κατά τη διάρκεια των ετών που ακολούθησαν, διάφοροι άλλοι, ιδίως ο Robert Hooke (1635-1703), κατασκεύασαν τις δικές τους εκδοχές, με ορισμένους από αυτούς να αναγνωρίζονται λανθασμένα ως ο αρχικός δημιουργός της εφεύρεσης. Το 1846, ο John Thomas Romney Robinson (1792-1882) πραγματοποίησε σημαντικές βελτιώσεις στο σχέδιο, συμπεριλαμβάνοντας στην κατασκευή τέσσερα ημισφαιρικά κύπελλα και μηχανικούς τροχούς. Ο John Patterson (3 Ιανουαρίου 1872 - 22 Φεβρουαρίου 1956), Καναδός μετεωρολόγος, εφηύρε ένα ανεμόμετρο τριών κυπέλλων το 1926, το οποίο τελειοποιήθηκε από τους Brevoort και Joiner το επόμενο έτος. Ο Derek Weston εισήγαγε τη

δυνατότητα προσδιορισμού της κατεύθυνσης του ανέμου στο όργανό του το 1991. Ο Pflitsch εφηύρε το ακουστικό ανεμόμετρο το 1994 και έκτοτε χρησιμοποιείται.

Ο Αιδεσιμότητος Δρ John Thomas Romney Robinson του Αστεροσκοπείου Armagh ήταν ο πρώτος που δημιούργησε ένα βασικό είδος ανεμομέτρου, το οποίο έγινε το 1845. Αποτελούνταν από τέσσερα ημισφαιρικά κύπελλα που ήταν στερεωμένα σε οριζόντιους βραχίονες, οι οποίοι με τη σειρά τους ήταν τοποθετημένοι σε έναν κατακόρυφο άξονα. Η ροή του αέρα μέσα από τα κύπελλα σε κάθε οριζόντια κατεύθυνση γύριζε τον άξονα με ρυθμό που ήταν σχεδόν ανάλογος με την ταχύτητα του ανέμου που έπνεε μέσα από τα κύπελλα. Εξαιτίας αυτού, η καταμέτρηση των περιστροφών του άξονα κατά τη διάρκεια μιας προκαθορισμένης χρονικής περιόδου έδωσε ένα αποτέλεσμα που ήταν ανάλογο της μέσης ταχύτητας του ανέμου σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου. Σε ορισμένους κύκλους αναφέρεται ως περιστρεφόμενο ανεμόμετρο.

Μια απλή παρατήρηση μπορεί να γίνει σε ένα ανεμόμετρο τεσσάρων φλιτζανιών παρατηρώντας πώς κάθε φλιτζάνι τοποθετείται στο άκρο των βραχιόνων με συμμετρικό τρόπο. Ο άνεμος έχει πάντα το κοίλο ενός κυπέλλου που του προσφέρεται και ο άνεμος φυσά πάντα στο πίσω μέρος του κυπέλλου σε ένα από τα αντίθετα άκρα του σταυρού. Περισσότερη δύναμη δημιουργείται στο κύπελλο που είναι εκτεθειμένο στον άνεμο από την κοίλη πλευρά του, καθώς ένα κοίλο ημισφαίριο έχει συντελεστή αντίστασης 0,38 στην κυλινδρική πλευρά και 1,42 στην πορώδη πλευρά ενός κοίλου ημισφαιρίου. Σε απόκριση αυτής της ασύμμετρης δύναμης, δημιουργείται ροπή στον άξονα του ανεμομέτρου, αναγκάζοντάς το να περιστραφεί.

Δεδομένου ότι η δύναμη που δημιουργείται σε ένα κινούμενο αντικείμενο είναι ανάλογη της ταχύτητας του ρευστού που ρέει από αυτό, είναι θεωρητικά σωστό να υποθέσουμε ότι η ταχύτητα περιστροφής του ανεμομέτρου είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Ενώ αυτό ισχύει στη θεωρία, στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλά πρόσθετα στοιχεία που επηρεάζουν την ταχύτητα περιστροφής, όπως οι αναταράξεις που προκαλούνται από τη συσκευή, η αυξανόμενη αντίσταση σε αντίθεση με τη ροπή που παράγεται από τα κύπελλα και τους βραχίονες στήριξης και η τριβή στο σημείο στήριξης. Την πρώτη φορά που ο Robinson δημιούργησε το ανεμόμετρό του, ισχυρίστηκε ότι τα κύπελλα κινούνταν με ρυθμό ίσο με το ένα τρίτο της ταχύτητας του ανέμου, ανεξάρτητα από το μέγεθος των κυπέλλων ή το μήκος του βραχίονα. Αυτό φάνηκε να υποστηρίζεται από αρκετές πρώιμες ανεξάρτητες δοκιμές, ωστόσο αποδείχθηκε ανακριβές. Αντίθετα, ο ανεμομετρικός συντελεστής, που είναι η σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της ταχύτητας των κυπέλλων, εξαρτάται από το μέγεθος των κυπέλλων και των βραχιόνων και μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο και λίγο περισσότερο από τρία. Μετά την ανακάλυψη της ανακρίβειας, κάθε προηγούμενο πείραμα που χρησιμοποιούσε ανεμόμετρο έπρεπε να ξαναγίνει.

Με την ανάπτυξη του ανεμομέτρου τριών κυπέλλων από τον Καναδό John Patterson το 1926 και τις επακόλουθες βελτιώσεις των κυπέλλων από την Brevoort & Joiner των Ηνωμένων Πολιτειών το 1935, αναπτύχθηκε ένας σχεδιασμός κυπέλλου με σχεδόν γραμμική απόκριση και σφάλμα μικρότερο του 3% μέχρι τα 97 km/h (60 mph). Ο Patterson ανακάλυψε ότι κάθε κύπελλο δημιουργούσε τη μεγαλύτερη ροπή όταν ήταν προσανατολισμένο 45 μοίρες προς τη διεύθυνση της ροής του ανέμου. Επιπλέον, το ανεμόμετρο τριών φλιτζανιών είχε πιο σταθερή ροπή και

αντιδρούσε στις ριπές ταχύτερα από το ανεμόμετρο τεσσάρων φλιτζανιών, το οποίο ήταν το πρότυπο.

Το ανεμόμετρο τριών φλιτζανιών βελτιώθηκε περαιτέρω από τον Δρ Derek Weston από την Αυστραλία το 1991, επιτρέποντάς του να παρακολουθεί ταυτόχρονα την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Η ετικέτα σε ένα από τα κύπελλα προκαλεί την αύξηση και τη μείωση της ταχύτητας του κυπελλοειδούς τροχού, καθώς η ετικέτα κινείται εναλλάξ αλλά και ενάντια στον άνεμο, όπως έδειξε το πείραμα του Weston. Η κατεύθυνση του ανέμου υπολογίζεται από αυτές τις κυκλικές μεταβολές της ταχύτητας του κυπελλόδρομου, ενώ η ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται από τη μέση ταχύτητα του κυπελλόδρομου.

Η έρευνα και η πρακτική της εκτίμησης των αιολικών πόρων διεξάγεται πλέον με ανεμόμετρα τριών κυπέλλων, τα οποία θεωρούνται το βιομηχανικό πρότυπο.

Το ανεμόμετρο πτερυγίου είναι ένας από τους διαφορετικούς τύπους μηχανικών ανεμομέτρων ταχύτητας που είναι διαθέσιμα. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανεμόμετρο ανεμόμυλου ή προπέλας, ανάλογα με την οπτική σας γωνία. Σε αντίθεση με το ανεμόμετρο Robinson, του οποίου ο άξονας περιστροφής είναι κατακόρυφος, το ανεμόμετρο πτερυγίων πρέπει να έχει τον άξονα περιστροφής του παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου, και ως εκ τούτου, ο άξονας περιστροφής του είναι οριζόντιος. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο άνεμος αλλάζει κατεύθυνση και ο άξονας πρέπει να αλλάζει κατεύθυνση σε απόκριση των αλλαγών, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πτερύγιο ανέμου ή κάποια άλλη συσκευή για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος για αντιστάθμιση.

Ο συνδυασμός έλικας και ουράς στον ίδιο άξονα επιτρέπει τη λήψη ακριβών δεδομένων ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου από ένα μόνο όργανο με τη χρήση ανεμόμετρου πτερυγίου.

Η ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα καταγράφεται από έναν μετρητή στροφών και η προκύπτουσα ταχύτητα του ανέμου μετατρέπεται από ένα ηλεκτρικό τσιπ. Ως αποτέλεσμα, εάν είναι γνωστή η επιφάνεια διατομής, είναι δυνατός ο υπολογισμός της ογκομετρικής ροής.

Οι μετρητές αέρα, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η κατεύθυνση της κίνησης του αέρα είναι συνεχώς η ίδια, όπως τα φρεάτια εξαερισμού των ορυχείων και των κτιρίων, παρέχουν καλά αποτελέσματα όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με πτερύγια ανέμου.

Τα ανεμόμετρα θερμού σύρματος χρησιμοποιούν ένα μικροσκοπικό σύρμα (της τάξης των λίγων μικρομέτρων σε διάμετρο) που έχει θερμανθεί ηλεκτρικά σε θερμοκρασία κάπως υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το σύρμα ψύχεται από τον αέρα που το διαπερνά. Είναι δυνατόν να δημιουργηθεί μια σχέση μεταξύ της αντίστασης ενός θερμού σύρματος και της ταχύτητας του αέρα, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αντίσταση των περισσότερων μετάλλων βασίζεται στη θερμοκρασία τους (το βολφράμιο είναι μια συχνή επιλογή για θερμά σύρματα). Δεν μπορούν, στις περισσότερες περιπτώσεις, να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης της ροής του αέρα, εκτός εάν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ένα ανεμοδείκτη.

Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για να γίνει αυτό, και οι συσκευές θερμού σύρματος μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε CCA (ανεμόμετρο σταθερού ρεύματος), CVA (ανεμόμετρο σταθερής τάσης) και CTA (ανεμόμετρο σταθερής θερμοκρασίας). Ο νόμος του Ohm μας λέει ότι η τάση που παράγεται από αυτά τα ανεμόμετρα είναι συνέπεια κάποιας μορφής κυκλώματος στο εσωτερικό κάθε συσκευής που προσπαθεί να διατηρήσει τη συγκεκριμένη μεταβλητή (ρεύμα, τάση ή θερμοκρασία) σταθερή.

Υπάρχει επίσης η χρήση των ανεμομέτρων PWM (διαμόρφωση εύρους παλμών), στα οποία η ταχύτητα συνάγεται με βάση τη διάρκεια ενός επαναλαμβανόμενου παλμού ρεύματος που ανεβάζει το καλώδιο σε μια προκαθορισμένη αντίσταση πριν σταματήσει μέχρι να επιτευχθεί ένα κατώτατο όριο, οπότε ο παλμός μεταδίδεται ξανά.

Αν και τα ανεμόμετρα θερμού σύρματος είναι εξαιρετικά ευαίσθητα, έχουν εξαιρετικά υψηλή απόκριση συχνότητας και λεπτή χοριακή ανάλυση σε σύγκριση με άλλες μεθόδους μέτρησης, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σχεδόν καθολικά για τη λεπτομερή μελέτη τυρβωδών ροών ή οποιασδήποτε ροής στην οποία ενδιαφέρουν οι ταχείες διακυμάνσεις της ταχύτητας, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους μέτρησης.

Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένας θερμικός μετρητής ροής στη θέση ενός ανεμόμετρου λεπτού σύρματος σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Ο θερμικός μετρητής ροής λειτουργεί με την ίδια αρχή όπως το ανεμόμετρο λεπτού σύρματος, αλλά παρακολουθεί τις μεταβολές της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας δύο ακίδες ή χορδές. Παρόλο που οι χορδές περιλαμβάνουν λεπτά σύρματα, τα σύρματα περικλείονται σε προστατευτικό περίβλημα, γεγονός που τα καθιστά πολύ πιο ανθεκτικά και ικανά να ανιχνεύουν σωστά τη ροή του αέρα, των αερίων και των ρύπων μέσω σωλήνων, αγωγών και στομιών. Οι βιομηχανικές εφαρμογές περιλαμβάνουν συχνά “βρωμιά”, η οποία μπορεί να προκαλέσει βλάβη σε ένα παραδοσιακό ανεμόμετρο θερμού σύρματος.

Ένας εναλλακτικός τρόπος μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου, είναι με τη χρήση ταχύτητας λέιζερ Doppler, (χρησιμοποιούνται ανεμόμετρα λέιζερ). Μια δέσμη φωτός λέιζερ χωρίζεται σε δύο δέσμες και η μία από αυτές διαδίδεται έξω από το ανεμόμετρο. Κοντά στο σημείο εξόδου της δέσμης λέιζερ, σωματίδια (ή σκόπιμα εγχυόμενο υλικό σποράς) που ρέουν με μόρια αέρα αντανακλούν, ή οπισθοσκεδάζουν, το φως πίσω σε έναν ανιχνευτή, όπου μετράται σε σχέση με την αρχική δέσμη λέιζερ. Μια μετατόπιση Doppler εμφανίζεται όταν τα σωματίδια κινούνται γρήγορα, και αυτό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ταχύτητας του ανέμου στο φως του λέιζερ. Η μετατόπιση Doppler χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να υπολογιστεί πόσο γρήγορα κινούνται τα σωματίδια και, επομένως, πόσο γρήγορα κινείται ο αέρας που περιβάλλει το ανεμόμετρο.

Τα ανεμόμετρα υπερήχων, τα οποία δημιουργήθηκαν αρχικά τη δεκαετία του 1950, μετρούν την ταχύτητα του ανέμου με τη χρήση υπερηχητικών κυμάτων. Εκτιμούν την ταχύτητα του ανέμου με βάση το χρόνο που χρειάζονται οι ακουστικοί παλμοί για να ταξιδέψουν μεταξύ ζευγών μετατροπέων για να φτάσουν στον προορισμό τους. Μια μέτρηση της ταχύτητας σε 1-

διάστατη, 2-διάστατη ή 3-διάστατη ροή μπορεί να ληφθεί συνδυάζοντας μετρήσεις από ζεύγη μορφοτροπέων (ή μετατροπέων). Επειδή το μήκος διαδρομής μεταξύ των μορφοτροπέων είναι γενικά 10 έως 20 cm, η χοριακή ανάλυση καθορίζεται από αυτό το μήκος. Τα ανεμόμετρα υπερήχων έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν μετρήσεις με πολύ λεπτή χρονική ανάλυση, 20 Hz ή μεγαλύτερη, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλα για μελέτες τύρβης. Επειδή δεν διαθέτουν κινητά εξαρτήματα, είναι κατάλληλα για μακροχρόνια χρήση σε εκτεθειμένους αυτοματοποιημένους μετεωρολογικούς σταθμούς και μετεωρολογικές σηματοδούρες, όπου η ακρίβεια και η αξιοπιστία των συμβατικών ανεμομέτρων με κύπελλο και πτερύγια επηρεάζονται σημαντικά από τον αλμυρό αέρα ή τη σκόνη, καθώς και σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι η στρέβλωση της ροής του αέρα που προκαλείται από τη δομή που στηρίζει τους μετατροπέες, η οποία απαιτεί διόρθωση με βάση δεδομένων αεροσήραγγας προκειμένου να μειωθεί η επίπτωση όσο το δυνατόν περισσότερο. Το *ISO 16622 Μετεωρολογία-Ανεμόμετρα/θερμόμετρα υπερήχων-Τεχνικές δοκιμής αποδοχής για μετρήσεις μέσου ανέμου* είναι ένα διεθνές πρότυπο που διέπει αυτή τη διαδικασία. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι η ακρίβεια μειώνεται ως αποτέλεσμα της βροχόπτωσης, καθώς οι σταγόνες βροχής μπορεί να προκαλέσουν αλλαγή της ταχύτητας του ήχου.

Λόγω του γεγονότος ότι η ταχύτητα του ήχου αυξομειώνεται με τη θερμοκρασία και είναι ουσιαστικά σταθερή με τη μεταβολή της πίεσης, τα ανεμόμετρα υπερήχων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας.

Τα δισδιάστατα ηχητικά ανεμόμετρα (τα οποία μετρούν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου) χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, μεταξύ άλλων σε μετεωρολογικούς σταθμούς, πλοήγηση πλοίων, αεροσκάφη, μετεωρολογικές σηματοδούρες και ανεμογεννήτριες. Για την παρακολούθηση ανεμογεννητριών απαιτείται συχνά ρυθμός ανανέωσης 3 Hz, ο οποίος επιτυγχάνεται εύκολα με τη χρήση ηχητικών ανεμομέτρων, τα οποία είναι φθηνά και εύκολα στην εγκατάσταση και τη λειτουργία τους. Όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αναλυτές αερίων υπερύθρων ταχείας απόκρισης ή αναλυτές με βάση το λέιζερ. Τα τρισδιάστατα ηχητικά ανεμόμετρα χρησιμοποιούνται συνήθως για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων και των ροών οικοσυστημάτων χρησιμοποιώντας την προσέγγιση της συνδιακύμανσης στροβίλου, η οποία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική.

Διατίθενται δύο είδη δισδιάστατων αισθητήρων ανέμου:

- Υπέρηχοι δύο δρόμων: οι αισθητήρες αυτοί έχουν συνολικά τέσσερις βραχίονες. Το μειονέκτημα αυτού του είδους αισθητήρα είναι ότι όταν ο άνεμος φυσάει προς την κατεύθυνση μιας διαδρομής υπερήχων, οι βραχίονες του αισθητήρα διακόπτουν τη ροή του αέρα, μειώνοντας κατά συνέπεια την ακρίβεια της μέτρησης που πραγματοποιείται.
- Τρεις διαδρομές υπερήχων παρέχονται από αυτούς τους αισθητήρες, οι οποίοι διαθέτουν τρεις βραχίονες. Επιπλέον, παρέχουν μία διαδρομή πλεονασμού της

μέτρησης, η οποία ενισχύει την ακρίβεια του αισθητήρα, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις αεροδυναμικές αναταράξεις.

Τα ανεμόμετρα ακουστικού συντονισμού αποτελούν σχετικά πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα της μέτρησης του ανέμου. Ο Σάββας Καπαρτής ανέπτυξε την τεχνική, η οποία στη συνέχεια κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1999. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ηχητικά ανεμόμετρα, τα οποία μετρούν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιώντας μετρήσεις του χρόνου πτήσης, οι αισθητήρες ακουστικού συντονισμού ανιχνεύουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιώντας ηχητικά (υπερηχητικά) κύματα που συντονίζονται μέσα σε μια μικροσκοπική, ειδικά κατασκευασμένη κοιλότητα.

Οι μετατροπείς υπερήχων ενσωματώνονται στις κοιλότητες και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των διακριτών μοτίβων στάσιμων κυμάτων σε συχνότητες υπερήχων, τα οποία εμφανίζονται στην οθόνη. Ο άνεμος που διέρχεται από την κοιλότητα προκαλεί αλλαγή στις ιδιότητες του κύματος, η οποία φαίνεται στο διάγραμμα (μετατόπιση φάσης). Ο αισθητήρας είναι σε θέση να προσφέρει μια ακριβή οριζόντια μέτρηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, επειδή μετρά τον βαθμό μετατόπισης φάσης στα λαμβανόμενα σήματα από κάθε μορφοτροπέα και στη συνέχεια επεξεργάζεται υπολογιστικά τα δεδομένα.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία ακουστικού συντονισμού είναι συχνά μικρότεροι σε μέγεθος από εκείνους που χρησιμοποιούνται σε άλλους αισθητήρες υπερήχων, καθώς η τεχνική επιτρέπει τη μέτρηση μέσα σε μια μικροσκοπική κοιλότητα. Λόγω του συμπαγούς μεγέθους τους, τα ανεμόμετρα ακουστικού συντονισμού είναι φυσικά ανθεκτικά και απλά θερμαινόμενα, γεγονός που τα καθιστά ανθεκτικά στον παγετό και τον σχηματισμό πάγου. Εξαιτίας αυτού του συνδυασμού χαρακτηριστικών, είναι σε θέση να επιτύχουν υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας δεδομένων και είναι ιδανικά κατάλληλα για τη διαχείριση ανεμογεννητριών καθώς και για άλλες εφαρμογές που απαιτούν μικροσκοπικούς, ανθεκτικούς αισθητήρες, όπως η παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών στο πεδίο της μάχης. Σε σύγκριση με έναν μηχανικό αισθητήρα που έχει βαθμονομηθεί, η ακρίβεια μέτρησης αυτού του τύπου αισθητήρα αποτελεί πρόβλημα. Λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής του αισθητήρα και του γεγονότος ότι δεν χρειάζεται επαναβαθμονόμηση μετά την εγκατάσταση, αυτή η έλλειψη αντισταθμίζεται με το παραπάνω σε πολλές τελικές εφαρμογές.

Μια μπάλα του “πινγκ-πονγκ” που είναι δεμένη με σπάγκο χρησιμεύει ως ένα υποτυπώδες ανεμόμετρο για τη μέτρηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου. Όταν ο άνεμος πνέει οριζόντια, ωθεί τη μπάλα και την κάνει να κινηθεί- δεδομένου ότι οι μπάλες του πινγκ-πονγκ είναι τόσο ελαφριές, κινούνται εύκολα σε ασθενείς ανέμους. Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να εκτιμηθεί με τη μέτρηση της γωνίας που σχηματίζει η συσκευή της μπάλας με τη χορδή με την κατακόρυφο.

Οι περισσότεροι μαθητές δημιουργούν τις δικές τους εκδοχές αυτού του είδους ανεμόμετρου για την εκπαίδευση στο επίπεδο της μέσης εκπαίδευσης, ωστόσο ένα ανάλογο όργανο πέταξε στο σκάφος Phoenix Mars Lander, το οποίο εκτοξεύτηκε το 2004.

Πρόκειται για τα πρώτα ανεμόμετρα της σύγχρονης εποχής. Κατασκευάζονται από μια επίπεδη πλάκα που κρέμεται από την κορυφή έτσι ώστε η πλάκα να εκτρέπεται από τον άνεμο. Το πρώτο μηχανικό ανεμόμετρο δημιουργήθηκε το 1450 από τον Ιταλό αρχιτέκτονα τέχνης Leon Battista Alberti και εφευρέθηκε εκ νέου το 1664 από τον Robert Hooke, ο οποίος γεννήθηκε στην Αγγλία (ο οποίος συχνά θεωρείται λανθασμένα ο εφευρέτης του πρώτου ανεμομέτρου). Τα πτερύγια του ανέμου χρησιμοποιήθηκαν για να διατηρήσουν την τυπική κατεύθυνση του ανέμου σε μεταγενέστερες παραλλαγές αυτού του σχεδίου, το οποίο αποτελούνταν από μια επίπεδη πλάκα που μπορούσε να έχει τετράγωνο ή κυκλικό σχήμα. Ένα ελατήριο εμποδίζει την πίεση του ανέμου να πιέζει την όψη του. Η πραγματική δύναμη που ασκείται στην πλάκα από τον άνεμο καθορίζεται από τη συμπίεση του ελατηρίου, η οποία μπορεί να διαβαστεί σε κατάλληλο μετρητή ή να καταγραφεί. Τα όργανα αυτού του είδους δεν αντιδρούν στους ήπιους ανέμους, είναι λανθασμένα όταν διαβάσουν υψηλές ταχύτητες ανέμου και αντιδρούν αργά όταν έχουν να κάνουν με διαφορετικές ταχύτητες ανέμου. Όταν προβλέπονται ισχυροί άνεμοι, τα ανεμόμετρα πλάκας χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση των συναγερμών ισχυρών ανέμων στις γέφυρες.

Τα ανεμόμετρα υπάρχουν από τις αρχές του 1800. Το ανεμόμετρο του James Lind από το 1775 ήταν ένας γυάλινος σωλήνας U που έφερε ένα υγρό μανόμετρο. Το ένα άκρο του σωλήνα ήταν λυγισμένο οριζόντια ώστε να βλέπει τον άνεμο, ενώ το άλλο κατακόρυφο άκρο παρέμενε παράλληλο προς τη ροή του ανέμου. Παρά το γεγονός ότι το Lind δεν ήταν το πρώτο ανεμόμετρο του είδους του, ήταν το πιο πρακτικό και το πιο αναγνωρισμένο. Ο άνεμος που πνέει στο στόμιο ενός σωλήνα δημιουργεί αύξηση της πίεσης στη μία πλευρά ενός μανομέτρου, η οποία μετράται. Ο άνεμος που πνέει στο ανοιχτό άκρο ενός κατακόρυφου σωλήνα δημιουργεί ελάχιστη μεταβολή της πίεσης στην απέναντι πλευρά του μανομέτρου, σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο σκελών του σωλήνα U που προκύπτει ως συνέπεια αυτού είναι ένας δείκτης της ταχύτητας του ανέμου. Παρόλο που η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να κατευθύνεται ακριβώς στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα για ακριβή μέτρηση, ακόμη και μικροσκοπικές αποκλίσεις από τη σωστή κατεύθυνση του ανέμου δημιουργούν τεράστιες διαφορές στην τιμή.

Αυτή η διαφορά πίεσης μεταξύ του ανοικτού στομίου ενός ευθύγραμμου σωλήνα που βλέπει προς τον άνεμο και ενός δακτυλίου μικροσκοπικών οπών σε έναν κατακόρυφο σωλήνα που είναι κλειστός στο άνω άκρο χρησιμοποιήθηκε στο επιτυχημένο ανεμόμετρο μεταλλικού σωλήνα πίεσης του William Henry Dins το 1892. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι και τα δύο εγκαθίστανται στο ίδιο ύψος. Επειδή οι μεταβολές της πίεσης από τις οποίες εξαρτάται η δράση είναι τόσο μικροσκοπικές, χρειάζεται ειδικός εξοπλισμός για την ανίχνευσή τους. Ο καταγραφέας αποτελείται από έναν πλωτήρα που αιωρείται σε έναν σφραγισμένο θάλαμο που είναι εν μέρει γεμάτος με νερό. Όταν ο ευθύγραμμος σωλήνας προσαρτάται στον σφραγισμένο θάλαμο, ο σωλήνας από τους μικροσκοπικούς σωλήνες οδηγείται μέσω αυτού στον πυθμένα του, όπου θα

παραμένει μέχρι να αφαιρεθεί. Δεδομένου ότι η διαφορά πίεσης είναι αυτή που ελέγχει την κατακόρυφη θέση του πλωτήρα, η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να υπολογιστεί από αυτό.

Εκτός από το γεγονός ότι το εκτεθειμένο τμήμα μπορεί να τοποθετηθεί σε έναν ψηλό στύλο και δεν χρειάζεται λίπανση ή συντήρηση για χρόνια, το ανεμόμετρο σωλήνων έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι το τμήμα καταγραφής μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε κατάλληλη θέση για τον χρήστη. Είναι απαραίτητη η χρήση δύο σωλήνων σύνδεσης. Αν και εκ πρώτης όψεως μπορεί να φαίνεται ότι αρκεί μία μόνο σύνδεση, οι μεταβολές της πίεσης στις οποίες βασίζονται αυτά τα όργανα είναι τόσο μικρές που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πίεση του αέρα στο χώρο όπου βρίσκεται το τμήμα καταγραφής. Κατά συνέπεια, όταν χρησιμοποιείται μόνο το φαινόμενο της πίεσης ή της αναρρόφησης, και όταν αυτή η πίεση ή αναρρόφηση μετράται σε σχέση με την πίεση του αέρα σε ένα συνηθισμένο δωμάτιο όπου οι πόρτες και τα παράθυρα είναι προσεκτικά κλειστά και στη συνέχεια καίγεται μια εφημερίδα στην καμινάδα, μπορεί να παραχθεί ένα φαινόμενο ίσο με ταχύτητα ανέμου 10 μιλίων (16 χιλιομέτρων)- και το άνοιγμα ενός παραθύρου σε κακές καιρικές συνθήκες ή το άνοιγμα μιας πόρτας μπορεί να αλλάξει εντελώς την καταγραφή.

Όταν δοκιμάστηκε στα 16 χλμ/ώρα (10 μίλια/ώρα), το ανεμόμετρο Dines είχε ανακρίβεια μόλις 1%, αλλά δεν είχε καλή απόδοση σε χαμηλούς ανέμους λόγω της κακής αντίδρασης του επίπεδου πτερυγίου που ήταν απαραίτητο για να γείρει την κεφαλή προς τον άνεμο. Αυτή η πρόκληση λύθηκε το 1918 όταν εισήχθη ένα αεροδυναμικό πτερύγιο με οκταπλάσια ροπή από το επίπεδο πιάτο.

Τα σύγχρονα σωληνωτά ανεμόμετρα λειτουργούν με την ίδια αρχή όπως το ανεμόμετρο Dines, αλλά είναι κατασκευασμένα με διαφορετικό τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός σωλήνα pitot-static, ο οποίος είναι ένας σωλήνας pitot που έχει δύο θύρες, μία για pitot και μία για στατική, και χρησιμοποιείται συχνά στη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα των αεροσκαφών. Οι στατικές και δυναμικές πιέσεις μετρώνται με τη χρήση της θύρας pitot, η οποία είναι ένας σωλήνας με ανοιχτό στόμιο και μυτερή κεφαλή που είναι εκτεθειμένη στον άνεμο, και η θύρα pitot και οι στατικές πιέσεις μετρώνται από μικροσκοπικές οπές κατά μήκος της μιας πλευράς του σωλήνα. Ο σωλήνας pitot συνδέεται με μια ουρά με τέτοιο τρόπο ώστε η κεφαλή του σωλήνα να είναι συνεχώς στραμμένη προς την κατεύθυνση του ανέμου. Επιπλέον, ο σωλήνας θερμαίνεται για να αποφεύγεται η παραγωγή πάγου από υμένιο στην επιφάνεια του σωλήνα. Υπάρχουν δύο γραμμές που τρέχουν από τον σωλήνα προς το κάτω μέρος της συσκευής, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της διαφοράς πίεσης μεταξύ των δύο γραμμών πίεσης. Τα μανόμετρα, οι μετατροπείς πίεσης και οι αναλογικοί καταγραφείς διαγραμμάτων αποτελούν παραδείγματα οργάνων μέτρησης.

Η δυναμική πίεση παρακολουθείται πραγματικά στο ανεμόμετρο τύπου σωλήνα, παρά το γεγονός ότι η κλίμακα συνήθως διαβαθμίζεται ως κλίμακα ταχύτητας. Λόγω των μεταβολών της θερμοκρασίας, του ύψους ή της βαρομετρικής πίεσης, η πραγματική πυκνότητα του αέρα μπορεί να διαφέρει από την τιμή βαθμονόμησης. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη η προσαρμογή

για την εξαγωγή της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου. Εάν βρίσκεστε πάνω από τα 6.000 πόδια, θα πρέπει να προσθέσετε περίπου 1,5 τοις εκατό (1,6 τοις εκατό πάνω από τα 6.000 πόδια) στην ταχύτητα που μετράται από ένα σωληνωτό ανεμόμετρο για κάθε 1.000 πόδια (5 τοις εκατό για κάθε χιλιόμετρο) πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Είναι ζωτικής σημασίας για τα αεροδρόμια να έχουν ακριβή δεδομένα ανέμου σε όλες τις καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της παγωμένης βροχόπτωσης, ώστε να λειτουργούν με ασφάλεια. Η ανεμομέτρηση είναι επίσης απαραίτητη για την παρακολούθηση και τη διαχείριση των ανεμογεννητριών, οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στον παγετό μέσα στο σύννεφο σε ψυχρές συνθήκες. Ο πάγος έχει αρνητική επίδραση στην αεροδυναμική ενός ανεμομέτρου και μπορεί να εμποδίσει την πλήρη λειτουργία του. Κατά συνέπεια, τα ανεμόμετρα που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις εφαρμογές πρέπει να περιλαμβάνουν ένα εσωτερικό θερμαντικό στοιχείο. Προς το παρόν, διατίθενται προς αγορά θερμαινόμενες εκδόσεις τόσο των κυπελλοειδών ανεμομέτρων όσο και των ηχητικών ανεμομέτρων.

Προκειμένου οι ταχύτητες του ανέμου να είναι παρόμοιες από περιοχή σε περιοχή, πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση της τοπογραφίας, ιδίως όσον αφορά το ύψος. Άλλες περιοχές περιλαμβάνουν την παρουσία δέντρων, καθώς και την ύπαρξη φυσικών και τεχνητών φαραγγιών (αστικά κτίρια). Σε ανοιχτό αγροτικό έδαφος, το κανονικό ύψος ανεμομέτρου είναι δέκα μέτρα πάνω από το επίπεδο του εδάφους.

1.6 Βροχομετρία

Το βροχόμετρο (επίσης γνωστό ως ουδόμετρο, *pluvia metior*, *pluviometer*, *ombrometer* και *hyetometer*) είναι ένα είδος εξοπλισμού που χρησιμοποιείται από μετεωρολόγους και υδρολόγους για τη συλλογή και τη μέτρηση της ποσότητας υγρών κατακρημνισμάτων που πέφτουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βάρους της βροχόπτωσης (συνήθως μετριέται σε χιλιοστά) που εμφανίζεται σε μια μονάδα επιφάνειας και, κατά συνέπεια, για τον υπολογισμό της ποσότητας της βροχόπτωσης.

Γύρω στο 500 π.Χ., οι Αρχαίοι Έλληνες άρχισαν να τηρούν αρχεία βροχοπτώσεων, τα οποία ήταν τα πρώτα γνωστά αρχεία βροχοπτώσεων στον κόσμο.

Το 400 π.Χ., οι άνθρωποι που ζούσαν στην Ινδία άρχισαν να καταγράφουν την ποσότητα της βροχής που έπεφτε. Οι μετρήσεις συγκρίνονταν με την προβλεπόμενη ανάπτυξη για να προσδιοριστεί η συσχέτισή τους. Στο *Arthashastra*, το οποίο χρησιμοποιήθηκε, για παράδειγμα, στη *Magadha*, θεσπίστηκαν αυστηρά κριτήρια για την παραγωγή σιτηρών. Κάθε μια από τις κρατικές αποθήκες ήταν εξοπλισμένη με έναν βροχογράφο, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την κατηγοριοποίηση της περιοχής για φορολογικούς λόγους. Οι μετρητές βροχής και χιονιού καθιερώθηκαν το 1247 από τον Κινέζο μαθηματικό και εφευρέτη των Σονγκ Qin Jiushao για να χρησιμεύουν ως σημείο αναφοράς για τις μετρήσεις της βροχής και της χιονόπτωσης, καθώς και για άλλους τύπους μετεωρολογικών δεδομένων στη γεωγραφική λεκάνη *Tianchi*.

Το *Cheugugi*, το πρώτο τυποποιημένο βροχόμετρο στον κόσμο, δημιουργήθηκε το 1441 επί της βασιλείας του *Sejong* του Μεγάλου της δυναστείας *Joseon* της Κορέας. Ήταν το πρώτο του είδους του στον κόσμο.

Η συνεργασία μεταξύ του Κρίστοφερ Ρεν και του Ρόμπερτ Χουκ είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του πρώτου βροχομέτρου με ανατρεπόμενο κάδο στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1662. Ο *Hooke* επινόησε επίσης έναν χειροκίνητο μετρητή με χωνί, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη μετρήσεων για ολόκληρο το έτος 1695.

Για πρώτη φορά, συστηματικές μετρήσεις βροχόπτωσης πραγματοποιήθηκαν για μια περίοδο 15 ετών, από το 1677 έως το 1694, από τον *Richard Towneley*, ο οποίος στη συνέχεια κατέγραψε τα ευρήματά του στις *Φιλοσοφικές Συναλλαγές της Βασιλικής Εταιρείας*, τα οποία δημοσιεύθηκαν αργότερα. Ο *Towneley* απηύθυνε έκκληση για πρόσθετες παρατηρήσεις βροχόπτωσης σε όλη τη χώρα, προκειμένου να συγκριθούν οι βροχοπτώσεις σε διάφορες περιοχές, αλλά φαίνεται ότι μόνο ο *William Derham* ανταποκρίθηκε στην πρόκληση του *Towneley*. Οι παρατηρήσεις βροχόπτωσης για το *Towneley Park* και το *Uppminster* στο *Essex* για τα έτη 1697 έως 1704 αναφέρθηκαν από κοινού από τους δύο επιστήμονες.

Από το 1779 έως το 1786, ο φυσιοδίφης *Gilbert White* έκανε παρατηρήσεις για τον υπολογισμό της μέσης βροχόπτωσης, αλλά ο γαμπρός του, *Thomas Barker*, ήταν αυτός που έκανε συχνές και λεπτομερείς μετρήσεις επί 59 χρόνια, καταγράφοντας μεταξύ άλλων τη θερμοκρασία, τον άνεμο, τη βαρομετρική πίεση, τη βροχόπτωση και τα σύννεφα. Τα μετεωρολογικά αρχεία του

αποτελούν σημαντική πηγή πληροφοριών για το κλίμα του Ηνωμένου Βασιλείου κατά τον 18ο αιώνα. Κατάφερε να διαπιστώσει ότι η μέση βροχόπτωση παρουσίαζε σημαντικές διακυμάνσεις από έτος σε έτος, χωρίς να υπάρχουν ενδείξεις για ένα διακριτό μοτίβο στην κατανομή της βροχόπτωσης.

Το 1860, ο μετεωρολόγος George James Symons κυκλοφόρησε το πρώτο ετήσιο βιβλίο της βρετανικής βροχόπτωσης, το οποίο αποτέλεσε ορόσημο για την εποχή. 168 χειρσαίοι σταθμοί στην Αγγλία και την Ουαλία συνέβαλαν σε αυτή την πρωτοποριακή έρευνα, η οποία ήταν η πρώτη του είδους της. Το 1863 εξελέγη στο συμβούλιο της Βρετανικής Μετεωρολογικής Εταιρείας και αφιέρωσε το υπόλοιπο της ζωής του στη μελέτη των βροχοπτώσεων στις Βρετανικές Νήσους. Δημιούργησε ένα εθελοντικό δίκτυο παρατηρητών, οι οποίοι συγκέντρωναν δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια του δίνονταν για περαιτέρω έρευνα και ανάλυση. Ήταν τόσο επιτυχημένος σε αυτή την προσπάθεια ώστε από το 1866 ήταν σε θέση να παρουσιάσει αποτελέσματα που αποτελούσαν μια δίκαιη αντιπροσώπευση της κατανομής των βροχοπτώσεων, και ο αριθμός των καταγραφόντων αυξανόταν σταθερά, έως ότου ο τελευταίος τόμος του British Rainfall που έζησε για να επιμεληθεί, για το 1899, περιείχε στοιχεία από 3.528 σταθμούς - 2.894 στην Αγγλία και την Ουαλία, 446 στη Σκωτία και 188 στην Ιρλανδία - που αποτελούσαν μια δίκαιη αντιπροσώπευση της κατανομής των βροχοπτώσεων. Συγκέντρωσε επίσης ιστορικά στοιχεία βροχόπτωσης που σε ορισμένες περιπτώσεις χρονολογούνταν περισσότερο από έναν αιώνα πίσω. Το 1870 δημοσίευσε μια έκθεση για τις βροχοπτώσεις στις Βρετανικές Νήσους, η οποία ξεκινούσε από το έτος 1725.

Λόγω του συνεχώς αυξανόμενου αριθμού παρατηρητών, κατέστη επιτακτική ανάγκη η τυποποίηση των μετρητών. Ο Σάιμονς άρχισε να πειραματίζεται με νέους μετρητές στον δικό του μικρό κήπο για αρχή. Πειραματίστηκε με μια ποικιλία μοντέλων που διέφεραν σε μέγεθος, μορφή και ύψος. Το 1863, άρχισε να συνεργάζεται με τον συνταγματάρχη Michael Foster Ward από το Calne του Wiltshire, ο οποίος εκείνη την εποχή έκανε πιο εμπειριστατωμένη έρευνα. Οι έρευνες επεκτάθηκαν μέχρι το 1890 με τη συμμετοχή του Ward και πολλών άλλων ατόμων από όλο το Ηνωμένο Βασίλειο. Οι δοκιμές ήταν αξιοσημείωτες για τη σχολαστική προετοιμασία, την εκτέλεση και την εξαγωγή συμπερασμάτων που τους αναλογούσε. Αφού ολοκληρώθηκαν αυτές οι δοκιμές, αναπτύχθηκε το γνωστό πρότυπο μετρητή, το οποίο χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου. Ήταν κατασκευασμένο από *"... χαλκό, με χωνί πέντε ιντσών με το ορειχάλκινο χείλος του ένα πόδι πάνω από το έδαφος..."*.

Οι περισσότεροι σημερινοί βροχογράφοι συνήθως μετρούν την ποσότητα της βροχόπτωσης που συλλέγεται σε χιλιοστά ύψους κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, η οποία είναι συγκρίσιμη με τα λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο. Παλαιότερα, η βροχή μετριόταν σε ίντσες ή πόντους, με ένα σημείο να αντιστοιχεί σε 0,254 χιλιοστά ή 0,01 της ίντσας, αντίστοιχα.

Οι ποσότητες βροχής που μετρούνται από το βροχόμετρο καταγράφονται είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα από έναν μετεωρολογικό σταθμό (AWS). Η συχνότητα με την οποία γίνονται οι μετρήσεις καθορίζεται από τις ανάγκες της υπηρεσίας συλλογής. Για λιγότερο κατοικημένες

περιοχές, αρκετά έθνη μπορούν να ενισχύσουν τον επαγγελματία παρατηρητή καιρού με ένα δίκτυο εθελοντών προκειμένου να αποκτήσουν δεδομένα βροχόπτωσης (και άλλα είδη καιρού) καθώς και άλλα είδη πληροφοριών.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι βροχοπτώσεις δεν τηρούνται, αλλά ορισμένοι σταθμοί υποβάλλουν τις βροχοπτώσεις και τις χιονοπτώσεις για έλεγχο, ο οποίος γίνεται προκειμένου να προσδιοριστούν οι ποσότητες των μολυσματικών ουσιών στο νερό.

Οι βροχογράφοι δεν υφίστανται χωρίς τα όριά τους. Λόγω των ισχυρών ανέμων που μπορεί να εκδηλωθούν κατά τη διάρκεια μιας τροπικής καταιγίδας, η συλλογή δεδομένων βροχής μπορεί να είναι πρακτικά δύσκολη και αναξιόπιστη (ακόμη και αν το όργανο εξακολουθεί να λειτουργεί). Επιπλέον, οι βροχογράφοι παρέχουν πληροφορίες μόνο για τη βροχόπτωση σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Επειδή τα σταγονίδια προσκολλώνται στις πλευρές ή στο χωνί της συσκευής συλλογής για σχεδόν κάθε μετρητή, οι ποσότητες που συλλέγονται υποεκτιμώνται σημαντικά και ποσότητες μόλις 0,01 ίντσες ή 0,25 χιλιοστά μπορεί να καταγραφούν ως "ίχνος" για σχεδόν κάθε μετρητή.

Ένα άλλο ζήτημα που προκύπτει όταν η θερμοκρασία είναι κοντά ή κάτω από το μηδέν είναι ο σχηματισμός πάγου. Η βροχή μπορεί να πέσει στο χωνί, προκαλώντας τη συσσώρευση πάγου ή χιονιού στο μετρητή, εμποδίζοντας την πτώση της επόμενης βροχής. Ένας μετρητής μπορεί να είναι εφοδιασμένος με αυτόματο ηλεκτρικό θερμαντήρα για να διατηρεί τις επιφάνειες συλλογής υγρασίας και τον αισθητήρα του ελαφρώς πάνω από τη θερμοκρασία κατάψυξης, προκειμένου να "ανακουφιστεί" από αυτό το πρόβλημα.

Οι βροχογράφοι πρέπει να τοποθετούνται σε ανοικτή περιοχή όπου δεν υπάρχουν κτίρια, δέντρα ή άλλα εμπόδια που θα μπορούσαν να εμποδίσουν τη βροχή να φτάσει σωστά στους μετρητές. Ο σκοπός αυτού είναι να αποφευχθεί η πτώση του βρόχινου νερού που συγκεντρώνεται στις στέγες των κτιρίων ή στα φύλλα των δέντρων στο βροχόμετρο μετά από μια νεροποντή, η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα λανθασμένες μετρήσεις.

Οι βροχογράφοι διατίθενται σε ποικίλες διαμορφώσεις, συμπεριλαμβανομένων διαβαθμισμένων κυλίνδρων, μετρητών ζύγισης, μετρητών ανατρεπόμενου κάδου και απλών θαμμένων συλλεκτών λάκκων. Όταν πρόκειται για τη συλλογή δεδομένων βροχής, κάθε είδος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς.

Ένα χωνί διαμέτρου 203 χιλιοστών (8 ιντσών) που αδειάζει σε έναν διαβαθμισμένο κύλινδρο διαμέτρου 64,1 χιλιοστών (2,525 ιντσών), ο οποίος χωράει μέσα σε ένα δοχείο διαμέτρου 8 ιντσών και ύψους 508 χιλιοστών (20 ιντσών), είναι το πρότυπο βροχόμετρο που χρησιμοποιείται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών, το οποίο αναπτύχθηκε στις αρχές του εικοστού αιώνα. Εάν η βροχόπτωση υπερβεί τον διαβαθμισμένο εσωτερικό κύλινδρο, θα συλληφθεί από το μεγαλύτερο εξωτερικό δοχείο. Προκειμένου να προκύψει η συνολική βροχόπτωση, μετράται το ύψος του νερού στον μικροσκοπικό διαβαθμισμένο κύλινδρο και τυχόν πλεονάζουσα υπερχείλιση από το μεγάλο δοχείο τοποθετείται προσεκτικά σε έναν άλλο διαβαθμισμένο κύλινδρο και μετράται ξανά. Περιστασιακά

χρησιμοποιείται ένας κωνικός μετρητής για να αποφευχθεί η διαρροή δεδομένων, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε παραμόρφωση ή αλλοίωση των δεδομένων. Σε μέρη όπου χρησιμοποιείται το μετρικό σύστημα, ο κύλινδρος φέρει γενικά ετικέτα σε χιλιοστά (mm) και είναι ικανός να μετράει βροχοπτώσεις έως 250 χιλιοστά (9,8 in). Κάθε οριζόντια γραμμή στην επιφάνεια του κυλίνδρου χωρίζεται από 0,5 χιλιοστά (0,02 in). Σε τοποθεσίες όπου χρησιμοποιούνται SI μονάδες, κάθε οριζόντια γραμμή ισοδυναμεί με 0,01 ίντσα στο μετρικό σύστημα.

Ένα όργανο γνωστό ως πλουβιόμετρο εντάσεων (επίσης γνωστό ως πλουβιόμετρο του Jardí) είναι μια συσκευή που μετρά τη μέση ένταση της βροχόπτωσης για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Αρχικά προοριζόταν για την καταγραφή του καθεστώτος βροχόπτωσης στην Καταλονία, αλλά τώρα έχει επεκταθεί σε όλο τον κόσμο ως αποτέλεσμα της επιτυχίας του.

Χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό ανατροφοδότησης, το εισερχόμενο νερό ωθεί τον σημαντήρα προς τα πάνω, αναγκάζοντας την κατώτερη "κωνική βελόνα ρύθμισης" να αφήσει να περάσει την ίδια ποσότητα νερού που εισέρχεται στο δοχείο- με τον τρόπο αυτό, η βελόνα καταγράφει στο τύμπανο, σε χιλιοστά βροχόπτωσης ανά τετραγωνικό μέτρο, την ποσότητα νερού που ρέει μέσα από αυτό σε κάθε δεδομένη στιγμή.

Αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο που περιστρέφεται με σταθερό ρυθμό, και το τύμπανο αυτό σέρνει ένα διαβαθμισμένο φύλλο χαρτονιού, το οποίο έχει τον χρόνο όπου τείνει στο άπειρο και το ύψος της βροχόπτωσης σε χιλιοστά βροχής στον άξονα y, αντίστοιχα. Για να καταγραφεί αυτό το ύψος, χρησιμοποιείται ένα "στυλό" που κινείται κατακόρυφα, ωθούμενο από μια σημαδούρα, για να υποδείξει στο χαρτί την ποσότητα της βροχής που έπεσε με την πάροδο του χρόνου. Κάθε χαρτόνι χρησιμοποιείται συχνά μόνο για μία ημέρα κάθε φορά.

Καθώς πέφτει η βροχή, το νερό που συγκεντρώνεται από το χωνί χύνεται μέσα στο δοχείο, ανεβάζοντας τον σημαντήρα, ο οποίος αναγκάζει τον βραχίονα του στυλό να ανυψώνεται στον κατακόρυφο άξονα, σημειώνοντας το χαρτόνι στην κατάλληλη θέση. Αν η ποσότητα της βροχής δεν αλλάζει, η στάθμη του νερού στο δοχείο παραμένει σταθερή και το σημάδι του στυλό είναι λίγο πολύ μια οριζόντια γραμμή που είναι ανάλογη με την ποσότητα του νερού που έχει βρέξει καθώς το τύμπανο περιστρέφεται. Κάθε φορά που το στυλό φτάνει στο ανώτερο άκρο του χαρτιού καταγραφής, υποδεικνύει ότι η σημαδούρα βρίσκεται "ψηλά στο δοχείο", με την άκρη της κωνικής βελόνας να δείχνει προς την οπή ρύθμισης, η οποία υποδεικνύει τη μέγιστη παροχή που μπορεί να καταγράψει ο εξοπλισμός με τη συσκευή. Εναλλακτικά, εάν η βροχή σταματήσει απότομα, με αποτέλεσμα το δοχείο (καθώς αδειάζει) να κατεβάσει γρήγορα τη σημαδούρα, η κίνηση αυτή συσχετίζεται με μια γραμμή απότομης κλίσης που μπορεί να φτάσει στον πυθμένα του καταγεγραμμένου χαρτονιού, εάν η βροχή σταματήσει.

Ο βροχογράφος των εντάσεων επέτρεψε την καταγραφή της βροχόπτωσης για μεγάλο χρονικό διάστημα, κυρίως στη Βαρκελώνη (η οποία καταγράφει τη βροχόπτωση εδώ και 95 χρόνια), καθώς και σε πολλές άλλες τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο, όπως το Χονγκ Κονγκ.

Ένας βροχογράφος τύπου ζύγισης αποτελείται από έναν κάδο αποθήκευσης που ζυγίζεται προκειμένου να καταγραφεί ο όγκος των κατακρημνισμάτων. Ορισμένοι τύποι μετρούν τη μάζα τοποθετώντας ένα στυλό σε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο ή χρησιμοποιώντας ένα δονούμενο σύρμα συνδεδεμένο με έναν καταγραφέα δεδομένων για τη συλλογή των πληροφοριών. Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους μετρητή σε σχέση με τους ανατρεπόμενους κάδους είναι ότι δεν υποτιμά την έντονη βροχόπτωση και ότι μπορεί να μετρήσει διαφορετικούς τύπους βροχόπτωσης, όπως βροχή, χαλάζι και χιόνι. Αν και είναι πιο δαπανηρά και απαιτούν περισσότερη προσοχή από τους μετρητές με ανατρεπόμενους κάδους, τα όργανα αυτά είναι ωστόσο πιο ακριβή.

Ο μετρητής καταγραφής τύπου ζυγού μπορεί επιπλέον να περιλαμβάνει μια συσκευή που μετρά την ποσότητα των χημικών ουσιών που υπάρχουν στο περιβάλλον της υπό εξέταση περιοχής. Οι ερευνητές που εξετάζουν τις επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, καθώς και τις επιδράσεις τους στις ποσότητες της όξινης βροχής, θα το βρουν εξαιρετικά χρήσιμο. Ένα είδος αυτοματοποιημένου μετρητή ζύγισης, γνωστό ως AWPAG, χρησιμοποιείται από ορισμένες συσκευές αυτοματοποιημένου συστήματος παρατήρησης επιφάνειας (ASOS) (*All Weather Precipitation Accumulation Gauge*).

Στο βροχόμετρο με ανατρεπόμενο κάδο, ένα χωνί συλλαμβάνει και διανέμει τα κατακρημνίσματα σε ένα μικρό δοχείο που μοιάζει με κούνια, το οποίο στη συνέχεια γεμίζει με νερό. Έχει πέσει μια ορισμένη ποσότητα βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα ο μοχλός να ανατρέπεται, να χύνεται το συσσωρευμένο νερό και να παράγεται ένα ηλεκτρικό σήμα. Παλαιότερα, μια συσκευή καταγραφής μπορεί να αποτελείται από ένα στυλό που τοποθετείται σε ένα βραχίονα που συνδέεται με έναν οδοντωτό τροχό που περιστρέφεται μία φορά για κάθε σήμα που λαμβάνεται από τον συλλέκτη. Αυτός ο σχεδιασμός περιλαμβάνει τον βραχίονα του στυλό που κινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω καθώς περιστρέφεται ο τροχός, δημιουργώντας ένα ίχνος στο γράφημα, ενώ ταυτόχρονα εκπέμπεται ένα δυνατό "κλικ".

Ο βροχογράφος με ανατρεπόμενο κάδο δεν είναι τόσο ακριβής όσο ο κανονικός βροχογράφος, καθώς η βροχή μπορεί να σταματήσει πριν από την πλήρη κλίση του μοχλού, με αποτέλεσμα χαμηλότερη ακρίβεια. Όταν ξεκινήσει η επόμενη περίοδος βροχής, μπορεί να χρειαστούν μόνο μία ή δύο σταγόνες βροχής για να ανατραπεί ο μοχλός. Κατά συνέπεια, φαίνεται ότι έχει πέσει μια προκαθορισμένη ποσότητα, ενώ στην πραγματικότητα έχει πέσει μόνο ένα μέρος αυτής της ποσότητας. Η ποσότητα της βροχόπτωσης που προβλέπεται από τους ανατρεπόμενους κάδους είναι επίσης ανακριβής, ιδίως σε περιόδους ακραίων βροχοπτώσεων ή χιονοπτώσεων, σύμφωνα με την έρευνα. Το πλεονέκτημα της χρήσης ενός βροχομέτρου με ανατρεπόμενο κάδο είναι ότι είναι απλό να προσδιοριστεί η ένταση της βροχής (ελαφριά, μεσαία ή δυνατή). Ο χαρακτήρας της βροχόπτωσης προσδιορίζεται από τη συνολική ποσότητα βροχής που έχει πέσει σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (συνήθως μία ώρα) και ο παρατηρητής μπορεί να προσδιορίσει τον χαρακτήρα της βροχής μετρώντας τον αριθμό των παλμικών κλικ που εμφανίζονται σε ένα χρονικό διάστημα 10 λεπτών. Ως τεχνική αντιστάθμισης της βροχόπτωσης

υψηλής έντασης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι στα δεδομένα για να γίνουν πιο ακριβή.

Οι σημερινοί μετρητές βροχής με ανατροπή κατασκευάζονται από έναν πλαστικό συλλέκτη που ισορροπεί πάνω σε έναν άξονα. Ένας διακόπτης (όπως ένας ηλεκτρομαγνητικός διακόπτης) ενεργοποιείται όταν η συσκευή ανατρέπεται και οι πληροφορίες στη συνέχεια καταγράφονται ηλεκτρονικά ή μεταφέρονται σε έναν απομακρυσμένο σταθμό συλλογής.

Οι μετρητές ανατροπής είναι δυνατόν να συνδυάζουν χαρακτηριστικά μετρητών ζύγισης, οπότε στον κάδο συλλογής τοποθετείται ένας μετρητής τάσης, επιτρέποντας την ακριβή ανάγνωση της ποσότητας βροχόπτωσης ανά πάσα στιγμή. Κάθε φορά που η συλλογή ανατρέπεται, ο μετρητής τάσης (αισθητήρας βάρους) μηδενίζεται εκ νέου, εξαλείφοντας έτσι κάθε παρέκκλιση.

Είναι δυνατόν να θερμανθεί ένας κάδος ανατροπής σε σημείο που να λιώνει κάθε πάγο και χιόνι που έχει συσσωρευτεί στη χοάνη του πριν από τη μέτρηση του ισοδύναμου νερού της παγωμένης βροχόπτωσης. Το χωνί συχνά μπλοκάρεται κατά τη διάρκεια μιας εκδήλωσης παγωμένης βροχόπτωσης ελλείψει συσκευής θέρμανσης, με αποτέλεσμα να μην ανιχνεύεται και να μην καταγράφεται βροχόπτωση. Οι θερμαινόμενοι κάδοι ανατροπής χρησιμοποιούνται από αρκετές μονάδες αυτοματοποιημένων συστημάτων παρατήρησης επιφάνειας (ASOS) για την παρακολούθηση της βροχόπτωσης.

Μια σειρά από χωνιά συλλογής εμφανίζεται σε αυτό το είδος μετρητή. Μια δίοδος λείζερ και ένας ανιχνευτής φωτοτρανζίστορ στεγάζονται σε έναν κλειστό χώρο ο ένας κάτω από τον άλλο. Όταν συγκεντρωθεί αρκετό νερό ώστε να σχηματιστεί μία σταγόνα, αυτή πέφτει από τον πυθμένα του δοχείου και στη διαδρομή της δέσμης λείζερ. Είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί ο αισθητήρας σε ορθή γωνία προς το λείζερ, ώστε να διασκορπιστεί αρκετό φως για να αναγνωριστεί ως μια γρήγορη έκρηξη φωτός. Οι αναλαμπές που παράγονται από αυτούς τους φωτοανιχνευτές διαβάζονται, κοινοποιούνται ή καταγράφονται στη συνέχεια, ανάλογα με την εφαρμογή.

Τα ακουστικά δισδρόμετρα, γνωστά και ως υδρόφωνα, είναι συσκευές που μπορούν να ανιχνεύσουν τις ηχητικές υπογραφές των μεμονωμένων μεγεθών των σταγόνων βροχής όταν αυτές προσκρούουν στην επιφάνεια του νερού μέσα σε ένα βροχογράφο ή μια δεξαμενή. Λόγω του γεγονότος ότι κάθε ηχητική υπογραφή είναι ξεχωριστή, είναι εφικτό να αντιστραφεί το υποβρύχιο ηχητικό πεδίο προκειμένου να εκτιμηθεί η κατανομή του μεγέθους των σταγόνων μέσα στη βροχή. Ο ρυθμός βροχόπτωσης, η συσσώρευση βροχόπτωσης και άλλα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης προσδιορίζονται με την επιλογή ορισμένων χρονικών στιγμών στην κατανομή μεγέθους σταγόνων.

1.7 Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους

Στην επιστήμη του εδάφους, το τενσιόμετρο είναι ένας εξοπλισμός μέτρησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του εν δυνάμει εδαφικού νερού (τάση εδαφικής υγρασίας) στη ζώνη *vadose* του εδαφικού δείγματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συσκευή αυτή

αποτελείται από έναν γυάλινο ή πλαστικό σωλήνα με ένα πορώδες κεραμικό κύπελλο στο εσωτερικό του, το οποίο στη συνέχεια γεμίζει με νερό. Στο επάνω μέρος του σωλήνα βρίσκεται ένας ενσωματωμένος μετρητής κενού καθώς επίσης στο επάνω μέρος του σωλήνα προσαρμόζεται ένα ελαστικό καπάκι, το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μια φορητή συσκευή τενσιόμετρου διάτρησης για τη μέτρηση της πίεσης εντός του τενσιόμετρου με τη χρήση υποδερμικής βελόνας. Για να δημιουργηθεί μερικό κενό, το τενσιόμετρο βυθίζεται στο έδαφος και μια χειροκίνητη αντλία χρησιμοποιείται για να το ανασύρει από το έδαφος. Καθώς το νερό απορροφάται από το έδαφος από τα φυτά και εξατμίζεται, το κενό εντός του σωλήνα γίνεται μεγαλύτερο και εντονότερο. Σε υγρό έδαφος, η ροή μπορεί να συμβεί και προς την αντίθετη κατεύθυνση: όταν παρέχεται περισσότερο νερό στο έδαφος, το κενό μέσα στο σωλήνα τραβάει υγρασία από το έδαφος, με αποτέλεσμα το έδαφος να στεγνώνει και το έδαφος να συρρικνώνεται. Όταν διαπιστωθεί ότι η πίεση του νερού στο τενσιόμετρο βρίσκεται σε ισορροπία με την πίεση του νερού στο έδαφος, η ένδειξη του τενσιόμετρου δείχνει το αρχικό δυναμικό του εδάφους στη συγκεκριμένη θέση.

Όταν πρόκειται για τον προγραμματισμό της άρδευσης, τενσιόμετρα όπως αυτό χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τους αγρότες και άλλους διαχειριστές άρδευσης να καθορίσουν πότε πρέπει να αρδεύσουν. Τα τενσιόμετρα, όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μια καμπύλη κατακράτησης νερού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ποσότητας νερού που πρέπει να προστεθεί. Με λίγη επιδεξιότητα, ένα τενσιόμετρο μπορεί να αποτελέσει ένα πολύτιμο όργανο για τέτοιου είδους εφαρμογές. Τα τενσιόμετρα εδάφους μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στην επιστημονική έρευνα των εδαφών και των φυτών, καθώς και στον τομέα της γεωργίας.

Οι αισθητήρες εδαφικής υγρασίας είναι συσκευές που ανιχνεύουν την ποσότητα του ογκομετρικού νερού που υπάρχει στο έδαφος. Προκειμένου να επιτευχθεί άμεση βαρυμετρική μέτρηση της ελεύθερης εδαφικής υγρασίας, ένα δείγμα πρέπει πρώτα να αφαιρεθεί και να στεγνώσει πριν ζυγιστεί. Κατά συνέπεια, οι αισθητήρες εδαφικής υγρασίας μετρούν την ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό έμμεσα χρησιμοποιώντας κάποια άλλη ιδιότητα του εδάφους, όπως η ηλεκτρική αντίσταση, η διηλεκτρική σταθερά ή η αλληλεπίδραση με νετρόνια, ως υποκατάστατο της περιεκτικότητας σε νερό.

Απαιτείται βαθμονόμηση της σχέσης μεταξύ μιας μετρούμενης ιδιότητας και της εδαφικής υγρασίας και η σχέση μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως ο τύπος του εδάφους, η θερμοκρασία ή η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η ανακλώμενη μικροκυματική ακτινοβολία επηρεάζεται από την υγρασία του εδάφους και χρησιμοποιείται για τηλεπισκόπηση στην υδρολογία και τη γεωργία, μεταξύ άλλων εφαρμογών. Οι αγρότες και οι κηπουροί μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση φορητών εργαλείων ανίχνευσης.

Οι αισθητήρες που αξιολογούν την ογκομετρική περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό αναφέρονται συχνά ως αισθητήρες εδαφικής υγρασίας. Το υδατικό δυναμικό των εδαφών μετράται με τη χρήση ενός άλλου τύπου αισθητήρων, οι οποίοι αναφέρονται ως αισθητήρες υδατικού δυναμικού εδάφους και αποτελούνται από τενσιόμετρα και γυψομπλόκ.

Ακολουθούν παραδείγματα τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται συνήθως για την έμμεση ανίχνευση της ογκομετρικής περιεκτικότητας σε νερό (εδαφική υγρασία):

- Η ανακλασιμετρία πεδίου συχνότητας (FDR) είναι μια τεχνική που μετρά τη συχνότητα λειτουργίας ενός ταλαντούμενου κυκλώματος προκειμένου να προσδιοριστεί η διηλεκτρική σταθερά ενός συγκεκριμένου στοιχείου όγκου γύρω από τον αισθητήρα.
- Η μετάδοση στο πεδίο του χρόνου (TDT) και η ανακλασιμετρία στο πεδίο του χρόνου (TDR) είναι δύο τύποι μετρήσεων στο πεδίο του χρόνου. Είναι δυνατός ο προσδιορισμός της διηλεκτρικής σταθεράς ενός συγκεκριμένου στοιχείου όγκου γύρω από τον αισθητήρα με την παρακολούθηση της ταχύτητας διάδοσης μέσω μιας θαμμένης γραμμής μεταφοράς. (Βλέπε επίσης αισθητήρα υγρασίας TDR¹ για περισσότερες πληροφορίες)*.
- Μετρητές υγρασίας νετρονίων: Χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες του νερού ως ρυθμιστή νετρονίων, είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί η ποσότητα της εδαφικής υγρασίας που υπάρχει μεταξύ μιας πηγής νετρονίων και ενός ανιχνευτή νετρονίων.
- Η χρήση της ειδικής αντίστασης του εδάφους για την εκτίμηση της υγρασίας του εδάφους μπορεί να γίνει με τη μέτρηση του πόσο ισχυρά αντιστέκεται το έδαφος στη διέλευση του ηλεκτρισμού μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, κάτι που μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός μετρητή υγρασίας εδάφους.
- Λόγω του γεγονότος ότι το νερό λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης και παράγει ηλεκτρισμό, η ποσότητα του υπάρχοντος νερού μπορεί να εκτιμηθεί με τη μέτρηση της τάσης που παράγει το έδαφος χρησιμοποιώντας ένα γαλβανικό στοιχείο. Η γαλβανική κυψέλη παρέχει την τεχνολογική βάση για την έννοια αυτή.

¹ [αισθητήρας υγρασίας TDR](#)

Εφαρμογές

Γεωργία

Όταν πρόκειται για γεωργικές εφαρμογές, η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας είναι ζωτικής σημασίας, καθώς επιτρέπει στους αγρότες να ελέγχουν αποτελεσματικότερα τα συστήματα άρδευσης. Οι αγρότες που γνωρίζουν τα ακριβή επίπεδα εδαφικής υγρασίας στα χωράφια τους είναι σε θέση όχι μόνο να χρησιμοποιούν λιγότερο νερό για την παραγωγή μιας καλλιέργειας γενικά, αλλά είναι επίσης σε θέση να αυξήσουν τις αποδόσεις και την ποιότητα του προϊόντος μέσω του καλύτερου ελέγχου της εδαφικής υγρασίας σε σημαντικές φάσεις ανάπτυξης των φυτών.

Άρδευση για τις Πεδιάδες

Οι πεδιάδες και οι οικιστικοί χλοοτάπητες σε αστικές και προαστιακές περιοχές χρησιμοποιούν αισθητήρες υγρασίας του εδάφους που επικοινωνούν με έναν ελεγκτή άρδευσης, ο οποίος συνδέεται με ένα σύστημα ποτίσματος. Η σύνδεση ενός αισθητήρα υγρασίας εδάφους σε ένα τυπικό ρολόι άρδευσης μπορεί να το μετατρέψει σε έναν "έξυπνο" ελεγκτή άρδευσης, ο οποίος θα αποτρέψει την πραγματοποίηση κύκλων άρδευσης όταν το έδαφος είναι ήδη υγρό, όπως για παράδειγμα μετά από μια πρόσφατη βροχόπτωση.

Προκειμένου να μειωθεί η υπερβολική άρδευση και η έκπλυση λιπασμάτων και άλλων χημικών ουσιών στο έδαφος, τα γήπεδα γκολφ χρησιμοποιούν αισθητήρες υγρασίας εδάφους για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων άρδευσης.

Έρευνα

Η γεωπονική επιστήμη και η κηπουρική, για παράδειγμα, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού άρδευσης, η κλιματική έρευνα ή η περιβαλλοντική επιστήμη, για παράδειγμα, οι μελέτες μεταφοράς αποδομημένων ουσιών και ως βοηθητικοί αισθητήρες για μετρήσεις της αναπνοής του εδάφους, αποτελούν παραδείγματα όπου χρησιμοποιούνται αισθητήρες υγρασίας εδάφους.

Αισθητήρες για κηπουρούς που είναι εύχρηστοι

Η διαθεσιμότητα πολύ φθηνών και απλών συσκευών που δεν χρειάζονται τη χρήση πηγής ενέργειας καθιστά δυνατό τον προσδιορισμό του κατά πόσον τα φυτά έχουν επαρκή υγρασία για να αναπτυχθούν. Ένα όργανο που μετρά την υγρασία του εδάφους για περίπου 60 δευτερόλεπτα μετά την τοποθέτηση ενός αισθητήρα στο έδαφος αποκαλύπτει εάν το έδαφος είναι πολύ ξηρό, πολύ υγρό ή πολύ υγρό για τα φυτά.

Κεφάλαιο 2 - Τεχνικός Οδηγός

2.1 Ανάλυση Απαιτήσεων για τον Σχεδιασμό “Εξυπνων” Αισθητήρων

2.1.1 Εισαγωγή , Μεθοδολογία , Ανάπτυξη Ερωτηματολογίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων, η παρούσα τεχνική μελέτη παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης των απαιτήσεων για ευφυείς αισθητήρες για τη μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων καθώς και για την πλατφόρμα συλλογής, επεξεργασίας και απεικόνισης δεδομένων (εφεξής: ELIoT). Τα ευρήματα αυτά θα ληφθούν υπόψη για το σχεδιασμό του συστήματος σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών. Ως αποτέλεσμα, το ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ ανέπτυξε ένα ερωτηματολόγιο 16 ερωτήσεων που περιλαμβάνει συγκεκριμένες εναλλακτικές λύσεις για τη λειτουργικότητα και τις τεχνικές προδιαγραφές των αισθητήρων καθώς και της πλατφόρμας διαχείρισης δεδομένων. Με επίσημη επιστολή, το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε σε φορείς που είναι υπεύθυνοι για τους επιφανειακούς υδάτινους πόρους και οι οποίοι ενδέχεται να είναι υπεύθυνοι για τη συντήρηση τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης των ποιοτικών παραμέτρων του νερού.

Το ερωτηματολόγιο δημιουργήθηκε και διανεμήθηκε χρησιμοποιώντας τη δωρεάν διαδικτυακή εφαρμογή Google Form (<https://docs.google.com/forms/>), η οποία επιτρέπει στους συμμετέχοντες να συμπληρώνουν τις ερωτήσεις online και να αποθηκεύουν τις απαντήσεις τους αμέσως. Μέσω αυτού του ερωτηματολογίου ήρθαν σε επαφή με φορείς διαχείρισης προστατευόμενων περιοχών, ινστιτούτα, τη ΔΕΗ, την ΕΥΔΑΠ και το Διαβαλκανικό Περιβαλλοντικό Κέντρο. Παρακάτω βρίσκεται το λύμα για το ανωτέρω ερωτηματολόγιο (<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSebOG6XSg259oNSiEAgdIDyMgqFeTxoUqLoOkcMU8Un80krw/viewform>). Τα θέματα του ερωτηματολογίου περιλάμβαναν τις παραμέτρους παρακολούθησης των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών, το χρονικό βήμα καταγραφής, τους παράγοντες που εμποδίζουν την εγκατάσταση νέων σταθμών και τους τρόπους αύξησης του αριθμού των σταθμών που λειτουργούν σήμερα.

Συμπεριλαμβάνεται περιγραφή του μεγέθους του σταθμού, του επιθυμητού πρωτοκόλλου επικοινωνίας και των επιθυμητών παραμέτρων , καθώς και η δυνατότητα προσθήκης σχολίων σχετικά με πιθανές ιδιαιτερότητες του σταθμού- και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σταθμών και των μετρήσεων.

Συνολικά απάντησαν 14 οργανισμοί: η ΕΥΔΑΠ, επτά Φορείς Διαχείρισης, το Συμβούλιο Διαβαλκανικής Συνεργασίας και η Ευρωπαϊκή Ένωση. Το Διαβαλκανικό Περιβαλλοντικό Κέντρο, το ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ, ο ΕΛ.Γ.Ο. Δήμητρα , το Ε.Κ.Β.Υ., καθώς και η ΔΕΗ και η Διεύθυνση Υδάτων Κρήτης είναι μεταξύ των οργανισμών που συνεργάστηκαν με τη ΔΕΗ. Συνολικά, 15

άτομα απάντησαν στο ερωτηματολόγιο και οι απαντήσεις έχουν αναρτηθεί στην ιστοσελίδα του έργου (http://www.openliot.com/αποτελέσματα_ερωτηματολογίου).

Οι ερωτήσεις και οι απαντήσεις αντιστοιχίστηκαν με συγκεκριμένες συντομογραφίες, προκειμένου να εξοικονομηθεί χώρος και να εξασφαλιστεί η σωστή παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για την αντιστοίχιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών με τιμές σε αύξουσα κλίμακα, ώστε να είναι ευκολότερη η στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού SPSS και τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με περιγραφική στατιστική - ανάλυση συχνοτήτων.

Μια λεπτομερής περιγραφή των αρχικών απαιτήσεων, καθώς και των τεχνικών προδιαγραφών και των λειτουργιών των "έξυπνων" αισθητήρων, παρουσιάζεται στις επόμενες ενότητες. Σύμφωνα με τα ευρήματα, εκείνοι που θεωρούνται "κρίσιμοι" και θα αποτελέσουν τη βάση για την αρχική εφαρμογή του MVP θα ιεραρχηθούν και θα υλοποιηθούν πρώτοι. Με βάση τη μεθοδολογία της ευέλικτης ανάπτυξης, θα υπάρξει ανατροφοδότηση σχετικά με τις απαιτήσεις στις επόμενες φάσεις του έργου, με βάση την ανατροφοδότηση από τους χρήστες του συστήματος. Πραγματοποιήθηκε εκτενής ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε ηλεκτρονικές βιβλιογραφικές βάσεις δεδομένων, προκειμένου να αποκτηθεί εικόνα της διεθνούς εμπειρίας.

Πραγματοποιήθηκε επίσης έρευνα αγοράς των διαθέσιμων αισθητήρων, καθώς και μελέτη των χαρακτηριστικών τους και του κόστους που συνδέεται με την απόκτησή τους.

2.1.2 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου

Ερώτηση 1 (E1)

Η ερώτηση 1 (1) αποσκοπεί στον εντοπισμό και την ιεράρχηση των παραγόντων που πιστεύεται ότι είναι οι πλέον επιζήμιοι για την επέκταση των αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας ή/και της ποσότητας των υδάτων στη χώρα μας. Η ερώτηση κατασκευάστηκε με τη μορφή πλέγματος πολλαπλών επιλογών (Σχήμα 1). Όλοι όσοι έλαβαν μέρος στην έρευνα (15 ερωτηθέντες). Οι απαντήσεις στην ερώτηση χωρίζονται στις πέντε κατηγορίες που παρατίθενται παρακάτω (5)

1) Κόστος αγοράς, 2) Κόστος συντήρησης, 3) Κόστος λειτουργίας, 4) Κόστος συντήρησης, 5) Άλλο.

1) Ποιους από τους παρακάτω παράγοντες θεωρείτε περισσότερο ανασταλτικούς για την αύξηση του αριθμού αυτόματων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης ποιότητας ή/και ποσότητας υδάτων στην χώρα μας; (βάλτε τους με σειρά προτεραιότητας) *

	1η επιλογή	2η επιλογή	3η επιλογή	4η επιλογή	5η επιλογή
Κόστος αγοράς	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Κόστος συντήρησης	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Κόστος λειτουργίας	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Κίνδυνος βανδαλισμού	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Άλλο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Προσδιορίστε την επιλογή άλλο:

Η απάντησή σας

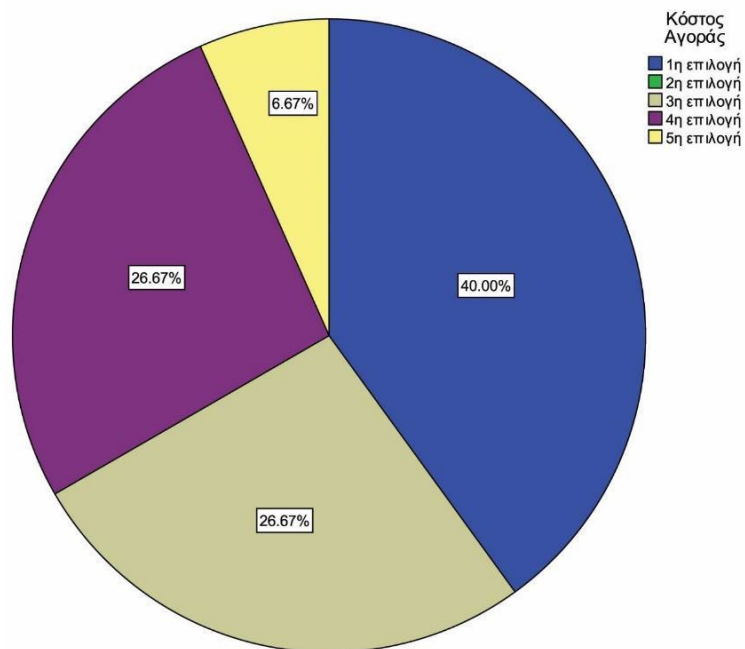
Εικόνα 1. Παρουσίαση της ερώτησης E1 μέσω του google form.

Κόστος Αγοράς

Περισσότερο από το ένα τρίτο του δείγματος (40%) απάντησε ότι κατέταξε το "κόστος" παράγοντα στο "κόστος αγοράς" ως τον πιο ανασταλτικό παράγοντα για την αύξηση του αριθμού των αυτόματων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας ή/και την αύξηση της ποσότητας του νερού που διατίθεται στη χώρα μας ως πρώτη επιλογή για τους παράγοντες που θεωρούνται πιο ανασταλτικοί. Το "Κόστος αγοράς" κατατάχθηκε ως τρίτη και τέταρτη επιλογή, αντίστοιχα, με 26,7% και ως πέμπτη επιλογή, αντίστοιχα, με 6,7% (Πίνακας 1, Σχήμα 2)

Πίνακας 1. E1-Ανάλυση της επιλογής "Κόστος Αγοράς".

