



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

‘Εξόρυξη και Μεταλλευτική του Διαστήματος’

**Ρούσσος Κοσμάς Δαμιανός**

Επιβλέπων: Μπενάρδος Ανδρέας, Καθηγητής ΕΜΠ

Οκτώβριος 2023



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Μπενάρδο Ανδρέα, που με τη βοήθεια του αλλά και με την υπομονή του ολοκληρώθηκε αυτή η εργασία. Ακόμα, ευχαριστώ όλους όσους με βοήθησαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και μου έδωσαν κουράγιο να συνεχίσω!

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής και απότομη αύξηση του πληθυσμού οδηγεί στην υπεράντληση των φυσικών πόρων του πλανήτη μας. Η καταστροφή αυτή του πλανήτη, μας έχει βάλει σε διαδικασία εξερεύνησης του διαστήματος για πιθανή επέκταση σε άλλα ουράνια σώματα με σκοπό την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων τους. Η εργασία αυτή μελέτησε και ανέλυσε τη λειτουργία μιας διαστημικής εξορυκτικής οικονομίας.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο έγινε αναφορά των προβλημάτων που μας ωθούν σε μια τέτοια ενέργεια καθώς απαιτούνται πολύ μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας και γνώσεις του διαστήματος και της λειτουργίας του. Στο δεύτερο κεφάλαιο, έγινε ανάλυση των επιχειρήσεων και των ιδιωτικών οργανισμών που ασχολούνται ή έχουν ασχοληθεί με την εξερεύνηση του διαστήματος. Επιπλέον, αναφέρθηκαν μερικές βασικές αποστολές ή προσπάθειες που έχουν γίνει. Ακόμα, παρουσιάστηκαν ουράνια σώματα που μπορεί να αποτελέσουν το κέντρο εξορυκτικών εργασιών και τι θα μπορούσαν να μας προσφέρουν. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναπτύχθηκαν οι τρόποι με τους οποίους θα μπορέσουμε να επιτύχουμε το σκοπό αυτό, καθώς το περιβάλλον στο διάστημα είναι διαφορετικό από αυτό της Γης. Έγινε αναφορά σε πιθανούς τρόπους εξόρυξης, τρόπους προστασίας στο αντίξοο περιβάλλον του διαστήματος και σε διάφορες πρακτικές που θα έκαναν τη διαστημική εξόρυξη πιο εύκολη. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο, έγινε ανάλυση της Σελήνης ως ουράνιο σώμα. Πιο αναλυτικά, αναπτύχθηκαν τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος της Σελήνης, της γεωλογίας της και κάποιες φυσικές και χημικές διεργασίες με τις οποίες θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε κάποιους φυσικούς πόρους από την επιφάνεια της. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο έγινε αναφορά στους αστεροειδείς εξαιτίας του τεράστιου φυσικού πλούτου που διαθέτουν και παρουσιάστηκαν ως πιθανό στόχο εξόρυξης. Αν και οι αστεροειδείς είναι απομακρυσμένοι σε σχέση με τη Γη στο ηλιακό μας σύστημα, η εξόρυξη τους είναι πολύ σημαντική. Στο έκτο κεφάλαιο έκλεισε η εργασία και παρουσιάστηκαν συμπεράσματα στο πλαίσιο μιας βιώσιμης διαστημικής εξόρυξης.

## ABSTRACT

The continuous and rapid population growth leads to the overexploitation of our planet's natural resources. The destruction of this planet has put us in the process of exploring space for possible expansion to other celestial bodies in order to exploit their natural resources. This dissertation studied and analyzed the operation of a space mining economy.

Initially, in the first chapter there was a mention of the problems that push us to such an action as it is required a very large development of technology and knowledge of space and its operation. In the second chapter, an analysis was made, of the companies and private organizations that deal or have dealt with space exploration. In addition, some key missions and efforts that have been undertaken were mentioned. Also, celestial bodies that may be the centre of mining operations and what they could offer to us were presented. In the third chapter, the ways in which we will be able to achieve this goal were developed, since the environment in space is different form that on Earth. References was made to possible ways of mining, ways to protect against the harsh environment of space, and various practices that would make space mining easier. Then, in the fourth chapter, an analysis was made of the Moon as a celestial body. In more detail, the characteristics of the Moon's environment, its geology and some physical and chemical processes by which we could exploit some natural resources form its surface were developed. Finally, in the fifth chapter, reference was made to asteroids because of the enormous natural wealth they possess, and they were presented as a potential mining target. Although asteroids are distant from Earth in our solar system, their mining is very important. In the sixth chapter, the dissertation was closed, and conclusions were presented in the context of a sustainable space mining.

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΩΝ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ABSTRACT

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΩΝ

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
------------------	----

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

2. ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	15
2.1 Μεταλλευτική του Διαστήματος.....	16
2.2 Στόχοι στο Διάστημα.....	16
2.2.1 Σελήνη.....	17
2.2.1.1 Ρεγκόλιθος.....	18
2.2.2 Αστεροειδείς.....	19
2.2.3 Άρης.....	20
2.2.4 Κομήτες.....	22
2.3 Εταιρείες και Οργανισμοί.....	23
2.3.1 Planetary Resources.....	23
2.3.1.1 Asteroid Redirect Mission.....	24
2.3.2 Deep Space Industries .....	25
2.3.3 iSpace.....	26
2.3.3.1 Lunar Rover Vehicle.....	26

2.3.4 Shackleton Energy Company.....	27
2.3.5 Moon Express.....	28
2.3.6 NASA.....	29
2.4 Συμπεράσματα.....	30

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

<b>3. ΠΩΣ ΘΑ ΕΠΙΤΥΧΟΥΜΕ ΜΙΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ;</b> .....	31
3.1 In Situ Resource Utilization.....	31
3.1.1 In Situ Manufacturing.....	31
3.2 Εξορυκτικά μηχανήματα.....	32
3.2.1 Bucket Wheel Excavator.....	32
3.2.2 Tunnel Boring Machine.....	33
3.2.3 RASSOR.....	34
3.2.4 Vacuum-like Machine.....	35
3.3 Ανάπτυξη τεχνολογιών στη διαστημική εξόρυξη.....	36
3.3.1 Electrodynamic Dust Shield.....	36
3.3.2 Εκτύπωση 3D.....	36
3.3.3 Space-based power systems.....	37
3.3.4 Τηλεϊατρική.....	39
3.4 Τσιμέντο στο διάστημα.....	39
3.4.1 Στάδια δημιουργίας σεληνιακού τσιμέντου.....	40
3.4.2 Εταιρείες και οργανισμοί που αναπτύσσουν σεληνιακό τσιμέντο.....	41
3.4.3 Τρόποι εξαγωγής Ρεγκόλιθου από το έδαφος για την παραγωγή διαστημικού τσιμέντου.....	41
3.4.4 Σκυρόδεμα στο διάστημα.....	42

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

4. ΣΕΛΗΝΗ.....	44
4.1 Γενικά για τη Σελήνη.....	44
4.1.1 Δημιουργία της Σελήνης.....	44
4.1.2 Ενδεχόμενο για ζωή.....	45
4.1.3 Τροχιά και περιστροφή της Σελήνης.....	45
4.2 Χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος της Σελήνης.....	46
4.2.1 Θερμοκρασία.....	46
4.2.2 Ακτινοβολία.....	47
4.2.3 Έλλειψη βαρύτητας και ατμόσφαιρας.....	48
4.3 Επεξεργασία του σεληνιακού εδάφους για τον διαχωρισμό ορυκτών.....	49
4.4 Εξαγωγή οξυγόνου από το σεληνιακό έδαφος.....	50
4.4.1 Ηλεκτρόλυση.....	50
4.4.2 Πυρόλυση.....	51
4.4.3 Bioleaching.....	52
4.4.4 Διαχωρισμός πλάσματος.....	52

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

5. ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	54
5.1 Τι είναι οι αστεροειδείς.....	54
5.1.1 Κατηγορίες αστεροειδών.....	54
5.2 Χρηματική αξία των αστεροειδών και χρηματοοικονομικές προκλήσεις.....	56
5.3 Γεωλογία των αστεροειδών.....	59
5.3.1 Φασματομετρία.....	59
5.3.2 Ραδιομετρία.....	59
5.3.3 Υπερφασματική απεικόνιση.....	60



5.3.4 Παρακολούθηση εδάφους του αστεροειδή.....	61
5.3.5 Θερμικό μοντέλο.....	63
5.4 Φυσικοί πόροι.....	63
5.4.1 Εξαγωγή νερού.....	63
5.4.2 Νικέλιο και Σίδηρος.....	64
5.5 Διαθεσιμότητα αστεροειδών.....	64

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	66
----------------------	----

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ

## ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	13
Εικόνα 2. Παρουσία πάγου στους πόλους της Σελήνης.....	17
Εικόνα 3. Σεληνιακός Ρεγκόλιθος που χαρακτηρίζεται ως ‘πούδρα’.....	19
Εικόνα 4. Κρατήρες στην περιοχή Arabia Terra του Άρη.....	21
Εικόνα 5. Επιφάνεια του Άρη στην οποία είναι εμφανής η παρουσία Ρεγκόλιθου.....	22
Εικόνα 6. Ρομποτικός εξοπλισμός για την πραγματοποίηση της αποστολής ARM.....	25
Εικόνα 7. LRV.....	27
Εικόνα 8. Bucket Wheel Excavator στον οποίο είναι εμφανής ο μεγάλος τροχός με τους κάδους που διαθέτει.....	33
Εικόνα 9. Tunnel Boring Machine.....	34
Εικόνα 10. RASSOR.....	35
Εικόνα 11. Μοντέλο σεληνιακής βάσης όπως θα μπορούσε να φτιαχτεί με την τρισδιάστατη εκτύπωση.....	37
Εικόνα 12. Ηλιακό πάνελ στο διάστημα.....	38
Εικόνα 13. Μίξη τσιμέντου στο διάστημα (πάνω) και στη Γη (κάτω).....	43
Εικόνα 14. Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κέλβιν κατά τη διάρκεια της ημέρας.....	47
Εικόνα 15. Απλή μορφή καύσης υδρογόνου.....	50
Εικόνα 16. Ηλεκτρόλυση.....	53
Εικόνα 17. Ο αστεροειδής Ceres – υπολογίζεται ότι είναι ο μεγαλύτερος αστεροειδής.....	54
Εικόνα 18. Επιφάνεια αστεροειδή στην οποία φαίνεται η ποικιλία μετάλλων που περιέχει.....	55

Εικόνα 19. Διάγραμμα των κατηγοριών των αστεροειδών σε σχέση με την απόσταση του από τον Ήλιο.....	57
Εικόνα 20. Αστεροειδής 16 Psyche.....	57
Εικόνα 21. Απεικόνιση της χρηματικής αξίας των αστεροειδών σε πεντάκις εκατομμύρια αμερικάνικα δολάρια αν εκμεταλλευτούν.....	58
Εικόνα 22. Μήκη κύματος φάσματος ακτινοβολίας.....	60
Εικόνα 23. Sentinel Space Telescope.....	62

