

# tomm

< μέση γαελική *tomm* (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα *\*tum-* (φουσκώνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

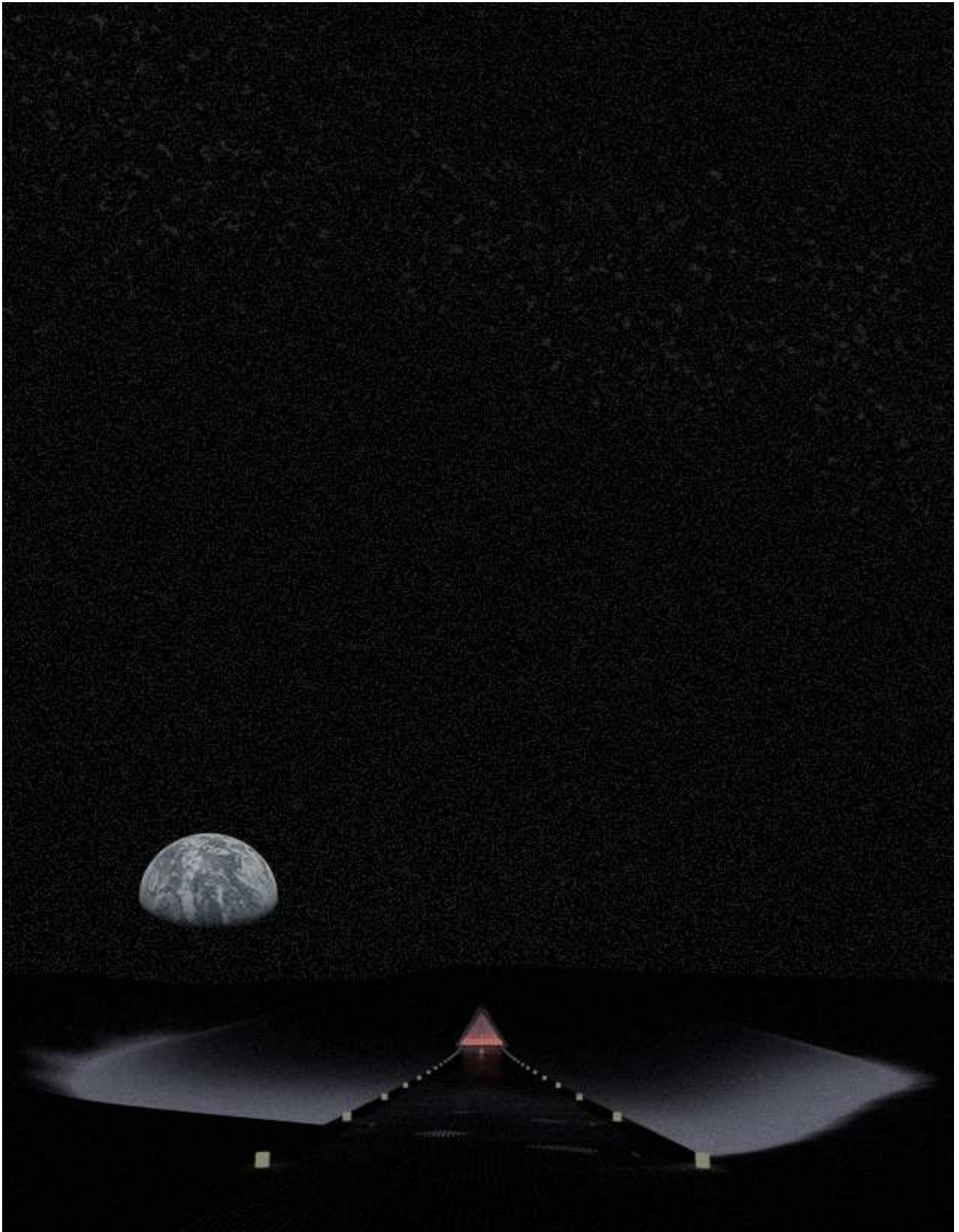
περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

Πρακτική μελέτη αξιοποίησης του ακατέργαστου σεληνιακού ρηγόλιθου και της μορφολογίας του κρατήρα ως συνθετικά θεμέλια για τη δημιουργία μιας νέας οικο-δομικής τυπολογίας της Σελήνης



Μισός αιώνας έχει πλέον περάσει από την πρώτη φορά που προσεληνωθήκαμε στην επιφάνεια του φεγγαριού μας, μα ακόμα τόσα ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα. Ερωτήματα για την απάντηση των οποίων η ανθρώπινη παρουσία στην Σελήνη πιθανότατα να αποτελέσει το κλειδί:

Μία από αυτές τις διερωτήσεις αφορά σε κάτι πέραν της φύσης, σύστασης και ιστορίας της Σελήνης. Αφορά στις δυνατότητες του κατοικείν του είδους μας σε τόπους μακριά από τον πλανήτη μας. Πώς προσεγγίζουμε τέτοιους τόπους, όταν στερούμαστε κάθε σχετική ενσώματη εμπειρία, μιας και η εξελικτική μας πορεία δεν προσαρμόστηκε σε αυτούς ούτε κατ'ελάχιστο;

Όσο ακραίο και να είναι ένα περιβάλλον που θα προσεγγίσουμε στη Γη, είμαστε ήδη συνηθισμένοι στους νόμους της βαρύτητας, τις μετεωρολογικές συνθήκες και την γενική συμπεριφορά του περιβάλλοντός μας. Αυτή η γνώση, είτε ενστικτωδώς είτε εμπειρικά, εφαρμόζεται σε κάθε είδους κατασκευαστική δραστηριότητα. Έτσι, κανένα κτίσμα δεν είναι ξένο στον τόπο καταγωγής του, μα οφείλει την μορφή, την ιδιότητα και την κατασκευαστική του διαδικασία στο αντίστοιχό του περιβάλλον. Η αρχιτεκτονική, τώρα, εμφανίζεται ως το χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της ενκείμενης μας γνώσης.

Εδώ παρατηρούμε μια προκατάληψη. Είμαστε τόσο συνηθισμένοι στους συγκεκριμένους φυσικούς και δομικούς κανονισμούς του πλανήτη μας, ώστε λανθασμένα προσπαθούμε να τους εφαρμόσουμε σε εξωτικές καταστάσεις, όπως θα ήταν μία σεληνιακή κατασκευή, δίχως να αναλογιστούμε τις ουσιαστικές αιτίες ανάδυσης των συγκεκριμένων τεχνικών.

Μια κατασκευή σε κάποιο αστρονομικό σώμα πέραν της Γης θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει σε μεγάλο βαθμό τα εύκαιρα υλικά του εκάστοτε τόπου. Πέραν των επιθυμητών ιδιοτήτων των υλικών αυτών, ο κύριος λόγος που μας οδηγεί στην αξιοποίησή τους είναι οικονομικός, Η εκτόξευση βαριών, προκατασκευασμένων δομών εμπεριέχει εξαιρετικά υψηλό κόστος, και τεχνικούς κινδύνους. Ο τρόπος που θα αξιοποιήσουμε τα υλικά αυτά είναι το κύριο αντικείμενο συζήτησης της σχετικής επιστημονικής κοινότητας.

Ας συλλογιστούμε την ακόλουθη ερώτηση. Γιατί χρησιμοποιούμε τούβλα εδώ στην Γη και για ποιό λόγο να χρειαζόμασταν ένα τούβλο στην Σελήνη; Οι κυρίαρχες επιστημονικές τακτικές επικεντρώνονται στην βελτίωση ή στην προσαρμογή υπάρχοντων τεχνικών, και για αυτόν ακριβώς τον λόγο παρατηρούμε όγκο έρευνας και πειραμάτων πάνω στην προαναφερόμενη

ερώτηση. Ταυτόχρονα, η αισθητική εντύπωση των επιτευγμάτων της σύγχρονης αρχιτεκτονικής, αλλά και λοιπών φανταστικών σεναρίων, επηρεάζουν αντίστοιχα τέτοιες μελέτες.

Εάν ο στόχος μας είναι η κατασκευή μίας μόνιμης σεληνιακής βάσης, μέσα στην επόμενη δεκαετία και έπειτα, θα πρέπει, αντί να παρουσιάζουμε εξωφρενικές προτάσεις και να ερευνούμε οικιστικά σενάρια που αφορούν στο βαθύ μέλλον, να στραφούμε σε πραγματιστικές κατασκευαστικές μεθόδους οι οποίες θα έχουν περισσότερα κοινά με πριμιτιβιστικά, παρά με φουτουριστικά πρότυπα.

Η προαναφερόμενη ερώτηση τέθηκε για να καταστήσει σαφές πως κατασκευαστικές μελέτες που βασίζονται σε γήινα πρότυπα, όπως οι πλίνθοι ή το σκυρόδεμα, προκύπτουν από τις βαθιά ριζωμένες αντιλήψεις μας για το πως πρέπει να συμβεί μία ορθή ανέγερση κτιρίου. Και για να δώσουμε μία απάντηση: ο πλίνθος είναι ένα από τα ευκολότερα, ίσως και το ευκολότερο δομικό στοιχείο που μπορεί κανείς να φτιάξει στη Γη, της οποίας άλλωστε είναι μέρος. Από την άλλη, η κατασκευή ενός και μόνου πλίνθου στο φεγγάρι μας θα αποτελούσε χρονοβόρα και ενεργοβόρα διαδικασία, με περίπλοκα μηχανήματα κατασκευής, ενώ η μόνη χρήση του θα ήταν ως υλικό επικάλυψης, δίχως κανέναν δομικό σκοπό.

Αυτό που επειγόντως χρειαζόμαστε είναι μία παραδειγματική στροφή, ώστε να ξεπεράσουμε κάθε δομική και αρχιτεκτονική προκατάληψη που τυχόν διατηρούμε. Με το να αποκοπούμε τελείως από τις βαθιά ριζωμένες κατασκευαστικές πρακτικές που βρίσκουν εφαρμογή στη Γη, θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε το θέμα του σεληνιακού κατοικείν ή την όποια εκδοχή αυτού, ερμηνεύοντας την αρχιτεκτονική εκ νέου. Και ακριβώς εδώ εντοπίζεται η αξία της μελέτης αυτής: στο να δώσει μία νέα οπτική στους αρχιτέκτονες πάνω στα θεμέλια της πρακτικής τους και ταυτόχρονα να παρουσιάσει μία πραγματιστική κατασκευαστική διαδικασία για μία σεληνιακή βάση στο άμεσο μέλλον.

Γνωρίζουμε πλέον πως η Σελήνη θα αποτελέσει τον κύριο τόπο δοκιμών για την εξερεύνηση και την πιθανή διαμονή στο διάστημα. Εάν αυτό συνδυαστεί με το γεγονός πως είναι επιτακτικό να αξιοποιούμε τους εκάστοτε τοπικούς πόρους του κάθε αστρονομικού σώματος που επισκεπτόμαστε, γίνεται σαφές πως οι μελέτες μας θα επικεντρωθούν σε ISRU (In Situ Resource Utilization) μεθόδους ιδιότητας και κατασκευής, έναντι προκατασκευασμένων δομών που αποστέλλονται από την Γη. Και όχι μόνο ISRU με όρους αξιοποίησης των τοπικών υλικών, αλλά μία ολόκληρη τοπική μέθοδο δόμησης, η οποία είναι συνυφασμένη με το νέο περιβάλλον στο οποίο αποσκοπούμε να κατοικήσουμε, έστω και για το επιτραπόμενο διάστημα μερικών μηνών, προτού αρχίσουν να εμφανίζονται σοβαρές σωματικές βλάβες.

Μια τέτοια κατασκευή, κάθε τμήμα της οποίας θα έχει παραχθεί ολοκληρωτικά με ISRU τεχνικές, θα απαιτούσε την προϋπάρχουσα παρουσία μας στο Φεγγάρι.

Αυτό δεν σημαίνει μόνο περισσότερα μηχανήματα, αλλά δομές και εγκαταστάσεις οι οποίες θα θύμιζαν κανονικό εργοστάσιο, ώστε να είμαστε σε θέση να παράγουμε πραγματικά κάθε στοιχείο μιας κατασκευής όπως και τα απαραίτητα στοιχεία για την διατήρηση της ανθρώπινης ζωής. Ταυτόχρονα, όλα αυτά τα συστήματα πρέπει να τροφοδοτούνται με την ανάλογη ενέργεια, επιτυγχάνοντας όλα τα παραπάνω με βιώσιμες μεθόδους διαμέσου των σεληνιακών πόρων.

Όπως στην Γη, έτσι και στην Σελήνη, φαίνεται πως στον αντίποδα της εργοστασιακής παραγωγής των δομικών στοιχείων μιας κατασκευής, βρίσκουμε τις μεθόδους φυσικής δόμησης. Με τον όρο αυτόν εννοούμε το χτίσιμο με φυσικά, μη επεξεργασμένα ή ελάχιστα επεξεργασμένα με μηχανικούς τρόπους υλικά.

Συνεπώς, όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, για την πραγματική δημιουργία μιας βάσης στο φεγγάρι μας θα πρέπει να ακολουθήσουμε μία πρακτική προσέγγιση, η οποία θα ανταποκρίνεται στο υπάρχον τεχνολογικό μας επίπεδο και θα αφορά στα πρώιμα στάδια των σεληνιακών δομών.

Τα συνθετικά θεμέλια της οικο-δομικής τυπολογίας μιας πρώιμης σεληνιακής αρχιτεκτονικής θα πρέπει πρωτίστως να απαντούν στα εγγενή προβλήματα που εμπεριέχει η προσπάθεια διαμονής σε ένα ακραία αφιλόξενο, εξωγήινο περιβάλλον. Όπως αποδεικνύεται, οι απαντήσεις αυτές μας δίνονται μέσω της αξιοποίησης των κυριότερων χαρακτηριστικών της Σελήνης: των κρατήρων και της άμμου της.

Ας δούμε πρώτα τα προβλήματα, οι λύσεις των οποίων μας οδηγούν στα παραπάνω συμπεράσματα. Ξεκινώντας με τον κρατήρα, ας εξετάσουμε τα πέντε βασικά σημεία που μας οδηγούν στην αξιοποίησή του.

- Το σεληνιακό έδαφος παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία στην εκσκαφή του. Το γεγονός ότι η πυκνότητα του ρηγολίθου αυξάνεται εκθετικά όσο πηγαίνουμε βαθύτερα, αγγίζοντας σχεδόν ένα ποσοστό 100% σχετικής πυκνότητας σε βάθος 70 cm, με μόνο τα επιφανειακά 15 cm να παρουσιάζουν σχετική ευκολία στο φτυάρισμα, μας δείχνει πως δεν πρέπει να βασιστούμε στην τοπιακή πλαστικότητα. Αντιθέτως θα πρέπει να εκμεταλλευτούμε την υπάρχουσα τοπογραφία με διάφορους άλλους τρόπους.
- Ιδανικά, θα χρειαζόμασταν μία συνεχή πηγή ενέργειας. Στην επιφάνεια της Σελήνης αυτό μεταφράζεται σε ένα μέρος όπου θα μπορούσαμε να συλλέξουμε όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Λόγω του μικρού άξονα περιστροφής του φεγγαριού, οι ηλιακές ακτίνες είναι σχετικά κάθετες προς τον ισημερινό. Αυτό σημαίνει πως στους σεληνιακούς πόλους, θα πρέπει να υπάρχουν περιοχές όπου ο Ήλιος θα λάμπει καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου\* αυτές αποκαλούνται «Κορυφές του Αιώνιου Φωτός». Κάθε χρόνο για παράδειγμα μία τοποθεσία κοντά στο χείλος του κρατήρα Σάκλτον στον νότιο πόλο είναι συνεχόμενα ηλιόλουστη για 240 ημέρες, με την μεγαλύτερη συνεχή περίοδο σε ολικό σκοτάδι να είναι περίπου 15 ημέρες. Εκεί, ο Ήλιος βρίσκεται πάντα στον ορίζοντα, με κλίση 1 με 1,5°. Ολικό σκοτάδι επέρχεται όταν η γεωμορφολογία του εδάφους είναι τέτοια που να εμποδίζει το ηλιακό φως, δημιουργώντας σκιές τεραστίου μήκους, εξαιτίας της μικρής αυτής κλίσης.
- Οι σκιές αποτελούν ζήτημα όσον αφορά στη Σελήνη, διότι δημιουργούν ακραίες τάσεις στο εκάστοτε υλικό που σκιάζουν λόγω της τεράστιας διαφοράς θερμοκρασίας. Οι θερμοκρασίες στην σεληνιακή επιφάνεια παρουσιάζουν ραγδαίες μεταβολές, από 107°C την ημέρα, ως -153°C τη νύχτα, μια μετάβαση που συμβαίνει σε κύκλους περίπου δύο εβδομάδων. Παρατηρούνται επίσης και πιο ακραίες θερμοκρασίες, όπως μέσα σε έναν μόνιμα σκιασμένο κρατήρα, όπου και κυμαίνονται από -233°C έως 123°C. Αυτό αποτελεί κάτι το άκρως προβληματικό ειδικά κατά την κατασκευαστική

φάση της σεληνιακής βάσης. Για να βρεθούμε σε περιβάλλον δίχως σκιές, θα πρέπει να βρεθούμε σε ένα μέρος με μόνιμο σκοτάδι, μιας και κάθε φως από τον Ήλιο θα δημιουργεί σκιάσεις.