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	6	40,0	40,0
2η επιλογή	0	0	40,0
3η επιλογή	4	26,7	66,7
4η επιλογή	4	26,7	93,3
5η επιλογή	1	6,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



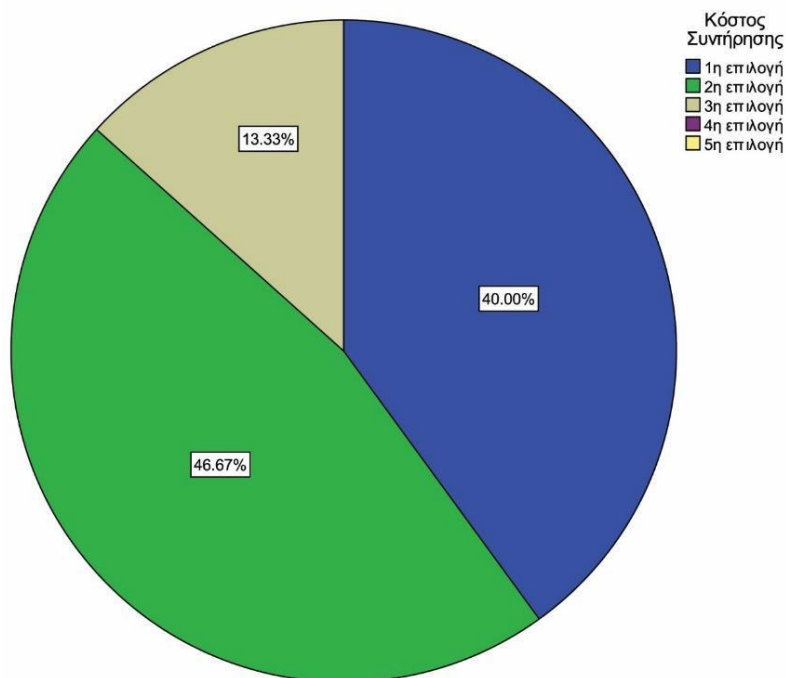
Εικόνα 2. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του ανασταλτικού παράγοντα “Κόστος Αγοράς”

Κόστος Συντήρησης

Το "κόστος συντήρησης" κατατάχθηκε ως ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας που εμποδίζει την επέκταση των αυτόματων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας ή/και της ποσότητας των υδάτων στη χώρα μας από σχεδόν το ήμισυ του δείγματος (46,7%) που απάντησε. Κατά τη διαδικασία επιλογής του κόστους συντήρησης, η επιλογή 1 έλαβε το 40% των ψήφων, ενώ η επιλογή 3 έλαβε το 13,3% (Πίνακας 2, Σχήμα 3).

Πίνακας 2. Ε1-Ανάλυση της επιλογής “Κόστος Συντήρησης”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	6	40,0	40,0
2η επιλογή	7	46,7	86,7
3η επιλογή	2	13,3	100,0
4η επιλογή	0	0	100,0
5η επιλογή	0	0	100,0
Σύνολο	15	100,0	



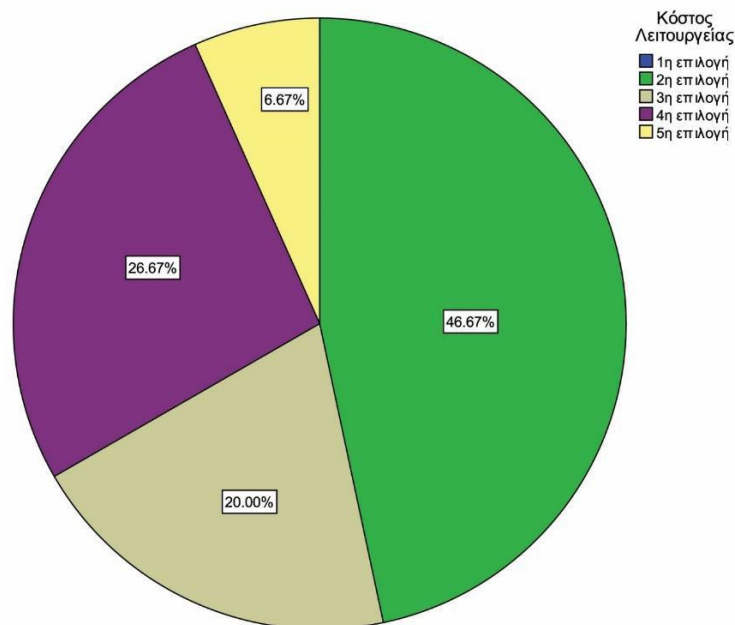
Εικόνα 3. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του ανασταλτικού παράγοντα “Κόστος Συντήρησης”.

Κόστος Λειτουργίας

Ένας στους τέσσερις ερωτηθέντες (46,7%) επέλεξε το "κόστος λειτουργίας" ως τον δεύτερο σημαντικότερο παράγοντα που εμποδίζει την αύξηση του αριθμού των αυτόματων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας ή/και της ποσότητας των υδάτων στην Ελλάδα. Το λειτουργικό κόστος κατατάχθηκε στην τέταρτη θέση με ποσοστό 26,7 τοις εκατό, στην τρίτη θέση με ποσοστό 20 τοις εκατό και στην πέμπτη θέση με ποσοστό 6,7 τοις εκατό, αντίστοιχα (Πίνακας 3, Σχήμα 4).

Πίνακας 3. Ε1-Ανάλυση της επιλογής “Κόστος Λειτουργίας”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	0	0	0
2η επιλογή	7	46,7	46,7
3η επιλογή	3	20,0	66,7
4η επιλογή	4	26,7	93,3
5η επιλογή	1	6,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



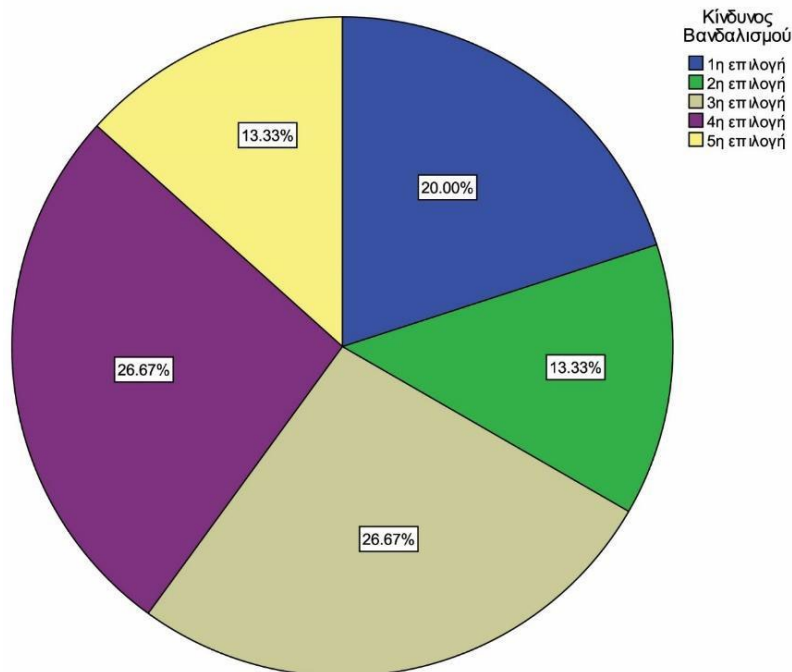
Εικόνα 4. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του ανασταλτικού παράγοντα “Κόστος Λειτουργίας”.

Κίνδυνος Βανδαλισμού

Οι ερωτηθέντες κατέταξαν τον "Κίνδυνο βανδαλισμού" ως τον τρίτο σημαντικότερο παράγοντα και τον τέταρτο σημαντικότερο παράγοντα, και οι δύο με 26,7%, για τους παράγοντες που πιστεύουν ότι εμποδίζουν περισσότερο την αύξηση του αριθμού των αυτόματων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας ή/και της ποσότητας των υδάτων σε ολόκληρη τη χώρα. Ο "κίνδυνος βανδαλισμού" κατατάχθηκε ως η επιλογή 1 με ποσοστό 20 τοις εκατό των ψήφων, ακολουθούμενη από την επιλογή 2 και την επιλογή 5 με ποσοστό 13,3 τοις εκατό των ψήφων, αντίστοιχα (Πίνακας 4, Σχήμα 5).

Πίνακας 4. Ε1-Ανάλυση της επιλογής “Κίνδυνος Βανδαλισμού”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	3	20,0	20,0
2η επιλογή	2	13,3	33,3
3η επιλογή	4	26,7	60,0
4η επιλογή	4	26,7	86,7
5η επιλογή	2	13,3	100,0
Σύνολο	15	100,0	



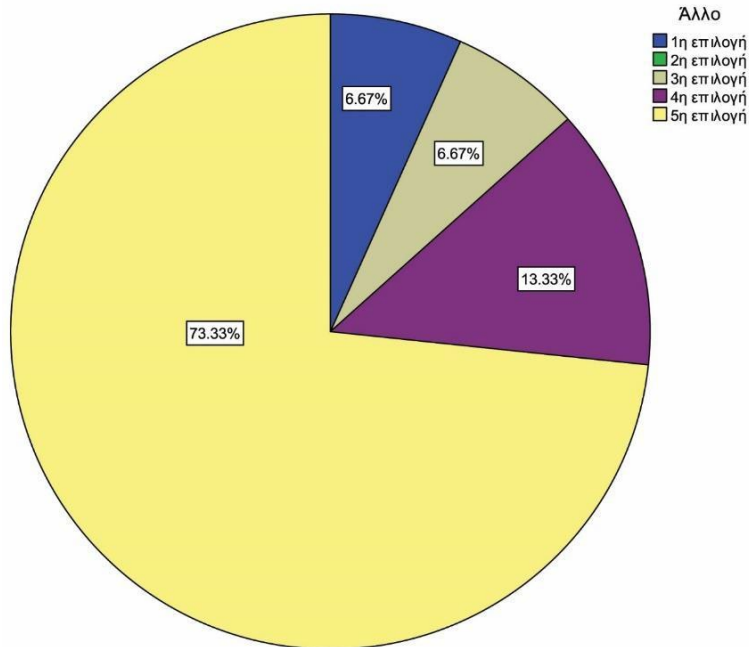
Εικόνα 5. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του ανασταλτικού παράγοντα “Κίνδυνος Βανδαλισμού”.

Άλλο

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, το μεγαλύτερο ποσοστό των συμμετεχόντων (73,3%) κατέταξε το "Άλλο" ως τον 5ο σημαντικότερο παράγοντα που εμποδίζει την αύξηση του αριθμού των αυτόματων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας ή/και της ποσότητας των υδάτων στη χώρα μας. Αναφέρθηκαν τέσσερις επιλογές, με την τέταρτη επιλογή να λαμβάνει 13,3 τοις εκατό των ψήφων και την πρώτη και την τρίτη επιλογή να λαμβάνουν από 6,7 τοις εκατό (Πίνακας 5, Σχήμα 6).

Πίνακας 5. Ε1-Ανάλυση της επιλογής “Άλλο”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	1	6,7	6,7
2η επιλογή	0	0	6,7
3η επιλογή	1	6,7	13,3
4η επιλογή	2	13,3	26,7
5η επιλογή	11	73,3	100,0
Σύνολο	15	100,0	



Εικόνα 6. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του ανασταλτικού παράγοντα "Άλλο".

Παρά το γεγονός ότι το σύνολο του δείγματος (N=15 άτομα) απάντησε στην ερώτηση E2, η επιλογή "Άλλο" επιλέχθηκε από οκτώ άτομα. Οι απαντήσεις που δόθηκαν από την επιλογή "Άλλο" έχουν ως εξής:

1. Επεξεργασία-διαχείριση δεδομένων
2. Εκπαίδευσης προσωπικού
3. Συντήρηση (Χρόνος - εκπαίδευση προσωπικού- Τεχνική Υποστήριξη, Καιρικές Συνθήκες
4. Άγνοια χρησιμότητας και τρόπου αξιοποίησης μετρητικών δεδομένων
5. Κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό για τη συλλογή και αξιοποίηση των δεδομένων
6. Τα άτομα που θα είναι υπεύθυνα για την διαχείριση και εποπτεία των σταθμών
7. Απαραίτητη προϋπόθεση που σπάνια πληρούται, είναι η οργανωμένη υπηρεσία ελέγχου (παρακολούθησης) και τεχνικής υποστήριξης της λειτουργίας των αυτόματων σταθμών.
8. Έλλειψη εμπειρίας από προμηθευτές και χρήστες

Ερώτηση 2 (E2)

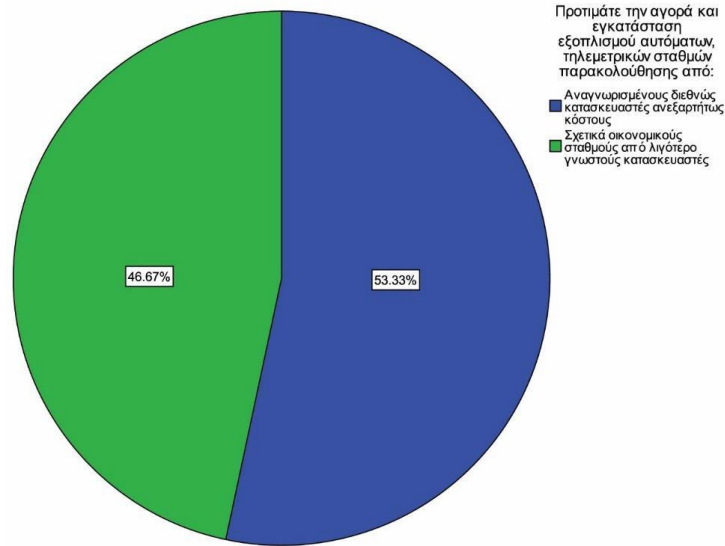
Χρησιμοποιώντας την ερώτηση 2 (E2), στοχεύουμε να συγκεντρώσουμε πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των ερωτηθέντων όσον αφορά την εγκατάσταση του εξοπλισμού και τους σταθμούς τηλεμετρικής παρακολούθησης. Μια ερώτηση πολλαπλής επιλογής συμπεριλήφθηκε στην έρευνα και απαντήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες (βλ. Εικόνα 7). (15 ερωτηθέντες). Οι περισσότεροι από τους ερωτηθέντες (53,3%) επέλεξαν "Διεθνώς αναγνωρισμένους κατασκευαστές ανεξαρτήτως κόστους", ενώ οι υπόλοιποι ερωτηθέντες (46,7%) επέλεξαν "Σχετικά φθηνούς σταθμούς από λιγότερο γνωστούς κατασκευαστές" (Σχήμα 8, Πίνακας 6).

- 2) Προτιμάτε την αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού αυτομάτων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης από: *
- Αναγνωρισμένους διεθνώς κατασκευαστές ανεξαρτήτως κόστους;
 - Σχετικά οικονομικούς σταθμούς από λιγότερο γνωστούς κατασκευαστές;

Εικόνα 7. Παρουσίαση της ερώτησης E2 μέσω του google form.

Πίνακας 6. E2-Προτίμηση αγοράς και εγκατάστασης εξοπλισμού αυτομάτων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
Αναγνωρισμένους διεθνώς κατασκευαστές ανεξαρτήτως κόστους	8	53,3	53,3
Σχετικά οικονομικούς σταθμούς από λιγότερο γνωστούς κατασκευαστές	7	46,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



Εικόνα 8. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της επιλογής προτίμησης για την αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης.

Ερώτηση 3 (E3)

Η απάντηση στην ερώτηση 3 (E3) θα βοηθήσει να ιεραρχηθούν οι παράγοντες που είναι πιο σημαντικοί για εσάς όταν αποφασίζετε αν θα αγοράσετε ή όχι αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης. Για το σχεδιασμό της ερώτησης χρησιμοποιήθηκε ένα πλέγμα πολλαπλών επιλογών (Σχήμα 9) και όλοι οι συμμετέχοντες στην έρευνα έπρεπε να απαντήσουν σε αυτήν (15 άτομα). Τα αποτελέσματα της ερώτησης χωρίζονται σε πέντε (5) υποπεριπτώσεις, οι οποίες έχουν ως εξής:

- Μέγεθος σταθμού (έκθεση σε κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής)
- Συχνότητα μεταφοράς δεδομένων
- Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία (ηλιακό πάνελ)
- Ευκολία τοποθέτησης
- Άλλο

3) Ποιοι από τους παρακάτω παράγοντες παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στην επιλογή για προμήθεια αυτόματων σταθμών παρακολούθησης. (βάλτε τους με σειρά προτεραιότητας) *

	1η επιλογή	2η επιλογή	3η επιλογή	4η επιλογή	5η επιλογή
Μέγεθος σταθμού (έκθεση σε κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Συχνότητα μεταφοράς δεδομένων	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία (ηλιακό πάνελ)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ευκολία τοποθέτησης	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Άλλο	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Προσδιορίστε την επιλογή άλλο:

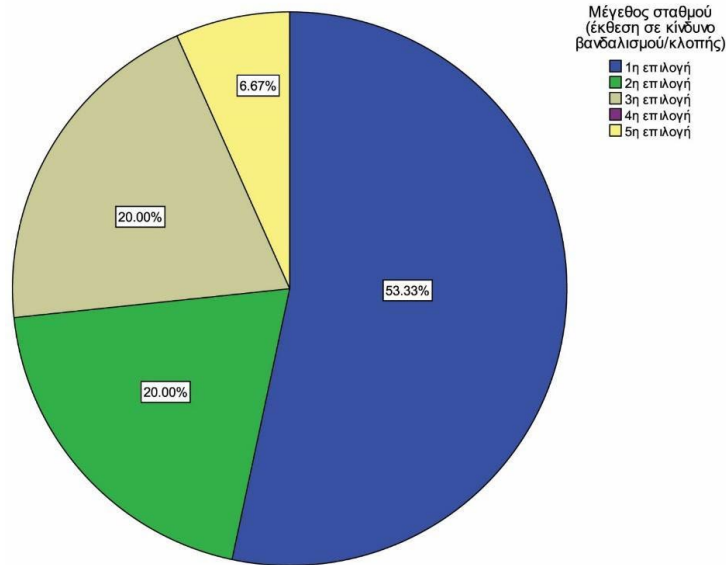
Η απάντησή σας

Εικόνα 9. Παρουσίαση της ερώτησης E3 μέσω του google form.

Μέγεθος σταθμού (έκθεση σε κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής)

Πάνω από το ήμισυ του δείγματος (53,3%) δήλωσε ότι "το μέγεθος του σταθμού (έκθεση στον κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής)" ήταν ο σημαντικότερος παράγοντας που έπρεπε να ληφθεί υπόψη όταν αποφασίστηκε η αγορά ή μη αυτόματων σταθμών παρακολούθησης. Το "Μέγεθος του σταθμού (έκθεση στον κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής)" κατατάχθηκε ως η 2η και η 3η δημοφιλέστερη επιλογή, αντίστοιχα, με ποσοστό 20 τοις εκατό και 6,7 τοις εκατό των ψήφων, αντίστοιχα (Πίνακας 7, Σχήμα 10).

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	8	53,3	53,3
2η επιλογή	3	20,0	73,3
3η επιλογή	3	20,0	93,3
4η επιλογή	0	0	93,3
5η επιλογή	1	6,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



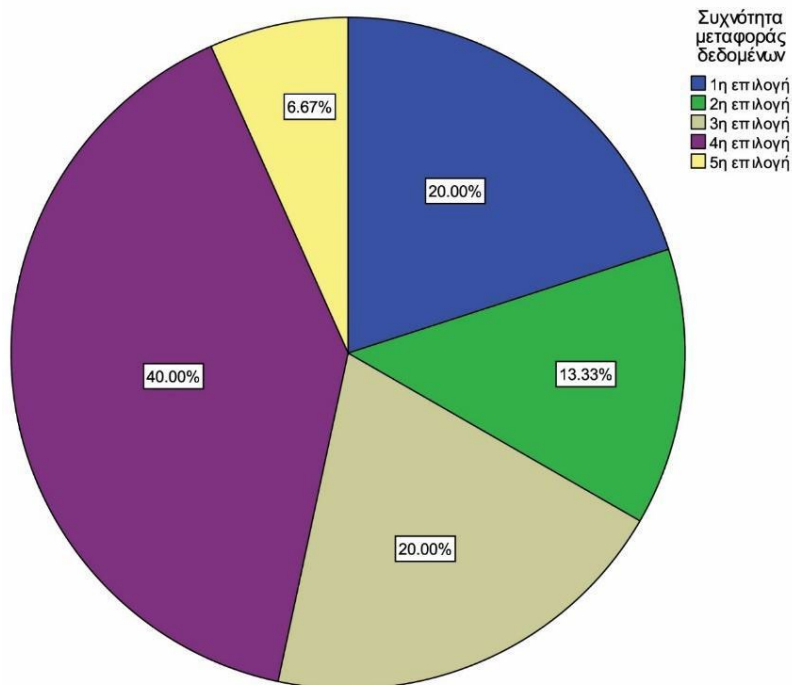
Εικόνα 10. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του παράγοντα “Μέγεθος σταθμού (έκθεση σε κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής)”.

Συχνότητα μεταφοράς δεδομένων

Λίγο περισσότερο από το ένα τρίτο του δείγματος (40%) απάντησαν ότι κατέταξαν τη "συχνότητα μεταφοράς δεδομένων" ως τον τέταρτο πιο σημαντικό παράγοντα που πρέπει να εξετάσουν όταν αποφασίζουν αν θα αγοράσουν ή όχι αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης. Η "συχνότητα μεταφοράς δεδομένων" κατατάχθηκε ως η πρώτη και τρίτη επιλογή, αντίστοιχα, με ποσοστό 20 τοις εκατό, η δεύτερη επιλογή με 13,3 τοις εκατό και η πέμπτη επιλογή με 6,7 τοις εκατό (Πίνακας 8, Σχήμα 11).

Πίνακας 8. Ε3-Ανάλυση της επιλογής “Συχνότητα μεταφοράς δεδομένων”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	3	20,0	20,0
2η επιλογή	2	13,3	33,3
3η επιλογή	3	20,0	53,3
4η επιλογή	6	40,0	93,3
5η επιλογή	1	6,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



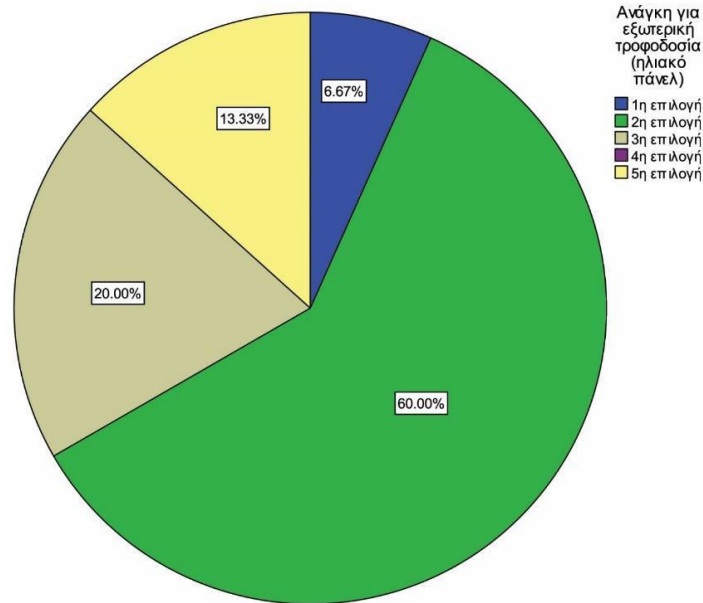
Εικόνα 11. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του παράγοντα “Συχνότητα μεταφοράς δεδομένων”.

Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία (ηλιακό πάνελ)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η επιλογή "Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία (ηλιακό πάνελ)" κατατάχθηκε ως ο 2ος πιο σημαντικός παράγοντας στην απόφαση για την αγορά αυτόματων σταθμών παρακολούθησης από το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος (60%). Η επιλογή "Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος (ηλιακό πάνελ)" κατατάχθηκε ως η δεύτερη δημοφιλέστερη επιλογή με ποσοστό 20 τοις εκατό, η πέμπτη δημοφιλέστερη επιλογή με ποσοστό 13,3 τοις εκατό και η πρώτη δημοφιλέστερη επιλογή με ποσοστό 6,7 τοις εκατό (Πίνακας 9, Εικόνα 12).

Πίνακας 9. Ε3-Ανάλυση της επιλογής “Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία (ηλιακό πάνελ)”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	1	6,7	6,7
2η επιλογή	9	60,0	66,7
3η επιλογή	3	20,0	86,7
4η επιλογή	0	0	86,7
5η επιλογή	2	13,3	100,0
Σύνολο	15	100,0	



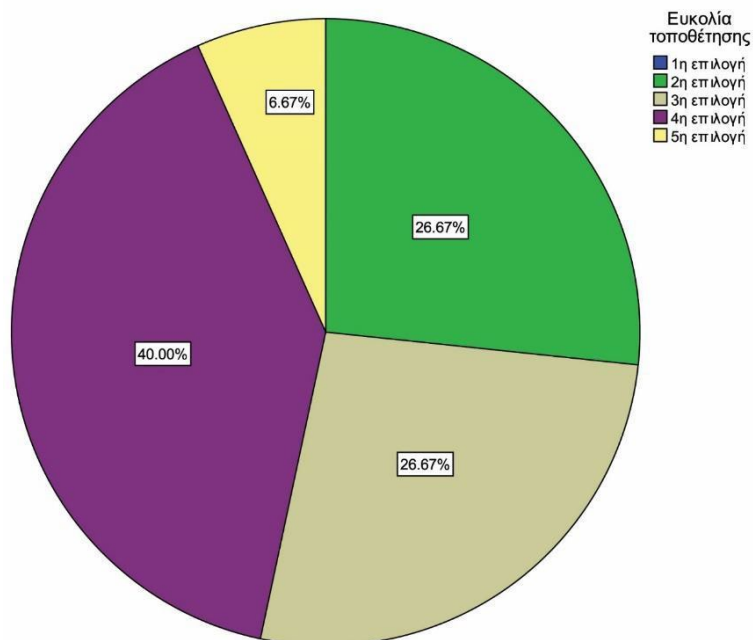
Εικόνα 12. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του παράγοντα “Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία (ηλιακό πάνελ)”.

Ευκολία τοποθέτησης

Λίγο περισσότερο από το ένα τρίτο του δείγματος (40%) απάντησε ότι η "ευκολία εγκατάστασης" ήταν ο τέταρτος σημαντικότερος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη όταν αποφασίζεται η αγορά ή μη αυτόματων σταθμών παρακολούθησης. Η "Ευκολία τοποθέτησης" κατατάχθηκε ως 2η και 3η επιλογή, αντίστοιχα, με 26,7% των ψήφων, και ως 5η επιλογή, με 6,7% των ψήφων (Πίνακας 10, Σχήμα 13).

Πίνακας 10. Ε3-Ανάλυση της επιλογής “Ευκολία τοποθέτησης”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	0	0	0
2η επιλογή	4	26,7	26,7
3η επιλογή	4	26,7	53,3
4η επιλογή	6	40,0	93,3
5η επιλογή	1	6,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



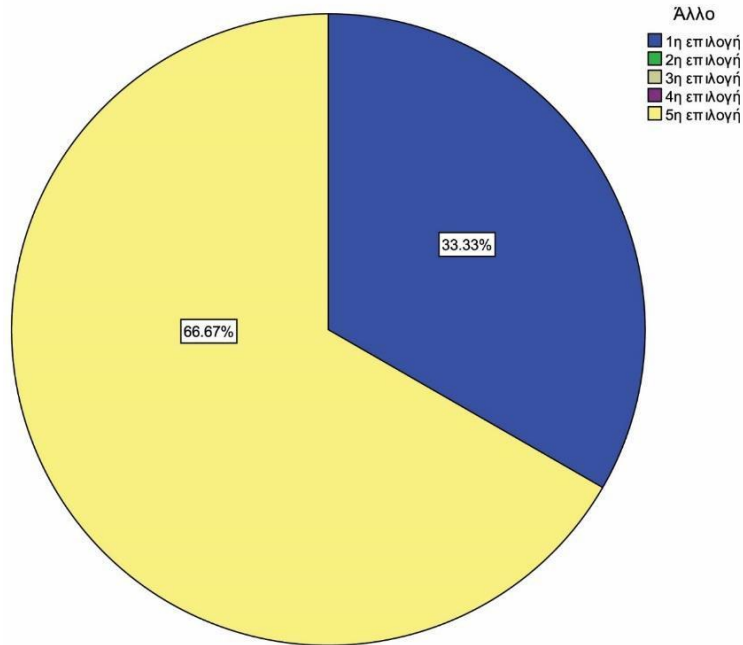
Εικόνα 13. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του παράγοντα “Ευκολία τοποθέτησης”.

Άλλο

Στην έρευνα, τα δύο τρίτα των συμμετεχόντων (66,7%) κατέταξαν το "Άλλο" ως τον πέμπτο σημαντικότερο παράγοντα για την απόφαση αγοράς ή μη αυτόματων σταθμών παρακολούθησης. Με ποσοστό 33,3%, η επιλογή "Άλλο" ήταν η πιο δημοφιλής (Πίνακας 11, Σχήμα 14).

Πίνακας 11. Ε3-Ανάλυση της επιλογής “Άλλο”.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
1η επιλογή	5	33,3	33,3
2η επιλογή	0	0	33,3
3η επιλογή	0	0	33,3
4η επιλογή	0	0	33,3
5η επιλογή	10	66,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



Εικόνα 14. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της προτεραιότητα επιλογής (1-5) του παράγοντα “Άλλο”.

Η επιλογή “Άλλο” προσδιορίστηκε από 6 άτομα παρά το γεγονός ότι ολόκληρο το δείγμα απάντησε στην ερώτηση E3 (N = 15 άτομα). Οι απαντήσεις της επιλογής “Άλλο” είναι:

1. Φύλαξη σταθμών
2. Τεχνική Υποστήριξη
3. Αξιοπιστία και αντοχή αισθητήρων και μονάδας διαχείρισης δεδομένων, ευχρηστία περιβάλλοντος απομακρυσμένης αλληλεπίδρασης
4. η επιλογή είναι αποτέλεσμα συνδυασμού του λειτουργικού κόστους, του κόστους συντήρησης, των απαιτούμενων χρόνων επέμβασης για διόρθωση δεδομένων αλλά και των απαιτήσεων από κάποιο σταθμό (ανάλογα με τις μετρούμενες παραμέτρους π.χ. διαφορετική συχνότητα για βροχομετρικά δεδομένα και διαφορετική για δεδομένα υπόγειων υδροφορέων)
5. Η αξιοπιστία λειτουργία
6. Αξιοπιστία μετρήσεων

Ερώτηση 4 (E4)

Στην ερώτηση 4 (E4) , ο ερωτώμενος καλείται να προσδιορίσει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχει χρησιμοποιήσει στο παρελθόν. Η ερώτηση διαμορφώθηκε ως πλαίσιο ελέγχου (Εικόνα 15) και όλοι οι συμμετέχοντες στην έρευνα σημείωσαν το κατάλληλο πλαίσιο (15 ερωτηθέντες). Κατά την απάντηση της ερώτησης E4, το συνολικό μέγεθος του δείγματος είναι διαφορετικό, επειδή είναι δυνατόν να επιλεγούν περισσότερες από μία απαντήσεις.

4) Ποιο από τα παρακάτω πρωτόκολλα επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων έχετε χρησιμοποιήσει; *

GSM/GPRS

Wi-Fi

UHF/VHF

LoRaWan

Zigbee

Άλλο: _____

Εικόνα 15. Παρουσίαση της ερώτησης E4 μέσω του google form.

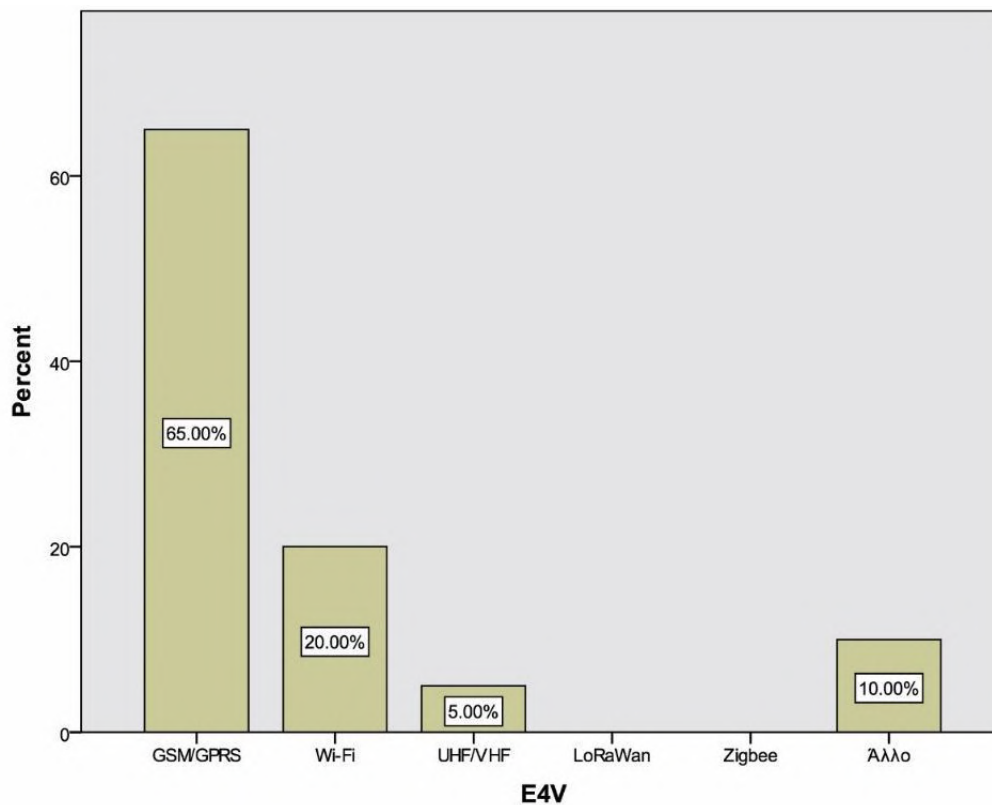
Τα δύο τρίτα του συνολικού δείγματος (65%) δήλωσαν ότι έχουν χρησιμοποιήσει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων "GSM/GPRS" για την επικοινωνία και τη μεταφορά δεδομένων. Όσον αφορά τη συχνότητα των απαντήσεων σε σχέση με τον αριθμό των συμμετεχόντων, η επιλογή "GSM/GPRS" έλαβε ποσοστό 86,7% (Ποσοστό ανά απάντηση). Τη δεύτερη θέση κατέλαβε το πρωτόκολλο ασύρματης μεταφοράς δεδομένων και επικοινωνίας "Wi-Fi", το οποίο έλαβε το 20 τοις εκατό του συνόλου των απαντήσεων, κατατάσσοντάς το στη δεύτερη θέση συνολικά (26,7 τοις εκατό Ποσοστό ανά απάντηση). Το πρωτόκολλο επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων "Άλλο", το οποίο έλαβε το 10% του συνολικού αριθμού των απαντήσεων, βρίσκεται στην τρίτη θέση (13,3% ανά απάντηση). Το "UHF/VHF" είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που λαμβάνει τις λιγότερες απαντήσεις (5 τοις εκατό του συνολικού αριθμού των απαντήσεων) (6,7 τοις εκατό ανά απάντηση). Αξίζει να σημειωθεί ότι ούτε το πρωτόκολλο επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων LoRaWan ούτε το πρωτόκολλο Zigbee έχουν χρησιμοποιηθεί από τους συμμετέχοντες στην έρευνα (Πίνακας 12, Εικόνα 16, Εικόνα 17).

Πίνακας 12. Ε4-Ανάλυση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί.

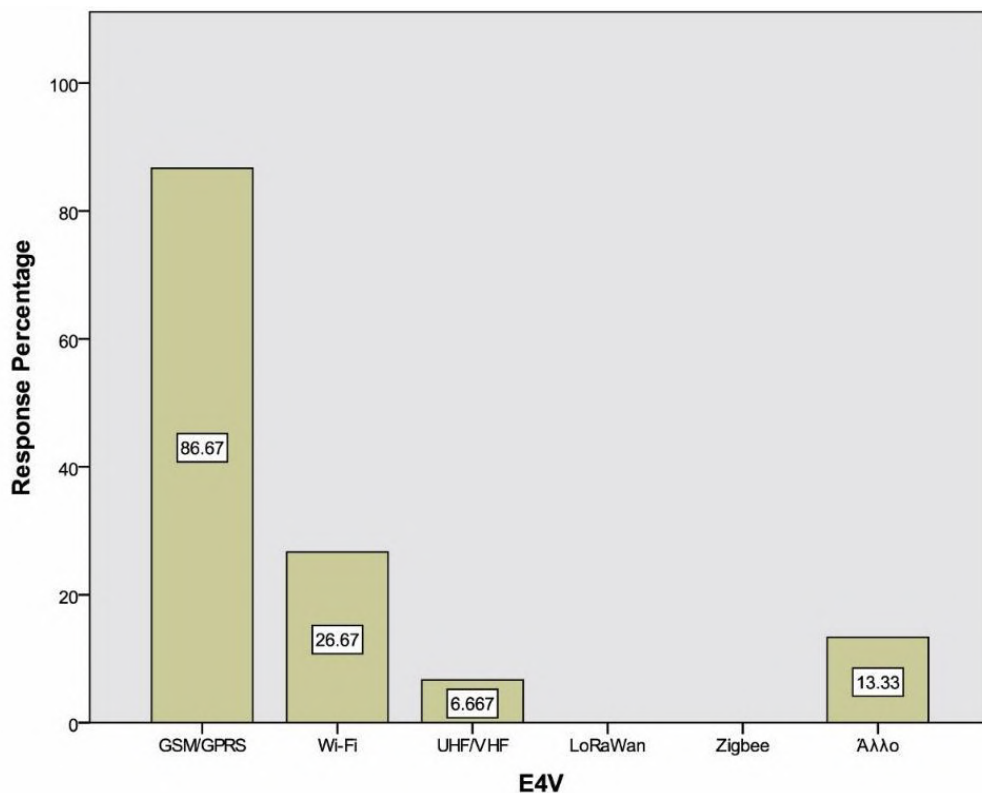
Επιλογές	Συχνότητα (N)	Ποσοστό (%)	Ποσοστό ανά απάντηση (%)
GSM/GPRS	13	65,0	86,7
Wi-Fi	4	20,0	26,7
UHF/VHF	1	5,0	6,7
LoRaWan	0	0	0
Zigbee	0	0	0
Άλλο	2	10,0	13,3
Σύνολο	20	100,0	133,3

Οι απαντήσεις της επιλογής “Άλλο” είναι:

1. Σταθερή τηλεφωνία
2. Δεν έχουμε χρησιμοποιήσει τηλεμετρικούς σταθμούς



Εικόνα 16. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) του πρωτοκόλλου επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί.



Εικόνα 17. Ποσοστό επί τις εκατό (%) ανά απάντηση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Ερώτηση 5 (E5)

Η ερώτηση 5 (E5) αποσκοπεί στον εντοπισμό των σοβαρότερων προβλημάτων με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που χρησιμοποιούν οι ερωτηθέντες για την επικοινωνία και τη μεταφορά δεδομένων. Η ερώτηση διαμορφώθηκε ως πλαίσιο ελέγχου (Σχήμα 18) και όλοι οι συμμετέχοντες στην έρευνα έβαλαν τσεκάρισμα στο κατάλληλο πλαίσιο (15 ερωτηθέντες). Επειδή είναι δυνατόν να επιλεγούν περισσότερες από μία απαντήσεις στο E5, το συνολικό μέγεθος του δείγματος είναι διαφορετικό σε αυτή την περίπτωση.

5) Ποια ήταν τα κύρια προβλήματα των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχετε χρησιμοποιήσει; *

- Ακριβός εξοπλισμός τηλεμετάδοσης δεδομένων
- Ενεργοβόρος εξοπλισμός τηλεμετάδοσης δεδομένων
- Υψηλό κόστος χρήσης
- Κακή κάλυψη δικτύου
- Άλλο: _____

Εικόνα 18. Παρουσίαση της ερώτησης E5 μέσω του google form.

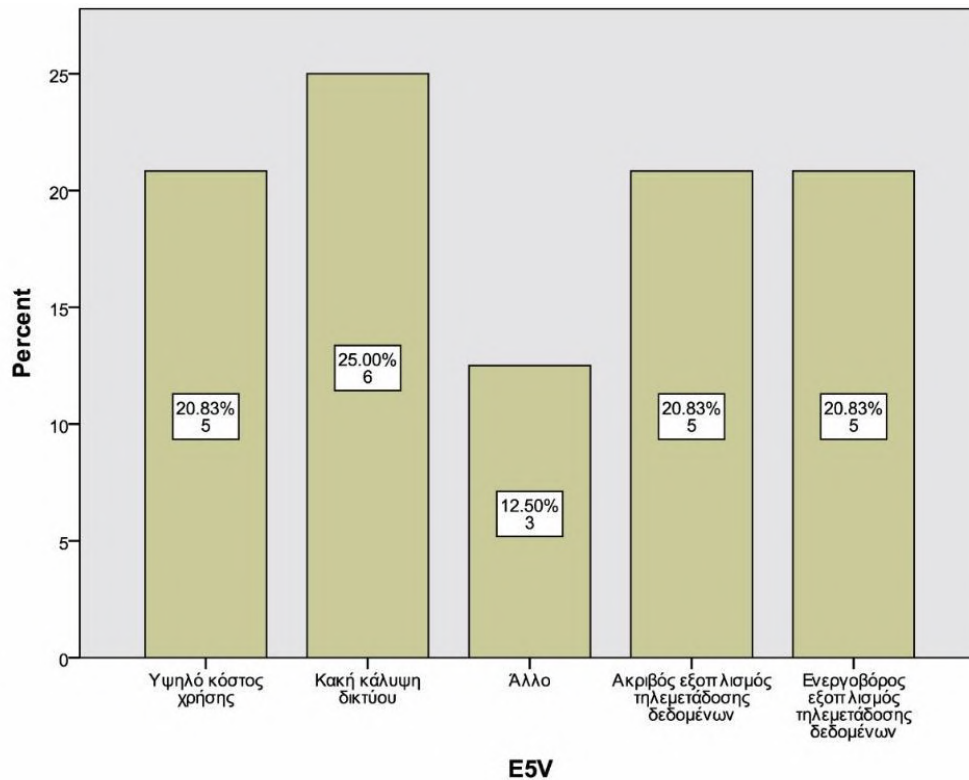
Περίπου το ένα τέταρτο του δείγματος (25%) επέλεξε την επιλογή "Κακή κάλυψη δικτύου". Κατά τη σύγκριση της συχνότητας των απαντήσεων με τον αριθμό των συμμετεχόντων, η επιλογή "Κακή κάλυψη δικτύου" έλαβε βαθμολογία 40%. (Ποσοστό ανά απάντηση). Τα προβλήματα των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μετάδοσης δεδομένων "Ανακριβής εξοπλισμός μετάδοσης δεδομένων", "Ενεργειοβόρος εξοπλισμός μετάδοσης δεδομένων" και "Υψηλό κόστος χρήσης" κατέλαβαν τη δεύτερη και την τρίτη θέση, αντίστοιχα, με ποσοστό 20% του συνολικού αριθμού των απαντήσεων στην έρευνα (33,3% Ποσοστό ανά απάντηση). Η επιλογή "Άλλο" έρχεται στην τελευταία θέση με 12,5 τοις εκατό του συνολικού αριθμού των απαντήσεων (20 τοις εκατό Ποσοστό ανά απάντηση) και είναι η λιγότερο δημοφιλής (Πίνακας 13, Σχήμα 19, Σχήμα 20).

Πίνακας 13. E5-Ανάλυση των κύριων προβλημάτων των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί.

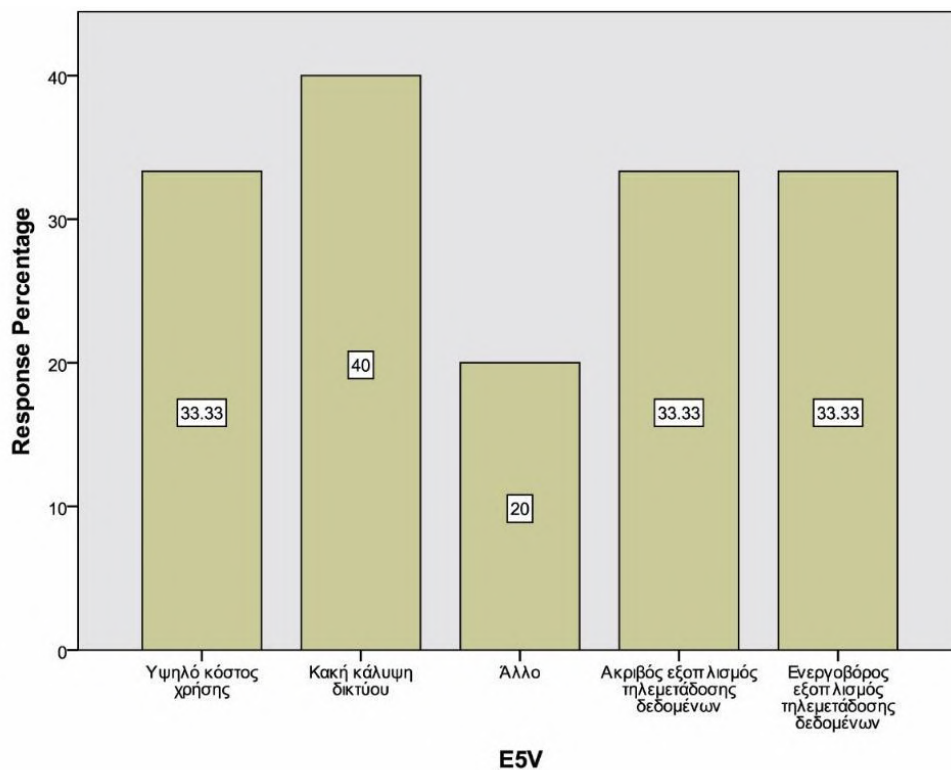
Επιλογές	Συχνότητα (N)	Ποσοστό (%)	Ποσοστό ανά απάντηση (%)
Ακριβός εξοπλισμός τηλεμετάδοσης δεδομένων	5	20,8	33,3
Ενεργοβόρος εξοπλισμός τηλεμετάδοσης δεδομένων	5	20,8	33,3
Υψηλό κόστος χρήσης	5	20,8	33,3
Κακή κάλυψη δικτύου	6	25,0	40,0
Άλλο	3	12,5	20,0
Σύνολο	24	100,0	160,0

Κάθε απάντηση της επιλογής “Άλλο” είναι ξεχωριστή. Οι απαντήσεις της επιλογής “Άλλο” είναι:

1. Δεν έχουμε χρησιμοποιήσει τηλεμετρικούς σταθμούς
2. Στην περίπτωση των απομακρυσμένων σταθμών, δεν υπήρχε κάλυψη δικτύου οπότε θα έπρεπε να εγκατασταθούν ενδιάμεσοι αναμεταδότες, αυξάνοντας έτσι κατά πολύ το κόστος εγκατάστασης
3. Δεν υπήρξαν προβλήματα μετάδοσης των δεδομένων



Εικόνα 19. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) των κύριων προβλημάτων των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί.



Εικόνα 20. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) ανά απάντηση των κύριων προβλημάτων των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Ερώτηση 6 (E6)

Ο στόχος της ερώτησης 6 (E6) είναι να καταγραφεί το επιθυμητό χρονικό βήμα για τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης, που είναι και ο σκοπός της παρούσας ερώτησης. Χρησιμοποιώντας μια μορφή πολλαπλής επιλογής (Εικόνα 21), η ερώτηση τέθηκε σε όλους όσοι συμμετείχαν στην έρευνα και έλαβαν απάντηση (15 άτομα).

6) Στους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης θα επιθυμούσατε : *

- σταθερό χρονικό βήμα μέτρησης - όσο το δυνατόν συχνότερη μέτρηση χρονικά (π.χ. 15 λεπτά)
- ή χρονικά μεταβαλλόμενο ανάλογα με την τάση των μετρήσεων (πιο συχνές μετρήσεις όταν υπάρχει ανοδική/ καθοδική τάση π.χ. 1 λεπτό και πιο αραιές όταν δεν υπάρχουν σημαντικές μεταβολές π.χ. 1 ώρα)
- Άλλο: _____

Εικόνα 21. Παρουσίαση της ερώτησης Ε6 μέσω του google form.

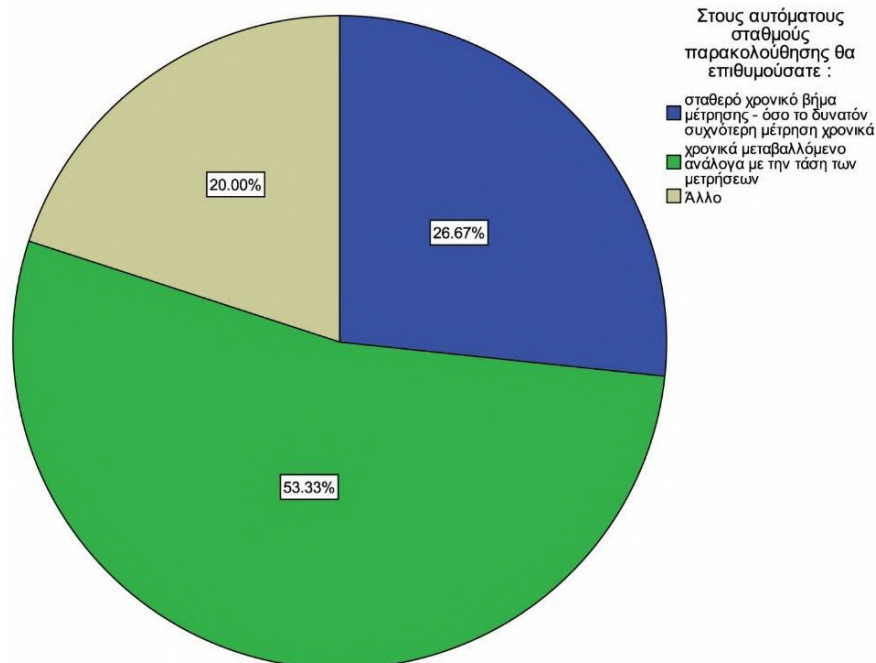
Το ένα πέμπτο (53,3%) των ερωτηθέντων δήλωσε ότι θα ήθελε ο σταθμός μέτρησης να έχει ένα χρονικό βήμα που να "μεταβάλλεται χρονικά ανάλογα με την τάση των μετρήσεων (συχνότερες μετρήσεις όταν υπάρχει ανοδική/καθοδική τάση, για παράδειγμα, 1 λεπτό, και λιγότερο συχνές μετρήσεις όταν δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές, για παράδειγμα, 1 ώρα)". Στη δημοσκοπήση, η επιλογή "Σταθερό χρονικό βήμα μέτρησης - όσο το δυνατόν συχνότερες μετρήσεις με την πάροδο του χρόνου (π.χ. 15 λεπτά)" έλαβε το 26,7% των ψήφων, ενώ η επιλογή "Άλλο" έλαβε το 20% (Πίνακας 14, Σχήμα 22).

Πίνακας 14. Ε6-Ανάλυση των επιλογών προτίμησης επιθυμητού βήματος μέτρησης (Σταθερό / Χρονικά μεταβαλλόμενο / Άλλο) για τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
Σταθερό χρονικό βήμα μέτρησης - όσο το δυνατόν συχνότερη μέτρηση χρονικά (π.χ. 15 λεπτά)	4	26,7	26,7
Χρονικά μεταβαλλόμενο ανάλογα με την τάση των μετρήσεων (πιο συχνές μετρήσεις όταν υπάρχει ανοδική/ καθοδική τάση π.χ. 1 λεπτό και πιο αραιές όταν δεν υπάρχουν σημαντικές μεταβολές π.χ. 1 ώρα)	8	53,3	80,0
Άλλο	3	20,0	100,0
Σύνολο	15	100,0	

Κάθε απάντηση της επιλογής "Άλλο" είναι ξεχωριστή. Οι απαντήσεις της επιλογής "Άλλο" είναι:

1. Χρονικά μεταβαλλόμενο ως άνω επιλογή, με δυνατότητα λήψης πολλαπλών μετρήσεων και ολοκλήρωσή τους για απόδοση μιας τελικής τιμής, κύρια για "δύσκολες" ή περιορισμένης αξιοπιστίας μετρήσεις
2. Εξαρτάται από την παράμετρο, π.χ. για υπόγειους υδροφορείς δεν είναι απαραίτητη η μεγάλη συχνότητα μέτρησης σε αντίθεση με του μετεωρολογικούς που είναι χρήσιμη η ανά 10 λεπτά
3. Να είναι ρυθμιζόμενο και με τις δύο παραπάνω επιλογές από τον ίδιο τον χρήστη



Εικόνα 22. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) των επιλογών προτίμησης του επιθυμητού βήματος μέτρησης (Σταθερό / Χρονικά μεταβαλλόμενο / Άλλο) για τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης.

Ερώτηση 7 (E7)

Όταν απαντάται η ερώτηση 7 (E7), εξετάζεται πώς συγκρίνεται το κόστος απόκτησης με το κόστος λειτουργίας των αυτόματων σταθμών παρακολούθησης. Οι επιλογές που έχουν προταθεί είναι οι ακόλουθες: 1.υψηλό κόστος απόκτησης με χαμηλό κόστος λειτουργίας- 2.χαμηλό κόστος απόκτησης με υψηλό κόστος λειτουργίας. Η ερώτηση σχεδιάστηκε σε μορφή πολλαπλών επιλογών (Σχήμα 23) και απαντήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες στην έρευνα που είχαν δικαίωμα συμμετοχής (15 άτομα).

7) Ποια από τις παρακάτω λύσεις για την προμήθεια αυτόματων σταθμών παρακολούθησης θα επιλέγατε: *

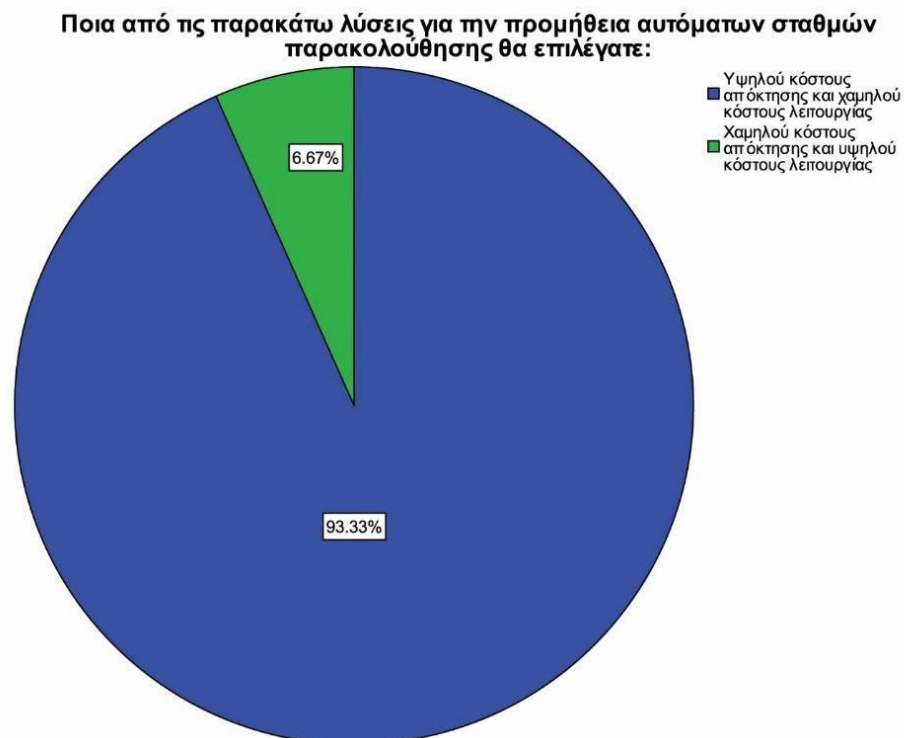
- Υψηλού κόστους απόκτησης και χαμηλού κόστους λειτουργίας
- Χαμηλού κόστους απόκτησης και υψηλού κόστους λειτουργίας

Εικόνα 23. Παρουσίαση της ερώτησης E7 μέσω του google form.

Οι αυτόματοι σταθμοί παρακολούθησης με "υψηλό κόστος απόκτησης και χαμηλό λειτουργικό κόστος" προτιμήθηκαν από τη συντριπτική πλειοψηφία των ερωτηθέντων (93,3%), οι οποίοι δήλωσαν ότι αναζητούσαν μια λύση με "υψηλό κόστος απόκτησης και χαμηλό λειτουργικό κόστος". Υπήρξε μόνο ένας συμμετέχων (6,7%) που επέλεξε σταθμούς παρακολούθησης με "χαμηλό κόστος απόκτησης αλλά υψηλό λειτουργικό κόστος" (Πίνακας 15, Σχήμα 24).

Πίνακας 15. Ε7-Ανάλυση των επιλογών κόστους απόκτησης και κόστους λειτουργίας των αυτόματων σταθμών παρακολούθησης.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
Υψηλού κόστους απόκτησης και χαμηλού κόστους λειτουργίας	14	93,3	93,3
Χαμηλού κόστους απόκτησης και υψηλού κόστους λειτουργίας	1	6,7	100,0
Σύνολο	15	100,0	



Εικόνα 24. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) των επιλογών κόστους απόκτησης και κόστους λειτουργίας των αυτόματων σταθμών παρακολούθησης.

Ερώτηση 8Α (E8A)

Η ερώτηση 8Α (E8A) εξετάζει τη σχέση μεταξύ του μεγέθους του σταθμού και της αυτονομίας του σταθμού, της συχνότητας καταγραφής των μετρήσεων και της μεταφοράς τηλεμετρικών δεδομένων. 1) Ένας σταθμός μεγάλου μεγέθους με ηλιακούς συλλέκτες που παρέχει υψηλή ενεργειακή αυτονομία, μετρήσεις ανά μισή ώρα και μεταφορά τηλεμετρικών δεδομένων κάθε τρεις ώρες. 2) Ένας σταθμός μικρού μεγέθους χωρίς ηλιακούς συλλέκτες (ή με πολύ μικρούς συλλέκτες) που έχει μεταβλητή συχνότητα καταγραφής μετρήσεων (μεγαλύτερη ή ίση με την ώρα) και μεταφορά τηλεμετρικών δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα, με αύξηση της συχνότητας μετάδοσης όταν υπάρχει σημαντική αλλαγή στη μέτρηση, και 3) Ένας σταθμός μεγάλου μεγέθους με ηλιακούς συλλέκτες που παρέχει υψηλή ενεργειακή αυτονομία, - Σχεδιάστηκε με μορφή πολλαπλών επιλογών (Εικόνα 25) και απαντήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες στην έρευνα που έλαβαν μέρος στην έρευνα (15 άτομα).

8.A) Ποιόν από τους κάτωθι αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης θα προτιμούσατε: *

- Μεγάλου μεγέθους σταθμός με πάνελ που εξασφαλίζει μεγάλη ενεργειακή αυτονομία, μισάωρες μετρήσεις και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων κάθε τρίωρο.
- Μικρού μεγέθους σταθμό χωρίς πάνελ (ή με πολύ μικρό πάνελ) ο οποίος θα έχει μεταβαλλόμενη συχνότητα καταγραφής μετρήσεων (μεγαλύτερη ή ίση με ωριαία) και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα, με αύξηση της συχνότητας αποστολής όταν υπάρχει αξιόλογη μεταβολή στη μέτρηση

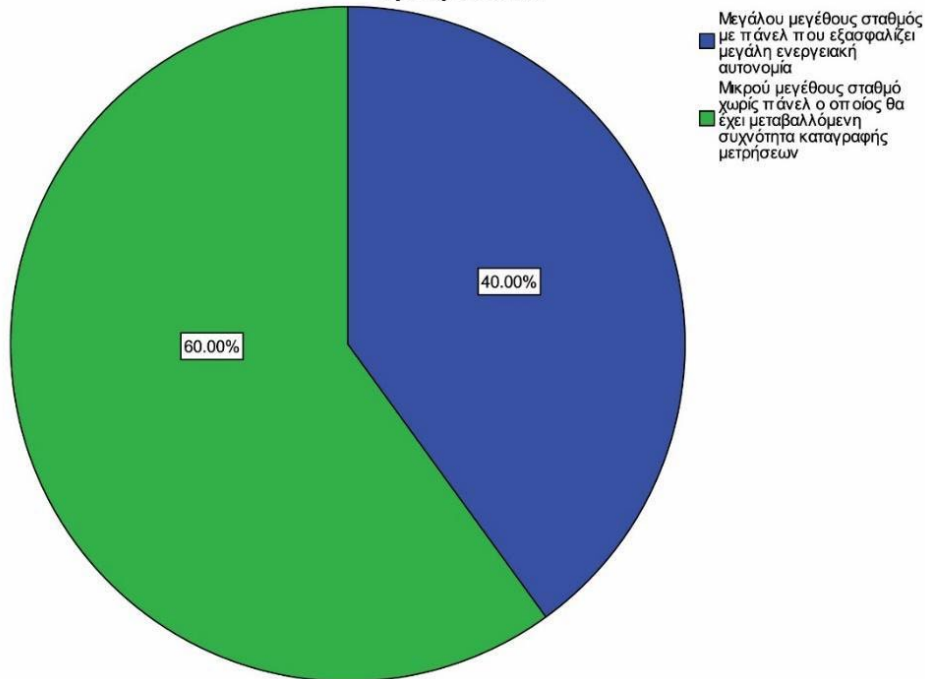
Εικόνα 25. Παρουσίαση της ερώτησης E8A μέσω του google form.

Η πλειονότητα του δείγματος (60%) δήλωσε ότι θα ενδιαφερόταν για τη λύση της απόκτησης αυτόματων σταθμών παρακολούθησης, συγκεκριμένα για έναν "σταθμό μεγάλου μεγέθους με πίνακες που εξασφαλίζει υψηλή ενεργειακή αυτονομία, μισάωρες μετρήσεις και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων κάθε τρεις ώρες". Τη λύση αυτή επέλεξε το 40% του υπόλοιπου δείγματος, το οποίο αποτελείται από "σταθμούς μικρού μεγέθους χωρίς πάνελ (ή με πολύ μικρά πάνελ) που έχουν μεταβλητή συχνότητα καταγραφής μετρήσεων (μεγαλύτερη ή ίση με ωριαία) και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα, με αύξηση της συχνότητας μετάδοσης όταν υπάρχει σημαντική αλλαγή στις μετρήσεις" (Σταθμός μικρού μεγέθους χωρίς πάνελ (ή με πολύ μικρά πάνελ) (Πίνακας 16, Σχήμα 26).

Πίνακας 16. Ε8Α-Ανάλυση των επιλογών προτίμησης για τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
Μεγάλου μεγέθους σταθμός με πάνελ που εξασφαλίζει μεγάλη ενεργειακή αυτονομία, μισάωρες μετρήσεις και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων κάθε τρίωρο.	6	40,0	40,0
Μικρού μεγέθους σταθμό χωρίς πάνελ (ή με πολύ μικρό πάνελ) ο οποίος θα έχει μεταβαλλόμενη συχνότητα καταγραφής μετρήσεων (μεγαλύτερη ή ίση με ωριαία) και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα, με αύξηση της συχνότητας αποστολής όταν υπάρχει αξιόλογη μεταβολή στη μέτρηση	9	60,0	100,0
Σύνολο	15	100,0	

8Α. Ποιόν από τους κάτωθι αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης θα προτιμούσατε:



Εικόνα 26. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) των επιλογών προτίμησης (8Α) για τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης.

Ερώτηση 8B (E8B)

Η ερώτηση 8B (E8B) εξετάζει τη σχέση μεταξύ του κόστους αγοράς του αυτόματου σταθμού παρακολούθησης και της συχνότητας με την οποία απαιτούνται επιτόπιες επισκέψεις. (1) Ένας φθηνός προς αγορά σταθμός που απαιτεί σχετικά σπάνιες επιτόπιες επισκέψεις για καθαρισμό και βαθμονόμηση (π.χ. κάθε 6 μήνες), (2) Ένας φθηνός προς αγορά σταθμός που απαιτεί σχετικά συχνές επιτόπιες επισκέψεις για καθαρισμό και βαθμονόμηση (π.χ. κάθε 3 μήνες) και (3) Ένας φθηνός προς αγορά σταθμός που απαιτεί σχετικά συχνές επιτόπιες επισκέψεις για καθαρισμό και βαθμονόμηση (π.χ. κάθε 3 μήνες) (π.χ. κάθε 3 μήνες). Μια ερώτηση πολλαπλής επιλογής περιλαμβανόταν στην έρευνα και απαντήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες (βλ. Εικόνα 27). (15 ερωτηθέντες).

8.B) Ποιόν από τους κάτωθι αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης θα προτιμούσατε: *

- Ακριβό στην αγορά σταθμό ο οποίος θα απαιτεί σχετικά αραιές επιτόπιες επισκέψεις για καθάρισμα και καλιμπράρισμα (πχ κάθε 6μηνο)
- Φθηνό στην αγορά σταθμό ο οποίος θα απαιτεί σχετικά συχνές επιτόπιες επισκέψεις για καθάρισμα και καλιμπράρισμα (πχ κάθε 3μηνο)

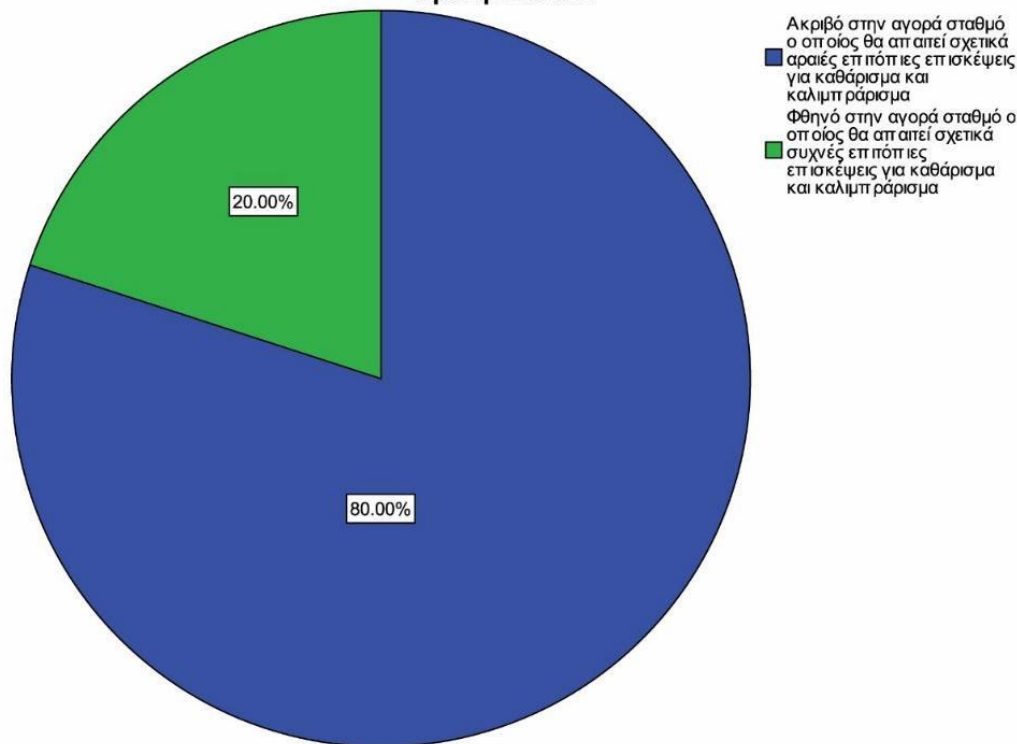
Εικόνα 27. Παρουσίαση της ερώτησης E8B μέσω του google form.

Η συντριπτική πλειονότητα του δείγματος (80%) δήλωσε ότι επιθυμούσε "έναν προσιτό σταθμό που απαιτεί σχετικά σπάνιες επιτόπιες επισκέψεις για καθαρισμό και βαθμονόμηση (π.χ. κάθε 6 μήνες)", ο οποίος ορίστηκε ως "έναν σταθμός που απαιτεί σχετικά σπάνιες επιτόπιες επισκέψεις για καθαρισμό και βαθμονόμηση (π.χ. κάθε 6 μήνες). Μεταξύ του υπόλοιπου 20%, επιλέχθηκε ο "σταθμός που είναι φθηνός στην αγορά και απαιτεί σχετικά συχνές επιτόπιες επισκέψεις για καθαρισμό και βαθμονόμηση (π.χ. κάθε τρεις μήνες)". (Βλέπε πίνακα 17 και σχήμα 28).

Πίνακας 17. E8B-Ανάλυση των επιλογών προτίμησης για τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
Ακριβό στην αγορά σταθμό ο οποίος θα απαιτεί σχετικά αραιές επιτόπιες επισκέψεις για καθάρισμα και καλιμπράρισμα (πχ κάθε 6μηνο)	12	80,0	80,0
Φθηνό στην αγορά σταθμό ο οποίος θα απαιτεί σχετικά συχνές επιτόπιες επισκέψεις για καθάρισμα και καλιμπράρισμα (πχ κάθε 3μηνο)	3	20,0	100,0
Σύνολο	15	100,0	

8B. Ποιόν από τους κάτωθι αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης θα προτιμούσατε:



Εικόνα 28. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) των επιλογών προτίμησης (8A) για τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης.

Ερώτηση 9 (E9)

Το ερώτημα 9 (E9) αποσκοπεί στον προσδιορισμό του μέγιστου κόστους που μπορεί να γίνει ανεκτό για έναν αυτόματο σταθμό μέτρησης που μπορεί να μετρά επίπεδα, pH, θερμοκρασία νερού, διαλυμένο οξυγόνο και ηλεκτρική αγωγιμότητα εκτός από άλλες παραμέτρους. Η ερώτηση σχεδιάστηκε σε μορφή πολλαπλών επιλογών (Σχήμα 29) και απαντήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες στην έρευνα που είχαν δικαίωμα συμμετοχής (15 άτομα). Καταγράφοντας το επιθυμητό κόστος εκτός από την επιλογή "Μέχρι...", προσδιορίστηκε η επιλογή "Μέχρι...".

9) Ποιο θεωρείτε ότι είναι το μέγιστο αποδεκτό κόστος για έναν αυτόματο μετρητικό σταθμό όπου μπορεί να μετρήσει Στάθμη, pH, Θερμοκρασία νερού, Διαλυμένο Οξυγόνο και Ηλεκτρική Αγωγιμότητα? *

- 0-2000 €
- 2000-4000 €
- Έως.....

Σε περίπτωση της επιλογής έως, προτείνετε το μέγιστο αποδεκτό κόστος:

Η απάντησή σας

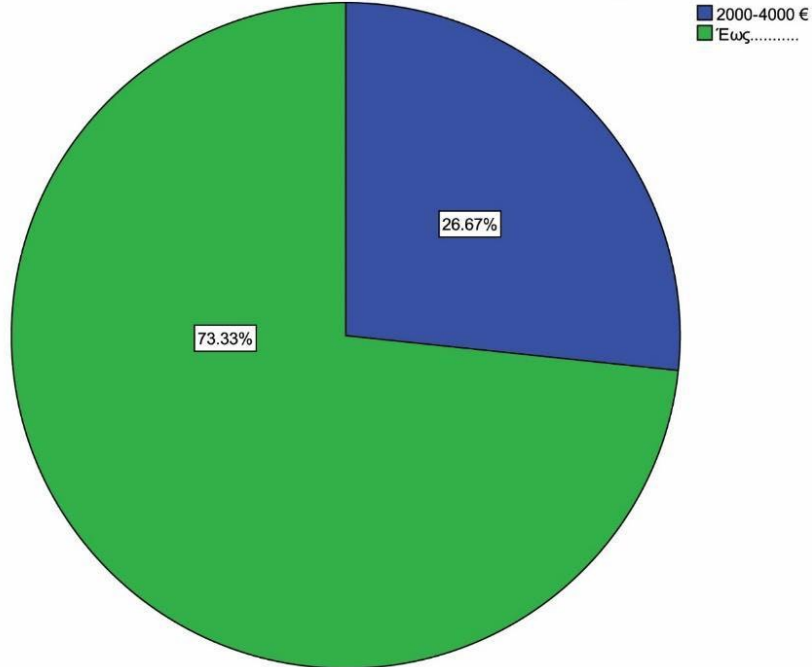
Εικόνα 29. Παρουσίαση της ερώτησης E9 μέσω του google form.

Για έναν αυτόματο σταθμό μέτρησης που μπορεί να μετρά τη στάθμη, το pH, τη θερμοκρασία του νερού, το διαλυμένο οξυγόνο, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και άλλες παραμέτρους, η πλειονότητα του δείγματος (73,3%) επέλεξε την επιλογή "Μέχρι..." για να ορίσει το μέγιστο αποδεκτό κόστος για το σταθμό. Το υπόλοιπο ποσοστό (26,7%) επέλεξε ως επιλογή "2000-4000 €" (Πίνακας 18, Εικόνα 30).

Πίνακας 18. E9-Ανάλυση των επιλογών για το ποιο θεωρείται ότι είναι το μέγιστο αποδεκτός κόστος για έναν αυτόματο μετρητικό σταθμό όπου μπορεί να μετρήσει Στάθμη, pH, Θερμοκρασίας νερού, Διαλυμένο Οξυγόνο και Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
0-2000 €	0	0	0
2000-4000 €	4	26,7	26,7
Έως.....	11	73,3	100,0
Σύνολο	15	100,0	

Ποιο θεωρείτε ότι είναι το μέγιστο αποδεκτό κόστος για έναν αυτόματο μετρητικό σταθμό (WL, pH, T, DO και EC)?



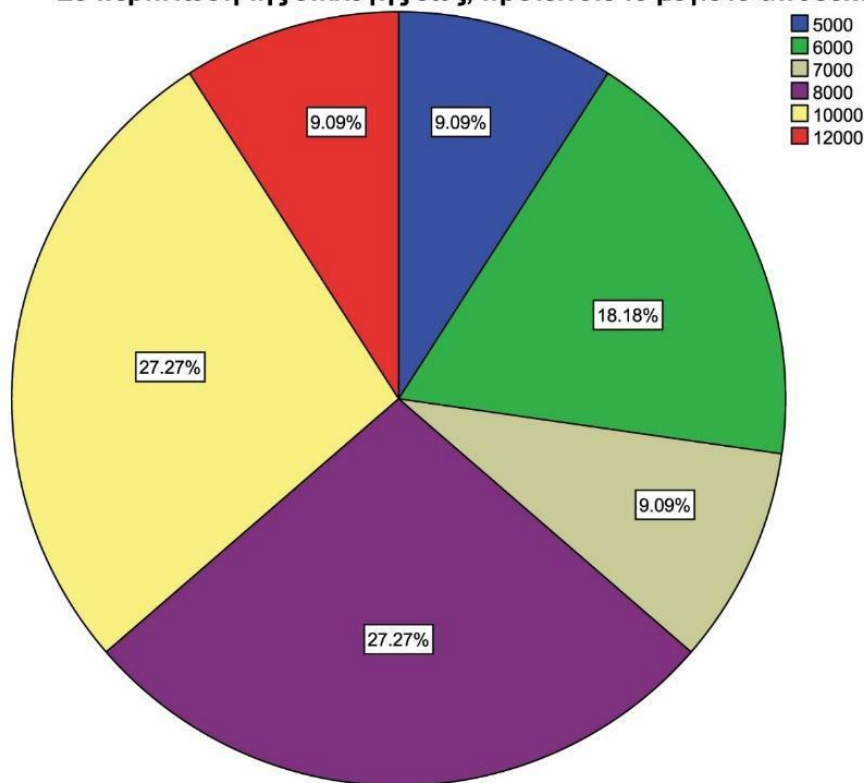
Εικόνα 30. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) των επιλογών προτίμησης για το ποιο θεωρείται ότι είναι το μέγιστο αποδεκτό κόστος για έναν αυτόματο μετρητικό σταθμό όπου μπορεί να μετρήσει Στάθμη, pH, Θερμοκρασίας νερού, Διαλυμένο Οξυγόνο και Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.

Η επιλογής “Έως...” συγκέντρωσε 11 απαντήσεις από το συνολικό δείγμα των 15 ατόμων. Το μεγαλύτερο ποσοστό στο σύνολο των απαντήσεων (N= 15) συγκέντρωσαν οι τιμές “8000€” και “10000€” με ποσοστό 20% (ποσοστό 27,3% ανά επιλογή απάντησης). Η τιμή “6000€” συγκέντρωσε ποσοστό 13,3% (ποσοστό 18,2% ανά επιλογή απάντησης) και οι τιμές “5000€”, “7000€” και “12000€” συγκέντρωσαν ποσοστό 6,7% (ποσοστό 9,1% ανά επιλογή απάντησης) (Πίνακας 19, Εικόνα 31).

Πίνακας 19. Ε9-Ανάλυση της επιλογής “Έως...” για το ποιο θεωρείται ότι είναι το μέγιστο αποδεκτό κόστος για έναν αυτόματο μετρητικό σταθμό όπου μπορεί να μετρήσει Στάθμη, pH, Θερμοκρασίας νερού, Διαλυμένο Οξυγόνο και Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Έγκυρο Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
5000	1	6,7	9,1	9,1
6000	2	13,3	18,2	27,3
7000	1	6,7	9,1	36,4
8000	3	20,0	27,3	63,6
10000	3	20,0	27,3	90,9
12000	1	6,7	9,1	100,0
Σύνολο	11	73,3	100,0	
Υπόλοιπο απαντήσεων	4	26,7		
Σύνολο	15	100,0		

Σε περίπτωση της επιλογής έως, προτείνεται το μέγιστο αποδεκτό κόστος:



Εικόνα 31. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της επιλογής “Έως...” για το ποιο θεωρείται ότι είναι το μέγιστο αποδεκτό κόστος για έναν αυτόματο μετρητικό σταθμό όπου μπορεί να μετρήσει Στάθμη, pH, Θερμοκρασίας νερού, Διαλυμένο Οξυγόνο και Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.