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

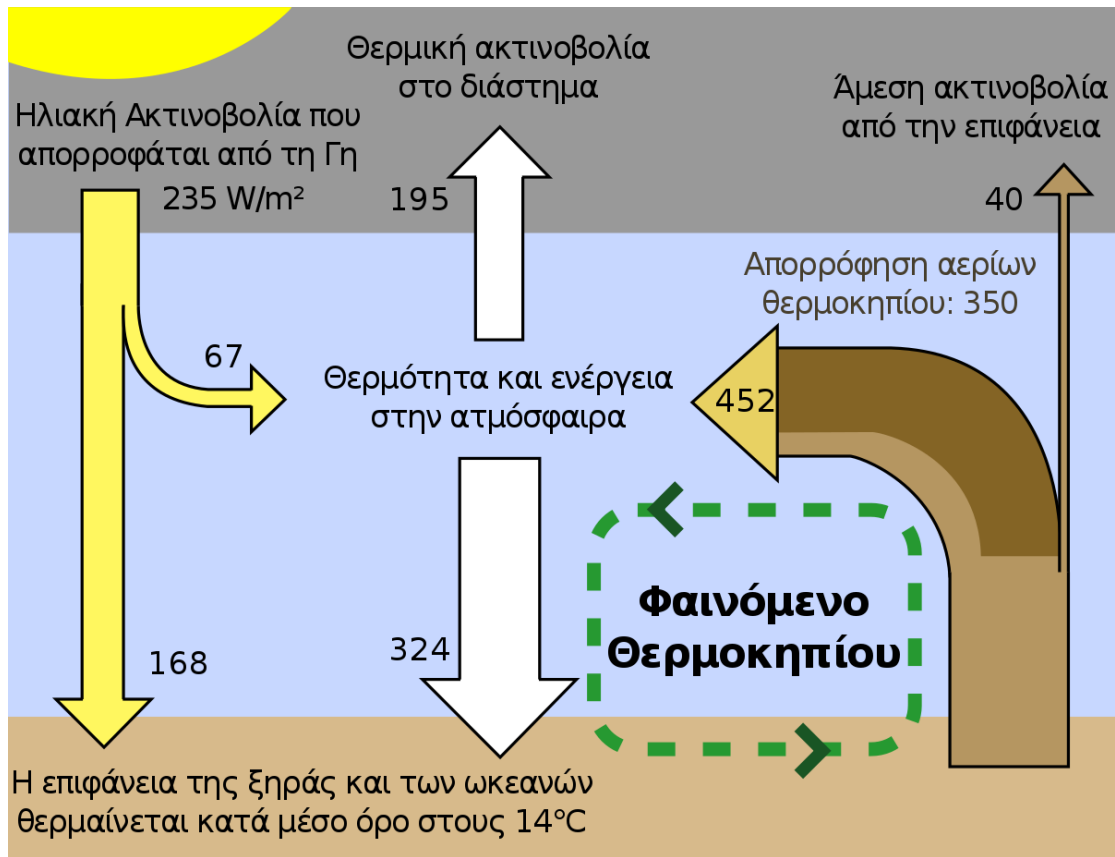
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ζώντας στον 21<sup>ο</sup> αιώνα, σε μία Γη τόσων εκατομμυρίων χρόνων, πρέπει να αναλογιστούμε τα προβλήματα που υπάρχουν, και είναι σαφές ότι υπάρχουν πολλά. Το σημαντικότερο πρόβλημα που πρέπει να αφυπνίσει όλη την υφήλιο και να συζητηθεί εκτενώς, γιατί μόνο έτσι μπορεί να λυθεί, είναι αυτό που αφορά τη ‘Μητέρα Γη’.

Όσον αφορά τη Γη, τα προβλήματα σήμερα είναι πολλά. Αρχικά, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται με γρήγορο και σταθερό ρυθμό. Προβλέπεται ότι έχει ξεπεράσει ήδη τα 8 δισεκατομμύρια από τον Νοέμβριο του 2022 και έρευνες δείχνουν ότι μέχρι το 2050 θα έχει ξεπεράσει τα 9.7 δισεκατομμύρια. Ο υπερπληθυσμός είναι πολύ αρνητικός παράγοντας που επηρεάζει την βιωσιμότητα, καθώς πέρα από την επιβάρυνση που προκαλεί στην υποδομή κάθε χώρας και στα κοινωνικά της συστήματα, επιβαρύνει τους φυσικούς πόρους της Γης. Η εξάντληση των φυσικών πόρων, όπως για παράδειγμα σημαντικών μετάλλων και ορυκτών οδηγεί στην έλλειψη τους και κατ’ επέκταση εμποδίζεται η τεχνολογική πρόοδος αλλά πιο σημαντικές είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Με την έννοια ‘φυσικοί πόροι’ εννοούμε τους πόρους που υπάρχουν στη φύση χωρίς την επίδραση του ανθρώπου. Αυτό, περιλαμβάνει την εμπορική και βιομηχανική χρήση, το επιστημονικό ενδιαφέρον και την πολιτιστική αξία. Για παράδειγμα φυσικούς πόρους αποτελεί το φως του ήλιου, η ατμόσφαιρα, το νερό, η γη και τα ορυκτά μαζί με τη βλάστηση.

Στο πλαίσιο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της πολύ μεγάλης άντλησης των φυσικών αυτών πόρων είναι σημαντικό να αναφερθούν οι εξής:

- Αποψίλωση των δασών: Γενικά πολύ φυσικοί πόροι αποκτούνται από την καταστροφή των δασών. Με αυτό τον τρόπο καταστρέφονται πολλά οικοσυστήματα και βιότοποι. Εμφανή επίδραση βέβαια έχει στη διάβρωση του εδάφους.
- Ρύπανση νερού: Μέσω της εξόρυξης ορυκτών πόρων τα υδάτινα περιβάλλοντα μολύνονται με πολλά χημικά και βαρέα μέταλλα. Τα βαρέα μέταλλα αυτά δεν διασπώνται εύκολα με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στο έδαφος και το νερό. Με αυτό τον τρόπο καταναλώνονται από τα χαμηλά επίπεδα της τροφικής αλυσίδας και σε τελικό στάδιο από τον άνθρωπο. Έτσι, ενέχουν πολλοί κίνδυνοι στην υγεία του ανθρώπου μέσω της διατροφής.
- Υποβάθμιση του εδάφους: Η έλλειψη των φυσικών πόρων οδηγεί άμεσα στην μείωση της γονιμότητας του εδάφους.
- Κλιματική αλλαγή: Η συνεχής εξόρυξη φυσικών πόρων πολύ συχνά συνδέεται με την εκπομπή επιβλαβών αερίων για την ατμόσφαιρα. Αυτό συμβάλει στο φαινόμενο που είναι γνωστό και ως ‘φαινόμενο του θερμοκηπίου’. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η διαδικασία δημιουργίας του φαινομένου αυτού:



Εικόνα 1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Πηγή: [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF\\_%CF%84%CE%BF%CF%85\\_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85)

Ουσιαστικά, φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας συγκρατεί θερμότητα και ενέργεια εξαιτίας των ατμοσφαιρικών ρύπων. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί τόσο προβλήματα ξηρασίας, πυρκαγιάς αλλά και καύσωνες όσο και το λιώσιμο των πάγων κυρίως στους πόλους. Το λιώσιμο των παγετώνων οδηγεί στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας, δηλαδή αυτό έμμεσα σημαίνει πλημμύρες σε παράκτιες περιοχές και ζημιές σε υποδομές όπως δρόμους και κτίρια.

Λαμβάνοντας υπόψη το πόσο σημαντικά είναι αυτά τα προβλήματα και τις τραγικές διαστάσεις που μπορούν να πάρουν, ξεκίνησαν να συζητούνται διάφορες προτάσεις με σκοπό τον περιορισμό του προβλήματος. Έτσι, ξεκίνησε η ιδέα για την εξόρυξη στο διάστημα, ιδέα πρωτόπορα για την εποχή μας αν σκεφτεί κανείς την έλλειψη τεχνογνωσίας που επικρατεί. Βέβαια ο άνθρωπος έχει καταφέρει να προσγειωθεί στην επιφάνεια της Σελήνης στο παρελθόν, οπότε ίσως η ιδέα να μοιάζει περισσότερο ρεαλιστική.

Η πρώτη φορά που οι άνθρωποι προσγειώθηκαν στη Σελήνη ήταν στις 20 Ιουλίου 1969, κατά τη διάρκεια της αποστολής Apollo 11. Επικεφαλής της αποστολής ήταν ο Neil Armstrong. Ο Neil Armstrong, ο οποίος κατέβηκε στη σεληνιακή επιφάνεια ενώ άλλα μέλη του πληρώματος παρέμειναν στο διαστημικό σκάφος, είπε τη φράση 'That's one small step for man, one giant leap for mankind', δηλαδή 'Αυτό είναι ένα μικρό

βήμα για τον άνθρωπο, ένα γιγάντιο άλμα για την ανθρωπότητα', η οποία έμεινε στην ιστορία. Επίσης, ήταν ο πρώτος άνθρωπος που πάτησε στην επιφάνεια της Σελήνης ενώ ακολούθησαν και άλλοι μετέπειτα. Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της αποστολής ήταν η τοποθέτηση της αμερικανικής σημαίας στη σεληνιακή επιφάνεια, εμφανώς λόγω της καταγωγής των αστροναυτών και στη συνέχεια ακολούθησε η συλλογή δειγμάτων από πετρώματα για ανάλυση. Η συνολική διάρκεια της αποστολής ήταν λίγο περισσότερο από οκτώ μέρες και η σημασία της αποστολής ήταν πολύ μεγάλη για τις Ηνωμένες Πολιτείες καθώς ήταν ένα επίτευγμα ενάντια στη Σοβιετική Ένωση. Η αποστολή παραμένει ορόσημο για την ανθρώπινη εξερεύνηση, εμπνέει γενιές επιστημόνων, αλλά το σημαντικότερο είναι ότι κάνει να μοιάζει την ιδέα της εξόρυξης στο διάστημα πραγματοποιήσιμη.

Στη σημερινή ημέρα, γίνεται συνεχώς έρευνα και ανάπτυξη σχετικά με την εξόρυξη στο διάστημα. Πολλές ιδιωτικές εταιρείες, με πρωτοπόρα τη NASA [National Aeronautics and Space Administration] καθημερινά ερευνούν τρόπους ώστε η εξόρυξη του διαστήματος να αποτελέσει μια πραγματικότητα. Η ανάπτυξη κατάλληλου εξοπλισμού και τεχνολογίας είναι τόσο σημαντική όσο και η γνώση για να πραγματοποιηθεί κάτι τόσο μεγάλης εμβέλειας. Καθημερινά γίνονται έρευνες ώστε να φανεί πως θα επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα με τα λιγότερα έξοδα και τη μικρότερη πιθανότητα λάθους. Άλλες εταιρείες, μεγαλύτερες και μικρότερες συνεχίζουν να επενδύουν χρήματα και χρόνο ώστε η διαστημική εξόρυξη να αποτελέσει μια πραγματικότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2. ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο πλαίσιο της εξερεύνησης του διαστήματος, έχουν γίνει πολλές μελέτες με σκοπό να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας των ουράνιων σωμάτων. Σε πρώτο στάδιο, η εξερεύνηση του διαστήματος περιλαμβάνει την εξερεύνηση και τη μελέτη των πλανητών, των αστεριών, των γαλαξιών και άλλων ουράνιων σωμάτων. Σε δεύτερο επίπεδο, έρχεται η ανάπτυξη της τεχνολογίας αλλά και διαστημικών σκαφών που θα επιτρέψει στον άνθρωπο να κάνει το ταξίδι στο διάστημα πραγματικότητα. Από τη στιγμή που ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος εκτοξεύτηκε για πρώτη φορά το 1957, έχουν γίνει πολλές μελέτες για τη Σελήνη, δορυφόροι-ανιχνευτές έχουν ταξιδέψει στο ηλιακό μας σύστημα και μέσω οργάνων έχουμε ανακαλύψει χιλιάδες πλανήτες αλλά και άστρα.

Συνολικά, η έρευνα για την εξερεύνηση του διαστήματος είναι πολύ σημαντική καθώς μέσα από αυτή κατανοούμε το σύμπαν αλλά και τη θέση μας σε αυτό. Στη συνέχεια ακολουθούν οι κυριότεροι τομείς έρευνας του διαστήματος:

- **Επιστήμη των πλανητών:** Αυτό, περιλαμβάνει γενικά τη μελέτη των πλανητών, των φεγγαριών τους και άλλων ουράνιων σωμάτων στο ηλιακό μας σύστημα. Σε αυτό τον τομέα οι επιστήμονες ασχολούνται με τη μελέτη της γεωλογίας των πλανητών, τις ατμόσφαιρες τους και τα μαγνητικά πεδία τους με σκοπό να κατανοήσουν το σχηματισμό και την εξέλιξη τους.
- **Αστροφυσική:** Η αστροφυσική περιλαμβάνει τη μελέτη της φυσικής του σύμπαντος μαζί τα άστρα, τους γαλαξίες και άλλα σώματα. Σε αυτό το κομμάτι, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διάφορα όργανα όπως για παράδειγμα τηλεσκόπια για να μελετήσουν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των σωμάτων αυτών.
- **Τεχνολογία διαστημικών οχημάτων:** Περιλαμβάνει γενικά την ανάπτυξη της τεχνολογίας που επιτρέπει στον άνθρωπο τα ταξίδια και τη λειτουργία στο διάστημα. Επιπλέον, αναπτύσσονται συστήματα πρόωσης διαστημικών σκαφών, συστήματα υποστήριξης ζωής και συστήματα επικοινωνίας.
- **Ανθρώπινη διαστημική πτήση:** Τέλος, σε αυτό τον τομέα γίνεται η μελέτη των επιπτώσεων των διαστημικών ταξιδιών στο ανθρώπινο σώμα και γενικά η ανάπτυξη της τεχνολογίας με σκοπό τη διασφάλιση της ασφάλειας των αστροναυτών.