- Η στήλη καπνού της εξάτμισης του κινητήρα που θα έχει ένα σκάφος προσελήνωσης με ικανό μέγεθος για ανθρώπινη μεταφορά, μπορεί να ωθήσει τα σκύρα έτσι ώστε αυτά να αγγίζουν ταχύτητες από 10 έως 100 μέτρα το δευτερόλεπτο και την λεπτόκοκκη άνω στρώση του ρηγόλιθου ώστε αυτή να αγγίζει τα 1000 μέτρα το δευτερόλεπτο, στέλνοντας τα τελικώς έως και εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά. Οποιοδήποτε κατασκεύασμα βρεθεί στην πορεία των βλημάτων, θα δεχτεί σοβαρό πλήγμα από την αμμοβολή. Ανάλογα μάλιστα με την απόσταση της προσελήνωσης και την συχνότητα των βλημάτων, τα πλήγματα αυτά μπορούν να προβούν καταστροφικά για κάθε εκτεθειμένο σχετικό μηχανισμό ή μονάδα κατοίκησης. Συνεπώς, επιβάλλεται η εφαρμογή προστατευτικού φράγματος.
- Κατά τη διάρκεια της σεληνιακής ημέρας, που αντιστοιχεί σε 14 γήινες μέρες, η απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον είναι ένα μεγάλο πρόβλημα. Λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του σεληνιακού εδάφους, η αγωγή είναι μια αναποτελεσματική διαδικασία απόρριψης θερμότητας, ενώ λόγω της παρουσίας κενού, είναι αδύνατη η απόρριψη θερμότητας μέσω θερμοσυναγωγής. Έτσι, η θερμική ακτινοβολία είναι ο μόνος τρόπος μεταφοράς θερμότητας στο περιβάλλον. Σε κάθε σεληνιακή βάση θα χρειαζόμασταν ένα σύστημα θερμικού ελέγχου ώστε να αποβάλλει την πλεονάζουσα εσωτερική θερμοκρασία στο εξωτερικό περιβάλλον, κάτι που μπορούμε να επιτύχουμε μέσω της θερμικής ραδιενέργειας. Το πρόβλημα κατά την διάρκεια της σεληνιακής ημέρας, βρίσκεται στο ότι η θερμοκρασία του επαγωγού θερμότητας, του μηχανισμού που απορροφά τη θερμότητα, θα είναι υψηλότερη από την θερμότητα του εσωτερικού που πρέπει να αποβληθεί. Αυτό μπορούμε να το αποφύγουμε εάν βρεθούμε σε μία τοποθεσία δίχως τόσο υψηλές και εναλλασσόμενες θερμοκρασίες.

Ένας απλός κρατήρας ο οποίος θα βρίσκεται μέσα σε μία «Κορυφή Αιώνιου Φωτός», θα μπορούσε να αποτελεί και κρατήρα μόνιμου σκότους, εφόσον η σχετική τοπογραφία και γεωμορφολογία το επιτρέπει. Αυτό θα έλυne όλα τα προαναφερόμενα προβλήματα. Ένας κρατήρας που πληροί αυτά τα κριτήρια αποτελεί το ιδανικό οικόπεδο, στο κέντρο του οποίου η κατασκευή της σεληνιακής βάσης μπορεί να λάβει χώρα.

Σχετικά με το αμμώδες έδαφος τώρα, ας δούμε τα αντίστοιχα πέντε βασικά σημεία.

- Ο ρηγόλιθος αποτελεί το άφθονο τοπικό πανταχού παρόν υλικό στην επιφάνεια της Σελήνης. Οφείλει την πυκνότητά του πιθανότατα στα ωστικά κύματα που παρήγαγαν οι συγκρούσεις αναρίθμητων μετεωροειδών με την επιφάνεια της Σελήνης, εάν μετακινηθεί από την αρχική του κατάσταση, όμως, το έδαφος θα χαλαρώσει και η πυκνότητά του θα μειωθεί σημαντικά. Λόγω της μοναδικής δομής του, τα σωματίδια σεληνιακού ρηγόλιθου έχουν μικρή κατανομή μεγέθους, επιτρέποντας στο υλικό να ρέει σε μικρότερους χώρους από ότι τα κοκκώδη υλικά στη Γη. Αυτό θα κάνει μια σειρά από καθημερινές εργασίες που θεωρούνται δεδομένες στη Γη, πολύ πιο δύσκολες. Ο ρηγόλιθος μπορεί να μπλοκάρει ηλεκτρονικά συστήματα, να μπει σε κάθε ρωγμή μιας δομής ενός κτιρίου και να προκαλέσει ερεθισμό του αναπνευστικού αν κανείς το εισπνεύσει, στην καλύτερη περίπτωση. Αναφέραμε προηγουμένως τις δυσκολίες εκσκαφής εξαιτίας της πυκνότητάς του, με μόνο τα 15 επιφανειακά εκατοστά να παρουσιάζουν σχετική ευκολία στη διαχείριση και στη συλλογή. Όμως, χάρις σε αυτήν, η απώτερη φέρουσα ικανότητα της σεληνιακής επιφάνειας είναι παραπάνω από αρκετή ώστε να στηρίξει τεχνικά, κάθε είδος κατασκευής που μπορούμε να συλλάβουμε.
- Λόγω της έλλειψης μαγνητικού πεδίου, της (οριακά) ανύπαρκτης ατμόσφαιρας και του ασταμάτητου βομβαρδισμού σωματιδίων, ο ρηγόλιθος της σεληνιακής επιφάνειας βρίσκεται εκτεθειμένος στις διεργασίες της διαστημικής αποσάθρωσης. Τα προαναφερόμενα σωματίδια αποτελούν: (1) μικρομετεωροειδή, (2) ενεργητικά σωματίδια του ηλιακού ανέμου (3) φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας και (4) κοσμικές ακτίνες. Η Σελήνη δεν προστατεύεται από το μαγνητικό πεδίο της Γης, οπότε λαμβάνει περισσότερη ακτινοβολία, κάτι που θα ήταν προβληματικό μακροπρόθεσμα για μια σεληνιακή βάση. Επίσης, η θωράκιση από την ακτινοβολία με γήινα υλικά αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα βαριών κατασκευών. Ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός (ISS), για παράδειγμα, λαμβάνει προστασία από τη μαγνητόσφαιρα αλλά όχι από την ατμόσφαιρα, οπότε οι αστροναύτες εξακολουθούν να λαμβάνουν 1 millisievert ραδιενέργειας την ημέρα, πενταπλάσια ακτινοβολία από όσο στα αεροσκάφη τζετ και 365 φορές παραπάνω από όσο στο έδαφος. Σχετικά με την ακτινοβολία, τα σωματίδιά της είναι ικανά να διεισδύσουν σε βάθη υλικού που κυμαίνονται από μικρόμετρα ως μέτρα. Μπορούμε να πετύχουμε μία προστασία 10% σε μια θαμμένη μονάδα, με μια μόνο λεπτή στρώση ρηγόλιθου. Για περαιτέρω προστασία όμως θα



πρέπει αυτή να ξεπερνά τα 50 εκατοστά ρηγόλιθου. Ασφαλή επίπεδα ραδιενέργειας επιτυγχάνουμε με πάχος στρώσης ρηγόλιθου που ξεπερνά το 1 μέτρο με την ασφάλεια να καθορίζεται και από την διάρκεια αποστολής αγγίζοντας 50% προστασία με 1,5 μέτρο περίπου. Επιπρόσθετα, εάν βρισκόμαστε στους πόλους, ο πυκνός πολικός ρηγόλιθος εμπλουτισμένος με νερό αναμένεται να μας προσφέρει ενισχυμένη προστασία. Οι επιπτώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας στα μικροηλεκτρονικά συστήματα προκαλεί επίσης μεγάλους προβληματισμούς, μιας και μπορεί να βλάψει τις λειτουργίες των μικροκυκλωμάτων και τελικώς να οδηγήσει σε καταστροφή. Επομένως, η κάλυψη του μηχανικού εξοπλισμού της σεληνιακής μας βάσης με ένα φράγμα προστασίας από ρηγόλιθο θα πρέπει να αποτελεί επίσης μία σχεδιαστική παράμετρο.

- Ο ρηγόλιθος θα χρησιμοποιηθεί όχι μόνο ως προστατευτικό μέσο για την ραδιενέργεια, αλλά και ως μονωτικό υλικό θερμικού ελέγχου. Το αμμώδες έδαφος της Σελήνης έχει πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα στην φυσική του κατάσταση και ως φυσική εννοούμε την μη επεξεργασμένη του μορφή πούδρας που συναντάμε στην επιφανειακή στρώση, Αυτό είναι το πλεονέκτημα που τα κοκκώδη υλικά έχουν απέναντι στα ενοποιημένα στερεά. Σχετικές μελέτες έχουν δείξει πως με κάλυψη 2 μέτρων ρηγόλιθου θα μπορούσαμε να ελέγξουμε ικανοποιητικά τις θερμικές απώλειες κατά το σεληνιακό μεσημέρι. Πρέπει επίσης να σημειώσουμε πως κάτω από μόνο 30 εκατοστά ρηγόλιθου, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή περίπου στους -17 με -23 βαθμούς κελσίου.
- Με την αξιοποίηση του ρηγόλιθου στην ακατέργαστη φυσική του μορφή, ελαχιστοποιούμε οποιοδήποτε ρίσκο το οποίο μπορεί να εμφανιστεί μέσα από περίπλοκες διεργασίες και μεθόδους, όπως θα ήταν η in situ μίξη ρηγόλιθου με άλλο επιπρόσθετο υλικό, η τήξη ή η καύση του. Επίσης, θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει πως οι προστατευτικές του ιδιότητες είναι οι μέγιστες δυνατές στην αρχική του κατάσταση.
- Σεληνιακά στοιχεία ικανού μεγέθους, συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπινων κατασκευασμάτων, όπως οικοδομήματα και μηχανήματα, αναμένεται να βομβαρδίζονται από μικρομετεωροειδή καθόλη την διάρκεια του χρόνου, με συγκρούσεις μικρών σωματιδίων να συμβαίνουν σε πολύ μεγαλύτερη συχνότητα από ότι τα σωματίδια μεγαλύτερης κλίμακας. Για μετεωροειδή βάρους πάνω από 1

γραμμάριο, οι κρατήρες της κλίμακας των εκατοστών που θα προκαλούσαν σε στερεό περίβλημα σεληνιακής κατασκευής θα αποτελούσαν κάτι παραπάνω από αισθητικό ζήτημα, ειδικά εάν αναλογιστούμε το αθροιστικό πλήγμα που θα δεχτεί η βάση στην πολυετή της λειτουργία. Εάν ένα μικρομετεωροειδές συγκρουόταν με μία κατασκευή προστατευμένη από ρηγολιθική στρώση, η τριβή που θα δημιουργούταν από τους κινούμενους κόκκους σε συνδυασμό με την εύπλαστη και κολλώδη φύση τους, θα απάλυνε επιτυχώς την έκρηξη της πρόσκρουσης. Ουσιαστικά, ένα τέτοιου είδους περίβλημα θα αποτελούσε το ιδανικό σύστημα προστασίας το οποίο ποτέ του δεν ελαττώνεται, χαλάει ή απαιτεί εκτεταμένες επιδιορθώσεις, σε αντίθεση με ένα σκληρό, στέρεο κέλυφος.

Ο ρηγόλιθος είναι η πηγή σχεδόν όλων των πληροφοριών μας σχετικά με τη Σελήνη. Η οικονομική σημασία του σεληνιακού ρηγόλιθου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του βραχώδους υπεδάφους, πλούσιο σε σπάνια μέταλλα για τα γήινα δεδομένα, τουλάχιστον για το προβλέψιμο μέλλον. Συνδυάζοντας όλους αυτούς τους παράγοντες, γίνονται εμφανή τα τεράστια πλεονεκτήματα της αμεσότερης τεχνικής αξιοποίησης του ρηγόλιθου, με την στοίβαξη του υλικού πάνω στην μονάδα μας, έτσι ώστε να ταφεί ολόκληρη κάτω από μερικά μέτρα εδάφους.

Η αρχιτεκτονική μας λύση παίρνει τώρα μορφή. Τα προαναφερόμενα κριτήρια συναντούνται σε έναν συγκεκριμένο κρατήρα διαμέτρου 100 μέτρων περίπου ο οποίος βρίσκεται στο Νότιο Πόλο, ακριβώς στο χείλος του κρατήρα Σάκκτον, στις συντεταγμένες 89.7742°S, 203.4952°E. Εκεί, αυτός ο μόνιμα σκοτεινός κρατήρας συναντάται σε μία από τις πιο ηλιόλουστες περιοχές του φεγγαριού μας.

Φανταζόμαστε μία δομή με φουσκωτές μονάδες και προκατασκευασμένα συστήματα υποστήριξης ζωής σαν το κύριο οίκημα. Η ατμοσφαιρική πίεση εσωτερικά, είναι πάνω από αρκετή ώστε να αντέξει τα μερικά μέτρα ρηγόλιθου που την καλύπτουν. Η διάμετρος του κεντρικού, μεταλλικού κορμού της φουσκωτής μονάδας θα είναι 9.1 μέτρα, το μέγιστο ένας SLS Block 2B πύραυλος των 10 μέτρων μπορεί να χωρέσει, αγγίζοντας τα 30 μέτρα όταν φουσκώσει πλήρως. Να σημειώσουμε πως για την διαστασιολόγηση της μονάδας λάβαμε υπόψιν τους υπάρχοντες περιορισμούς σε διαστάσεις που ο μεγαλύτερος πύραυλος μπορεί να μεταφέρει εκτός της Γης.

Πριν την άφιξη των κυρίων τμημάτων, ρομποτικά οχήματα (ρόβερ) θα πρέπει να προετοιμάσουν το σχετικό κρατήρα, να συλλέξουν ρηγόλιθο και να στήσουν τους απαραίτητους ηλιακούς συλλέκτες, μαζί με τα αντίστοιχα καλώδια και τους λοιπούς μηχανισμούς, Δεν θα υποστούν τις αρνητικές συνέπειες της παραμονής στη σεληνιακή νύχτα, μιας και η σχεδόν μόνιμα φωταγωγημένη επιφάνεια βρίσκεται ακριβώς έξω από τον κρατήρα. Η πρώτη μονάδα θα τοποθετηθεί και με την αγκίστρωσή της στον μηχανισμό υποστήριξης ζωής, θα τροφοδοτηθεί με αέρα και θα φουσκώσει. Μετά από το βήμα αυτό, τα ρόβερ θα συνεχίσουν να στοιβάζουν σταδιακά τον ρηγόλιθο γύρω και πάνω στην μονάδα.

Σε συγκεκριμένα ύψη, όταν ο λόφος που σχηματίζεται ξεκινήσει να αποκτά μια πιο απότομη κλίση, υφασμάτινα στοιχεία θα τοποθετηθούν ώστε να επιτύχουμε τη μηχανική σταθεροποίηση του ρηγόλιθου στη θέση του. Θα πρέπει να προσέχουμε τις άμεσες συγκρούσεις μικρομετεωροειδών όπως και τις μακρινότερες συγκρούσεις μεγαλύτερων σωμάτων, οι οποίες στατιστικά δεν θα είναι σχεδόν ποτέ άμεσες. Αυτές, λειτουργούν τεχνικά ως σεισμικές δονήσεις, οι μόνες πηγές σοβαρής σεισμικής δραστηριότητας στη Σελήνη, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν αστοχία, κατάρρευση δηλαδή σε κεκλιμένο επίπεδο. Σε ένα τέτοιο γεγονός, ο ρηγόλιθος σχηματίζει μεγάλες και πλατιές συστάδες υλικού, χάρις στην άκρως συνεκτική φύση του. Με την προσθήκη επάλληλων στρώσεων υφάσματος ως τύπου οπλισμού, η τάση εκεί μέσα θα παράγει ολόπλευρη πίεση στο αμμώδες έδαφος, αυξάνοντας την διατμητική αντοχή και άρα και την σταθερότητα του λόφου.