Ερώτηση 10 (E10)

Με την ερώτηση 10 (E10) επιδιώκεται να προσδιοριστεί κατά πόσο οι παράμετροι που προτείνεται να μετριοούνται από τον αυτόματο σταθμό μέτρησης είναι επαρκείς ή ανεπαρκείς (στάθμη, pH, θερμοκρασία νερού, διαλυμένο οξυγόνο και ηλεκτρική αγωγιμότητα). Για την έρευνα σχεδιάστηκε μια ερώτηση πολλαπλών επιλογών, στην οποία απάντησαν όλοι οι συμμετέχοντες (βλ. Εικόνα 32 για περισσότερες πληροφορίες) (15 ερωτηθέντες). Καταγράφοντας τις προτεινόμενες παραμέτρους εκτός από την επιλογή "Ναι", εντοπίστηκε και η επιλογή "Όχι".

10) Συμφωνείτε με τις κάτωθι παραμέτρους που προτείνεται να μετράει ο αυτόματος μετρητικός σταθμός? – Στάθμη, pH, Θερμοκρασία νερού, Διαλυμένο Οξυγόνο και Ηλεκτρική Αγωγιμότητα *

ΝΑΙ

ΟΧΙ

Αν όχι, προτείνετε επιπρόσθετες παραμέτρους που επιθυμείτε να μετράει ο σταθμός.Επιπρόσθετες παράμετροι:

Η απάντησή σας

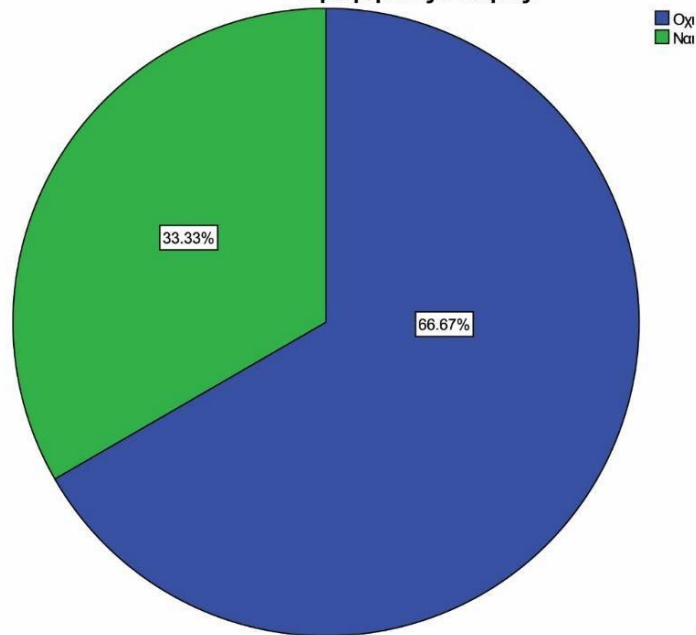
Εικόνα 32. Παρουσίαση της ερώτησης E10 μέσω του google form.

Η επιλογή "ΟΧΙ" επιλέχθηκε από την πλειονότητα του δείγματος (66,7%) όταν κλήθηκαν να προσδιορίσουν ποιες πρόσθετες παραμέτρους θα ήθελαν να μετρά ο αυτόματος σταθμός μέτρησης. Το υπόλοιπο ποσοστό (33,3%) ψήφισε υπέρ του μέτρου (Πίνακας 20, Σχήμα 30).

Πίνακας 20. E10-Συμφωνείτε με τις κάτωθι παραμέτρους που προτείνεται να μετράει ο αυτόματος μετρητικός σταθμός? – Στάθμη, pH, Θερμοκρασία νερού, Διαλυμένο Οξυγόνο και Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.

Επιλογές	Συχνότητα (n)	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
Όχι	10	66,7	66,7
Ναι	5	33,3	100,0
Σύνολο	15	100,0	

Συμφωνείτε με τις κάτωθι παραμέτρους που προτείνεται να μετράει ο αυτόματος μετρητικός σταθμός?



Εικόνα 33. Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της συμφωνίας των ερωτηθέντων για τις προτεινόμενες παραμέτρους για αυτόματο μετρητικό σταθμό.

Οι επιπρόσθετες απαντήσεις της επιλογής “ΟΧΙ” είναι:

1. Ίσως και Chla
2. Ολικά Αιωρούμενα στερεά, Νιτρικά
3. Αλατότητα, αιωρούμενα σωματίδια, συγκέντρωση χλωροφύλλης
4. Θερμοκρασία σε διαφορετικά βάθη, ταχύτητα νερού, θολερότητα
5. Δυναμικό οξειδοαναγωγής, Θολερότητα
6. Νιτρικά, Θολότητα, Χλωροφύλλη, κυανοβακτήρια
7. Θολερότητα, νιτρικά σε επιλεγμένες τουλάχιστον θέσεις με οπτικό τρόπο (όπως και το οξυγόνο). Ενδεχομένως μετρήσεις σε περισσότερα του ενός βάθη σε περίπτωση λιμνών με στρωματώσεις
8. Εξαρτάται από το υδάτινο σύστημα. Άλλες παραμέτρους χρειάζεται να μετριοούνται σε υπόγειο υδροφορέα, άλλο σε ποτάμι και άλλο σε λίμνη. Π.χ. η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου δεν συνεισφέρει στην παρακολούθηση των υπογείων υδάτων

9. Θολερότητα, νιτρικά, θα ήταν χρήσιμες.

10. Θολότητα, οργανική ύλη (πχ SAC254, TOC)

Οι επιπρόσθετες απαντήσεις της επιλογής “ΟΧΙ” έχουν συχνότητα επανεμφάνισης:

- η θολερότητα (n= 6 / ποσοστό 40% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- η χλωροφύλλη (n= 3 / ποσοστό 20% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- τα αιωρούμενα σωματίδια (n= 2 / ποσοστό 13,3% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- η αλατότητα (n= 1 / ποσοστό 6,7% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- η θερμοκρασία σε διαφορετικά βάθη (n= 1 / ποσοστό 6,7% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- η ταχύτητα νερού (n= 1 / ποσοστό 6,7% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- το δυναμικό οξειδοαναγωγής (n= 1 / ποσοστό 6,7% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- τα κυανοβακτήρια (n= 1 / ποσοστό 6,7% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).
- η οργανική ύλη (πχ SAC254, TOC) (n= 1 / ποσοστό 6,7% ως προς τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων).

Ερώτηση 11 (E11)

Στην ερώτηση 11 (E11), ο στόχος είναι να προσδιοριστεί ποιες άλλες ελλείψεις - προβλήματα - έχουν εντοπίσει - και έχουν βιώσει - οι ερωτηθέντες στον τομέα της παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να δώσουν απαντήσεις στις ακόλουθες ερωτήσεις: Αναφέρετε τυχόν ελλείψεις ή προβλήματα, καθώς και πιθανές αιτίες και διορθωτικές ενέργειες. Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί για την ερώτηση η μορφή απάντησης σε παράγραφο (Εικόνα 34) και ο μέγιστος αριθμός δειγμάτων να είναι δέκα (σύνολο 15 ερωτηθέντων). Η εγγραφή "Αναφορά έλλειψης-προβλήματος" έλαβε απαντήσεις από 10 άτομα (66,7 % του συνολικού δείγματος), η εγγραφή "Πιθανή αιτία" έλαβε απαντήσεις από 7 άτομα (46,7 % του συνολικού δείγματος) και η εγγραφή "Ενέργειες αντιμετώπισης" έλαβε απαντήσεις από 8 άτομα (53,3 % του συνολικού δείγματος).

11) Ποιες άλλες ελλείψεις-προβλήματα έχετε εντοπίσει-βιώσει στον τομέα της παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων? Πού πιστεύετε ότι οφείλονται, και ποιες ενέργειες προτείνετε για την αντιμετώπισή τους?

Αναφέρετε έλλειψη-πρόβλημα

Η απάντησή σας

Πιθανή αιτία

Η απάντησή σας

Ενέργειες αντιμετώπισης

Η απάντησή σας

Εικόνα 34. Παρουσίαση της ερώτησης E11 μέσω του google form.

Οι απαντήσεις της καταγραφής “Αναφέρετε έλλειψη-πρόβλημα” είναι:

1. Να υπάρχει η δυνατότητα αυτόματου reset του τηλεμετρικού σταθμού ώστε να μη χρειάζεται η επιτόπου επίσκεψη
2. Διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης και ανάλυσης δειγμάτων από διαφορετικούς φορείς που οδηγούν σε αδυναμία ενοποίησης των αποτελεσμάτων σε περιφερειακό επίπεδο π.χ. λεκάνης απορροής

3. Ανάγκη για συχνή αντικατάσταση των αισθητήρων

4. 1)Υπαρξη μεμονωμένων σταθμών μικρής κάλυψης ενός υδατικού συστήματος, 2) Μη σύνδεση των σταθμών μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων με άλλες παραμέτρους από άλλους σταθμούς εγκατεστημένους στην ίδια περιοχή σε μια ενιαία πλατφόρμα 3)Μη πρόσβαση σε μετρήσεις άλλων σταθμών 4)Εγκατάλειψη της συντήρησης και λειτουργίας ενός σταθμού με το πέρας του προγράμματος χρηματοδότησης της εγκατάστασής του

5. Πολύ συχνές επιτόπιες επισκέψεις για καθάρισμα και καλιμπράρισμα (κάθε 15 ημέρες κατά περιόδους).

6. 1)Μη αξιόπιστα αποτελέσματα δεδομένων 2) Έλλειψη δικτύωσης και ανταλλαγής δεδομένων

7. Έλλειψη συνεχών χρονοσειρών, αξιόπιστων μετρήσεων, χωρικής κάλυψης της χώρας, κάλυψης θέσεων σε σχέση με υφιστάμενες πιέσεις, διαθεσιμότητα δεδομένων, τεκμηρίωση θέσεων/δεδομένων

8. Βανδαλισμός 2. Οικονομική αδυναμία συντήρησης/αποκατάστασης 3. Αδιαφορία από τους αρμόδιους κρατικούς φορείς

9. Κυρίως τα προβλήματα εντοπίζονται στον συντονισμό των φορέων που σχετίζονται με την παρακολούθηση και στην καταχώρηση των δεδομένων

10. Το σύστημα παρακολούθησης, γενικά, δεν είναι αποδοτικό, παρά την περιορισμένη έστω ύπαρξη σταθμών.

Οι απαντήσεις της καταγραφής “ Πιθανή αιτία ” είναι:

1. Δυσμενείς συνθήκες στο θαλάσσιο περιβάλλον

2. 1)Μη αντιμετώπιση του προβλήματος με σοβαρή και υπεύθυνη στάση από εμπλεκόμενους φορείς, 2) Μη χρήση συμπληρωματικών δεδομένων (π.χ. δωρεάν τηλεπισκοπικές εικόνες Sentinell, Landsat)

3. Υψηλή παραγωγικότητα (algal bloom), κατάληψη εσωτερικά του θαλάμου προστασίας των ηλεκτροδίων κατά την αναπαραγωγική περίοδο από δίθυρα και αυγά ψαριών.

4. 1)Ευαισθησία - ακρίβεια οργάνων, καιρικές συνθήκες, αποστάσεις κλπ 2)Απουσία συνεργασίας ύπαρξης δικτύου.

5. Έλλειψη προϋπολογισμού για συντήρηση/λειτουργία σταθμών, έλλειψη οργάνων και προσωπικού εκτέλεσης μετρήσεων (συμβατική παρακολούθηση), τυχαία επιλογή θέσεων, πλημμελής γνώση μεθοδολογιών εκτέλεσης μετρήσεων, έλλειψη θεσμικού πλαισίου διάχυσης δεδομένων, έλλειψη "κουλτούρας" διάχυσης δεδομένων

6. Η μη ύπαρξη ενός συντονιστικού οργάνου - υπηρεσίας

7. Η ανάπτυξη του δικτύου συχνά δεν γίνεται βάσει μελέτης τόσο των απαιτήσεων, όσο και των δυνατοτήτων για υποστήριξη της λειτουργίας του δικτύου και για αξιοποίηση των συλλεγομένων πληροφοριών.

Οι απαντήσεις της καταγραφής “Ενέργειες αντιμετώπισης” είναι:

1. Προμήθεια ανθεκτικότερων οργάνων ή προσαρμοσμένων καλύτερα στις συγκεκριμένες συνθήκες

2. Δημιουργία μητρώου σταθμών και οργάνων, ένταξη σε δίκτυο παλαιών σταθμών (όπου αυτό δύναται), αξιοποίηση όλων των ιστορικών δεδομένων, ψηφιοποίηση καταλόγων με μετρήσεις, χρήση δωρεάν δορυφορικών δεδομένων και βαθμονόμηση με τις μετρήσεις σταθμών, χρήση δημόσιων υπηρεσιών και φορέων για τη συντήρηση των σταθμών, αξιοποίηση των ερευνητικών ιδρυμάτων για δημιουργία εφαρμογών διάχυσης των μετρήσεων των σταθμών σε όλους τους εμπλεκόμενους εταίρους και την τοπική κοινωνία

3. Ίσως ενός μεταλλικού τύπου πλέγματος με πολύ μικρό άνοιγμα ματιού.

4. 1) Αξιόπιστα μηχανήματα μέτρησης, μείωση κόστους συντήρησης, Ανάπτυξη τεχνογνωσίας στην Ελλάδα κλπ 2) Δημιουργία δικτύου και συνεργασία φορέων που παίρνουν μετρήσεις

5. Ορθή και τεκμηριωμένη σχεδίαση, εξασφάλιση κονδυλίων λειτουργίας και συντήρησης ΠΡΠΝ την προμήθεια και εγκατάσταση, εκπαίδευση προσωπικού, κατάρτιση πρωτοκόλλων διαχείρισης σταθμών και δεδομένων

6. Πρόβλεψη οικονομικών πόρων για την αποκατάσταση της λειτουργίας. Δημιουργία κρατικού φορέα με κύρια αρμοδιότητα τη λειτουργία του δικτύου και τη συγκέντρωση/επεξεργασία/διάθεση των δεδομένων

7. Να συσταθεί σε επίπεδο τμήματος ή διεύθυνσης στο Υπουργείο Περιβάλλοντος αρμόδια υπηρεσία για τον συντονισμό των φορέων (πανεπιστημίων, δημοσίων υπηρεσιών, ερευνητικών κέντρων) που σχετίζονται με την παρακολούθηση των υδάτων και με ευθύνη της νέας υπηρεσίας να συγκεντρώνονται και να παρέχονται σε συγκεκριμένο ιστοχώρο όλα τα δεδομένα σε "ανοιχτή" μορφή.

8. Μεγαλύτερη έμφαση στον ανθρώπινο παράγοντα, ποσοτικά και ποιοτικά, παρά στην αγορά οργάνων. Ίδρυση και οικονομική στήριξη κατάλληλα οργανωμένων υπηρεσιών υποστήριξης των δικτύων και αξιοποίησης των πληροφοριών τους.

2.1.3 Συμπεράσματα Ερωτηματολογίου

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από κάθε ερώτηση ξεχωριστά είναι:

1. Το "κόστος αγοράς" και το "κόστος συντήρησης" (40% - 1η επιλογή) είναι οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που εμποδίζουν την επέκταση του αριθμού των αυτόματων, τηλεμετρικών σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας ή/και της ποσότητας των υδάτων στη χώρα μας. Το κόστος συντήρησης και το κόστος λειτουργίας κατατάσσονται στην πρώτη και δεύτερη θέση, αντίστοιχα, στη δεύτερη επιλογή (2η επιλογή). Είναι δύσκολο να πούμε ποιο θα είναι το αποτέλεσμα για την τρίτη και τέταρτη επιλογή (3η επιλογή & 4η επιλογή), επειδή οι απαντήσεις είναι όλες ίδιες ή σχεδόν το ίδιο ποσοστό για αρκετούς παράγοντες, όπως "Κόστος αγοράς", "Κόστος λειτουργίας" και "Κίνδυνος βανδαλισμού". Τέλος, με ποσοστό 73,3%, επιλέχθηκε ως 5η επιλογή η επιλογή "Άλλο". Λόγω του ανοικτού χαρακτήρα της επιλογής "Άλλο" και της ανομοιογένειας των απαντήσεων, δεν ήταν δυνατόν να ομαδοποιηθούν όλες μαζί σε μια ενιαία κατηγορία. Οι απαντήσεις στην επιλογή "Άλλο" οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι το ανεκπαίδευτο προσωπικό (και η συνακόλουθη απαίτηση για εκπαιδευμένο προσωπικό) και η έλλειψη τεχνικής υποστήριξης (και η συνακόλουθη απαίτηση για κατάλληλη τεχνική υποστήριξη) αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα.
2. Ωστόσο, παρόλο που το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων (53,3%) επέλεξε "Διεθνώς αναγνωρισμένους κατασκευαστές ανεξαρτήτως κόστους" και το υπόλοιπο ποσοστό (46,7%) επέλεξε "Σχετικά φθηνούς σταθμούς από λιγότερο γνωστούς κατασκευαστές", δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στα ποσοστά ανταπόκρισης μεταξύ των δύο κατηγοριών (διαφορά 6,6%). Κατά συνέπεια, είναι αδύνατο να καταλήξουμε σε οριστικό συμπέρασμα σχετικά με αυτό το ερώτημα.
3. Οι αυτόματοι σταθμοί παρακολούθησης επιλέγονται συχνότερα με βάση το μέγεθός τους (έκθεση σε κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής) (53,3% - Επιλογή 1), το οποίο αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα στην απόφαση. "Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος (ηλιακός συλλέκτης)" κατατάσσεται στη δεύτερη επιλογή (2η επιλογή) με ποσοστό 60 τοις εκατό των ψήφων. Ο παράγοντας "Ευκολία εγκατάστασης" κυριαρχεί στην τρίτη επιλογή (3η επιλογή) με 26,7 τοις εκατό των ψήφων, ακολουθούμενος από το "Μέγεθος του σταθμού (έκθεση στον κίνδυνο βανδαλισμού/κλοπής)", τη "Συχνότητα μεταφοράς δεδομένων" και την "Ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος (ηλιακό πάνελ)", ο καθένας με 20 τοις εκατό. Ο παράγοντας "Συχνότητα μετάδοσης δεδομένων" ισοδυναμεί με τον παράγοντα "Ευκολία εγκατάστασης" στην τέταρτη επιλογή (επιλογή 4), με συνδυασμένο ποσοστό 40 τοις εκατό. Τέλος, με ποσοστό 66,7 τοις εκατό, ο παράγοντας "Άλλο" επιλέχθηκε ως πέμπτη επιλογή. Λόγω του ανοικτού χαρακτήρα της επιλογής "Άλλο" και της ανομοιογένειας των απαντήσεων, δεν ήταν δυνατόν να ομαδοποιηθούν όλες μαζί σε μια ενιαία κατηγορία. Σε γενικές γραμμές, με βάση τις απαντήσεις των

ερωτηθέντων στην επιλογή "Άλλο", μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η ακρίβεια των μετρήσεων, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του σταθμού - η τεχνική υποστήριξη, καθώς και η φύλαξή του - διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή προμηθευτών για αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης.

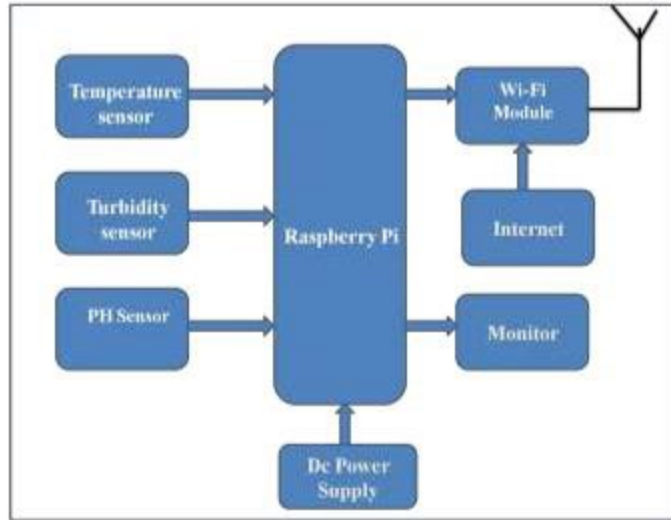
4. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων "GSM/GPRS" είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα από όσους απάντησαν (65%). Κατά τη σύγκριση της συχνότητας των απαντήσεων με τον αριθμό των ερωτηθέντων, η επιλογή "GSM/GPRS" έλαβε 86,7 τοις εκατό (ποσοστό ανά απάντηση). Με 20% του συνολικού αριθμού των απαντήσεων, το πρωτόκολλο επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων "Wi-Fi" κατέλαβε τη δεύτερη θέση (26,7% Ποσοστό ανά απάντηση). Ισοπαλία στην τρίτη θέση υπάρχει μεταξύ των επιλογών "UHF/VHF" και των επιμέρους επιλογών "Άλλο", με συνδυασμένο ποσοστό 5 τοις εκατό και για τις δύο επιλογές (Επιλογή "Άλλο": 1.Σταθερή τηλεφωνία, 2.Δεν έχουμε χρησιμοποιήσει σταθμούς τηλεμετρίας). Συνεπώς, το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων είναι το "GSM/GPRS", το οποίο ακολουθείται από το "Wi-Fi", το οποίο αντιπροσωπεύει πολύ μικρότερο ποσοστό της αγοράς.
5. Παρά το γεγονός ότι η επιλογή "Ελλιπής κάλυψη δικτύου" είναι η πιο συχνά επιλεγμένη (25% του συνόλου των απαντήσεων / 40% ποσοστό ανά απάντηση) στα κύρια προβλήματα των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων, υπάρχει μικρή διαφορά μεταξύ αυτής και των επόμενων τριών πιο συχνά επιλεγμένων επιλογών στο δείγμα, οι οποίες είναι "Ανακριβής εξοπλισμός μετάδοσης δεδομένων", "Ένεργειοβόρος εξοπλισμός μετάδοσης δεδομένων" και "Υψηλό κόστος χρήσης" (20,8 τοις εκατό του συνόλου των απαντήσεων / 33,3 τοις εκατό ποσοστό ανά απάντηση) (20,8 τοις εκατό του συνόλου των απαντήσεων / Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει διακριτή διαφορά μεταξύ των πρωταρχικών προβλημάτων των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μετάδοσης δεδομένων, με εξαίρεση την επιλογή "Άλλο", η οποία έλαβε ένα μικρό ποσοστό απαντήσεων και τρεις διαφορετικές απαντήσεις.
6. Μεταξύ όσων απάντησαν, ο μεγαλύτερος αριθμός (53,3%) επιθυμούσε ένα χρονικό βήμα που να ποικίλλει ανάλογα με την τάση των μετρήσεων (συχνότερες μετρήσεις όταν υπάρχει ανοδική/καθοδική τάση, για παράδειγμα, 1 λεπτό, και λιγότερο συχνές μετρήσεις όταν δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές, για παράδειγμα, 1 ώρα). Το διακόσια εξήντα τοις εκατό των ερωτηθέντων επέλεξε την επιλογή "Σταθερό χρονικό βήμα μέτρησης - όσο το δυνατόν συχνότερες μετρήσεις με την πάροδο του χρόνου (π.χ. 15 λεπτά)", ενώ το 20 τοις εκατό επέλεξε την επιλογή "Άλλο". Ως αποτέλεσμα, προτείνεται το χρονικό βήμα να είναι "Χρόνος που μεταβάλλεται ανάλογα με την τάση των μετρήσεων (συχνότερες μετρήσεις όταν υπάρχει ανοδική/καθοδική τάση, π.χ. 1 λεπτό, και λιγότερο συχνές μετρήσεις όταν δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές, π.χ. 1 ώρα)".

7. Όταν ρωτήθηκαν τι ήθελαν από τους αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης, σχεδόν το σύνολο του δείγματος (93,3%) απάντησε ότι ήθελε "υψηλό κόστος απόκτησης και χαμηλό κόστος λειτουργίας". Συνεπώς, η χρήση σταθμών παρακολούθησης "υψηλού κόστους απόκτησης και χαμηλού κόστους λειτουργίας" συνιστάται ιδιαίτερα σε αυτή την περίπτωση.
8. Τα συμπεράσματα της ερώτησης κατανεμήθηκαν ξεχωριστά
 - a. Οι αυτόματοι σταθμοί παρακολούθησης είναι επιθυμητοί από την πλειονότητα του δείγματος (60%), η οποία προτιμά "σταθμό μεγάλου μεγέθους με πίνακες που εξασφαλίζουν υψηλή ενεργειακή αυτονομία, μετρήσεις ανά μισή ώρα και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων κάθε τρεις ώρες" όταν πρόκειται για αυτόματους σταθμούς παρακολούθησης. "Σταθμό μικρού μεγέθους χωρίς πάνελ (ή με πολύ μικρά πάνελ) που έχει μεταβλητή συχνότητα καταγραφής μετρήσεων (μεγαλύτερη ή ίση με την ώρα) και τηλεμετρική μεταφορά δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα, με αύξηση της συχνότητας μετάδοσης όταν υπάρχει σημαντική αλλαγή στις μετρήσεις", αποφάσισε το υπόλοιπο δείγμα (40%) για τη λύση της απόκτησης σταθμών αυτόματης παρακολούθησης. Συνεπώς, συνιστάται η χρήση ενός σταθμού παρακολούθησης μεγάλης κλίμακας με ηλιακούς συλλέκτες που παρέχει υψηλή ενεργειακή αυτονομία, μισάωρες μετρήσεις και τηλεμετρική μετάδοση δεδομένων κάθε τρεις ώρες.
 - b. Όσον αφορά την προμήθεια αυτόματων σταθμών παρακολούθησης, σχεδόν το σύνολο του δείγματος (80%) δήλωσε ότι επιθυμεί "έναν σταθμό που να είναι φθηνός στην αγορά και να απαιτεί μόνο σχετικά σπάνιες επισκέψεις στο χώρο για καθαρισμό και βαθμονόμηση (για παράδειγμα, μία φορά κάθε έξι μήνες)". Κατά συνέπεια, προτείνετε τη χρήση ενός σταθμού παρακολούθησης, ο οποίος είναι ακριβός στην αγορά αλλά απαιτεί μόνο σπάνιες επισκέψεις στον χώρο για καθαρισμό και βαθμονόμηση, σε αντίθεση με άλλες επιλογές (π.χ. κάθε 6 μήνες).
9. Η ανάλυση όλων των διακριτών απαντήσεων καθώς και των επιμέρους πρόσθετων τιμών στην επιλογή "Μέχρι..." έδειξε ότι το 26,7% του συνολικού δείγματος επέλεξε το εύρος τιμών "2000-4000 €", ότι οι τιμές "8000 €" και "10000 €" επιλέχθηκαν με 20% η κάθε μία, ότι η τιμή "6000 €" επιλέχθηκε με 13,3% και ότι οι τιμές "5000 €", "7000 €" και "12000 €" επιλέχθηκαν με 6,7% η κάθε μία. Όλοι οι συμμετέχοντες πιστεύουν ότι το μέγιστο αποδεκτό κόστος είναι μεγαλύτερο από 2000€, και στην περίπτωση μιας τυπικής ομαδοποίησης με εύρος 2000€, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι κατηγορίες "6000€ - 8000€" και "8000€ - 10000€" είναι οι επικρατέστερες, καθεμία από τις οποίες αντιπροσωπεύει το 40% του συνόλου. Ως αποτέλεσμα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το μέγιστο κόστος που είναι αποδεκτό είναι μεταξύ 6000 και 10.000 ευρώ.

10. Σύμφωνα με την ανάλυση όλων των διακριτών απαντήσεων και των επιμέρους πρόσθετων απαντήσεων στην επιλογή "ΟΧΙ", το 33,3% του συνολικού δείγματος επέλεξε να συμφωνήσει με τις προτεινόμενες παραμέτρους ("ΝΑΙ"). Το σαράντα τοις εκατό του συνολικού αριθμού των απαντήσεων επιθυμούσε την εισαγωγή της παραμέτρου "θολότητα", το είκοσι τοις εκατό του συνολικού αριθμού των απαντήσεων επιθυμούσε την εισαγωγή της παραμέτρου "χρωμοφόρα" και το δεκατρία τοις εκατό του συνολικού αριθμού των απαντήσεων επιθυμούσε την εισαγωγή μιας παραμέτρου για τη "θολότητα" και τη "χλωροφύλλη". Κατά συνέπεια, προτείνεται να διερευνηθεί η δυνατότητα αναβάθμισης του προτεινόμενου αυτόματου σταθμού παρακολούθησης με τη συμπερίληψη της παραμέτρου "θολερότητα" στην πρώτη φάση, και ενδεχομένως σε επόμενη φάση, των παραμέτρων "χλωροφύλλη" και "σωματίδια".
11. Οι ερωτηθέντες στην έρευνα "Αναφορά έλλειψης προβλημάτων" εξέφρασαν την ανησυχία τους σχετικά με την έλλειψη δικτύωσης και ανταλλαγής δεδομένων, την αδυναμία να αντέξουν οικονομικά τη συντήρηση και την ανάγκη να επισκέπτονται συχνά τον χώρο για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένης της επανεκκίνησης του σταθμού, της αντικατάστασης εξαρτημάτων αισθητήρων και του καθαρισμού αισθητήρων. Οι συνηθέστερες απαντήσεις στην απογραφή "Πιθανή αιτία" είναι οι δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, η εγκατάσταση δικτύου παρακολούθησης χωρίς να έχει προηγηθεί ενδελεχής μελέτη της θέσης του δικτύου αυτόματων σταθμών παρακολούθησης και η απουσία φορέα συνεργασίας και συντονισμού, μεταξύ άλλων. Κοινό θέμα στις απαντήσεις στον κατάλογο "Ενέργειες αντιμετώπισης" είναι η δημιουργία ή ο κατάλληλος συντονισμός ενός αρμόδιου φορέα ή μιας συντονισμένης ομάδας φορέων, προκειμένου να διασφαλιστεί η ακριβέστερη και πληρέστερη διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται από τους σταθμούς. Ως μπόνους, είναι εξαιρετικά σημαντικό να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η λειτουργία των σταθμών θα είναι οικονομικά ασφαλής στο διηνεκές.

2.1.4 Συμπεράσματα από διεθνή βιβλιογραφία

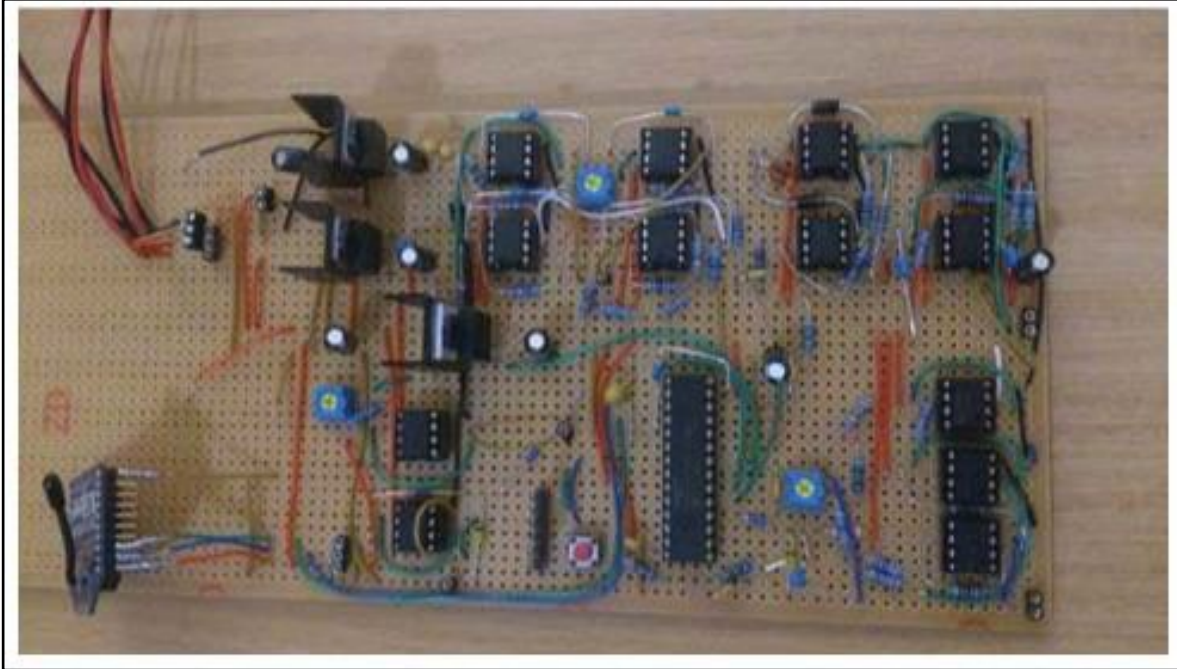
Χρησιμοποιώντας ένα Arduino ως κεντρικό ελεγκτή, οι (Katole and Bhute 2017) προτείνουν την ακόλουθη προσέγγιση για την υλοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 35. Διάταξη συστήματος κατά Katole and Bhute, 2017.

Το προτεινόμενο σύστημα καταγράφει σε πραγματικό χρόνο το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής (ORP) και τη θερμοκρασία, τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση του υπολείμματος απολύμανσης σε δίκτυα διανομής πόσιμου νερού. Αυτές οι παράμετροι είναι χρήσιμες σε μια σειρά άλλων εφαρμογών, όπως οι υδατοκαλλιέργειες, οι πισίνες και οι συσκευές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στα συστήματα διανομής νερού. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας που χρησιμοποιούν βασίζεται στην προσέγγιση στερεάς κατάστασης, πράγμα που σημαίνει ότι μετρά τη θερμοκρασία ανάλογα με την πτώση τάσης που παρατηρείται σε μια συστοιχία ηλεκτροδίων. Αυτοί οι αισθητήρες δεν έχουν κινητά μέρη, είναι εξαιρετικά ακριβείς, είναι ανθεκτικοί στη φθορά, δεν απαιτούν συντήρηση και είναι ικανοί να λειτουργούν αξιόπιστα σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών. Παρόλο που χρησιμοποιήθηκε το Raspberry Pi 3, ήταν απαραίτητο να διατηρηθεί μια συνεχής σύνδεση με μια παροχή ρεύματος, παρά το χαμηλό κόστος της συσκευής.

Οι ίδιες φυσικοχημικές παράμετροι επιλέχθηκαν από τους (Cloete, Malekian, and Nair 2016) για την παρακολούθηση και την καταγραφή σε πραγματικό χρόνο με σκοπό τον εντοπισμό ρυπαντών στο νερό, χρησιμοποιώντας κυκλώματα επεξεργασίας σήματος που συνδέονται με έναν κόμβο μέτρησης με μικροεπεξεργαστή που χρησιμοποιεί κυκλώματα επεξεργασίας σήματος.



Εικόνα 36. Η διάταξη αισθητήρων μετρήσεων (Cloete, Malekian and Nair, 2016)

Σε αυτή την περίπτωση επιλέγουν να μετρήσουν

- τη θερμοκρασία, μέσω αισθητήρα σχεδιασμένου με βάση το θερμίστορ, ακρίβεια: 2.5o C
- την αγωγιμότητα, με αισθητήρα με βάση τη μέθοδο διπλού ηλεκτροδίου, με αποδεκτά αποτελέσματα και ακρίβεια: 14,71% (μη επιβεβαιωμένη)
- το pH, με αισθητήρα από γυάλινο ηλεκτρόδιο, με ικανοποιητικά αποτελέσματα και ακρίβεια: ± 0.51
- τη ροή, με χρήση αισθητήρα μέτρησης ροής στροβίλου, με καλά αποτελέσματα και ακρίβεια: 6.28%
- το ORP, μέσω (μη βαθμονομημένου) ηλεκτροδίου, με αποδεκτή ακρίβεια: $\pm 24.14\text{mV}$

2.1.5 Έρευνα Αγοράς

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης διεξήχθη έρευνα αγοράς για τον προσδιορισμό της προμήθειας ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, αισθητήρων και συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση του έργου. Ακολουθούν τα διακριτά υποσυστήματα υλικού που χρησιμοποιούνται:

2.1.5α Μετεωρολογικός σταθμός

Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά του μετεωρολογικού σταθμού που κρίθηκε κατάλληλος με βάση τις απαιτήσεις του έργου και τα σχόλια των τελικών χρηστών:

- Χαμηλό κόστος (<€700).
- Αξιόπιστη λειτουργία.
- Μετράει τουλάχιστον: θερμοκρασία, υγρασία, βαρομετρική πίεση, ταχύτητα / διεύθυνση ανέμου, βροχόπτωση.
- Ενεργειακά αυτόνομος (επαναφορτιζόμενες μπαταρίες με ηλιακό πάνελ).
- Χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Ασύρματες επικοινωνίες WiFi/ GSM / κτλ.
- Να μπορεί να συνδεθεί με τον καταγραφέα δεδομένων στον οποίο θα συνδεθούν και οι υπόλοιποι αισθητήρες για ελαχιστοποίηση των εξαρτημάτων.

Σύμφωνα με την έρευνά στην αγορά, η δυνατότητα σύνδεσης με τον καταγραφέα δεδομένων είναι το κριτήριο που είναι πιο δύσκολο να ικανοποιηθεί από τα τρία κριτήρια που αναφέρονται παραπάνω. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από τη συντριπτική πλειονότητα των μετεωρολογικών σταθμών της αγοράς είναι κλειστού κώδικα, με αποτέλεσμα ο χρήστης να είναι "κλειδωμένος" στο δικό του σύστημα καταγραφής δεδομένων. Αυτό είναι απαγορευτικό για το έργο, διότι σημαίνει ότι τα δεδομένα από το σταθμό θα πρέπει να αποστέλλονται στην πλατφόρμα του κατασκευαστή του σταθμού, η οποία είναι απαγορευτικά ακριβή (ή σε έναν συνεργάτη 3ου μέρους μαζί τους). Επιπλέον, ενώ τεχνικά είναι δυνατόν να ληφθούν δεδομένα από μια πλατφόρμα και να μεταφερθούν σε μια άλλη, θα πρέπει ακόμη να τηρούν τους όρους της άδειας χρήσης δεδομένων του προηγούμενου φορέα, γεγονός που καθιστά την ανοιχτή αδειοδότηση των πρωτογενών δεδομένων απαγορευτικά δαπανηρή στις περισσότερες περιπτώσεις.

Με βάση αυτούς τους περιορισμούς, οι σταθμοί στους οποίους τελικά καταλήξαμε παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

Weather Station model	price range	temp/ pres/ hum	wind	rain	RF	WiFi	Solar	int Unit	Αξιολόγηση χρηστών
Ambient Weather WS-2902A	€150	x	x	x	x	x	x	x	4.4* (595)
MeteoHelix IoT PRO	€500	x		x			x		
bloomsky	€300	x		x	x	x	x	x	
AcuRite 01036M	€150	x	x	x	x	x	x	x	3.9 (693)
Netatmo weather (main)	€170	x			x	x		x	4* (795)
Weatherflow Sky + Air	€300	x	x	x		x		x	
Netatmo ALL (rain+wind)	€340	x	x	x	x	x		x	4.1 (200)
MeteoHelix IoT Home	€360	x					x		
bloomsky2 + storm (wind)	€440	x	x	x	x	x	x	x	Δυσκολία στην εγκατάσταση
Vantage Vue	€600	x	x	x	x		x	x	4.5* (680)
Metergroup Atmos 41	€1800	x	x	x					SDI-12 datalogger απαιτείται

Πίνακας 21. Πίνακας επικρατέστερων μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους

2.1.5β Σταθμοί μέτρησης στάθμης υδάτων

Οι αισθητήρες μέτρησης στάθμης χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες με βάση τη μέθοδο με την οποία πραγματοποιείται η μέτρηση:

- Στην περίπτωση των υποβρύχιων αισθητήρων, η πίεση στη θέση του αισθητήρα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της στάθμης, γι' αυτό και ο αισθητήρας τοποθετείται στον πυθμένα σε κατάλληλη θέση. Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη κατάλληλη επιφάνεια στήριξης, είναι σχετικά απλή η εγκατάσταση σε αυτές τις περιπτώσεις.
- Με τους υπερήχους, η μονάδα παράγει υπερήχους που ανακλώνται από την επιφάνεια του νερού και επιστρέφουν στον αισθητήρα. Υπολογίζοντας το χρόνο επιστροφής και λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτητα του ήχου, η μονάδα μπορεί να προσδιορίσει την απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και της στάθμης του νερού στη δεξαμενή. Τα κύρια

πλεονεκτήματα αυτού του τύπου οργάνου είναι το χαμηλότερο κόστος και η υψηλή ακρίβεια, η οποία μπορεί να μετρηθεί ακόμη και σε κλίμακα χιλιοστού, επιτρέποντας την ανίχνευση ακόμη και των μικρότερων διακυμάνσεων της στάθμης.

2.1.5γ Σταθμοί μέτρησης ποιότητας υδάτων

Ακολουθούν οι παράμετροι ποιότητας του νερού που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο πλαίσιο της μελέτης:

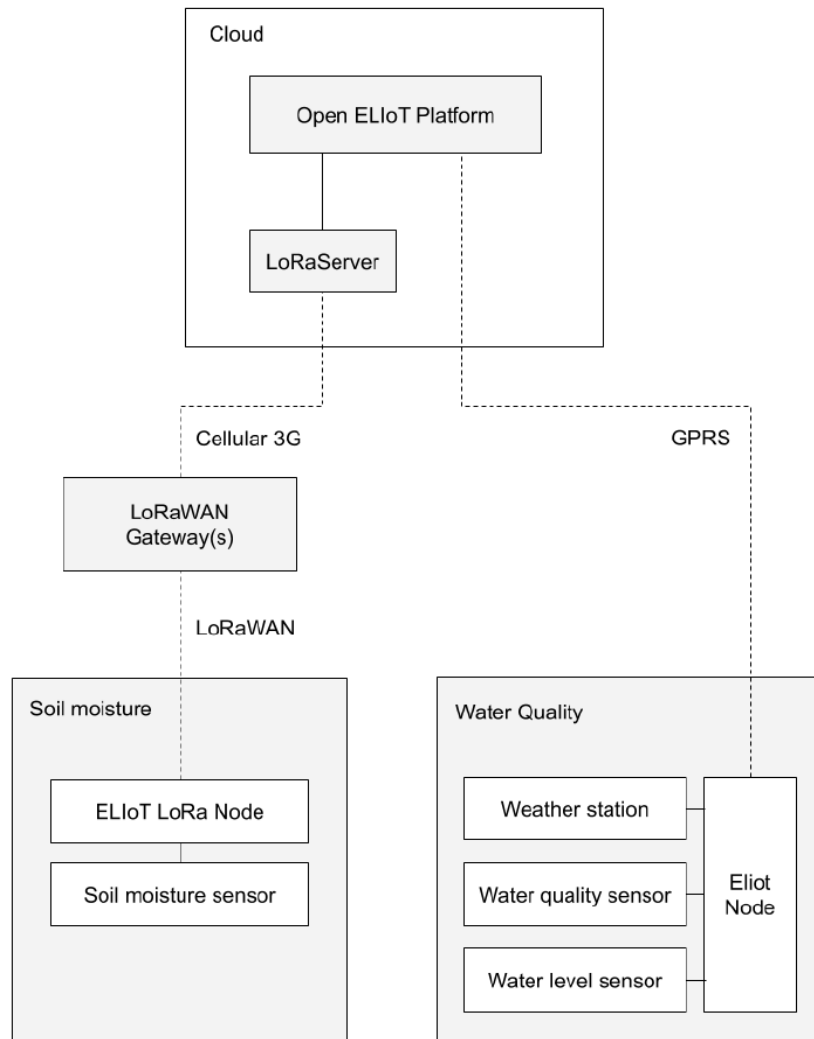
- pH
- θερμοκρασία νερού
- ηλεκτρική αγωγιμότητα
- διαλυμένο οξυγόνο
- θολερότητα

Η χρήση εξειδικευμένων αισθητήρων, οι οποίοι κατασκευάζονται και βαθμονομούνται για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, επιτρέπει στα συστήματα μέτρησης της ποιότητας του νερού να προσαρμόζονται πλήρως στην εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιούνται. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν πολλαπλοί αισθητήρες ενσωματωμένοι σε μια ενιαία μονάδα υλικού που μπορούν να μετρούν ταυτόχρονα πολλές παραμέτρους και έτσι απλοποιούν την ενσωμάτωση στο σύστημα καταγραφής και την εγκατάσταση στο πεδίο, ενώ παράλληλα μειώνουν το συνολικό κόστος. Λόγω της ευκολίας χρήσης και του χαμηλού κόστους τους, οι τελευταίοι είναι κατάλληλοι για τη φύση του εκάστοτε έργου. Σε απάντηση σε έρευνα αγοράς για αισθητήρες που πληρούν τις προδιαγραφές που περιγράφονται παραπάνω, ανακαλύφθηκαν οι ακόλουθες συσκευές:

Μοντέλο	Παράμετροι	Κόστος
Aquaread AP-7000	Optical DO, Specific EC, Absolute EC, pH, ORP, Depth, TDS, Resistivity, Salinity, SSG, Temperature	€6.500
AquaTROLL 400	Actual/specific conductivity, salinity, total dissolved solids, resistivity, density, dissolved oxygen, ORP, pH, temperature, water level and water pressure (absolute)	€3.000
Hydrolab MS5	Temperature, Conductivity, Depth, pH, ORP, Dissolved Oxygen (LDO, Clark cell), Turbidity, Chlorophyll a, Blue-Green Algae, Rhodamine WT, Ammonium, Nitrate, Chloride, TDG	€4.000

Λόγω των μεγάλων διαφορών τιμής μεταξύ των διαφόρων μοντέλων, η τιμή του αισθητήρα θα είναι το κύριο κριτήριο επιλογής, καθώς είναι μακράν το πιο ακριβό στοιχείο της κατασκευής. Ωστόσο, όλοι οι πολυαισθητήρες πληρούν τις απαιτήσεις του έργου (δείκτες μέτρησης, ανοικτό πρωτόκολλο επικοινωνίας, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας) και επομένως θεωρούνται κατάλληλοι για το έργο.

2.2 Αρχιτεκτονική Λύσης - Εξοπλισμός

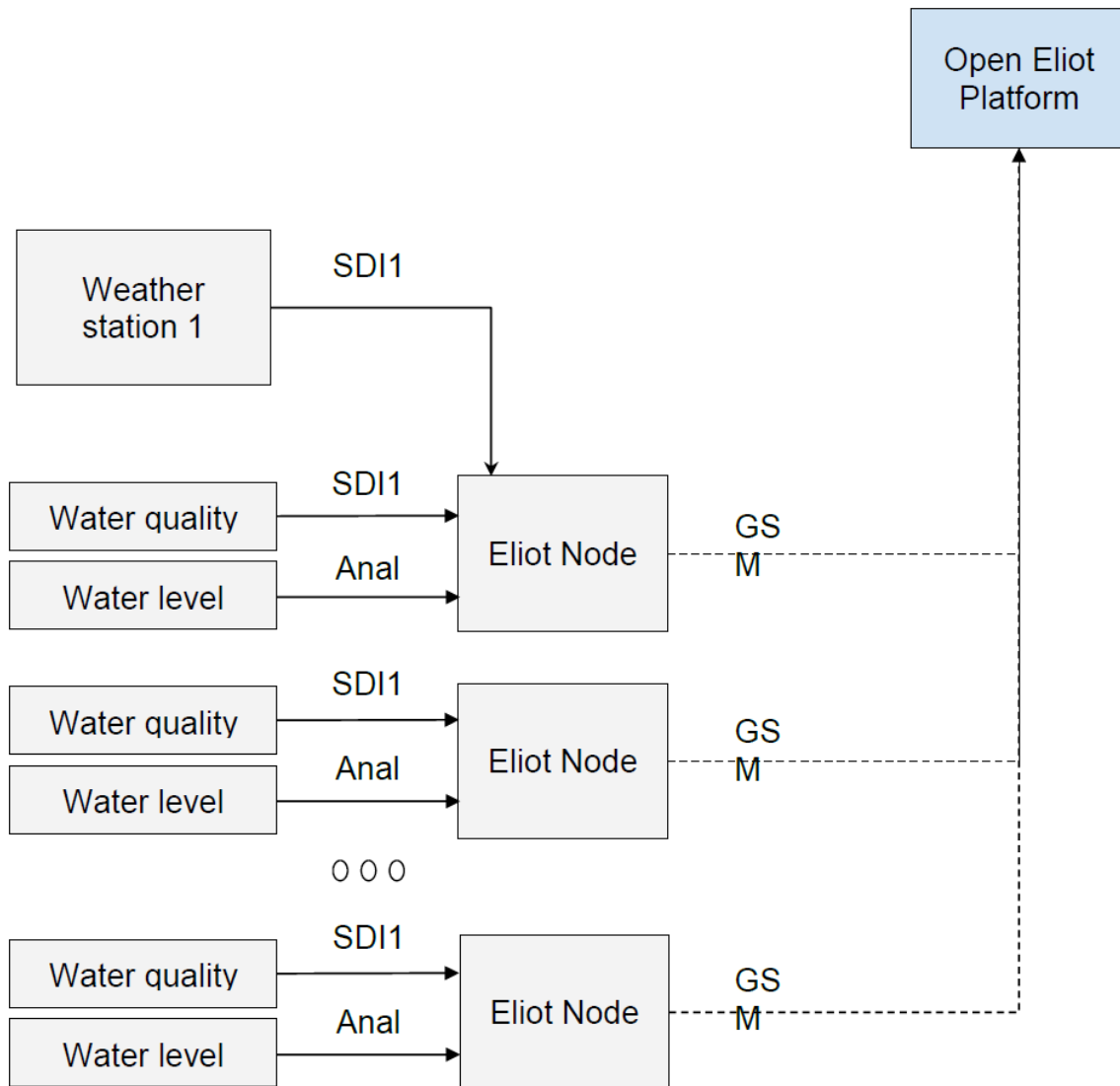


Εικόνα 37. Αρχιτεκτονική συστήματος high level.

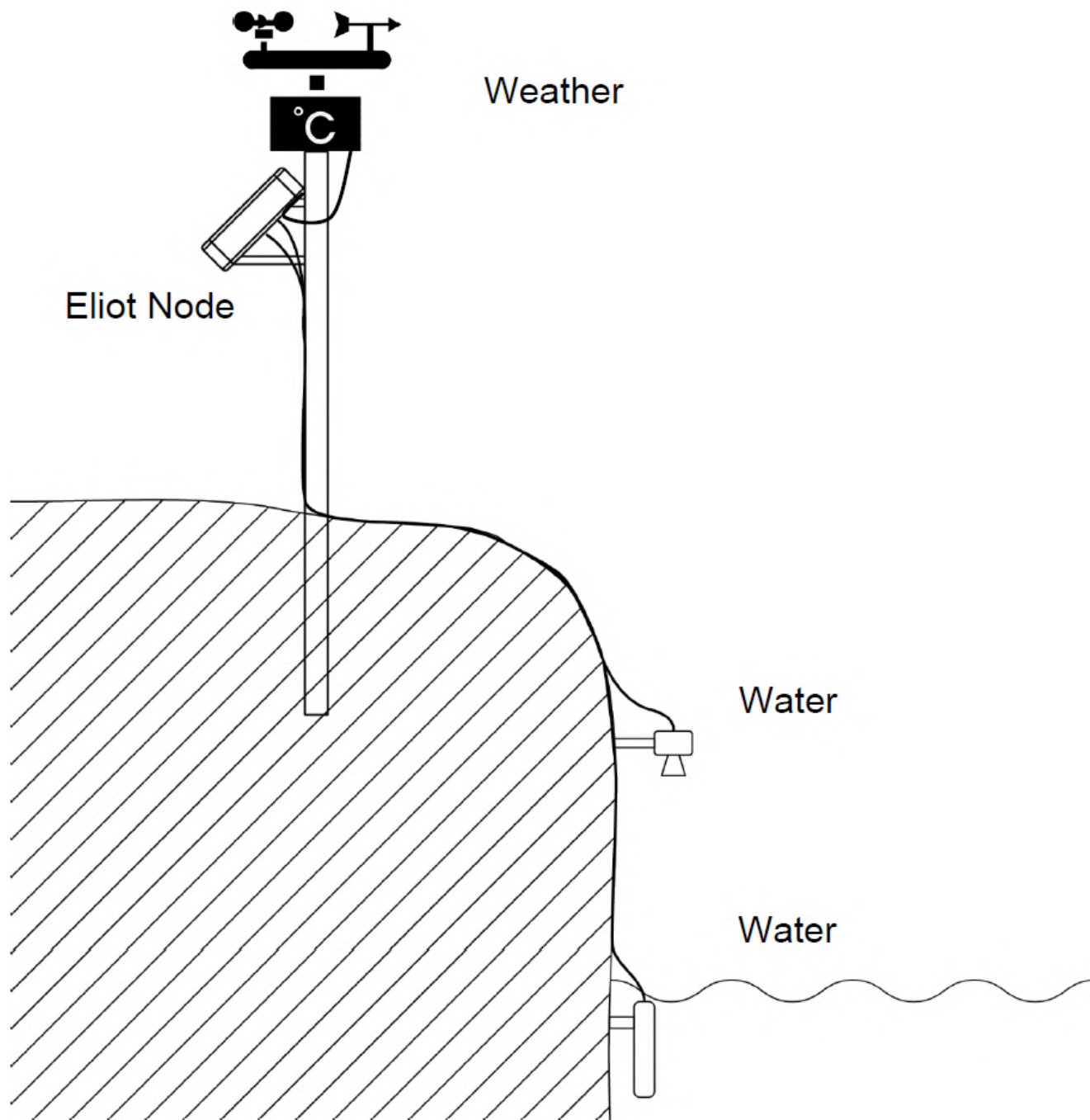
Αρχιτεκτονική σταθμού μέτρησης ποιότητας υδάτων

Το σύστημα αποτελείται από 5 βασικά μέρη:

- Elliot Node
- Μετεωρολογικός σταθμός
- Αισθητήρας στάθμης υδάτων
- Πολυαισθητήρας ποιότητας υδάτων
- Αισθητήρας υγρασίας εδάφους



Εικόνα 38. Αρχιτεκτονική συστήματος σταθμού μέτρησης ποιότητας υδάτων.



Εικόνα 39. Αρχιτεκτονική εγκατάσταση.

Τα επιμέρους στοιχεία πρέπει να τοποθετούνται στην ίδια θέση ή σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, κοντά στο σημείο ενδιαφέροντος, και όχι σε διαφορετικές θέσεις. Ο αισθητήρας ποιότητας του νερού πρέπει να τοποθετηθεί μέσα στο νερό και ο αισθητήρας στάθμης πρέπει να στερεωθεί σε μια δοκό που στηρίζεται σε μια κατακόρυφη ή οριζόντια επιφάνεια, όπως η κάτω πλευρά μιας γέφυρας. Ομοίως, σε ένα παρακείμενο σημείο, εγκαθίσταται μια δοκός στην οποία στηρίζονται ο μετεωρολογικός σταθμός και ο κόμβος ELIoT με την κατάλληλη κατεύθυνση, ώστε να λαμβάνουν τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ηλιακού φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας και να μπορούν να φορτίζουν τις μπαταρίες τους πιο αποτελεσματικά.

2.2.1 ELIoT Node

Σε κάθε σταθμό, ο κόμβος ELIoT χρησιμεύει ως το κεντρικό δομικό στοιχείο, στο οποίο συνδέονται όλοι οι αισθητήρες και στο οποίο συλλέγονται, αποθηκεύονται και μεταδίδονται όλα τα δεδομένα στην πλατφόρμα. Υπάρχουν κυκλώματα που του επιτρέπουν να επικοινωνεί με τους αισθητήρες χρησιμοποιώντας μια ποικιλία πρωτοκόλλων, κυκλώματα διαχείρισης ισχύος που του επιτρέπουν να λειτουργεί αυτόνομα φορτίζοντας τις μπαταρίες με ηλιακή ενέργεια και υποστήριξη τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας που του επιτρέπουν να στέλνει δεδομένα σε μικρές αποστάσεις.

Ο κόμβος ELIoT αποτελείται από ένα αδιάβροχο πλαστικό περίβλημα που περιέχει όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα καθώς και τις μπαταρίες που τα τροφοδοτούν. Ένας εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης, ο οποίος φορτίζει τις μπαταρίες και εξασφαλίζει την ανεξάρτητη λειτουργία του περιβλήματος, είναι στερεωμένος στον εξωτερικό τοίχο του περιβλήματος. Οι συνδέσεις/καλώδια των αισθητήρων εισέρχονται στο περίβλημα από το κάτω μέρος και είναι αδιάβροχες μέσω στυπιοθλιπτών που είναι στερεωμένα στο περίβλημα.

Το ηλεκτρονικό εξάρτημα αποτελείται από μια βασική πλακέτα που έχει σχεδιαστεί ειδικά για τον κόμβο ELIoT ώστε να φιλοξενεί τη βασική πλακέτα ανάπτυξης και τις επιμέρους μονάδες της, καθώς και μια σειρά άλλων εξαρτημάτων (πλακέτα φορέα).



Εικόνα 40. Κουτί Hammond 1555HF17 (αριστερά) με το κουτί OBO T160 της προηγούμενης έκδοσης

Εξωτερικό Περιβλημα

Απαιτείται αδιάβροχο και ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες περίβλημα λόγω του σκληρού περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί ο κόμβος ELIoT, το οποίο περιλαμβάνει υψηλά επίπεδα υγρασίας, δυσμενείς καιρικές συνθήκες και θερμοκρασίες που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα. Λόγω της αντοχής στην υγρασία που παρατηρήθηκε σε μια σειρά δοκιμών προσομοίωσης (δοκιμές βύθισης σε νερό για παρατεταμένες χρονικές περιόδους) καθώς και σε πραγματικές καιρικές συνθήκες, το κουτί 1555HF17 της Hammond χρησιμοποιείται σε αυτή την εφαρμογή (βροχή, χιόνι). Επιπλέον, λόγω του χαμηλού του κόστους σε σύγκριση με τον ανταγωνισμό, έχει ελάχιστες επιπτώσεις στο συνολικό κόστος κατασκευής.

Δύο αποσπώμενα μέρη βιδώνονται μαζί στο πίσω μέρος του περιβλήματος για να σχηματίσουν μια ενιαία μονάδα. Στο πάνω και στο κάτω μέρος του πίσω καλύμματος βρίσκονται μια σειρά οπών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη στήριξη του καλύμματος είτε απευθείας σε τοίχο είτε με τη βοήθεια μεταλλικών βραχιόνων σχήματος "M".

Εκτός από τον ηλιακό συλλέκτη, μια τρισδιάστατα εκτυπωμένη βάση μπορεί να προσαρτηθεί στο μπροστινό μέρος του κουτιού, επιτρέποντας την τοποθέτησή του στη βέλτιστη γωνία για την απορρόφηση της μέγιστης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Τέλος, οι συνδέσεις/καλώδια των αισθητήρων εισάγονται από το κάτω μέρος του κουτιού και σφραγίζονται με τη βοήθεια ροδέλας για να μην μπορούν να διαφύγουν.



Εικόνα 41. ELIoT Node v3



Εικόνα 42. Εσωτερικό ELIoT Node



Εικόνα 43. Δοκιμές στεγανότητας IP68

2

2.2.2 Μετεωρολογικός σταθμός

Στην παρούσα μελέτη, ο μετεωρολογικός σταθμός Fine Offset WN-1910 επιλέχθηκε ως η πιο αποδοτική επιλογή, επειδή πληροί με τον καλύτερο τρόπο όλα τα κριτήρια κόστους του έργου. Ωστόσο, το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι κλειστό, οπότε δεν είναι δυνατή η αφαίρεση της εσωτερικής μονάδας (κονσόλα RF σε WiFi) και η απευθείας σύνδεση με τους εξωτερικούς αισθητήρες χωρίς να γίνουν αλλαγές στο υλικό.



Εικόνα 44. Ο Fine Offset WN-1910

Επιπλέον, επιλέξαμε το MeterGroup Atmos41 ως σταθμό αναφοράς επειδή διαθέτει υψηλή ακρίβεια και ανοικτό πρωτόκολλο επικοινωνίας (SD-12), κάτι που θεωρούμε σημαντικό.



Εικόνα 45. Ο MeterGroup Atmos41

2.2.3 Αισθητήρας μέτρησης μεταβλητών ποιότητας υδάτων

Για τη μέτρηση της ποιότητας του νερού χρησιμοποιείται ο πολυαισθητήρας AquaTROLL 400, ο οποίος μετράει πολλές παραμέτρους, ενώ ταυτόχρονα καταναλώνει χαμηλή ποσότητα ενέργειας, επιτρέποντάς του να τροφοδοτείται από τις μπαταρίες του Eliot Node χωρίς να επηρεάζει την αυτονομία του συνολικού συστήματος. Ο αισθητήρας είναι βυθισμένος στο νερό και ελέγχεται από το Eliot Node μέσω ενσύρματης σύνδεσης με το Eliot Node.



Εικόνα 46. Ο AquaTROLL 400

2.2.4 Αισθητήρας μέτρησης στάθμης υδάτων



Εικόνα 47. Maxbotix Ultrasonic

Καταλήξαμε σε maxbotix ultrasonic water level sensors υψηλής ακρίβειας και αντοχής στις εξωτερικές συνθήκες.

2.2.5 Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους



Εικόνα 48. Αισθητήρες μέτρησης υγρασίας εδάφους.

Οι αισθητήρες εδαφικής υγρασίας μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες με βάση τη μέθοδο με την οποία μετρούνται: είτε **μέτρηση ωμικής αντίστασης** μεταξύ δύο ακροδεκτών που βρίσκονται στο έδαφος είτε **μέτρηση χωρητικότητας** του "πυκνωτή" που σχηματίζουν οι ακροδέκτες αυτοί. Το πρόβλημα με τη χρήση αυτής της μεθόδου μέτρησης της "αντίστασης" είναι ότι τα ηλεκτρόδια οξειδώνονται ως αποτέλεσμα της ηλεκτρόλυσης, καθιστώντας τις μετρήσεις αναξιόπιστες με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, ο όγκος του εδάφους στον οποίο μετράται η υγρασία είναι πολύ μικρός, όπως προαναφέρθηκε. Σε αυτή την περίπτωση, η μέτρηση της χωρητικότητας είναι πιο αξιόπιστη και θα χρησιμοποιηθεί για τη διάρκεια της μελέτης, ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της. Οι αισθητήρες SDI-12 θα χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα και για σκοπούς αναφοράς.

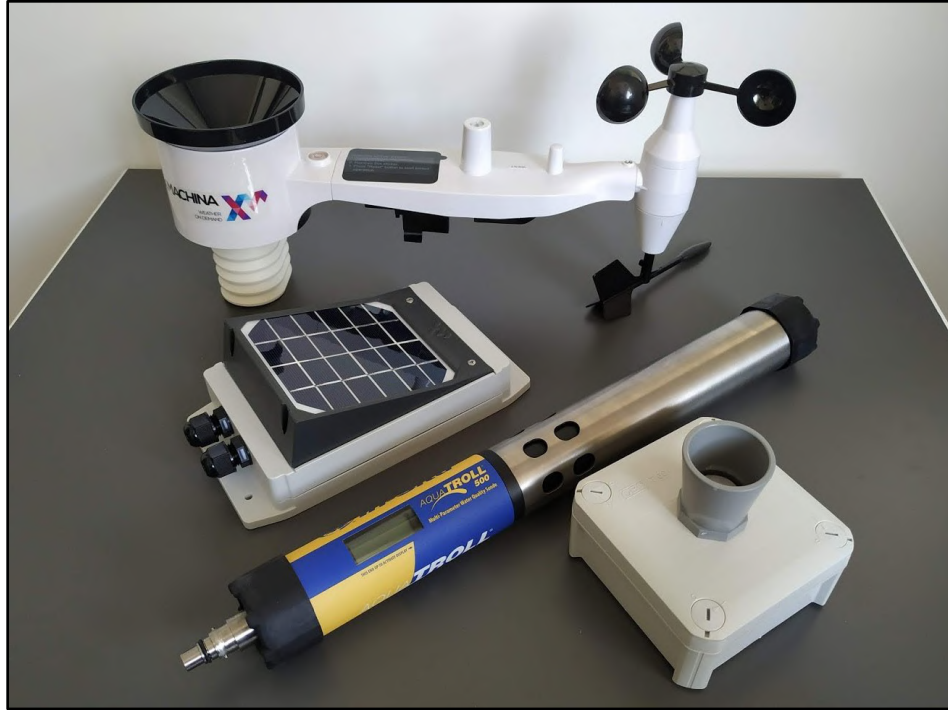
Ο αισθητήρας Dragino LoraWAN, ο οποίος είναι ο φθηνότερος πιστοποιημένος αισθητήρας LoraWAN στην κατηγορία του, είναι η πιο σύγχρονη λύση για την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας. Λόγω της μοναδικής του κατασκευής και της μεγάλης κλίμακας στην οποία παράγεται, το κόστος του είναι σημαντικά χαμηλότερο από αυτό οποιασδήποτε προσαρμοσμένης κατασκευής, σε σημείο που είναι αδύνατο να επιτευχθεί συγκρίσιμο κόστος με οποιαδήποτε άλλη προσαρμοσμένη κατασκευή. Εξαιτίας αυτού, αποτελεί την καταλληλότερη λύση για την ευρεία εγκατάσταση και καταγραφή της υγρασίας σε μεγάλες περιοχές. Ο αισθητήρας προγραμματίστηκε/προσαρμόστηκε ώστε να μπορεί να συνδεθεί με την πλατφόρμα IoT μέσω της πύλης LoraWAN, προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του έργου.



Εικόνα 49. Ο αισθητήρας Dragino



Εικόνα 50. Δοκιμές αισθητήρων Dragino Soil Moisture



Εικόνα 51. Hardware 3ης Γενιάς ELIoT: Node, Μετεωρολογικός σταθμός, αισθητήρας στάθμης, ποιότητας υδάτων



Εικόνα 52. Παραλλαγές ELIoT Node με ποικιλία αισθητήρων 3ης Γενιάς

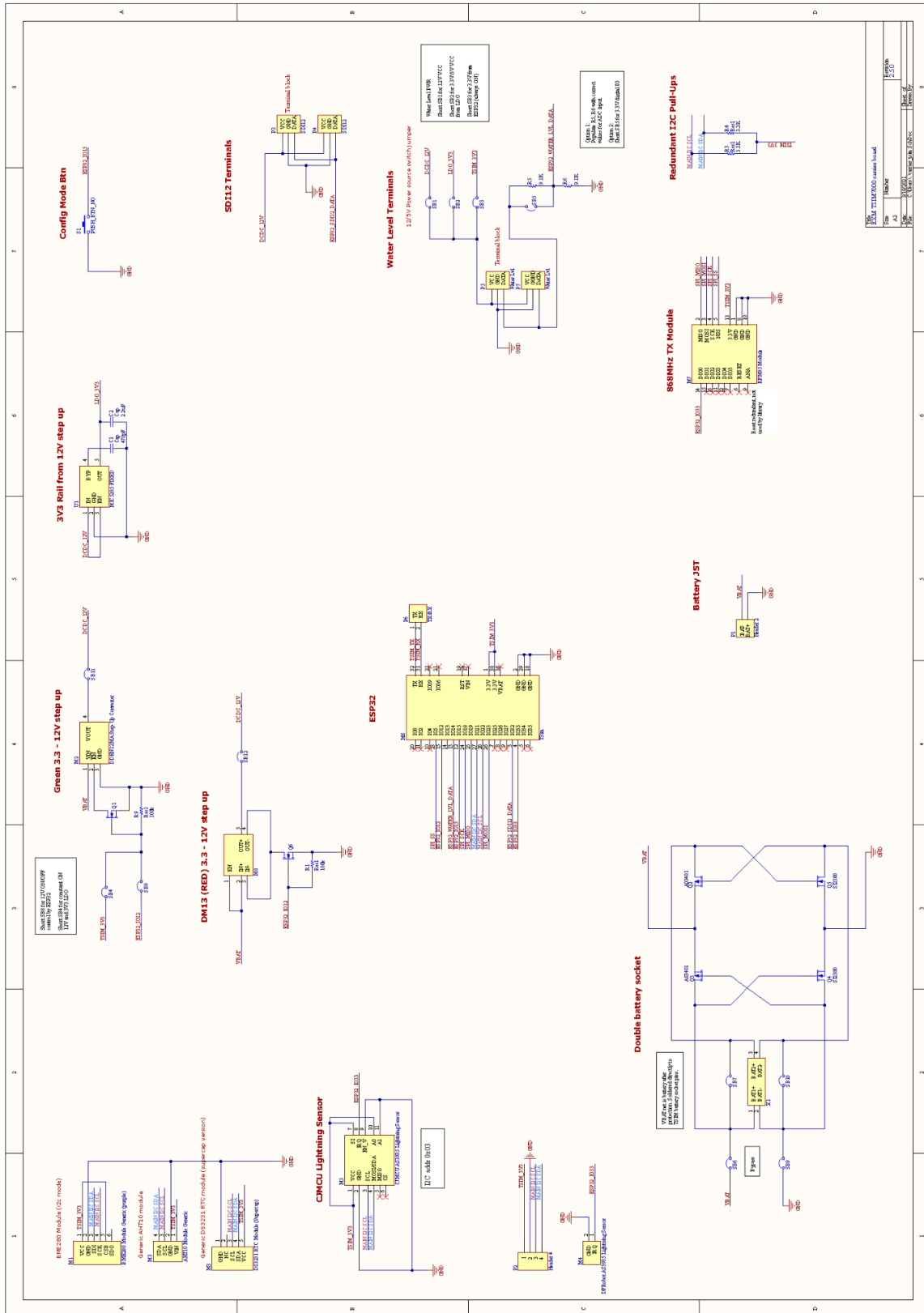
2.2.6 Ηλεκτρονικά

Εσωτερικά, ο κόμβος ELIoT αποτελείται από μια πλακέτα φορέα που χρησιμεύει ως θεμέλιο για τα διάφορα υποσυστήματα και τις μονάδες που συνθέτουν τη δομή. Η κύρια πλακέτα μικροελεγκτή, η οποία χρησιμεύει ως βάση λειτουργίας του κόμβου ELIoT, είναι τοποθετημένη στην κορυφή της πλακέτας φορέα.

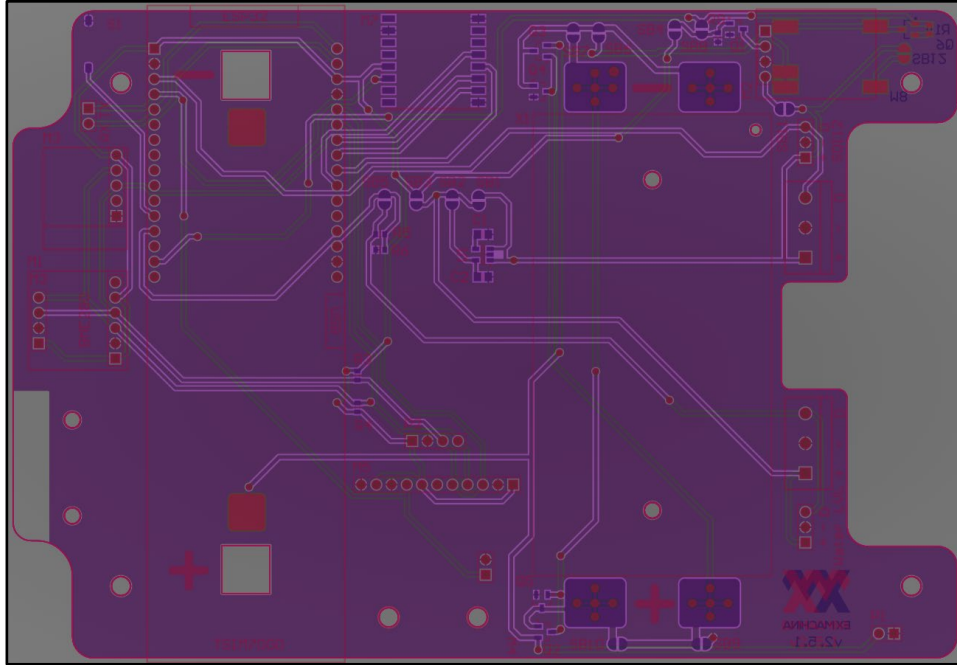
Ακολουθεί περιγραφή των επιμέρους ηλεκτρονικών κυκλωμάτων του ELIoT Node:

- **TSIM7000:** Πλακέτα μικροελεγκτή βασισμένη στο Espressif ESP32. Περιλαμβάνει τα σύστημα επικοινωνιών μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας (SIM7000 module), καθώς και περιφερειακά όπως σύστημα διαχείρισης ρεύματος μπαταριών (κύκλωμα προστασίας υπερφόρτωσης, υποφόρτισης και κύκλωμα φόρτισης μέσω ηλιακών πάνελ.
- **BME280:** Αισθητήρας για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό του κουτιού: θερμοκρασία, υγρασία, πίεση.
- **RTC (Real Time Clock):** Κύκλωμα ρολογιού για την ακριβή χρονολόγηση των εσωτερικών διαδικασιών του συστήματος, όπως των ρυθμών ανάγνωσης των αισθητήρων, καταγραφής της ώρας μέτρησης κ.α.
- **RFM95:** Κύκλωμα ασύρματης επικοινωνίας στα 868MHz. Χρησιμοποιείται για την λήψη πακέτων τηλεμετρίας από μετεωρολογικούς σταθμούς χαμηλού κόστους.
- **SDI12 power:** Κύκλωμα παραγωγής τάσης κατάλληλης για τροφοδοσία αισθητήρων SDI12, όπως οι αισθητήρες ποιότητας υδάτων AquaTROLL.
- **Θύρες σύνδεσης:** 2 θύρες σύνδεσης εξωτερικών αισθητήρων. Η μια θύρα είναι κατάλληλη για να φιλοξενήσει αισθητήρες 3.3V ενώ η δεύτερη έως 12V πράγμα που την καθιστά κατάλληλη για πληθώρα αισθητήρων SDI12.
- **Μπαταρίες:** Το σύστημα τροφοδοτείται από 2 μπαταρίες τύπου 18650 που του παρέχουν αρκετή ενέργεια ώστε να λειτουργήσει ως και 2 μήνες χωρίς ηλιοφάνεια.

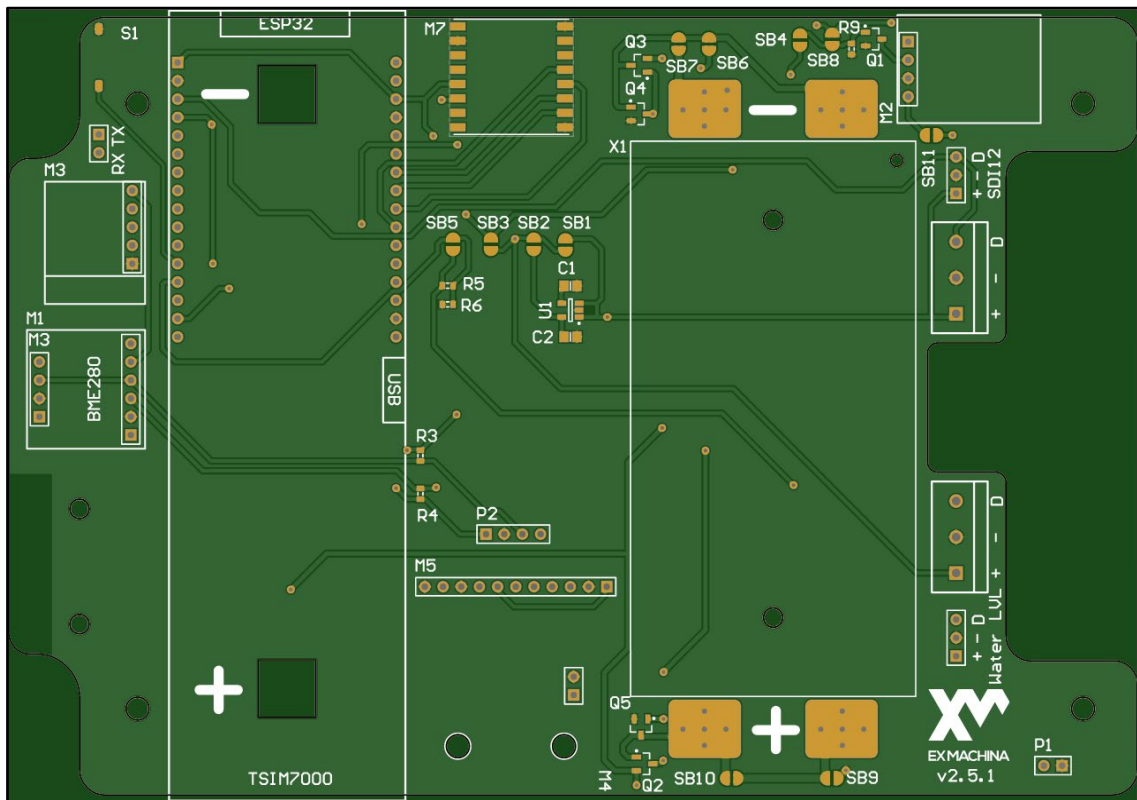
Η λειτουργικότητα του όλης κατασκευής καθώς και η αρμονική συνύπαρξη όλων των υποσυστημάτων της, ελέγχεται από το υλισμικό το οποίο κατασκευάστηκε ειδικά για αυτή και “τρέχει” μέσα στον κεντρικό μικροελεγκτή ESP32.