## 2.1 Μεταλλευτική του Διαστήματος

Γενικότερα, ο όρος μεταλλευτική αναφέρεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα της εξόρυξης μεταλλευμάτων, ορυκτών και πετρωμάτων. Αυτό περιλαμβάνει την χρήση τους στην οικοδομή, την εξαγωγή μετάλλων και κατ' επέκταση την παραγωγή αντικειμένων. Η μεταλλουργία από την άλλη πλευρά είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με την Παρασκευή μετάλλων και κραμάτων από μεταλλεύματα και γενικά την κατεργασία τους για την τροποποίηση των ιδιοτήτων τους.

Με τον όρο Μεταλλευτική του Διαστήματος αναφερόμαστε στη γενική μελέτη των μετάλλων και των κραμάτων σε ένα περιβάλλον μοναδικό και ξένο, διαφορετικό από αυτό της Γης. Ειδικότερα, περιλαμβάνει την ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, όπως για παράδειγμα διαστημικά σκάφη, για την ολοκληρωτική εξερεύνηση του διαστήματος. Οι συνθήκες που επικρατούν στο διάστημα είναι διαφορετικές από αυτών στη Γη. Οι ακραίες θερμοκρασίες, η έκθεση στην ακτινοβολία και η απουσία βαρύτητας επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο τη συμπεριφορά των μετάλλων και των κραμάτων. Για παράδειγμα, η έλλειψη βαρύτητας μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία μετάλλων και πετρωμάτων σε διαφορετικές κρυσταλλικές δομές με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες.

Η κατανόηση του τρόπου συμπεριφοράς των μετάλλων στο διάστημα αποτελεί τη βάση για την μελέτη και εξερεύνηση του διαστήματος. Τα διαστημόπλοια και γενικά ο διαστημικός εξοπλισμός πρέπει να κατασκευάζονται με τρόπο ώστε τα υλικά τους να αντέχουν στις ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που επικρατεί στο διάστημα και της έκθεσης της ακτινοβολίας. Συνεπώς, οι μεταλλουργοί μελετούν τις χημικές και φυσικές ιδιότητες μετάλλων και κραμάτων για την ανάπτυξη τέτοιων υλικών. Συνολικά, η μεταλλευτική του διαστήματος είναι η βάση για νέες τεχνολογικές εξελίξεις και την ανακάλυψη νέων επιστημονικών ιδεών.

## 2.2 Στόχοι στο Διάστημα

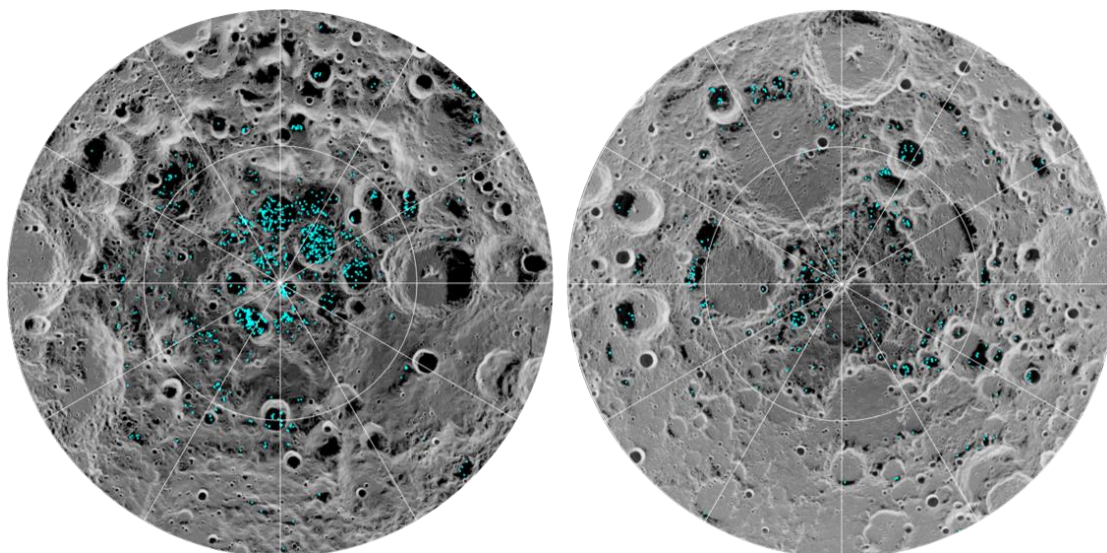
Γενικά, το διάστημα είναι χαοτικό και δεν έχουμε εξερευνήσει πλήρως το βαθύ διάστημα. Το δικό μας ηλιακό σύστημα μέχρι σήμερα υπολογίζεται ότι αποτελείται από 8 πλανήτες, 5 νανοπλανήτες, πάνω από 200 φεγγάρια, 1.281.037 αστεροειδείς και 3.867 κομήτες [NASA]. Η μεταλλευτική του διαστήματος ασχολείται κατά βάση με 'στόχους' κοντά στη Γη επειδή είναι πιο εύκολη η μελέτη τους και κατ' επέκταση η προσγείωση στην επιφάνεια τους είτε δορυφόρων, είτε ανθρώπινων αποστολών. Αυτό οφείλεται στην μικρή απόσταση που καθιστά τον έλεγχο πιο εύκολο. Στη συνέχεια θα αναλυθούν αυτοί οι στόχοι που μπορεί να φανούν χρήσιμοι στο μεγάλο 'κεφάλαιο' της εξόρυξης στο διάστημα.



### 2.2.1 Σελήνη

Γενικά, η Σελήνη διαθέτει μια ποικιλία φυσικών πόρων που θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμοι για την υποστήριξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων τόσο στο διάστημα όσο και στη Γη. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς Η σελήνη βρίσκεται κοντά στη Γη συγκριτικά με άλλους πλανήτες. Οι φυσικοί πόροι που υπολογίζεται ότι έχει η Σελήνη είναι οι εξής:

- Ήλιο-3: Σύμφωνα με έρευνες και μελέτες πιστεύεται ότι η Σελήνη έχει πολύ μεγάλες ποσότητες από ήλιο-3. Το ήλιο-3 είναι ένα σπάνιο ισότοπο του ηλίου που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για αντιδραστήρες πυρηνικής σύντηξης.
- Νερό: Η Σελήνη έχει σημαντική ποσότητα νερού με τη μορφή πάγου στις πολικές της περιοχές. Το νερό θα μπορούσε να εξαχθεί και να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία και στην παραγωγή καυσίμων. Στην εικόνα στη συνέχεια φαίνεται ο πάγος στους πόλους της Σελήνης.



Εικόνα 2 Παρουσία πάγου στους πόλους της Σελήνης – NASA

Πηγή: <https://www.nasa.gov/feature/ames/ice-confirmed-at-the-moon-s-poles>

- Σπάνιες Γαίες: Η Σελήνη περιέχει επίσης στοιχεία σπανίων Γαιών όπως για παράδειγμα το ευρώπιο, το ύτριο και το σκάνδιο. Αυτά κατά βάση χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας όπως η ηλεκτρονική και η αεροδιαστημική.
- Διάφορα αέρια: Η ατμόσφαιρα της Σελήνης περιέχει μικρές ποσότητες ηλίου, αζώτου και άλλων αερίων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη ζωής και για την παραγωγή καυσίμου.

### 2.2.1.1 Ρεγκόλιθος

Ο Ρεγκόλιθος είναι ένα στρώμα σκόνης και χαλαρών μη στερεοποιημένων υλικών που καλύπτει την επιφάνεια πολλών ουράνιων σωμάτων όπως της Σελήνης, του Άρη και πολλών αστεροειδών. Μπορεί να εμφανιστεί ακόμα και σε φεγγάρια άλλων απομακρυσμένων πλανητών. Κατά βάση σχηματίζεται από τη σύγκρουση μικρών υπολειμμάτων από μετεωρίτες και άλλα διαστημικά συντρίμια τα οποία διασπών το στερεό πέτρωμα της επιφάνειας του σώματος με την πάροδο του χρόνου. Το πάχος του Ρεγκόλιθου ποικίλλει από λίγα εκατοστά έως αρκετά μέτρα. Στην επιφάνεια της Σελήνης συγκεκριμένα, ο Ρεγκόλιθος έχει πάχος έως και 20 μέτρα σε ορισμένες περιοχές.

Ανάλογα το ουράνιο σώμα που βρίσκεται ο Ρεγκόλιθος, περιέχει μια ποικιλία υλικών. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τον σεληνιακό Ρεγκόλιθο, αποτελείται από λεπτή σκόνη, θραύσματα βράχου και σωματίδια ορυκτών. Επιπλέον, περιέχει μια σειρά από διάφορα μέταλλα όπως για παράδειγμα σίδηρο, αλουμίνιο μαγνήσιο, πυρίτιο, τιτάνιο καθώς και διάφορα οξείδια του τιτανίου ( $TiO_2$ ). Η σύνθεση του Ρεγκόλιθου διαφέρει ανάλογα με την περιοχή του ουράνιου σώματος που βρίσκεται. Για παράδειγμα στη Σελήνη, στις σκοτεινές της περιοχές είναι πλούσιος σε τιτάνιο και σίδηρο, ενώ σε 'ορεινές' περιοχές είναι πλούσιος σε αλουμίνιο και πυρίτιο. Με την επεξεργασία του Ρεγκόλιθου και την εξαγωγή χρήσιμων μετάλλων θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε μελλοντικές διαστημικές αποστολές και βιομηχανίες.

Ο Ρεγκόλιθος χαρακτηρίζεται ως 'πούδρα' και στην εικόνα στη συνέχεια φαίνεται αυτό ξεκάθαρα καθώς έχει αποτυπωθεί μια πατημασιά.



Εικόνα 3 Σεληνιακός Ρεγκόλιθος που χαρακτηρίζεται ως 'πούδρα' – NASA

Πηγή: <https://www-curator.jsc.nasa.gov/education/lpets/regolith.cfm>

### 2.2.2 Αστεροειδείς

Οι αστεροειδείς έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων και των μελετητών κυρίως τα τελευταία χρόνια, λόγω της ποικιλίας των φυσικών πόρων που διαθέτουν. Αρκετές εταιρείες και οργανισμοί αναπτύσσουν σχέδια για την αναζήτηση και την εξόρυξη αστεροειδών. Οι αστεροειδείς κατά βάση αποτελούνται από:

- Μέταλλα της ομάδας της πλατίνας [PGMs – Platinum Group Metals]: Σε αυτή την κατηγορία βρίσκονται μεταξύ άλλων μέταλλα όπως η πλατίνα, το παλλάδιο και το ρόδιο. Τα μέταλλα αυτά είναι πολύτιμα για χρήση σε καταλυτικούς μετατροπείς, σε ηλεκτρονικά αλλά και σε κοσμήματα.
- Σπάνιες Γαίες: Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων το δημήτριο, το λανθάνιο και το νεοδύμιο. Χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε προϊόντα υψηλής τεχνολογίας όπως για παράδειγμα τα smartphone, στις ανεμογεννήτριες και στα ηλεκτρικά οχήματα.
- Νερό: Μερικοί αστεροειδείς όπως η Σελήνη περιέχουν νερό με τη μορφή πάγου, το οποίο θα μπορούσε να εξαχθεί και να χρησιμοποιηθεί για τη γεωργία και την παραγωγή καυσίμων.
- Σίδηρος και Νικέλιο: Πολλοί αστεροειδείς διαθέτουν στην επιφάνεια τους μεγάλη ποσότητα μετάλλων. Τα πιο κοινά είναι ο σίδηρος και το νικέλιο. Τα

μέταλλα αυτά θα ήταν πολύ χρήσιμα για τις κατασκευές γενικότερα και στην παραγωγή ενέργειας.

- Πυριτικά ορυκτά: Πολύ σημαντική είναι η παρουσία πυριτικών ορυκτών σε αστεροειδείς όπως ακριβώς συμβαίνει και στη Γη. Αυτά, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή υλικών όπως γυαλί, κεραμικά και άλλα.
- Άνθρακας: Ορισμένοι αστεροειδείς είναι πλούσιοι σε άνθρακα, ο οποίος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία υλικών όπως το γραφένιο. Το γραφένιο είναι ένα ισχυρό και ελαφρύ υλικό το οποίο έχει εφαρμογή στην ηλεκτρονική και την αεροδιαστημική.