Είναι συνετό, επίσης να ελαχιστοποιήσουμε την ποσότητα του ρηγόλιθου που θα χρησιμοποιήσουμε ως κάλυψη, ώστε να ελαχιστοποιήσουμε αντίστοιχα τον απαιτούμενο χρόνο και ενέργεια της συλλογής του. Πρέπει να σημειωθεί, πως στα σχέδια της μελέτης μας έχουμε υπερβάλλει με την ποσότητα του στιβαγμένου ρηγόλιθου, ώστε να παρουσιάσουμε μία πιο καθαρή εικόνα της κεντρικής ιδέας, αλλά και ταυτόχρονα να σχηματοποιήσουμε μία ομαλή κλίση στο λόφο, μικρότερη από τη γωνία φυσικού πρανούς.

Η συνήθης ένταξη παραθύρων και λοιπών ανοιγμάτων στα αρχιτεκτονικά σενάρια σεληνιακών βάσεων βασίζεται ξεκάθαρα σε αισθητικά κριτήρια. Το φως συνοδεύεται από ραδιενέργεια και θα πρέπει να αποφύγουμε το τεράστιο ρίσκο που φέρνει ένα άνοιγμα σε μία σεληνιακή μονάδα. Εξάλλου, οι κερκάρδιοι ρυθμοί και τα οφέλοι της έκθεσής μας στο ηλιακό φως έχουν εξελιχθεί καθώς αυτό φιλτράρεται από την γήινη ατμόσφαιρα, κάτι το οποίο καθιστά το λευκό και έντονο ηλιακό φως στη Σελήνη τελείως ξένο για το μάτι και τον οργανισμό μας.

Η βάση έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να φιλοξενήσει έως 9 αστροναύτες, με επιπρόσθετο χώρο για διαμονή μικρότερης διάρκειας. Η κάτω κεντρική μονάδα ενδείκνυται για καθημερινές ασχολίες και διαβίωση και η άνω μικρότερη μονάδα για προετοιμασία εξωτερικών αποστολών. Οι δύο αυτές μονάδες συνδέονται μέσω του κεντρικού σωλήνα που δημιουργείται, τμήματα του οποίου μπορούν να σφραγιστούν ώστε να απομονωθούν σε έκτακτη περίπτωση. Τα συστήματα υποστήριξης ζωής είναι προσβάσιμα από το εσωτερικό, με συνδετικούς σωλήνες να βγαίνουν έως και έξω από τα όρια του λόφου για λόγους ανεφοδιασμού, κυρίως οξυγόνου.

Ένα σύστημα ψαλιδωτής γέφυρας θα συνδέει την είσοδο με το χείλος του κρατήρα, όπου και η απαιτούμενη αγκίστρωσή της θα συμβαίνει με μία συμβολική πύλη, το ελάχιστο αισθητικό στοιχείο της βάσης, η οποία αποτελεί και το τοπόσημο αυτής, προς εκείνους που περιπλανούνται στην επιφάνεια της Σελήνης.



## Ενδεικτική βιβλιογραφία:

- *Heiken, Grant & Vaniman, David & French, Bevan. (1991). Lunar sourcebook - A user's guide to the moon.*
- *Boles, W. (1992). Drilling and Digging Techniques for the Early Lunar Outpost.*
- *Glaser, Phillip & Scholten, F. & De Rosa, Diego & Marco Figuera, Ramiro & Oberst, J. & Mazarico, E. & Neumann, G.A. & Robinson, M.. (2014). Illumination conditions at the lunar south pole using high resolution Digital Terrain Models from LOLA. Icarus. 243. 78-90. 10.1016/j.icarus.2014.08.13.*
- *Jaumann R., Hiesinger H., Anand M., Crawford I.A., Wagner R., et al. (2012). Geology, geochemistry, and geophysics of the Moon: Status of current understanding. Planetary and Space Science, Elsevier, 74 (1), pp.15-41*
- *Nealy, John & Wilson, John & Townsend, Lawrence. (1989). Solar-flare shielding with Regolith at a lunar-base site.*
- *Ruess, F & Schänzlin, Jörg & Benaroya, Haym. (2006). Structural Design of a Lunar Habitat. Journal of Aerospace Engineering - J AEROSP ENG. 19. 10.1061.*
- *Simonsen, L.C., Debarro, M.J., & Farmer, J.T. (1992). Conceptual design of a lunar base thermal control system.*

# tomm

< μέση γαελική tomm (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα \*tum- (φουσκώνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

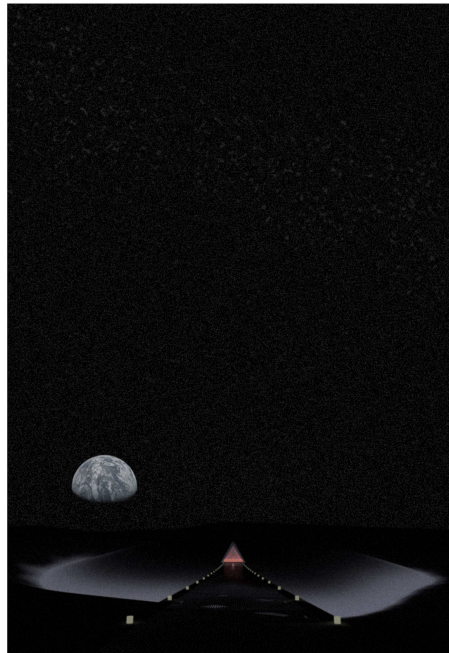
είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

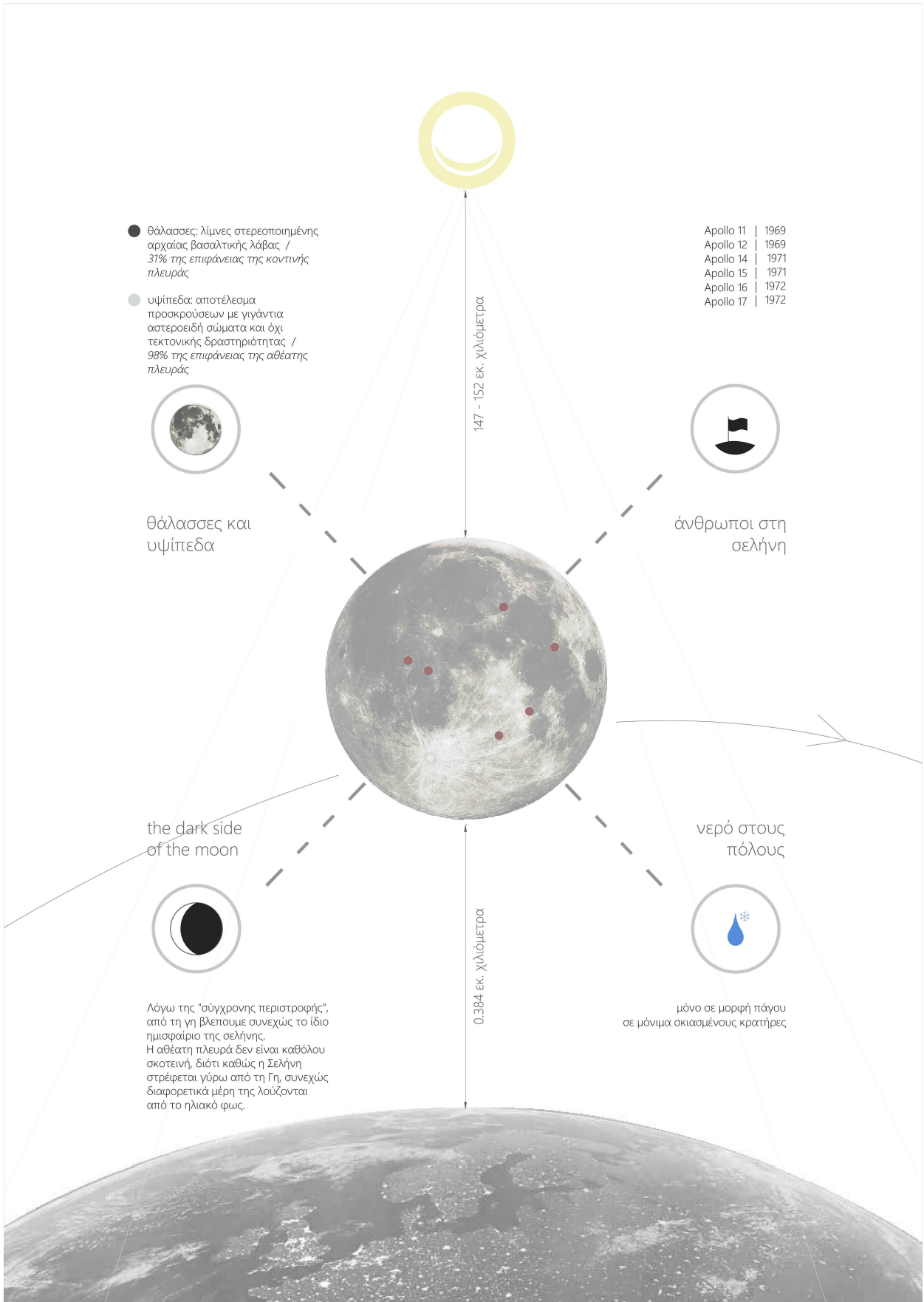
περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

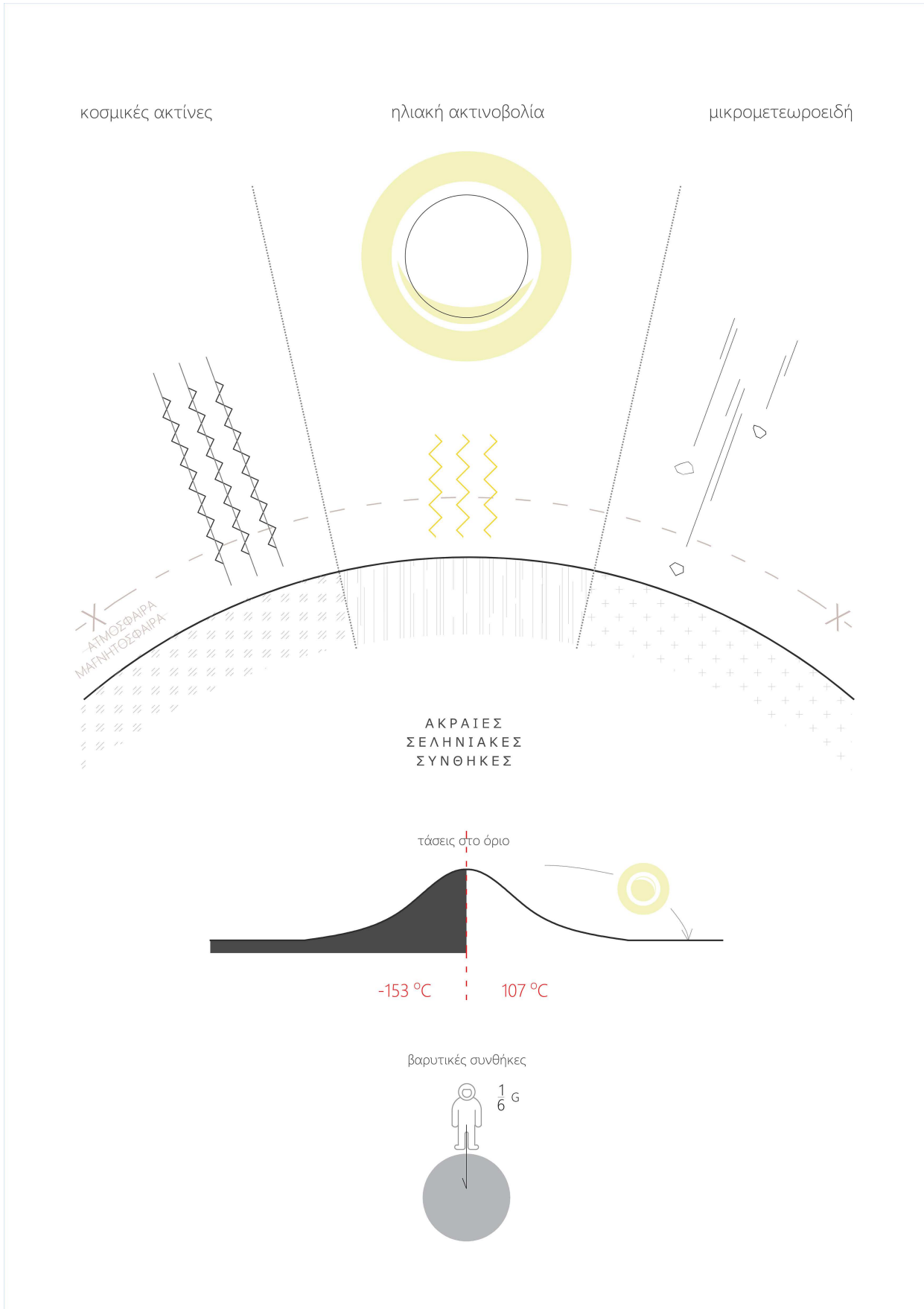
όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

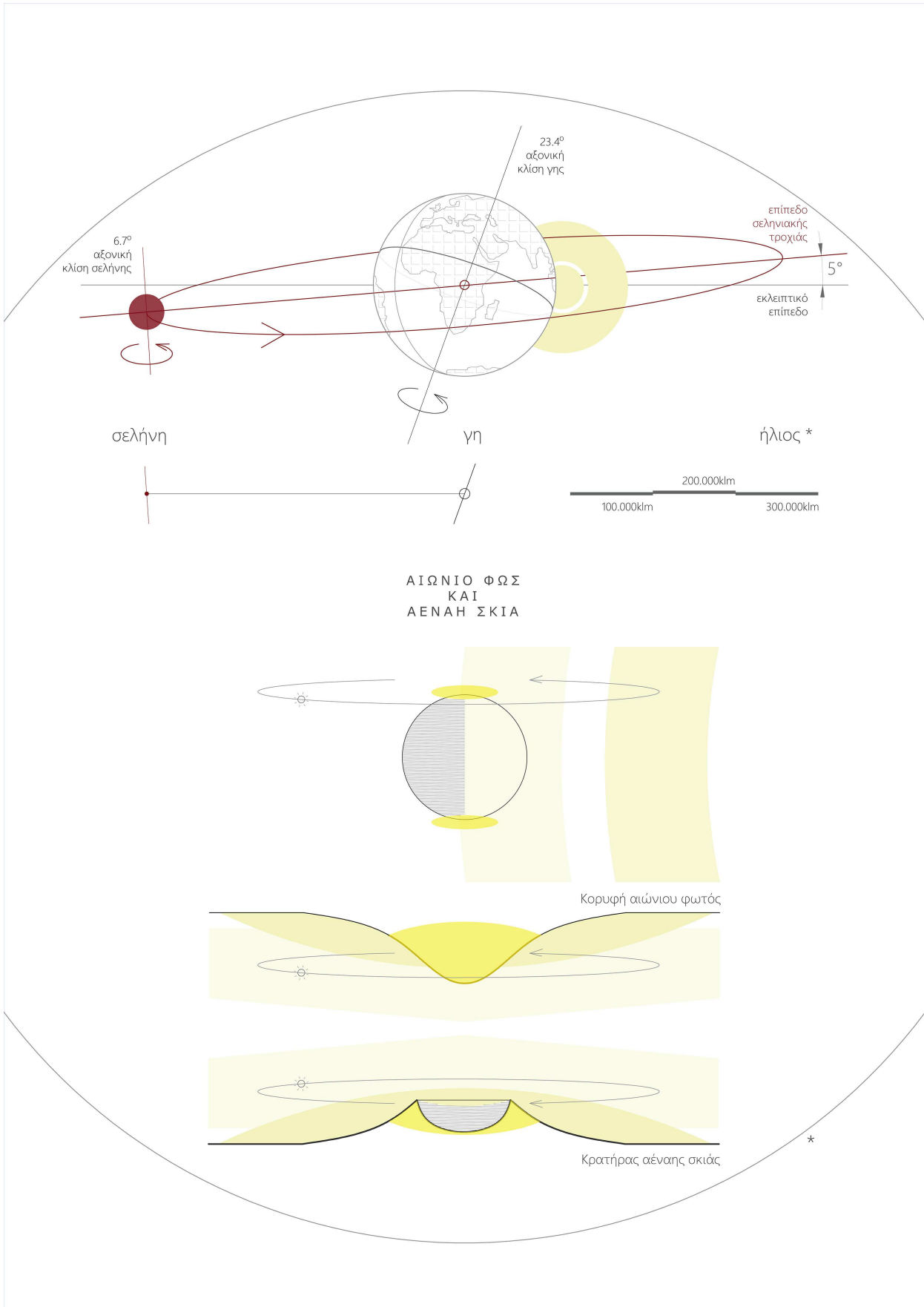
όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