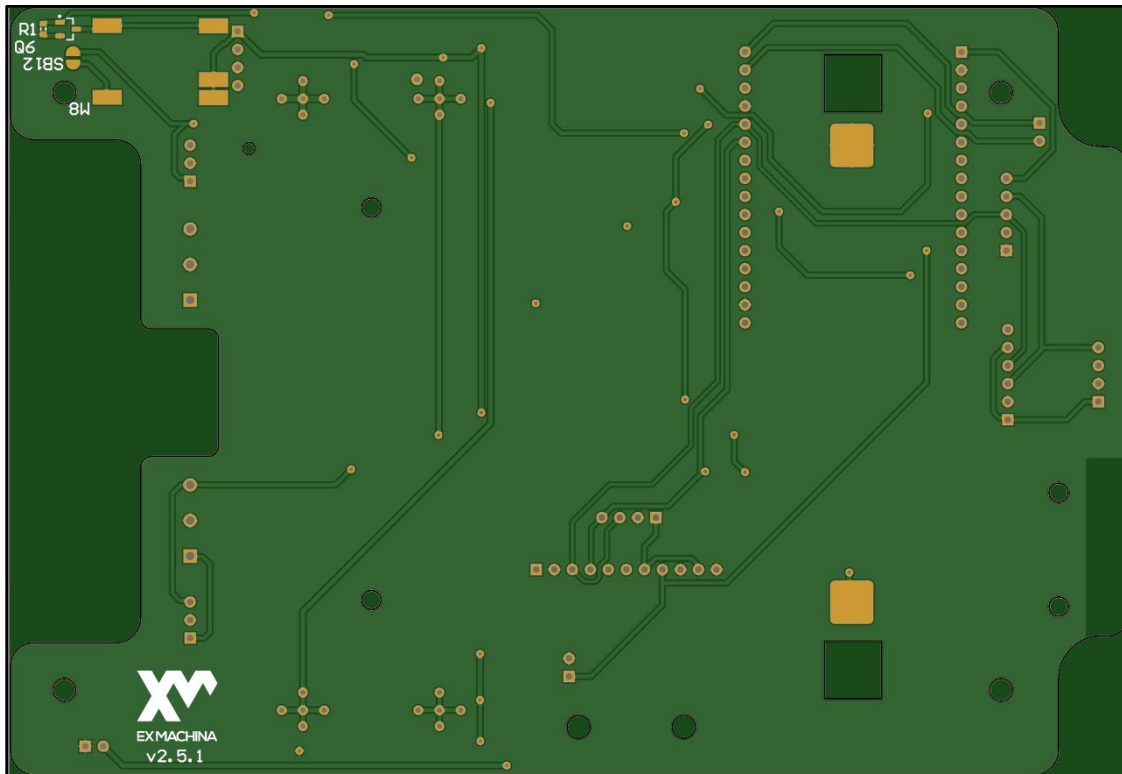
Εικόνα 52. Σχηματικό βασικής πλακέτας (ELIoT Node carrier board)



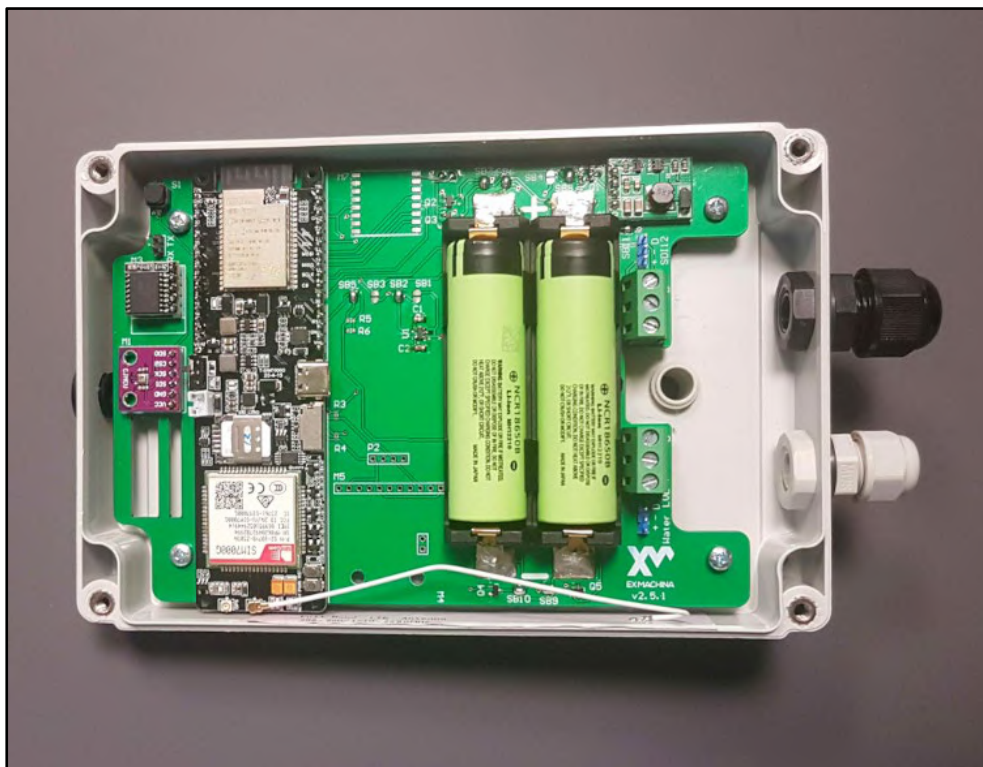
Εικόνα 53. Βασική πλακέτα (ELIoT Node carrier board)



Εικόνα 54. Βασική πλακέτα (ELIoT Node carrier board - Πρόσθια Όψη)



Εικόνα 54. Βασική πλακέτα (ELIoT Node carrier board - Οπίσθια Όψη)



Εικόνα 55. Βασική πλακέτα (ELIoT Node carrier board με εξωτερικό περίβλημα)

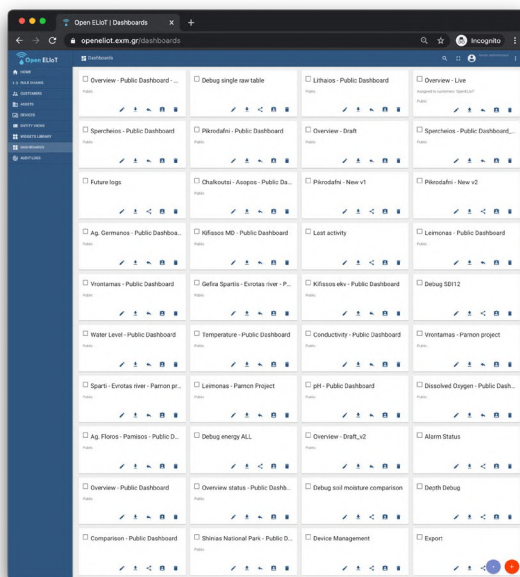
2.3 Διαδικτυακή πλατφόρμα συλλογής, επεξεργασίας και οπτικοποίησης δεδομένων

Αφού εγκαταστήσαμε σταθμούς περιβαλλοντικών μετρήσεων σε 12 τοποθεσίες, βελτιστοποιήσαμε την πλατφόρμα, εστιάζοντας στη δημιουργία καταλόγων ελέγχου που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών, όπως αυτές προσδιορίστηκαν μέσω ερωτηματολογίων, αλλά και στη δημιουργία γραφικών δεδομένων ανάλογα με τις ανάγκες.

2.3.1 Πίνακες Ελέγχου

Δημιουργήθηκαν δύο κατηγορίες πινάκων ελέγχου:

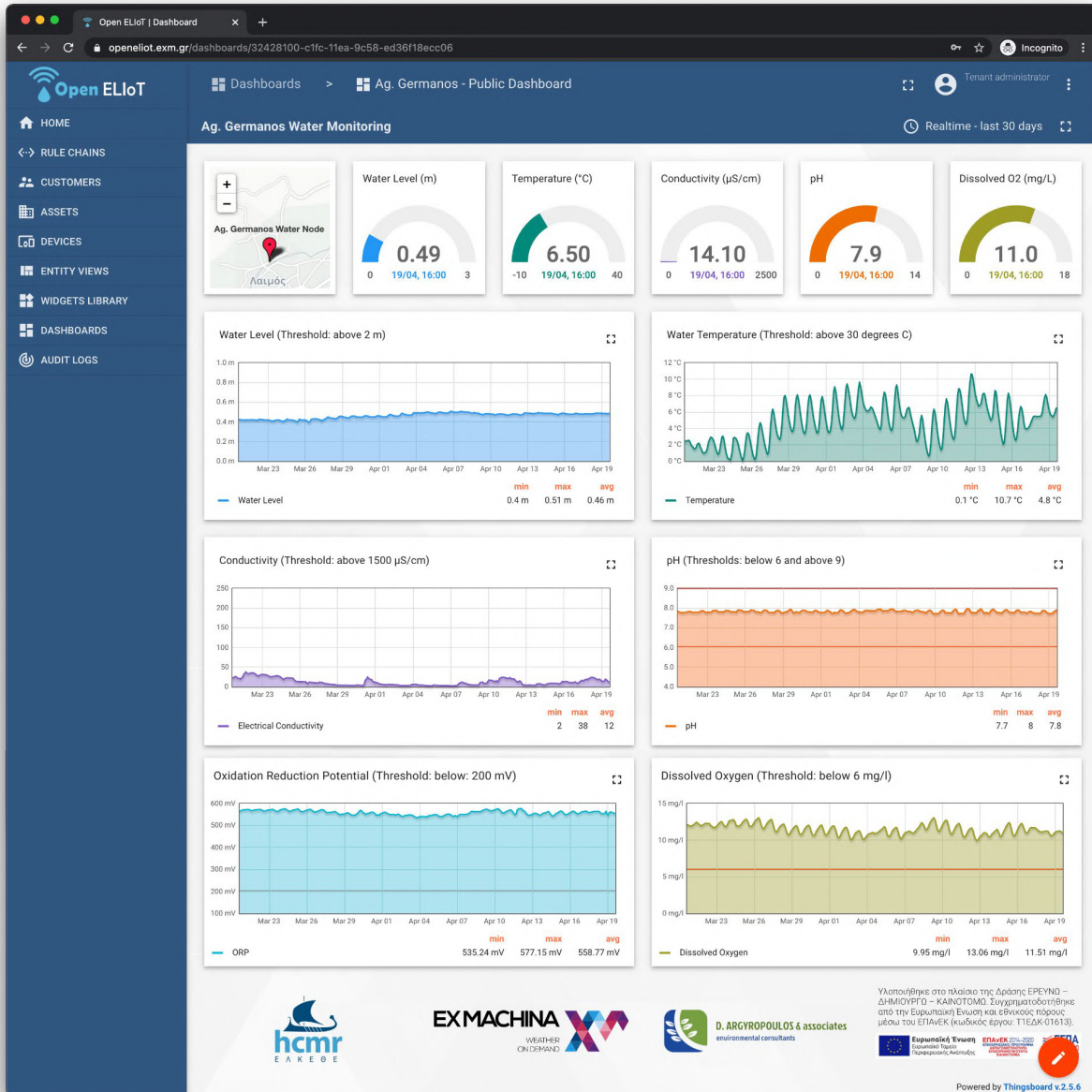
- Πίνακες ελέγχου **ανά θέση**, με έμφαση στη γρήγορη επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης λειτουργίας του σταθμού, αλλά και σε μια ολοκληρωμένη γραφική απεικόνιση των ιστορικών δεδομένων για τη θέση εγκατάστασης.
- Θεματικοί πίνακες ελέγχου για **κάθε μέτρηση**, όπου εμφανίζεται η τρέχουσα κατάσταση και η ιστορική διακύμανση κάθε στοιχείου μέτρησης (π.χ. θερμοκρασία) για όλες τις τοποθεσίες.



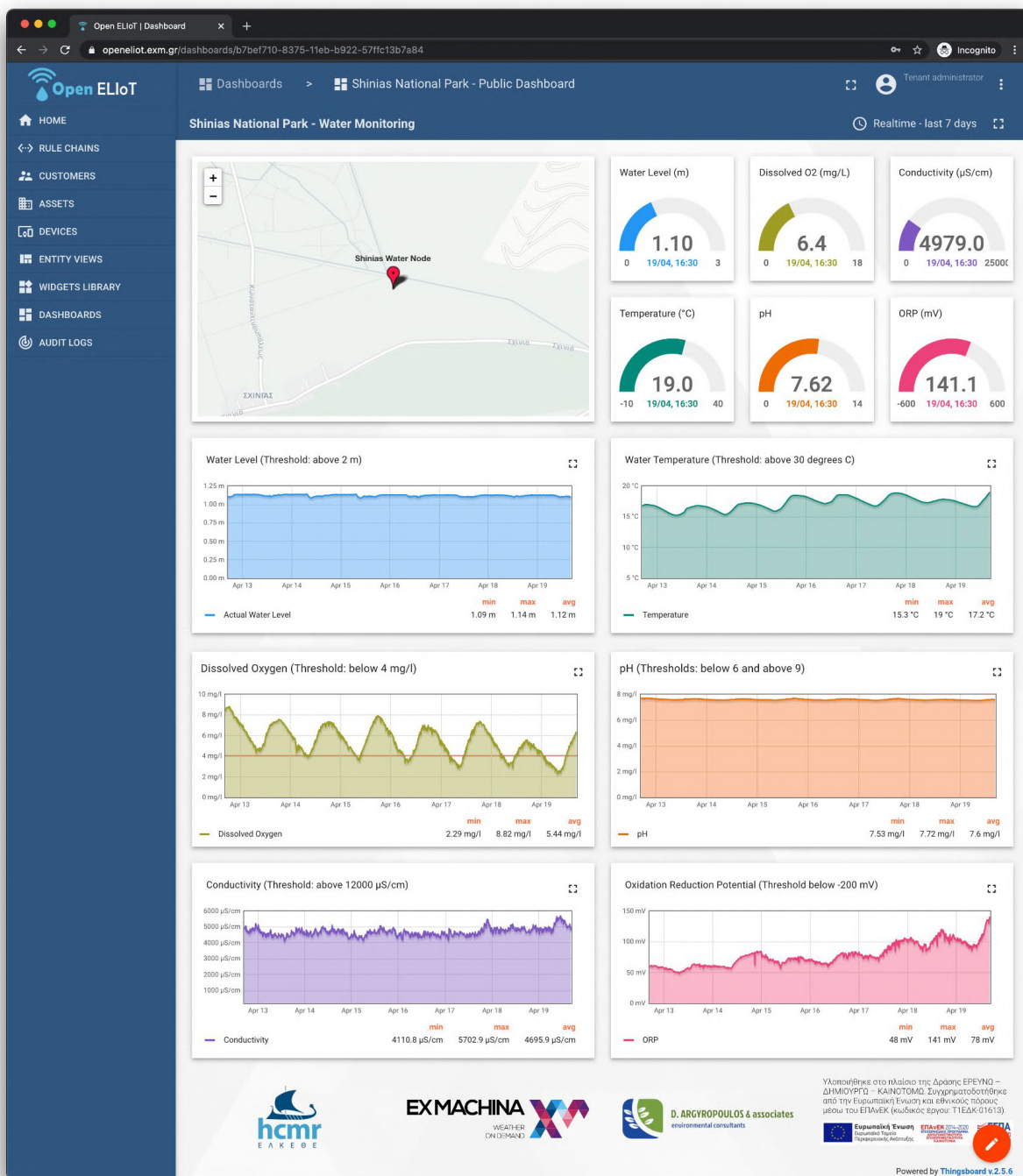
Πίνακας 23. Λίστα των πινάκων ελέγχου που έχουν δημιουργηθεί στην πλατφόρμα δεδομένων Open ELIoT

2.3.1α Πίνακες Ελέγχου ανά Τοποθεσία

Παρατίθενται ενδεικτικά στιγμιότυπα οθόνης από τους πίνακες ελέγχου για τις τοποθεσίες του Αγ. Γερμανού Πρεσπών και Εθνικού Πάρκου Σχινιά Μαραθώνα.



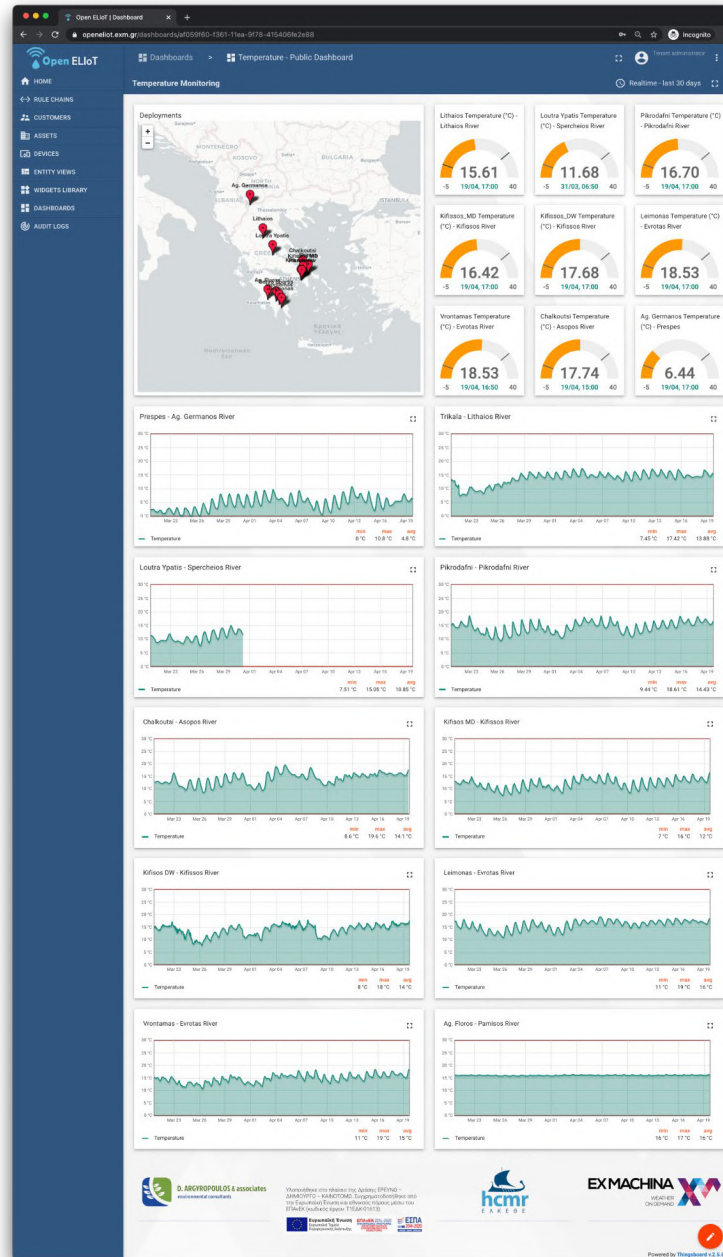
Πίνακας 24. Πίνακας ελέγχου ποιότητας & στάθμης υδάτων Αγ. Γερμανού Πρεσπών



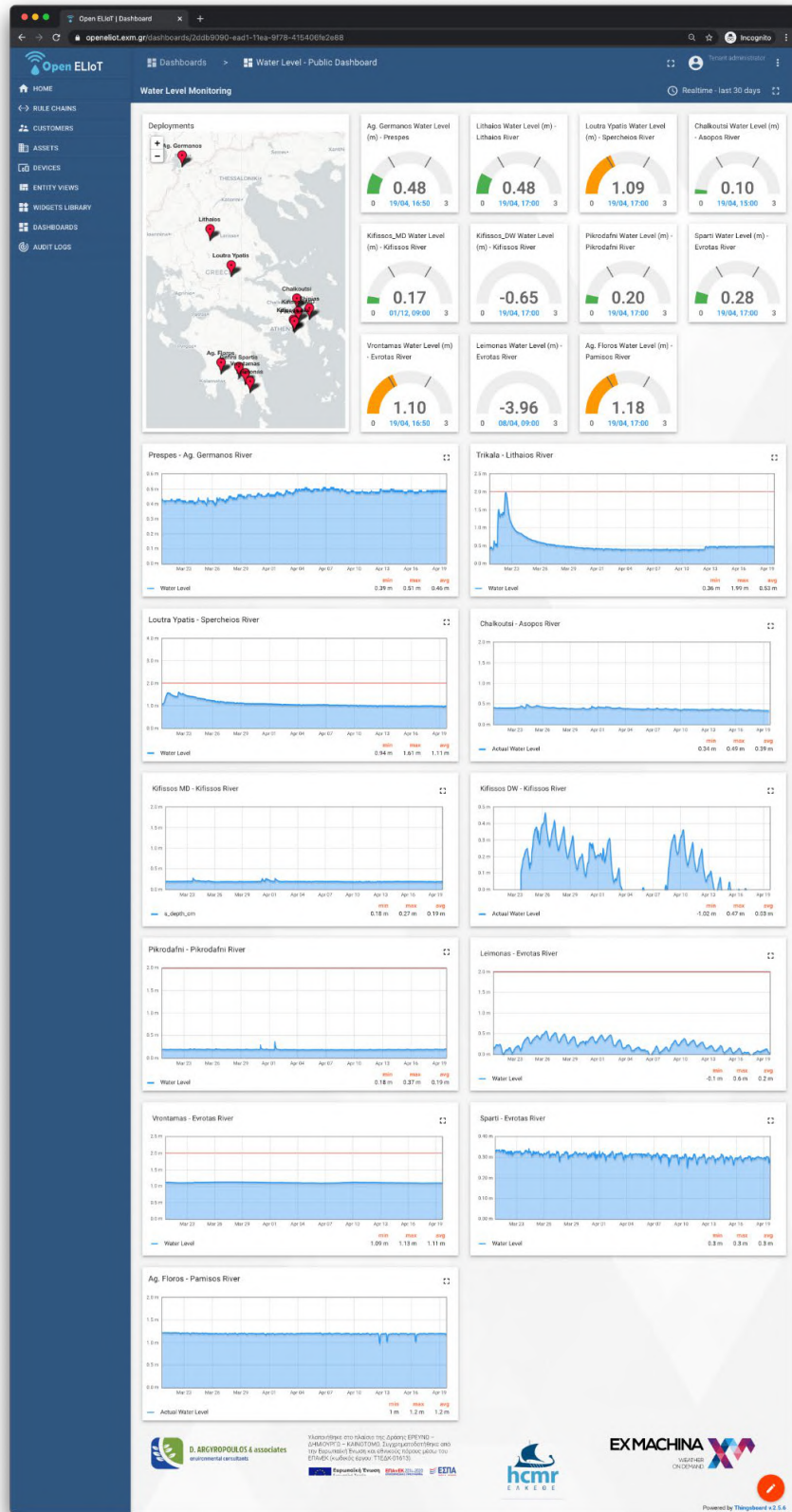
Πίνακας 25. Πίνακας ελέγχου ποιότητας & στάθμης υδάτων Εθνικού Πάρκου Σχινιά Μαραθώνα

2.3.1β Πίνακες Ελέγχου ανά Μέτρηση

Παρατίθενται ενδεικτικά στιγμιότυπα οθόνης από τους θεματικούς πίνακες ελέγχου ανά μέτρηση, για τη θερμοκρασία νερού και για τη στάθμη νερού.



Πίνακας 26. Θεματικός πίνακας ελέγχου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας νερού

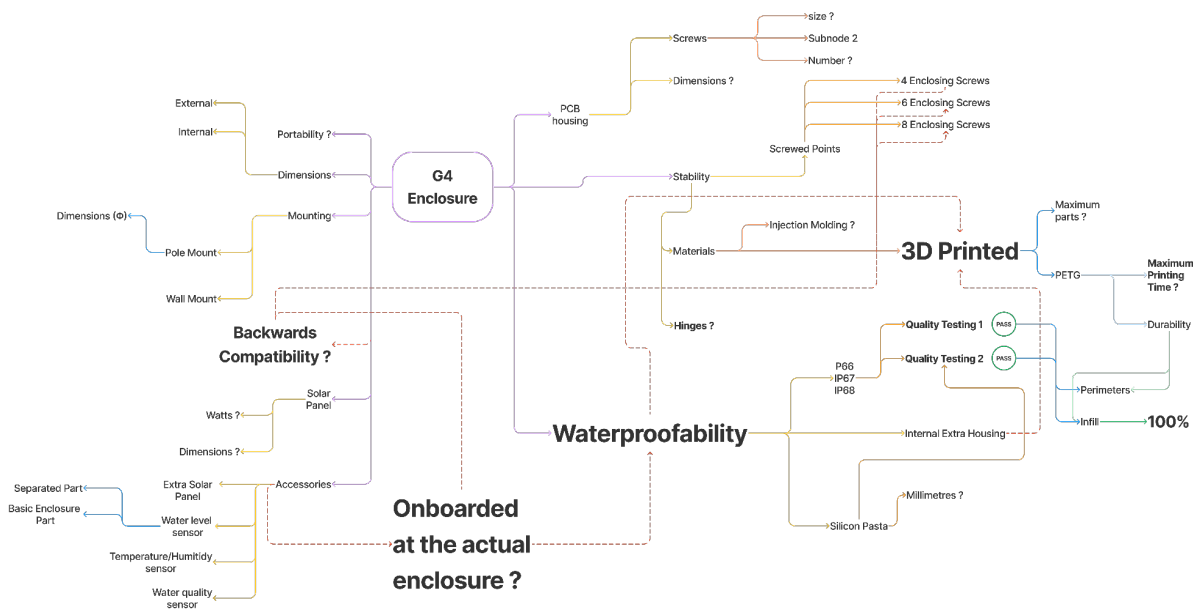


Πίνακας 27. Θεματικός πίνακας ελέγχου για τη μέτρηση της στάθμης νερού

Κεφάλαιο 3 - Επανασχεδιασμός εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELLIoT και εξωτερικών αισθητήρων

3.1 Ανάλυση Απαιτήσεων για τον επανασχεδιασμό εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELLIoT

Σύμφωνα με την ανατροφοδότηση που πάρθηκε από τους ήδη υπάρχοντες σταθμούς στο πεδίο, διακρίνονται κάποια τρωτά σημεία στο σύστημα εγκατάστασης του κόμβου και των εξωτερικών αισθητήρων που αυτόματα οδηγεί στην μελέτη περίπτωσης ανάπτυξης νέου εξωτερικού περιβλήματος που θα διορθώνει τα προϋπάρχοντα προβλήματα αλλά και θα μειώνει το κόστος καθώς και τον χρόνο κατασκευής και συντήρησης αντίστοιχα. Διενεργώντας έναν εννοιολογικό χάρτη, διαπιστώνεται πως οι βασικές ανάγκες του κόμβου ELLIoT είναι η μεταφερσιμότητα, οι μικρές διαστάσεις του περιβλήματός του, η αδιαβροχοποίηση, η συμβατότητα των εξωτερικών αισθητήρων με παλαιότερες και νεότερες εκδόσεις, η σταθερότητα και η ποιότητα κατασκευής σε συνάρτηση με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και η προσέγγιση τοποθέτησης όλων των αισθητήρων εντός ή περιμετρικά της κατασκευής του κόμβου.



Εικόνα 56. Εννοιολογικός χάρτης για την ανάλυση απαιτήσεων του κόμβου ELLIoT 4ης γενιάς.

Σε δεύτερο επίπεδο, διακρίνουμε την σημαντικότητα των διαστάσεων, τόσο εσωτερικά αλλά και εξωτερικά του κόμβου. Ίσως η πιο σημαντική καινοτομία της 4ης γενιάς συσκευών μετά από τη μεγάλη ζήτηση των χειριστών είναι η τοποθέτηση μεντεσέδων στο εξωτερικό περίβλημα του κόμβου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την άμεση επισκευή ή παρακολούθηση των δεδομένων στο πεδίο χωρίς να χρειαστεί η απομάκρυνσή του από αυτό.

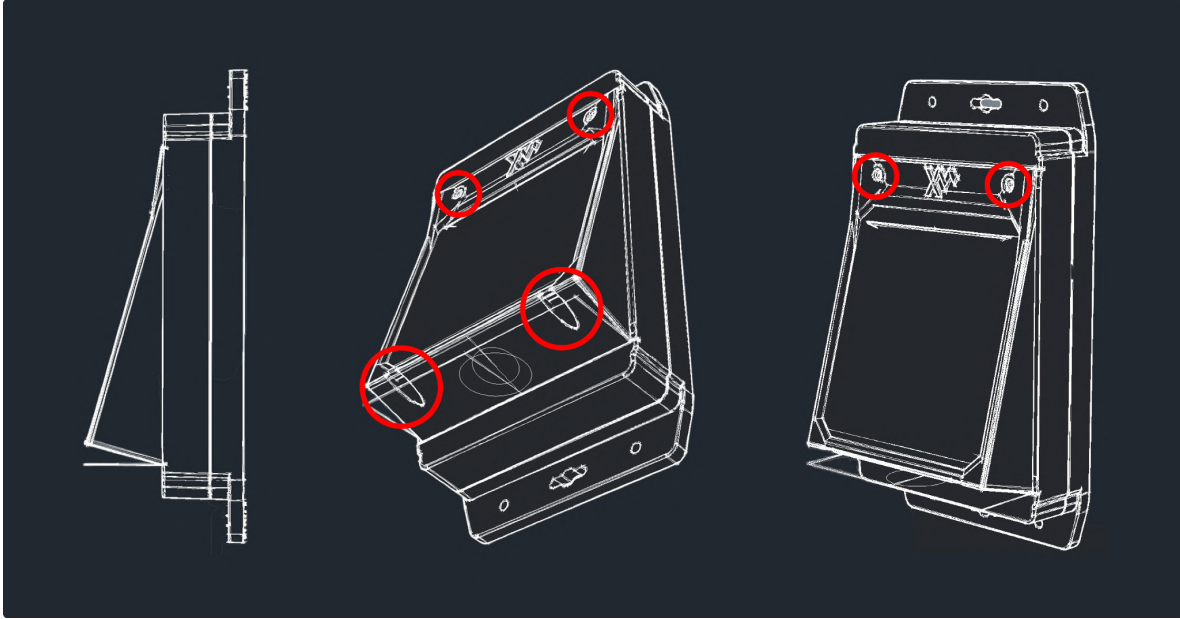
Προσεγγίζοντας την υλοποίηση της 4ης γενιάς συσκευών σε σχεδιαστικό επίπεδο, θα ήταν σωστό να αναφέρουμε πως λόγω της επιλογής του τρόπου και του υλικού κατασκευής, όπως αναφέρεται στην εικ. 56. Θα υπάρξουν αρκετοί απαιτητικοί περιορισμοί κατά τον σχεδιασμό της λύσης. Να επισημανθεί πως σε αρχικό επίπεδο η κατασκευή απαρτίζεται από μια υβριδική λύση 3D εκτυπωμένου πλαστικού PETG και του προϊόντος Hammond 1555HF χυτού πλαστικού ABS ή PC όπου στην καινούργια γενιά θα αποτελέιτε αποκλειστικά και μόνο από 3D εκτυπωμένα πλαστικά.

3.2 Σχεδιασμός εκδοχών εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

3.2.1 Πρώτη εκδοχή σχεδιασμού κόμβου ELIoT

Καίριο στάδιο αποτέλεσε η σχεδίαση των πρώτων εκδοχών της συσκευής. Παίρνοντας ως βάση την προηγούμενη γενιά κόμβου ELIoT και λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα μειονεκτήματα της, δημιουργήθηκε μια σειρά νέων σχεδίων που προέκυψαν από τον ιδεολογικό χάρτη στην εικ. 56.

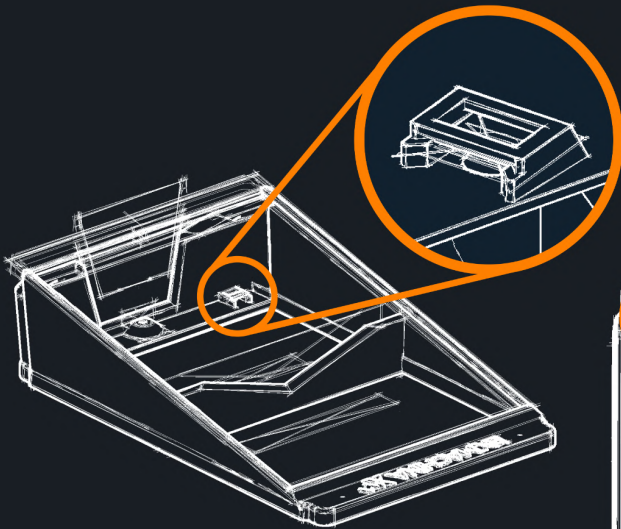
Ως έναυσμα της σχεδιαστικής διαδικασίας, αποστέλλεσαι η έλλειψη εξαρτημάτων, αναγκαίων για την κατασκευή του προϊόντος. Συγκεκριμένα, η έλλειψη ηλιακών συσσωρευτών διαστάσεων 110.5x128x2.9mm οδήγησε στην άμεση αντικατάστασή του και κατ' επέκταση στην ανάγκη δημιουργίας ενός νέου περιβλήματος που να μπορεί να "φιλοξενήσει" το καινούργιο εξάρτημα διαστάσεων 115.9x160x2.6mm. Παράλυτα, το κρισιμότερο μειονέκτημα του βρίσκεται στο επίπεδο της στεγανότητας και αδιαβροχοποίησης καθώς, κατά την εγκατάσταση της βάσης του ηλιακού συσσωρευτή, διανοίγονταν οπές για την στήριξη αυτού, με αποτέλεσμα το σύστημα στεγανότητας του περιβλήματος να μην είναι πλέον αξιόπιστο (Εικ. 57).



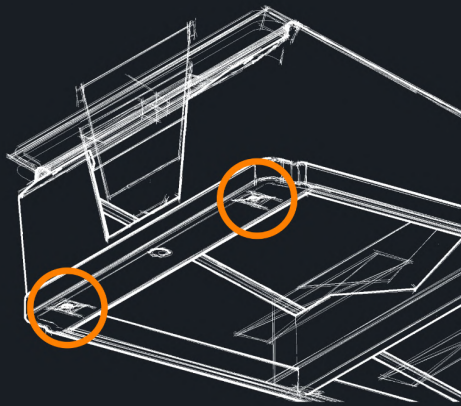
Εικόνα 57. Απεικόνιση προβλήματος στεγανότητας σε πρωιμότερη έκδοση

Στην πρώτη εκδοχή έχουν εξυγιανθεί όλα τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα και έχουν εισαχθεί ορισμένες καινοτομίες. Ως προς τον σχεδιασμό, αναπτύχθηκε νέο σχέδιο συμβατό με τον νέο ηλιακό συλλέκτη, οι οπές που συγκρατούν τη βάση αυτού με το υπόλοιπο περίβλημα μετακινήθηκαν σε σημείο όπου δεν επηρεάζει την στεγανότητα του κεντρικού στελέχους της συσκευής και εισήχθη ένα νέο αποσπώμενο τμήμα που βοηθά στην καλύτερη συγκράτηση του ηλιακού συλλέκτη αλλά και στην οικονομία κόστους και χρόνου εκτύπωσης .

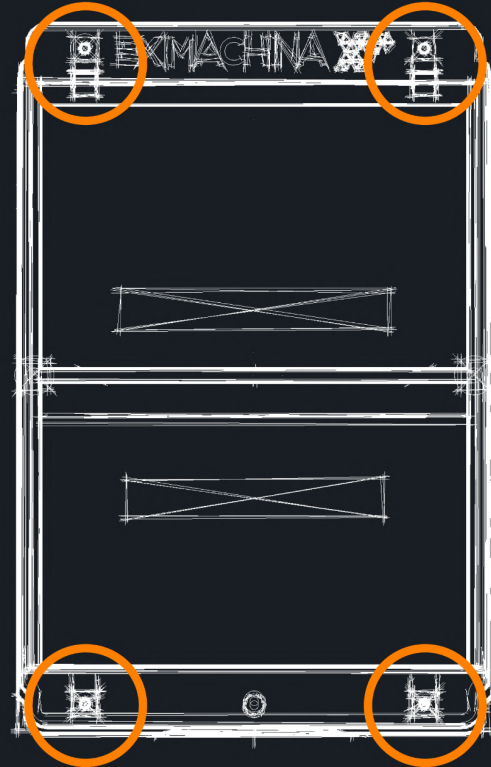
Συγκεκριμένα, οι νέες διαστάσεις του ηλιακού πάνελ επιλέχθηκαν ώστε να εξυπηρετούν τον σχεδιασμό της βάσης στήριξής του με την προσθήκη υλικού στο ανώτερο και κατώτερο τμήμα του περιβλήματος για την δημιουργία ενός μηχανισμού συγκράτησης της βάσης με κοχλίες εκτός των στεγανών περιοχών (Εικ. 58). Οι βίδες συγκρατούνται στην κατασκευή με υποδοχές για τετράγωνου σχήματος παξιμάδια τα οποία τοποθετούνται απο την κάτω εσωτερική πλευρά της βάσης του ηλιακού πάνελ σπρώχνοντας εγκάρσια το παξιμάδι -ενδεχομένως με την βοήθεια ενός μικρού κατσαβιδιού- έως ότου τα πλαστικά να μην επιτρέπουν την μετακίνηση του σε οπουδήποτε άξονα (Εικ.59). Αντίστοιχα, στο ανώτερο τμήμα της βάσης διακρίνονται δυο προθήκες τετράγωνου σχήματος για τον ίδιο σκοπό με την διαφορά ότι η τοποθέτηση των παξιμαδιών θα πραγματοποιηθεί σε δυο φάσεις. Αρχικά, τοποθετείτε το εξάρτημα με σωστή γωνιά εσωτερικώς του “διάδρομου” και έπειτα με την βοήθεια ενός κατάλληλου κατσαβιδιού το παξιμάδι καθοδηγείται στο τέλος του “διάδρομου”. Σε αυτό το σημείο αναγκαίο κρίνεται να επισημανθεί πως ο χρήστης θα πρέπει να βεβαιωθεί πως όλα τα παξιμάδια της κατασκευής είναι σωστά ευθυγραμμισμένα με τις οπές για τις οποίες προορίζονται (Εικ, 60).



Εικόνα 58. Απεικόνιση αρχικού σχεδιασμού τρόπου στήριξης της βάσης του ηλιακού συσσωρευτή



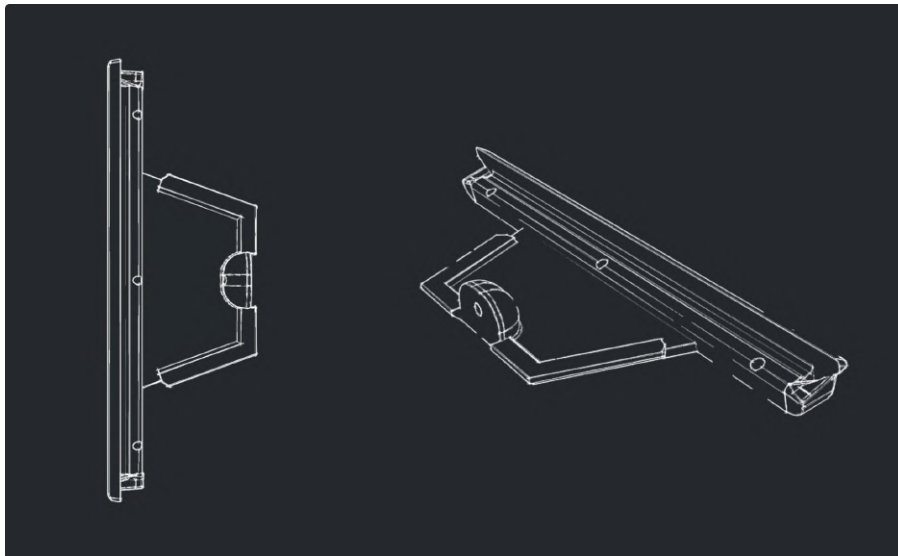
Εικόνα 59. Απεικόνιση αρχικού σχεδιασμού τρόπου στήριξης της βάσης του ηλιακού συσσωρευτή



Εικόνα 60. Απεικόνιση αρχικού σχεδιασμού τρόπου στήριξης της βάσης του ηλιακού συσσωρευτή

3.2.2 Πρώτη εκδοχή σχεδιασμού καλύμματος βάσης στήριξης ηλιακού συσσωρευτή

Σε αυτό το πρώτο στάδιο σχεδιασμού αναπτύχθηκε πλαστικό κάλυμμα το οποίο τοποθετείται στο κατώτερο τμήμα της βάσης του ηλιακού πάνελ με σκοπό την σωστότερη και ασφαλέστερη συγκράτηση του ανωτέρω εξαρτήματος, αλλά και την ευκολότερη αποσυναρμολόγηση του κόμβου σε περίπτωση βλάβης ή αλλαγής του ηλιακού συσσωρευτή (Εικ. 61).

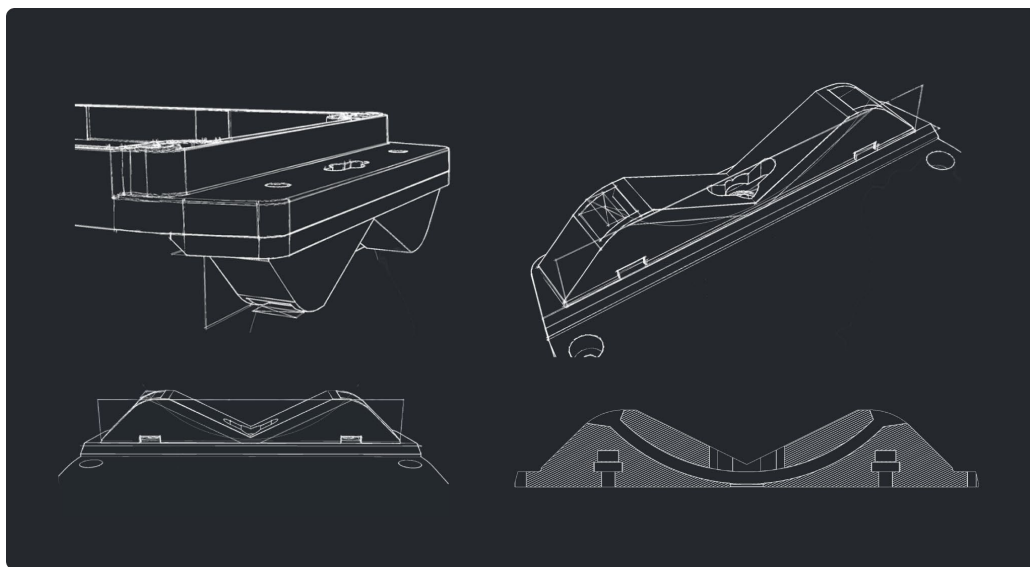


Εικόνα 61. Απεικόνιση αρχικού σχεδίου πλαστικού καλύμματος για την βάση του ηλιακού συσσωρευτή

3.2.3 Πρώτη εκδοχή σχεδιασμού βάσης στήριξης του κόμβου ELIoT

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό αυτής της εκδοχής αποτελεί η ανάπτυξη της ιδέας για ένα στέλεχος που θα εξυπηρετεί στην στήριξη ολόκληρης της συσκευής στον ιστό τοποθέτησης χωρίς να περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του αλλά και να είναι αρκετά ανθεκτικό σε συμπίεση φορτία αλλά και σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Οι τεχνικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληροί είναι η δυνατότητα τοποθέτησης του σε ιστό αλλά και σε επίπεδες επιφάνειες, να είναι εύκολα αντικαταστάσιμο στο πεδίο και να έχει μειωμένο χρόνο κατασκευής. Πιο αναλυτικά, εκμεταλλευόμενοι τα χαρακτηριστικά του κύριου περιβλήματος (Hammond 1555HF) όπως τις οπές στο ανώτερο και κατώτερο τμήμα του σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχες οπές για την ένωση της βάσης στήριξης με αυτή της κυρίας κατασκευής μέσω κοχλία - τετράγωνου περικοχλίου.

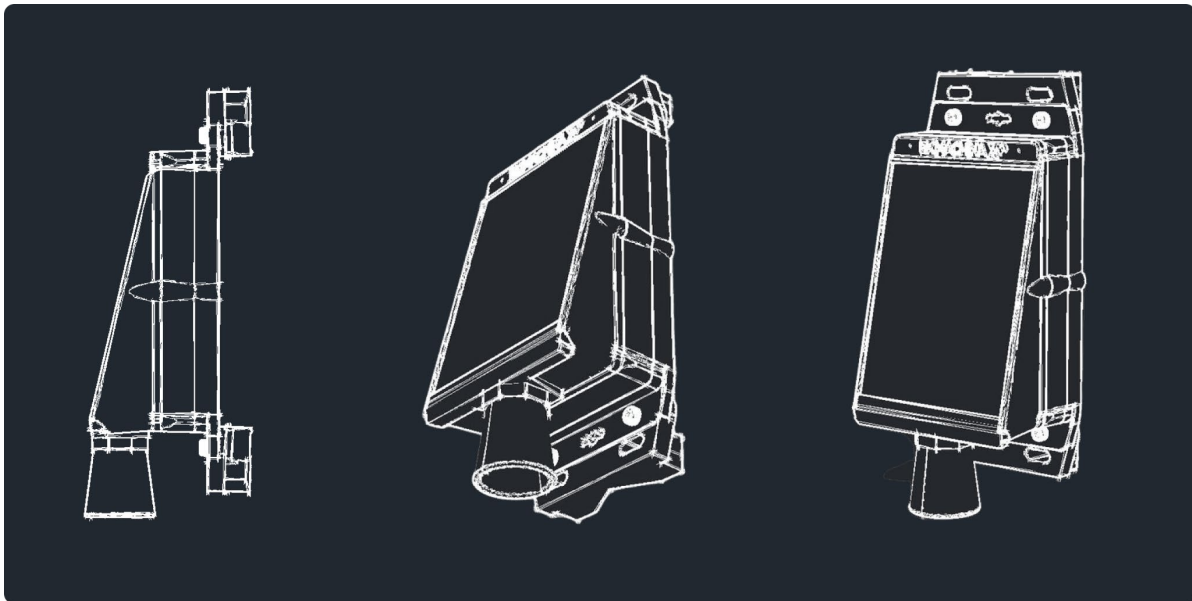
Αξιοποιώντας την ιδέα του διάδρομου υποδοχής του τετράγωνου περικοχλίου που εφαρμόστηκε στην ανωτέρω βάση στήριξης του ηλιακού πάνελ προχωρήσαμε στην υλοποίηση του ίδιου σχεδιασμού στήριξης για το συγκεκριμένο εξάρτημα. Αυτό λειτουργεί βοηθητικά κατά την τοποθέτηση και μετέπειτα κατά την αντικατάστασή του ειδικά σε δύσκολες συνθήκες πεδίου όπου η τοποθέτηση/αντικατάσταση θα πρέπει να γίνει με ένα χέρι. Ως προς την οπή που βρίσκεται κεντρικά στο ανώτερο και κατώτερο τμήμα του κύριου περιβλήματος, έγινε προσπάθεια αξιοποίησης του με το σχεδιασμό μιας αντίστοιχης οπής στην βάση στήριξης ώστε αυτή να μπορεί να στερωθεί σε επίπεδη επιφάνεια χωρίς την αφαίρεσή της. Ωστόσο, το συγκεκριμένο εγχείρημα λόγω τεχνικών περιορισμών, απορρίφθηκε από τη συγκεκριμένη εκδοχή. Άλλο ένα κύριο χαρακτηριστικό της είναι ο σχεδιασμός μιας αμβλείας γωνίας στο πίσω μέρος υποδοχής του ιστού έναντι μιας καμπύλης επιφάνειας η οποία εξασφαλίζει την σταθερότητα της συσκευής στον ιστό, την προσαρμογή της στις διαφορετικές διαστάσεις ιστών αλλά και την αποσυμφόρηση λιμναζόντων υδάτων στο άνω τμήμα της συσκευής κατά την κατακρήμνιση που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στο εσωτερικό του λόγω αυξημένης υγρασίας και να προκύψουν λανθασμένες μετρήσεις. Τέλος, η στερέωση της συσκευής στον ιστό επιτυγχάνεται μέσω πλαστικών σφιγκτήρων. Στις απολήξεις του κυρτού διάδρομου για την διέλευση των αυτών, προσαρμοσθήκαν σχεδιαστικά δυο επιμέρους γωνίες στο βασικό σχέδιο που εξυπηρετούν αρχικά στην εκτύπωση του εξαρτήματος χωρίς υποστηρίγματα και βοηθούν στη μείωση του χρόνου κατασκευής, στη ποιότητά εκτύπωσης και σε λειτουργικό επίπεδο καθώς από τα εκτυπωμένα υποστηρίγματα μένουν ορισμένα υπολείμματα που δυσχεραίνουν τη διέλευση των δεματιών και μπορεί να προκαλέσουν μόνιμη παραμόρφωση στο κύριο τμήμα του εξαρτήματος. Με την βοήθεια των παραπάνω γονιών στις απολήξεις του ανωτέρου διάδρομου, επετεύχθη καλύτερη μηχανική αντοχή λόγω της ελευθέριας κινήσεων στον άξονα περιίδεσης των δεματιών σε σχέση με την διάμετρο του ιστού.



Εικόνα 62. Απεικόνιση αρχικού σχεδίου βάσης στήριξης του κόμβου ELLIoT

3.2.4 Δεύτερη εκδοχή σχεδιασμού κόμβου ELIoT

Στην δεύτερη εκδοχή απεικονίζεται ένα πιο εμπλουτισμένο μοντέλο του κόμβου ELIoT με καινούργια πιο λειτουργικά χαρακτηριστικά που προσδίδουν στο προϊόν μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία. Αποτελείται ολοκληρωτικά από 3D εκτυπωμένα πλαστικά PETG χωρίς προσθήκη άλλων πλαστικών εξαρτημάτων από το εμπόριο. Αυτό καθιστά την συσκευή οικονομικότερη με μεγαλύτερη ευελιξία στις γρήγορες μετατροπές του περιβλήματός του αλλά επηρεάζεται αισθητά η ποιότητα κατασκευής του. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός της νέας βάσης στήριξης του ηλιακού πάνελ ξαναπροσαρμόστηκε στα νέα δεδομένα, εφόσον υπήρχαν νέες διαστάσεις λόγω της έλλειψης του πρωιμότερου από την αγορά. Αυτό οδήγησε στον ολιστικό σχεδιασμό της συσκευής με αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγαλύτερων απαιτήσεων και περιορισμών στον χρόνο και την ποιότητα κατασκευής. Η στήριξη του νέου ηλιακού συλλέκτη άλλαξε. Σχεδιάστηκαν δυο αυλακώσεις υποδοχής για την εισαγωγή του στην συσκευή που βοηθούν στην εγκατάσταση αλλά και στην συντήρηση του χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να αποσυναρμολογεί ολόκληρη την συσκευή. Επίσης, ο νέος σχεδιασμός προσδίδει μεγαλύτερη ασφάλεια στο ηλιακό πάνελ σε περίπτωση κραδασμών ή πτώσης της συσκευής σε αντίθεση με την προηγούμενη γενιά όπου ο ηλιακός συσσωρευτής ακινητοποιούταν μόνο από το πλαίσιο στο κάτω μέρος της βάσης στήριξής του. Για την επίτευξη της μέγιστης στεγανοποίησης, λαμβάνοντας υπόψιν την προηγούμενη έκδοση, προστέθηκαν δυο επιπλέον συστήματα σύσφιξης του πλαισίου ολόκληρης της κατασκευής μέσω κοχλίας - περικόχλιού με την μέθοδο “προθήκης - διαδρόμου” που αναπτύχθηκε παραπάνω, περνώντας κατακόρυφα από τα δυο βασικά στελέχη του περιβλήματος και καταλήγοντας στα περικόχλια της βάσης του ηλιακού πάνελ στο πίσω μέρος της συσκευής, όπως και τα υπόλοιπα τέσσερα, συγκρατώντας έτσι όλη την κατασκευή.



Εικόνα 63. Απεικόνιση αρχικού σχεδίου 4ης γενιάς κόμβου ELIoT

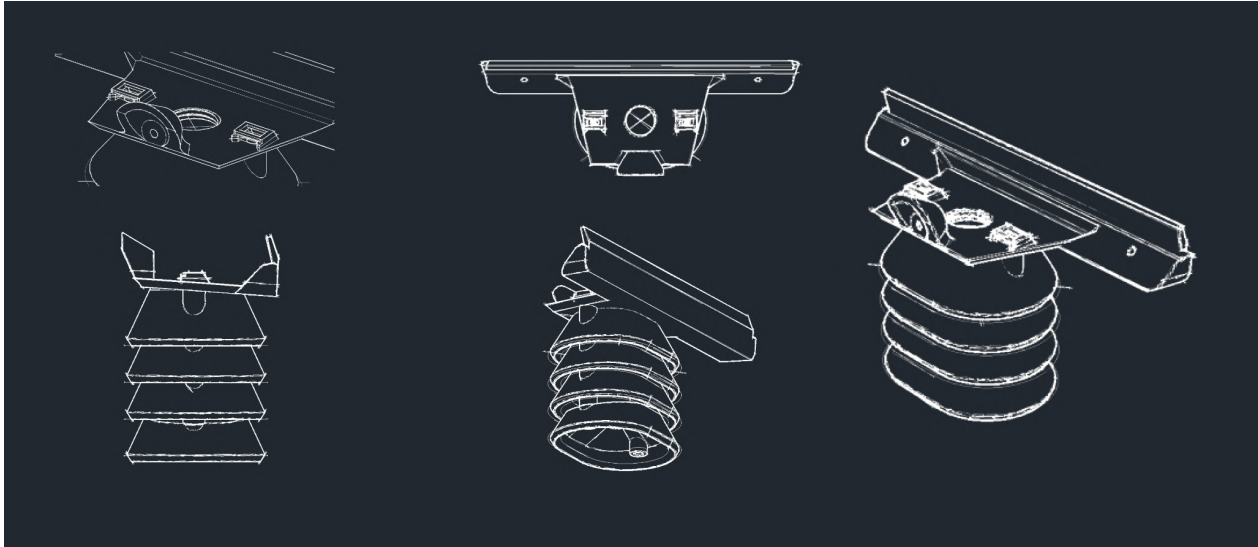
3.2.5 Δεύτερη εκδοχή σχεδιασμού καλύμματος βάσης στήριξης ηλιακού συσσωρευτή

Νέο δοκιμαστικό χαρακτηριστικό της συσκευής είναι η τοποθέτηση των περιφερειακών αισθητήρων που απαρτίζουν τον μηχανισμό επάνω στο βασικό περίβλημα του. Το αναμορφωμένο κάλυμμα της βάσης του ηλιακού συσσωρευτή διαφέρει ως προς το προηγούμενο, στη δυνατότητα υποστήριξης περιφερειακών αισθητήρων σε αυτό (Εικ.66, 67). Σε ορισμένες περιπτώσεις (βλέπε Εικ. 64) κάτι τέτοιο καθίσταται αδύνατο λόγω της τοποθεσίας του κόμβου ELIoT σε σημείο χωρίς άμεση καθετή επαφή με τον ποταμό. Ενώ σε άλλες περιπτώσεις υπάρχουν ιδανικές συνθήκες για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό (βλέπε Εικ. 65). Να επισημανθεί πως για την σχεδιαστική διαδικασία λήφθηκε υπόψιν ο σημαντικός περιορισμός των μοιρών του ηχοβολιστικού για την αξιόπιστη λειτουργία του. Συνεπώς, ο παραπάνω αισθητήρας θα πρέπει αυστηρά να έχει κλίση 90° με απόκλιση $\pm 1^\circ$.

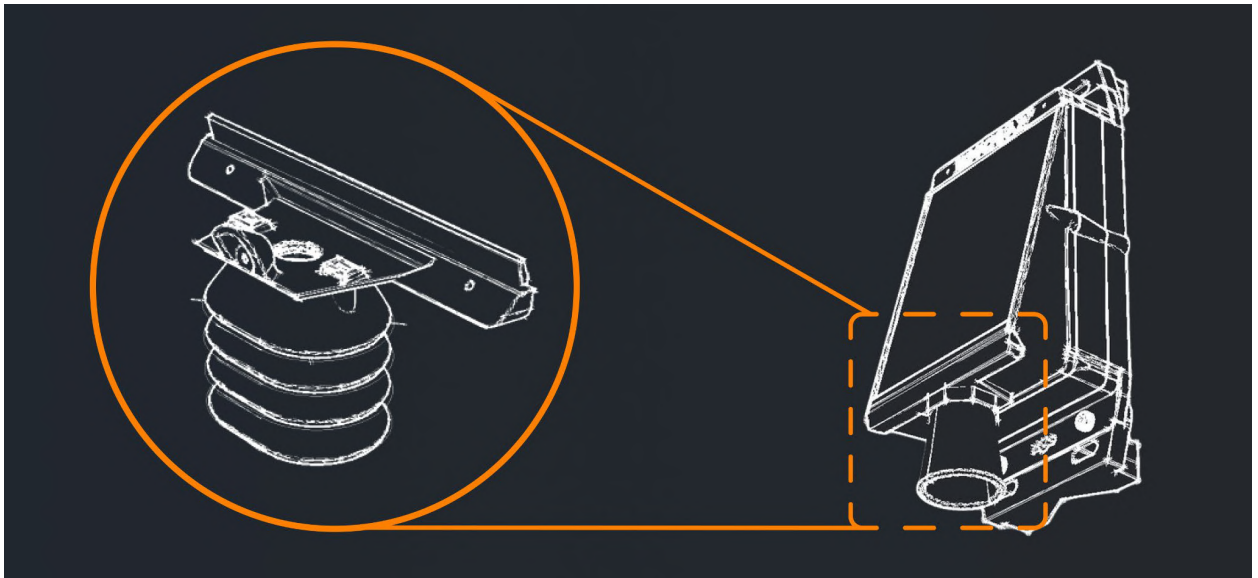


Εικόνα 64. Κόμβος ELIoT με ηχοβολιστικό στη γέφυρα της Σπάρτης (Αριστερά)

Εικόνα 65. Κόμβος ELIoT με ηχοβολιστικό Ράζα - Αθηναίος ποταμός (Δεξιά)



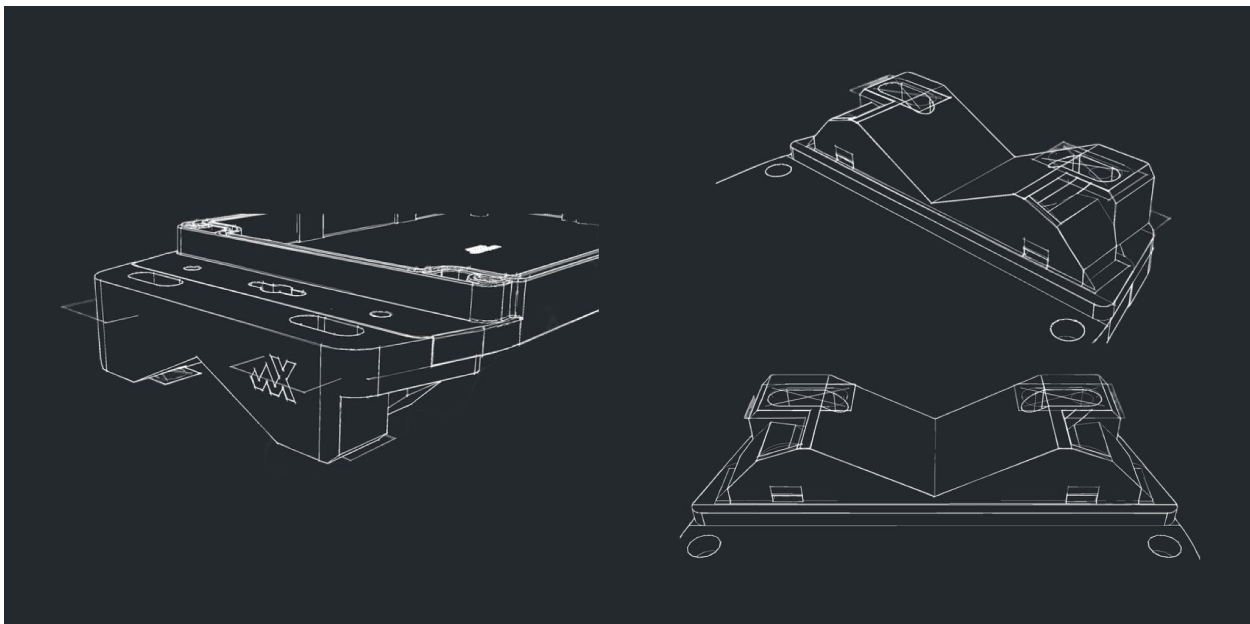
Εικόνα 66. Εκδοχή σχεδιασμού καλύμματος βάσης στήριξης ηλιακού πάνελ με υποδοχή αισθητήρα θερμοκρασίας



Εικόνα 66. Απεικόνιση εγκατάστασης αισθητήρων στην κυρία συσκευή

3.2.6 Δεύτερη εκδοχή σχεδιασμού βάσης στήριξης του κόμβου ELIoT

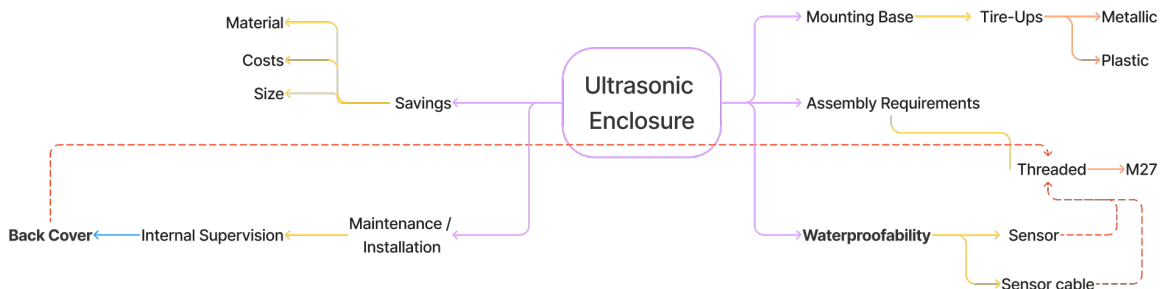
Σημαντική αναβάθμιση υπήρξε στο τμήμα της βάσης στήριξης της συσκευής λαμβάνοντας υπόψιν τις απαιτήσεις και τους μηχανικούς περιορισμούς στη σχεδιαστική και τη κατασκευαστική διαδικασία. Εμβαθύνοντας, η επιφάνεια επαφής με το πίσω μέρος της συσκευής διευρύνθηκε, έχοντας ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ανθεκτικότητα της βάσης - όπου καταπονείται περισσότερο - λόγω θλιπτικών και συμπιεστικών δυνάμεων για μεγάλα χρονικά διαστήματα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μόνιμη παραμόρφωση ή και θλίψη σε συνδυασμό με τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, διευρύνθηκε σε όλες του τις διαστάσεις ο κυρτός διάδρομος τον οποίο διαπερνούν τα δερματικά και ενισχυθήκαν ώστε να υποστηρίξουν μεγαλύτερα συμπιέστηκα φορτία καταλληλά για μεταλλικούς σφιγκτήρες. Αυτό θα προσδώσει μεγαλύτερη σταθερότητα σε ολόκληρη την συσκευή σε αντίξοες καιρικές συνθήκες αλλά και κατά την συντήρησή της. Μια επιπλέον προσθήκη είναι αυτή των δυο οπών στο άνω και κάτω άκρο της βάσης στήριξης ολόκληρης της κατασκευής ώστε να επιτυγχάνεται η τοποθέτηση της συσκευής σε επίπεδες και ελαφρώς ημικυκλικές επιφάνειες. Για λόγους διευκόλυνσης του χρήστη κατά την εγκατάσταση, οι οπές σχεδιάστηκαν σε ορθογώνιο σχήμα με στρογγυλεμένες γωνίες, που εξυπηρετούν στην μετατόπιση ολόκληρης της συσκευής ορισμένα εκατοστά στον οριζόντιο άξονα. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό υιοθετήθηκε μετά από παρατήρηση παρόμοιων συσκευών σε αντίστοιχες τοποθεσίες και συνθήκες καθώς η διάνοιξη οπών σε επίπεδες επιφάνειες καθίσταντο δύσκολη και δεν μπορούσε να εκτελεστεί με ακρίβεια.



Εικόνα 67. Απεικόνιση τελικού σχεδίου βάσης στήριξης του κόμβου ELIoT

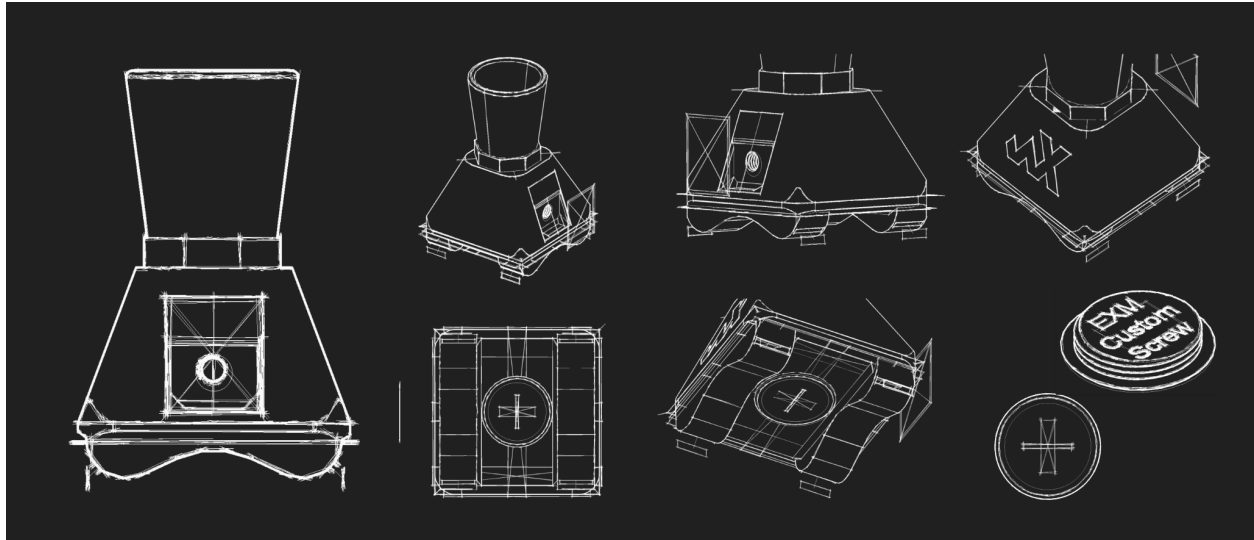
3.2.7 Εκδοχή σχεδιασμού περιβλήματος αισθητήρα μέτρησης στάθμης υδάτων

Αναγκαία κρίνεται σε αυτό το σημείο η μελέτη περίπτωσης και βελτίωσης του βασικότερου περιφερειακού αισθητήρα που εμπλουτίζει την λύση του κόμβου ELIoT. Ο αισθητήρας εξυπηρετεί την μέτρηση της στάθμης των υδάτων με την μέθοδο των υπέρηχων. Αναπτύχθηκε ιδεολογικός χάρτης με συγκεκριμένα προαπαιτούμενα χαρακτηριστικά. Αναλυτικότερα, ένα κυριότερο μέλημα του σχεδιασμού είναι να δημιουργηθεί ένα στεγανό περίβλημα προστατεύοντας τα εσωτερικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, Η επικοινωνία του με τον κόμβο ELIoT πραγματοποιείται μέσω καλωδίου που στεγανοποιείται στα άκρα του με την βοήθεια στυπιοθλιπτων, συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει σπείρωμα στην εκδοχή που μελετάται. Κατα την συναρμολόγηση και συντήρηση του εξαρτήματος παρατηρείται ότι εκτός απο την υποδοχή του στυπιοθλίπτη και την υποδοχή του αισθητήρα μέσω σπειρώματος θα πρέπει να υπάρχει οπτική επαφή με τα ζωτικά του κυκλώματα διότι παρατηρείται βλαβη λόγω στρεπτικής τάσης που ασκείται κυρίως κατα την πρώτη συναρμολόγηση στο εργαστήριο. Το περίβλημα του αισθητήρα θα ακινητοποιείται πάνω σε έναν οριζόντιο ιστό όπου θα είναι στραμμένος προς την ροή του ποταμού. Υιοθετώντας τους τρόπους περίδεσης από τα προηγούμενα εξαρτήματα προχωράμε στην υλοποίηση της βασικής ιδέας με μια διαφορά στο στέλεχος που εφάπτεται στον ιστό. Αποφασίσθηκε να χρησιμοποιηθεί ημικυκλική επιφάνεια στο πίσω μέρος του περιβλήματος λόγω του μικρού εμβαδού του καθώς δεν επιφορτίζεται με μεγάλα συμπιέστηκα φορτία και ο ιστός περίδεσης σε αυτό είναι συγκεκριμένης διαμέτρου. Η ακινητοποίησή του επιτυγχάνεται εξίσου με πλαστικούς σφιγκτήρες χωρίς επαναφορά (Εικ. 68).



Εικόνα 68. Εννοιολογικός χάρτης για την ανάλυση απαιτήσεων του περιβλήματος ηχοβολιστικού τέταρτης γενιάς

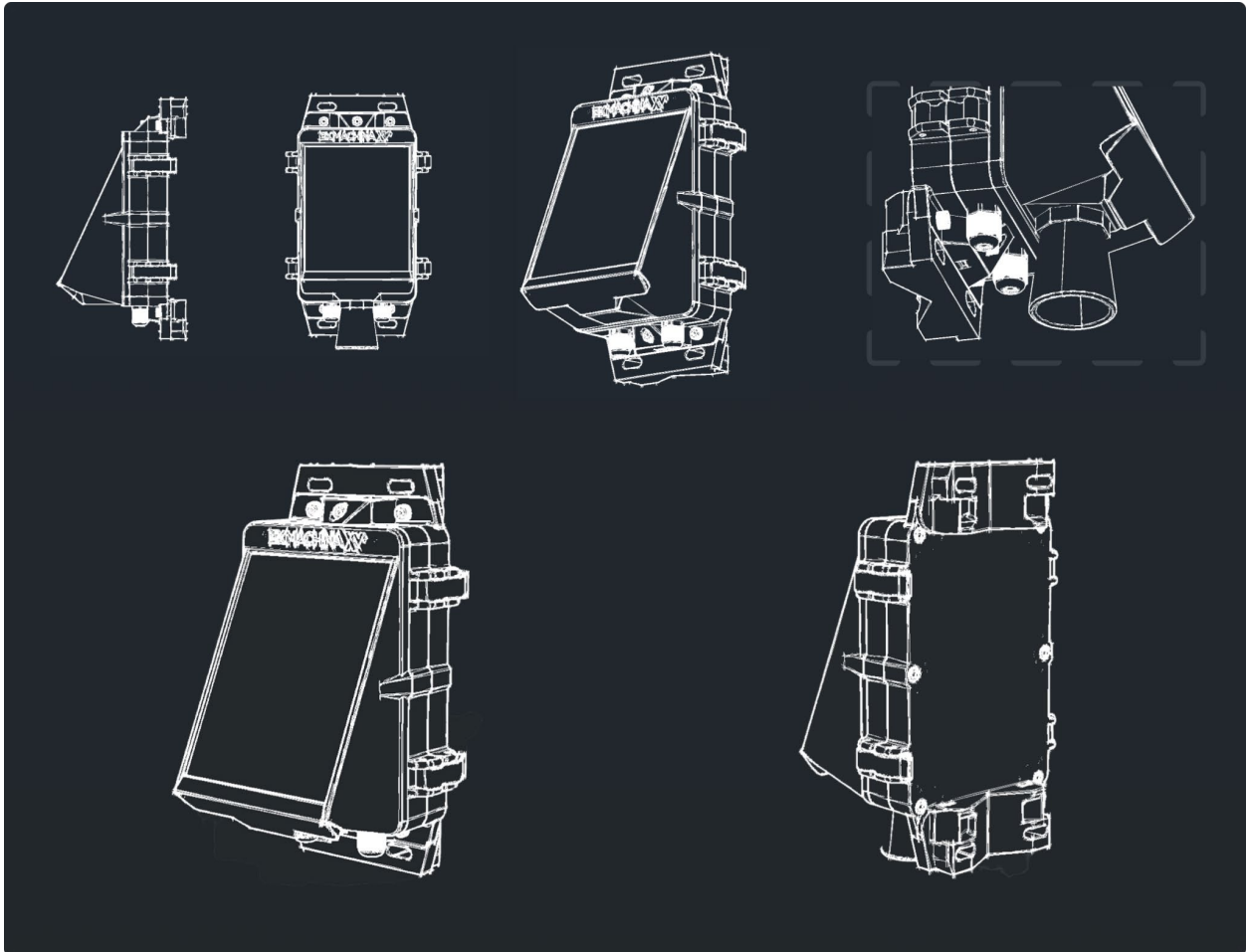
Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω προϋποθέσεις η σχεδιαστική διαδικασία οδηγήθηκε στη συγκεκριμένη εκδοχή, που προέκυψε και από τις απαιτήσεις του τρόπου κατασκευής που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι πάλι η τρισδιάστατη εκτύπωση των πρώτων υλών (Εικ.69).



Εικόνα 69. Απεικόνιση αρχικού σχεδίου περιβλήματος αισθητήρα μέτρησης στάθμης υδάτων

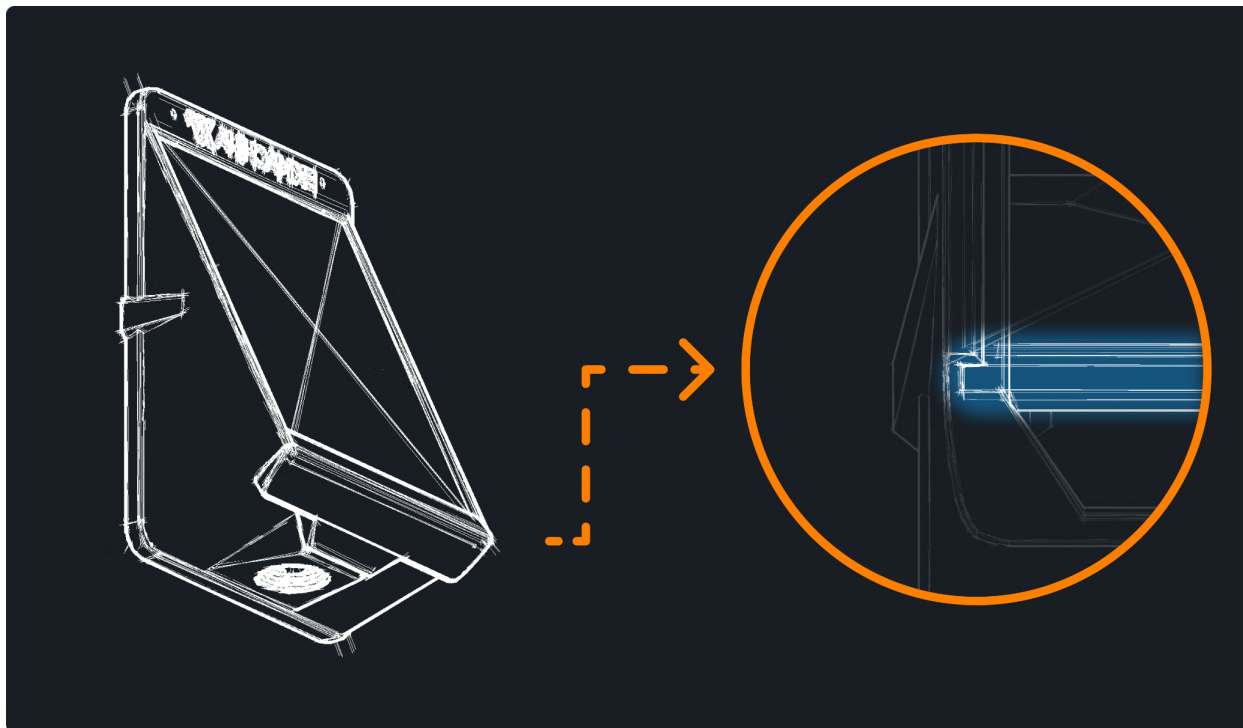
3.3 Τελικός σχεδιασμός εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT και περιβλημάτων περιφερειακών αισθητήρων

3.3.1 Τελική εκδοχή σχεδιασμού κόμβου ELIoT

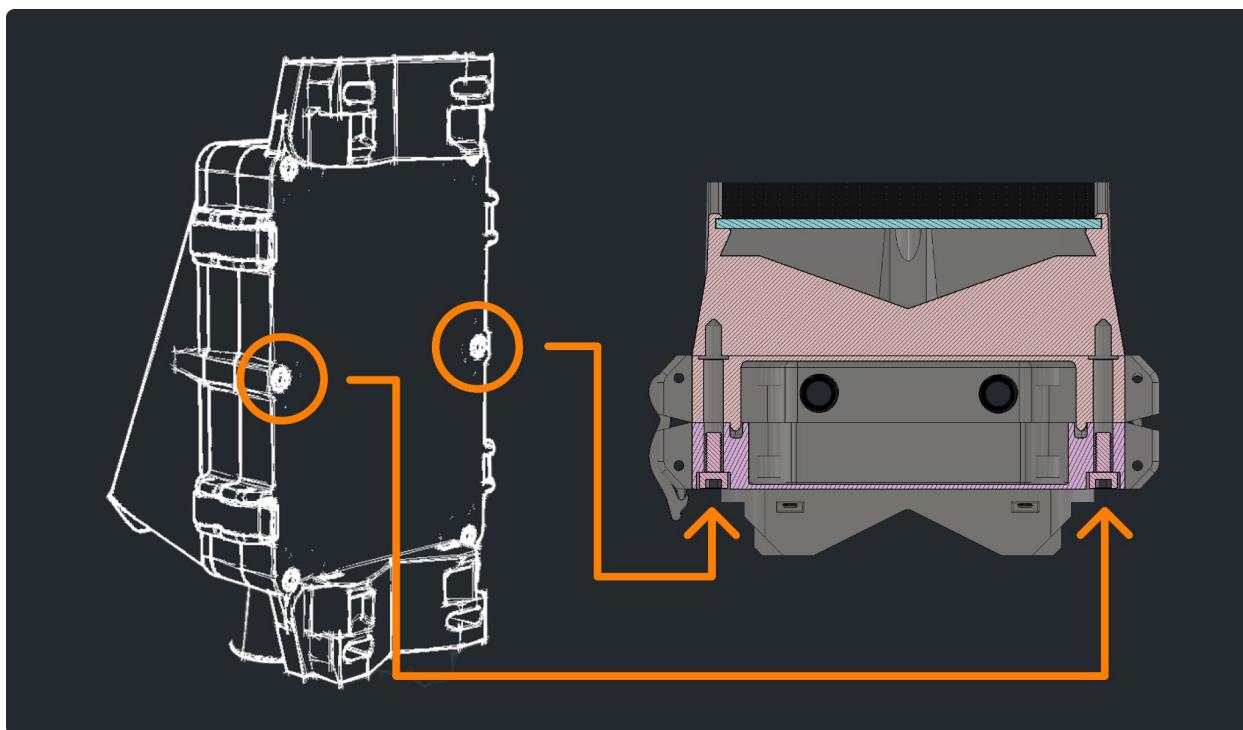


Εικόνα 70. Απεικόνιση τελικού σχεδιασμού συσκευής κόμβου ELIoT

Στο τελικό σχεδιασμό αξιοποιήθηκαν όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των περιβλημάτων των προηγούμενων εκδοχών. Όσον αφορά την βάση στήριξης του ηλιακού πάνελ, από τις προηγούμενες εκδοχές υιοθετήθηκε ο τρόπος στήριξης του με κατάλληλες αυλακώσεις και ακινητοποιείται εξίσου με κατάλληλο κάλυμμα στο κάτω μέρος του (Εικ. 71). Ένα άλλο στοιχείο, αυτό των οπών που βρίσκονται στην οπίσθια όψη του περιβλήματος προέρχονται από την δεύτερη εκδοχή και έχουν ως στόχο την μεγαλύτερη στεγανότητα και εξυπηρετούν στην αποτροπή του βανδαλισμού της συσκευής προερχομένων από ανθρώπινο παράγοντα (Εικ. 72).