### 2.2.3 Άρης

Ως γνωστόν, η διαστημική εξόρυξη στοχεύει σε σώματα κοντά στη Γη και όχι πολύ απομακρυσμένα. Η εξόρυξη σε αντικείμενα κοντά στη Γη [NEO-Near Earth Objects] είναι πιο άμεση και προσβάσιμη. Ωστόσο, υπάρχει ποικιλία αστεροειδών πλούσιων σε μεταλλεύματα στη ζώνη Άρη-Δία, σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει. Υπολογίζεται ότι αυτοί οι απομακρυσμένοι αστεροειδείς είναι περίπου 10.000 φορές πιο πλούσιοι σε μέταλλα από ότι οι κοντινοί στη τροχιά της Γης. Βέβαια θεωρητικά η εξόρυξη των NEO είναι πιο κερδοφόρα καθώς τα κόστη για τα ταξίδια είναι τεράστια. Συμπερασματικά, η ιδέα που έχει προκύψει από πολλούς ειδικούς και επιστήμονες είναι η λειτουργία του πλανήτη Άρη σαν ένα κέντρο-βάση με σκοπό την εξόρυξη των αστεροειδών στη ζώνη Άρη-Δία. Οπότε πέρα από την εξόρυξη του Άρη υπάρχει σαν ιδέα η εγκατάσταση σε αυτό τον πλανήτη για εξερεύνηση στο βαθύ διάστημα.

Οι πιο βασικοί φυσικοί πόροι που έχει ο Άρης είναι οι εξής:

- Νερό: Όπως στην περίπτωση της Σελήνης, και ο Άρης δείχνει να έχει μεγάλες ποσότητες νερού, με τη μορφή πάγου στους πόλους του αλλά και σε υπόγειες αποθέσεις. Το νερό αυτό θα είχε αντίστοιχες χρήσεις, δηλαδή στη γεωργία, στη παραγωγή καυσίμων κ.α.
- Διοξείδιο του άνθρακα: Διαφορετικά από άλλου πλανήτες, η ατμόσφαιρα του Άρη δείχνει να έχει άφθονο διοξείδιο του άνθρακα. Το αέριο αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή οξυγόνου και μέσω διάφορων χημικών διεργασιών για την παραγωγή καυσίμων.
- Μεθάνιο: Επίσης το αέριο αυτό έχει ανιχνευτεί στην ατμόσφαιρα του Άρη, το οποίο θα μπορούσε πάρα πολύ να χρησιμοποιηθεί ως πηγή καυσίμου σε αποστολές.
- Σπάνιες Γαίες: Σπάνιες Γαίες εμφανίζονται και στον Άρη για παράδειγμα το ευρώπιο, το ύτριο και το σκάνδιο. Αυτά χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας.
- Ηφαιστειακή τέφρα: Ο Άρης στην έκταση του έχει μεγάλα ηφαιστεια που από έρευνες φαίνεται να έχουν δημιουργήσει μεγάλα κοιτάσματα ηφαιστειακής τέφρας. Η τέφρα περιέχει μια σειρά από ορυκτά όπως σίδηρο, μαγνήσιο και θείο. Οι επιστήμονες έχουν βρει στοιχεία για μια περιοχή του βορείου Άρη που ονομάζεται Arabia Terra. Εκεί υπολογίζεται ότι έχει πολλούς κρατήρες και



μάλιστα οι ηφαιστειακές εκρήξεις στην περιοχή είναι οι μεγαλύτερες σε μια περίοδο 500 εκατομμυρίων ετών [NASA]. Οι ειδικοί τις ονομάζουν ‘σούπερ εκρήξεις’.

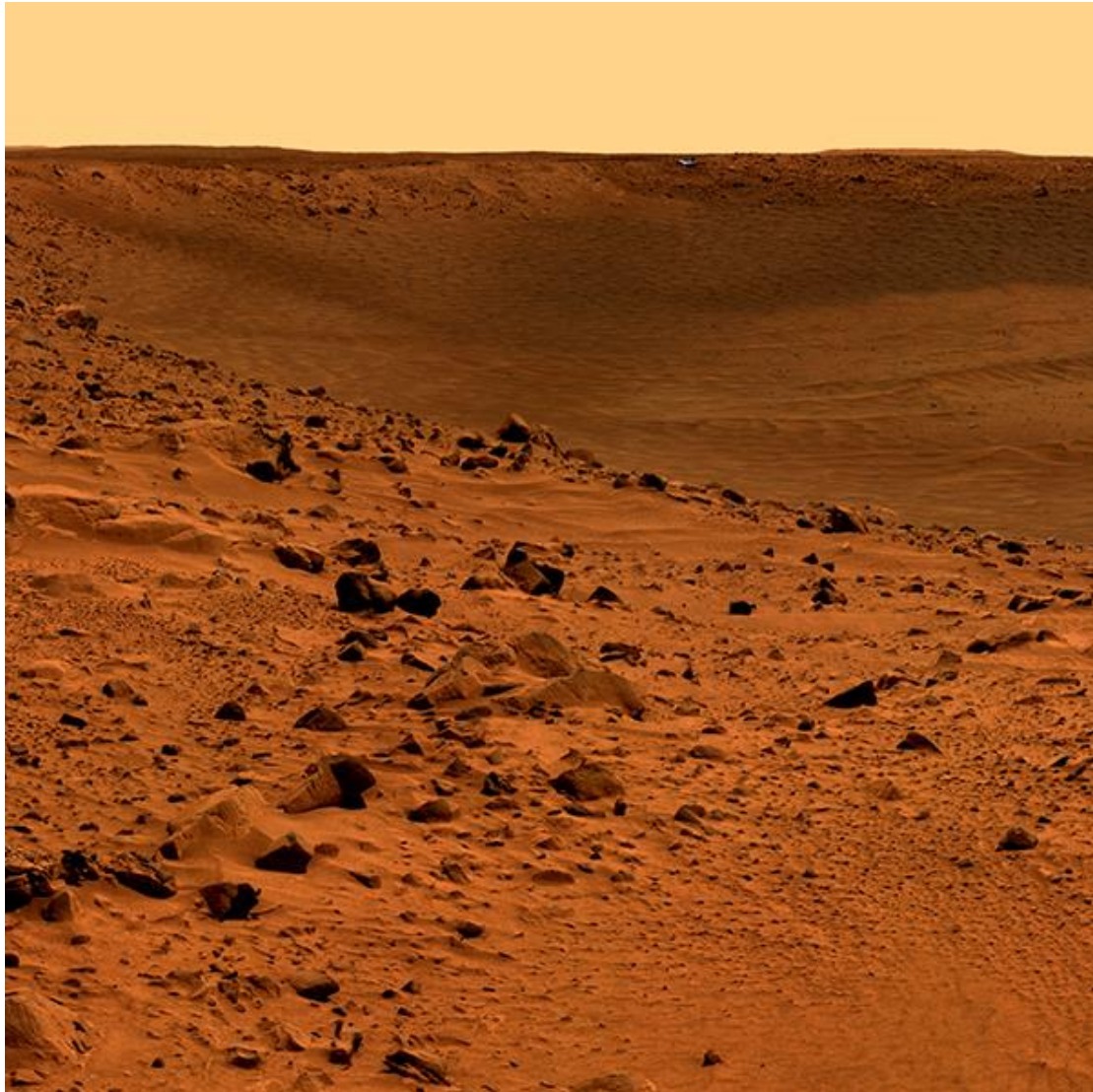


Εικόνα 4 Κρατήρες στην περιοχή Arabia Terra του Άρη – NASA

Πηγή: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-confirms-thousands-of-massive-ancient-volcanic-eruptions-on-mars>

Στην εικόνα φαίνονται αρκετοί κρατήρες στη Βόρεια αυτή περιοχή του Άρη, Arabia Terra, μαζί με τη παρουσία αρκετών βράχων. Αισθητή είναι η παρουσία διάφορων ιζηματογενών πετρωμάτων η οποία όμως δεν είναι πλήρως κατανοητή. Θα μπορούσε να είχαν δημιουργηθεί από άμμο ή ηφαιστειακή τέφρα.

- Ρεγκόλιθος του Άρη: Ο Ρεγκόλιθος στον Άρη είναι σχεδόν ίδιος με αυτόν στη Σελήνη. Παρομοίως, παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία ορυκτών όπως σίδηρο, αλουμίνιο, μαγνήσιο, τιτάνιο και πυρίτιο. Είναι χρήσιμα στις κατασκευές και στην παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 5 Επιφάνεια του Άρη στην οποία είναι εμφανής η παρουσία Ρεγκόλιθου

Πηγή: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/soil-on-mars>

#### 2.2.4 Κομήτες

Οι κομήτες είναι μικρά ουράνια σώματα που αποτελούνται κατά βάση από βράχους, σκόνη και πάγο. Συνήθως, έχουν διάμετρο πολλών χιλιομέτρων αν και μερικές φορές μπορεί να είναι μικρότεροι ή μεγαλύτεροι. Σύμφωνα με μελέτες δύο είναι οι κύριες πηγές δημιουργίας των κομητών, το νέφος του Όορτ και η ζώνη του Κάιπερ. Φαίνεται να είναι κάτι σαν περιοχές στο βαθύ διάστημα, ωστόσο οι κομήτες που παρουσιάζονται στο δικό μας ηλιακό σύστημα δείχνουν να προέρχονται από το νέφος του Όορτ. Την ύπαρξη του νέφους, αν και δεν είναι ορατό την προέβλεψε ο Ολλανδός αστρονόμος Γιαν Όορτ το 1950 (umano, 2021). Οι φυσικοί πόροι που εμφανίζονται στους κομήτες είναι μεγάλης αξίας.

- Νερό: Όπως ειπώθηκε οι κομήτες αποτελούνται από πάγο και σκόνη, με το νερό να είναι άφθονο σε όλη την έκτασή τους.
- Ενώσεις του άνθρακα: Οι κομήτες περιέχουν μια σειρά από ενώσεις του άνθρακα. Για παράδειγμα μεθάνιο, αιθάνιο και φορμαλδεΰδη. Οι ενώσεις αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία υλικών όπως το πλαστικό, στα καύσιμα και σε φαρμακευτικά προϊόντα.
- Αμμωνία: Η αμμωνία είναι πολύ χρήσιμη στην παραγωγή λιπασμάτων και καθαριστικών.
- Πυριτικά ορυκτά: Οι κομήτες περιέχουν πολλά πυριτικά άλατα, τα οποία είναι από τα πιο κοινά ορυκτά στη Γη. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή κεραμικών και γυαλιού.
- Μέταλλα: Σημαντική είναι η παρουσία ίχνη μετάλλων σε ορισμένους κομήτες όπως για παράδειγμα σίδηρο, νικέλιο και χαλκό.
- Ήλιο-3: Πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι οι κομήτες περιέχουν σημαντική ποσότητα ηλίου-3, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για πυρηνική σύντηξη.

## 2.3 Εταιρείες και Οργανισμοί

Στον τομέα της εξόρυξης του διαστήματος πολλές εταιρείες και οργανισμοί έχουν συμβάλλει, άλλες λιγότερο και άλλες περισσότερο, με πολλές από αυτές να συνεχίζουν την λειτουργία τους και σήμερα.