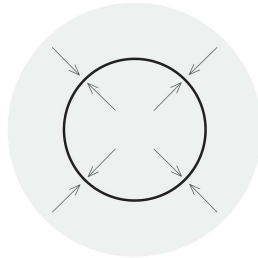




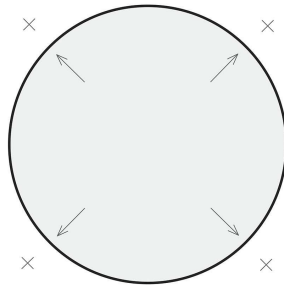








γη

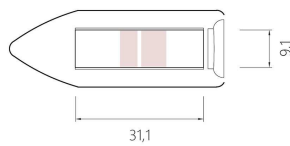
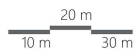


σελήνη

Η ΜΟΡΦΗ  
ΤΟΥ MODULE

SLS BLOCK 2B

όγκος φορτίου  
1650 m<sup>3</sup>



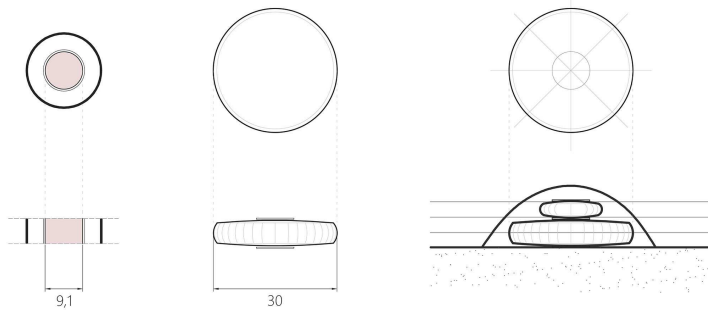
I. lunar rovers



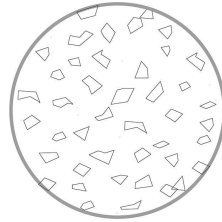
II. εξωτερικός  
εξοπλισμός



III. tomm habitat



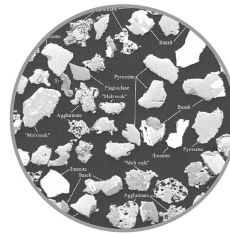
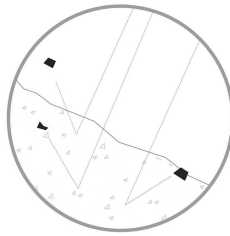
Ο ρηγόλιθος αποτελεί άφθονο τοπικό πανταχού παρόν υλικό στην επιφάνεια της Σελήνης. Ταυτόχρονα είναι πηγή όλων σχεδόν των πληροφοριών μας σχετικά με αυτή. Οφείλει την πυκνότητά του πιθανότατα στα ωστικά κύματα που παρήγαγαν οι συγκρούσεις αναρίθμητων μετεωροειδών με την επιφάνεια της Σελήνης. Μόλις μετακινηθεί από την αρχική του θέση όμως, το έδαφος χαλαρώνει και η πυκνότητά του μειώνεται σημαντικά.



Λόγω της απώλειας ατμόσφαιρας, η στήλη κοπτού της εξάτμισης του κινητήρα που έχει ένα σκάφος προσσελήνωσης, μπορεί να ωθήσει τους ρηγολιθικούς κόκκους ώστε να αγγίζουν μεγάλες ταχύτητες και να διανύσουν αποστάσεις της τάξεως των χιλιομέτρων. Οτιδήποτε βρεθεί στην πορεία των βλημάτων, θα δεχτεί σοβαρό πλήγμα από αυτή την αμβολή.

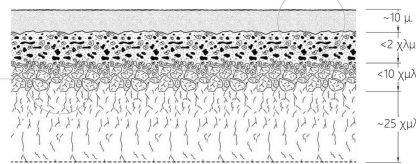
### ΣΕΛΗΝΙΑΚΟΣ ΡΗΓΟΛΙΘΟΣ

- εύπλεκτη και κολλώδης φύση υλικού
- μειώνει επιτυχώς τις έκρηξεις προσκρούσεων από μικρομετεωροειδή

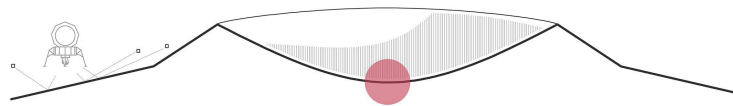


- ικανή προστασία από την ραδιενέργεια, με μερικά μέτρα υλικού.
- πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα (σταθερή θερμοκρασία στους -17 με -23°C, κάτω από μόλις 30 εκ.)

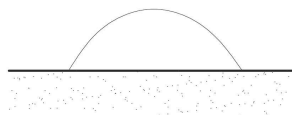
Το σεληνιακό έδαφος παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία στην εκκαθάριση. Η πυκνότητα του ρηγολίθου αυξάνεται εκθετικά όσο πηγαίνουμε βαθύτερα, αγγίζοντας σχεδόν ένα ποσοστό 100% σχετικής πυκνότητας σε βάθος 70 εκ.



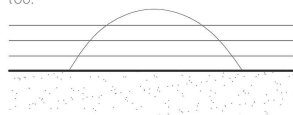
Μόνο τα επιφανειακά 15 εκ. παρουσιάζουν σχετική ευκολία στο φτυάρισμα, κάτι που μας δείχνει ότι δεν πρέπει να βασιστούμε στην τοπική διαμόρφωση. Αντιθέτως, θα πρέπει να εκμεταλλευτούμε την υπάρχουσα τοπογραφία.



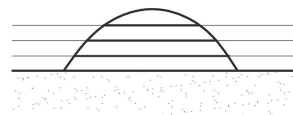
Ο ρηγόλιθος, σαν δομικό υλικό, θα πρόσφερε αποτελεσματική προστασία για τη δομή εάν στοιβαζόταν σε σχηματισμό λόφου.

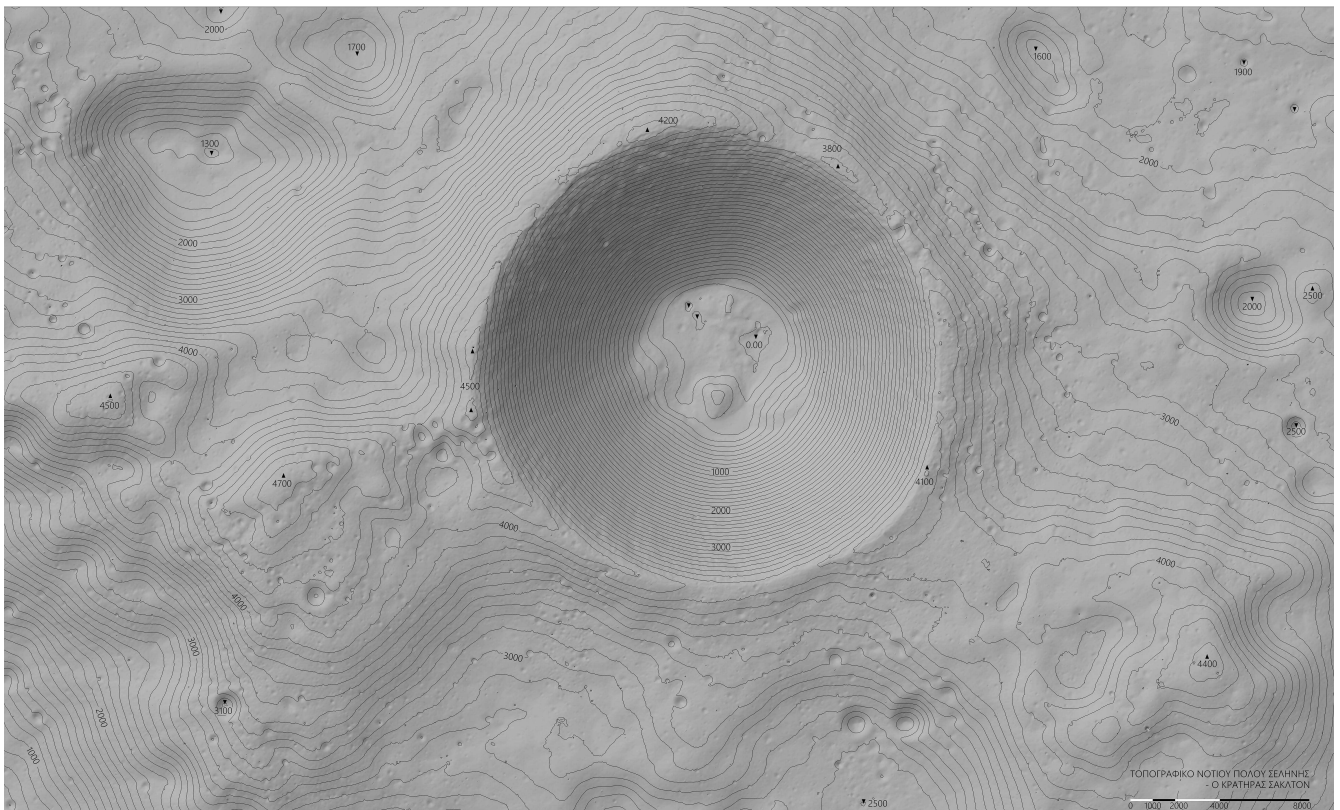


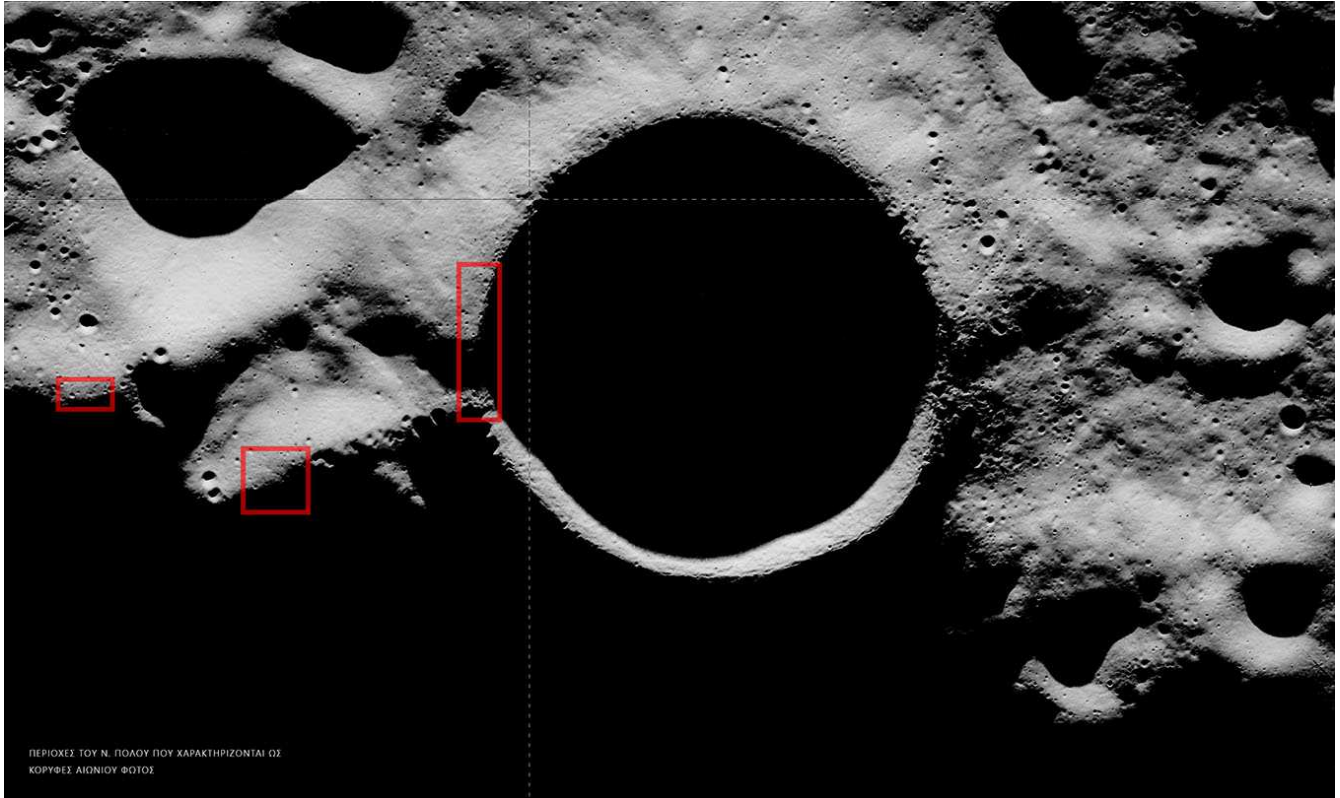
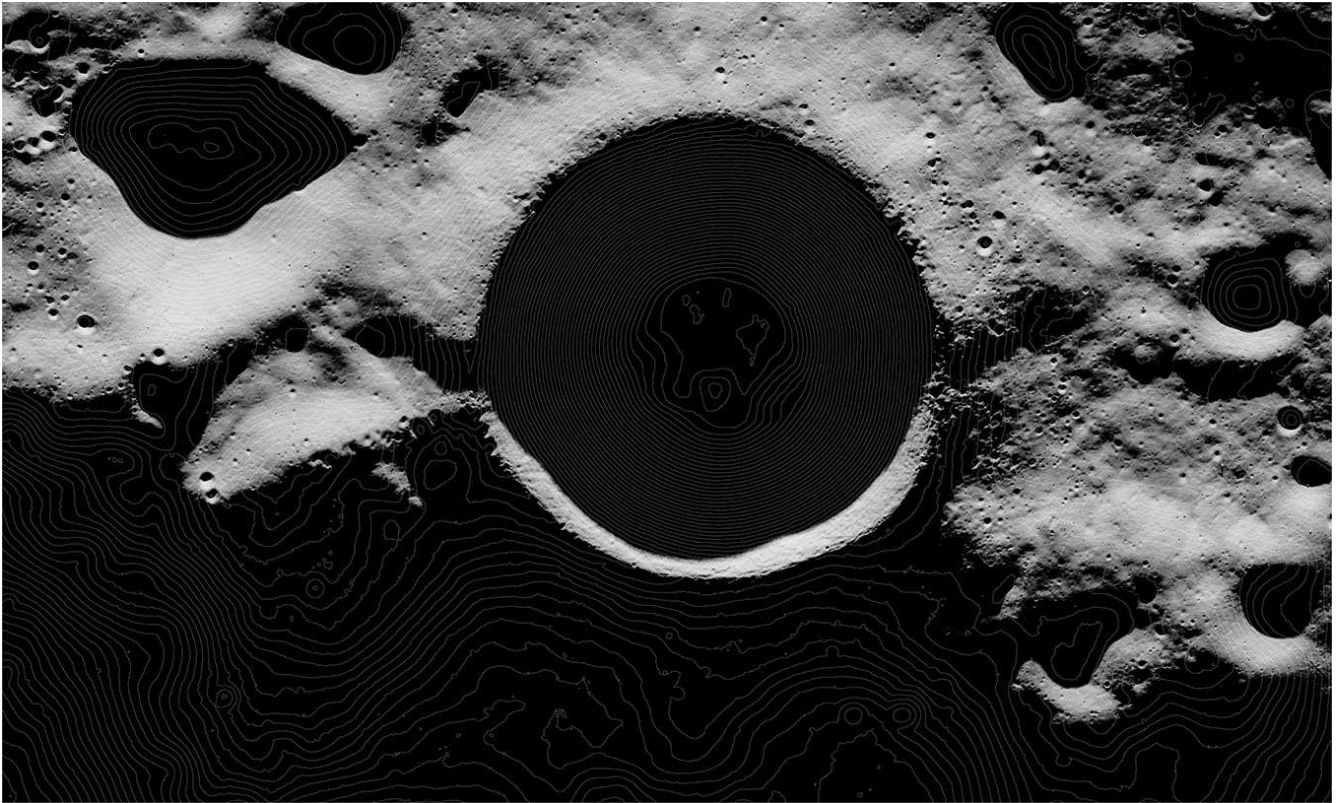
Όταν ο λόφος που σχηματίζεται ξεκινήσει να αποκτά απότομη κλίση, υφασμάτινα στοιχεία θα τοποθετηθούν σε συγκεκριμένα ύψη, ώστε να επιτύχουμε τη μηχανική σταθεροποίηση του ρηγολίθου στη θέση του.