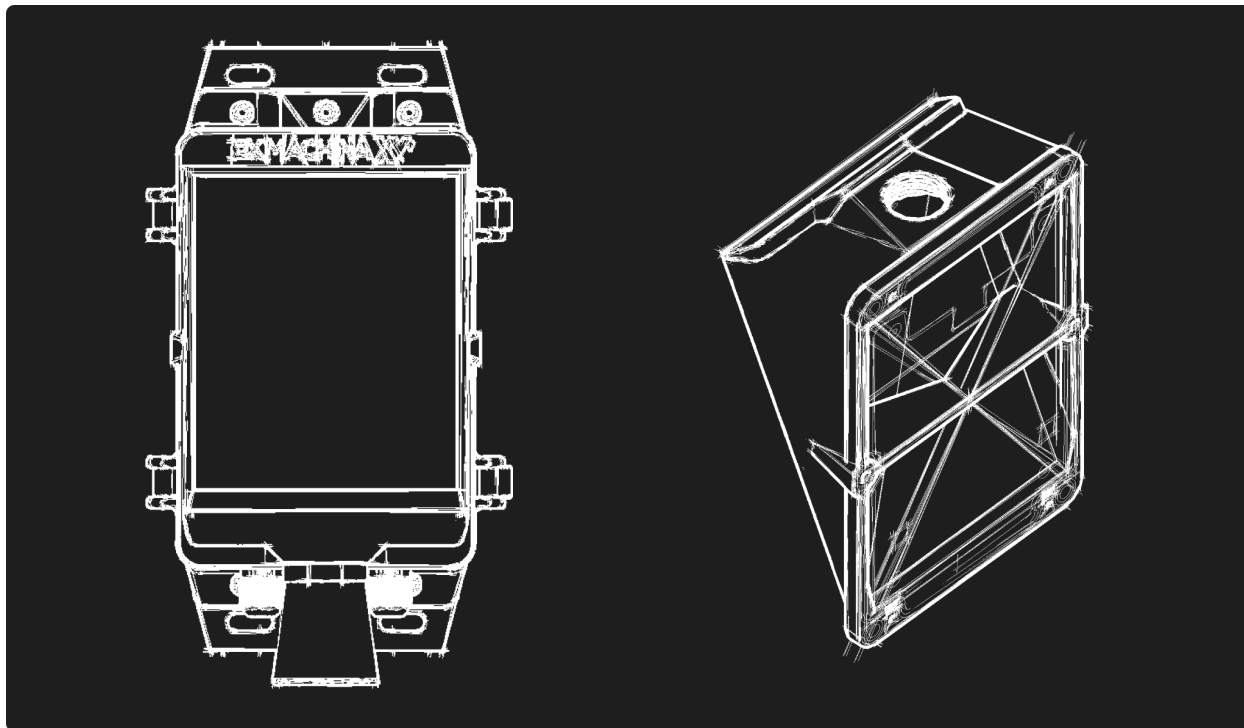


Εικόνα 71. Απεικόνιση τελικού σχεδιασμού μηχανισμού στήριξης ηλιακού συσσωρευτή



Εικόνα 72. Απεικόνιση τελικού σχεδιασμού μηχανισμού ασφαλείας και στεγανότητας με κοχλίες

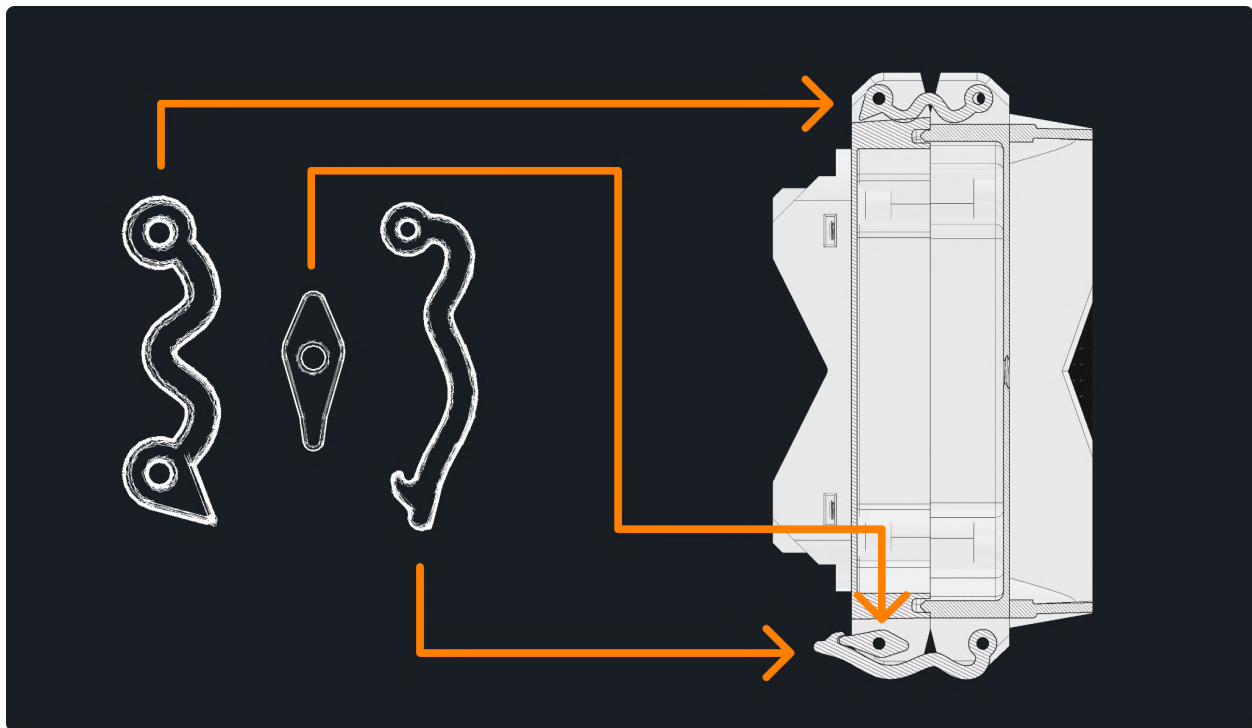
Σαν δευτερεύουσα τελική έκδοση εμφανίζεται η τοποθέτηση περιφερειακών αισθητήρων στο βασικό περίβλημα της συσκευής (Εικ.73). Αυτό εξυπηρετεί τους λόγους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο υποκεφάλαιο (3.2.5). Ακόμα, αξιοποιήθηκε ο κενός χώρος μεταξύ των δυο άκρων στο εσωτερικό της βάσης του ηλιακού συσσωρευτή και ενισχύθηκε με κατάλληλη νεύρωση κατα πλάτος ολοκλήρου του εξαρτήματος που το καθιστά πιο ανθεκτικό σε συμπιεστικά, στρεπτικά και εφελκυστικά φορτία. Ένα επιπλέον προτέρημα στην σχεδιαστική διαδικασία θεωρείται η συμβατότητα με τα εξαρτήματα της προηγούμενης γενιάς, όπως τη βάση στήριξης της συσκευής. Με τον παραπάνω τρόπο εξοικονομείται χρόνος από την σχεδιαστική διαδικασία.



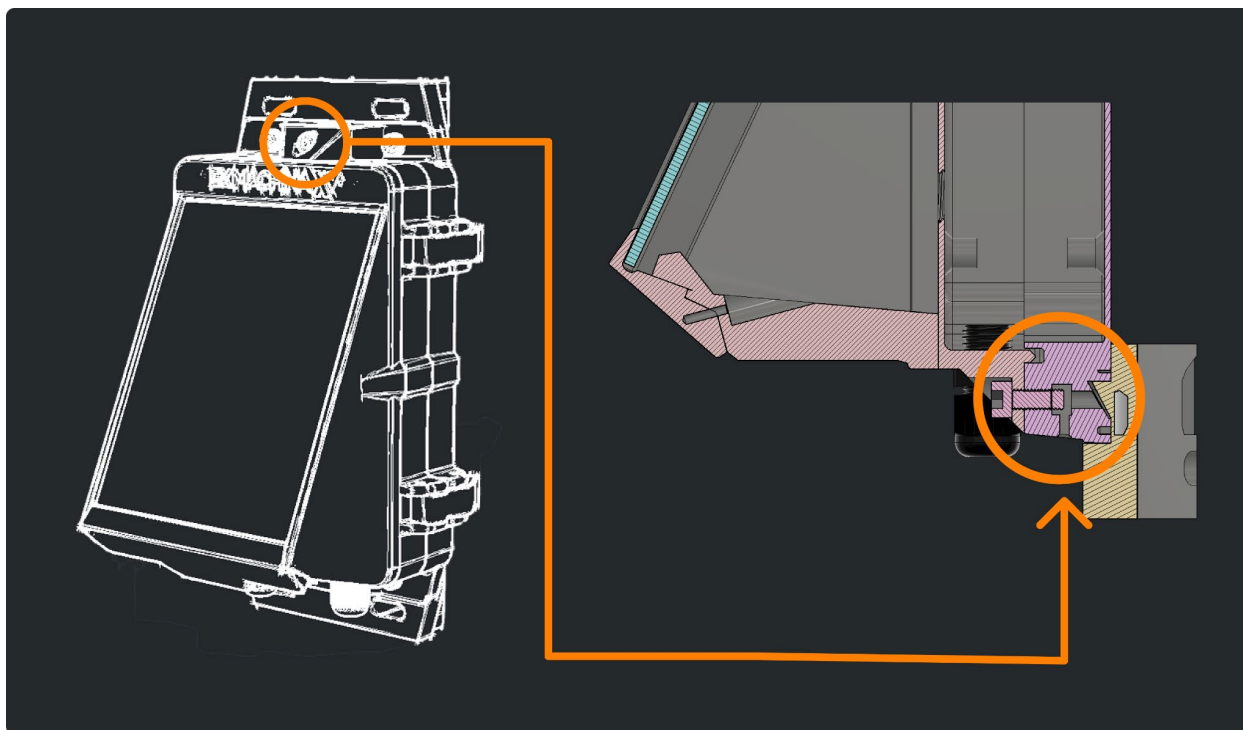
Εικόνα 73. Απεικόνιση τελικού σχεδιασμού τρόπου εγκατάστασης αισθητήρα στην βασική συσκευή

Ως προς τις καινοτομίες, τέσσερις στροφικές αρθρώσεις πλαισιώνουν των πλαϊνό τμήμα του περιβλήματος, έχοντας ως σκοπό την δημιουργία μηχανισμού “ταχείας αποδέσμευσης”. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι η σημαντικότερη αλλαγή της τελικής εκδοχής σχεδιασμού, διότι καθίσταται πιο εύχρηστο κατά την διαδικασία της συντήρησης, καθώς η συντήρηση πραγματοποιείται επιτόπου χωρίς να χρειάζεται να αποσπαστεί η συσκευή από τον ιστό στον οποίο βρίσκεται, σε αντίθεση με παλιότερες γενιές που η πρόσβαση στην εσωτερική πλακέτα γινόταν μόνο από την οπίσθια πλευρά της συσκευής μετά την αφαίρεσή της από τον ιστό. Αξίζει να αναφερθεί ο ιδιαίτερος σχεδιασμός του συγκεκριμένου κλειδώματος. Στην σταθερή άρθρωση του μηχανισμού επιλέχθηκε ο σιγμοειδής σχεδιασμός που στοχεύει στην πλήρη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του υλικού, δηλαδή της ευκαμπτότητα και της πλαστικότητας. Στα σημεία επαφής του με το βασικό περίβλημα του κόμβου ELIoT υπάρχουν περιορισμοί. Το κατώτερο άκρο της

άρθρωσης θα πρέπει να μένει σταθερό κατά την διάνοιξη της συσκευής και το ανώτερο άκρο της να περιστρέφεται ελεύθερα έως τις 180°. Αυτό επιτυγχάνεται απο ένα σφηνοειδές φυσικό εμπόδιο και την βοήθεια κατάλληλου σχεδιασμού στο βασικό περίβλημα στο συγκεκριμένο σημείο. Στην κινητή άρθρωση έχει χρησιμοποιηθεί εξίσου σιγμοειδής σχεδιασμός που οδηγεί στην σωστότερη στεγανοποίηση του περιβλήματος. Το στέλεχος συγκράτησης του κύριου κλειδώματος έχει σχεδιαστεί κατάλληλα με ένα φυσικό εμπόδιο στο εσωτερικό τμήμα του που καθορίζει το εύρος κίνησής του (Εικ.74). Παράλληλα, δυο επιπλέον κοχλίες προστέθηκαν στο άνω και κάτω εμπρόσθιο τμήμα της συσκευής έχοντας ως σκοπό την σωστότερη στεγανοποίηση, λόγω της κυρτότητας που θα προκύψει απο απο τα τέσσερα σημεία επαφής που βρίσκονται στα πλαϊνά τμήματα της συσκευής αλλά και της μεγαλύτερης ασφάλειας που θα προσδώσει σε περιπτώσεις κλοπής και βανδαλισμού (Εικ. 75).

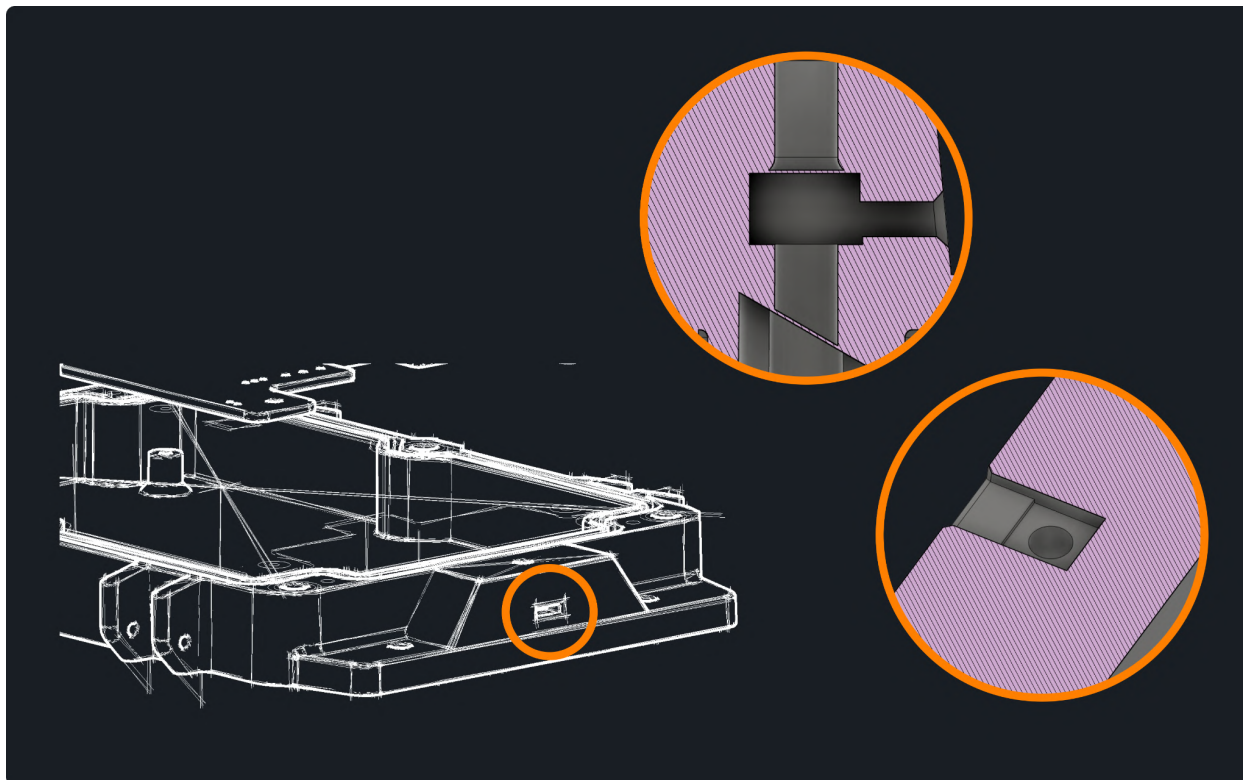


Εικόνα 74. Απεικόνιση τελικού σχεδιασμού μηχανισμού “γρήγορης απελευθέρωσης”

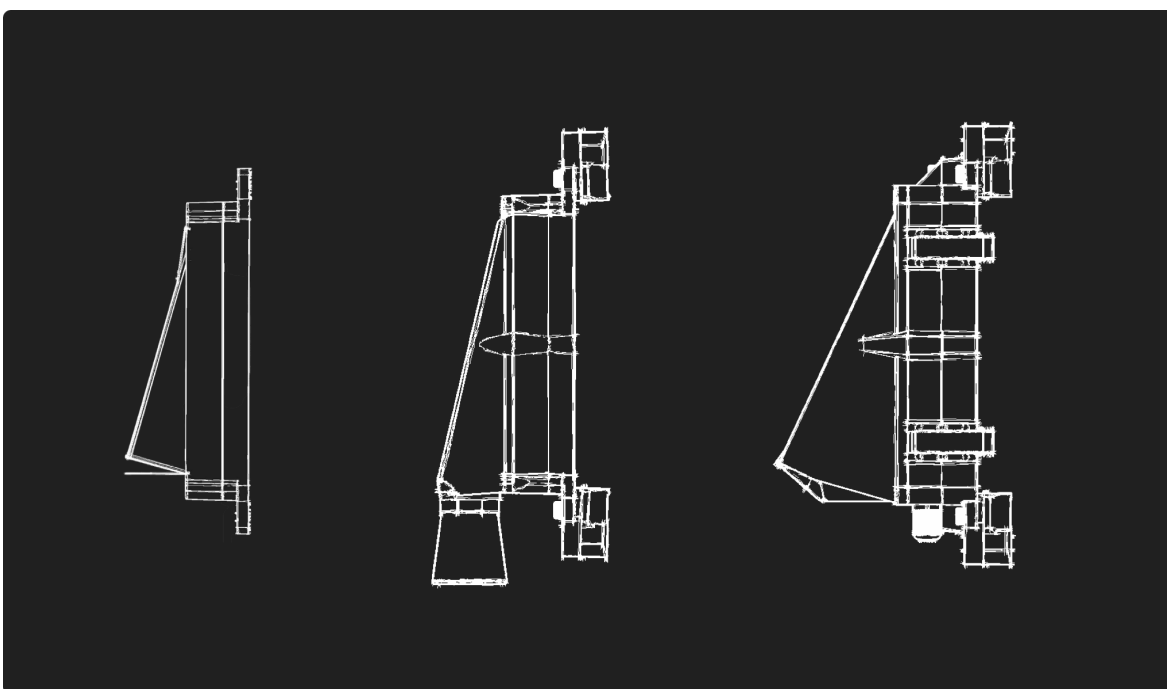


Εικόνα 75. Απεικόνιση τελικού σχεδιασμού μέρους του μηχανισμού στεγανοποίησης και ασφάλειας του κόμβου ELLIoT

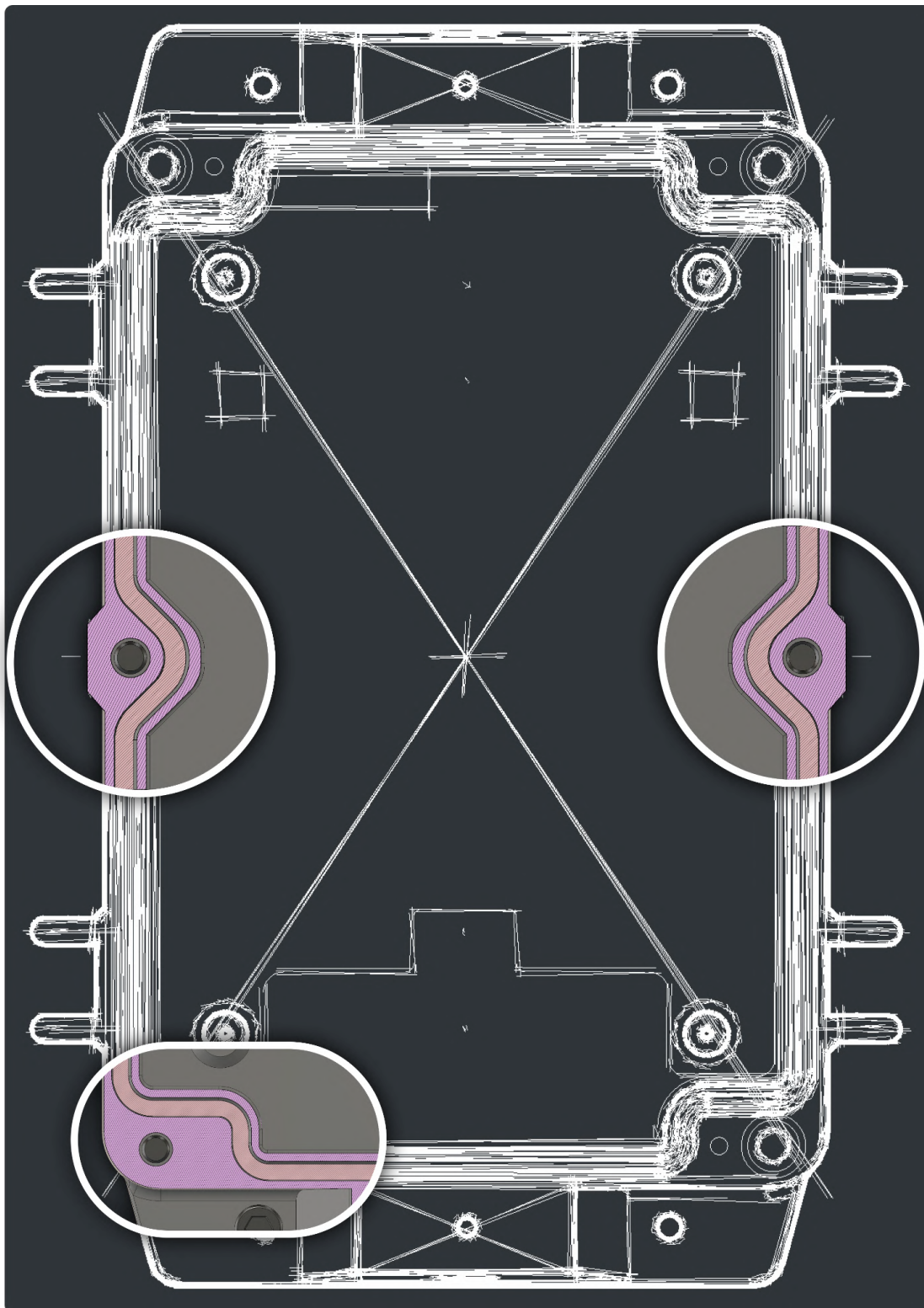
Οι κοχλίες αυτοί ακινητοποιούνται με τη διαδικασία της εγκατάστασής του τετράγωνου περικοχλίου που αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, με έναν περιορισμό. Λόγω της θέσης σχεδιασμού των περικοχλίων στην κατώτερη πλευρά της συσκευής ο διάδρομος υποδοχής του περικοχλίου παραμένει ανοιχτός δημιουργώντας το πρόβλημα της πτώσης αυτού σε περίπτωση αφαίρεσης του κοχλία κατά την διάνομιξη και συντήρηση της συσκευής. Έτσι, σχεδιάστηκε ένας κατάλληλος διάδρομος όπου κατά την είσοδο του περικοχλίου του επιτρέπει την εύκολη είσοδο με σχετική πίεση απο κάποιο εργαλείο, αλλά ταυτόχρονα καθιστά την έξοδο του ανέφικτη λόγω ενός φυσικού εμποδίου (Εικ.76). Η κλίση του ηλιακού πάνελ αναπροσαρμόστηκε στις 25° απο 15° με σκοπό την μεγαλύτερη λήψη ηλιακής ακτινοβολίας. Ο σχεδιασμός αυτός οδήγησε στην σωστότερη κατανάλωση ενέργειας απο την συσκευή, καθιστώντας την έτσι αυτόνομη για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια (Εικ. 77). Τελευταίο στοιχείο της παρούσας εκδοχής είναι η προσθήκη πλήρους παραμετροποιήσιμης διαδικασίας στεγανοποίησης. Ένα προεξέχων στέλεχος σε σχήμα “U” στο ένα μέρος του βασικού περιβλήματος του κόμβου, εσωκλείεται σε αντίστοιχο διάκενο σχήματος “U” στο αντίθετο μέρος του περιβλήματος έχοντας ανάμεσά τους ένα πυκνό μονωτικό υλικό το οποίο δεν επιτρέπει την είσοδο του υγρού στοιχείου και σωματιδίων να εισέλθουν στο υδρόφοβο εσωτερικό της κατασκευής (Εικ 78).



Εικόνα 76. Λεπτομερής απεικόνιση τελικού σχεδιασμού μέρους του μηχανισμού στεγανοποίησης και ασφάλειας του κόμβου ELIoT



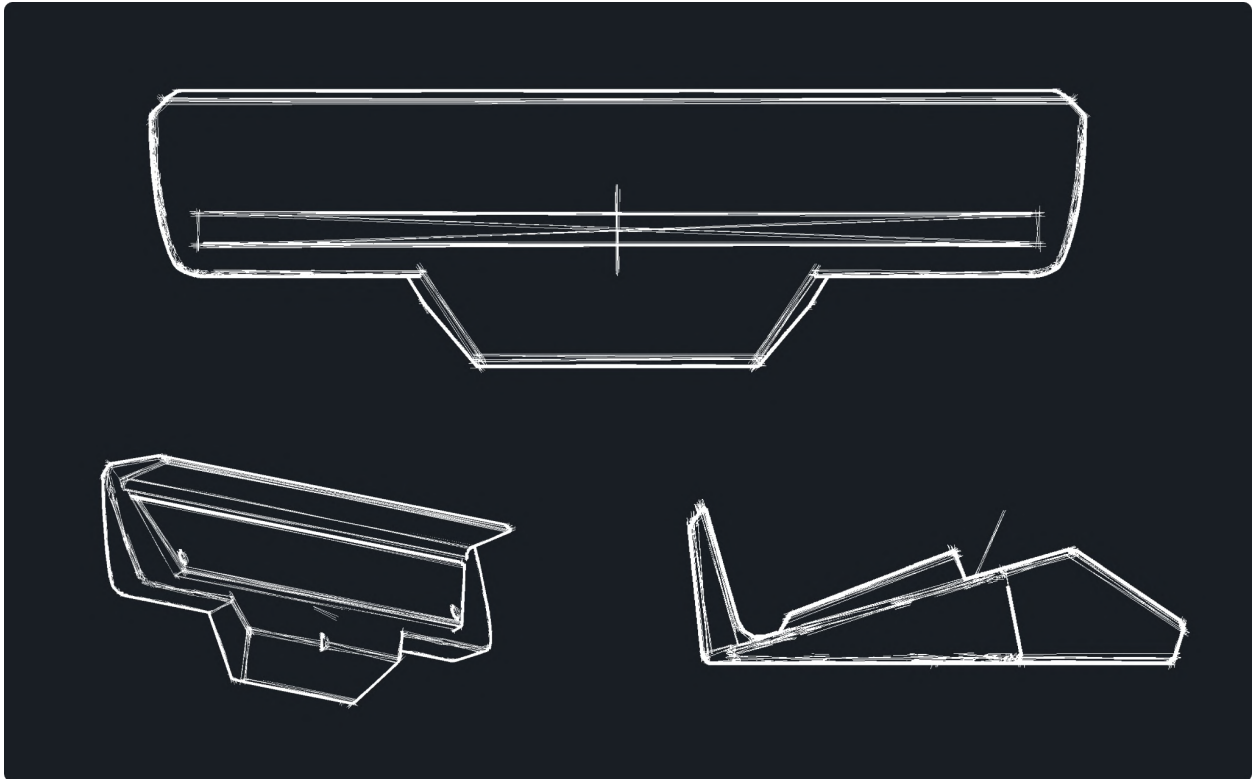
Εικόνα 77. Διαφορές του κόμβου ELIoT ως προς την βάση στήριξης του ηλιακού συσσωρευτή



Εικόνα 78. Λεπτομερής απεικόνιση τελικής έκδοσης βασικού περιβλήματος σε τομή. Στην εικόνα διακρίνεται ο βασικός μηχανισμός αδιαβροχοποίησης

3.3.2 Τελική εκδοχή σχεδιασμού καλύμματος βάσης στήριξης ηλιακού συσσωρευτή

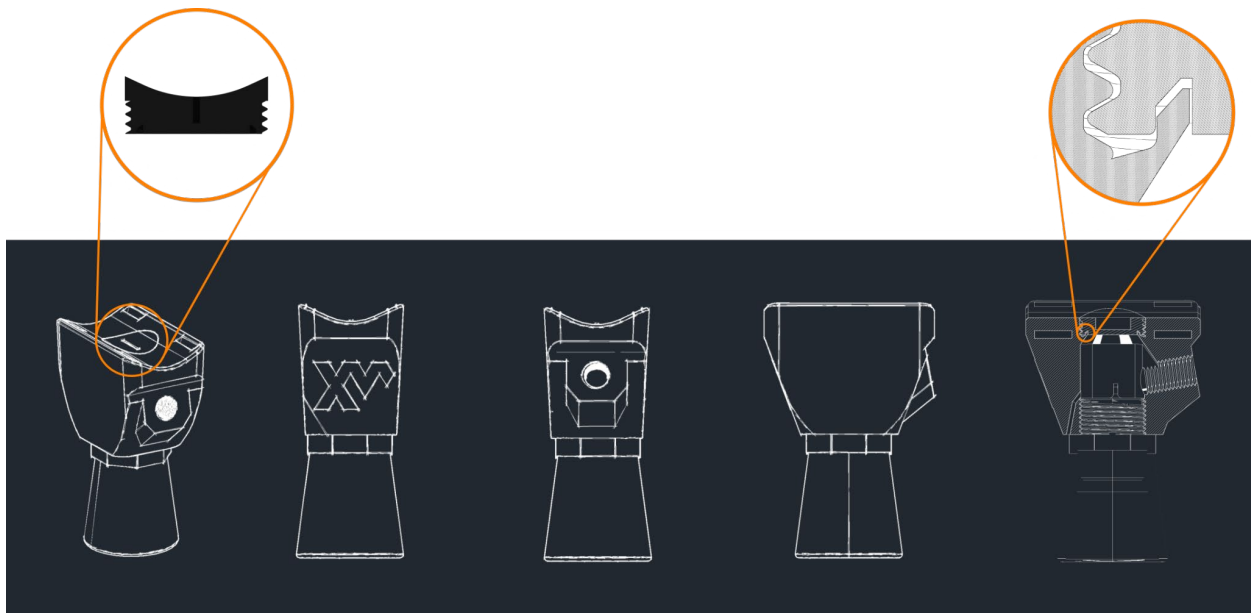
Η ιδέα ενός εξαρτήματος που ακινητοποιεί τον ηλιακό συσσωρευτή προέρχεται από τις προηγούμενες εκδοχές, ωστόσο προσαρμόστηκε στις απαιτήσεις του τελικού σχεδιασμού του κόμβου ELIoT. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός του ταιριάζει πιο αρμονικά στις “γραμμές” του νέου περιβλήματος. Ο τρόπος ακινητοποίησής του επιτυγχάνεται με την βοήθεια κοχλιών σε τρία σημεία που συμβάλουν με την σειρά τους στην ανθεκτικότητα σε εξωτερικές φθορές (Εικ. 79).



Εικόνα 79. Τελικός σχεδιασμός μηχανισμού ακινητοποίησης ηλιακού συσσωρευτή

3.3.3 Τελική Εκδοχή σχεδιασμού περιβλήματος αισθητήρα μέτρησης στάθμης υδάτων

Η αναβαθμισμένη εκδοχή του περιβλήματος του ηχοβολιστικού περιλαμβάνει νέες πιο ενισχυμένες προθήκες για την εισαγωγή μεταλλικών σφιγκτήρων όπως είδαμε στην τελική εκδοχή της βάσης στήριξης του κόμβου ELIoT. Αξιοσημείωτες παρεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν στον τομέα της στεγανοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, το πώμα απομόνωσης των υδάτων βελτιστοποιήθηκε διότι το προσαρμοσμένο σπείρωμα δεν θα αποδειχθεί επαρκές λόγω της περαιτέρω ερευνάς που διενεργήθηκε κατά την σχεδιαστική διακόσμια. Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκε νέο σπείρωμα που στην απόληξή του υπάρχει περιμετρικά ένα “αρσενικό” χείλος στο τμήμα της συσκευής που εφάπτεται με το “θηλυκό” διάζωμα του πώματος. Όταν τα δυο τμήματα έρθουν σε επαφή, το καταλληλά διαμορφούμενο κυκλικό έλασμα συμπιέζεται στα άκρα του εξωτερικού δακτυλίου με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει την είσοδο του νερού στα ζωτικά τμήματα της συσκευής. Ο συγκεκριμένος πρωτότυπος τρόπος στεγανοποίησης θα μπορούσε να παρομοιαστεί με τον αντίστοιχο σχεδιασμό στεγανοποίησης μιας πλαστικής φαύλης αναψυκτικού ή εμβαλλόμενου νερού. Επίσης, για το σενάριο της εισροής υδάτων στο εσωτερικό του περιβλήματος, μεριμνήθηκε πέραν της σωστής μόνωσης των καλωδίων, και η δημιουργία οπής με κεκλιμένη φορά προς τα εξωτερικά τοιχώματα του περιβλήματος και κατάλληλης διαμέτρου για να οδηγείται το νερό εξωτερικά αλλά και να μην επιτρέπετε η είσοδος εντομών εντός της συσκευής (Εικ.80).



Εικόνα 80. Απεικόνιση τελικής εκδοχής περιβλήματος αισθητήρα μέτρησης στάθμης υδάτων με σχεδιαστικές λεπτομέρειες

Στο στέλεχος που υποστηρίζει το καλώδιο επικοινωνίας μεταξύ του κόμβου και του αισθητήρα έχουν δοθεί κάποιες μοίρες με ανοδική φορά για να ακολουθεί πιο αρμονικά την ροή του ιστού ώστε στην χρήση όταν ασκούνται εφελκύστηκα φορτία στο καλώδιο να μην καταπονείται το περίβλημα.

3.4 Σχεδιασμός και έλεγχος κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων σε περιβάλλον CAD

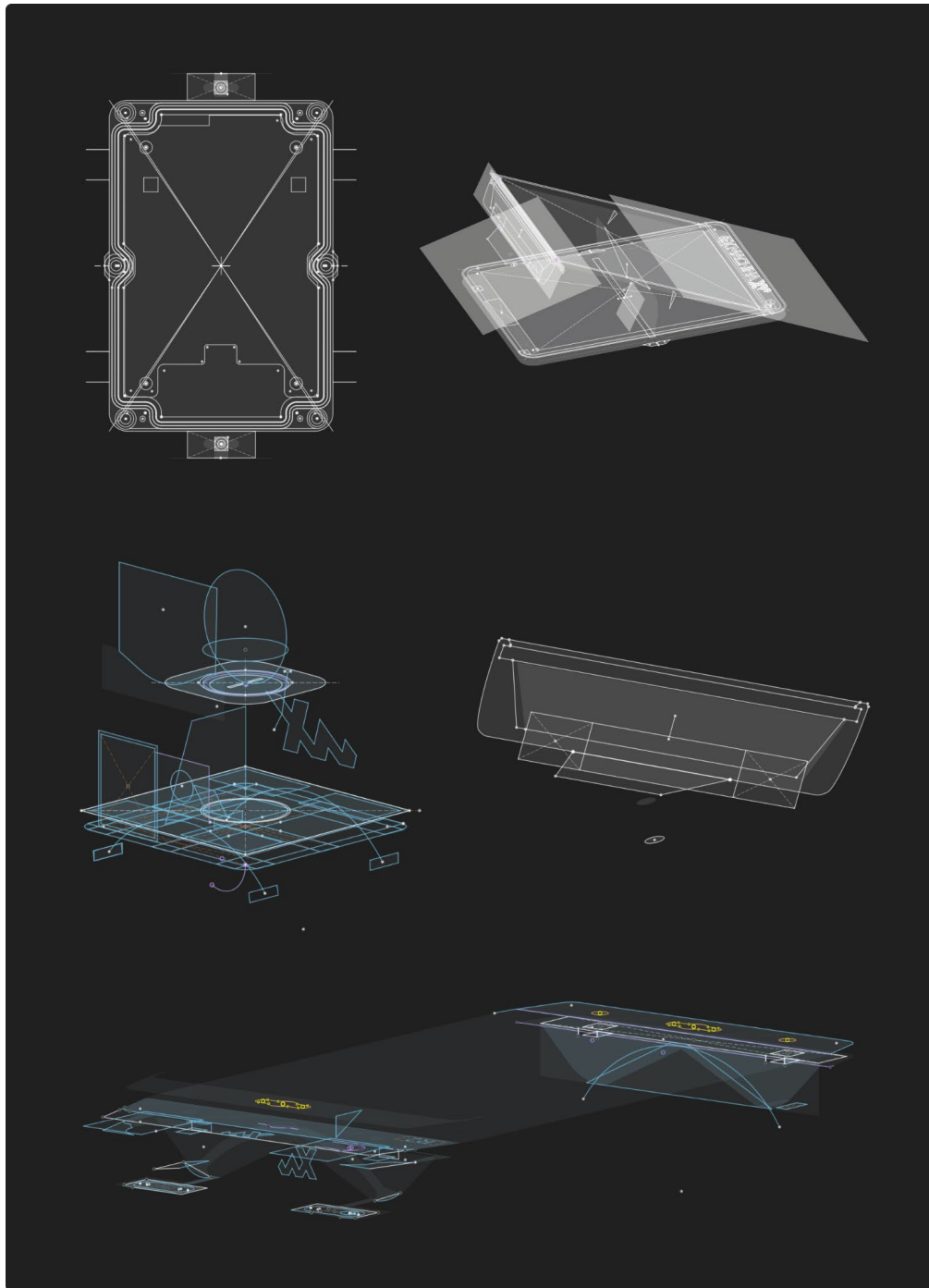
Εφόσον ολοκληρώθηκε η διακόσια σχεδιασμού των εκδοχών του προϊόντος, ακολουθεί η δημιουργία του τελικού σχεδιασμού σε περιβάλλον H/Y. Η μορφοποίηση των σχεδίων σε ψηφιακή μορφή πραγματοποιήθηκε μέσω του εργαλείου “Fusion360” όπως και η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων που οδήγησαν στην υλοποίηση των συσκευών.

Ένας περιορισμός που εμφανίστηκε κατά την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων ήταν αυτός της προσομοίωσης των συνθηκών καθώς επιλέχθηκε να κατασκευαστεί το τελικό προϊόν σε μορφή τρισδιάστατης εκτύπωσης, αλλά το εργαλείο δεν προσφέρει την παραπάνω ανάλυση, οδηγώντας σε μη ακριβή αποτελέσματα που όμως δεν οδηγούν στην αναξιοπιστία της παρούσας μελέτης.

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα αναλυθεί ο παραμετροποιήσιμος σχεδιασμός όλων των εξαρτημάτων, που θα προσδώσει τη δυνατότητα αλλαγών -σε περίπτωση που αυτές χρειαστούν- μετά τον πρώτο σχεδιασμό και παραμένοντας πάντοτε προσηλωμένοι στη βασική σχεδιαστική ιδέα. Επίσης, θα παρατεθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα σε πλήρη σχηματισμό, τα τελικά μηχανολογικά σχέδια μεμονωμένων εξαρτημάτων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για συγκεκριμένα μοντέλα που κρίνεται απαραίτητη η εκτεταμένη μελέτη λόγω της συνεχούς καταπόνησης που δέχονται και τέλος οι φωτορεαλιστικές απεικονίσεις να ολοκληρώσουν τη σχεδιαστική διαδικασία.

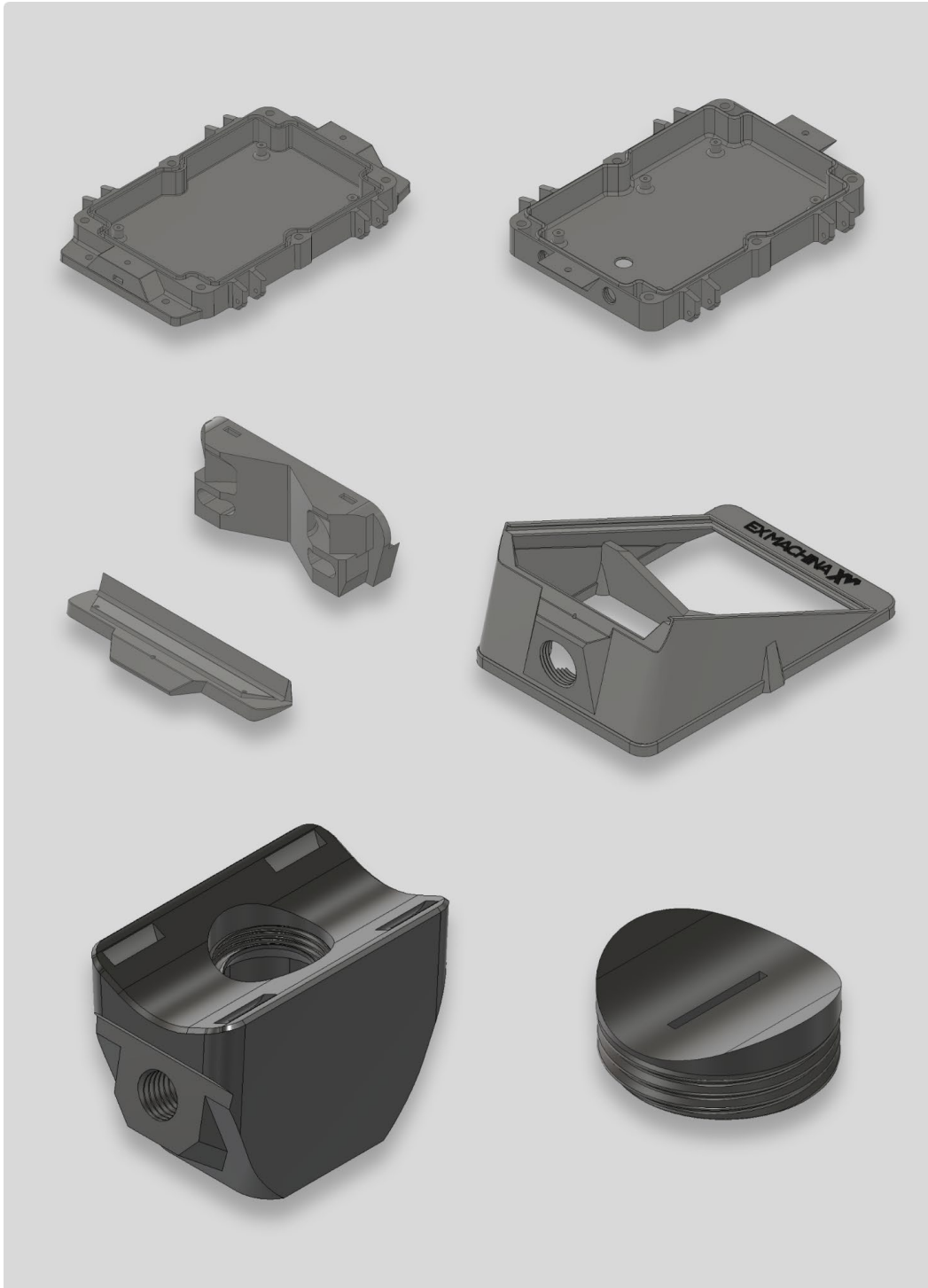
3.4.1 Σχεδιασμός τρισδιάστατων μοντέλων σε περιβάλλον CAD

Αρχικό στάδιο του σχεδιασμού αποτελεί η δημιουργία περιγραμμάτων. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε δισδιάστατο επίπεδο και σχεδιάζουμε σε άνω όψη (Εικ.81).



Εικόνα 81. Απεικόνιση περιγραμμάτων τελικού σχεδιασμού κόμβου ELIoT και περιφερειακών σε περιβάλλον CAD

Βασική προϋπόθεση, για να συνεχιστεί η σχεδιαστική διαδικασία, αποτελεί να έχει προηγηθεί ένας σωστός σχεδιασμός των περιγραμμάτων, διότι σε αντίθετη περίπτωση το εργαλείο δεν δύναται να προβεί σε τρισδιάστατες μοντελοποιήσεις (Εικ.82).



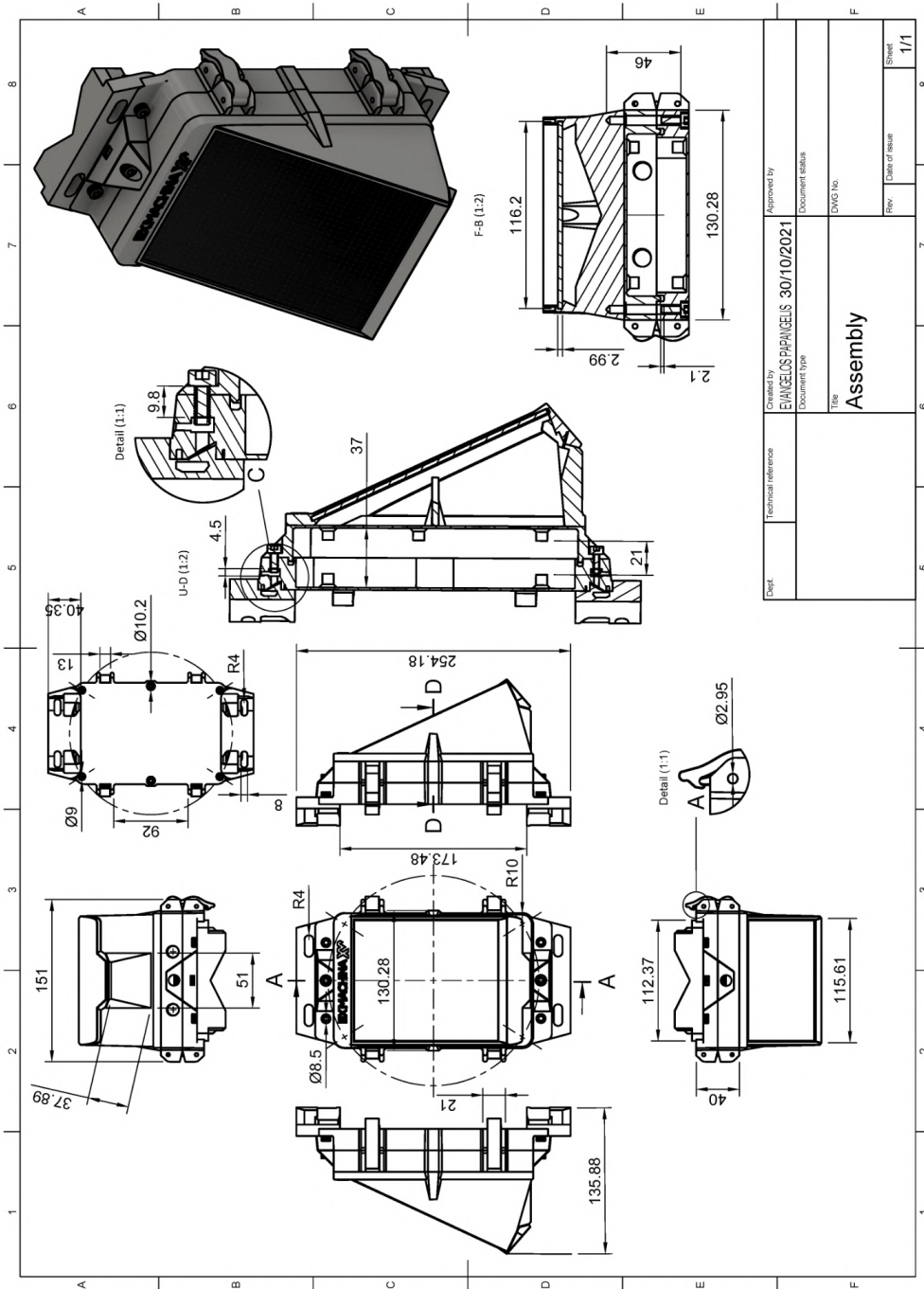
Εικόνα 82. Απεικόνιση extruded μοντέλων τελικού σχεδιασμού κόμβου ELIoT και περιφερειακών σε περιβάλλον CAD

Στο τελευταίο στάδιο της σχεδιαστικής διαδικασίας διεξάγεται ο έλεγχος της συμβατότητας των εξαρτημάτων μεταξύ τους και διενεργούνται αλλαγές, όπου αυτές είναι απαραίτητες (Εικ.83).

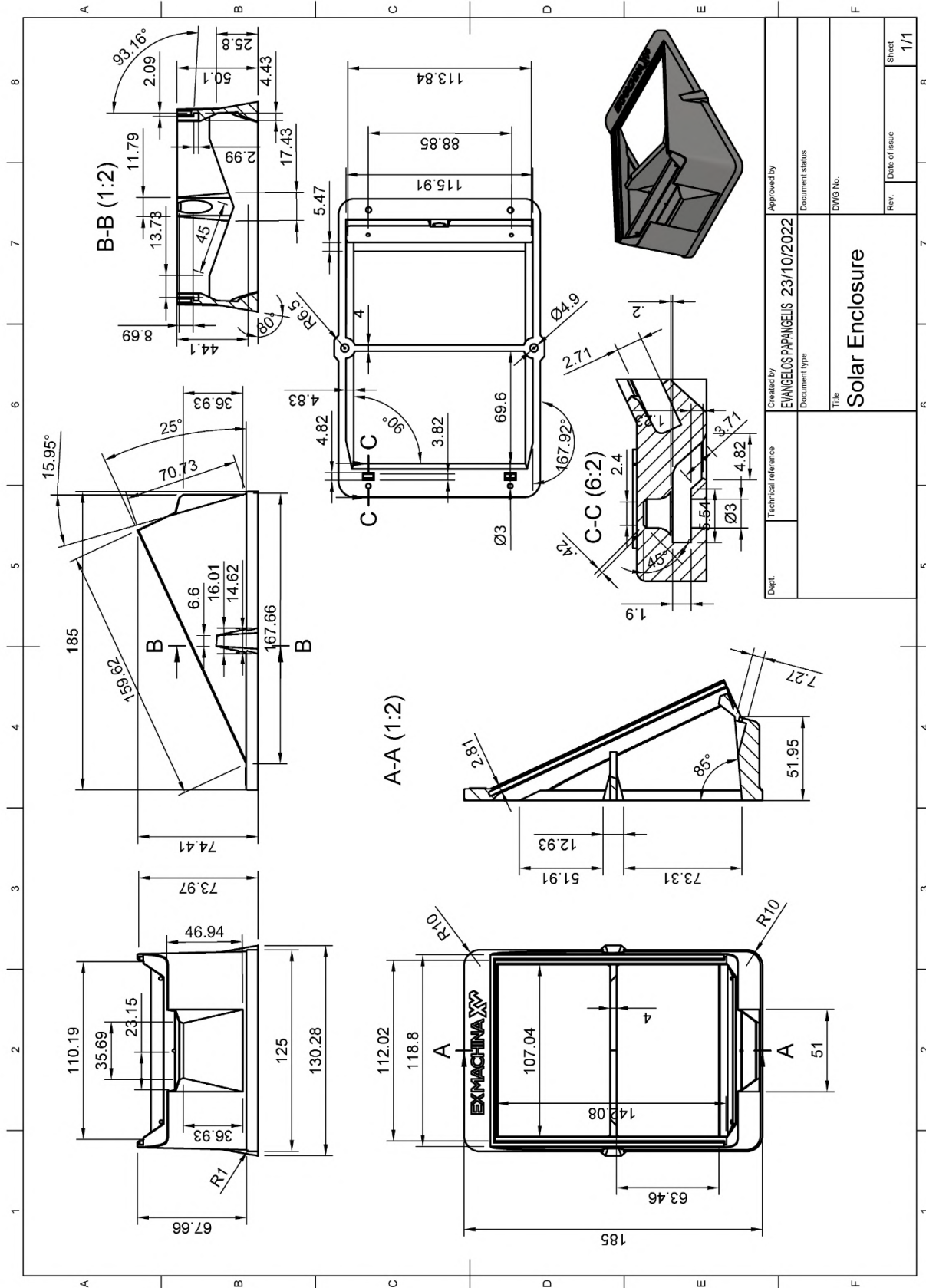


Εικόνα 83. Απεικόνιση extruded μοντέλων τελικού σχεδιασμού κόμβου ELLIoT και περιφερειακών σε πλήρη σχηματισμό σε περιβάλλον CAD

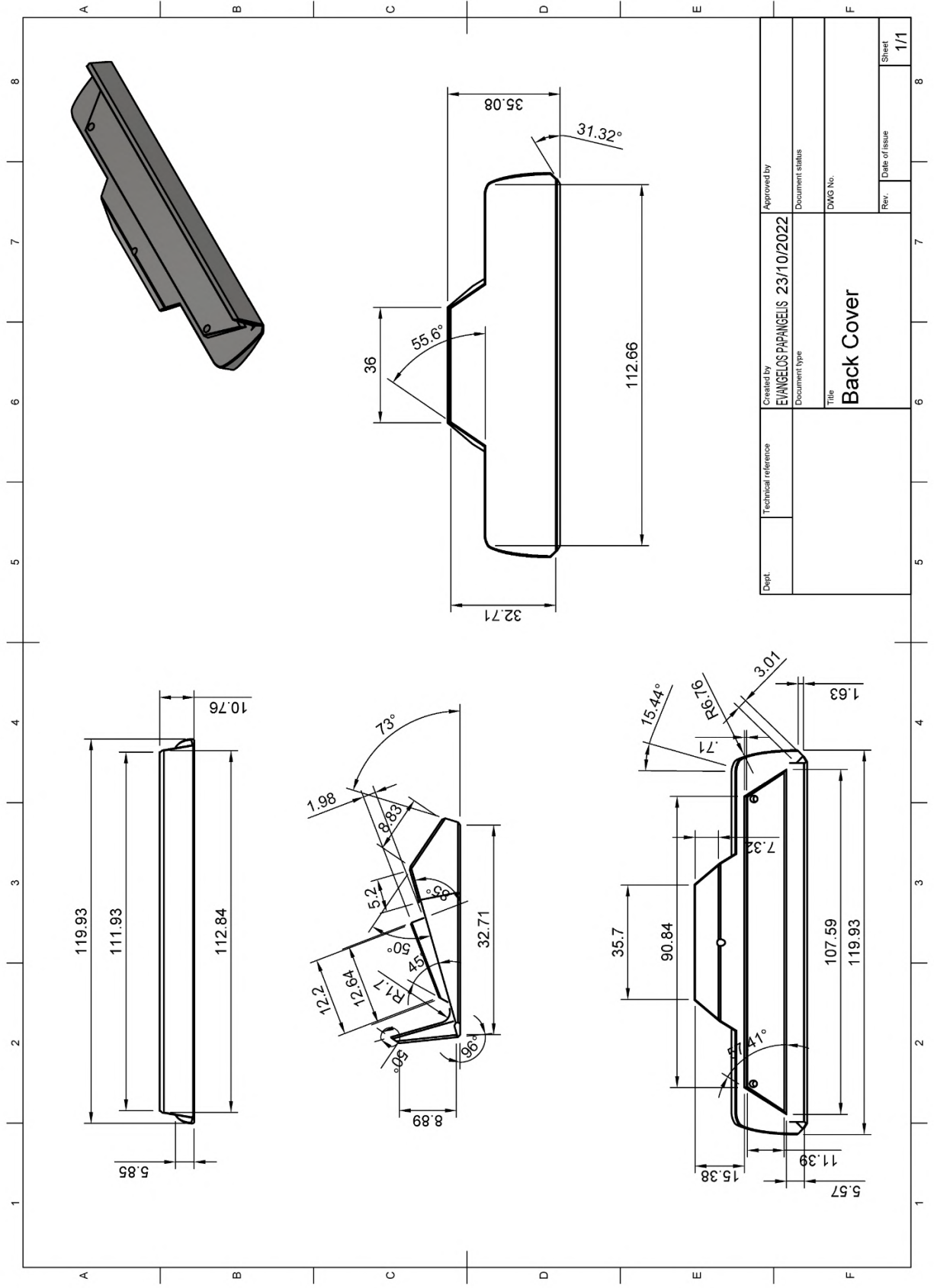
Στο παρόν σημείο παρατίθενται τα μηχανολογικά σχέδια των τελικών σχεδίων όλων των εξαρτημάτων μεμονωμένα και σε πλήρη σχηματισμό. Οι μονάδες μέτρησης που έχουν χρησιμοποιηθεί βρίσκονται στο SI και όλες οι μετρήσεις είναι σε χιλιοστά(mm) (Εικ.84).



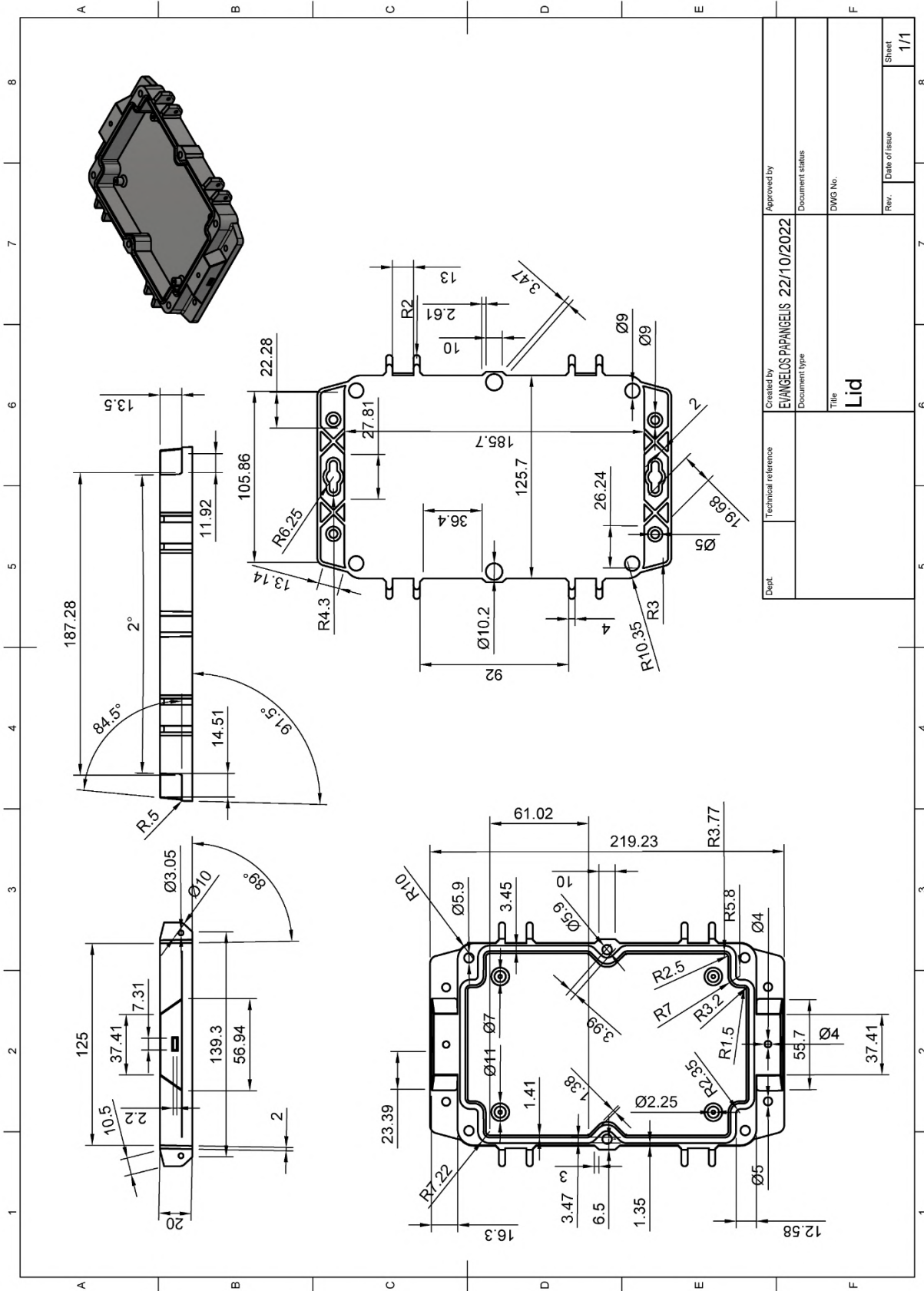
Εικόνα 84. Απεικόνιση μηχανολογικού σχεδίου κόμβου ELLIoT σε πλήρη σχηματισμό



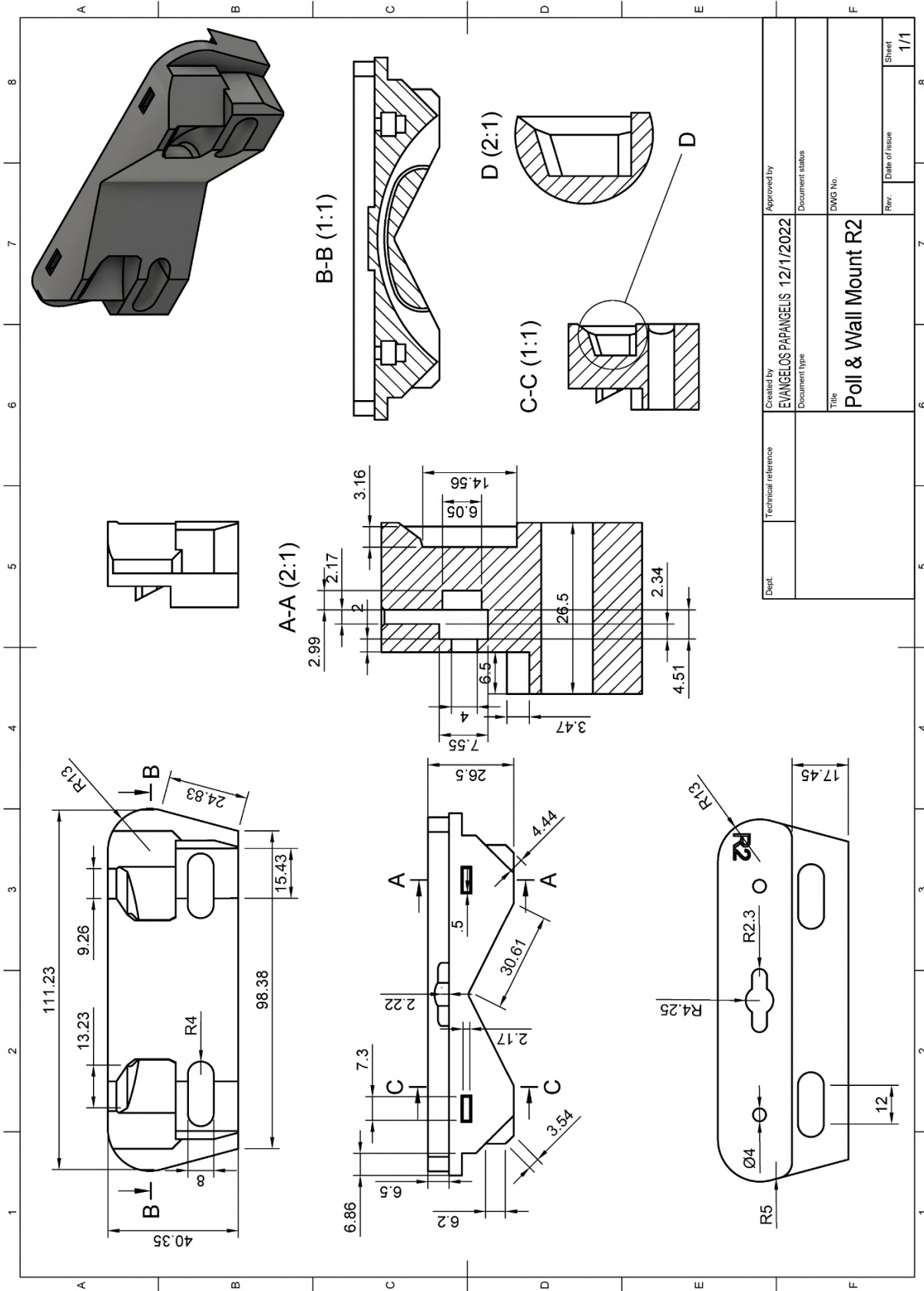
Dept.	Created by EVANGELOS PANGELIS 23/10/2022	Approved by	Sheet 1/1
Technical reference	Document type	Document status	Rev.
		DWG No.	Date of issue
Title Solar Enclosure			



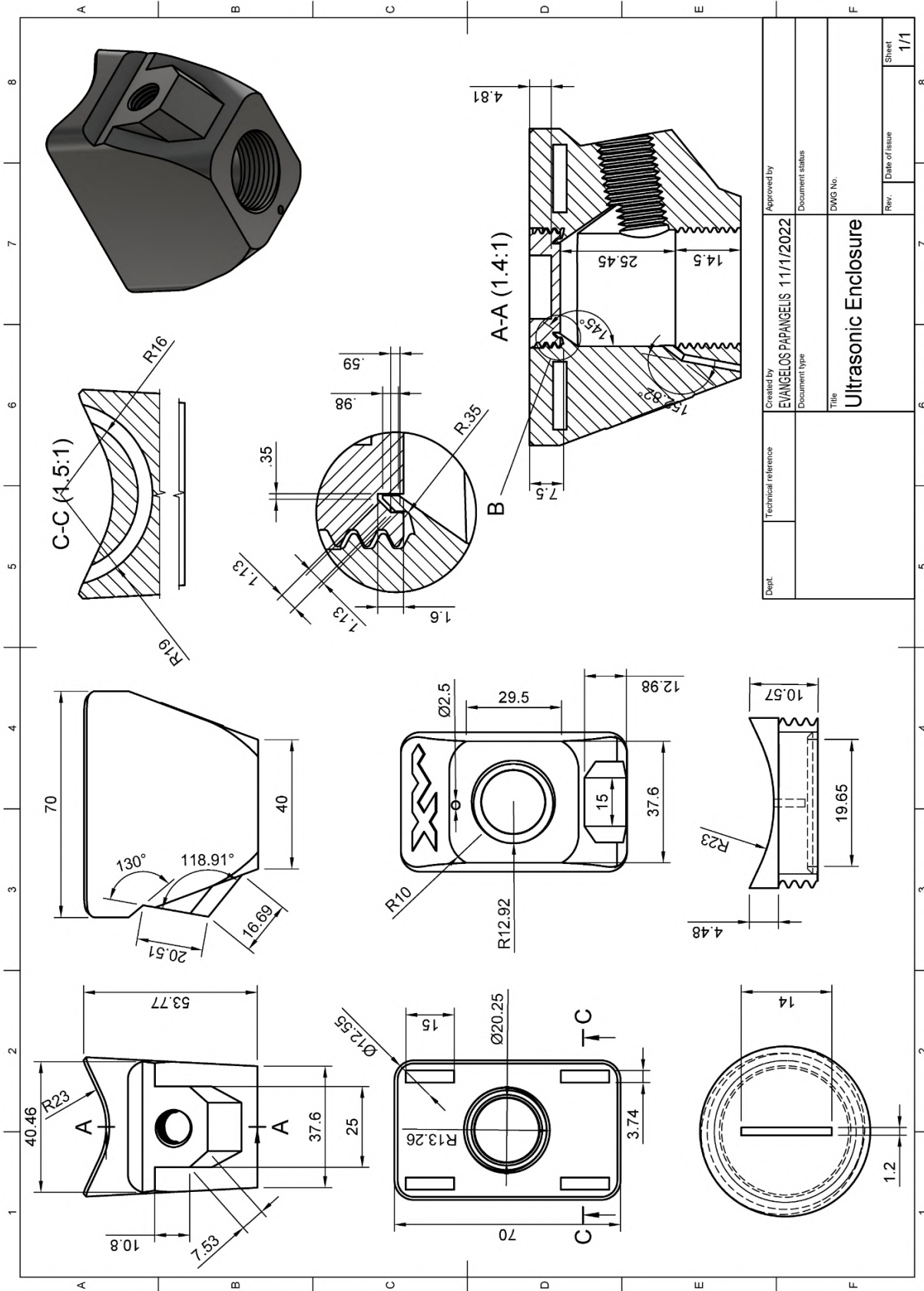
Dept.	Technical reference	Created by EVANGELOS PAPANGELIS 23/10/2022	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Back Cover	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



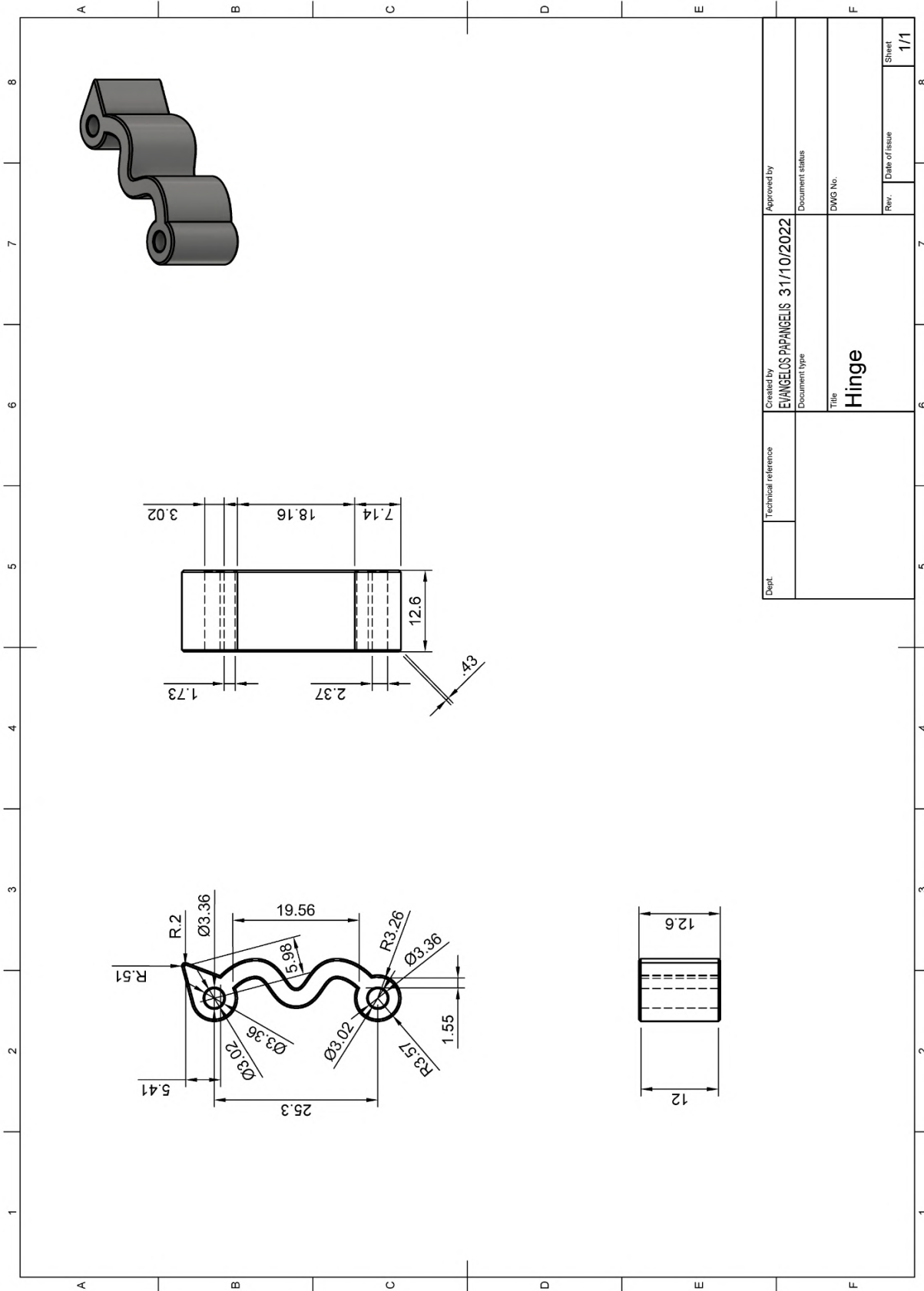
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		EVANGELOS PAPANGELIS 22/10/2022	
		Document type	Document status
		Title	
		Lid	
		DWG No.	
		Rev.	Date of issue
			1/1



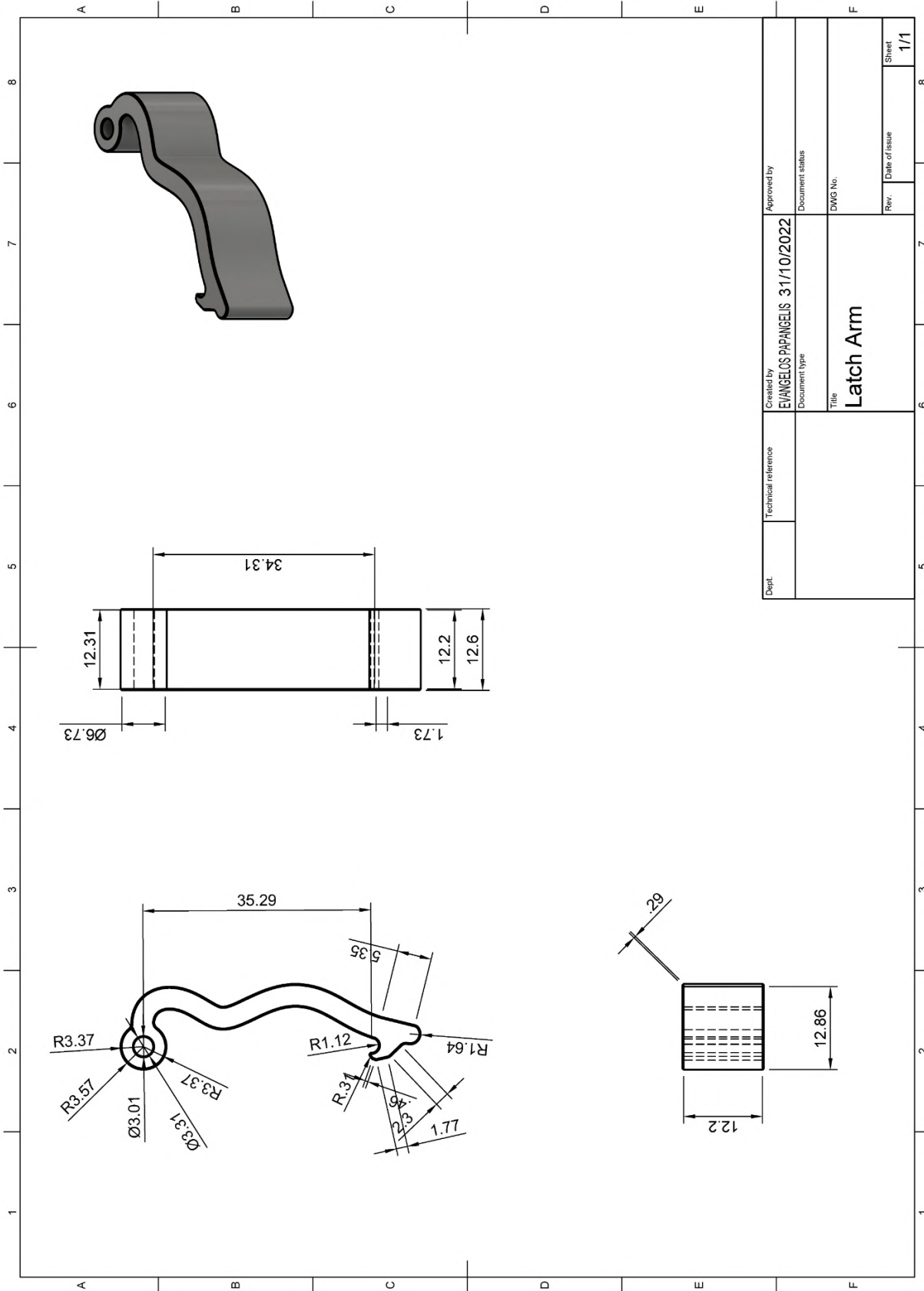
Dept.	Technical reference	Created by EVANGELOS PAPANGELIS	Approved by	12/1/2022
		Document type	Document status	
		Title Poll & Wall Mount R2		
		DWG No.	Rev.	Date of issue
				1/1



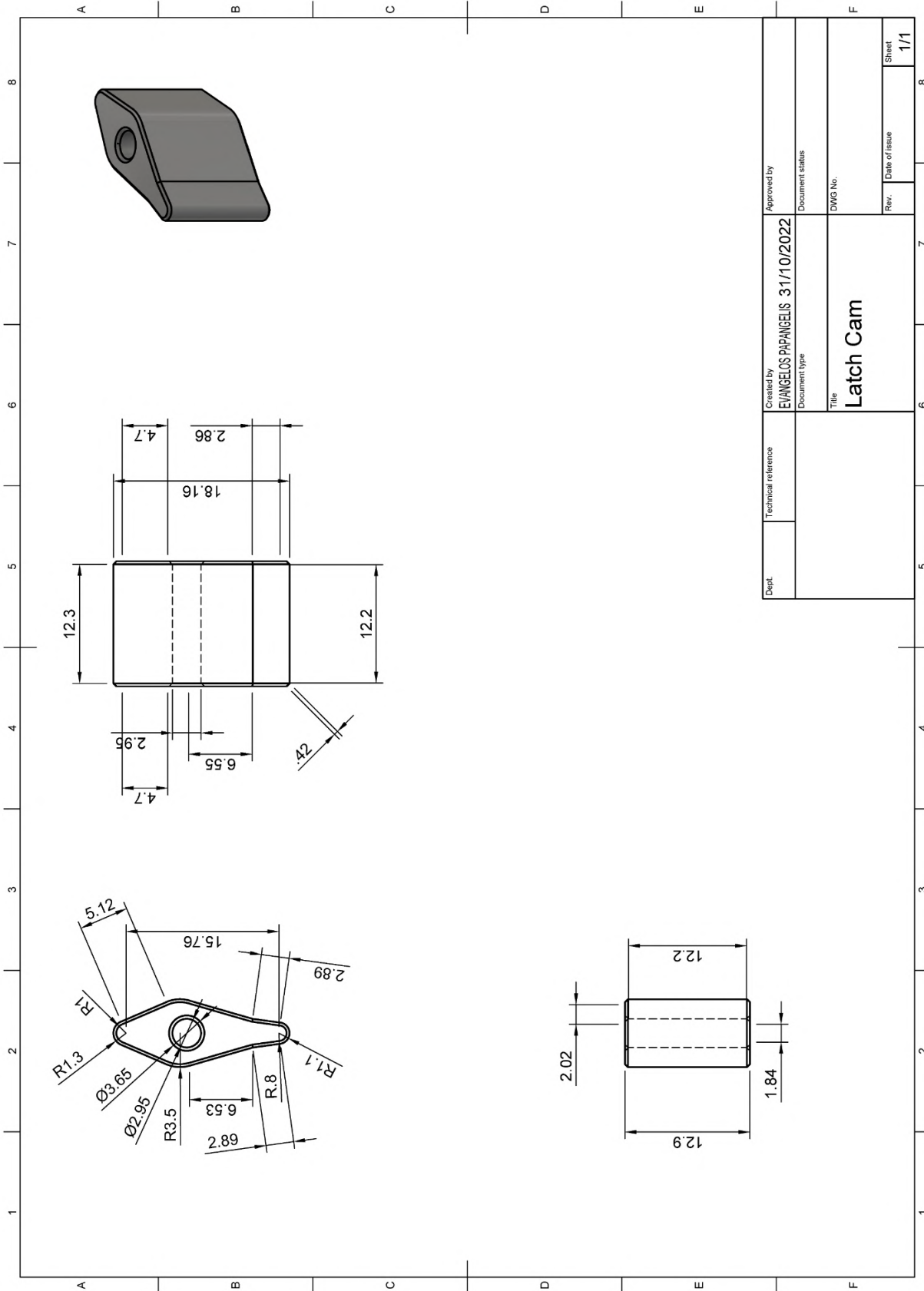
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by	Rev.	Date of issue	Sheet
		EVANGELOS PAPANGELIS	11/1/2022			1/1
		Document type	Document status			
		Title		DWG No.		
		Ultrasonic Enclosure				



Dept.	Technical reference	Created by EVANGELOS PAPANGELIS 31/10/2022	Approved by	8	
		Document type	Document status	7	
		Title Hinge	DWG No.	6	
			Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



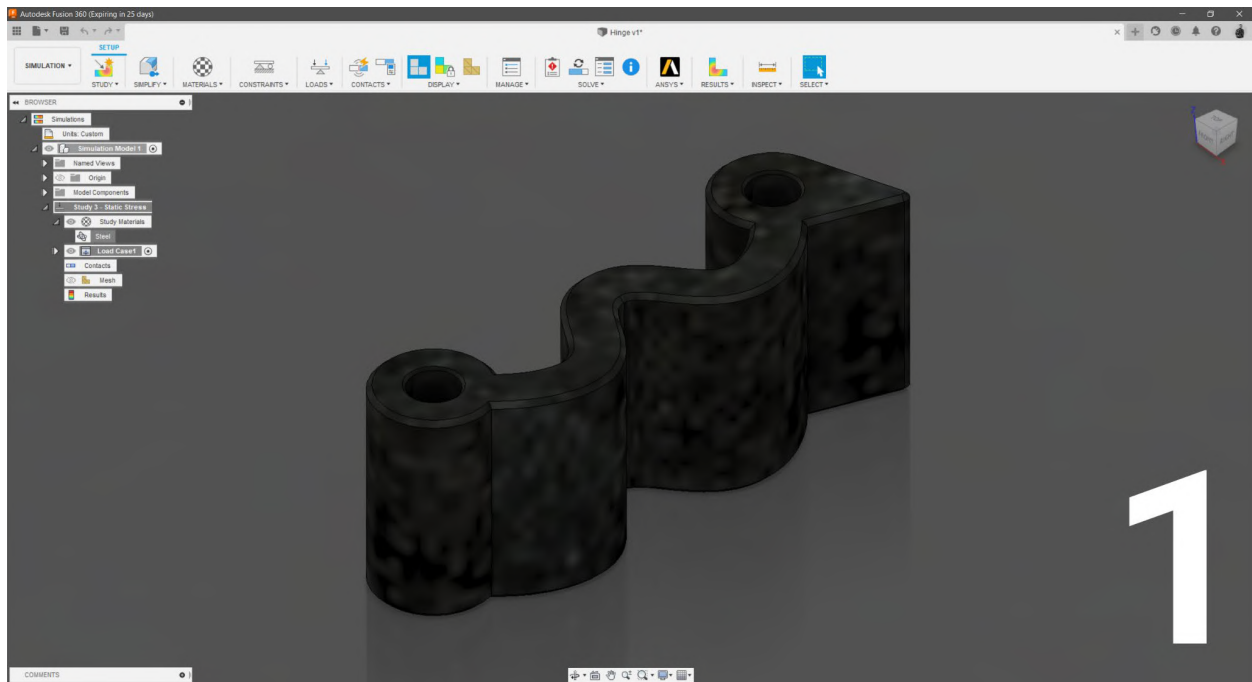
Dept.	Technical reference	Created by EVANGELOS PAPANGELIS 31/10/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Latch Arm	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



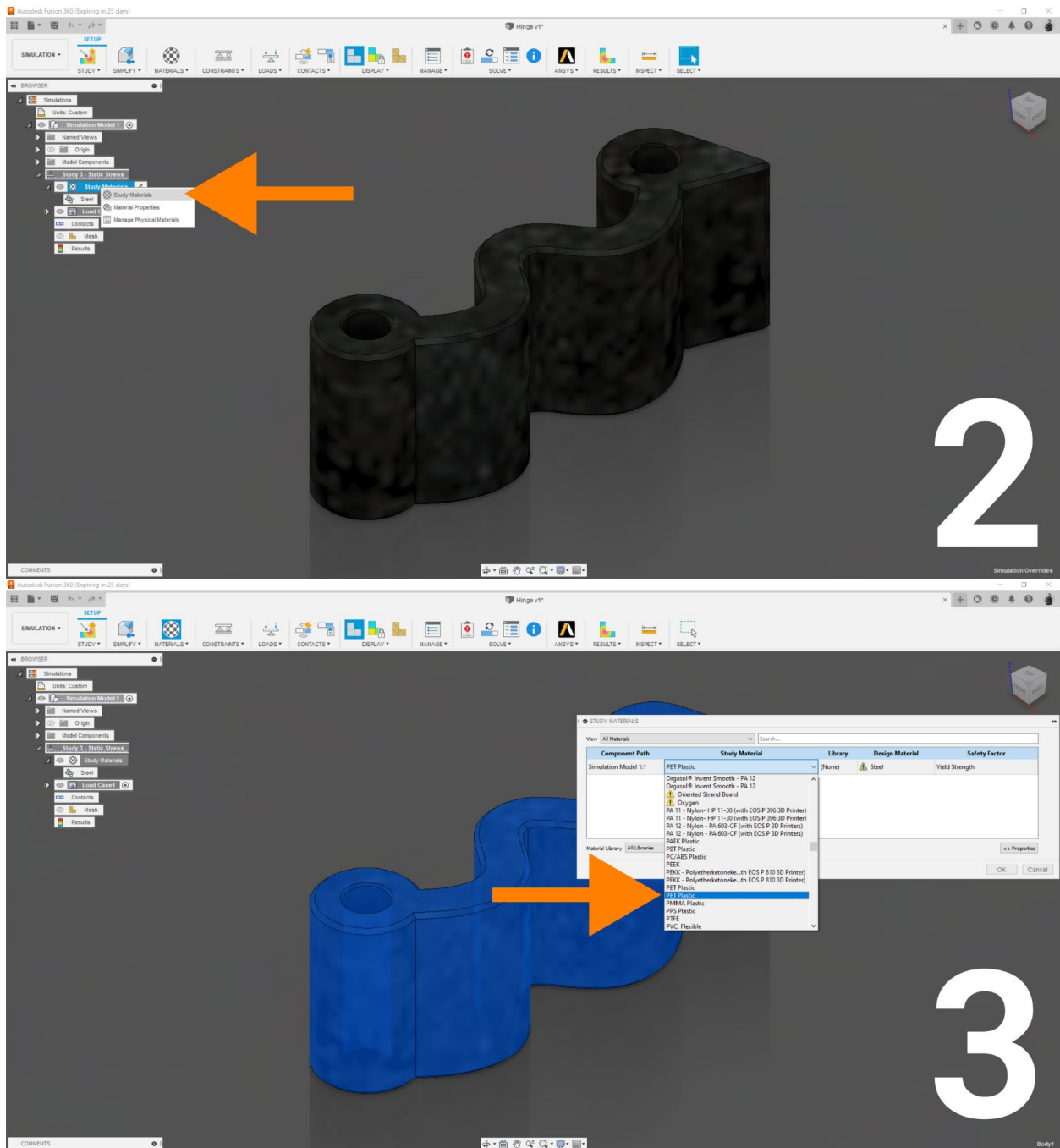
3.4.2 Βελτιστοποίηση και έλεγχος σχεδιασμού μέσω της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων

Για τον έλεγχο των εξαρτημάτων, διενεργήθηκε ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (CAE) ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για καταπονήσεις, παραμορφώσεις και αντιστατικές δυνάμεις. Αυτή η μελέτη συμβάλει στην βελτιστοποίηση του προϊόντος προτού ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ταχεία πρωτοτυποποίηση. Σκόπιμο κρίνεται να επισημανθεί πως σε περιβάλλον Fusion360 δεν δίνεται η δυνατότητα εξομοίωσης μοντέλων ανάλυσης με τρόπο κατασκευής FFF τρισδιάστατης εκτύπωσης. Άρα, η προσέγγιση της μελέτης δεν προσομοιώνει στο μέγιστο βαθμό την πραγματικότητα. Η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων είχε ως υλικό μελέτης το οργανικό πολυμερές PET σε μορφή χυτού πλαστικού.