### 2.3.1 Planetary Resources

Η Planetary Resources ήταν μια ιδιωτική διαστημική εταιρεία που ιδρύθηκε το 2009 με στόχο την ανάπτυξη τεχνολογίας για την εξερεύνηση και την αξιοποίηση των πόρων των αστεροειδών. Το όραμα της εταιρείας ήταν να δημιουργήσει μια διαστημική οικονομία σωτήρια για την ανθρωπότητα, αναπτύσσοντας νέες τεχνολογίες για την εξερεύνηση του διαστήματος. Η Planetary Resources αντιμετώπισε οικονομικές δυσκολίες και εξαγοράστηκε από την ConsenSys το 2018. Η τεχνολογία της και η τεχνογνωσία της απορροφήθηκαν από άλλες διαστημικές επιχειρήσεις. Ήταν ένας από τους πρωτοπόρους στον τομέα της εξόρυξης αστεροειδών για μας βοήθησε στην κατανόηση της αξίας της χρήσης των διαστημικών πόρων. Στο πλαίσιο των αποστολών της, η Arkyd-3R ήταν μια αποστολή επίδειξης και εξέτασης της τεχνολογίας της εταιρείας και πραγματοποιήθηκε το 2015. Η αποστολή περιέλαβε την εκτόξευση ενός μικρού διαστημικού σκάφους που ονομάστηκε Arkyd-3R, το οποίο δοκίμασε νέες τεχνολογίες απεικόνισης και επικοινωνίας της εταιρείας. Αντίστοιχα, το 2018 η εταιρεία ξαναέκανε αποστολή με το σκάφος Arkyd-6 για να δοκιμάσει τεχνολογίες ανίχνευσης νερού και αναγνώρισης πόρων της εταιρείας. Παρομοίως η αποστολή ονομάστηκε Arkyd-6. Επιπλέον, σημαντική ήταν η εκλογή της εταιρείας από τη NASA

για την αποστολή Asteroid Redirect [όπως αναλύεται στη συνέχεια], η οποία είχε στόχο να φέρει ένα αστεροειδή σε σεληνιακή τροχιά για εξερεύνηση και έρευνα. Η Planetary Resources ήταν υπεύθυνη για την ανάπτυξη ενός διαστημικού σκάφους που θα συναντούσε τον αστεροειδή και θα μπορούσε να συλλέξει δείγματα για ανάλυση. Τέλος, έχουμε την αποστολή FireFly. Αυτή ήταν μια προγραμματισμένη αποστολή που είχε ως στόχο να στείλει ένα μικρό διαστημόπλοιο για να εξερευνήσει αστεροειδείς κοντά στη Γη και να εξετάσει την καταλληλότητα τους για εξόρυξη φυσικών πόρων. Η αποστολή ήταν σχεδιασμένη για να αποτελέσει την αρχή για μια σειρά αποστολών που θα οδηγούσαν τελικά στην επιχείρηση εξόρυξης αστεροειδών.

### 2.3.1.1 Asteroid Redirect Mission

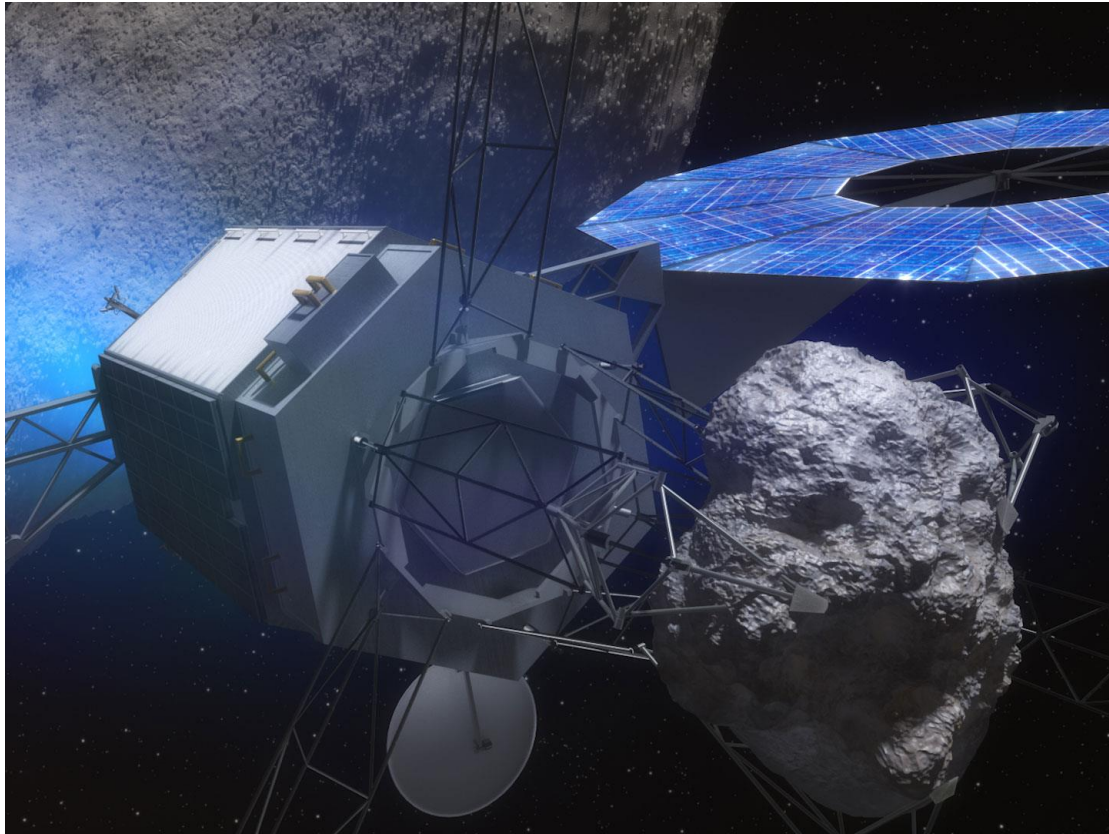
Η αποστολή Asteroid Redirect Mission ή αλλιώς αποστολή ανακατεύθυνσης αστεροειδών [ARM] ήταν μια προτεινόμενη αποστολή της NASA. Στόχος αυτής της αποστολής ήταν να σταλεί ένα ρομποτικό διαστημόπλοιο να προσεγγίσει ένα μικρό αστεροειδή και να μπορέσει να τον ανακατευθύνει σε τροχιά γύρω από τη Σελήνη. Η αποστολή είχε δύο κύριους στόχους. Σε πρώτο επίπεδο, ήταν η ανάπτυξη της τεχνολογίας που απαιτείται για τη σύλληψη και το χειρισμό του αστεροειδούς στο διάστημα. Σε δεύτερο επίπεδο, ήταν η μελέτη της σύνθεσης και της δομής του αστεροειδή για να μπορέσουμε να καταλάβουμε καλύτερα την πρώιμη ιστορία του ηλιακού μας συστήματος.

Η ιδέα για την αποστολή αυτή προτάθηκε το 2013 και τα επόμενα χρόνια έγιναν μεγάλες προσπάθειες για να ξεκινήσει. Το διαστημόπλοιο ήταν σχεδιασμένο να χρησιμοποιήσει ένα ρομποτικό βραχίονα για να συλλάβει έναν αστεροειδή μεγέθους ογκόλιθου και να τον ανακατευθύνει σε σεληνιακή τροχιά. Τη στιγμή που θα γινόταν αυτό αστροναύτες θα επισκέπτονταν τον αστεροειδή και θα πραγματοποιούσαν επιστημονικές έρευνες. Στη συνέχεια (στην εικόνα 6) φαίνεται ο ρομποτικός εξοπλισμός που θα πραγματοποιούσε την αποστολή ARM.

Ένα επιπλέον σημαντικό χαρακτηριστικό της αποστολής θα ήταν η δοκιμή τεχνολογίας που θα χρησιμοποιούνταν για μελλοντική εξερεύνηση του Άρη, και άλλων προορισμών στο βαθύ διάστημα. Πιο αναλυτικά, η αποστολή θα εξέταζε τη χρήση ηλιακής και ηλεκτρικής πρόωσης για ταξίδια στο διάστημα σε σχέση με τη παραδοσιακή χημική πρόωση.

Δυστυχώς, η αποστολή δεν πραγματοποιήθηκε και η NASA την ακύρωσε το 2017 εξαιτίας αλλαγής προτεραιοτήτων και περιορισμού του προϋπολογισμού. Παρόλο που ακυρώθηκε η αποστολή, η τεχνολογία και η τεχνογνωσία που αναπτύχθηκε χρησιμοποιήθηκε σε άλλες διαστημικές αποστολές για εξερεύνηση και μελέτη των διαστημικών πόρων.





Εικόνα 6 Ρομποτικός εξοπλισμός για πραγματοποίηση της αποστολής ARM

Πηγή: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/asteroid-redirect-robotic-mission-arm>

### 2.3.2 Deep Space Industries

Η Deep Space Industries (DSI) ήταν μια διαστημική εταιρεία που ιδρύθηκε το 2013. Στόχος της ήταν η ανάπτυξη τεχνολογίας για την εξόρυξη αστεροειδών και την εξερεύνηση του διαστήματος, θεωρώντας πολύ σημαντική μια βιώσιμη διαστημική οικονομία. Δυστυχώς όμως και αυτή σαν άλλες νεοσύστατες επιχειρήσεις εξαιτίας οικονομικών προβλημάτων αναγκάστηκε να σταματήσει τη λειτουργία της το 2018. Παρά τις προκλήσεις, συνέβαλε σημαντικά στον τομέα εξόρυξης αστεροειδών και οι τεχνολογίες που ανέπτυξε ενσωματώθηκαν σε άλλες διαστημικές αποστολές. Για τις αποστολές που σχεδίασε έχουμε αρχικά την Prospector-1. Αυτή ήταν μια προγραμματισμένη αποστολή, ώστε η Deep Space Industries να στείλει ένα μικρό διαστημόπλοιο για την αναζήτηση πόρων σε αστεροειδείς κοντά στη Γη. Το διαστημόπλοιο αυτό θα χρησιμοποιούσε μια σειρά οργάνων και αισθητήρων σχεδιασμένων για τον εντοπισμό πολύτιμων πόρων όπως το νερό και τα μέταλλα. Ακόμα, γεγονός αποτελεί ο σχεδιασμός της τεχνολογίας MicroGravity Foundry. Αυτή η τεχνολογία σχεδιάστηκε για να επιτρέπει την τρισδιάστατη εκτύπωση μεταλλικών εξαρτημάτων στο διάστημα. Με αυτό τον τρόπο, σπασμένος εξοπλισμός σε διαστημόπλοιο ή διαστημικά συστήματα θα μπορούσε εύκολα να αντικατασταθεί ή να επισκευαστεί. Τέλος, η εταιρεία σχεδίασε εξοπλισμό διαστημόπλοιο για την

εξερεύνηση κομητών χρησιμοποιώντας καινοτόμες τεχνολογίες όπως για παράδειγμα ηλιακά πανιά και κινητήρες ιόντων.

### 2.3.3 iSpace

Η iSpace είναι μια ιδιωτική ιαπωνική εταιρεία που ιδρύθηκε το 2010. Στόχος της είναι η ανάπτυξη τεχνολογίας με σκοπό την εξερεύνηση του διαστήματος. Η έδρα της εταιρείας είναι στο Τόκιο αλλά έχει γραφεία και στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη. Στο πλαίσιο της σεληνιακής εξερεύνησης, η iSpace με τις καινοτόμες τεχνολογίες και ιδέες της έχει πραγματοποιήσει σεληνιακές προσεδαφίσεις, σχεδιασμό σεληνιακών οχημάτων [Lunar Rover Vehicle – LRV] καθώς και πολλά εργαλεία αναζήτησης και εξόρυξης. Για να προωθήσει τους στόχους της για τη διαστημική εξερεύνηση, έχει συνεργαστεί με διάφορους οργανισμούς όπως για παράδειγμα η JAXA [Japan Aerospace Exploration Agency]. Μακροπρόθεσμος στόχος της εταιρείας αυτής είναι να δημιουργήσει μια βιώσιμη σεληνιακή οικονομία μέσω της εξόρυξης και της χρήσης πόρων στη Σελήνη. Οι πιο σημαντικές αποστολές που έχει κάνει για να πετύχει αυτό είναι:

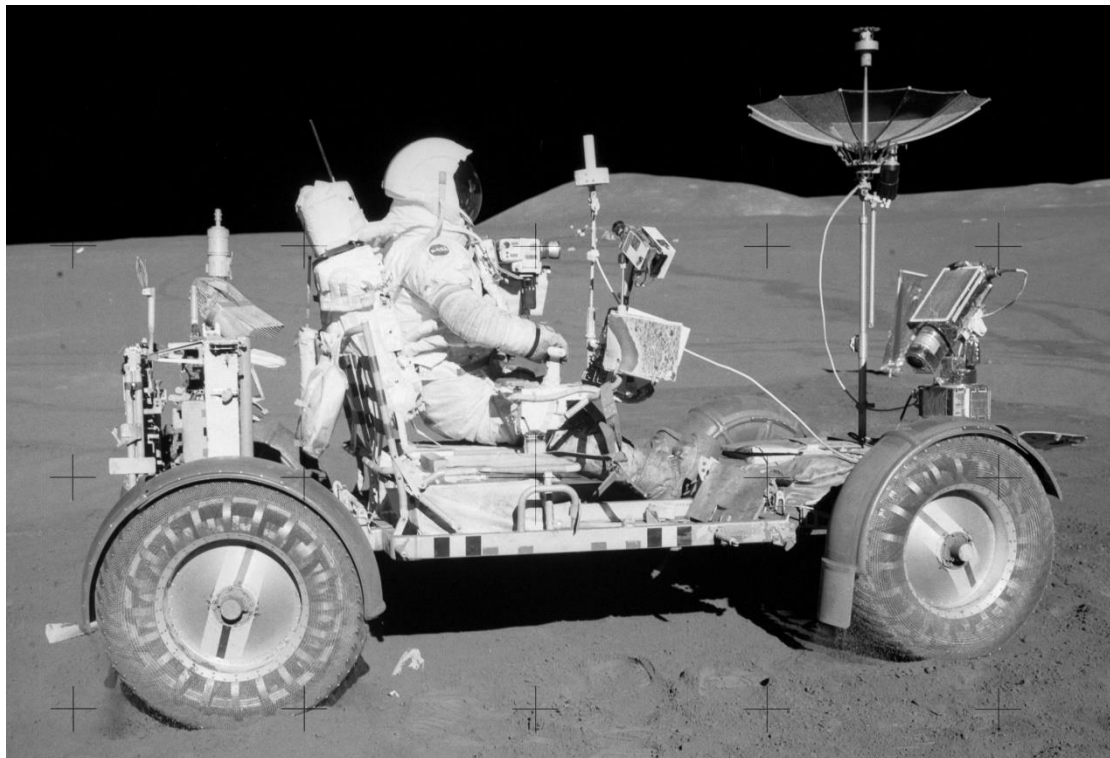
- Hakuto-R: Αυτή ήταν μια αποστολή σεληνιακού οχήματος-ρόβερ. Ξεκίνησε το 2019 ως μέρος του διαγωνισμού Google Lunar XPRIZE. Το όχημα αυτό σχεδιάστηκε για να εξερευνήσει τη σεληνιακή επιφάνεια και να εκτελέσει επιστημονικές έρευνες.
- Mission 1: Πρόκειται για μια αποστολή προσγείωσης στη Σελήνη που σχεδιάστηκε να εκτοξευτεί το 2022. Η αποστολή περιλαμβάνει την προσγείωση ενός μικρού σεληνιακού ρόβερ για τη δοκιμή τεχνολογίας στην επιφάνεια της Σελήνης.
- Mission 2: Πρόκειται για παρόμοια αποστολή στη Σελήνη με μεγαλύτερο σεληνιακό όχημα που έχει προγραμματιστεί για το 2023. Έχει σαν στόχο την επί τόπου κατασκευή στη σεληνιακή επιφάνεια [In Situ Manufacturing].

#### 2.3.3.1 Lunar Rover Vehicle

Το σεληνιακό ρόβερ [Lunar Rover Vehicle – LRV] είναι ένας τύπος κινητού ρομπότ που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί στην επιφάνεια της Σελήνης. Κατά βάση χρησιμοποιείται για εξερεύνηση και επιστημονικές έρευνες και μπορούν να διανύει μεγάλες αποστάσεις στην επιφάνεια της Σελήνης για τη συλλογή δειγμάτων. Το πρώτο σεληνιακό ρόβερ χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των αποστολών Apollo τη δεκαετία του 1970. Ήταν ένα όχημα το οποίο λειτουργούσε με μπαταρίες, σχεδιασμένο να μεταφέρει δύο αστροναύτες σε απόσταση μέχρι και 8 μίλια (13 χιλιόμετρα). Έτσι, επέτρεπε στους αστροναύτες να εξερευνήσουν μια μεγάλη επιφάνεια στη Σελήνη. Επίσης, το όχημα είχε τέσσερις τροχούς και ένα αρκετά καλό σύστημα ανάρτησης που του επέτρεπε να βρίσκεται σε βραχώδες έδαφος. Από την τότε λειτουργία του πρώτου

σεληνιακού ρόβερ μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά νέα ρόβερ. Για παράδειγμα, σε κινέζικες αποστολές έχει χρησιμοποιηθεί το ρόβερ Yutu ενώ στις ρωσικές αποστολές Lunokhod χρησιμοποιήθηκαν ρόβερ άλλου τύπου για την εξερεύνηση της σεληνιακής επιφάνειας.

Σήμερα, ορισμένες ιδιωτικές εταιρείες όπως για παράδειγμα η iSpace και η Astrobotic έχουν αναπτύξει τα δικά τους σεληνιακά οχήματα για την εξερεύνηση της Σελήνης. Αυτά, συγκριτικά με τα πρώτα που σχεδιάστηκαν είναι λίγο πιο μικρά και πιο ελαφριά. Επίσης, είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν αυτόνομα ή με περιορισμένη ανθρώπινη επίβλεψη. Τα επόμενα χρόνια τα RLV θα παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξερεύνηση της Σελήνης. Στη συνέχεια, φαίνεται ένα σεληνιακό όχημα – LRV όπως σχεδιάστηκε από τη NASA.



Εικόνα 7 LRV – NASA

Πηγή: <https://www.nasa.gov/image-feature/taking-a-ride-on-the-moon-in-the-lunar-roving-vehicle>

#### 2.3.4 Shackleton Energy Company

Η Shackleton Energy Company είναι μια ιδιωτική αμερικάνικη εταιρεία που ιδρύθηκε το 2011 και πήρε το όνομα της από τον κρατήρα Shackleton που βρίσκεται κοντά στον νότιο πόλο της Σελήνης που θεωρείται ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες νερού με τη μορφή πάγου. Με τη σειρά της και αυτή η εταιρεία προσπαθεί να πετύχει μια βιώσιμη εμπορική οικονομία βασισμένη στην εξόρυξη και χρήση των πόρων της Σελήνης. Μακροπρόθεσμος στόχος της, αποτελεί η κατασκευή ενός διαστημικού στόλου, εγκαταστάσεων εξόρυξης και η κατασκευή αποθηκών καυσίμων.

Αρχικά, η εταιρεία εστίασε στην ανάπτυξη ενός σεληνιακού συστήματος εξόρυξης με τον οποίο θα μπορούσε να εξάγει πάγο νερού από την επιφάνεια της Σελήνης. Στη συνέχεια, τον πάγο αυτό θα τον μετέτρεπε σε καύσιμο πυραύλων και θα το προωθούσε σε κρατικούς πελάτες.

Σε γενικά πλαίσια, για να υποστηρίξει τις ιδέες της για τη χρήση σεληνιακών πόρων, ανέπτυξε μια σειρά από καινοτόμες ιδέες και τεχνολογίες. Μεταξύ άλλων, ανέπτυξε ένα εξορυκτικό ρομπότ για την επιφάνεια της Σελήνης, μια αποθήκη προωθητικών καυσίμων και μια βάση προσγείωσης για το σεληνιακό έδαφος. Για να προωθήσει τις προσπάθειες που έχει κάνει και τα σχέδια που έχει αναπτύξει δημιούργησε συνεργασίες με διάφορους οργανισμούς όπως για παράδειγμα με τη NASA και τη United Launch Alliance.

Ωστόσο, η εταιρεία δεν έχει πραγματοποιήσει ακόμα αποστολές. Παρόλο αυτά, έχει σημειώσει σημαντική ανάπτυξη και πρόοδο στην δημιουργία τεχνολογίας για μια βιώσιμη εμπορική διαστημική οικονομία. Η πρόοδος αυτή θεωρείται πολλά υποσχόμενη και θα μπορούσε να παίξει σημαντικό ρόλο για το μέλλον της εξερεύνησης του διαστήματος.

### 2.3.5 Moon Express

Παρομοίως, η Moon Express είναι μια ιδιωτική αμερικάνικη εταιρεία που ιδρύθηκε το 2010 με στόχο την ανάπτυξη τεχνολογίας για την εμπορική εξερεύνηση των πόρων της Σελήνης. Η έδρα της εταιρείας είναι στο Cape Canaveral στη Florida και διευθύνεται από μια ομάδα έμπειρων επιστημόνων και μηχανικών. Για να πραγματοποιήσει τους στόχους της, έχει αναπτύξει το MX-1, ένα μικρό διαστημόπλοιο σχεδιασμένο να προσγειώνεται στη Σελήνη και να εκτελεί επιστημονικές έρευνες και αναζήτηση πόρων. Επιπλέον, έχει σχεδιαστεί το Lunar Scout το οποίο είναι ένα μικρό όχημα-ρόβερ για να διασχίζει τη σεληνιακή επιφάνεια και να συλλέγει δεδομένα και δείγματα.

Το 2016, η Moon Express έγινε η πρώτη ιδιωτική εταιρεία που έλαβε άδεια από την κυβέρνηση των ΗΠΑ να πραγματοποιήσει αποστολή εκτός της τροχιάς της Γης. Η πρώτη αποστολή ήταν η Lunar Scout η οποία προγραμματίστηκε να ξεκινήσει το 2021 αλλά έχει καθυστερήσει.

Η εταιρεία αυτή επίσης, συμμετείχε στον διαγωνισμό Google Lunar XPRIZE, στον οποίο η πρώτη εταιρεία που θα προσγείωνε ένα ρόβερ στη σεληνιακή επιφάνεια, θα ταξίδευε 500 μέτρα και θα μετέδιδε εικόνες και βίντεο πίσω στη Γη, θα κέρδιζε το βραβείο των 20 εκατομμυρίων. Ο διαγωνισμός αυτός ήταν με ιδιωτική χρηματοδότηση και έληξε το 2018 χωρίς νικητή. Τέλος, θεωρείται μία από τις κορυφαίες εταιρείες στον τομέα της εξερεύνησης του διαστήματος και μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μέρος στην εμπορευματοποίηση του.

### 2.3.6 NASA

Η NASA [National Aeronautics and Space Administration], είναι μια κυβερνητική υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών και είναι υπεύθυνη για το διαστημικό πρόγραμμα της χώρας και την έρευνα στην αεροδιαστημική. Η NASA ιδρύθηκε το 1958 και διαδέχτηκε την Εθνική Συμβουλευτική Επιτροπή για την Αεροναυπηγική [National Advisory Committee for Aeronautics – NACA], η οποία είχε δημιουργηθεί το 1915. Γενικά, η NASA αναπτύσσει συνεχώς την τεχνολογία για την αεροναυπηγική και την εξερεύνηση του διαστήματος. Έχει επιτύχει πολλές αποστολές εκ των οποίων οι πιο γνωστές είναι οι Apollo, ενώ συνεχίζει μέχρι και σήμερα να παίζει σημαντικό ρόλο στην εξερεύνηση του ηλιακού μας συστήματος και όχι μόνο.

Οι δραστηριότητες της NASA περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως για παράδειγμα της επιστήμης της Γης, της αστροφυσικής, της πλανητικής επιστήμης και εξετάζει εκτενώς τις ανθρώπινες διαστημικές πτήσεις. Για να μπορέσει να επιτύχει τους στόχους της συνεργάζεται ακόμα και με διεθνείς εταιρείες και οργανισμούς.

Τα κεντρικά γραφεία της βρίσκονται στην Washington D.C. αλλά διαθέτει κέντρα και εγκαταστάσεις σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες, μεταξύ αυτών το διαστημικό κέντρο Johnson στο Houston, Texas, το διαστημικό κέντρο Kennedy στη Florida και το Jet Propulsion Laboratory στη California.

Όπως αναφέρθηκε και πριν οι πιο σημαντικές αποστολές ήταν αυτές κατά τη διάρκεια του προγράμματος Apollo (οι οποίες πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 1969 και 1972), στο οποίο με την πιο γνωστή Apollo 11 με τον Neil Armstrong και Buzz Aldrin να είναι οι πρώτοι άνθρωποι που πάτησαν το πόδι τους στο φεγγάρι. Ακόμα σημαντικό είναι το πρόγραμμα Space Shuttle το οποίο λειτούργησε από το 1981 μέχρι το 2011. Κατά τη διάρκεια του, αναπτύχθηκαν δορυφόροι για επιστημονική έρευνα του διαστήματος. Έχοντας πραγματοποιήσει πολλές αποστολές και στον Άρη, μερικές από τις πιο πρόσφατες αποστολές της NASA είναι:

- Mars Perseverance Rover: Αυτή η αποστολή περιλαμβάνει ένα ρόβερ το οποίο προσγειώθηκε στον Άρη τον Φεβρουάριο του 2021 και αυτή τη στιγμή εξερευνά τον κρατήρα Jezero του πλανήτη. Η αποστολή του ρόβερ είναι να αναζητήσει σημάδια αρχαίας ζωής στον Άρη και αν μπορέσει να συλλέξει δείγματα και στο μέλλον να τα επιστρέψει στη Γη.
- Διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb: Το διαστημικό αυτό τηλεσκόπιο είναι ένα διαστημικό παρατηρητήριο που εκτοξεύτηκε στα τέλη του 2021. Είναι ένα καινούργιο έργο μεταξύ της NASA, της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας και της Καναδικής Διαστημικής Υπηρεσίας και έχει σχεδιαστεί για τη μελέτη του σύμπαντος στο υπέρυθρο φως.
- Πρόγραμμα Artemis: Το πρόγραμμα Artemis αποτελεί πολύ σημαντικό κεφάλαιο της εξερεύνησης του Διαστήματος καθώς έχει σκοπό να επιστρέψει τον άνθρωπο στη Σελήνη έως το 2024 και να δημιουργήσει μια βιώσιμη παρουσία εκεί. Επιπλέον, περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός νέου διαστημικού σκάφους που ονομάζεται Orion, νέων πυραύλων και άλλων.