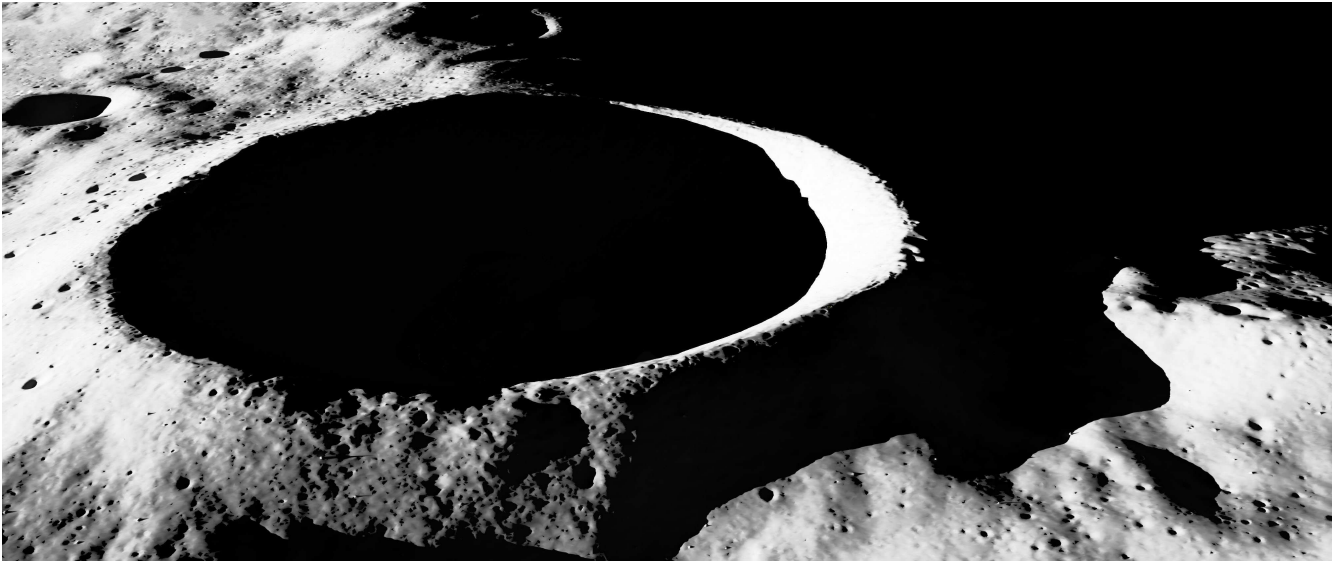
Με το ύφασμα, ως τύπο σπλισμού, η τάση ανάμεσα στις στρώσεις θα παράγει ολόπλευρη πίεση στο αμμώδες έδαφος, αυξάνοντας την αντοχή σε διάτμηση και άρα και την σταθερότητα του λόφου.







ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ Ν. ΠΟΛΟΥ ΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΟΣ  
ΚΟΡΥΦΕΣ ΛΙΓΝΙΟΥ ΦΩΤΟΣ



# tomm

< μέση γαελική tomm (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα \*tut- (φουσκώνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

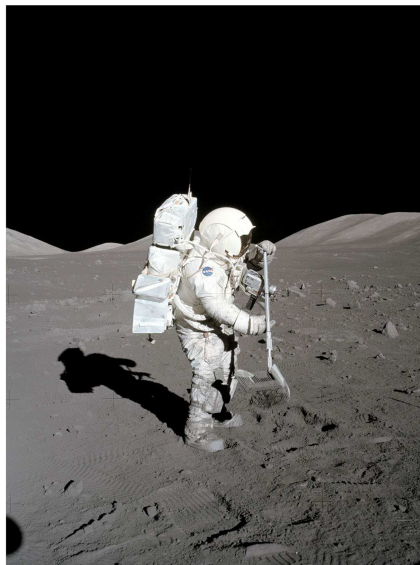
όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

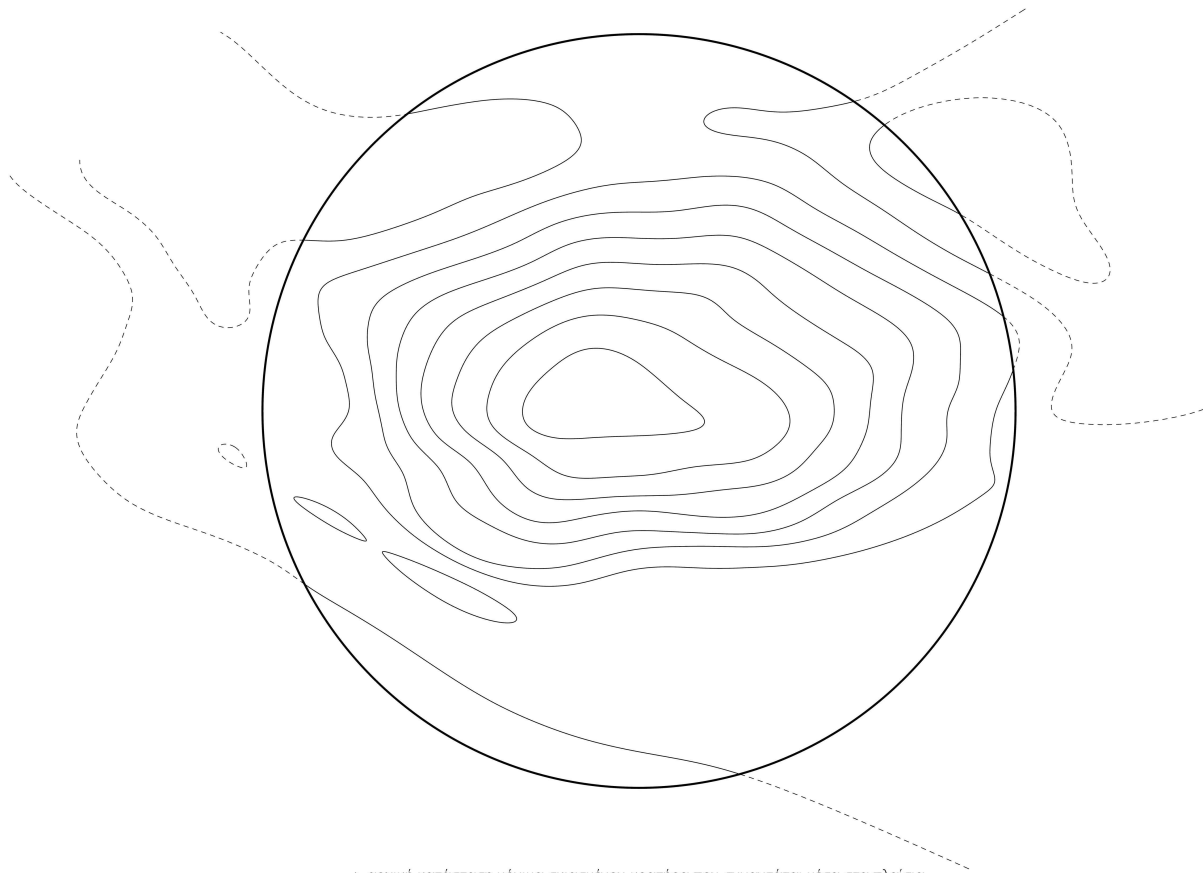
---

## ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

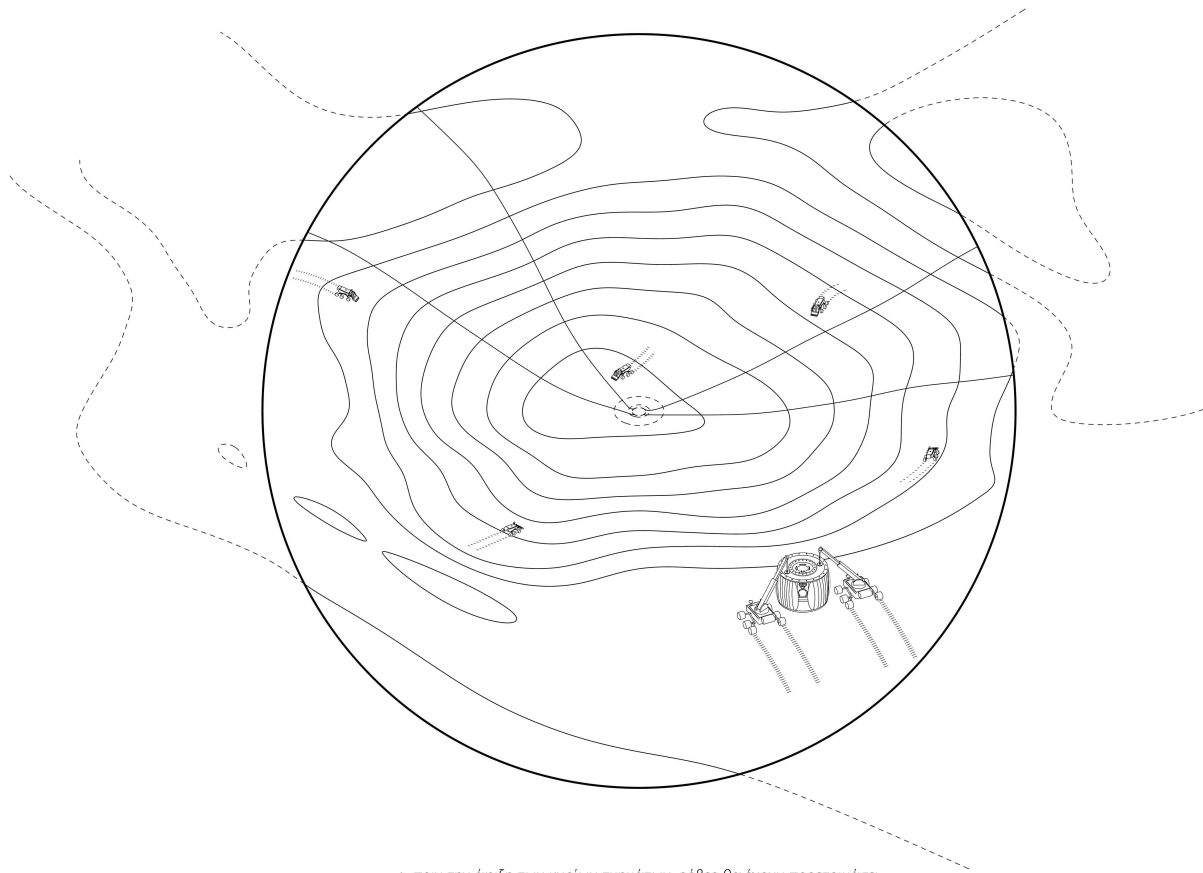
αριθμός σχεδίου < |



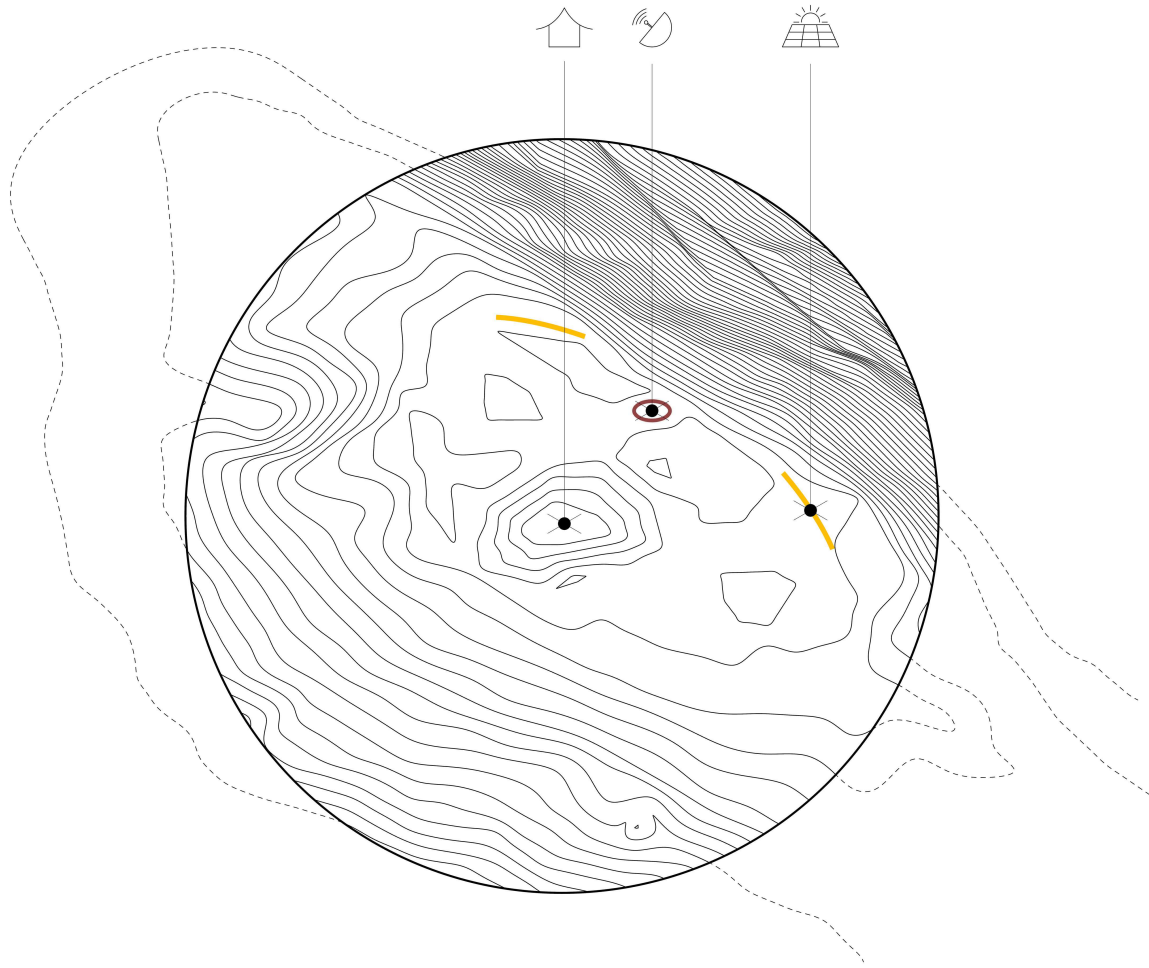




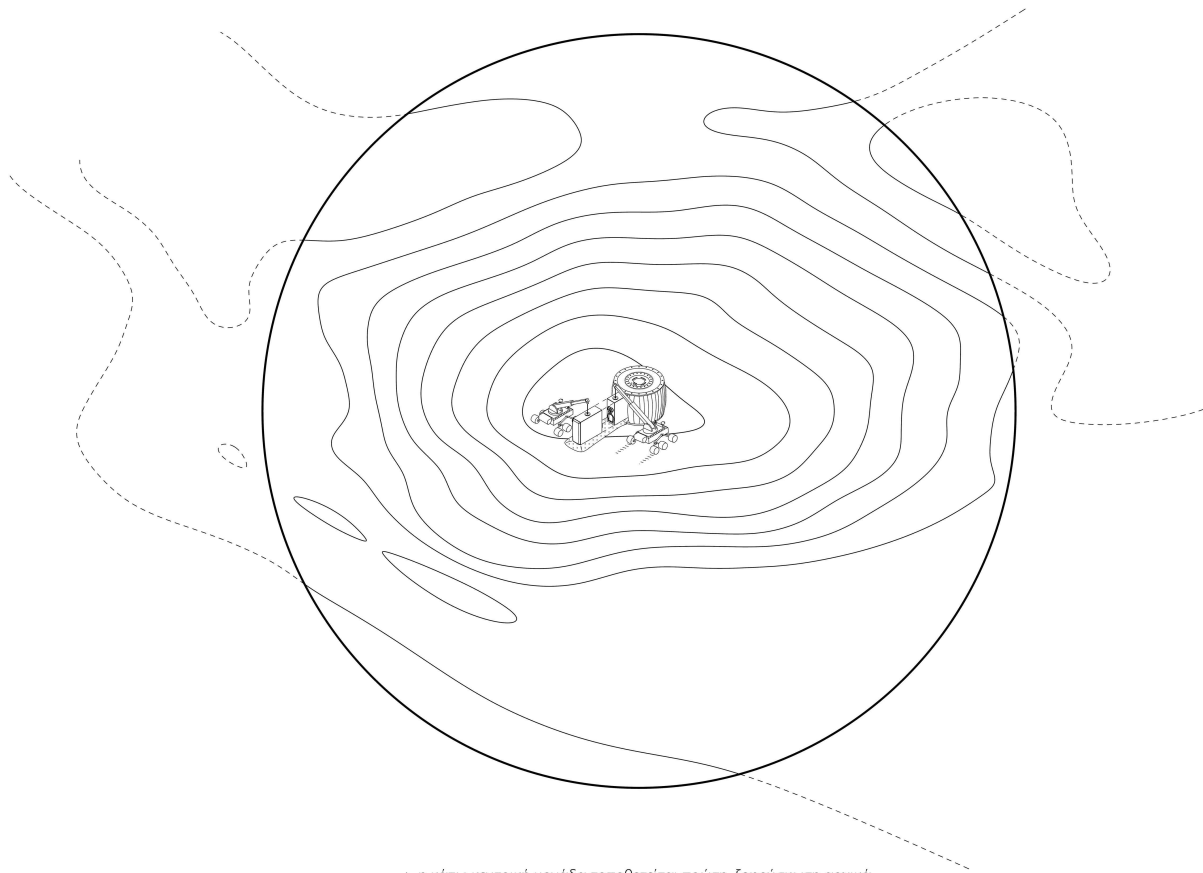
> αρχική κατάσταση μόνιμα σκιασμένου κρατήρα που συναντάται μέσα στα πλαίσια της άκρως ηλιόλουστης περιοχής με συντεταγμένες 89.7742°S, 203.4952°E, στο Σεληνιακό Νότιο Πόλο