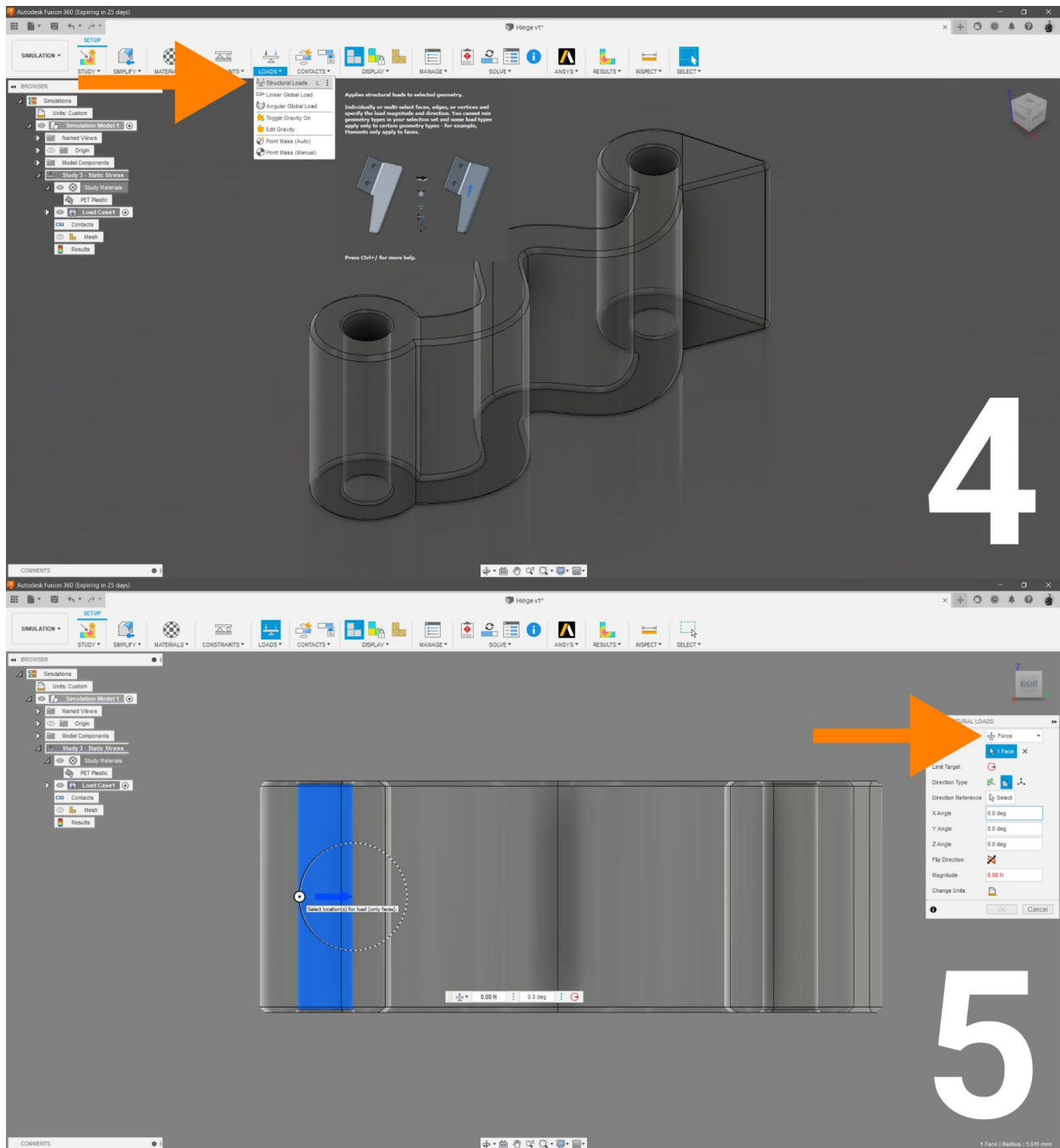
Ανοίγοντας το μοντέλο σε περιβάλλον προσομοίωσης, επιλέγεται από την αριστερή στήλη η εντολή “study materials”. Αφού ορισθεί υλικό μελέτης επιλέγονται οι επιφάνειες του μοντέλου που θα δεχθούν τις αντίστοιχες δυνάμεις που θα ορίσει ο χρήστης. Έπειτα, ακολουθεί η ανωτέρω διαδικασία για την επιλογή των περιορισμών του μοντέλου και τέλος, δημιουργείται πλέγμα από τετράεδρα που καθιστά το μοντέλο έτοιμο για την ανάλυση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων (Εικ. 85 - 91).



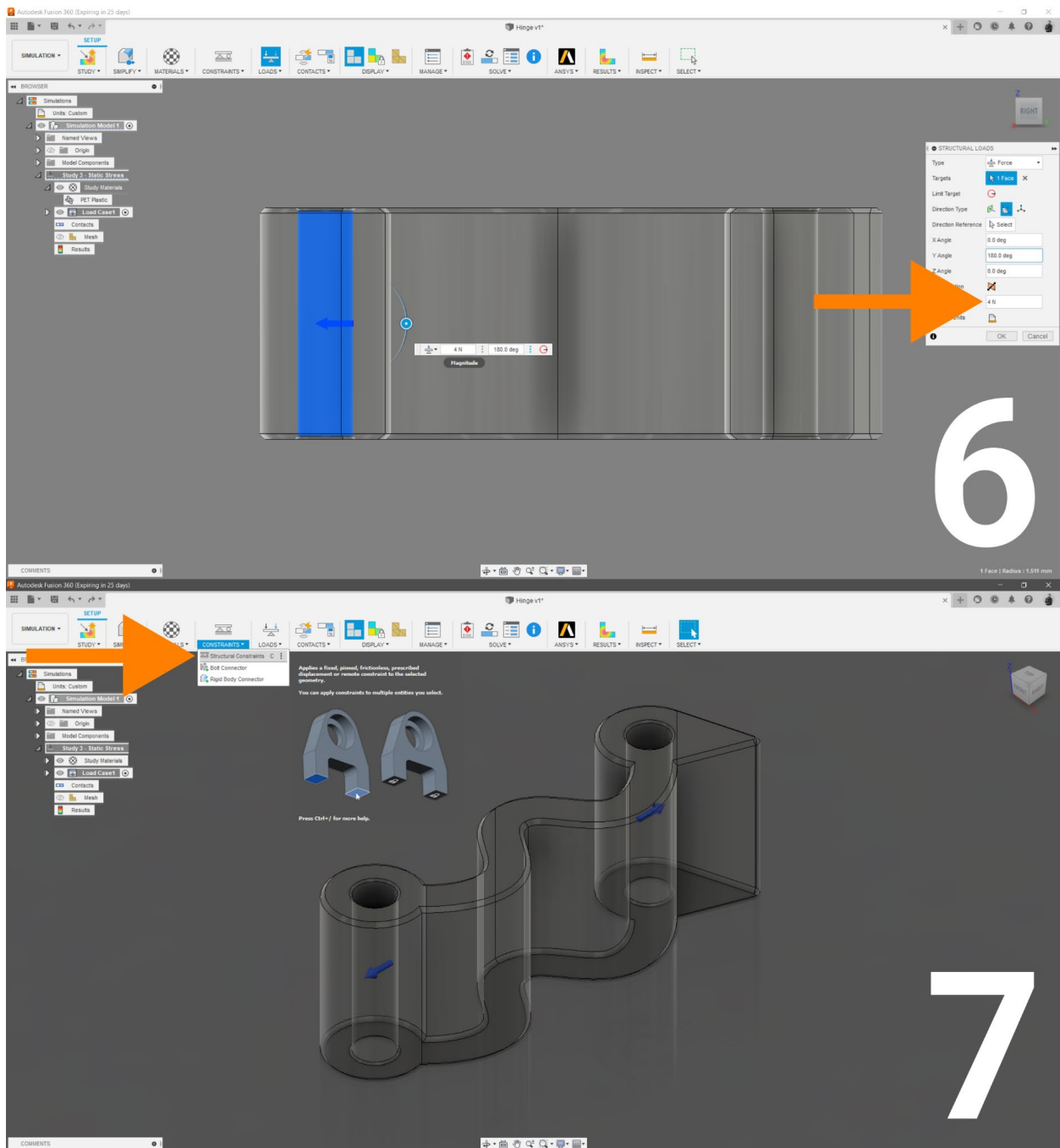
Εικόνα 85. Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον προσομοίωσης Fusion360



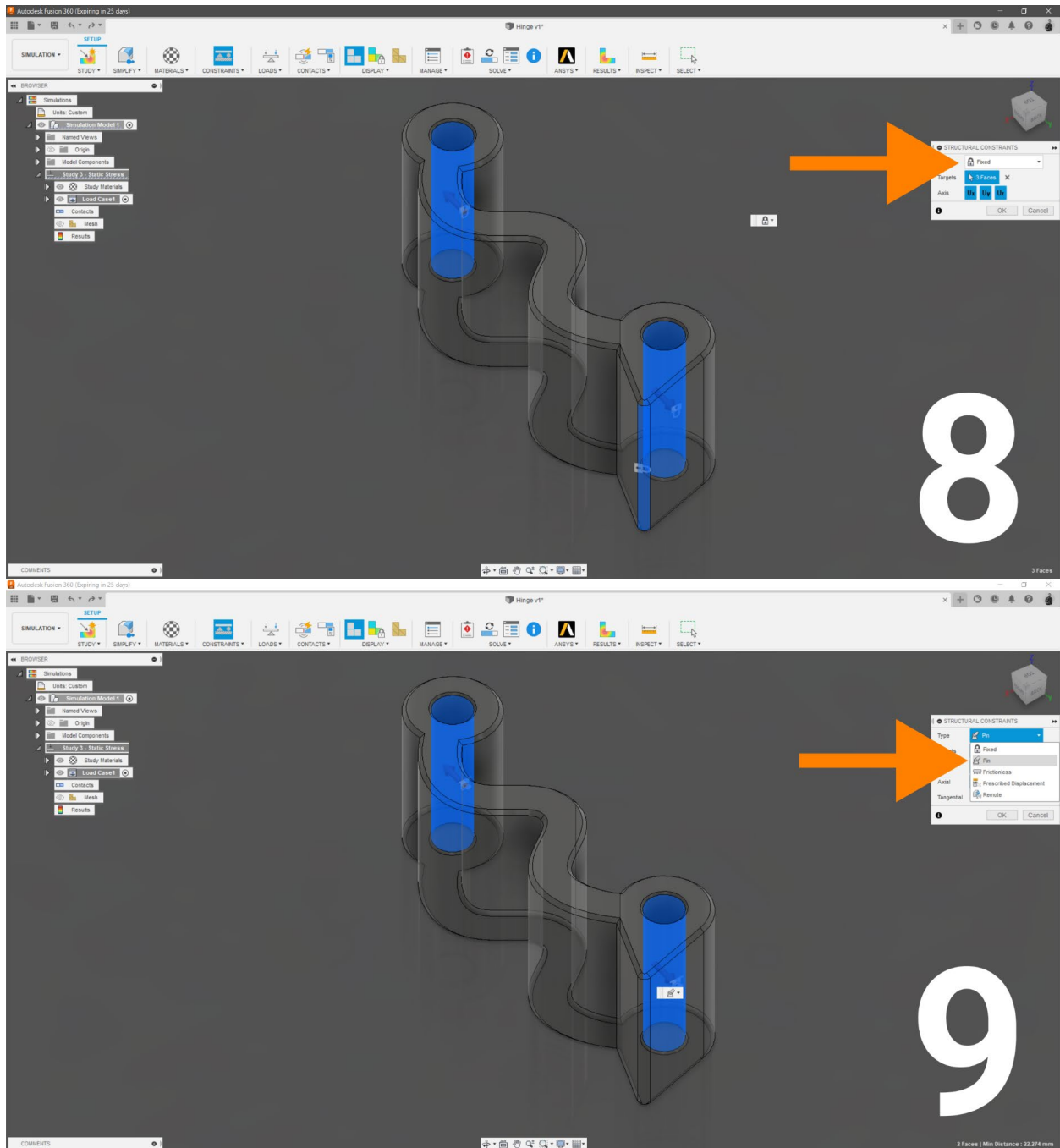
Εικόνα 86. Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον προσομοίωσης Fusion360 (Επιλογή υλικού)



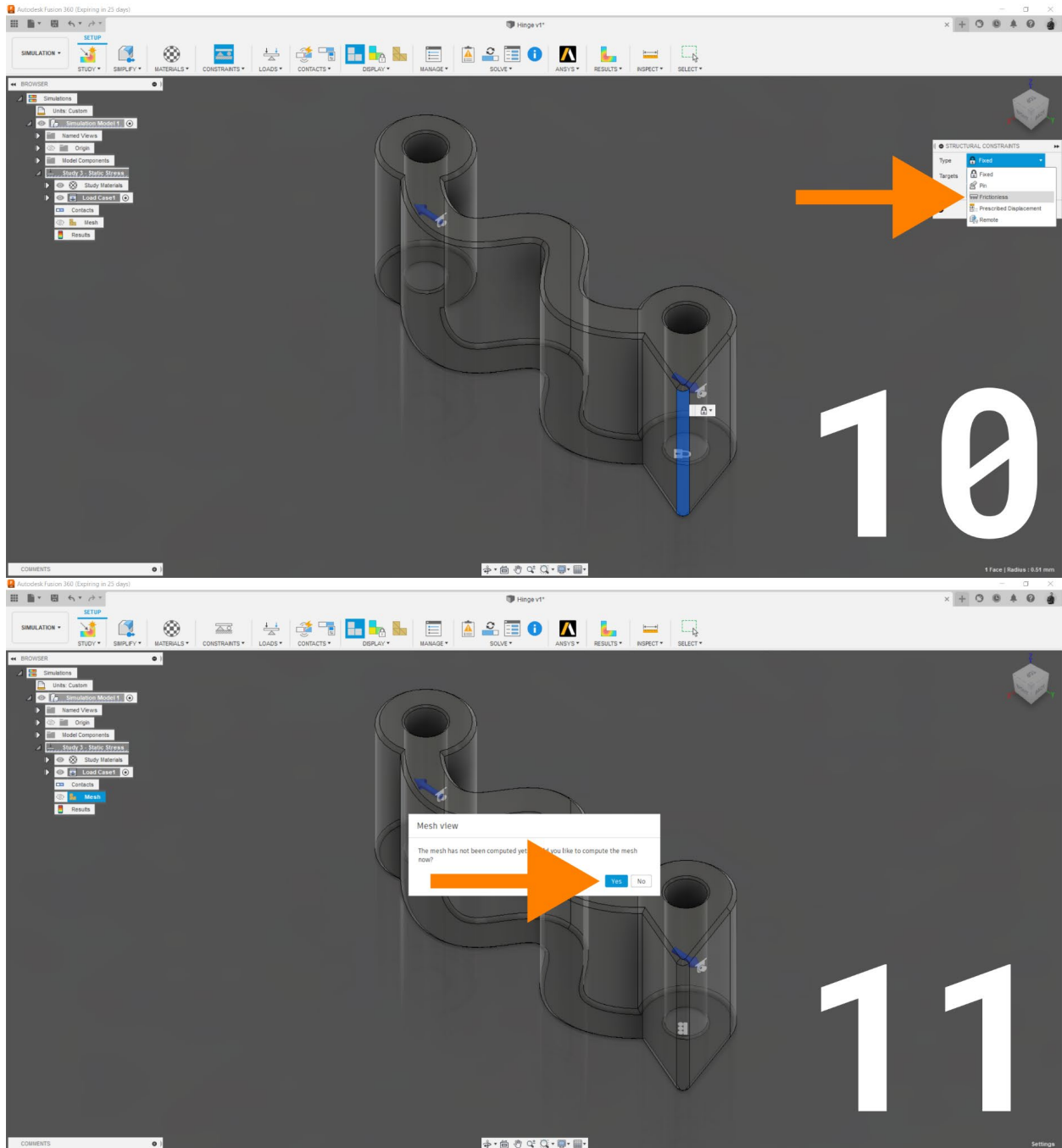
Εικόνα 87. Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον προσομοίωσης Fusion360 (Επιλογή φορτίου)



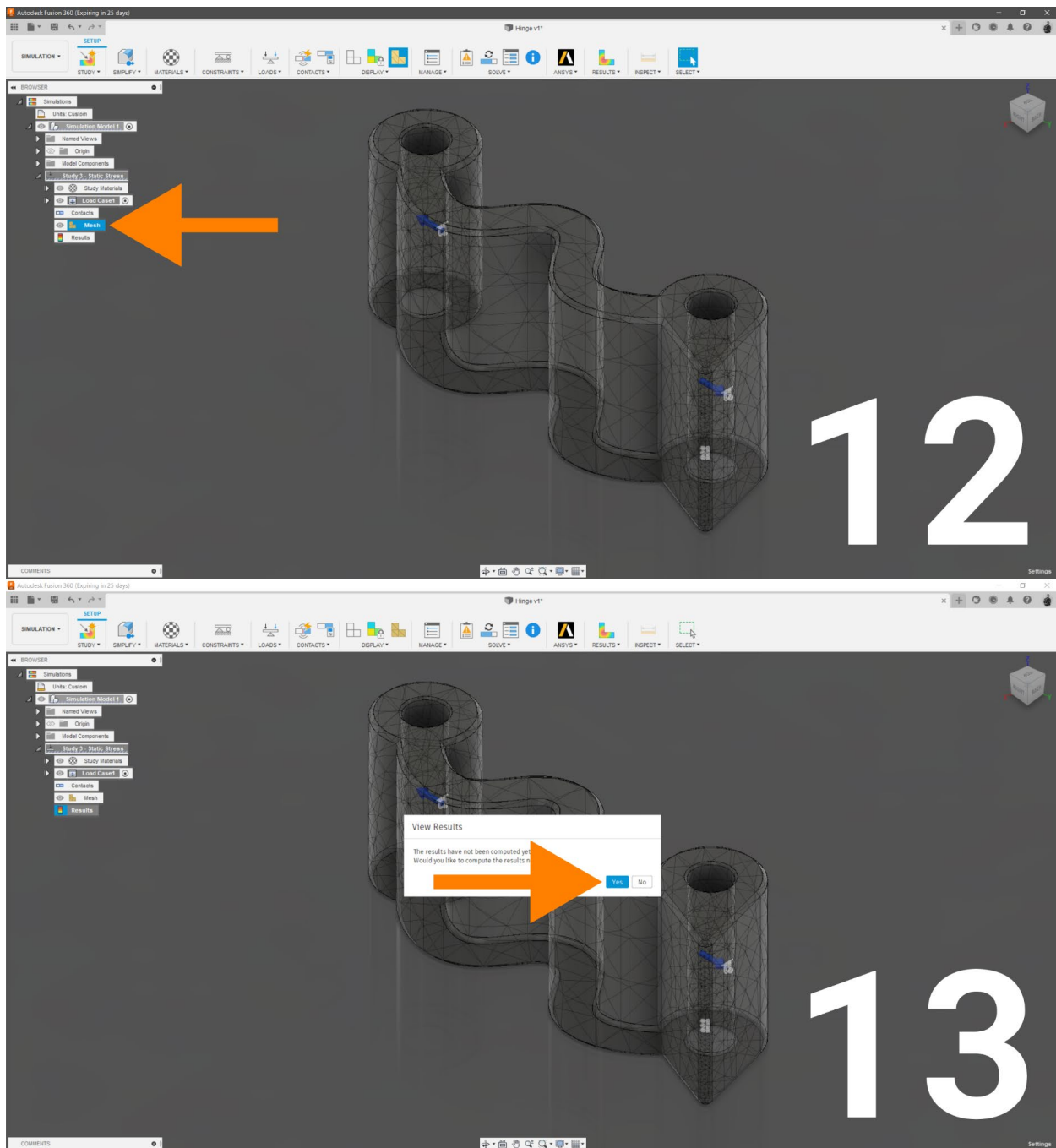
Εικόνα 88. Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον προσομοίωσης Fusion360 (Επιλογή Ορισμός τιμής & περιορισμών)



Εικόνα 89. Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον προσομοίωσης Fusion360 (Επιλογή τύπου περιορισμών)

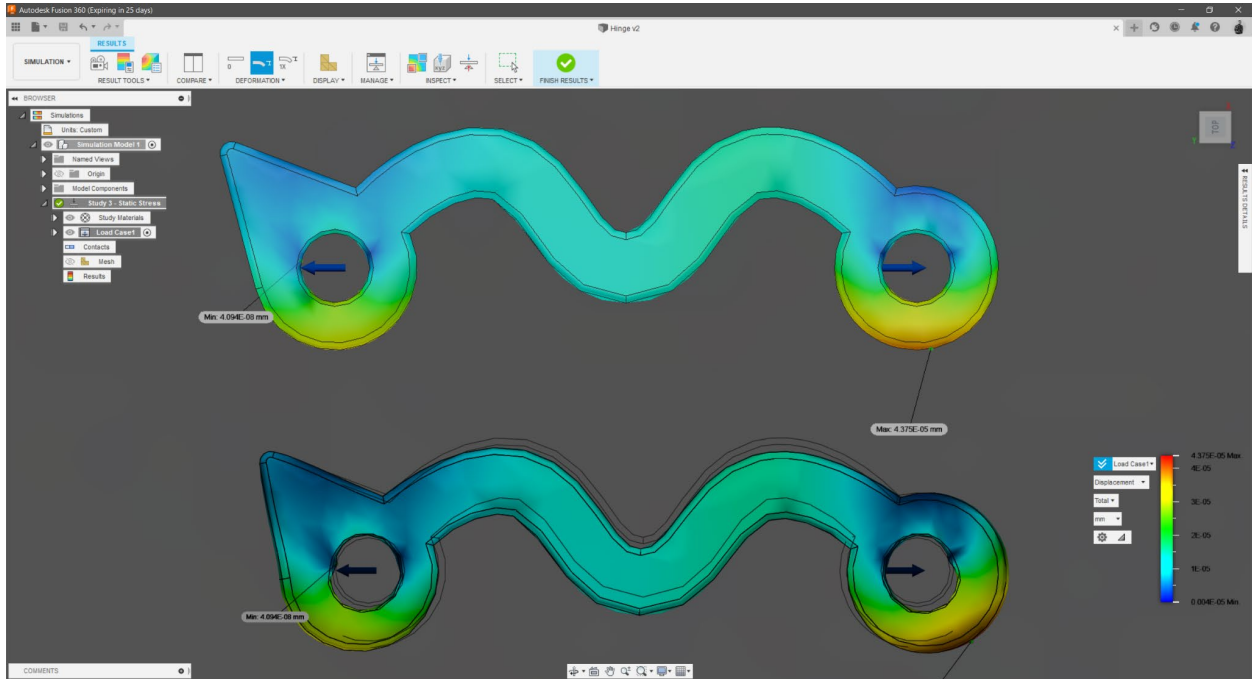


Εικόνα 90. Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον προσομοίωσης Fusion360 (Επιλογή τύπου περιορισμών & δημιουργία πλέγματος)

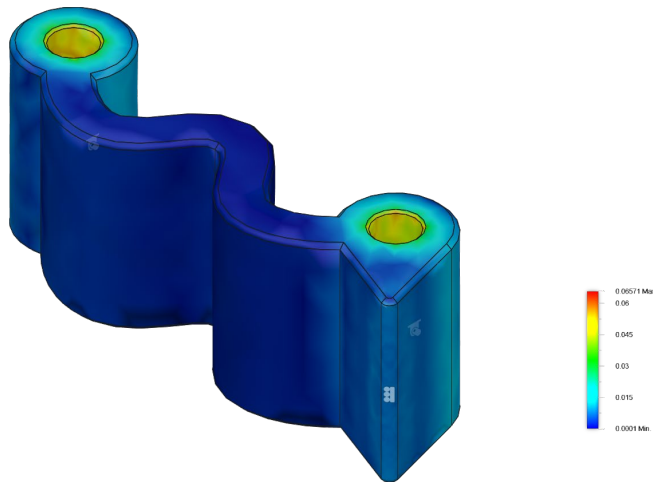


Εικόνα 91. Απεικόνιση τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον προσομοίωσης Fusion360 (Δημιουργία πλέγματος & εμφάνιση αποτελεσμάτων)

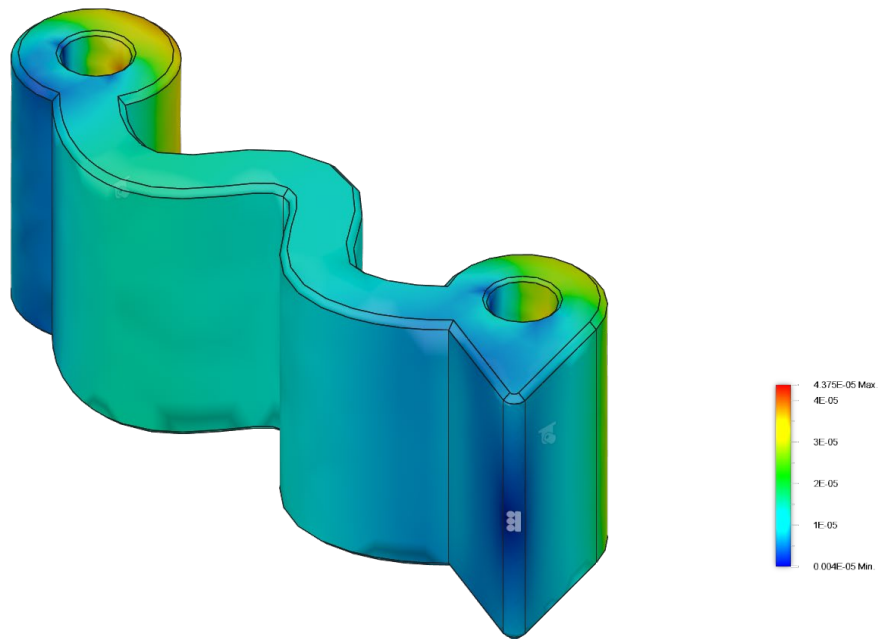
3.4.3 Αποτελέσματα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων κόμβου ELIoT και περιβλημάτων περιφερειακών αισθητήρων



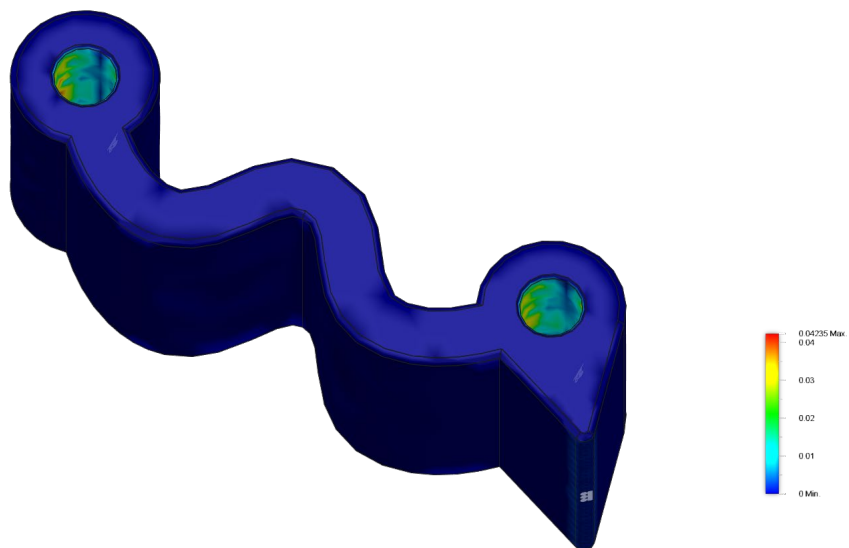
Εικόνα 92. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_HINGE σε προσομοίωση παραμόρφωσης



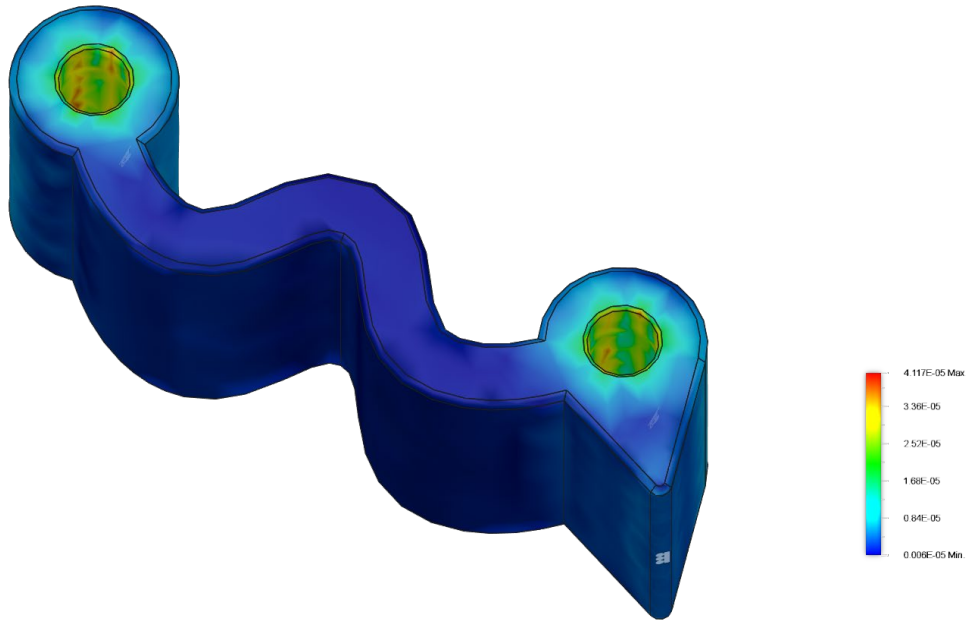
Εικόνα 93. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_HINGE σε εφελκυστική καταπόνηση



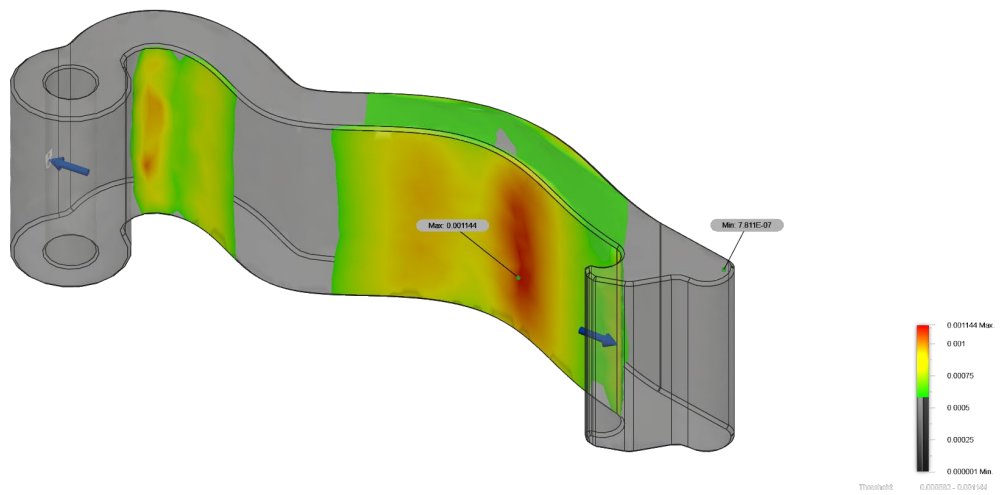
Εικόνα 94. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_HINGE σε προσομοίωση παραμόρφωσης



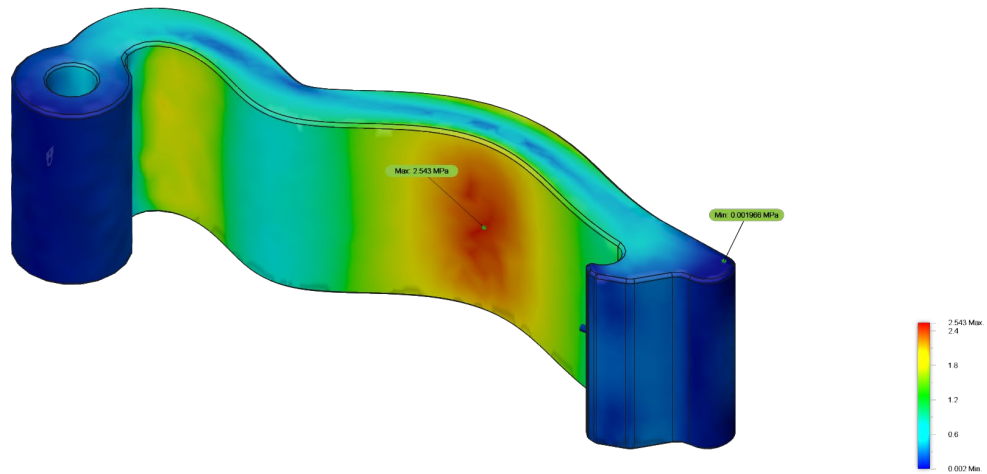
Εικόνα 95. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_HINGE σε προσομοίωση αντιστατικών δυνάμεων



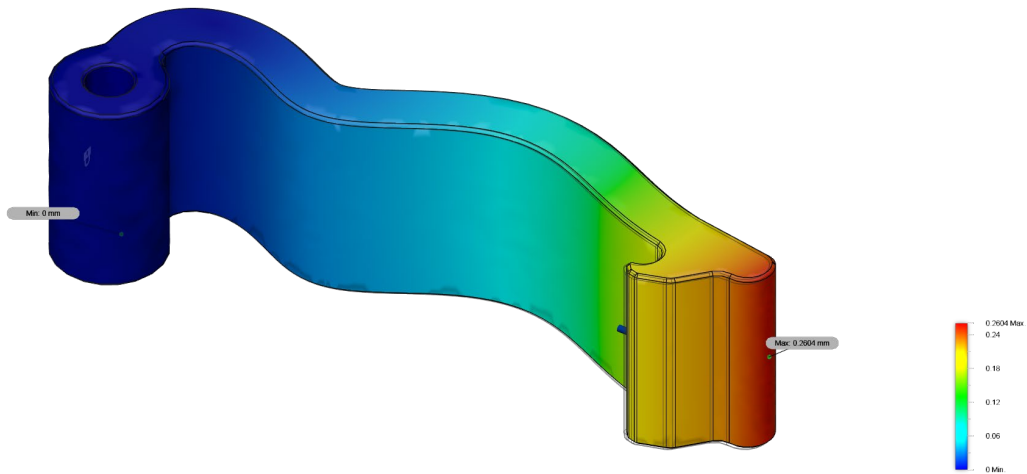
Εικόνα 96. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_HINGE σε προσομοίωση παραμορφωτικών δυνάμεων



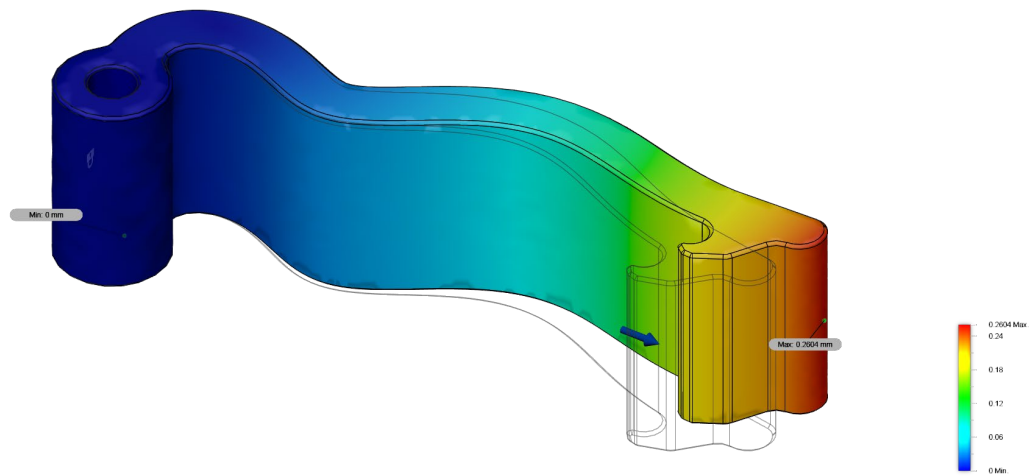
Εικόνα 97. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_ARM σε προσομοίωση παραμορφωτικών δυνάμεων



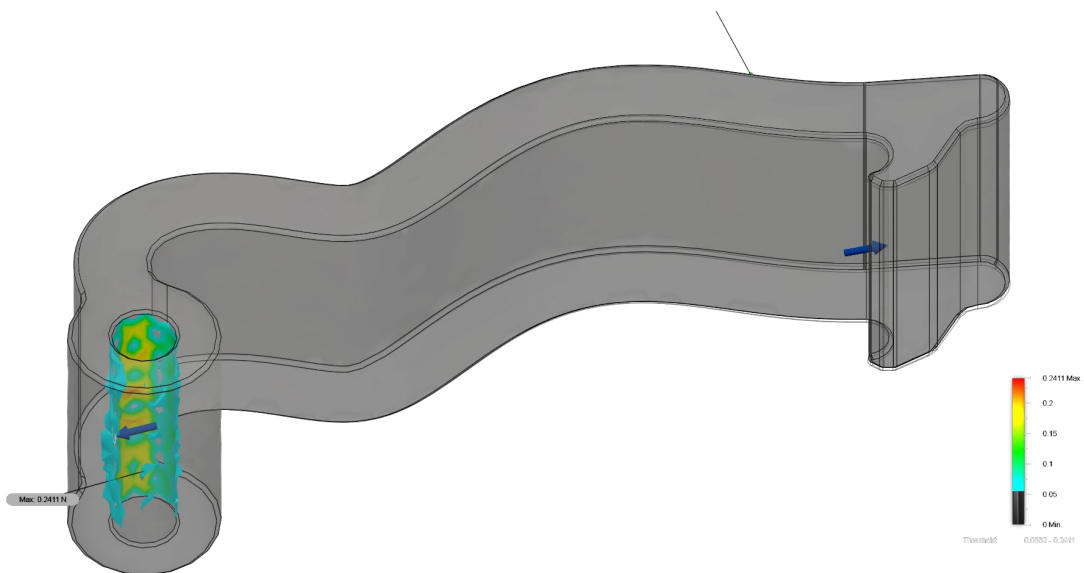
Εικόνα 98. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_ARM σε εφελκυστική καταπόνηση



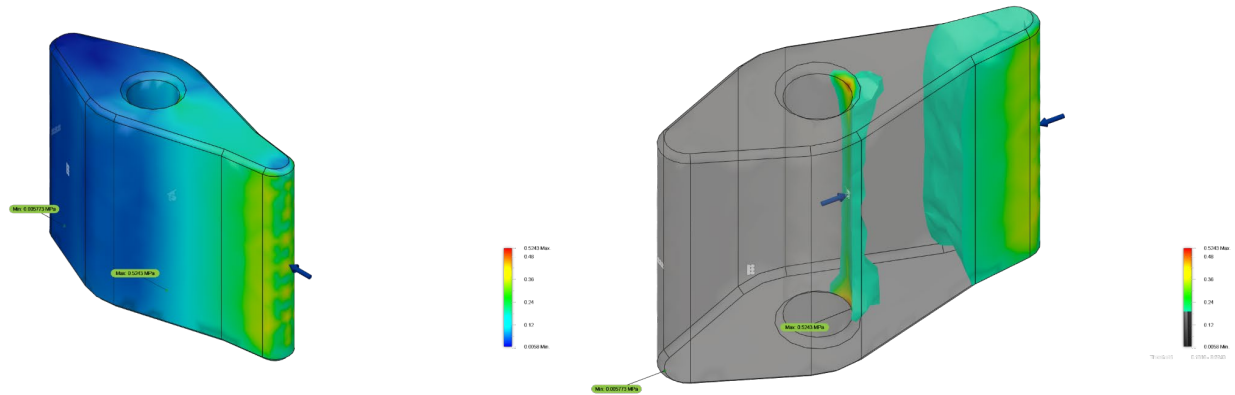
Εικόνα 99. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_ARM σε προσομοίωση παραμόρφωσης



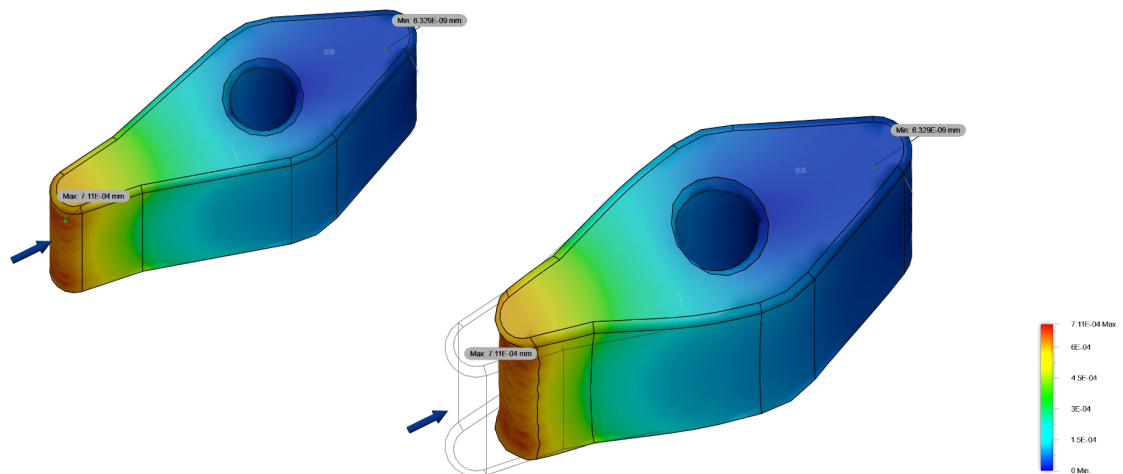
Εικόνα 100. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_ARM σε προσομοίωση διπλασιασμού πραγματικής παραμόρφωσης



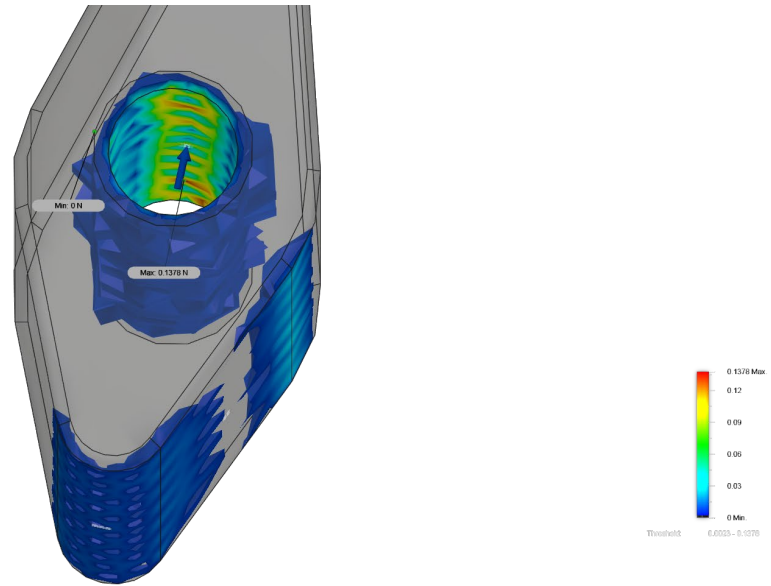
Εικόνα 101. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_ARM σε προσομοίωση αντιστατικών δυνάμεων



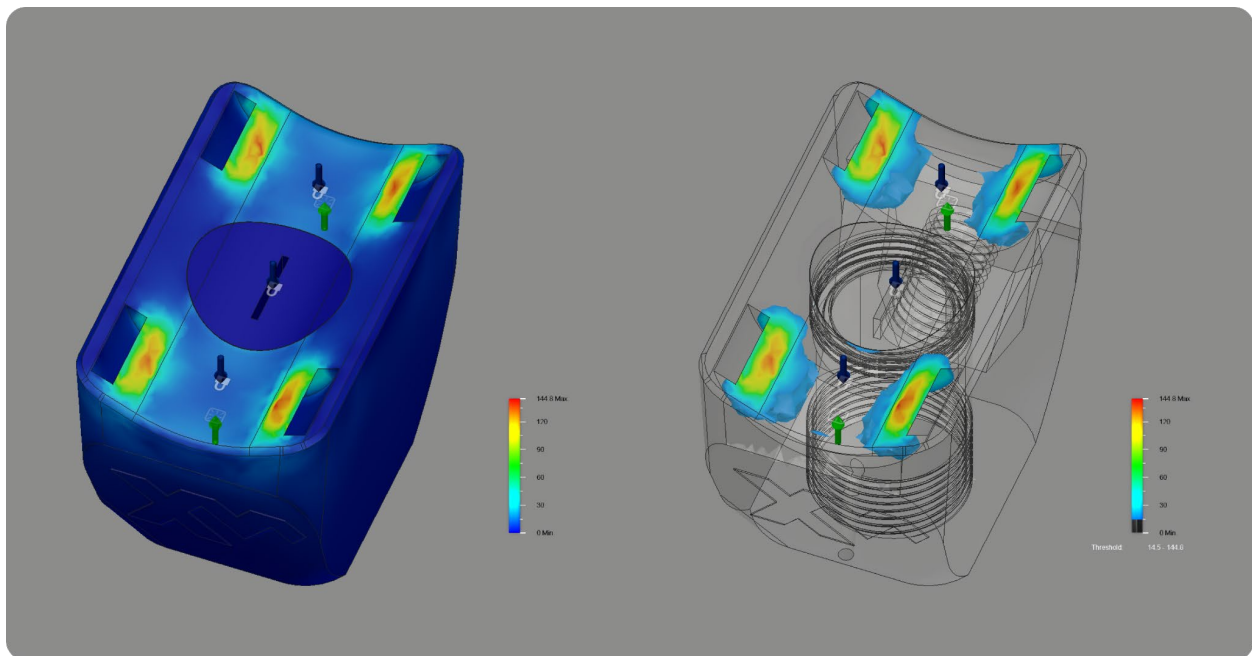
Εικόνα 102. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_CAM σε συμπιεστική καταπόνηση



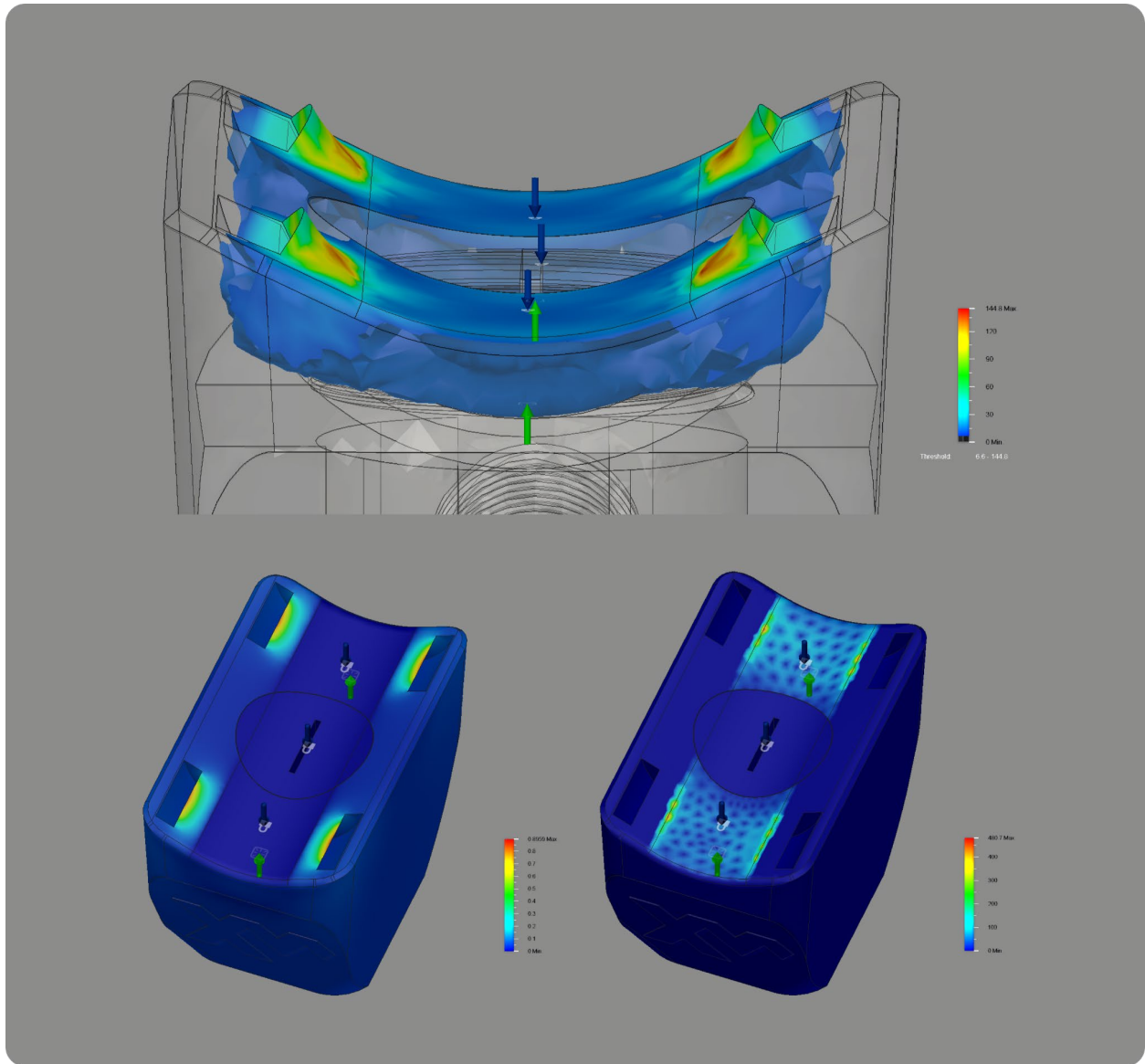
Εικόνα 103. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_CAM σε προσομοίωση διπλασιασμού πραγματικής συμπιεστικής παραμόρφωσης



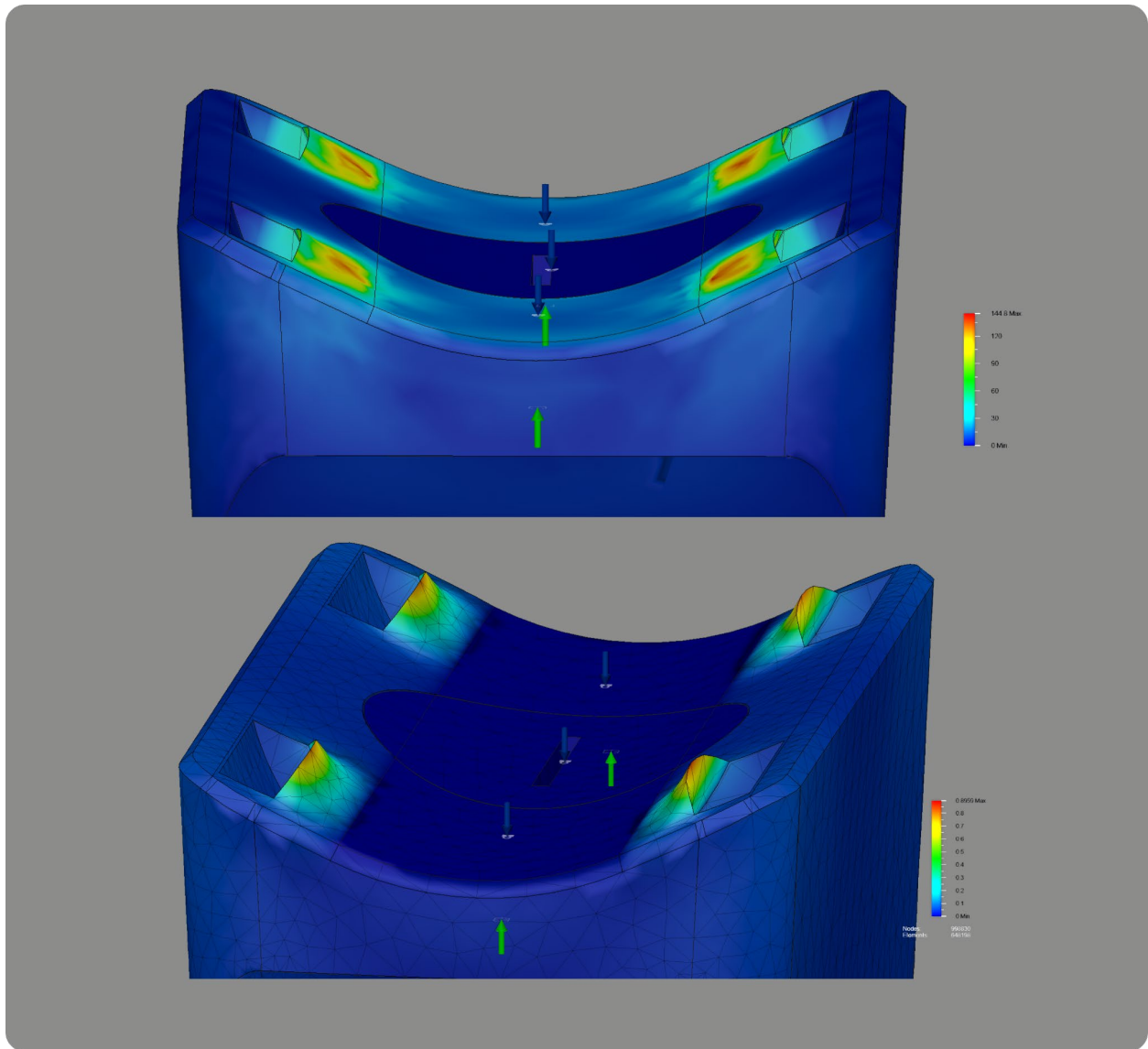
Εικόνα 104. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G4_LATCH_CAM σε προσομοίωση αντιστατικών δυνάμεων



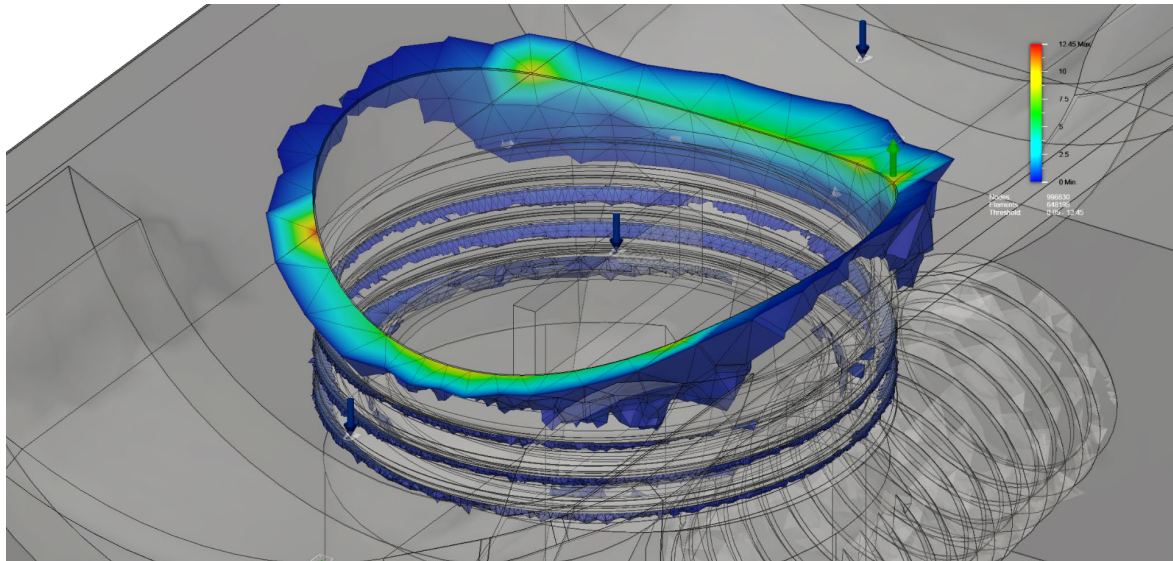
Εικόνα 105. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G2_MAXBOTIX_ENCLOSURE και G2_MAXBOTIX_CAP σε προσομοίωση παραμορφωτικών δυνάμεων



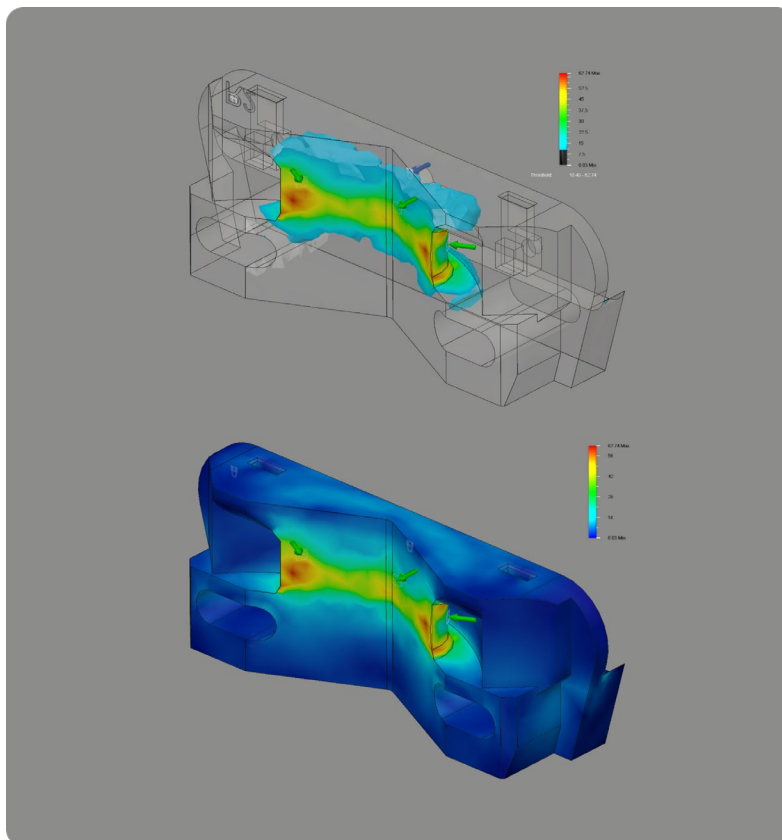
Εικόνα 106. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G2_MAXBOTIX_ENCLOSURE και G2_MAXBOTIX_CAP σε προσομοίωση διπλασιασμού πραγματικής συμπιεστικής παραμόρφωσης & σε προσομοίωση αντιστατικών δυνάμεων



Εικόνα 107. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G2_MAXBOTIX_ENCLOSURE και G2_MAXBOTIX_CAP σε προσομοίωση πραγματικής συμπιεστικής παραμόρφωσης & σε προσομοίωση διπλασιασμού πραγματικής συμπιεστικής παραμόρφωσης

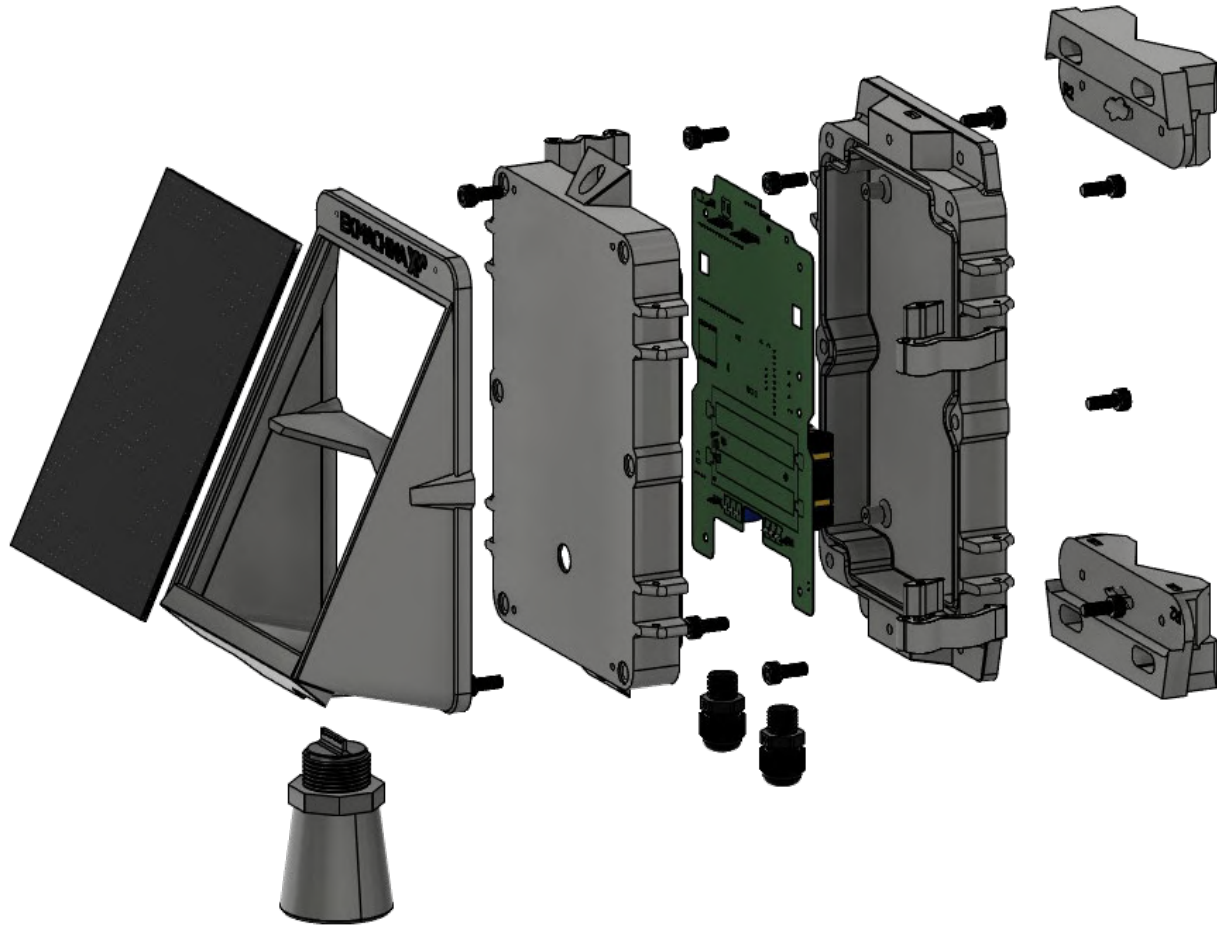


Εικόνα 108. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου G2_MAXBOTIX_CAP σε προσομοίωση αντιστατικών δυνάμεων σε σχέση με το εξωτερικό του περίβλημα



Εικόνα 109. Απεικόνιση αποτελεσμάτων μοντέλου R2_MOUNT_BASE σε προσομοίωση πραγματικής συμπιεστικής παραμόρφωσης

3.4.4 Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις και τελική λίστα υλικών κόμβου ELIoT και περιβλημάτων περιφερειακών αισθητήρων



Τελική λίστα υλικών κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

G4 ELIoT Node BoM			
1	713-313070000	2.5W Solar Panel 116X160	Standard Equipment
4	79850	M4 Screw 15mm	Pole Mount Accessories
4	05621	M4 Square Nut	Pole Mount Accessories

2	30177	Stainless Steel Hose Clamp 40 - 60mm	Pole Mount Accessories
4	79850	M3 Screw 5mm	G4 Internal enclosure
2	79850	M3 Screw 7mm	G4 Internal enclosure
2	79850	M3 Screw 10mm	G4 Internal enclosure
2		M12S Cable Gland	G4 Internal/External enclosure
1		M12x1.5 Cable Gland	G4 External enclosure
1		M12X1.5 Plastic Vent Plug	G4 Internal enclosure
4	05621	M3 Square Nut	Solar Panel Enclosure
3	01002	M3.5 Screw 9mm	Solar Panel Enclosure
20cm	555033014	Cable 0,6/1kV CU/XLPE/PVC1X50mm ²	Cables

G2 Maxbotix Ultrasonic Sensor BoM			
1	EXP-R36-101	MaxBotix MB7388 HRXL-MaxSonar-WRMLT	Standard Equipment
2	30177	Stainless Steel Hose Clamp 40 - 60mm	Pole Mount Accessories
1		M8 Cable Gland	External Enclosure
3m	217156204	Alarm Cable 4x0.22 CCA Shielded 100m	Cables

PCB Components BoM

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
Cap	Capacitor	C1, C2	6-0805_N	Cap	2
0ZCG0200FF2 C	PPTC 2.6A 5A 6V	F1, F2	4532 (1812imp)	0ZCG0200FF2 C	2
BME280 Module Generic (purple)		M1	BME280 Module Generic (purple)	BME280 Module Generic (purple)	1
DDEN12MA Step-Up Converter	Eletechsup Step up Converter with Active Low EN.	M2	DDEN12MA Step Up Module	DDEN12MA Step-Up Converter	1
DS3231 RTC Module (Supercap)		M3	DS3231 RTC Module Generic (Supercap)	DS3231 RTC Module (Supercap)	1
DFRobot AS3935 Lightning Sensor		M4	DFROBOT_LIGHT NING_SENSOR	DFRobot AS3935 Lightning Sensor	1
CJMCU AS3935 Lightning Sensor		M5	CJMCU AS3935 Module	CJMCU AS3935 Lightning Sensor	1
TSim		M6	TSIM_NO_HOLE	TSim	1
RFM95 Module		M7	RFM95 Module	RFM95 Module	1
DM13 DC/DC		M8	DM13 DC/DC with EN	DM13 DC/DC with EN	1
AHT10 Module Generic		M9	AHT10 Module Generic	AHT10 Module Generic	1
Header 2	Header, 2-Pin	P1	HDR1X2	Header 2	1
Header 4	Header, 4-Pin	P2	HDR1X4	Header 4	1
SDI12	Header, 3-Pin	P3	Terminal Block 3w 5mm	Header 3	1
SDI12	Header, 3-Pin	P4	HDR1X3	Header 3	1
Water Lvl	Header, 3-Pin	P5	Terminal Block 3w 5mm	Header 3	1
TX/RX	Header, 2-Pin	P6	HDR1X2	Header 2	1
Water Lvl	Header, 3-Pin	P7	HDR1X3	Header 3	1

Water Presence	Header, 3-Pin	P8	Terminal Block 3w 5mm	Header 3	1
SI2300	N-MOS	Q1, Q6	SOT23_N	SI2300	2
A03401	P-MOSFET	Q2, Q3	SOT-23B_N	A03401	2
Res1	Resistor	R1, R2, R3, R4, R7, R9	J1-0603	Res1	6
	Resistor	R5, R6	J1-0603	Res1	2
PUSH_BTN_N O	Momentary button, Normally Open	S1	Btn Generic 6.1 x 3.6 Red Btn	PUSH_BTN_N O	1
Solder Bridge		SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7, SB8, SB9, SB10, SB11, SB12	SOLDER BRIDGE NO, PADS	Solder Bridge	12
MIC5205 FIXED	LDO	U1	SOT23-5_N	MIC5205 FIXED	1
18650 Dual		X1	18650 Dual Socket SMD	18650 Dual	1



Εικ 110. Φωτορεαλιστική απεικόνιση κόμβου ELLIoT και περιφερειακών αισθητήρων μετεωρολογικού σταθμού Fine Offset (KeyShot 10)



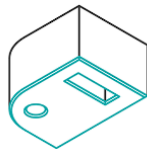
Εικ 111. Φωτορεαλιστική απεικόνιση κόμβου ELIoT (Fusion360)

Κεφάλαιο 4 - Υλοποίηση εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT και εξωτερικών αισθητήρων

4.1 Προετοιμασία εκτύπωσης εξαρτημάτων εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

Η βασική ιδέα της υλοποίησης χαρακτηρίζεται από τα χαμηλού κόστους υλικά κατασκευής του περιβλήματος μέσω της διαδικασίας τρισδιάστατης εκτύπωσης. Έπειτα από την παραπάνω μελέτη, κάτι τέτοιο κρίνεται εφικτό, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος κατασκευής. Η αρχιτεκτονική της λύσης αναφέρεται στο πιο πυκνό δίκτυο κόμβων ELIoT με σχετικές μετρήσεις σε αντίθεση με ένα αραιό πλέγμα μετεωρολογικών κόμβων με πιο ακριβή αποτελέσματα αλλά μεγάλο κόστος κατασκευής και συντήρησης. Στο στάδιο υλοποίησης έχουν ληφθεί υπόψιν ορισμένοι περιορισμοί, με τον κυριότερο εξ αυτών να αφορά το τρόπο κατασκευής του περιβλήματος των συσκευών. Μετά από ερευνά που διενεργήθηκε διαπιστώθηκε ότι η βέλτιστη μηχανική αντοχή σε συνάρτηση με τις αλλαγές της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με το υλικό εκτύπωσης: γλυκούλη τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου ή αλλιώς PETG. Το PETG είναι το ιδανικό νήμα για το συνδυασμό αντοχής και ολκιμότητας, γι' αυτό και χρησιμοποιείται σε τόσα πολλά μηχανικά εξαρτήματα και εφαρμογές ρομποτικής. Διαθέτει εξαιρετική χημική αντοχή, καθώς και αντοχή στο νερό, τα οξέα και τα αλκάλια. Το PETG είναι επίσης ένα εξαιρετικό υλικό για καλλιτεχνικές εκτυπώσεις, όπως βραχιόλια, δαχτυλίδια, περιλαίμια κ.λπ. Η θερμοκρασία μαλάκυνσης ή η αντίσταση στη θερμοκρασία του PETG είναι 85 °C, η οποία είναι ενδιάμεση μεταξύ του PLA και του ABS. Αυτό προσδίδει στην συσκευή αντοχή στην θερμοκρασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά και αδιαβροχοποίηση κατά τους χειμερινούς. Το χρώμα που επιλέχθηκε ανήκει στην κατηγορία των υπόλευκων και γκρι χρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η απόχρωση #f4f7eb επιλέχθηκε κυρίως για την αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας και για να προσδώσει στην συσκευή μια πιο “βιομηχανική” εμφάνιση.