- Solar Orbiter: Το Solar Orbiter είναι μια κοινή αποστολή μεταξύ της NASA και της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας που εκτοξεύτηκε το 2020. Σαν σκοπό έχει τη μελέτη του Ήλιου και τις επιπτώσεις του στο ηλιακό μας σύστημα.

## 2.4 Συμπέρασμα – Οφέλη

Η προσπάθεια των εταιρειών που ασχολούνται με την εξερεύνηση και τον τομέα της εξόρυξης του διαστήματος, στο μέλλον μπορεί να επιφέρει πολύ σημαντικά οφέλη για τη Γη. Καταναλώνοντας συνεχώς τους φυσικούς πόρους της Γης, η διαστημική εξόρυξη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές όπως οικοδομικά υλικά, ηλεκτρονικά και θα επέφερε τεράστιο όφελος στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μειώνοντας την εξόρυξη στη Γη, όπως έχει αναφερθεί, θα μειώνονταν οι επιβλαβείς επιπτώσεις στη Γη, όπως η αποψίλωση των δασών, η ρύπανση των υδάτων και η υποβάθμιση του εδάφους.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διαστημική εξόρυξη βρίσκεται ακόμα σε πρώιμα στάδια. Πρέπει να ξεπεραστούν πολλές τεχνικές, οικονομικές και νομικές προκλήσεις πριν η εξόρυξη του διαστήματος γίνει μια βιώσιμη βιομηχανία. Επιπλέον, είναι σημαντικό να εξετάσουμε προσεκτικά τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαστημικής εξόρυξης, καθώς και θέματα ιδιοκτησίας και κατανομής των πόρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3. ΠΩΣ ΘΑ ΕΠΙΤΥΧΟΥΜΕ ΜΙΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ;

Για να επιτύχουμε μια βιώσιμη διαστημική οικονομία, σαφώς και πρέπει να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν κάποιες τεχνικές και πρακτικές διαφορετικές από ότι έχουμε στη διάθεση μας. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα στις διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν στο διάστημα και στις διαφορετικές γεωλογικές δομές. Επιπλέον, χρειάζονται κάποιοι διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας στον τρόπο εξόρυξης, κάποιες κατασκευές που δεν θα ήταν απαραίτητες στη Γη, και κάποια τροποποιημένα εξορυκτικά μηχανήματα. Πολλά από αυτά είναι απαραίτητα και άλλα θα κάνουν πιο εύκολη την εξόρυξη σε ξένο ουράνιο σώμα. Βέβαια, ένα μεγάλο μέρος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στη Γη μπορεί να φανεί χρήσιμο. Στην συνέχεια, θα παρουσιαστούν αυτοί οι τρόποι με τους οποίους η εξόρυξη στο διάστημα γίνεται πιο αποτελεσματική.

#### 3.1 In Situ Resource Utilization

Η In Situ Resource Utilization [ISRU] ή αλλιώς επιτόπια χρήση πόρων, είναι μια πρακτική της χρήσης πόρων που είναι διαθέσιμοι στην τοποθεσία που εκτελείται μια συγκεκριμένη δραστηριότητα, αντί της μεταφοράς πόρων από αλλού. Αυτή η πρακτική, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξερεύνηση του διαστήματος καθώς το κόστος μεταφοράς υλικών και εξοπλισμού από τη Γη μπορεί να είναι απαγορευτικά ακριβό.

Η πρακτική ISRU είναι πολύ σημαντική γιατί επιτρέπει την βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική εξερεύνηση του διαστήματος. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιώντας πόρους που υπάρχουν ήδη στο διάστημα όπως ο πάγος νερού, διάφορα ορυκτά και ατμοσφαιρικά αέρια, οι αποστολές μπορούν να μειώσουν σημαντικά την εξάρτησή τους από τη Γη. Αυτό θα αποτρέψει τις μεγάλες δαπάνες μακροπρόθεσμα καθώς οι πόροι που είναι διαθέσιμοι επί τόπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διατήρηση της ανθρώπινης ζωής και την υποστήριξη περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξης. Συνεπώς η ISRU είναι σημαντική για την βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική εξερεύνηση του διαστήματος.

##### 3.1.1 In Situ Manufacturing

In Situ Manufacturing ή αλλιώς επιτόπου κατασκευή στο διάστημα, είναι μια πρακτική η οποία αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής αγαθών και υλικών απευθείας σε ουράνια σώματα όπως πλανήτες, αστεροειδείς και στη Σελήνη, αντί να μεταφέρονται από τη Γη. Η προσέγγιση αυτή της επί τόπου κατασκευής είναι παρόμοια με την πρακτική που προηγείται και τα τελευταία χρόνια έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον εξαιτίας του μεγάλου υψηλού κόστους της εκτόξευσης υλικών από τη Γη στο διάστημα. Η έννοια της επί τόπου παραγωγής έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς όπως οι κατασκευές και η παραγωγή ενέργειας.

Μια κύρια εφαρμογή αυτής της πρακτικής είναι η παραγωγή προωθητικών καυσίμων. Η διαδικασία μετατροπής των διαθέσιμων πόρων στα ουράνια σώματα όπως για παράδειγμα ο πάγος νερού και το διοξείδιο του άνθρακα σε προωθητικά καύσιμα μπορεί να μειώσει το κόστος και τους κινδύνους που συνδέονται με τη μεταφορά αυτών των υλικών από τη Γη. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης μεγάλης χρονικής διάρκειας σε διαστημικές αποστολές όπως στον Άρη, καθώς οι αστροναύτες μπορούν να αυξήσουν την αυτάρκεια τους στο διάστημα.

Παρόλο αυτά, πρέπει να αντιμετωπιστούν σημαντικές προκλήσεις προτού η επί τόπου κατασκευή αποτελέσει αξιόπιστη λύση. Πιο αναλυτικά, απαιτείται η ανάπτυξη αποδοτικού κατασκευαστικού εξοπλισμού, η διασφάλιση της ασφάλειας και ο εντοπισμός κατάλληλων πόρων στα ουράνια σώματα.0

## 3.2 Εξορυκτικά μηχανήματα

### 3.2.1 Bucket Wheel Excavator

Ο Bucket Wheel Excavator [BWE] είναι ένας βαρύς εκσκαφέας που χρησιμοποιείται σε εργασίες επιφανειακής εξόρυξης για την εκσκαφή εδάφους και πετρωμάτων. Αποτελείται από έναν μεγάλο περιστρεφόμενο τροχό στον οποίο είναι συνδεδεμένοι μια σειρά από κουβάδες, οι οποίοι μαζεύουν το υλικό και το μεταφέρουν σε μια μεταφορική ταινία.

Στο πλαίσιο της διαστημικής εξόρυξης, οι εκσκαφείς αυτοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανασκαφή Ρεγκόλιθου στην επιφάνεια της Σελήνης και άλλων πλανητικών σωμάτων. Στη συνέχεια ο Ρεγκόλιθος θα επεξεργαζόταν για την εξαγωγή χρήσιμων πόρων όπως νερό, οξυγόνο και μέταλλα. Στη διαστημική εξόρυξη υπάρχει το πλάνο χρησιμοποίησης των BWE και η ανάπτυξη σεληνιακής εξόρυξης Ρεγκόλιθου με αυτόν τον εκσκαφέα.

Ωστόσο, η χρήση BWE στη διαστημική εξόρυξη παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις. Το περιβάλλον χαμηλής βαρύτητας, οι ακραίες θερμοκρασίες και οι σκληρές συνθήκες ακτινοβολίας στα ουράνια σώματα θα μπορούσαν να δημιουργήσουν δυσκολίες στη λειτουργία βαρέων μηχανημάτων όπως οι εκσκαφείς αυτοί. Επιπλέον, η μεταφορά τέτοιων μεγάλων μηχανών στο διάστημα θα απαιτούσε σημαντικούς πόρους και υποδομές. Θεωρητικά ωστόσο, είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα



ιδέα που συζητιέται και μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο. Στην εικόνα που παρουσιάζεται στη συνέχεια φαίνεται ο μεγάλος τροχός με τους κάδους που διαθέτει ο BWE.



Εικόνα 8 Bucket Wheel Excavator στον οποίο είναι εμφανής ο μεγάλος τροχός με τους κάδους που διαθέτει

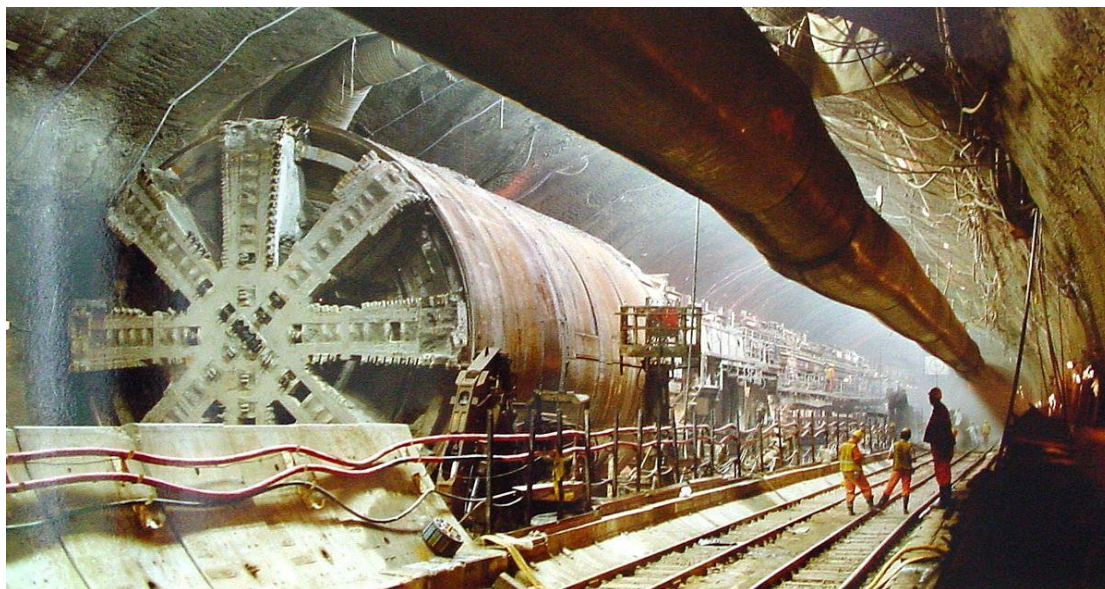
Πηγή: <https://theconversation.com/humans-have-big-plans-for-mining-in-space-but-there-are-many-things-holding-us-back-181721>

### 3.2.2 Tunnel Boring Machine

Τα Tunnel Boring Machine [TBM] είναι μηχανήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως στη Γη για την εκσκαφή σηράγγων για υποδομές μεταφορών όπως για παράδειγμα μετρό ή αγωγούς νερού. Στο διάστημα αυτά τα μηχανήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανασκαφή σηράγγων για ανθρώπινες εγκαταστάσεις και εξορυκτικές εργασίες. Τα μηχανήματα στο διάστημα θα λειτουργούσαν με παρόμοιο τρόπο που λειτουργούν στη Γη, δηλαδή με μια περιστρεφόμενη κεφαλή κοπής που ανασκάπτει το υλικό και ένα σύστημα μεταφορικής ταινίας για τη μεταφορά του υλικού έξω από τη σήραγγα.

Στην διαστημική εξόρυξη τα TBM θα ήταν απαραίτητα για την εκσκαφή σηράγγων. Αυτές οι σήραγγες θα πρόσφεραν προστασία από την ακτινοβολία και τις ακραίες θερμοκρασίες στην επιφάνεια της Σελήνης και άλλων πλανητικών σωμάτων. Με αυτόν τον τρόπο θα υπήρχε ένα ασφαλές και βιώσιμο περιβάλλον για εξερεύνηση και εγκατάσταση. Εκ νέου, το υλικό των ανασκαφών θα μπορούσε να επεξεργαστεί επί τόπου για την εξόρυξη πολύτιμων πόρων όπως νερό και ορυκτά.