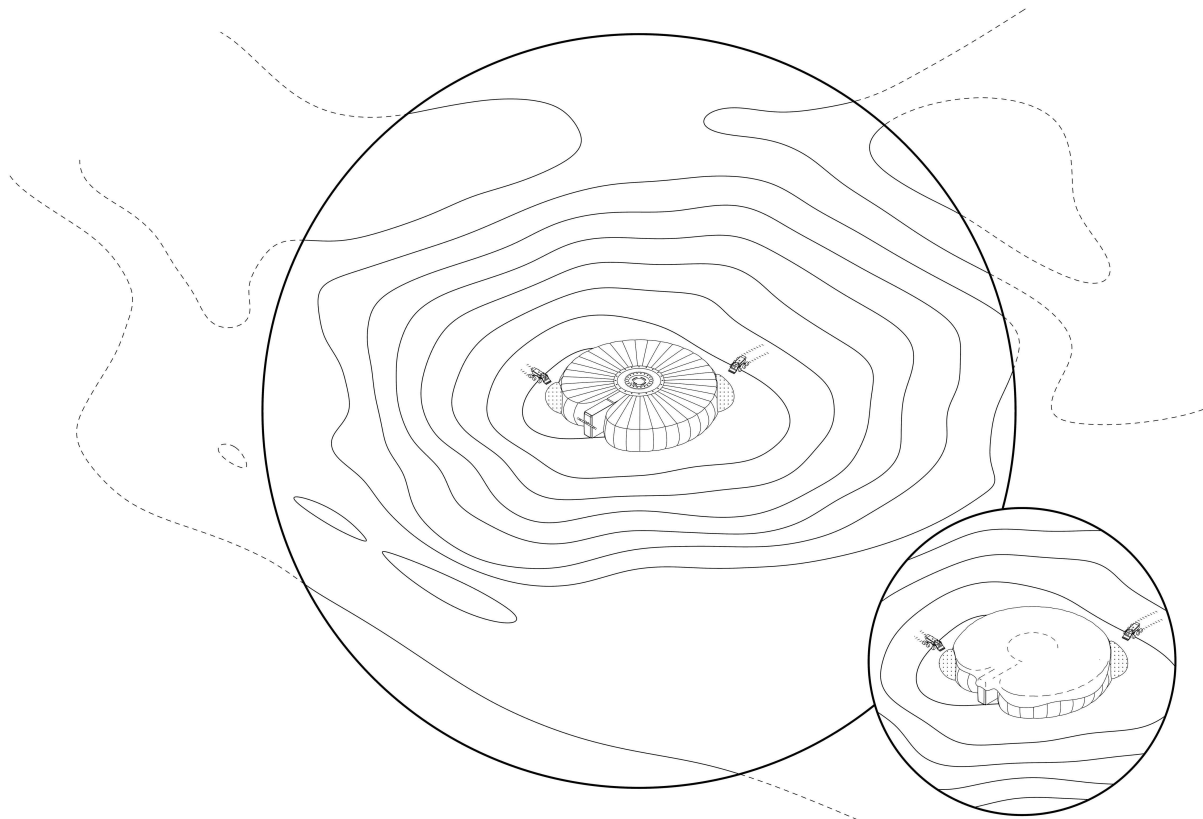
> πριν την άφιξη των κυρίων τμημάτων, ρόβερ θα έχουν προετοιμάσει τον κρατήρα με ταυτόχρονη συλλογή ρηγλίθου, όπως και θα στήσουν τους απαραίτητους ηλιακούς συλλέκτες, μαζί με τα αντίστοιχα καλώδια, θαμμένα κάτω από μερικά εκατοστά ρηγλίθου, και λοιπούς μηχανισμούς, οι οποίοι θα συνδεθούν με την κάτω πλευρά της κεντρικής μονάδας



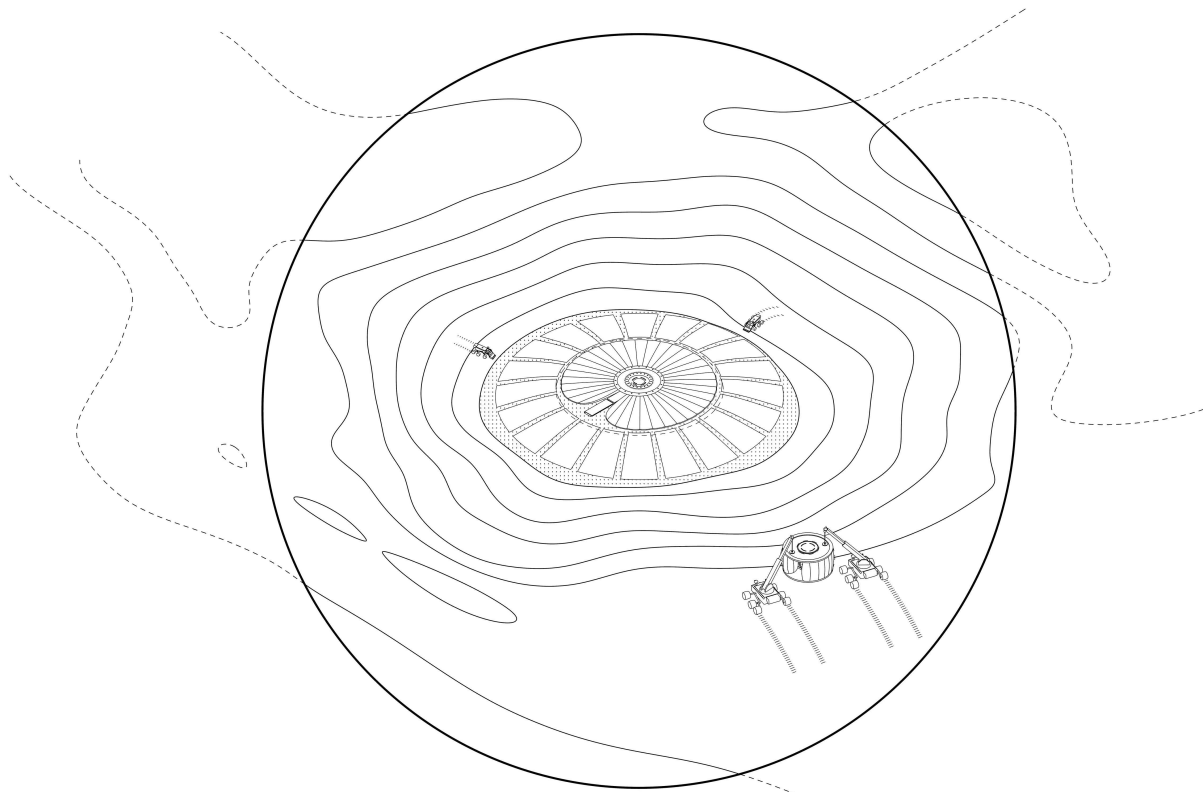
> στο χείλος του και στραμμένα προς τον κρατήρα Σάκλτον, οι δυο σειρές από ηλιακούς συλλέκτες, στις ενδεικτικές τους θέσεις, προστατεύονται από τυχόν αμμοβολές, όπως και αντίστοιχα, κεντρικά πίσω από την βάση, τα δορυφορικά συστήματα στην ορισμένη τους θέση



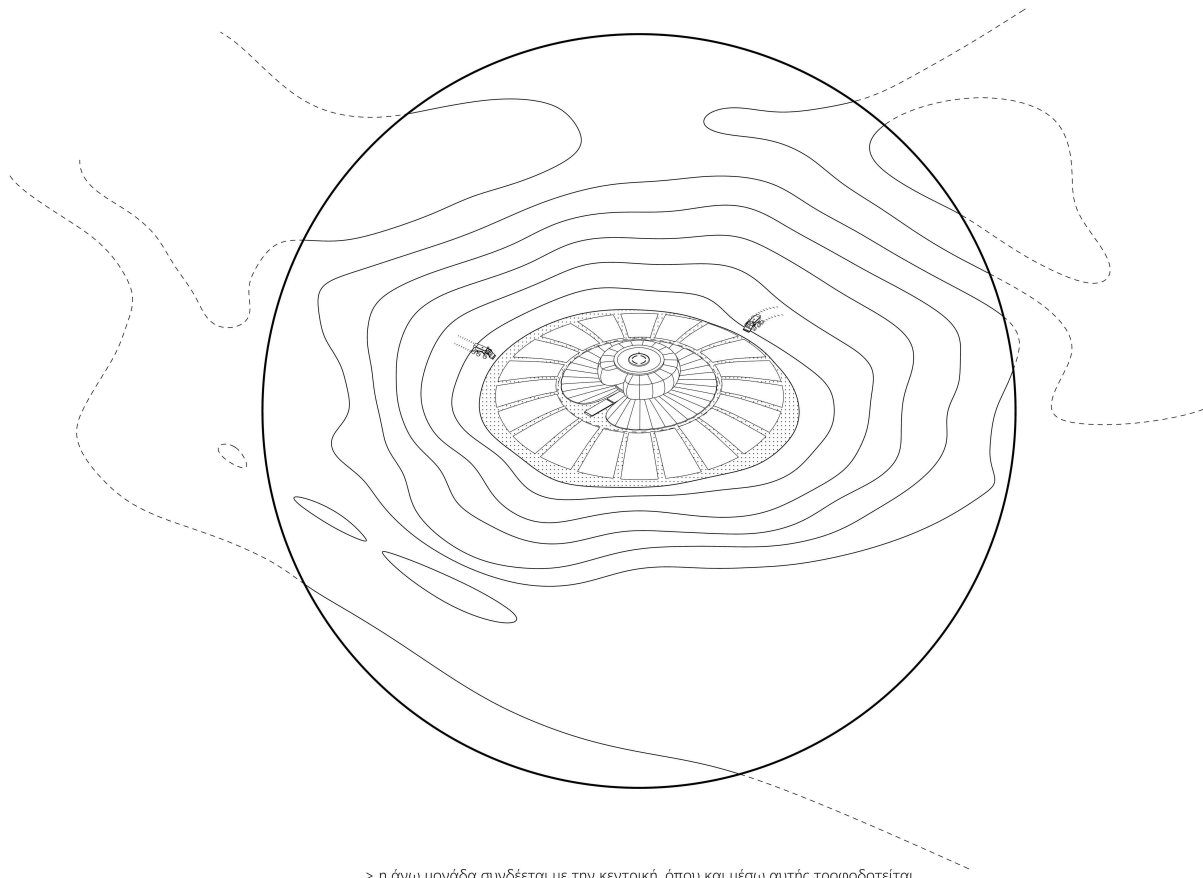
> η κάτω κεντρική μονάδα τοποθετείται πρώτη, ξεφούσκωτη αρχικά, με τα συστήματα υποστήριξης ζωής να λειτουργούν ως το μέσο τροφοδοσίας αέρα



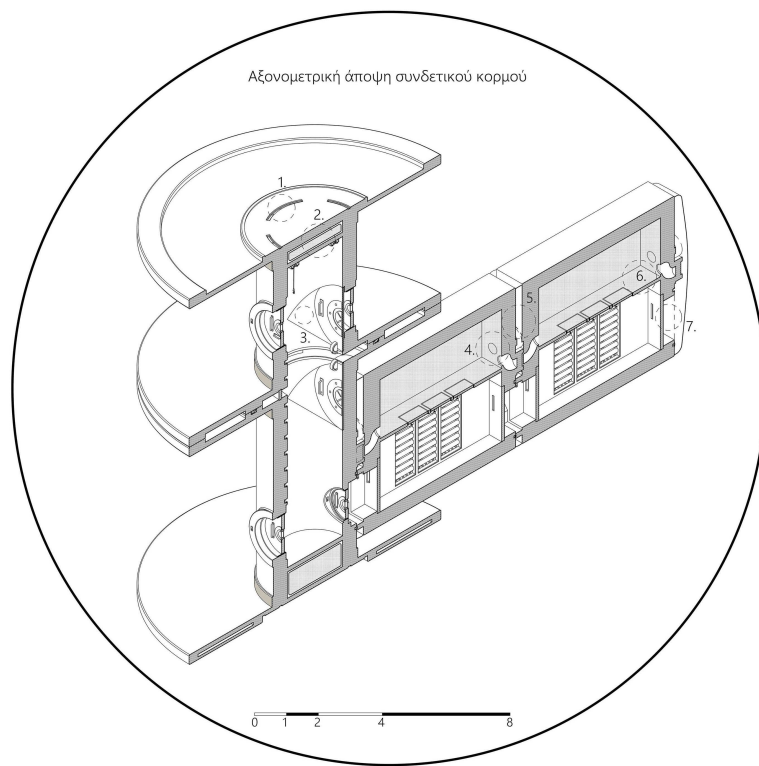
> ο ρηγόλιθος που έχουν συλλέξει και θα συνεχίσουν να συλλέγουν τα ρόβερ θα αρχίσει να καλύπτει την μονάδα, όπου και σε όλες τις φάσεις της κατασκευής, ειδικό ύφασμα για την προστασία της φουσκωτής μονάδας από μικρομετεωροειδή θα μπορεί να τοποθετείται όταν δεν εκτελούνται εργασίες



> σε συγκεκριμένα ύψη, όταν ο λόφος που σχηματίζεται ξεκινήσει να αποκτά μια πιο απότομη κλίση, υφασμάτινα στοιχεία θα τοποθετηθούν ώστε να επιτύχουμε τη μηχανική σταθεροποίηση του ρηγόλιθου στη θέση του, με την τάση στο εσωτερικό των επάλληλων στρώσεων να παράγει ολόπλευρη πίεση στο αμμόδες έδαφος, αυξάνοντας συνεπώς την διατμηματική αντοχή και άρα την σταθερότητα του λόφου

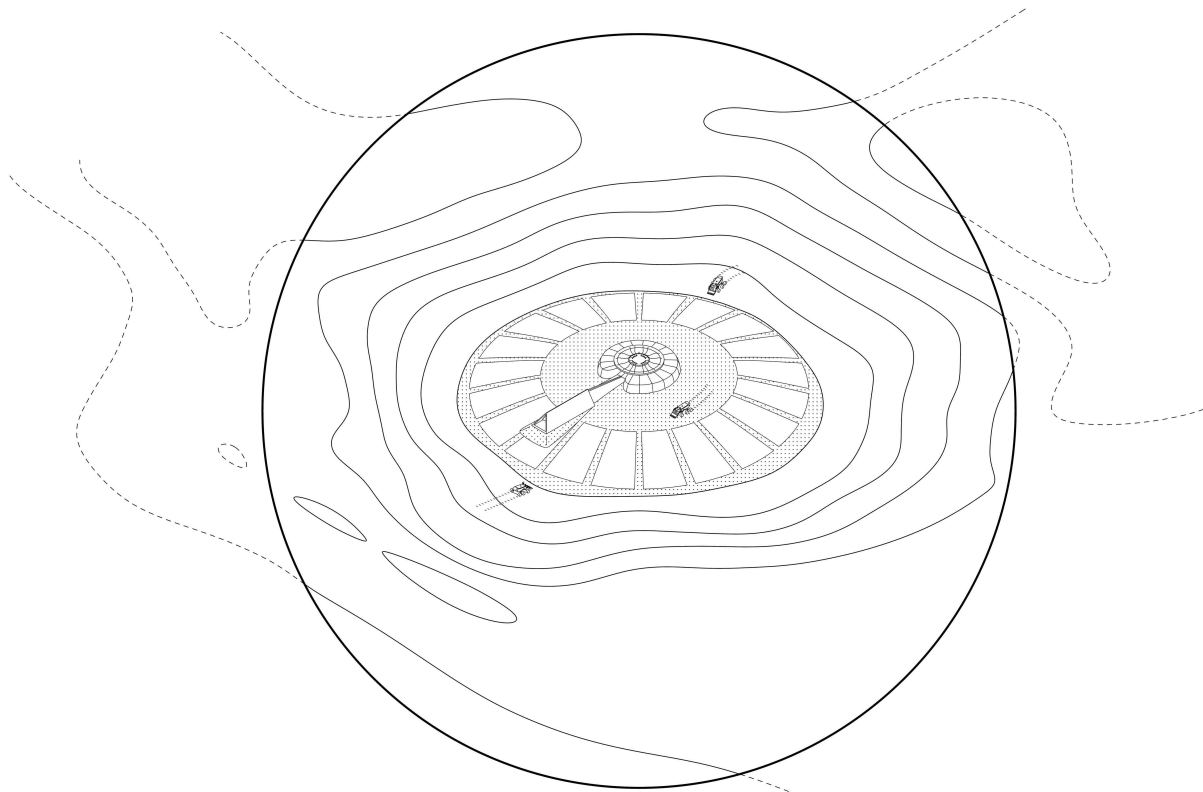


> η άνω μονάδα συνδέεται με την κεντρική, όπου και μέσω αυτής τροφοδοτείται με την απαιτούμενη ενέργεια και αέρα ώστε να αναπτυχθεί στην τελική της μορφή