Στην διαδικασία του σχεδιασμού λήφθηκαν υπόψιν κάποιοι περιορισμοί λόγω του τρόπου υλοποίησης:



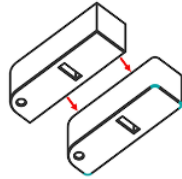
Base Chamfers

Recommended Value: ~0.3 mm (initial layer height + layer height)

Για να βελτιωθεί η ακρίβεια των άκρων της βάσης του εξαρτήματος, καλό είναι να προστεθεί μια λοξότμηση 0,3 χιλιοστών σε όλες τις άκρες που θα έρθουν σε επαφή με την επιφάνεια εκτύπωσης. Αυτό μειώνει την πιθανότητα, ένα ελαφρώς υπερβολικά συμπιεσμένο αρχικό στρώμα, να σχηματίσει ένα χείλος γύρω από τη βάση του τεμαχίου. Αυτό ισχύει μόνο αν σκοπεύετε να

εκτυπώσετε το εξάρτημα χωρίς “brim”. Εάν εκτυπωθεί με “brim”, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα εργαλείο αφαίρεσης του χείλους και να καθαριστεί η βάση του εξαρτήματος.

Για μεγαλύτερα αντικείμενα, συνιστάται η στρογγυλοποίηση των γωνιών που αγγίζουν την πλάκα κατασκευής (επιφάνεια εκτύπωσης).



Base Corners

Recommended Value: $R > 4\text{mm}$

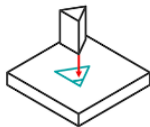
Οι αιχμηρές γωνίες συγκεντρώνουν τις δυνάμεις συρρίκνωσης (στρέβλωση) που εμφανίζονται καθώς ένα τεμάχιο ψύχεται, ενώ οι στρογγυλεμένες γωνίες διαχέουν αυτές τις δυνάμεις. Θεωρητικά, όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα της κυρτής γωνίας, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες να ελαχιστοποιηθεί η στρέβλωση. Συνιστάται ακτίνα γωνίας τουλάχιστον 4 χιλιοστών.



Bridging

Recommended Value: $<10\text{ mm}$

Για να αποφευχθούν ελαττώματα και αστοχίες εκτύπωσης, οι οριζόντιες γέφυρες χωρίς στήριξη δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 10 χιλιοστά σε μήκος. Είτε θα ενσωματωθούν στο μοντέλο κατακόρυφα στοιχεία για τη στήριξη της γέφυρας, είτε θα πρέπει να ενεργοποιηθούν τα στηρίγματα κατά το "slicing". Μπορεί να γεφυρωθούν πολύ μεγαλύτερα κενά ανάλογα με το υλικό και το ύψος του στρώματος, αλλά η διατήρηση των γεφυρών στα 10 χιλιοστά είναι ένα καλό σημείο εκκίνησης.



Clearance

Recommended Value: $\sim 0.3\text{ mm}$ for loose fit $\sim 0.15\text{ mm}$ for tight fit

Για να επιτευχθεί σωστή εφαρμογή μεταξύ των τρισδιάστατα εκτυπωμένων εξαρτημάτων, συνιστάται περιθώριο 0,3 χιλιοστών για χαλαρή εφαρμογή και 0,15 χιλιοστών για στενή εφαρμογή. Με βάση το υλικό και τη γεωμετρία, το απαιτούμενο διάκενο μπορεί να διαφέρει ελαφρώς.



Emboss & Engrave Horizontal

Recommended Value Emboss: >0.9 mm wide (2 times extrusion line width)
<0.9 mm out (2 times extrusion line width)

Recommended Value Engrave: >0.5 mm wide x <0.9 mm deep (2 times extrusion line width)

Για να επιτευχθεί ανάλυση και ορατότητα των ανάγλυφων ή χαραγμένων λεπτομερειών σε μια κατακόρυφη επιφάνεια, το πλάτος της γραμμής πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιο από τη διάμετρο του ακροφυσίου σε βάθος. Μπορούν να είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, αλλά αν είναι πολύ μεγάλες, θα αρχίσουν να κρεμούν.

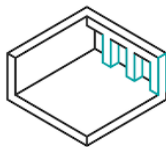


Emboss & Engrave Vertical

Recommended Value Emboss: >0.9 mm wide (2 times extrusion line width) x
<2 mm high

Recommended Value Engrave: >0.5 mm wide x <2 mm deep

Για να διασφαλιστεί η σαφήνεια των λεπτομερειών που είναι ανάγλυφες ή χαραγμένες σε οριζόντια επιφάνεια, το πλάτος της γραμμής πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5 χιλιοστά για χάραξη και 0,9 χιλιοστά για ανάγλυφο. Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στο ύψος των λεπτομερειών, ωστόσο η διαμόρφωσή τους στα 2 χιλιοστά θα διασφαλίσει ότι είναι καλά διακριτές.



Feature Size

Recommended Value: >1.8 mm or 4 times extrusion line width

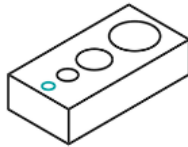
Το ελάχιστο μέγεθος χαρακτηριστικών για εκτυπωμένες δομές είναι τέσσερις φορές το πλάτος της γραμμής εξώθησης. Ένας αξιοπρεπής κανόνας για τη μοντελοποίηση είναι να μην δημιουργούνται χαρακτηριστικά μικρότερα από 1,8 χιλιοστά.



Fillets

Recommended Value: > $\varnothing 1$ mm, do not use downward facing fillets

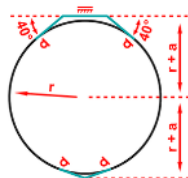
Τα “fillets” είναι μια εξαιρετική μέθοδος για την αφαίρεση αιχμηρών άκρων ή τη μείωση των συγκεντρώσεων τάσεων σε αιχμηρές γωνίες. Ωστόσο, δεν προτείνεται η μοντελοποίηση “fillets” με κατεύθυνση προς τα κάτω σε τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα. Οι λοξοτμήσεις είναι μια εξαιρετική λύση για την άμβλυνση των ακμών που βλέπουν προς τα κάτω. Τα “fillets” με κατεύθυνση προς τα κάτω δεν θα προκαλέσουν αποτυχία της εκτύπωσης, αν και η αισθητική/ποιότητα της επιφάνειας μπορεί να υποφέρει.



Hole Size

Recommended Value: > $\varnothing 2$ mm

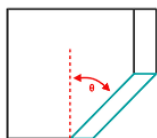
Για να διασφαλιστεί η ανάλυση, δεν συνιστάται η μοντελοποίηση οπών με διάμετρο μικρότερη από 2 χιλιοστών. Εάν απαιτείται οπή σωστού μεγέθους οποιασδήποτε διάστασης, η οπή θα πρέπει να υποδιαστασιολογηθεί και να τρυπηθεί με τη σωστή ανοχή.



Holes Horizontal

Recommended Value: $a \approx 0.3$ mm

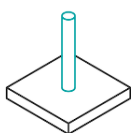
Για να εκτυπωθούν οριζόντιες οπές με καλύτερη ανοχή, συνιστάται η μοντελοποίηση πρόσθετων χαρακτηριστικά στην εικόνα όπου η απόσταση μετατόπισης a , είναι το ύψος στρώματος της εκτύπωσης. Εάν χρησιμοποιείται μικρό ύψος στρώματος, όπως 100μm, θα πρέπει να ορισθεί $2*a$. Αυτό θα προσαρμοστεί για τυχόν πτώση που θα εμφανιστεί στα τμήματα απότομης προεξοχής των εκτυπωμένων οριζόντιων οπών και την "ισοπέδωση" του πυθμένα των οπών λόγω της διαδικασίας στοιβαγμένων στρωμάτων.



Overhangs

Recommended Value: < 50°

Συνιστάται να αποφεύγεται η εκτύπωση μη υποστηριζόμενων προεξοχών υπό γωνία μικρότερη από 50 μοίρες, ώστε να αποφεύγεται η χαλάρωση ή το κατσάρωμα των στρώσεων (μετρούμενη από τον κατακόρυφο άξονα προς τα κάτω). Η ποιότητα μιας προεξοχής μπορεί επίσης να εξαρτάται από το υλικό, επομένως ορισμένα υλικά μπορεί να απαιτούν στήριξη σε χαμηλότερες γωνίες από άλλα.



Pins

Recommended Value: > $\varnothing 1.8$ mm (4 times extrusion line width)

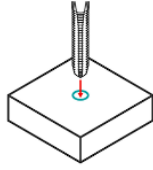
Για την ακριβή επίλυση των ακίδων, η διάμετρός τους πρέπει να είναι τουλάχιστον τετραπλάσια του πλάτους της γραμμής εξώθησης, ώστε να διασφαλίζεται ότι εκτυπώνονται τουλάχιστον δύο ολόκληρες περιμέτρους - το 1,8 mm είναι ένας δίκαιος κανόνας. Εάν το μοντέλο απαιτεί λειτουργικές ακίδες, μπορεί να είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν ακίδες του εμπορίου και να προσαρμοστούν οπές και στις δύο πλευρές της σύνδεσης.



Threads Modeled

Recommended Value: > M5 or UNC #10

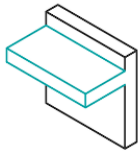
Τα μοντελοποιημένα σπειρώματα μπορούν να εκτυπωθούν επιτυχώς σε τρισδιάστατη μορφή για μεγαλύτερες διαμέτρους σπειρωμάτων. Δεν προτείνεται ο σχεδιασμός σπειρωμάτων μικρότερων από M5 ή UNC #10 για βέλτιστη απόδοση. Η προσθήκη σπειρωμάτων μικρότερων από M5 ή UNC #10 απαιτεί διαδικασίες μετεπεξεργασίας με έναν σπειρότομο ή ένθετα με σπείρωμα εγκαθίστανται με την βοήθεια της θερμότητας.



Threads Post-Process

Recommended Value: Tap: 90%, Self-Tap: 96%, Insert: 98%

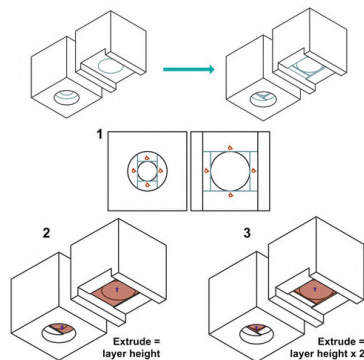
Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι μετεπεξεργασίας για την προσθήκη σπειρωμάτων. Ο κοχλίας μπορεί να βιδωθεί απευθείας σε οπή με σπείρωμα, οπότε το μέγεθος της οπής θα πρέπει να είναι 90% της διαμέτρου του σπειρώματος. Οι "self-tapping" κοχλίες μπορούν να εισαχθούν σε τρύπες χωρίς σπείρωμα, οπότε η τρύπα θα πρέπει να έχει μέγεθος 96% της διαμέτρου του σπειρώματος. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμοσκληρυνόμενα ένθετα- σε αυτή την περίπτωση, διαμορφώστε την οπή στο 98% της εξωτερικής διαμέτρου του ενθέτου.



Unsupported Edges

Recommended Value: < 0.9 mm (2 times extrusion line width)

Ένας αξιοπρεπής κανόνας είναι να αποφευχθεί η εκτύπωση μη υποστηριζόμενων οριζόντιων δομών με πλάτος μεγαλύτερο από δύο πλάτη γραμμής εξώθησης ή 0,91 χιλιοστά. Οι μεγαλύτερες μη υποστηριζόμενες ακμές είναι απίθανο να οδηγήσουν σε αποτυχίες εκτύπωσης, αλλά θα προκαλέσουν σοβαρά αισθητικά προβλήματα. Εάν οι δομές είναι απαραίτητες για το μοντέλο, μπορούν να εκτυπωθούν προσαρμόζοντας τον προσανατολισμό εκτύπωσης και/ή ενεργοποιώντας τα στηρίγματα.



Unsupported Holes

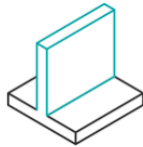
Recommended Value: Extrude 1 = layer height,

Extrude 2 = layer height x 2

Οι οπές μέσα από γέφυρες στήριξης δεν μπορούν να εκτυπωθούν ικανοποιητικά χωρίς ειδικές σχεδιαστικές σκέψεις. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση τέτοιων οπών χωρίς την ανάγκη πρότυπων στηρίξεων.

- Όταν σχεδιαστεί το εξάρτημα, πρέπει να εξαχθούν δύο εφαπτόμενα ορθογώνια στην οπή.

- Η αρχική εξώθηση πρέπει να είναι τόσο παχιά όσο το προβλεπόμενο ύψος στρώματος (0.15 - 0.2 mm).
- Προαιρετικά, το ύψος της δεύτερης εξώθησης πρέπει να είναι διπλάσιο από το προβλεπόμενο ύψος στρώματος.



Wall Thickness

Recommended Value: > 0.9 mm (2 times extrusion line width)

Συνιστάται να μοντελοποιούνται τοιχώματα με πλάτος τουλάχιστον δύο τοιχωμάτων, το οποίο είναι συνήθως 0,9 χιλιοστών. Τα λεπτότερα τοιχώματα ενδέχεται να έχουν δυσκολίες εκτύπωσης και δεν θα είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά. Οι περιμέτροι είναι η κύρια πηγή αντοχής σε ένα τρισδιάστατα εκτυπωμένο αντικείμενο, οπότε αν η αντοχή είναι απαραίτητη, συνιστάται τα τοιχώματα να έχουν τουλάχιστον διπλάσιο πάχος από τις περιμέτρους. Η αύξηση των περιμέτρων θα απαιτήσει τροποποιήσεις μοντελοποίησης και "slicing".³

³ [Design Rules for FFF 3D Printing](#)

4.2 Υλοποίηση & συναρμολόγηση εξαρτημάτων εξωτερικού περιβλήματος κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

Καλό θα ήταν να αναφερθεί ότι κατά την ολοκλήρωση του “CAD” σχεδιασμού θα πρέπει να εξαχθεί το αρχείο σε μορφή αναγνωρίσιμη από το καρτεσιανό ρομπότ. Υπάρχουν δυο μορφές αρχείων αποθήκευσης πληροφοριών συμβατών με τους τρισδιάστατους εκτυπωτές:

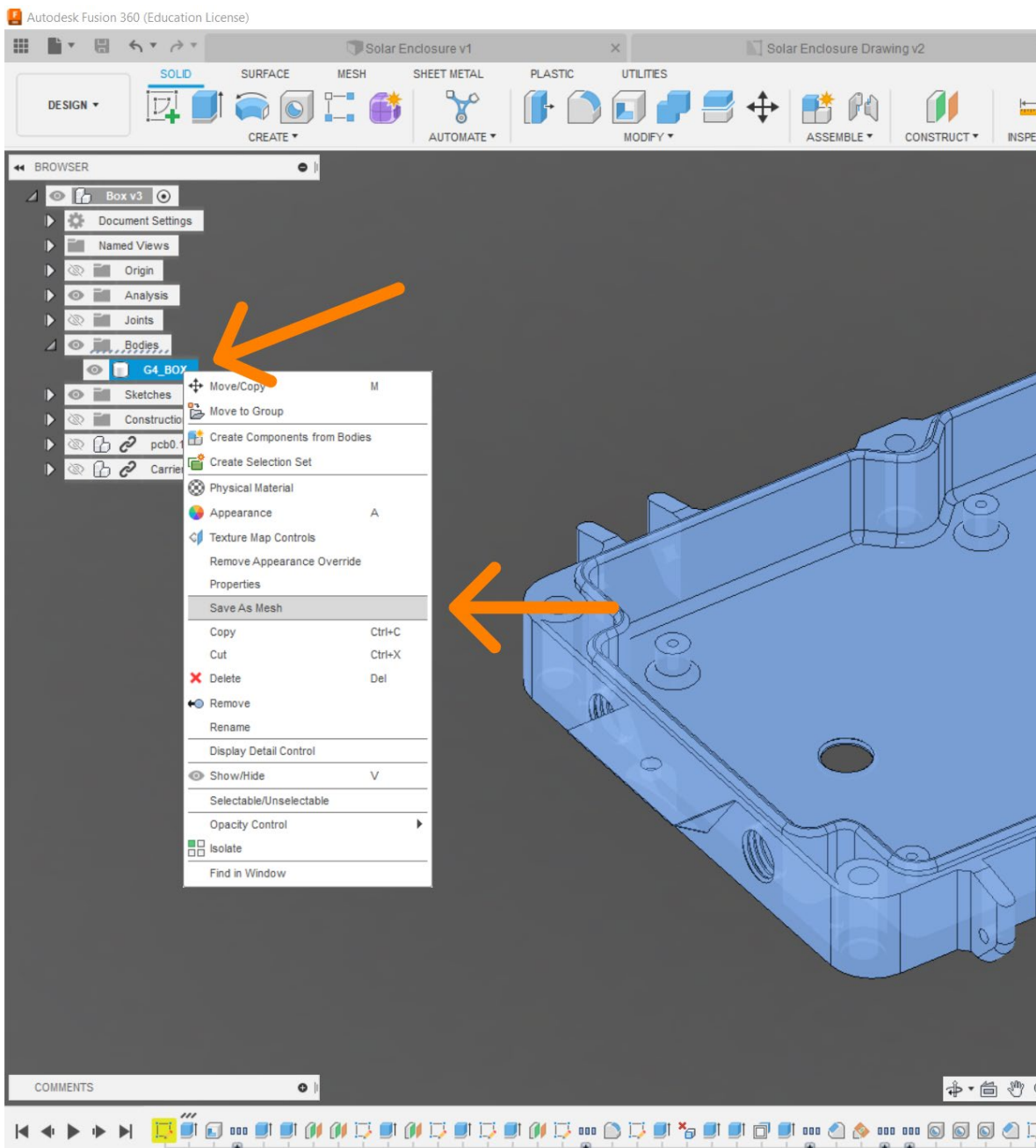
Το 3D manufacturing format (3MF) είναι μια υποστηριζόμενη από τη βιομηχανία μορφή αρχείου που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι εφαρμογές σχεδιασμού για να στείλουν μοντέλα 3D CAD πλήρους πιστότητας σε ένα συνονθύλευμα άλλων εφαρμογών, πλατφορμών, υπηρεσιών και εκτυπωτών. Με την προδιαγραφή 3MF, οι εταιρείες μπορούν να επικεντρωθούν στην καινοτομία και όχι σε βασικά ζητήματα διαλειτουργικότητας.

Το STL είναι μια μορφή αρχείου που χρησιμοποιείται συνήθως για τρισδιάστατη εκτύπωση και σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD). Το όνομα STL είναι ένα ακρωνύμιο που σημαίνει στερεολιθογραφία - μια δημοφιλής τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης. Μπορεί επίσης να την ακούσετε να αναφέρεται ως Standard Triangle Language ή Standard Tessellation Language.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλεγθεί η μορφή 3MF για την υλοποίηση των εξαρτημάτων. Αρχικά, τα αρχεία 3MF περιέχουν σημαντικά περισσότερες πληροφορίες, όπως πληροφορίες μονάδων, πληροφορίες χρώματος και υφής για εκτυπώσεις πολλαπλών στρωμάτων, σχετική θέση στο χώρο και πολλά άλλα. Τα αρχεία STL στερούνται ακόμη και μονάδων. Παρά το γεγονός ότι μεταφέρουν τόσες πολλές πληροφορίες, τα αρχεία 3MF είναι σημαντικά μικρότερα από τα αρχεία STL. Ένα STL περιέχει μόνο το τρισδιάστατο μοντέλο, το αντίστοιχο 3MF περιέχει το μοντέλο αλλά και τον προσανατολισμό του, τα στηρίγματά του, τις παραμέτρους εκτύπωσης. Έτσι, το 3MF είναι πολύ πιο πρακτικό για ανάγκες πολλαπλών επαναλήψεων.

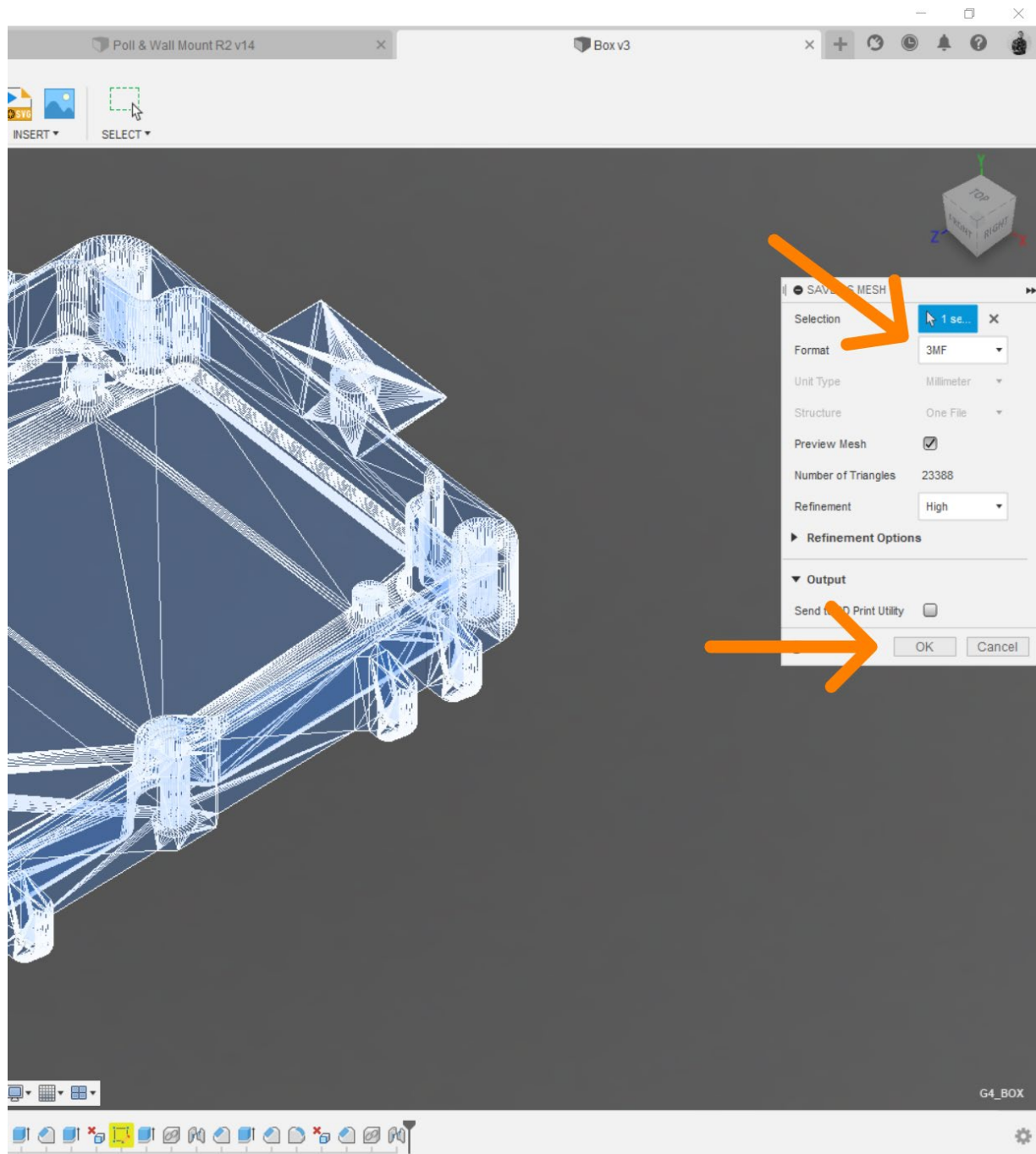
4.2.1 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_BOX σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή

Πιο συγκεκριμένα, σε περιβάλλον CAD, έχει επιλεγθεί το εξάρτημα που μας ενδιαφέρει από τον “browser” στα αριστερά της οθόνης - στην συγκεκριμένη περίπτωση το κομμάτι “Box v3” - με δεξί κλικ επιλέγεται η εντολή “save as mesh” από την λίστα (Εικ. 112).



Εικόνα 112. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

Απο το μενού στην δεξιά πλευρά της οθόνης απεικονίζονται τα 23.388 τρίγωνα που υλοποιήθηκαν κατα την προετοιμασία εξαγωγής του εξαρτήματος σε μορφή 3MF. Τέλος, το εξάγεται πατώντας την εντολή “OK” (Εικ. 113).

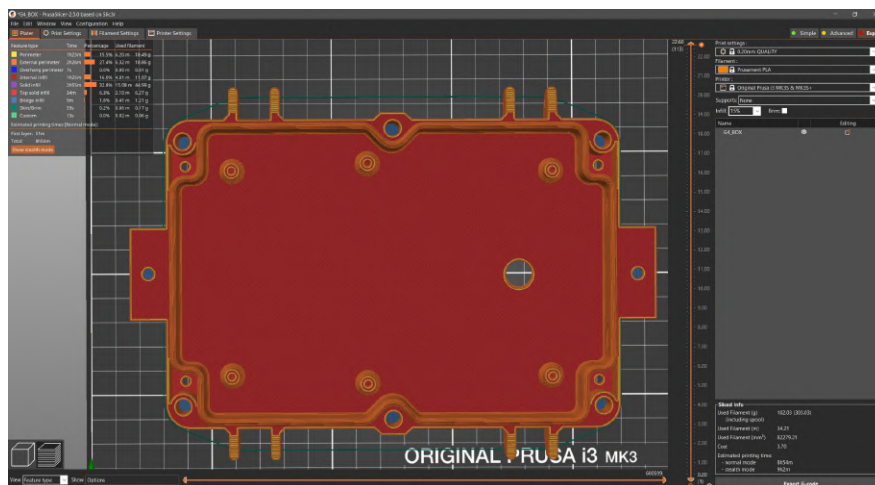


Εικόνα 113. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

Για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής Prusa i3 MK3S+ και το “slicing” των μοντέλων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Prusa Slicer 2.5.0. Το νήμα που χρησιμοποιήθηκε είναι απο πλαστικό σύστασης PETG, χρώματος PC grey επωνυμίας Devil Design.

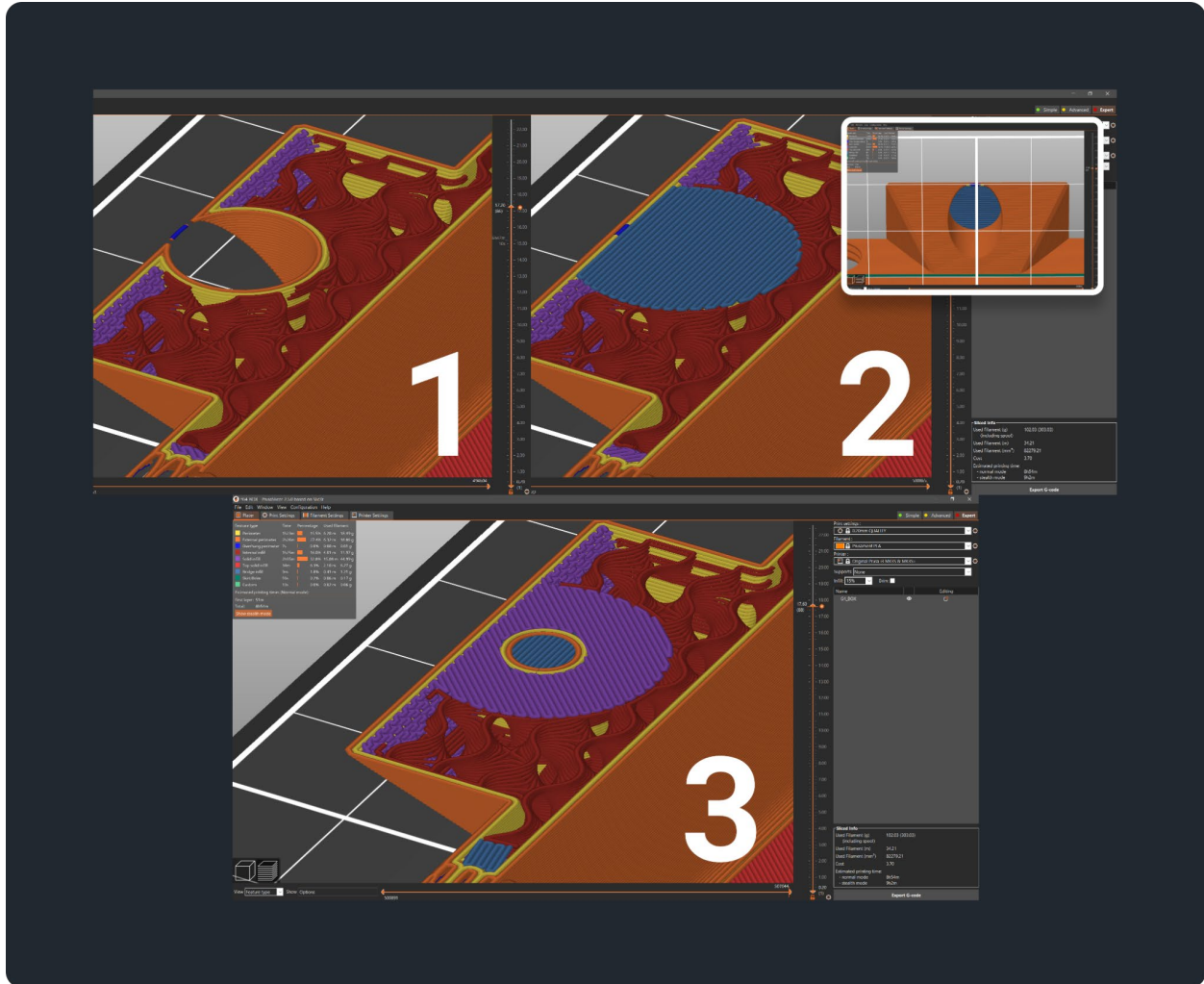
Για την εκτύπωση του μοντέλου “G4_BOX” ορίσθηκαν οι ρυθμίσεις:

Printing Quality	.20mm
Infill	15% Adaptive cubic
Supports	No
Perimeters	2
Bottom layers/height of layer	4/.50mm
Top layers/height of layer	6/.70mm
Nozzle temperature	first layer: 240°C Other layers: 250°C
Heatbed temperature	First layer: 85°C Other layers: 90°C
Estimated printing time	8h 54m
Used filament	104.48g 34.20m
Cost	3.79\$



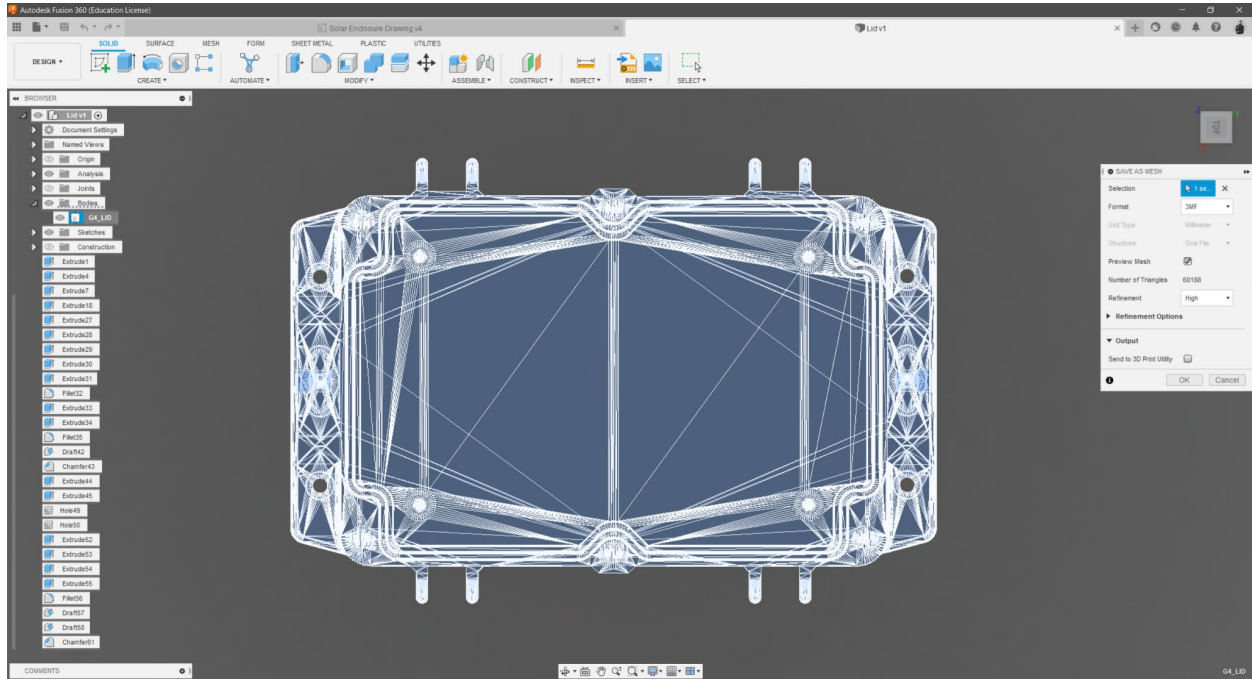
Εικόνα 114. Παράδειγμα απεικόνισης μοντέλου G4_BOX σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

Αναγκαία κρίνεται σε αυτό το σημείο η αναφορά σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της εκτύπωσης. Κατα το “slicing” στη στρώση 86 σε ύψος 17.20 χιλιοστών παρατηρείται μια λεπτή στρώση υλικού στο τμήμα της εκτύπωσης μιας οπής που “χτίζεται” στον αέρα. Αυτό το λεπτό στρώμα υλικού δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες για την εναπόθεση υλικού στα μελλοντικά στρώματα και αποσκοπεί στην αποφυγή της χρήσης υποστηριγμάτων (Εικ. 115).



Εικόνα 115. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G4_BOX σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

4.2.2 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_LID σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή

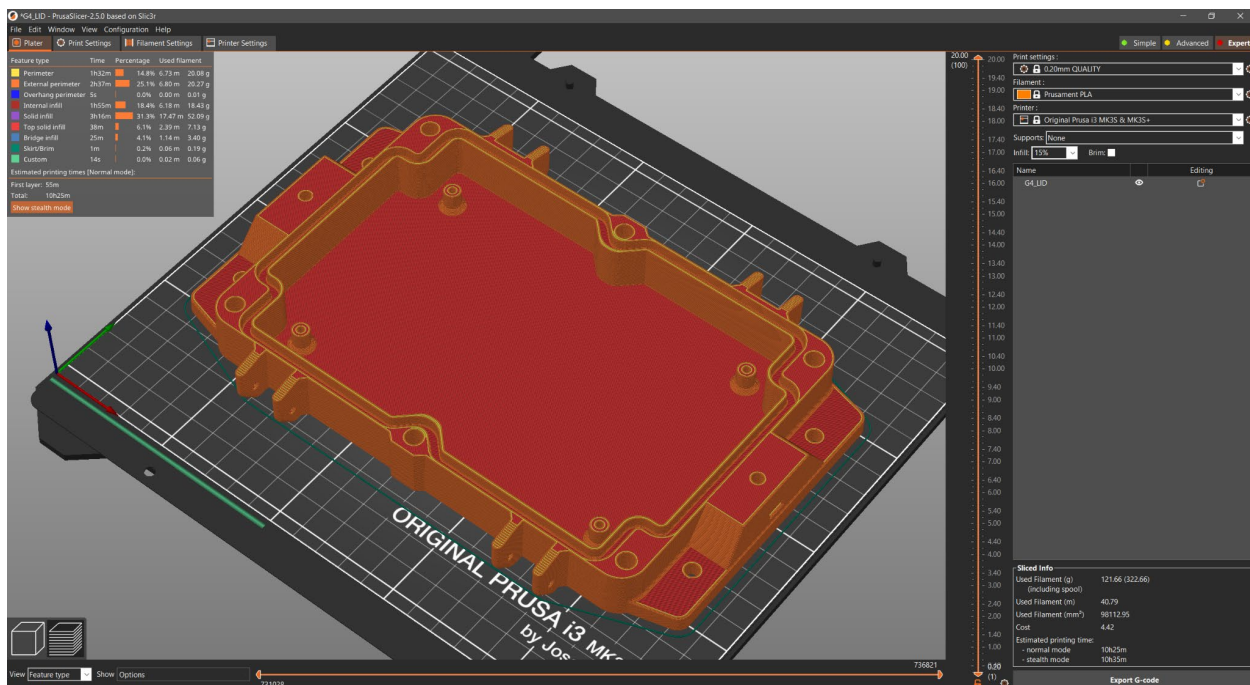


Εικόνα 116. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

Για την εκτύπωση του μοντέλου “G4_BOX” ορίστηκαν οι ρυθμίσεις:

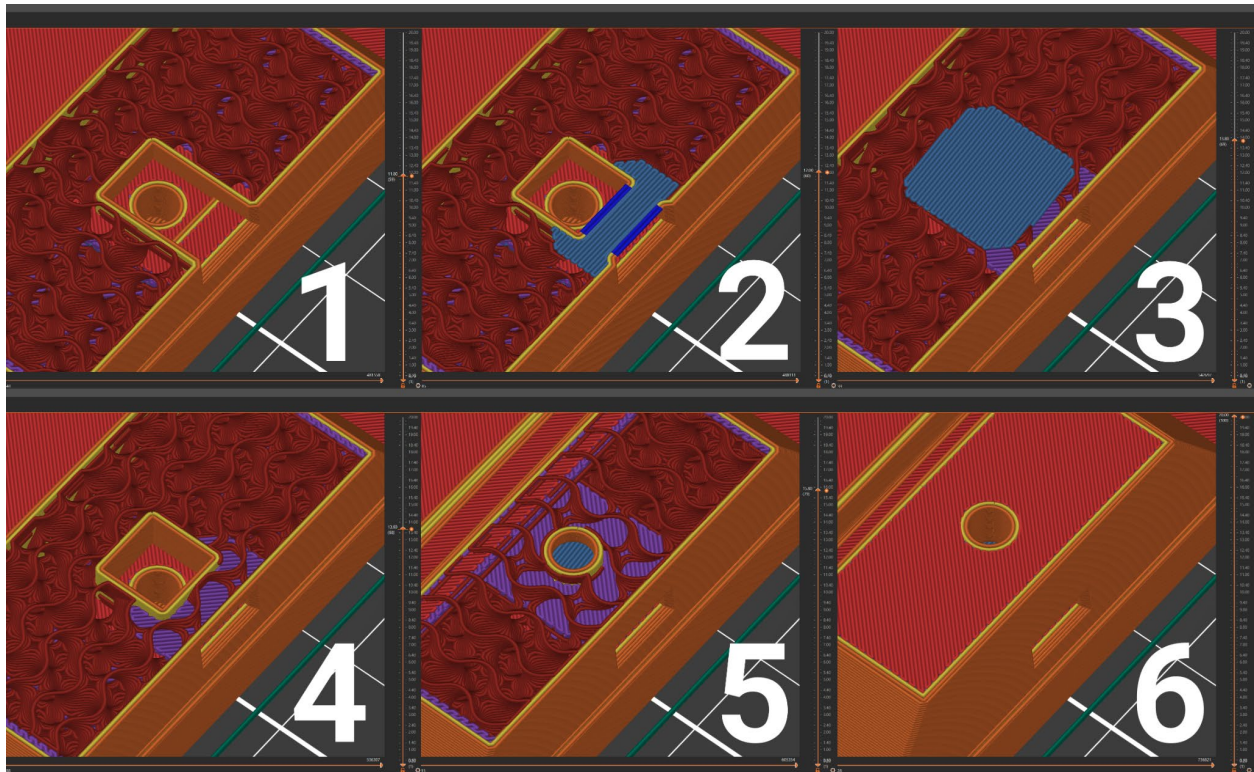
Printing Quality	.20mm
Infill	15% Adaptive cubic
Supports	No
Perimeters	2
Bottom layers/height of layer	4/.50mm
Top layers/height of layer	6/.70mm
Nozzle temperature	first layer: 240°C Other layers: 250°C
Heatbed temperature	First layer: 85°C Other layers: 90°C

Estimated printing time	10h 23m
Used filament	124.60g 40.79m
Cost	4.52\$



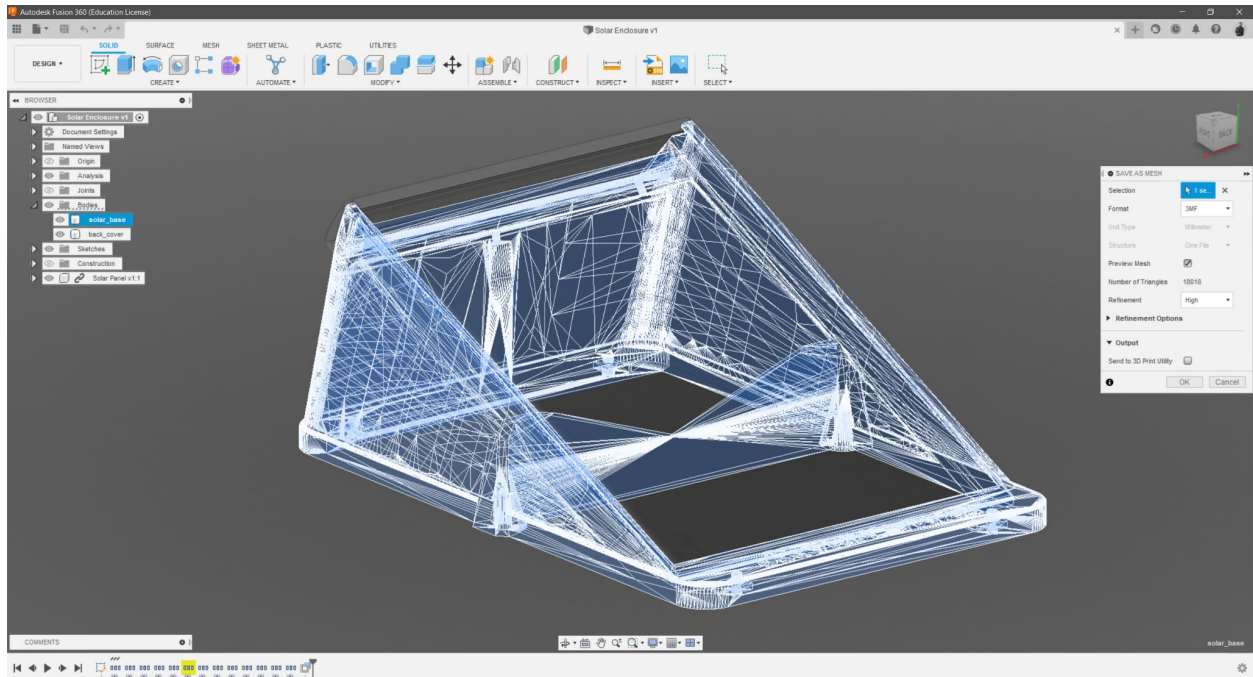
Εικόνα 117. Παράδειγμα απεικόνισης μοντέλου G4_LID σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

Αναγκαία κρίνεται σε αυτό το σημείο η αναφορά σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της εκτύπωσης. Κατά το “slicing” στη στρώση 59 σε ύψος 11.80 χιλιοστών παρατηρείται μια λεπτή στρώση υλικού στο τμήμα της εκτύπωσης μιας οπής που “χτίζεται” στον αέρα. Αυτό το λεπτό στρώμα υλικού δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες για την εναπόθεση υλικού στα μελλοντικά στρώματα και αποσκοπεί στην αποφυγή της χρήσης υποστηριγμάτων (Εικ. 117).



Εικόνα 118. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G4_LID σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

4.2.3 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_SOLAR_BASE σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή

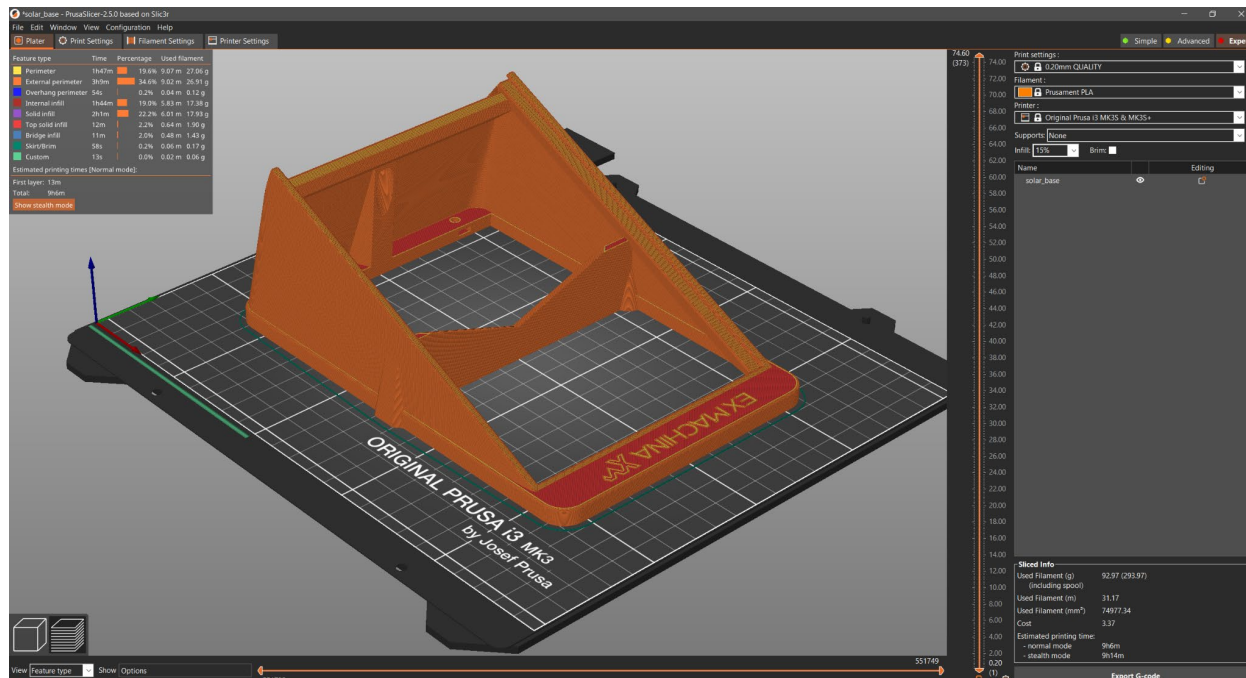


Εικόνα 119. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

Για την εκτύπωση του μοντέλου “G4_SOLAR_BASE” ορίστηκαν οι ρυθμίσεις:

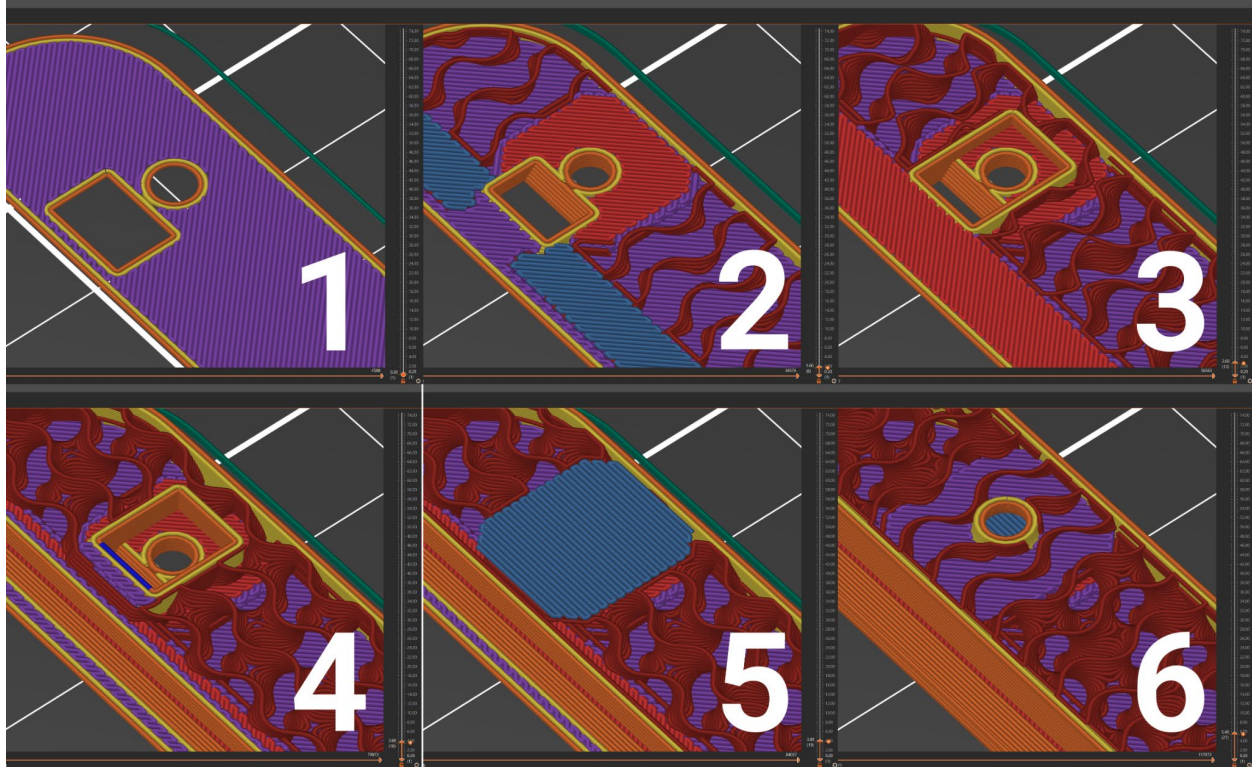
Printing Quality	.20mm
Infill	15% Adaptive cubic
Supports	No
Perimeters	2
Bottom layers/height of layer	4/.50mm
Top layers/height of layer	6/.70mm
Nozzle temperature	first layer: 240°C Other layers: 250°C
Heatbed temperature	First layer: 85°C Other layers: 90°C

Estimated printing time	9h 06m
Used filament	92.97g 31.17m
Cost	3.37\$



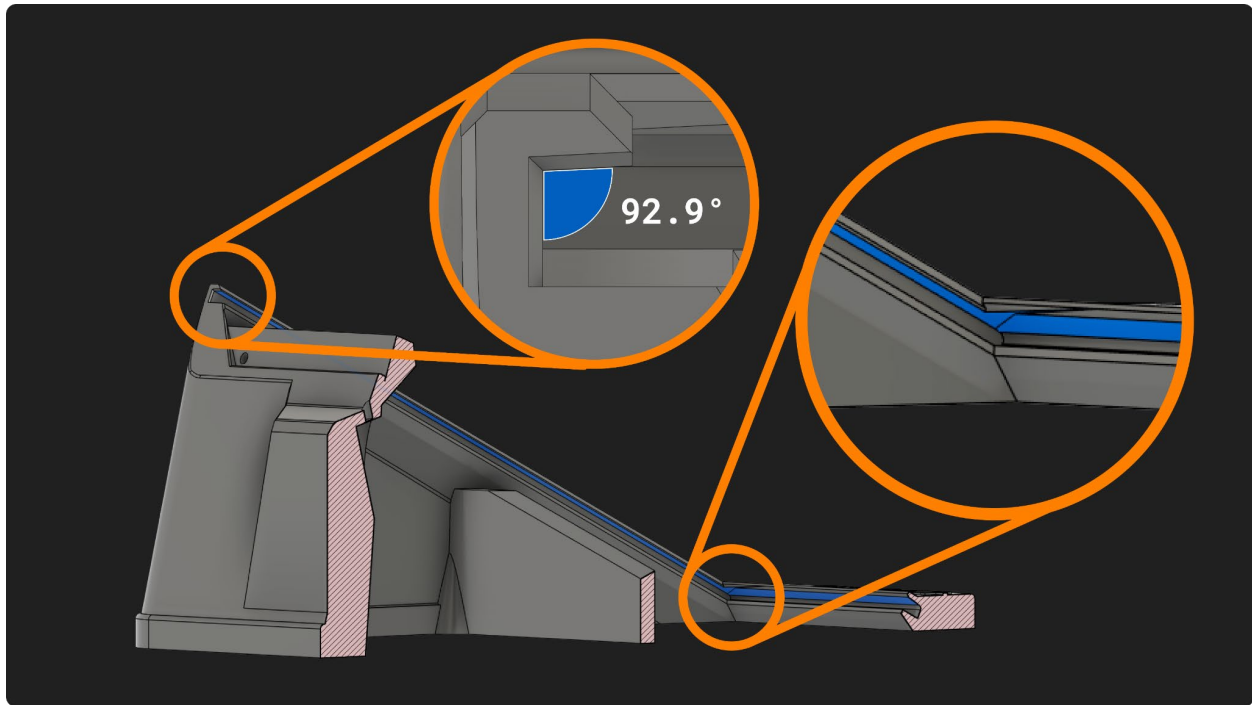
Εικόνα 120. Παράδειγμα απεικόνισης μοντέλου G4_SOLAR_BASE σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

Αναγκαία κρίνεται σε αυτό το σημείο η αναφορά σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της εκτύπωσης. Κατά το “slicing” στη στρώση 19 σε ύψος 3.80 χιλιοστών παρατηρείται μια λεπτή στρώση υλικού στο τμήμα της εκτύπωσης μιας οπής που “χτίζεται” στον αέρα. Αυτό το λεπτό στρώμα υλικού δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες για την εναπόθεση υλικού στα μελλοντικά στρώματα και αποσκοπεί στην αποφυγή της χρήσης υποστηριγμάτων (Εικ. 121).



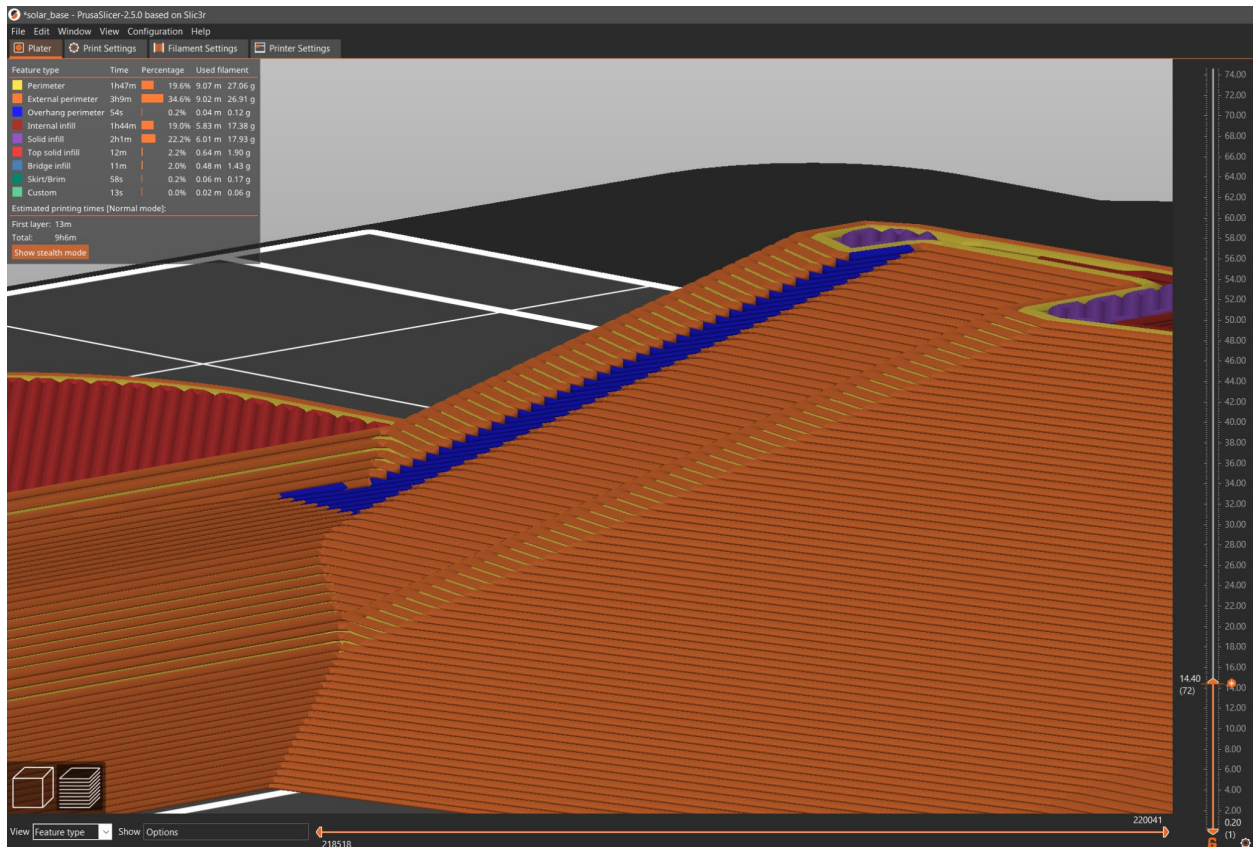
Εικόνα 121. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G4_SOLAR_BASE σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

Στη εικόνα 122 που ακολουθεί είναι εμφανής μια έντονα μπλε περιοχή της περιμέτρου του μηχανισμού στήριξης του ηλιακού συσσωρευτή. Σύμφωνα με το λογισμικό Prusa Slicer 2.5.0, το μπλε χρώμα υποδηλώνεται πιθανή αποτυχία ή η μη αξιόπιστη εκτύπωση. Αυτό συμβαίνει γιατί το λογισμικό δηλώνει πως το συγκριμένο τμήμα “βρίσκεται στον αέρα” και θα χρειαστεί την βοήθεια υποστηριγμάτων για την κατασκευή του. Η τοποθέτηση υποστηριγμάτων δεν είναι εφικτή στο συγκριμένο σημείο επειδή ο χώρος είναι περιορισμένος και η ποιότητα εκτύπωσης θα αλλοιωθεί, γεγονός που θα οδηγήσει και σε λειτουργικό πρόβλημα διότι τα υποστηρίγματα δημιουργούν υπολείμματα κατα την αφαίρεσή τους που καθιστούν το μοντέλο, ακατάλληλο για χρήση. Η βάση στήριξης του ηλιακού πάνελ σχεδιάστηκε στις 25 μοίρες για να μεγιστοποιηθεί η κατανομή της ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Αυτός ο σχεδιασμός δημιουργεί το φαινόμενο του overhanging λόγω της κλίσης του μοντέλου σε < 50 μοίρες για την εσωτερική γωνιά του μηχανισμού στήριξης του ηλιακού πάνελ (βλ.Overhangs σελ.137). Εμβαθύνοντας, ο μηχανισμός στήριξης του ηλιακού πάνελ είναι σχήματος “Γ” και συγκεκριμένα 92.9 μοίρες (Εικ 122).



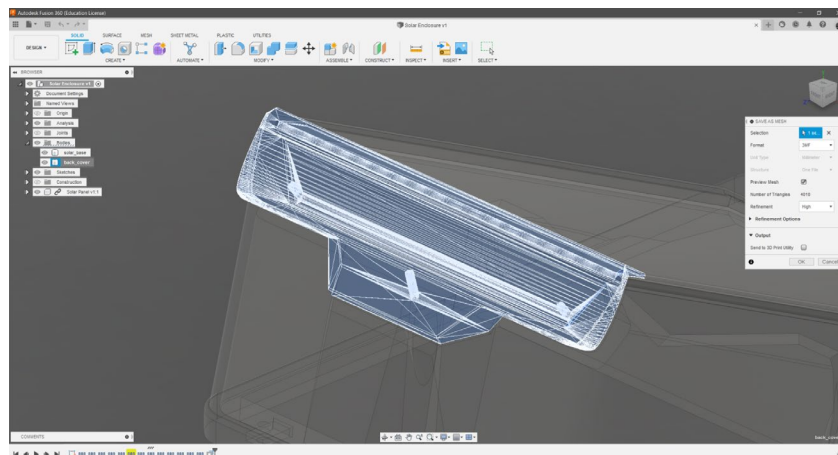
Εικόνα 122. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G4_SOLAR_BASE και ανάλυση περιορισμών εκτύπωσης

Αυτό θεωρητικά είναι μη υλοποιήσιμο λόγω βαρύτητας, ωστόσο εμπίπτει στον κανόνα του bridging που αν ένα μέρος του μοντέλου βρίσκεται στο αέρα και είναι <math><10\text{ mm}</math> μπορεί να τυπωθεί αξιόπιστα. Εν προκειμένω, το κομμάτι που μελετάται είναι 2.089 mm αρα με την σωστή ψύξη, την βοήθεια του τρόπου κατασκευής του τρισδιάστατου εκτυπωτή (layer-by-layer) και τους βασικούς κανόνες εκτύπωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, ο μηχανισμός στήριξης του ηλιακού συσσωρευτή είναι υλοποιήσιμος αξιόπιστα χωρίς την βοήθεια υποστηριγμάτων.



Εικόνα 123. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G4_SOLAR_BASE σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0 με έμφαση στα προβλήματα εκτύπωσης

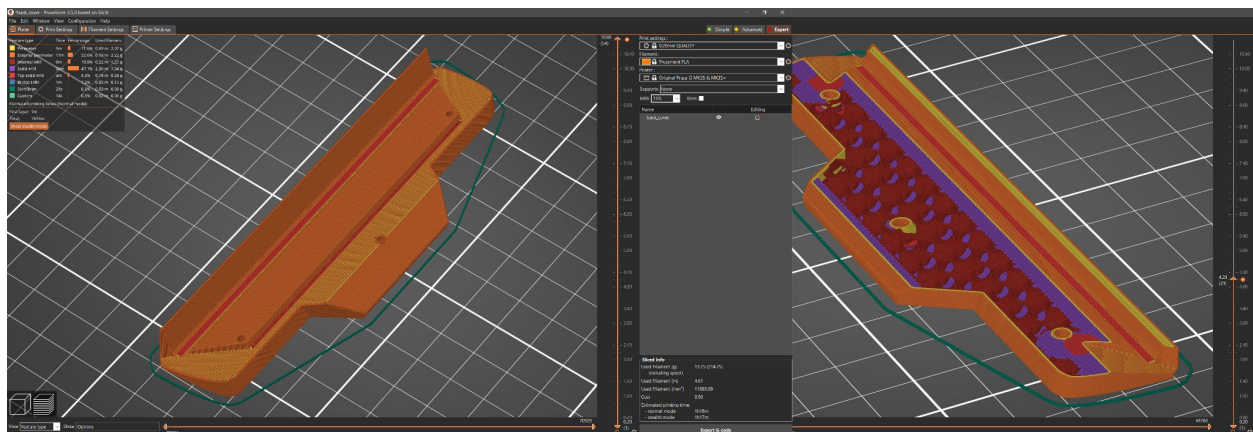
4.2.4 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_SOLAR_BACK_COVER σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή



Εικόνα 124. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

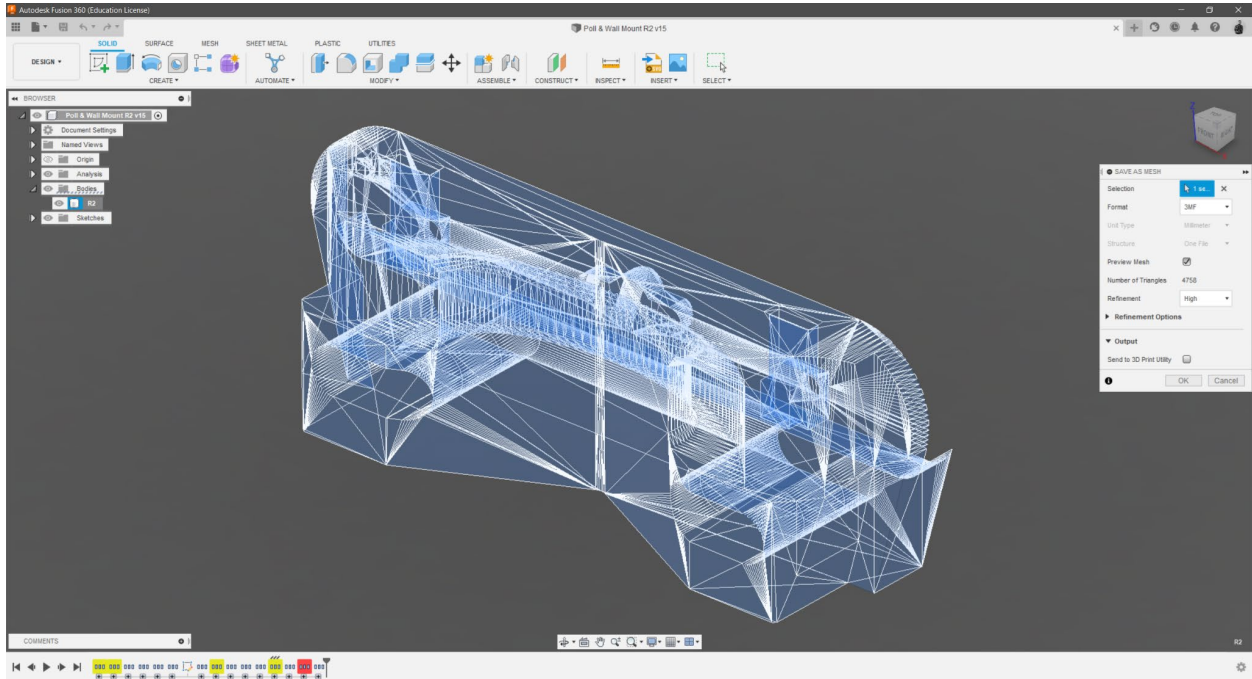
Για την εκτύπωση του μοντέλου “G4_SOLAR_BACK_COVER” ορίσθηκαν οι ρυθμίσεις:

Printing Quality	.20mm
Infill	15% Adaptive cubic
Supports	No
Perimeters	2
Bottom layers/height of layer	4/.50mm
Top layers/height of layer	6/.70mm
Nozzle temperature	first layer: 240°C Other layers: 250°C
Heatbed temperature	First layer: 85°C Other layers: 90°C
Estimated printing time	1h 16m
Used filament	14.80g 4.64m
Cost	0.51\$



Εικόνα 125. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G4_SOLAR_BACK_COVER σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

4.2.5 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου R2_MOUNT_BASE σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή



Εικόνα 126. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

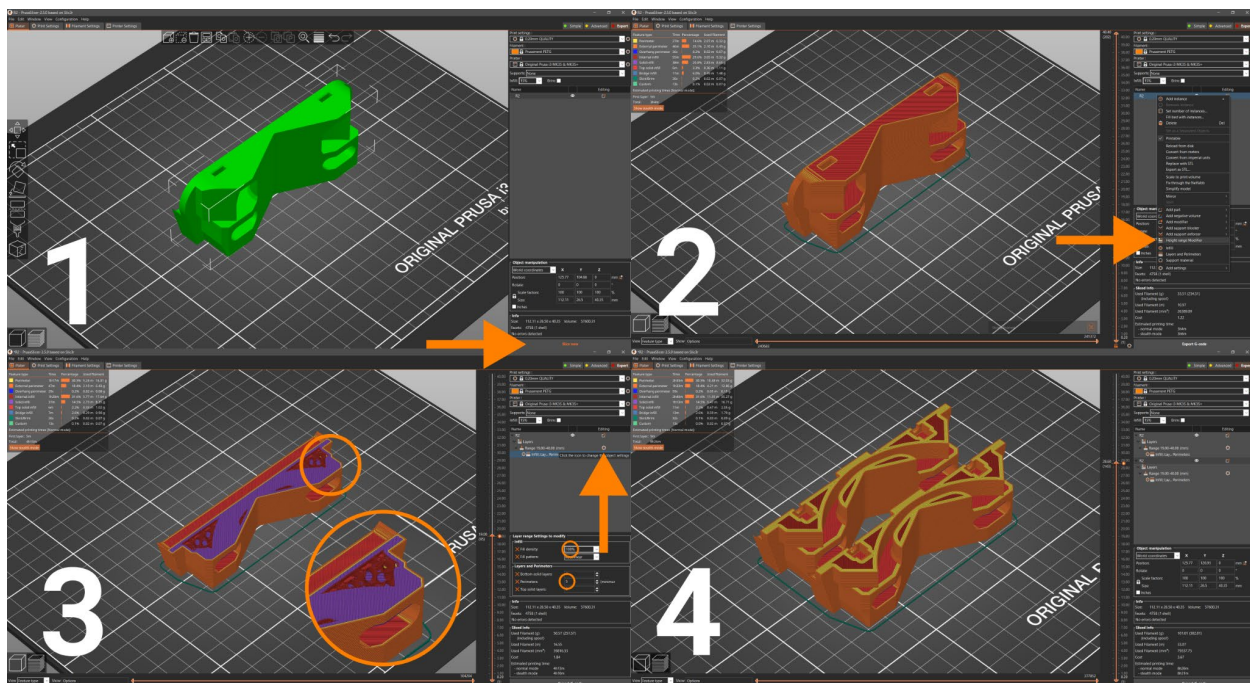
Για την εκτύπωση του μοντέλου “R2_MOUNT_BASE” ορίστηκαν οι ρυθμίσεις:

Printing Quality	.20mm
Infill	15% Adaptive cubic (0-19 layers) 100% Rectangular (19-40.40 layers)
Supports	No
Perimeters	2 (0-19 layers) 5 (19-40.40 layers)
Bottom layers/height of layer	4/.50mm
Top layers/height of layer	6/.70mm
Nozzle temperature	first layer: 240°C Other layers: 250°C

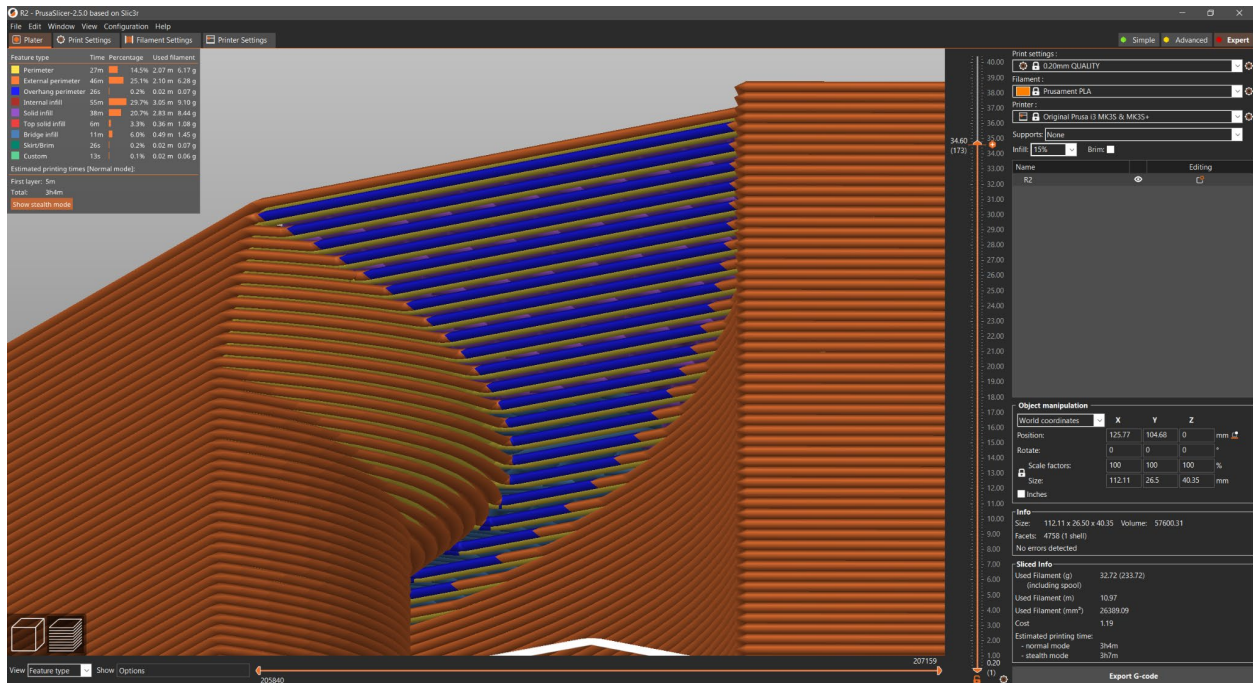
Heatbed temperature	First layer: 85°C Other layers: 90°C
Estimated printing time	8h 26m (2 pieces)
Used filament	101.01g (2 pieces) 33.07m (2 pieces)
Cost	3.67\$ (2 pieces)

Αναγκαία κρίνεται σε αυτό το σημείο η αναφορά σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της εκτύπωσης. Κατά το “slicing” στη στρώση 19.20 σε ύψος 96 χιλιοστών παρατηρείται μια αλλαγή στην ενίσχυση του μοντέλου για την αποφυγή θραύσης κατά την εγκατάσταση. Οι περιμέτροι του μοντέλου - που ευθύνονται κατά κύριο λόγο για την ανθεκτικότητά του - ανέρχονται από τους 2 σε 5 και το υλικό πλήρωσης στο εσωτερικό του ενισχύεται από 15% σε 100% (Εικ. 127)

Στην περίπτωση της εικόνας 127, για να υλοποιηθεί αξιόπιστα η εκτύπωση, ακολουθήθηκε η συλλογιστική περιορισμών και κατασκευής του κεφαλιού 4.2.4.