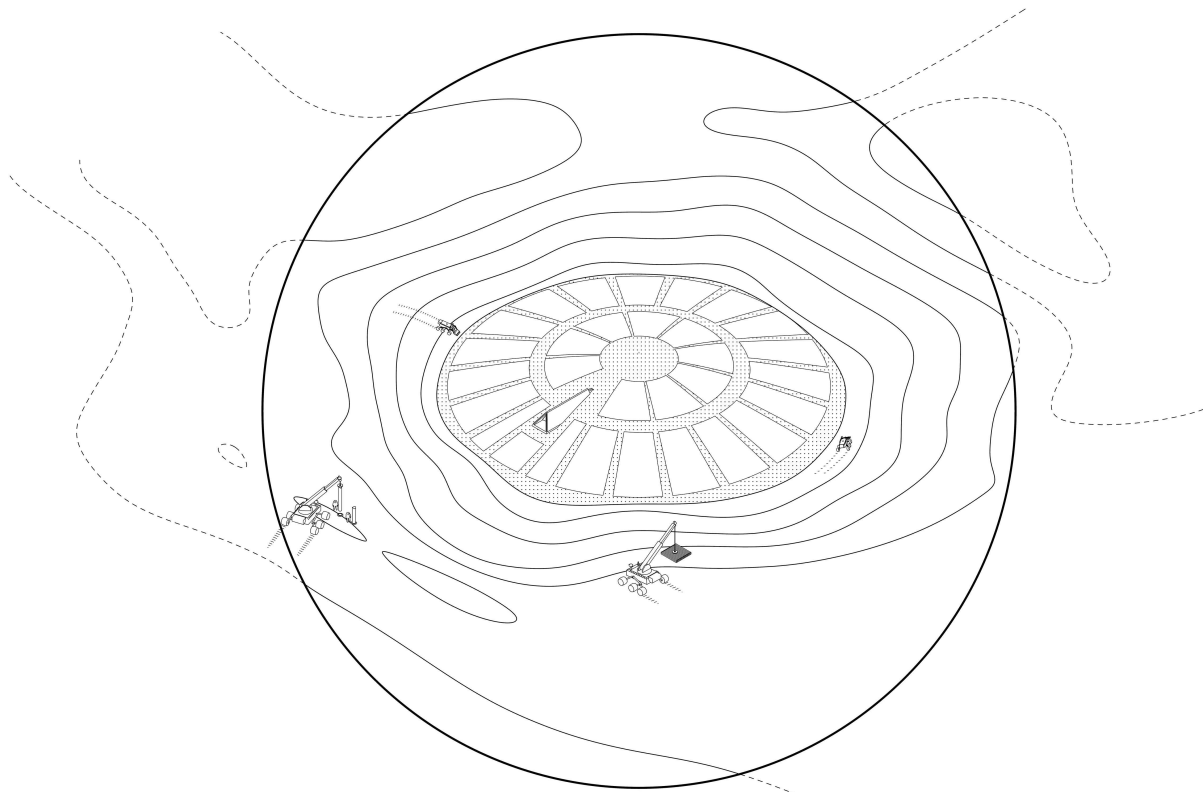


1. υποδοχές καλωδιώσεων και συνδέσεις σωληνώσεων
2. εγχοπές στην επιφάνεια του κεντρικού κυλίνδρου, ώστε να εισχωρούν και να εφορμίζουν πλήρως οι καταπακτές της κάθε μονάδας και να αφήνουν καθαρή την διάμετρο των δύο μέτρων
3. περιστρεφόμενο σύστημα ανύψωσης φορτίων ή/και ανθρώπων, σε περιπτώσεις πειραματισμού ή τραυματισμού
4. συνδέσεις των σωληνώσεων των συστημάτων υποστήριξης ζωής, όπου υπάρχει συνεχή ροή υγρών, αερίων και ενέργειας
5. μαλακό προστατευτικό κάλυμμα, για την αποφυγή σκόνης και τη διατήρηση αποστάσεων μεταξύ των μονάδων, λόγω των πιθανών μικροδονήσεων των μηχανισμών
6. χώρος μηχανισμών υποστήριξης ζωής, με καταπακτές επισκευασίας στα συστήματα σωληνώσεων
7. έξοδος κινδύνου, στο σενάριο της ολικής αστοχίας της κύριας εξόδου, έπειτα από την απαιτούμενη εξωτερική εκσκαφή

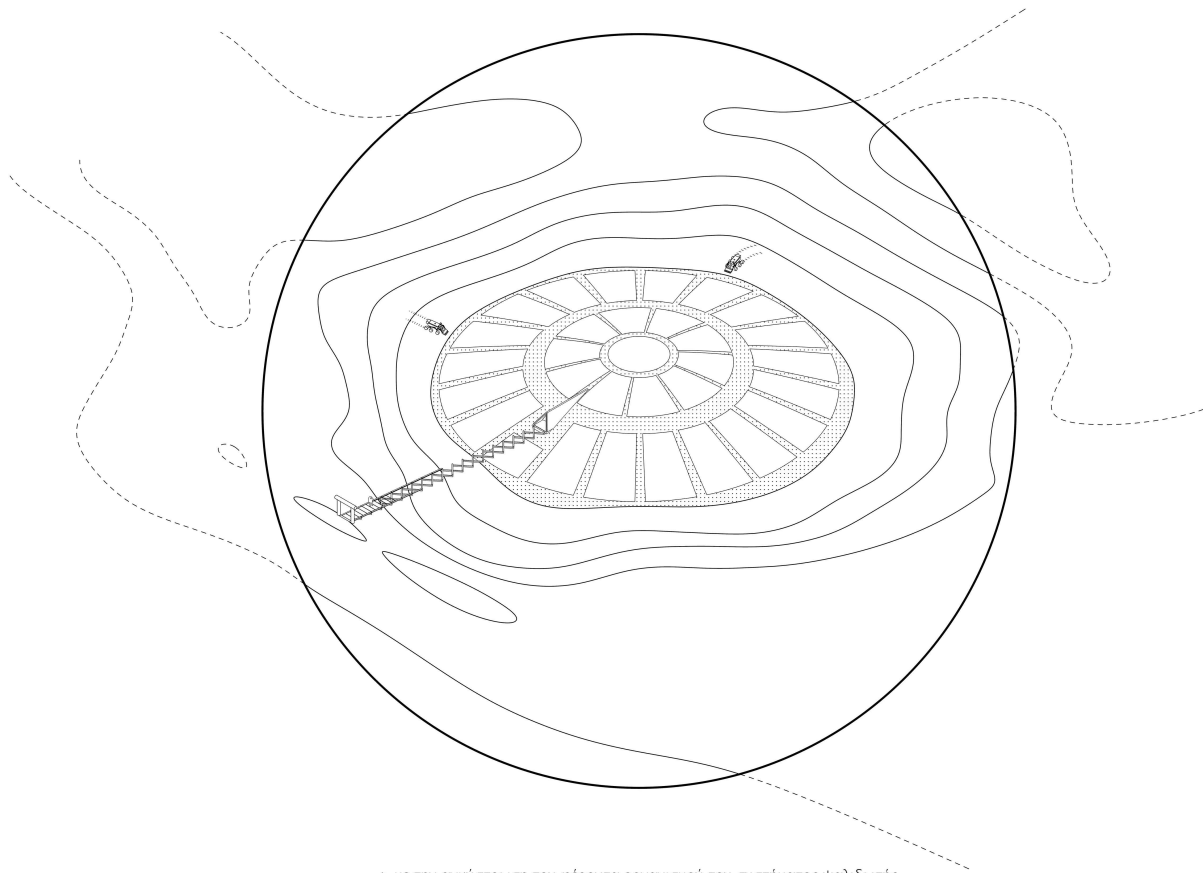




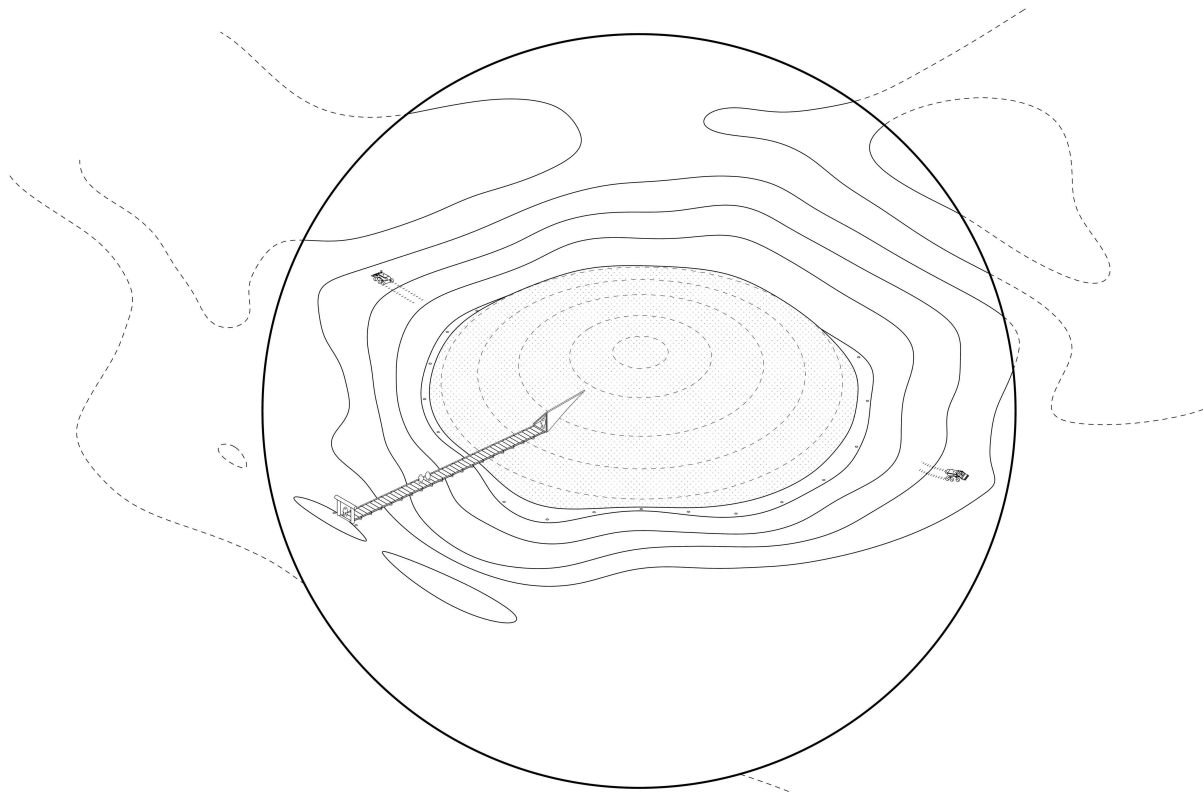
> ο θάλαμος αποσυμπίεσης και καθαρισμού εισόδου-εξόδου τοποθετείται τελευταίος, όπου και συνδέεται με την άνω μονάδα μέσω φουσκωτού διαδρόμου, ο οποίος πρόκειται να καλυφθεί πλήρως



> σε αυτό το στάδιο υφασμάτινο κάλυμμα προστασίας εφαρμόζεται πάνω στο ακάλυπτο μέρος του θαλάμου εισόδου-εξόδου, όπως επίσης ξεκινά η ανάπτυξη της γέφυρας, με την ταυτόχρονη εκσκαφή για την τοποθέτηση πασσάλων αγκύρωσης αυτής με τη μορφή πύλης, όπου και πλέον οι ίδιοι οι αστροναύτες θα πρέπει πιθανώς να μετέχουν στην κατασκευή



> με την αγκύστρωση του φέροντα οργανισμού του συστήματος ψαλιδωτής γέφυρας, οι λεπτομέρειές της μπορούν να συμπληρωθούν από τους ίδιους τους αστροναύτες, οι οποίοι ακόμα δεν μπορούν να διαμείνουν στη βάση λόγω των συνεχόμενων εργασιών



> με την τελική στρώση ρηγόλιθου να τοποθετείται και μαζί με τον περιμετρικό φωτισμό, η βάση πλέον θεωρείται κατασκευαστικά ολοκληρωμένη

# tomm

< μέση γαελική tomm (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα \*tut- (φουσκώνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

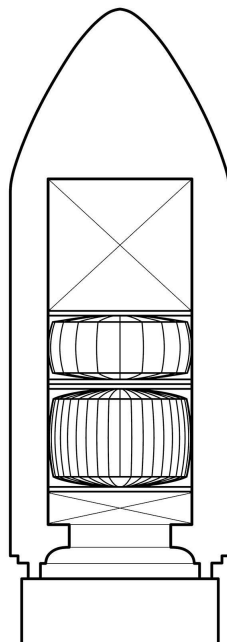
όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

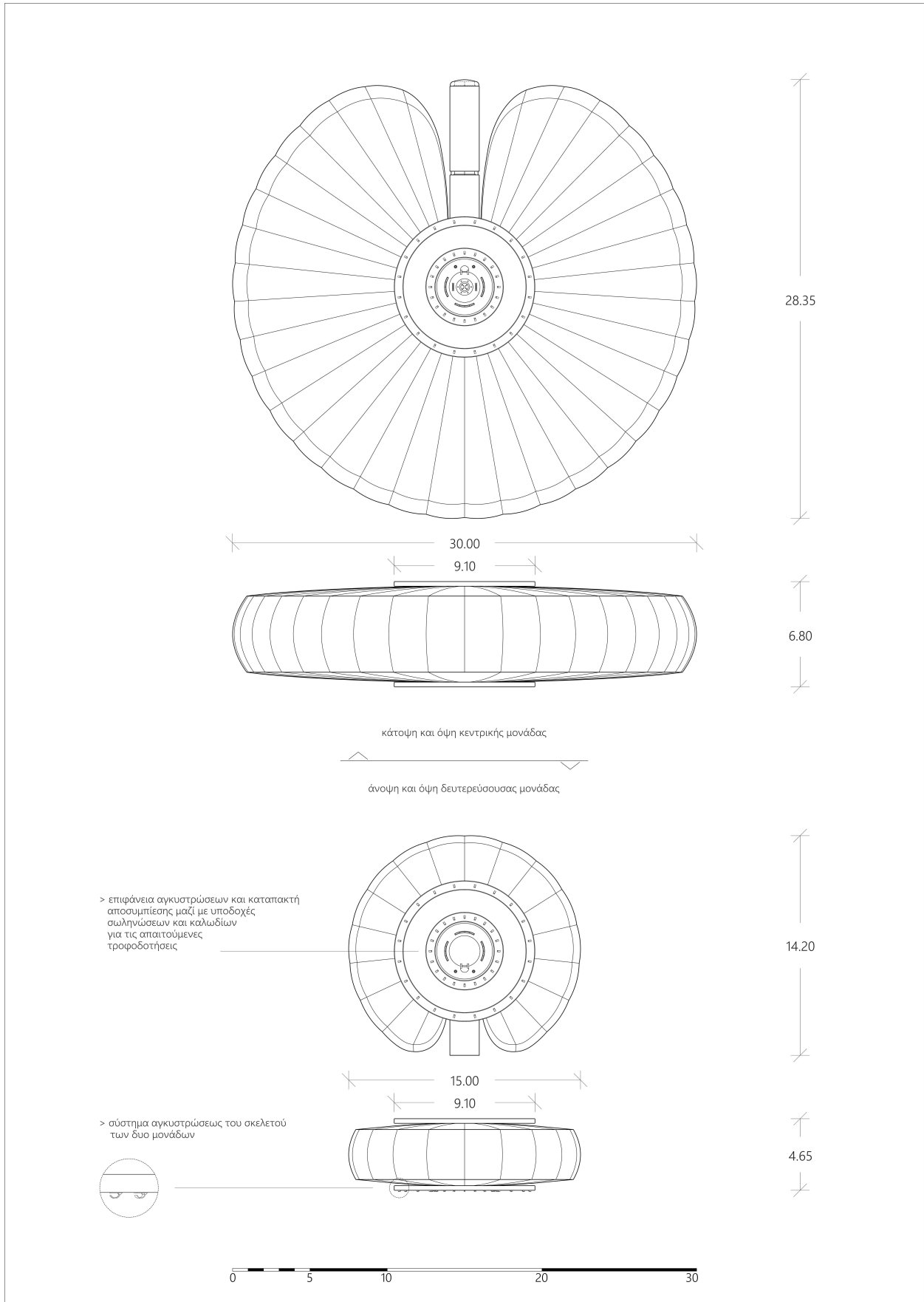
όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

---

## ΟΨΕΙΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΟΝΑΔΩΝ

αριθμός σχεδίου < II / κλίμακα < 1:100





# tomm

< μέση γαελική tomm (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα \*tut- (φουσκώνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

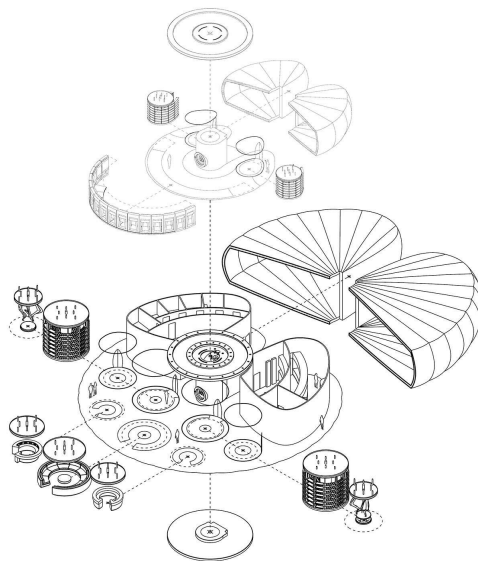
όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

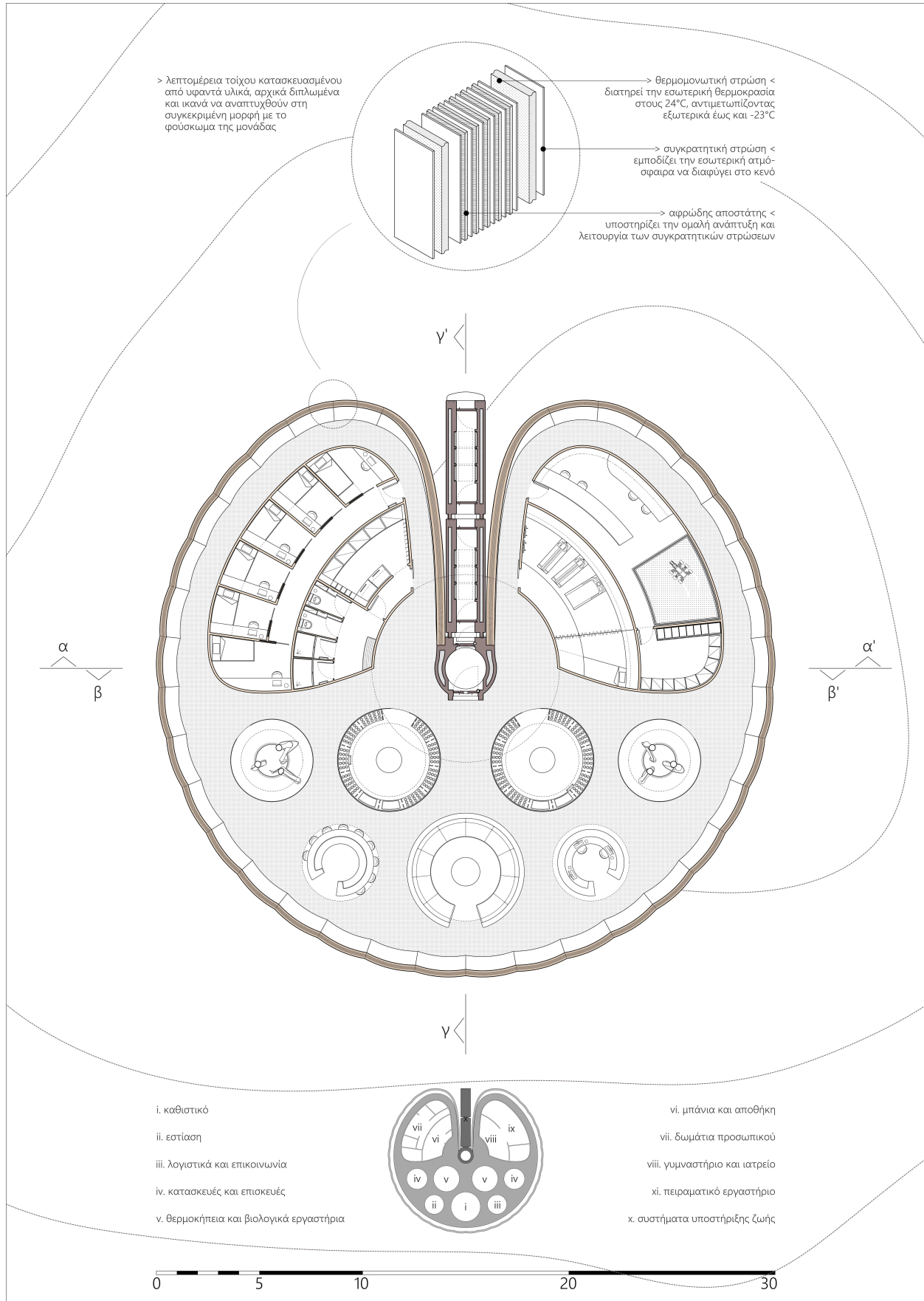
όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

---

## ΚΑΤΟΨΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

αριθμός σχεδίου < III / κλίμακα < 1:75







# tomm

< μέση γαελική tomm (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα \*tóm- (φρουσκύνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

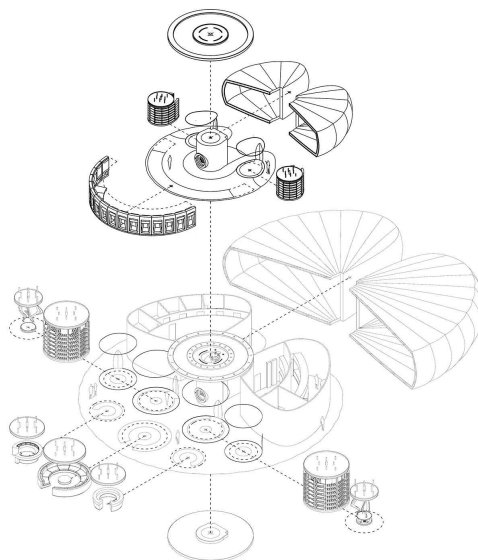
όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

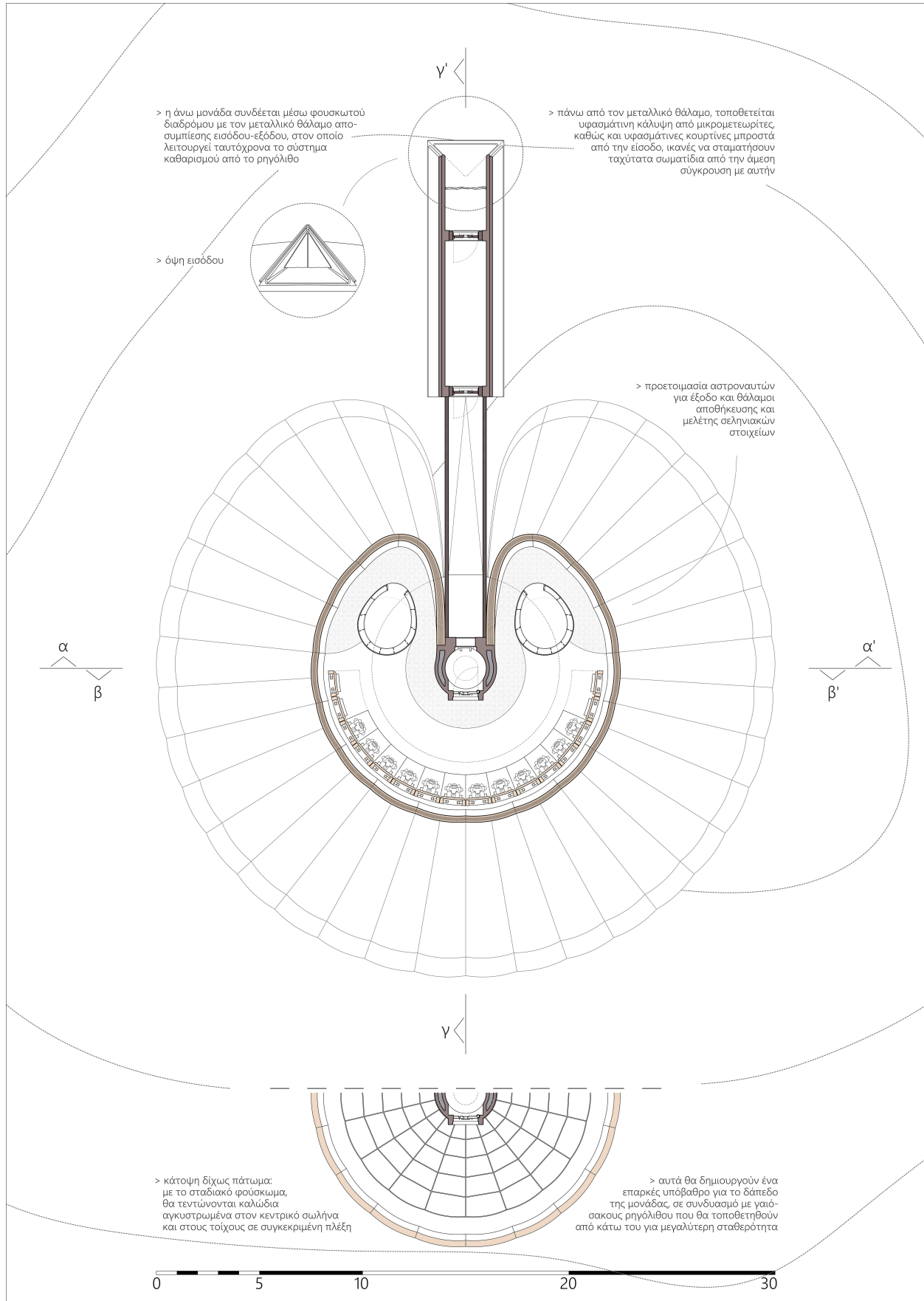
όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

---

## ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΩ ΜΟΝΑΔΑΣ

αριθμός σχεδίου < IV / κλίμακα < 1:75





# tomm

< μέση γαελική tomm (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα \*tom- (φουσκώνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

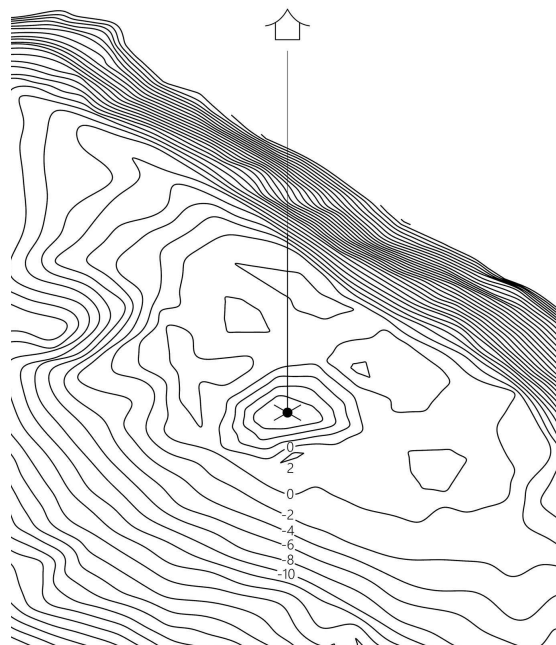
όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

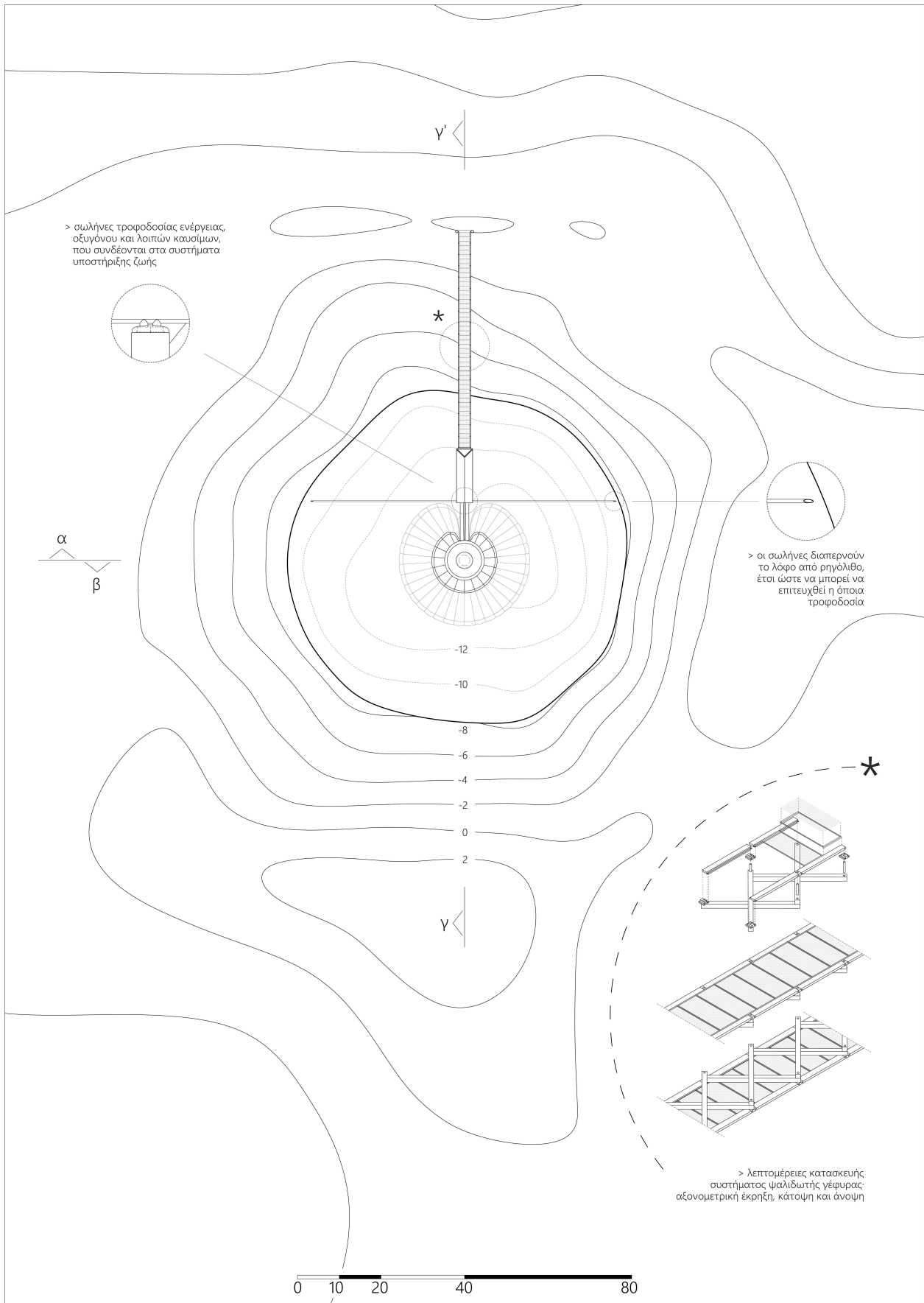
όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

---

## ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΑΙ ΚΡΑΤΗΡΑ

αριθμός σχεδίου < V / κλίμακα < 1:350





# tomm

< μέση γαελική tomm (μικρός λόφος)  
< πρωτοϊνδοευρωπαϊκή ρίζα \*tum- (φρουσκώνω)

## ΑΣΤΡΟΝΑΥΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ

είδος μελέτης <  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

περίοδος <  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ίδρυμα <  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

όνομα επιβλέποντος <  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΓΚΑΝΙΑΤΣΑΣ

όνομα σπουδαστή <  
ΑΓΓΕΛΟΣ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ ΑΛΦΑΤΖΗΣ

---

### ΤΟΜΕΣ ΒΑΣΗΣ αα', ββ', γγ'

αριθμός σχεδίου < VI / κλίμακα < 1:100