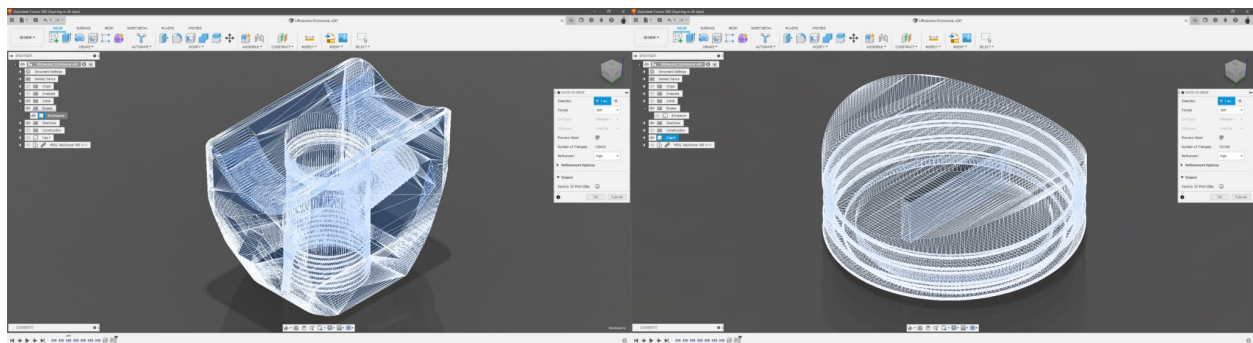


Εικόνα 127. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου R2_MOUNT_BASE σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0 με έμφαση στις ιδιότητες ενίσχυσης του μοντέλου



Εικόνα 128. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου R2_MOUNT_BASE σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0 με έμφαση στα προβλήματα εκτύπωσης

4.2.6 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G2_MAXBOTIX_ENCLOSURE και G2_MAXBOTIX_CAP σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή

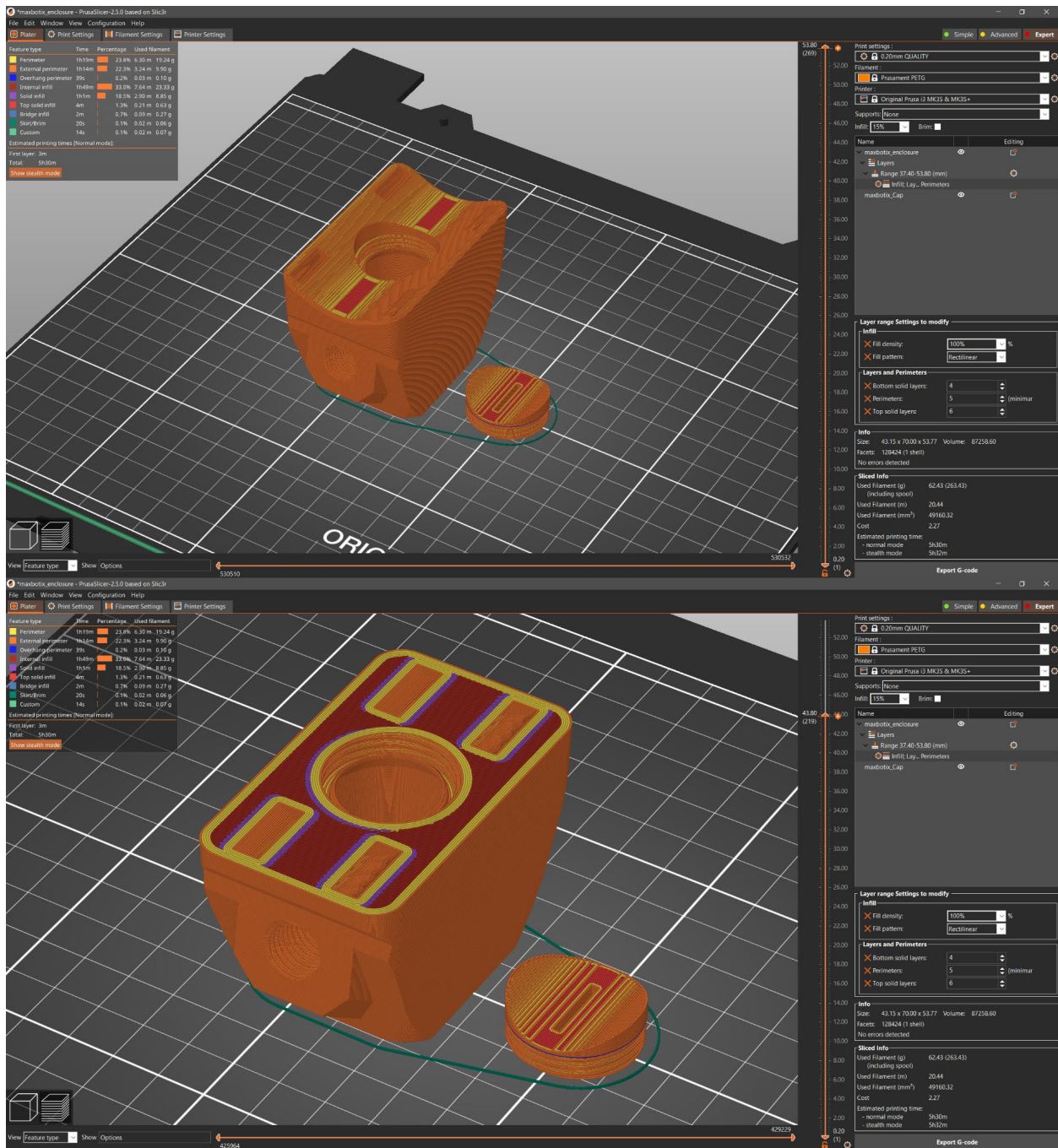


Εικόνα 129. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

Για την εκτύπωση του μοντέλου “G2_MAXBOTIX_ENCLOSURE και G2_MAXBOTIX_CAP” ορίστηκαν οι ρυθμίσεις:

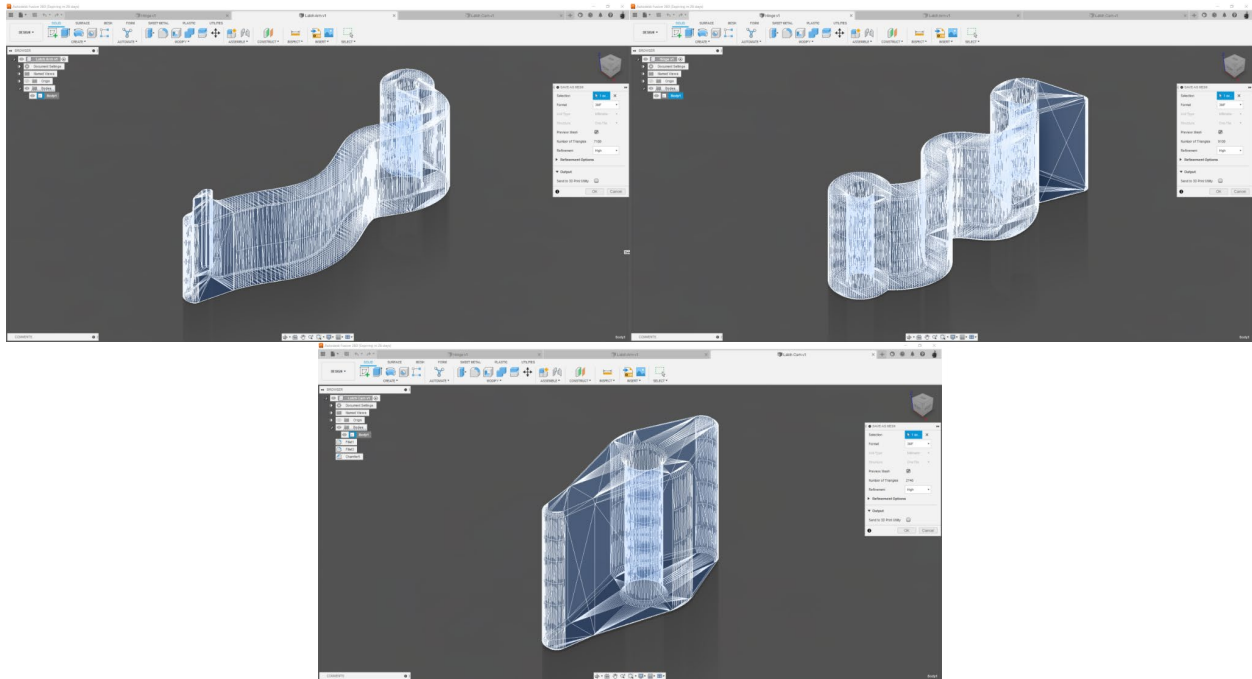
Printing Quality	.20mm
Infill	15% Adaptive cubic (0-37.40 layers) 100% Rectangular (37.40-53.80 layers)
Supports	No
Perimeters	2 (0-37.40 layers) 5 (37.40-53.80 layers)
Bottom layers/height of layer	4/.50mm
Top layers/height of layer	6/.70mm
Nozzle temperature	first layer: 240°C Other layers: 250°C
Heatbed temperature	First layer: 85°C Other layers: 90°C
Estimated printing time	5h 30m (2 pieces)
Used filament	62.43g (2 pieces) 20.44m (2 pieces)
Cost	2.27\$ (2 pieces)

Αναγκαία κρίνεται σε αυτό το σημείο η αναφορά σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της εκτύπωσης. Κατα το “slicing” στη στρώση 37.40 σε ύψος 182 χιλιοστών παρατηρείται μια αλλαγή στην ενίσχυση των μοντέλων για την αποφυγή θραύσης κατά την εγκατάσταση. Οι περίμετροι των μοντέλων - που ευθύνονται κατά κύριο λόγο για την ανθεκτικότητά τους - ανέρχονται απο τους 2 σε 5 και το υλικό πλήρωσης στο εσωτερικό του ενισχύεται απο 15% σε 100% (Εικ. 130)



Εικόνα 130. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G2_MAXBOTIX_ENCLOSURE και G2_MAXBOTIX_CAP σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0 με έμφαση στις ιδιότητες ενίσχυσης των μοντέλων

4.2.7 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου G4_HINGE, G4_LATCH_ARM, G4_LATCH_CAM σε περιβάλλον FFF εκτυπωτή

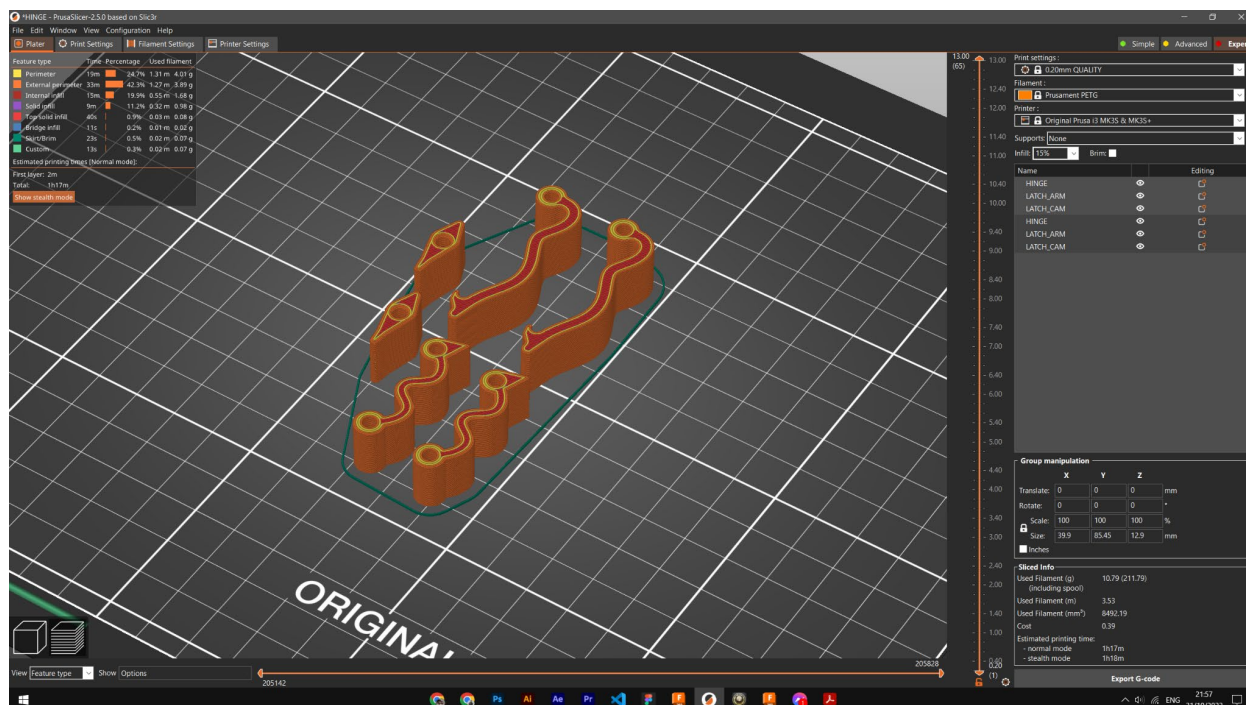


Εικόνα 131. Απεικόνιση τρόπου εξαγωγής μοντέλου σε 3MF μορφή

Για την εκτύπωση του μοντέλου “G4_HINGE, G4_LATCH_ARM, G4_LATCH_CAM” ορίσθηκαν οι ρυθμίσεις:

Printing Quality	.20mm
Infill	15% Adaptive cubic (0-37.40 layers) 100% Rectangular (37.40-53.80 layers)
Supports	No
Perimeters	2
Bottom layers/height of layer	4/.50mm
Top layers/height of layer	6/.70mm
Nozzle temperature	first layer: 240°C Other layers: 250°C
Heatbed temperature	First layer: 85°C

	Other layers: 90°C
Estimated printing time	1h 17m (6 pieces)
Used filament	10.79g (6 pieces) 3.53m (6 pieces)
Cost	0.39\$ (6 pieces)



Εικόνα 132. Λεπτομερής απεικόνιση μοντέλου G4_HINGE, G4_LATCH_ARM, G4_LATCH_CAM σε περιβάλλον Prusa slicer 2.5.0

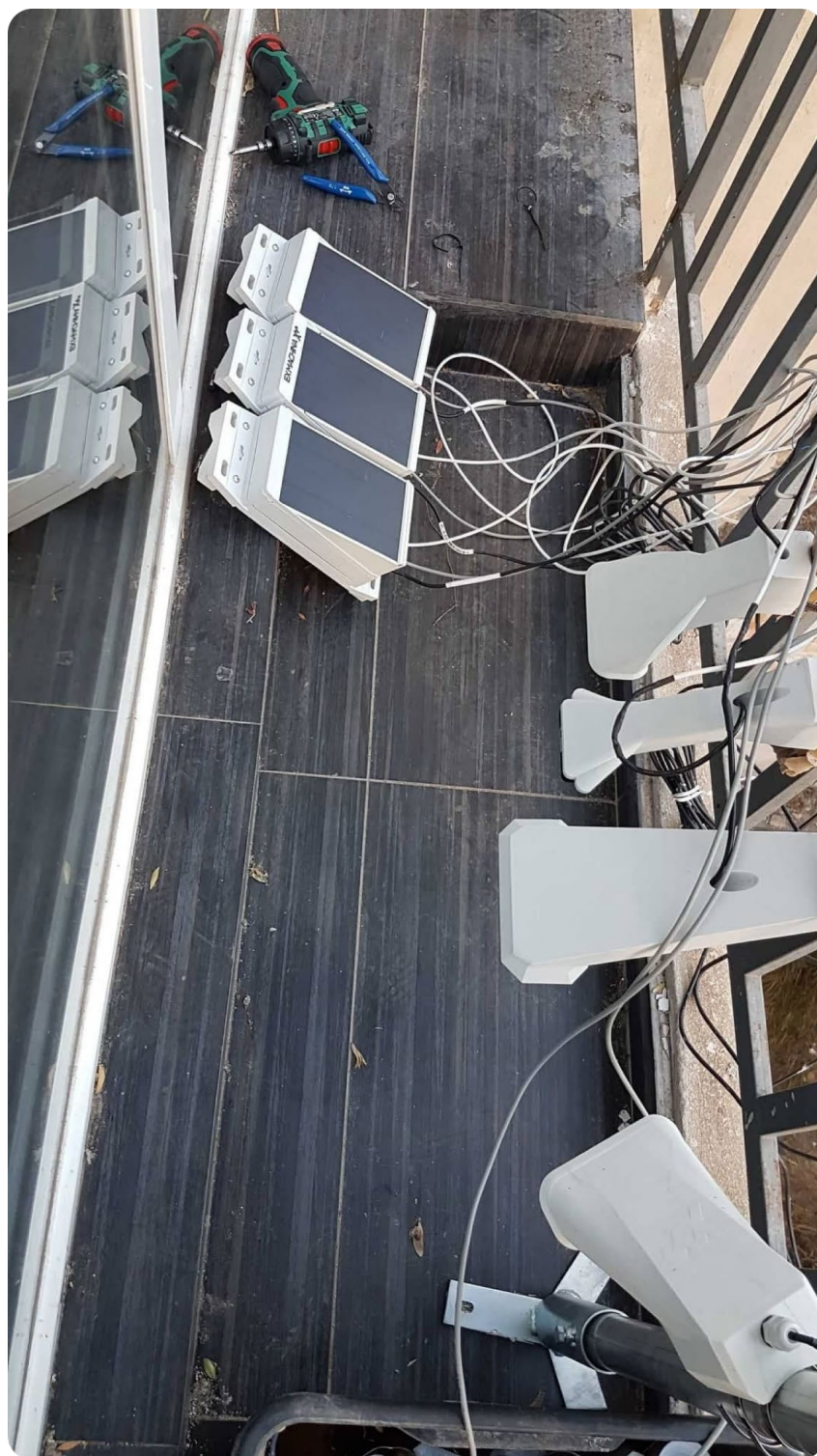
4.3 Έλεγχος ποιότητας εξαρτημάτων μέσω καταστροφικού ελέγχου - Εξομοίωση συσκευών σε πραγματικές συνθήκες

Διενεργήθηκε έλεγχος ποιότητας όλων των συσκευών σε πραγματικές εξωτερικές συνθήκες. Επίσης, πραγματοποιήθηκε καταστροφικός έλεγχος σύμφωνα με τις τιμές του κεφαλαίου 3.4.2. Παρατίθενται λεπτομερές εικόνες:



Εικ 133. Απεικόνιση περιβλήματος κόμβου ELIoT μετά απο επιτυχημένο έλεγχο αδιαβροχοποίησης

Η συσκευή καλύφθηκε πλήρως απο νερό ύψους ενός μέτρου για δώδεκα ώρες. Η χάρτινη επιφάνεια στο εσωτερικό δηλώνει την απουσία υγρού στοιχείου στο εσωτερικό του.



Εικ 134. Απεικόνιση κόμβου ELLIoT και περιφερειακών αισθητήρων σε δοκιμή προσομοίωσης σε πραγματικές συνθήκες



Εικ 135. Απεικόνιση περιβλήματος αισθητήρα στάθμης υδάτων μετά από υπερβολική φόρτιση των σφικτήρων. Παρατηρείται θραύση στα προβλεπόμενα σημεία

4.4 Εγκατάσταση υλισμικού και προετοιμασία κόμβου ELIoT για χρήση στο πεδίο

Ο κώδικας της έκδοσης τόσο των αισθητήρων όσο και της διαδικτυακής πλατφόρμας είναι δημοσιευμένοι στα δημόσια αποθετήρια⁴:

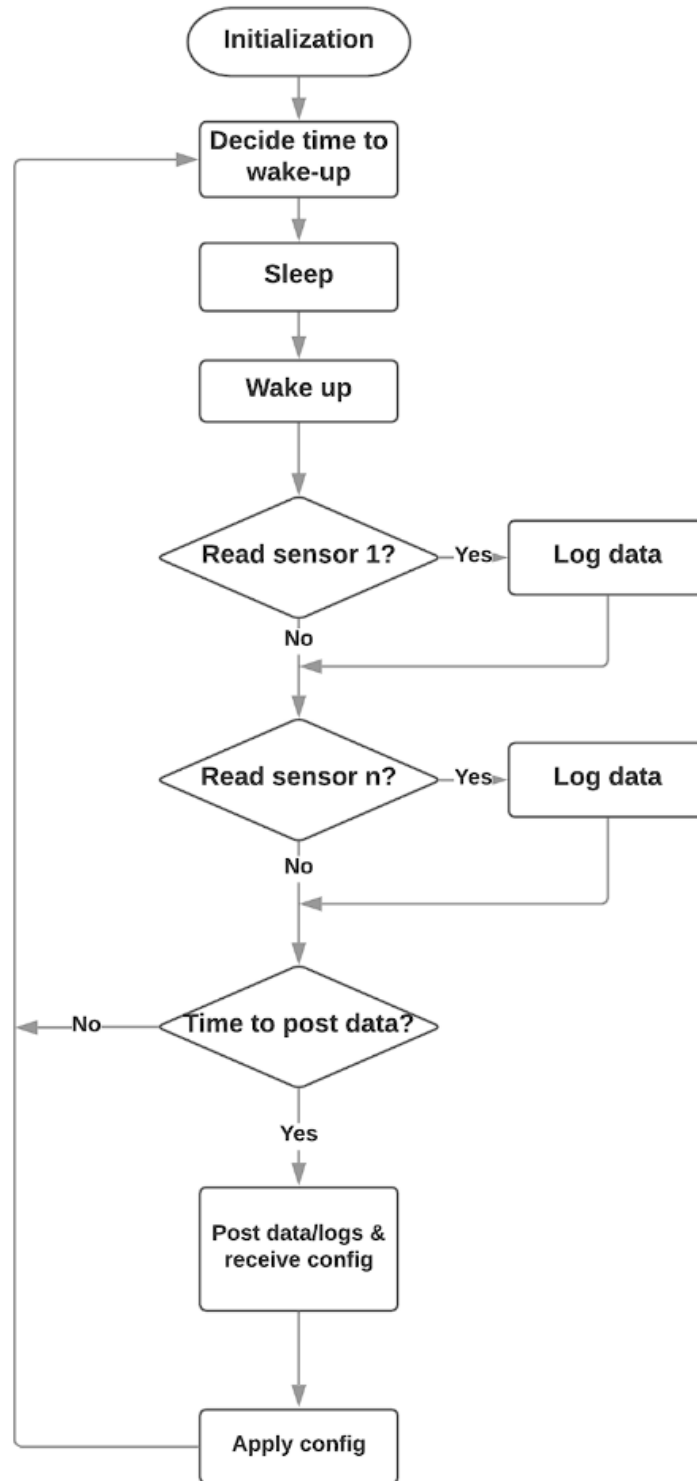
- <https://github.com/exmgr/OpenELIoT>
- <https://github.com/exmgr/exm-iot-node-firmware>

Το υλικό είναι σχεδιασμένο για την πλατφόρμα Arduino και χρησιμοποιεί μια ποικιλία ανοικτών βιβλιοθηκών για τη λειτουργία των πολλών εξαρτημάτων του και την υλοποίηση των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιεί.

Κατά την εκκίνηση, ο κόμβος αρχικοποιεί όλες τις ρυθμίσεις και προσπαθεί να συγχρονίσει τον RTC χρησιμοποιώντας GPRS (NTP). Μετά την ολοκλήρωση της εκκίνησης, ο κόμβος εισέρχεται στον κανονικό κύκλο λειτουργίας του.

Προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, ο κόμβος περνά το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου λειτουργίας του σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας και ξυπνά μόνο σύμφωνα με το πρόγραμμα αφύπνισης, το οποίο καθορίζει τα χρονικά διαστήματα στα οποία πρέπει να πραγματοποιείται η διαδικασία μέτρησης και η επικοινωνία με την πλατφόρμα. Ο χρήστης της πλατφόρμας ορίζει αυτά τα διαστήματα ξεχωριστά για κάθε διαδικασία. Μετά από κάθε αφύπνιση, προσδιορίζεται ο λόγος της αφύπνισης και εκτελείται η αντίστοιχη διεργασία (π.χ. μέτρηση αισθητήρα). Μόλις αυτές ολοκληρωθούν, υπολογίζεται ο χρόνος μέχρι την επόμενη αφύπνιση και ο κόμβος επιστρέφει σε κατάσταση ύπνου για το καθορισμένο διάστημα.

⁴ [Open ELIoT Παραδοτέα](#)



Εικ 136. Απεικόνιση λογικού διαγράμματος κύκλου λειτουργίας κόμβου ELLIoT

Σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, πραγματοποιείται επικοινωνία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας με την πλατφόρμα. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, μεταδίδονται τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες, καθώς και αρχεία καταγραφής από τη λειτουργία της συσκευής, τα οποία περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία της (μπαταρία, εσωτερική θερμοκρασία) και τυχόν προβλήματα που μπορούν να βοηθήσουν στην αποσφαλμάτωση. Σε περίπτωση αποτυχίας της μετάδοσης, τα δεδομένα αποθηκεύονται για να μεταφερθούν κατά την επόμενη επικοινωνία με την πλατφόρμα.

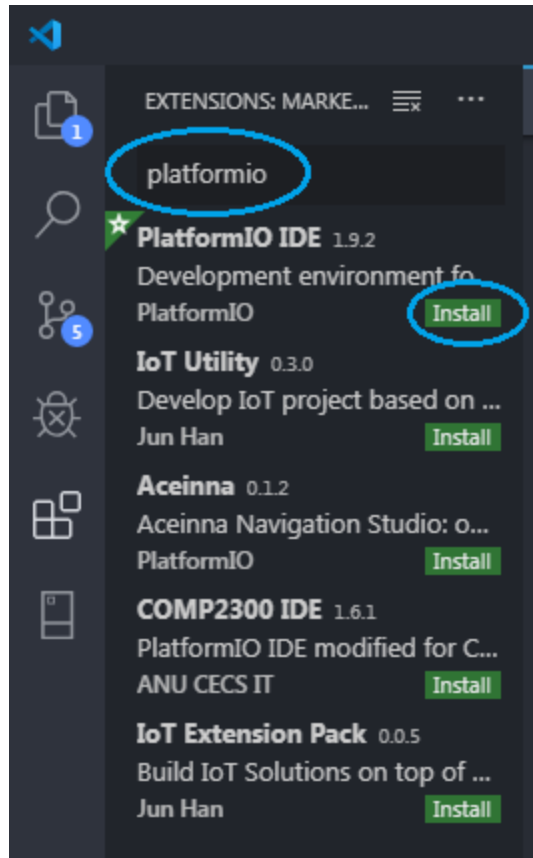
Ταυτόχρονα, λαμβάνονται δεδομένα τηλεχειρισμού από την πλατφόρμα, επιτρέποντας στον χρήστη να εκτελέσει:

- Αλλαγή των χρονικών διαστημάτων μέτρησης και μετάδοσης
- επανεκκίνηση της συσκευής
- Διάταξη της εσωτερικής μνήμης αποθήκευσης
- Απομακρυσμένη αναθεώρηση υλικού (FOTA)

4.4.1 Εγκατάσταση υλισμικού στον κόμβο ELIoT μέσω περιβάλλοντος Visual Studio Code

Για να προγραμματιστεί το υλικό, πρέπει πρώτα να μεταγλωττιστεί σε ένα δυαδικό αρχείο το οποίο στη συνέχεια εγγράφεται στη μνήμη του μικροελεγκτή. Στην προκειμένη περίπτωση, η λειτουργικότητα προγραμματισμού του μικροελεγκτή προστέθηκε στο περιβάλλον ανάπτυξης "Visual Studio Code" (ή VSCode) χρησιμοποιώντας το πρόσθετο "PlatformIO". Ο συνδυασμός αυτών των δύο προγραμμάτων ανοιχτού κώδικα αποτελεί μια τυπική μέθοδο για τη δημιουργία εφαρμογών για την πλατφόρμα Arduino και όχι μόνο.

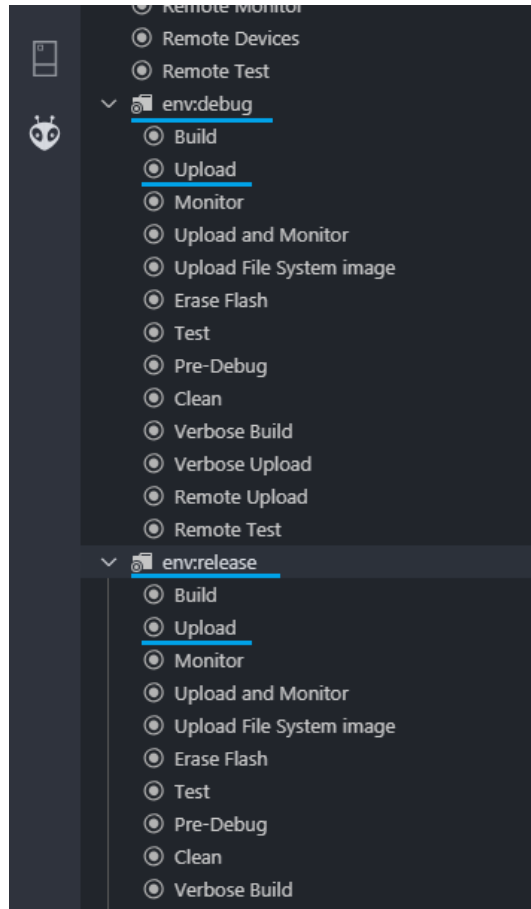
Αρχικά, το VSCode κατεβαίνει από την αρχική σελίδα της εφαρμογής (<https://code.visualstudio.com/>). Όταν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση και φορτωθεί η εφαρμογή, αναζητείται και εγκαθίσταται το "PlatformIO" μέσω της γραμμής "Extensions" (View -> Extensions).



Εικ 137. Εγκατάσταση PlatformIO IDE από τη μπάρα Extensions του VSCode

Αφού ολοκληρωθεί η εγκατάσταση, πρέπει να επανεκκινήσετε το VSCode. Αν η εγκατάσταση ήταν επιτυχής, θα εμφανιστεί ένα νέο εικονίδιο στην κύρια γραμμή εργαλείων. Εμφανίζει όλες τις προσβάσιμες εντολές για το νέο πρόσθετο, όταν το πατηθεί.

Μετά την εγκατάσταση απαιτείται επανεκκίνηση του VSCode, η οποία όταν πραγματοποιηθεί και εφόσον η εγκατάσταση ήταν επιτυχής, θα εμφανιστεί επιπλέον εικονίδιο στην βασική μπάρα εργαλείων. Πατώντας το εμφανίζονται όλες οι διαθέσιμες εντολές της καινούριας προσθήκης.



Εικ 138. Εικονίδιο και μενού του PlatformIO IDE

Μετά την εγκατάσταση του απαραίτητου λογισμικού, ο κώδικας υλικού πρέπει να προστεθεί ως έργο. Επιλέγοντας File -> Open folder (Αρχείο -> Άνοιγμα φακέλου) από το κύριο μενού, ανοίγει ο φάκελος που περιέχει τον κώδικα υλικού που έχει ληφθεί από το αποθετήριο. Το αποθετήριο περιέχει όλα τα αρχεία που απαιτούνται για να αναγνωρίσει το PlatformIO ένα έργο και να μεταγλωττίσει το αντίστοιχο δυαδικό αρχείο.

Συνδέοντας την πλακέτα μικροελεγκτή στη θύρα USB του υπολογιστή, μπορεί να προγραμματιστεί. Πριν από αυτό, ωστόσο, το όνομα της σειριακής θύρας στην οποία είναι συνδεδεμένη πρέπει να καταχωρηθεί στο αρχείο "platformio.ini" του προγράμματος. Το όνομα της θύρας καθορίζεται από τη μεταβλητή "upload port" στην ενότητα "[common]".

```

11 [board_config]
12 ;name = wipy3
13 name = tcall
14 ;name = feather
15 ;name = wipy
16
17 [platformio]
18 env_default = debug
19
20 [common]
21 ; platform = espressif32@1.7.0
22 platform = espressif32
23 board = esp-wrover-kit
24 framework = arduino
25 monitor_speed = 115200
26 upload_speed = 921600
27 upload_port = /dev/ttyUSB0
28

```

Εικ 139. Ορίζοντας τη θύρα προγραμματισμού

Με την επιλογή "Upload" από το μενού "PlatformIO" της κεντρικής γραμμής, ολοκληρώνεται η μεταγλώττιση και η εγγραφή/προγραμματισμός στη μνήμη του μικροελεγκτή.

Με την επιλογή της κατάλληλης επιλογής "Upload" από τις ενότητες env:debug ή env:release, πραγματοποιείται η μεταγλώττιση και η εγγραφή/προγραμματισμός της αντίστοιχης έκδοσης στη μνήμη του μικροελεγκτή, με τις ακόλουθες διακρίσεις:

- **Debug** - Κατάλληλο όταν ο κόμβος έχει σχεδιαστεί για την αποσφαλμάτωση δοκιμαστικών λειτουργιών. Σε αυτή τη λειτουργία, η συσκευή εξάγει πληροφορίες λειτουργίας και αποσφαλμάτωσης στη σειριακή θύρα και εφαρμόζει μοναδικές ρυθμίσεις που διευκολύνουν τον χρήστη να εντοπίσει τυχόν προβλήματα.
- **Release** (Αποδέσμευση) - Αποδέσμευση κατάλληλη για την κανονική λειτουργία της συσκευής όταν αναπτύσσεται στο πεδίο.

Εάν επιλεγεί η επιλογή "upload" χωρίς να καθοριστεί έκδοση, θα προγραμματιστεί η έκδοση εντοπισμού σφαλμάτων.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, η κονσόλα στο κάτω μέρος της οθόνης εμφανίζει την τρέχουσα κατάσταση.

```
PROBLEMS 60 OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL
Writing at 0x00038000... (78 %)
Writing at 0x0003c000... (85 %)
Writing at 0x00040000... (92 %)
Writing at 0x00044000... (100 %)
Wrote 457712 bytes (223500 compressed) at 0x00010000 in 4.4 seconds (effective 827.1 kbit/s)...
Hash of data verified.

Leaving...
Hard resetting via RTS pin...
===== [SUCCESS] Took 32.94 seconds =====

Environment      Status      Duration
-----
debug            SUCCESS    00:00:32.939
release         IGNORED
win             IGNORED
===== 1 succeeded in 00:00:32.939 =====

Terminal will be reused by tasks, press any key to close it.
```

Εικ 140. Επιτυχής ολοκλήρωση της διαδικασίας όπως φαίνεται στην κονσόλα

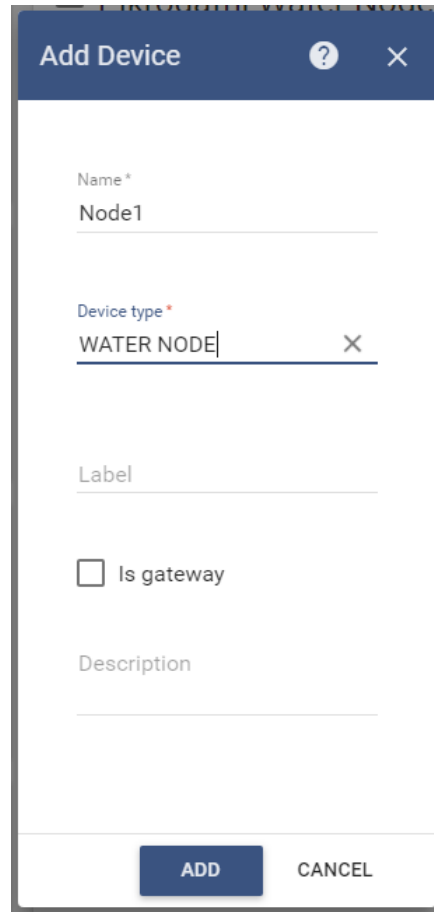
4.4.2 Σύνδεση του κόμβου ELIoT με την διαδικτυακή πλατφόρμα “Thingsboard”

Για τη διασύνδεση της συσκευής με την πλατφόρμα Thingsboard, πρέπει να τροποποιηθούν τόσο ο πίνακας διαχείρισης της πλατφόρμας όσο και το αρχείο διαμόρφωσης υλικού. Για να αναγνωριστεί η συσκευή από την πλατφόρμα, πρέπει να καταχωρηθεί ως συσκευή στην πλατφόρμα και το μοναδικό της κλειδί (access token) πρέπει να προστεθεί στο υλικό πριν από τη μεταγλώττιση και τον προγραμματισμό της στον μικροελεγκτή. Με την εκτέλεση αυτών των βημάτων, όλη η επικοινωνία μεταξύ μιας δεδομένης συσκευής και της πλατφόρμας θα κατευθύνεται στη σχετική καταχώρηση συσκευής στην πλατφόρμα, με την αντιστοίχιση να επιτυγχάνεται μέσω του μοναδικού κλειδιού. Το τελευταίο βήμα είναι ο καθορισμός της IP και της θύρας της πλατφόρμας.

Όταν ανοίξει η ενότητα "Συσκευές", εμφανίζονται οι ήδη καταχωρημένες συσκευές. Για να ξεκινήσετε την προσθήκη μιας νέας συσκευής, κάντε κλικ στο σύμβολο "+" στην κάτω δεξιά γωνία της οθόνης και συμπληρώστε τα ακόλουθα πεδία:

- Όνομα - Το όνομα της συσκευής για να βοηθήσει τον χρήστη της πλατφόρμας να την αναγνωρίσει. Μπορεί να συμπληρωθεί με ό,τι επιθυμεί ο χρήστης.
- Τύπος συσκευής - Ο τύπος συσκευής συγκεντρώνει συγκρίσιμες συσκευές κάτω από ένα όνομα, το οποίο μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση λειτουργιών σε ολόκληρη την ομάδα (π.χ. απεικόνιση των δεδομένων όλων των συσκευών που ανήκουν σε μια ομάδα ταυτόχρονα). Εάν δεν υπάρχουν τύποι συσκευών προς επιλογή σε αυτό το

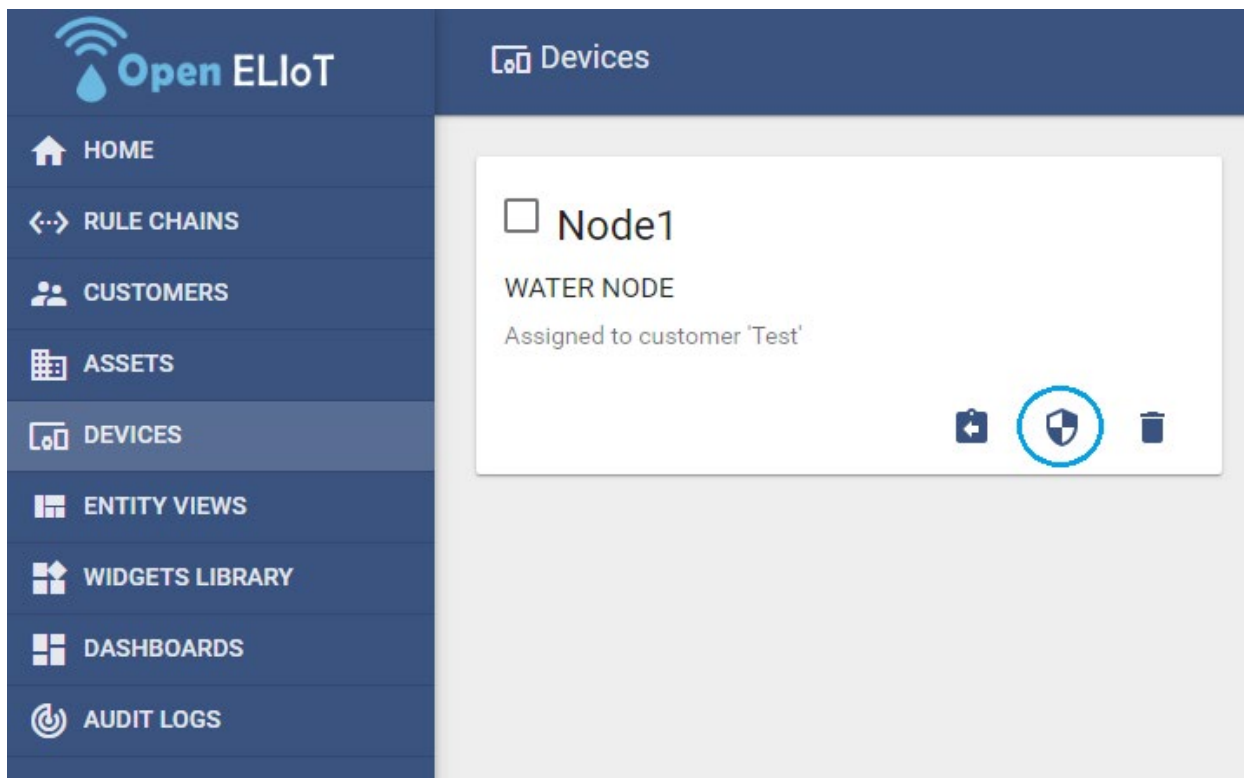
πλαίσιο, η πληκτρολόγηση ενός ονόματος θα δημιουργήσει αυτή την ομάδα και θα την καταστήσει επιλέξιμη κατά τη δημιουργία της επόμενης συσκευής. Πατώντας “Add” η συσκευή δημιουργείται και η διαδικασία ολοκληρώνεται.



The image shows a mobile application dialog box titled "Add Device". The dialog has a dark blue header with the title "Add Device", a question mark icon for help, and a close icon (X). The main content area is white and contains several input fields and a checkbox. The "Name*" field is filled with "Node1". The "Device type*" field is filled with "WATER NODE" and has a clear button (X) to its right. Below this is an empty "Label" field. There is a checkbox labeled "Is gateway" which is currently unchecked. Below that is an empty "Description" field. At the bottom of the dialog, there are two buttons: "ADD" (highlighted in dark blue) and "CANCEL".

Εικ 141. Παράθυρο δημιουργίας νέας συσκευής

Κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Πιστοποιητικά συσκευής", όπως απεικονίζεται στην εικόνα 142, παρουσιάζεται το μοναδικό κουπόνι συσκευής που θα καταγραφεί στο υλικό και θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ταυτότητας από τη συσκευή κατά τη συνομιλία με την πλατφόρμα.



Εικ 142. Ενότητα “Devices” με την καινούρια συσκευή

Πριν από τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, το αρχείο `include/credentials.h` πρέπει να τροποποιηθεί με τις απαιτούμενες παραμέτρους ώστε να αντικατοπτρίζει τη συνδεσιμότητα του κόμβου με την πλατφόρμα. Χωρίζεται σε δύο τμήματα, Debug και Release, καθένα από τα οποία εφαρμόζει τις ίδιες ρυθμίσεις ανάλογα με την έκδοση που έχει επιλεγεί για τη μεταγλώττιση. Έτσι, σε δοκιμαστική λειτουργία, ο κόμβος μπορεί να σχεδιαστεί με την έκδοση debug, επιτρέποντάς του να διασυνδεθεί με μια διαφορετική εγκατάσταση πλατφόρμας από ό,τι όταν αναπτύσσεται σε κανονική λειτουργία (έκδοση release).

Αυτό το αρχείο περιέχει δεδομένα για κάθε κόμβο που θα χρησιμοποιηθεί, όχι μόνο για έναν. Κατά την αρχικοποίηση, ο κόμβος καθορίζει ποια δεδομένα του ανατίθενται με βάση την αντιστοίχιση μεταξύ της διεύθυνσης MAC του και των δεδομένων που περιέχονται σε αυτό το αρχείο. Έτσι, όταν υπάρχουν πολλαπλοί κόμβοι, δεν υπάρχει ανάγκη να γραφτεί ξεχωριστό υλικό σε κάθε έναν- αντίθετα, όλοι προγραμματίζονται με το ίδιο υλικό και η αντιστοίχιση πραγματοποιείται δυναμικά.

Για την προσθήκη ενός κόμβου στο υλικό, προστίθεται μια εγγραφή στη μεταβλητή του πίνακα **DEVICE DESCRIPTORS**, όπως φαίνεται στο παράδειγμα, με την ίδια σειρά των ακόλουθων στοιχείων:

- Διεύθυνση MAC - Η αποκλειστική διεύθυνση MAC του συγκεκριμένου κόμβου.

- APN - Το APN για τη συνδεσιμότητα GPRS, όπως καθορίζεται από τον πάροχο της κάρτας SIM.
- Device token - Το μοναδικό αναγνωριστικό που παρέχεται από το thingsboard για την κατασκευασμένη συσκευή που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο κόμβο.

```

11  const DeviceDescriptor DEVICE_DESCRIPTOR[] =
12  {
13      {"11:22:33:44:55:66", "internet", "Yihbnbiu&9634Faf2334"}, // Node 1
14      {"77:88:99:11:22:33", "internet", "KDAv409Urduwh87Hufas"}, // Node 2
15      {"44:55:66:77:88:99", "internet", "JUi8H7899yfoi0A8afa3"} // Node 3
16  };
17

```

Εικ 143. Παράδειγμα ρυθμίσεων για 3 nodes

Εάν ένας κόμβος προγραμματιστεί με υλικό χωρίς να έχει συμπεριληφθεί η διεύθυνση MAC του σε αυτό το αρχείο, ο κόμβος θα τερματιστεί κατά την εκκίνηση και θα εμφανιστεί ένα μήνυμα σφάλματος.

Οι μεταβλητές TB SERVER και TB PORT συμπληρώνονται στη συνέχεια με τη διεύθυνση και τη θύρα από την οποία μπορεί να γίνει πρόσβαση στην πλατφόρμα Thingsboard.

Για να συμπληρωθεί το προηγούμενο αρχείο με τις διευθύνσεις MAC των κόμβων, ο χρήστης πρέπει να συλλέξει αυτές τις πληροφορίες από κάθε κόμβο ξεχωριστά, καθώς κάθε διεύθυνση είναι μοναδική. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προγραμματισμό του κόμβου χωρίς να τον προσθέσει σε αυτό το αρχείο, έτσι ώστε να τερματίζει με το σφάλμα της κονσόλας "Device not recognized!" κατά την εκκίνηση. Ταυτόχρονα, η διεύθυνση MAC της συσκευής θα εκτυπωθεί και μπορεί να προστεθεί σε αυτό το αρχείο.

Εναλλακτικά, όταν υπάρχουν πολλοί κόμβοι, η διεύθυνση MAC μπορεί να προσδιοριστεί με τη βοήθεια του esp-tool που συνοδεύει το PlatformIO, εκτελώντας την ακόλουθη εντολή στην κονσόλα:

read mac with Python's esptool: read mac with Python's esptool

Η οποία εμφανίζει στην κονσόλα πολλές πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένης της διεύθυνσης MAC, όπως απεικονίζεται στο σχήμα:

```

esptool.py v2.6
Found 2 serial ports
Serial port COM19
Connecting....
Detecting chip type... ESP32
Chip is ESP32-PIC0-D4 (revision 1)
Features: WiFi, BT, Dual Core, Embedded Flash, Coding Scheme None
MAC: d8:a0:1d:40:58:b0
Uploading stub...
Running stub...
Stub running...
MAC: d8:a0:1d:40:58:b0
Hard resetting via RTS pin...

```

Εικ 144. Τερματικό εργαλείου esp-tool

4.4.3 Γλωσσάρι κοινών όρων κονσόλας κόμβου ELIoT

Χρονοσειρά	Περιγραφή	Τιμή
d_boot	Πραγματοποιήθηκε εκκίνηση της συσκευής	Άνευ σημασίας
d_sd_total_rec	Ολοκληρώθηκε η αποστολή εγγραφών των αισθητήρων	Συνολικός αριθμός εγγραφών προς αποστολή
d_sd_crc	Παρουσιάστηκαν σφάλματα κατά τον έλεγχο ακεραιότητας (CRC check) εγγραφών πριν την αποστολή	Αριθμός εγγραφών που απέτυχαν τον έλεγχο (και συνεπώς δεν εστάλησαν)
d_sd_total_rec	Ολοκληρώθηκε η αποστολή εγγραφών των αισθητήρων	Αριθμός των HTTP requests που εκτελέστηκε για την αποστολή.
d_sd_failed_req	Ολοκληρώθηκε η αποστολή εγγραφών των αισθητήρων	Αριθμός των HTTP requests που απέτυχαν
d_tm_awake_s	Η συσκευή μπήκε σε λειτουργία ύπνου.	Χρόνος που βρισκόταν το node σε λειτουργία από τότε που επανήλθε από τη λειτουργία ύπνου (δευτερόλεπτα)
d_wakeup	Η συσκευή επανήλθε από τη λειτουργία ύπνου.	Άνευ σημασίας
d_ntp_fail	Ο συγχρονισμός της ώρας μέσω	Άνευ σημασίας

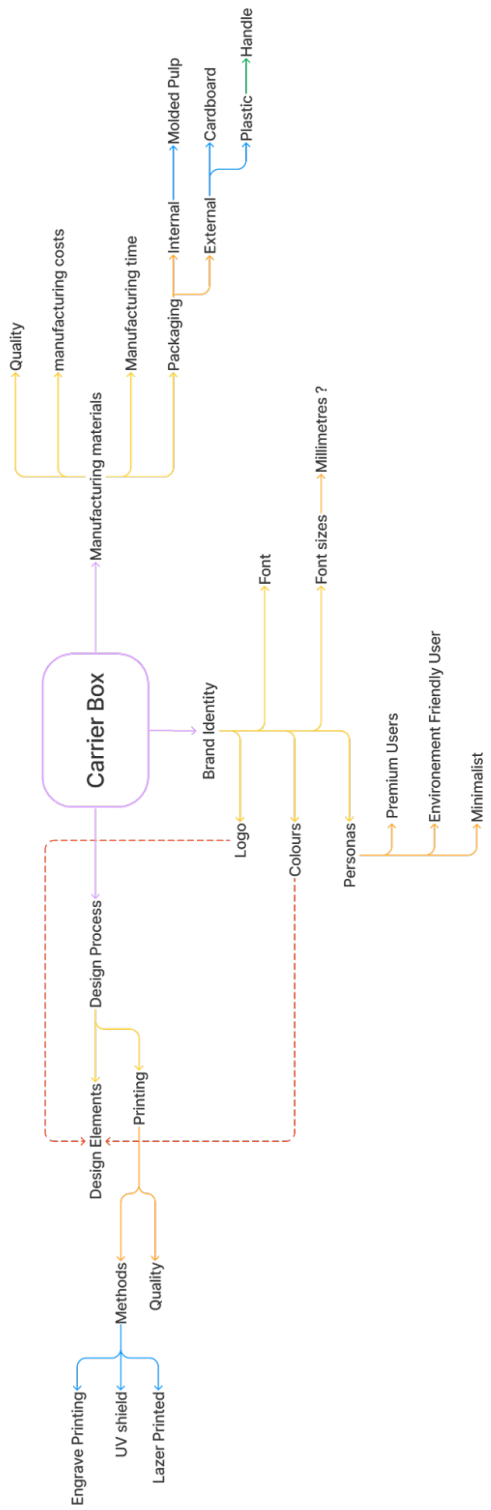
	NTP απέτυχε.	
d_bat_mv	Κατάσταση μπαταρίας	Τάση σε mV.
d_bat_p	Κατάσταση μπαταρίας	Ποσοστό
d_temp	Εσωτερική θερμοκρασία συστήματος	Θερμοκρασία σε βαθμούς κελσίου
d_hum	Εσωτερική υγρασία συστήματος	Σχετική υγρασία ποσοστιαία (%)
d_gsm_conn_fail	Αποτυχία σύνδεσης στο δίκτυο GSM	Άνευ σημασίας
d_gsm_rssi	Ισχύς σήματος	Ισχύς σε dBm
d_gprs_conn_fail	Αποτυχία σύνδεσης GPRS	Άνευ σημασίας

Κεφάλαιο 5 - Σχεδιασμός συσκευασίας συσκευών και περιφερειακών κόμβου ELIoT

5.1 Ανάλυση απαιτήσεων για τον σχεδιασμό συσκευασίας κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας σχεδιασμού είναι η κατασκευή της συσκευασίας του προϊόντος, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την εικόνα του, καθώς αποτελεί το αρχικό σημείο επαφής με τον καταναλωτή.

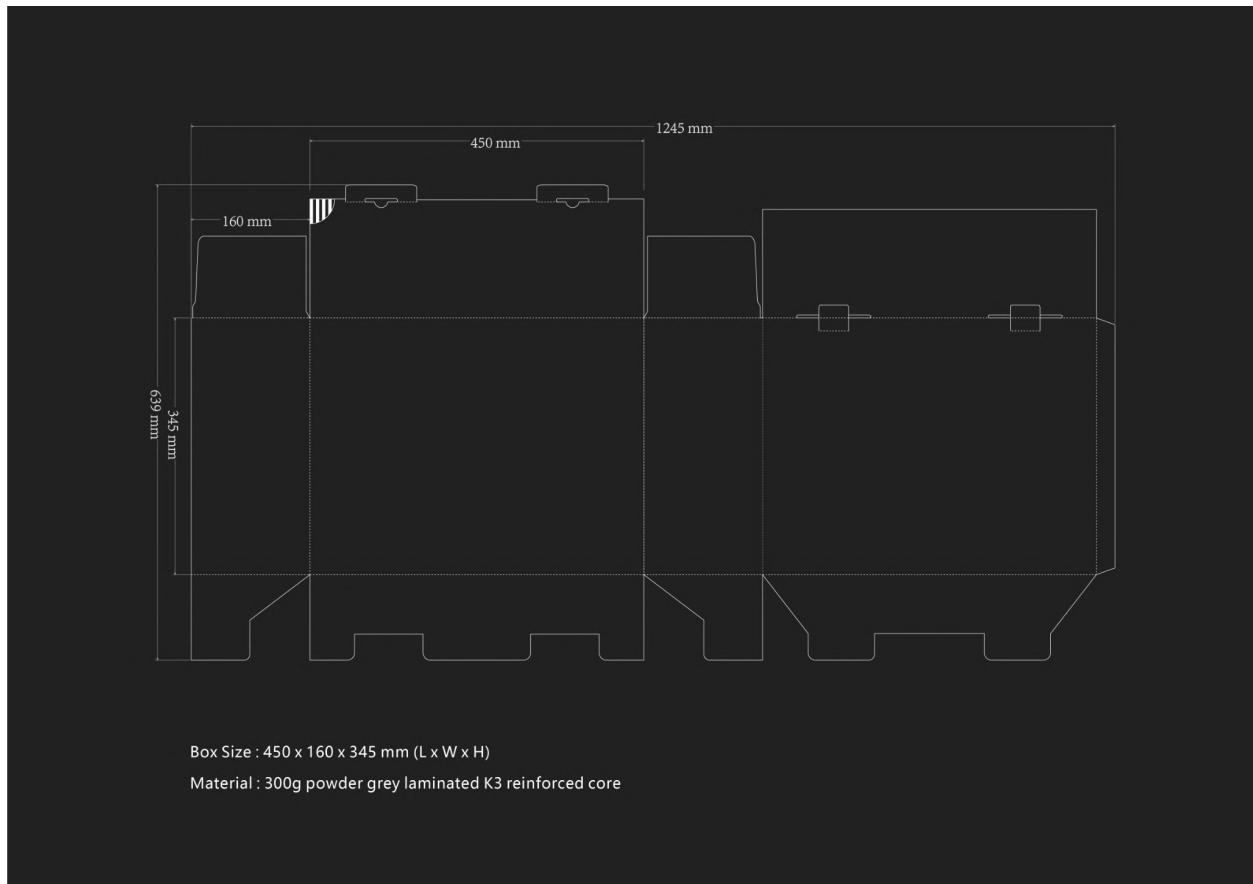
Για το σχεδιασμό της συσκευασίας, ελήφθησαν υπόψιν και αναλύθηκαν διεξοδικά η εταιρική ταυτότητα και η ιστορία της εταιρείας, προκειμένου να αποτυπωθεί η προσωπικότητα της σύμφωνα με τη φιλοσοφία του σχεδιασμού της. Το σημείο εκκίνησης της σχεδιαστικής διαδικασίας ήταν τα υλικά κατασκευής. Το χαρτόνι υπερίσχυσε, τόσο για το εσωτερικό όσο και για το εξωτερικό της συσκευασίας, έναντι άλλων υλικών όπως το πλαστικό ή άλλες πρώτες ύλες, καθώς είναι ελαφρύτερο, φθηνότερο και πιο γρήγορο στη παραγωγή. Για το εσωτερικό κυρίαρχη ήταν η ιδέα της χρήσης μορφοποιημένου χαρτοπολλτού, επειδή είναι πιο ανθεκτικός στα συμπιεστικά φορτία και παρέχει μεγαλύτερη αντοχή στη συσκευασία κατά τη μεταφορά. Ακολουθώντας, για την παραγωγή ιδεών και δεδομένων που θα αξιοποιηθούν στον σχεδιασμό εκδοχών για τη συσκευασία, δημιουργήθηκαν τρεις περσόνες που προσομοιώνουν τα τρία βασικά είδη πελατών. Η πρώτη περσόνα είναι ένας εκλεπτυσμένος πελάτης, νεαρής ηλικίας που δεν ενδιαφέρεται για το κόστος, αλλά προτιμά την premium και ανθεκτική συσκευασία για να εξασφαλίσει ότι τα αγαθά που αγοράζει φτάνουν σε καλή κατάσταση. Ενδιαφέρεται για τις φάσεις συσκευασίας που βιώνει ως χρήστης, ξεκινώντας από τη στιγμή που το παραλαμβάνει. Δεύτερη περσόνα αποτελεί ένας πελάτης που προτιμά την απλότητα, το λευκό και εν γένη τις ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις. Τον ελκύουν εταιρείες όπως η IKEA και η Apple λόγω του απλού, λιτού και μινιμαλιστικού σχεδιασμού τους. Τον ενδιαφέρει η πρακτικότητα και η λειτουργικότητα σε συνδυασμό με μια μινιμαλιστική αισθητική. Έμφαση δίνει και στο λογότυπο της εταιρείας, καθώς επιθυμεί να είναι αναγνωρίσιμο. Ο τρίτος και τελευταίος χαρακτήρας είναι ο πελάτης με οικολογική και περιβαλλοντική συνείδηση που τον αφορά το καλό του πλανήτη και αποσκοπεί στην χρήση προϊόντων από ανακυκλωμένα και ταυτόχρονα ανακυκλώσιμα υλικά. Επιπλέον, δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα για την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια του προϊόντος.



Εικ 145. Ιδεολογικός χάρτης συσκευασίας προϊόντων ELIoT

5.2 Σχεδιασμός - Ανάπτυξη συσκευασίας κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

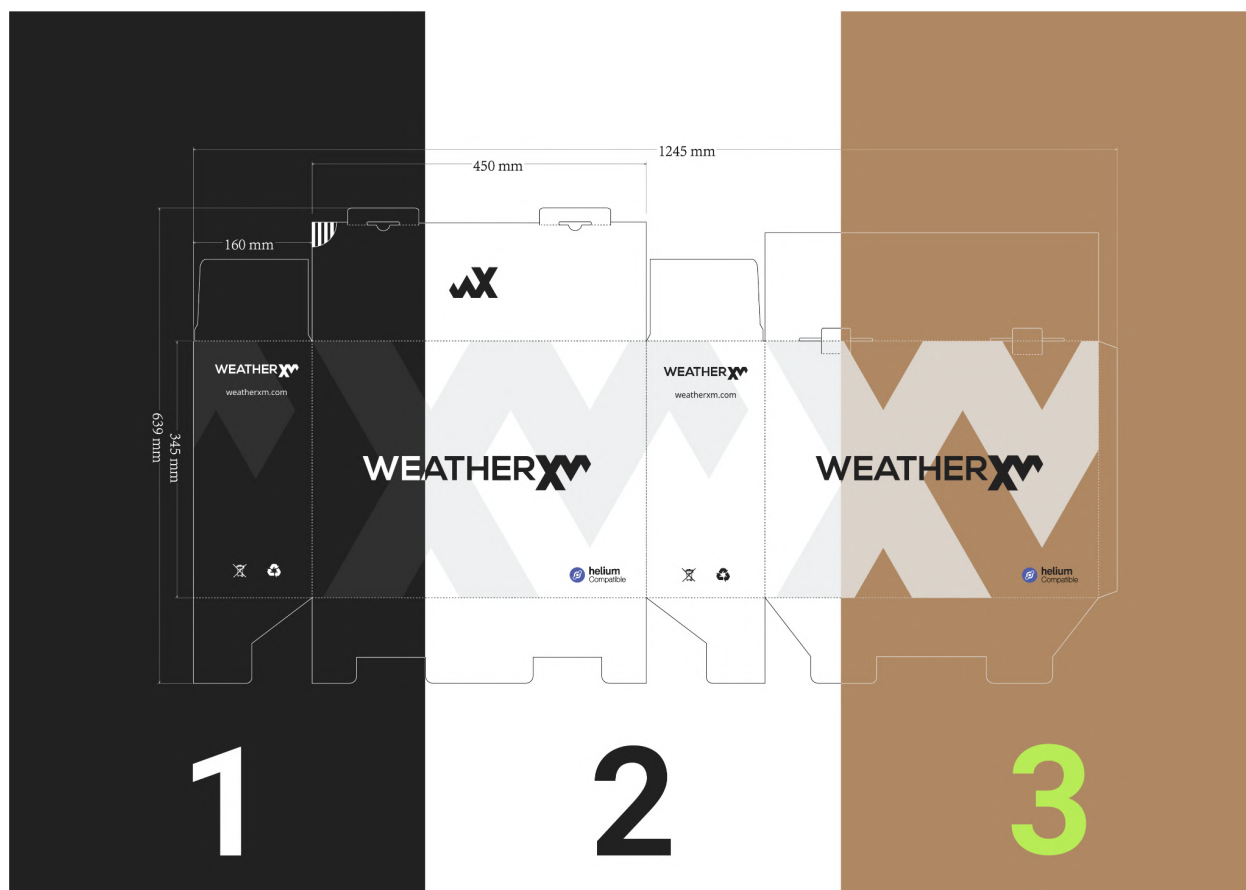
Σύμφωνα με τις απαιτήσεις των μεγεθών που προαναφέρθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο από τα μηχανολογικά σχέδια των συσκευών, διαμορφωθήκαν και οι παρακάτω εξωτερικές διαστάσεις της συσκευασίας του κόμβου και των περιφερειακών ELIoT. Οι παρακάτω διαστάσεις είναι βελτιστοποιημένες για την πιο αξιόπιστη μεταφορά του αλλά και την προστασία του εσωτερικού του απο τυχόν βανδαλισμούς κατα την μαζική μεταφορά.



Εικ 146. Ανάπτυγμα έκδοσης διαστάσεων σχεδιασμού κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

5.3 Δημιουργία εκδοχών συσκευασίας συσκευών και περιφερειακών κόμβου ELIoT

Αξιοποιώντας τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από τις προαναφερθείσες περσόνες, δημιουργήθηκαν τρεις διαφορετικές συσκευασίες για την καθεμία. Ως προς τις τεχνολογίες υλοποίησης, το ανάπτυγμα δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Adobe Illustrator, οι φωτορεαλιστικές απεικονίσεις δημιουργήθηκαν με το Adobe Dimensions και οι εικόνες επεξεργάστηκαν με το Adobe Photoshop.



Εικ 147. Απεικόνιση εκδόσεων γραφικών στοιχείων συσκευασίας σχεδιασμού κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων



Εικ 148. Φωτοροαλιστική απεικόνιση εκδόσεων συσκευασίας σχεδιασμού κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων

5.4 Απεικόνιση τελικής συσκευασίας συσκευών και περιφερειακών κόμβου ELIoT

Ο συνδυασμός των δεδομένων που αποκτήθηκαν από τις περσόνες παρήγαγε την τελική συσκευασία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια χάρτινη συσκευασία χρωματικής παλέτας σε σκούρες αποχρώσεις, τυπωμένη με τεχνολογία UV shield σε επιμέρους τμήματά της και χαρακτηρίζεται από απλές γραμμές σχεδίασης που ακολουθούν τα μινιμαλιστικά πρότυπα. Το κύριο υλικό κατασκευής είναι το χαρτόνι, το οποίο είναι οικονομικό αλλά ταυτόχρονα ανθεκτικό και φιλικό προς το περιβάλλον, επειδή ανακυκλώνεται εύκολα. Έχει προστεθεί μια πλαστική χειρολαβή για βελτιωμένη αισθητική και φορητότητα. Το λογότυπο είναι τυπωμένο σε όλες τις πλευρές, ώστε να μπορεί να αναγνωρίζεται απο κάποιον, ανεξάρτητα από οπαιδήποτε πλευρά και αν το βλέπει κάποιος. Ωστόσο, λόγω των κανόνων της τυποποίησης και της νομοθεσίας προϊόντων της Ε.Ε. έχουν προστεθεί δύο σύμβολα στα πλευρικά τοιχώματα της συσκευασίας. Το πρώτο που απεικονίζει τρία βέλη που σχηματίζουν ένα τρίγωνο δηλώνει το παγκόσμιο σύμβολο ανακύκλωσης (U+267B WHITE UNIVERSAL RECYCLING Emblem) που θεωρείται το

σύμβολο που αντιπροσωπεύει τις δραστηριότητες ανακύκλωσης⁵. Αρχικά, το Αμερικανικό Ινστιτούτο Χαρτιού ενέκρινε τέσσερις διαφορετικές παραλλαγές του σήματος ανακύκλωσης για διάφορες χρήσεις. Το λευκό με μαύρο περίγραμμα ή οι συμπαγείς μαύροι βρόχοι Möbius έπρεπε να χρησιμοποιούνται για να υποδηλώνουν ότι ένα προϊόν ήταν ανακυκλώσιμο. Οι άλλες δύο παραλλαγές περιείχαν το βρόχο Möbius μέσα σε κύκλο, είτε λευκό σε μαύρο είτε μαύρο σε λευκό, και προοριζόνταν για προϊόντα που κατασκευάζονται από ανακυκλωμένα υλικά, με την έκδοση λευκό σε μαύρο να χρησιμοποιείται για 100% ανακυκλωμένες ίνες και την έκδοση μαύρο σε λευκό για προϊόντα που περιέχουν τόσο ανακυκλωμένες όσο και μη ανακυκλωμένες ίνες. Ένας χάρτινος φάκελος, για παράδειγμα, θα μπορούσε να έχει τόσο το πρώτο όσο και το τελευταίο από αυτά τα τέσσερα σύμβολα για να δείξει ότι ήταν ανακυκλώσιμος και αποτελούνταν τόσο από ανακυκλωμένες όσο και από μη ανακυκλωμένες ίνες. Μια επιτροπή εργασίας στο ISO/IEC εξέτασε και κατέγραψε ορισμένες από τις εκδοχές του λογότυπου ανακύκλωσης που χρησιμοποιούνταν το 2001 και συνέστησε την προσθήκη περισσότερων από αυτές στο πρότυπο Unicode. Με την αυξανόμενη ανάπτυξη των υλικών που μετατρέπονται σε νήματα εκτυπωτών για τρισδιάστατη εκτύπωση που χρησιμοποιεί τη τεχνολογία recyclebot, έχει προταθεί να αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των κωδικών αναγνώρισης ρητίνης. Το δεύτερο σύμβολο, που επιλέχθηκε από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο για να υποδηλώνει τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αποτελείται από έναν διαγραμμένο κάδο απορριμμάτων με ή χωρίς μία απλή μαύρη γραμμή κάτω από το σύμβολο⁶. Η μαύρη γραμμή υποδηλώνει προϊόντα που εισήχθησαν στην αγορά μετά το 2005, όταν τέθηκε σε ισχύ η οδηγία. Τα προϊόντα χωρίς τη μαύρη γραμμή παρήχθησαν μεταξύ 2002 και 2005. Στις περιπτώσεις αυτές, τα εν λόγω προϊόντα θεωρούνται "ιστορικά ΑΗΗΕ" και δεν πληρούν τις προϋποθέσεις για αποζημίωση στο πλαίσιο των συστημάτων συμμόρφωσης των παραγωγών. Μαζί με την οδηγία RoHS 2011/65/EE, η οδηγία για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (οδηγία ΑΗΗΕ) έγινε ευρωπαϊκός νόμος τον Φεβρουάριο του 2003. Η οδηγία ΑΗΗΕ καθόρισε στόχους συλλογής, ανακύκλωσης και ανάκτησης για όλες τις κατηγορίες ηλεκτρικών ειδών, με ελάχιστο ετήσιο ποσοστό ανακύκλωσης 4 κιλά ανά άτομο έως το 2009. Η οδηγία RoHS επέβαλε στους ευρωπαίους παραγωγούς περιορισμούς στη σύνθεση των υλικών του νεοεισαγόμενου στην αγορά ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Η μαύρη γραμμή (ή μπάρα) προέρχεται από την οδηγία 2012/19/EE, η οποία παραπέμπει στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50419. Το πρότυπο αυτό παρέχει δύο επιλογές σήμανσης για εξοπλισμό που κατασκευάστηκε μετά τις 13 Αυγούστου 2005: 1) προσθήκη της ημερομηνίας παραγωγής στην ετικέτα ή 2) τοποθέτηση της γραμμής/γραμμής κάτω από το λογότυπο του κάδου.

⁵ [Recycling symbol](#)

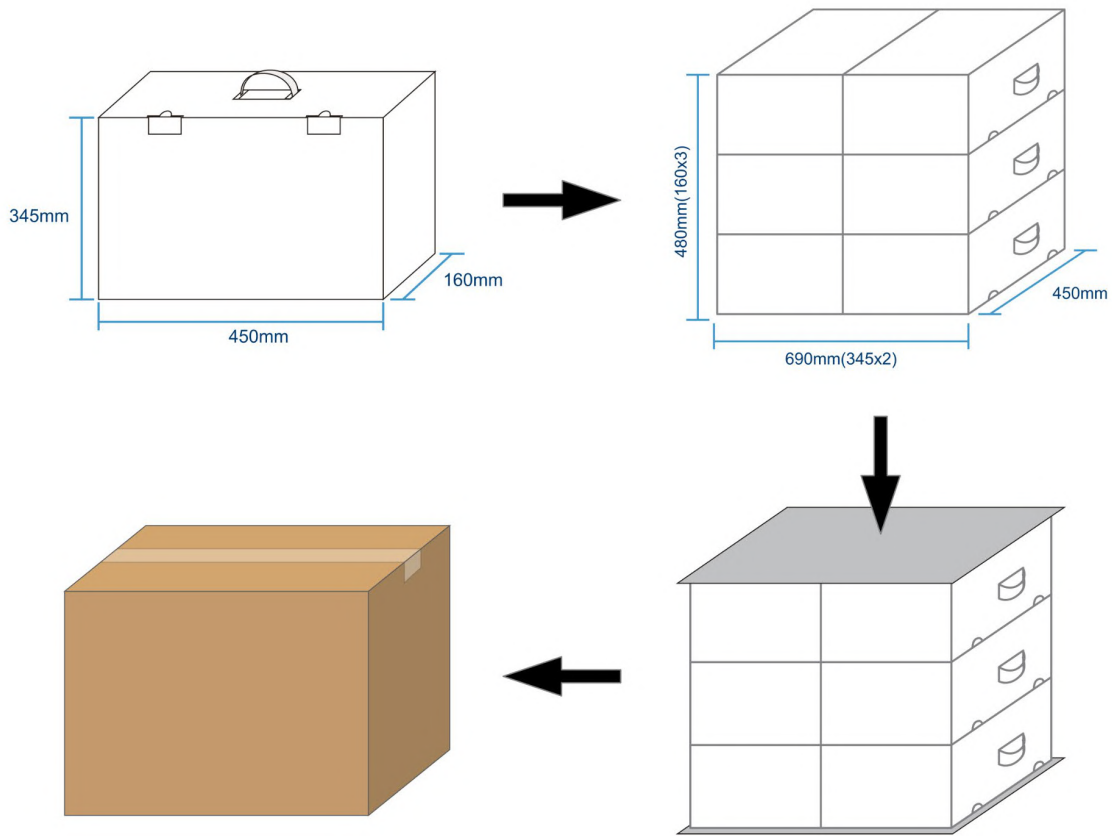
⁶ [Waste Electrical and Electronic Equipment Directive](#)



Box Size : 450 x 160 x 345 mm (L x W x H)

Material : 300g powder grey laminated K3 reinforced core

Εικ 149. Απεικόνιση τελικής έκδοσης γραφικών στοιχείων συσκευασίας σχεδιασμού κόμβου EIIoT και περιφερειακών αισθητήρων



Εικ 150. Απεικόνιση τελικού σταδίου μεταφοράς συσκευών κόμβου ELIoT και περιφερειακών αισθητήρων



Εικ 151. Τελικό στάδιο συλλογής και αποθήκευσης συσκευών ELLIoT

Βιβλιογραφία

- Dutton, J. A. (2002). *Opportunities and priorities in a new era for weather and climate services*, Bulletin of the American Meteorological Society, September 2002, volume 83, no.9, pp 1303-1311.
- Hughes, P. (1970). *A Century of Weather Service*. Gordon and Breach Science Publishers, Inc. (New York). 212 pp.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (1979). *The Amateur Weather Forecaster*, (Washington DC). 7pp.
- Rosenfeld, J. (1995). *Weatherwise*. Heldref Publications, (Washington, DC).90 pp.
- T. J. Quinn (1983). *Temperature*. London: Academic Press.
- "Hyperthermal Procedure". Measurements and Biomedical Instrumentation Lab. Università Campus Bio-Medico di Roma.
- Chrystie, Robin S. M.; Feroughi, Omid M.; Dreier, Thomas; Schulz, Christof (2017-03-21). "SiO multi-line laser-induced fluorescence for quantitative temperature imaging in flame-synthesis of nanoparticles". *Applied Physics B*. 123 (4): 104. Bibcode:2017ApPhB.123..104C. doi:10.1007/s00340-017-6692-0. ISSN 1432-0649.
- Baker, Donald G. (June 1975). "Effect of Observation Time on Mean Temperature Estimation". *Journal of Applied Meteorology*. 14 (4): 471–476. Bibcode:1975JApMe..14..471B. doi:10.1175/1520-0450(1975)014<0471:EOOTOM>2.0.CO;2.
- "ASME". American Society of Mechanical Engineers. Retrieved 13 May 2015.
- "ASME". American Society of Mechanical Engineers. Archived from the original on 2015-09-08. Retrieved 13 May 2015.
- Callendar, Hugh Longbourne (1911). "Thermoelectricity" . *Encyclopædia Britannica*. Vol. 26 (11th ed.). pp. 814–821. Another contemporaneous survey of related material.
- Callendar, Hugh Longbourne (1911). "Thermometry" . *Encyclopædia Britannica*. Vol. 26 (11th ed.). pp. 821–836. A detailed contemporaneous survey of thermometric theory and thermometer design.
- A comparison of different measurement technologies Agilent Technologies, Inc. "Practical Temperature Measurements" (PDF). Archived from the original (PDF) on 2017-11-16. Retrieved 2018-11-19. [We] explore the more common temperature monitoring techniques and introduce procedures for improving their accuracy.

LIU Guowei, Hydrology in ancient time in China, Proceedings of the International Symposium OH2 Origins and History of Hydrology, Dijon, 9-11 May 2001.

Danielle BONNEAU, Le nilomètre, technical aspects, Travaux de la Maison de l'Orient, volume 11, 1986.

Steponas KOLUPAILA, Bibliography of Hydrometry, University of Notre Dame, Indiana, 1961.

Collective work, Three Centuries of Scientific Hydrology 1674-1974, Background Reports presented on the occasion of the celebration of the Tercentenary of Scientific Hydrology, Paris, 9-12 September 1974, UNESCO-WMO/WMO-IAHS/AISH, ISBN 92-3-00 11924.

Denis CŒUR, Les inondations de mai-juin 1856 en France: de l'événement hydrométéorologique au nouvel engagement de l'Etat. Colloquium on regional extreme floods in Europe, historical perspectives. La Houille Blanche N°5/ 2004.

Jean de BEAUREGARD, Maurice Pardé potamologist (1893-1973). La Houille Blanche N°5-6/ 1994.

"The story of the world record wind". Mount Washington Observatory. Retrieved 26 January 2010.

"History of the Anemometer". Logic Energy. 2012-06-18. Sighard Hoerner's Fluid Dynamic Drag, 1965, pp. 3–17

World Meteorological Organization. "Vane anemometer". Eumetcal. Archived from the original on 8 April 2014. Retrieved 6 April 2014.

Various (2018-01-01). Encyclopaedia Britannica, 11th Edition, Volume 2, Part 1, Slice 1. Prabhat Prakashan.

"Hot-wire Anemometer explanation". eFunda. Archived from the original on 10 October 2006. Retrieved 18 September 2006.

Iten, Paul D. (29 June 1976). "Laser Doppler Anemometer". United States Patent and Trademark Office. Retrieved 18 September 2006.

Leong, Goh Cheng (1995-10-27). Certificate Physics And Human Geography; Indian Edition. Oxford University Press. p. 94. ISBN 978-0-19-562816-6.

an Strangeways, A History of rain gauges, TerraData, 2010

Kosambi (1982) *The Culture and Civilization of Ancient India in Historical Outline*, p. 153, ISBN 978-0-7069-1399-6

Strangeways, Ian (2011). *Precipitation: Theory, Measurement and Distribution*. Cambridge University Press (published April 14, 2011). p. 140. ISBN 978-0521172929.

Selin, Helaine (2008). *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures* (2nd ed.). Springer (published April 16, 2008). p. 736. ISBN 978-1402045592.

"The Long History of the Rain Gauge". about.com. Archived from the original on 2011-02-23.

Rawls, W.J., Ahuja, L.R., Brakensiek, D.L., and Shirmohammadi, A. 1993. Infiltration and soil water movement, in Maidment, D.R., Ed., *Handbook of hydrology*, New York, NY, USA, McGraw-Hill, p. 5.1–5.51.

Arnold, James E. "Soil Moisture". NASA. Retrieved 15 June 2015.

Talke, Stefan A. and Jay, David A., "Archival Water-Level Measurements: Recovering Historical Data to Help Design for the Future" (2017). Civil and Environmental Engineering Faculty Publications and Presentations. 412. https://pdxscholar.library.pdx.edu/cengin_fac/412

Taylor, Charles J. *Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data* / by Charles J. Taylor, William M. Alley. p. cm. -- (U.S. Geological Survey circular ; 1217) Includes bibliographical references (p.). 1. Groundwater--United States--Measurement. 2. Water levels--United States. I. Alley, William M. II. Geological Survey (U.S.) III. Title. IV. Series. GB1015 .T28 2001 551.49'2'0973--dc21

History of water quality parameters - a study on the Sinos River/Brazil. May 2015. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia* 75(2 Suppl 0):1-10

Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature. February 2019. *Water* 11(2):1-26

History of Water Quality Regulations 1800 -Present. October 2015. Conference: Canadian Ecotoxicity Workshop At: Saskatoon Volume: 42

Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results (Report). EPA. October 2009. EPA 600/R-09/076.

"Water Quality Monitoring". Lyndhurst, New Jersey: Meadowlands Environmental Research Institute. 6 August 2018.

Nayla Hassan Omer. Submitted: March 2nd, 2019 Reviewed: September 10th, 2019 Published: October 16th, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.89657

["WeatherShack.com"](http://WeatherShack.com). WeatherShack.com. Archived from the original on 2011-07-18.

["https://www.sciencelearn.org.nz/interactive_timeline/9-measuring-the-weather-a-timeline"](https://www.sciencelearn.org.nz/interactive_timeline/9-measuring-the-weather-a-timeline). sciencelearn.org.nz. Archived from the original on 19 April 2018.

["https://caas.usu.edu/weather/general-info/weather-history"](https://caas.usu.edu/weather/general-info/weather-history). caas.usu.edu.

["https://www.sensortips.com/capacitive/the-evolution-of-liquid-level-sensing/"](https://www.sensortips.com/capacitive/the-evolution-of-liquid-level-sensing/). www.sensortips.com. Archived from the original on NOVEMBER 17, 2015.