Παρά τα μεγάλη οφέλη που θα επέφερε ένα τέτοιο μηχάνημα, όπως όλα τα μεγάλα μηχανήματα τέτοιου είδους θα ήταν δύσκολο να μεταφερθεί σε διαφορετικό ουράνιο σώμα. Επιπλέον, το περιβάλλον χαμηλής βαρύτητας και οι ακραίες θερμοκρασίες και η ακτινοβολία που επικρατούν στο διάστημα θα επηρέαζαν σημαντικά την απόδοση του αλλά και την αξιοπιστία του. Θεωρητικά όμως, μετά από αρκετή έρευνα και ανάπτυξη τα TBM θα έπαιζαν σημαντικό ρόλο στην εξόρυξη του διαστήματος.



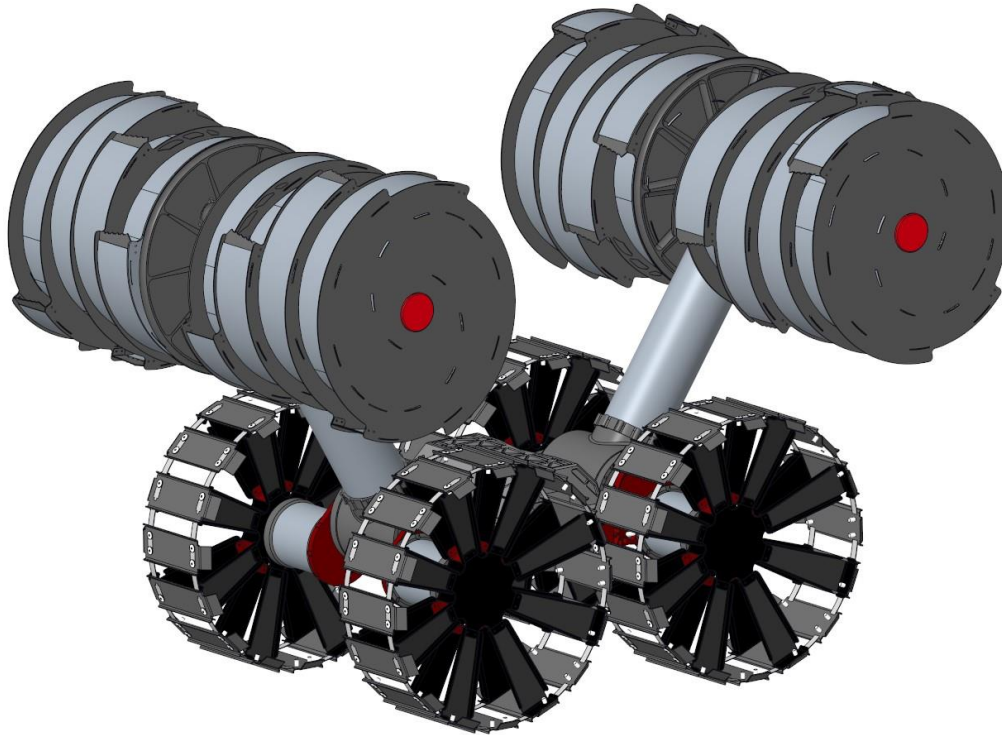
Εικόνα 9 Tunnel Boring Machine

Πηγή: <https://theconversation.com/humans-have-big-plans-for-mining-in-space-but-there-are-many-things-holding-us-back-181721>

### 3.2.3 RASSOR

Το RASSOR [Regolith Advanced Surface Systems Operations Robot] είναι ένας τύπος ρομπότ που έχει σχεδιαστεί για να ανασκάπτει και να συλλέγει Ρεγκόλιθο στην επιφάνεια της Σελήνης. Το ρομπότ αυτό χρησιμοποιεί δύο κουβάδες εκσκαφής για να συλλέξει τον σεληνιακό Ρεγκόλιθο και τον μεταφέρει σε ένα δοχείο αποθήκευσης. Επίσης, είναι εξοπλισμένο από κοπτικά εργαλεία που του επιτρέπουν να σπάει τον συμπιεσμένο Ρεγκόλιθο. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς ο σεληνιακός Ρεγκόλιθος είναι συχνά πυκνός και δύσκολος να μετακινηθεί, καθιστώντας έτσι την ανασκαφή δύσκολη.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του RASSOR είναι η ικανότητα του να λειτουργεί αυτόνομα. Το ρομπότ είναι εξοπλισμένο με μια σειρά από αισθητήρες και κάμερες που του επιτρέπουν να πλοηγείται στη σεληνιακή επιφάνεια, να αποφεύγει τα εμπόδια και να ανιχνεύει τη θέση του Ρεγκόλιθου. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά χωρίς την ανάγκη για συνεχή ανθρώπινη επίβλεψη. Στη συνέχεια φαίνεται πως είναι σχεδιασμένο ένα ρομπότ τέτοιου είδους.



Εικόνα 10 RASSOR – NASA

Πηγή: <https://nasa3d.arc.nasa.gov/detail/RASSOR>

### 3.2.4 Vacuum-like Machine

Το μηχάνημα αυτής της κατηγορίας είναι ένας τύπος εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στη διαστημική εξόρυξη για την εξαγωγή υλικών από την επιφάνεια αστεροειδών ή άλλων ουράνιων σωμάτων. Το μηχάνημα λειτουργεί χρησιμοποιώντας έναν ισχυρό μηχανισμό αναρρόφησης για την αφαίρεση του χαλαρού Ρεγκόλιθου από την επιφάνεια των ουράνιων σωμάτων. Στη συνέχεια, ο Ρεγκόλιθος μεταφέρεται σε μια μονάδα επεξεργασίας όπου εξάγονται πολύτιμα υλικά όπως μέταλλα νερό και διάφορα ορυκτά.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης μιας τέτοιας μηχανής είναι ότι μπορεί και λειτουργεί εξ αποστάσεως, με αποτέλεσμα να επιτρέπει μια ασφαλή και αποτελεσματική εξόρυξη. Επίσης, μπορεί και προσαρμόζεται σε διαφορετικούς τύπους ουράνιων σωμάτων ρυθμίζοντας την ισχύ του και άλλα χαρακτηριστικά.

Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες προκλήσεις στην λειτουργία μιας τέτοιας μηχανής. Αρχικά, το περιβάλλον χαμηλής βαρύτητας των ουράνιων σωμάτων μπορεί να δυσκολέψει τον έλεγχο κίνησης της μηχανής. Επιπλέον, τα υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας στο διάστημα μπορεί να θέτουν σε κίνδυνο τα ηλεκτρονικά του εξαρτήματα απαιτώντας πρόσθετα μέτρα προστασίας. Παρόλο αυτά, είναι αρκετά



σημαντικά τέτοιου είδους μηχανές για την εξόρυξη στην εξαγωγή πολύτιμων πόρων από τις επιφάνειες των ουράνιων σωμάτων.

### 3.3 Ανάπτυξη τεχνολογιών στη διαστημική εξόρυξη

#### 3.3.1 Electrodynamic Dust Shield

Electrodynamic Dust Shield [EDS], ονομάζουμε την τεχνολογία για την προστασία των διαστημικών σκαφών και του εξοπλισμού εξόρυξης από τις βλαβερές συνέπειες της διαστημικής σκόνης κατά την εξόρυξη στο διάστημα. Είναι μια προτεινόμενη και αναπτυσσόμενη τεχνολογία για την αντιμετώπιση της διαστημικής σκόνης, γνωστή και ως κοσμική σκόνη, η οποία αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια βράχου και άλλων υλικών που 'βομβαρδίζουν' συνεχώς τις επιφάνειες των ουράνιων σωμάτων.

Όταν ένα διαστημόπλοιο ή εξοπλισμός εξόρυξης εκτίθεται στη διαστημική σκόνη, τότε μπορεί να προκληθεί ζημιά στον εξοπλισμό και επιπλέον μπορεί να δημιουργηθεί συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου στην επιφάνεια. Το ηλεκτρικό φορτίο αυτό μπορεί άμεσα να δημιουργήσει προβλήματα στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό αλλά και στα συστήματα επικοινωνίας.

Ουσιαστικά, αυτή η 'ασπίδα' που προστατεύει από τη σκόνη του διαστήματος, δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από το διαστημόπλοιο ή τον εξοπλισμό εξόρυξης. Έτσι, απωθούνται τα φορτισμένα σωματίδια σκόνης και δεν έρχονται σε επαφή με τις επιφάνειες. Αυτή η ασπίδα, αποτελείται από μια σειρά φορτισμένων καλωδίων τα οποία δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο όταν το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει από μέσα τους.

Αυτή η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, μπορεί όμως να βοηθήσει στην αποτελεσματικότητα και στην ασφάλεια των εξορυκτικών εργασιών, Με την προστασία των μηχανημάτων αυξάνεται ο χρόνος ζωής τους και μειώνεται ο κίνδυνος ζημιάς οδηγώντας έτσι στην επιτυχία των αποστολών.

#### 3.3.2 Εκτύπωση 3D

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει τη δυνατότητα να φέρει τεράστια οφέλη στη διαστημική εξόρυξη. Αναλυτικότερα, μέσω αυτής μπορούν να παραχθούν ανταλλακτικά, εργαλεία, ακόμα και μεγάλες κατασκευές χρησιμοποιώντας τοπικούς πόρους. Έτσι, τα κόστη θα μειώνονταν σημαντικά αφού δεν θα ήταν απαραίτητη η μεταφορά υλικών από τη Γη. Για παράδειγμα, στα ουράνια σώματα και συγκεκριμένα στη Σελήνη, ο Ρεγκόλιθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στην τρισδιάστατη εκτύπωση δημιουργώντας έτσι εργαλεία εξοπλισμού χρησιμοποιώντας τους τοπικούς πόρους.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της 3D εκτύπωσης στη διαστημική εξόρυξη είναι ότι μπορεί να μειώσει σημαντικά την ποσότητα υλικού που μεταφέρεται από τη Γη. Αυτό οφείλεται στο ότι αντί να μεταφέρονται ολόκληρα κομμάτια εξοπλισμού, η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να δημιουργήσει τα αντικείμενα που χρειάζονται επί τόπου. Ωστόσο, πέρα από εξορυκτικά εργαλεία ή μικρά αντικείμενα γενικά, μπορεί να δημιουργηθεί ακόμα και μια βάση στη Σελήνη ή σε οποιοδήποτε άλλο πλανητικό σώμα. Θα χρησιμοποιούνταν μόνο τοπικά υλικά χωρίς την μεταφορά τους από τη Γη. Έτσι, θα μειώνονταν τα κόστη των διαστημικών αποστολών σημαντικά.

Στη συνέχεια φαίνεται ένα μοντέλο σεληνιακής βάσης που θα μπορούσε να δημιουργηθεί με την τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιώντας τοπικούς πόρους.



Εικόνα 11 Μοντέλο σεληνιακής βάσης όπως θα μπορούσε να φτιαχτεί με την τρισδιάστατη εκτύπωση

Πηγή: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Engineering\\_Technology/What\\_s\\_your\\_idea\\_to\\_3D\\_print\\_on\\_the\\_Moon\\_to\\_make\\_it\\_feel\\_like\\_home](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/What_s_your_idea_to_3D_print_on_the_Moon_to_make_it_feel_like_home)

### 3.3.3 Space-based power systems

Τα Space-based power systems είναι συστήματα ισχύος που είναι δομημένα σε ξένα ουράνια σώματα, τα οποία είναι πολύ σημαντικά για την εξόρυξη του διαστήματος. Τα συστήματα αυτά, μπορούν να παρέχουν μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας, η οποία είναι απαραίτητη για την εξόρυξη και επεξεργασία πόρων.

Για παράδειγμα ένα τέτοιο σύστημα ισχύος στο διάστημα θα μπορούσε να είναι μια ηλιακή συστοιχία. Πιο αναλυτικά, αποτελείται από πολλά ηλιακά πάνελ που μπορούν να αναπτυχθούν στο διάστημα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, θα τροφοδοτείται ο εξοπλισμός εξόρυξης και άλλα συστήματα. Επειδή ο ήλιος είναι διαθέσιμος για μια μεγάλη χρονική περίοδο στο διάστημα, οι ηλιακές συστοιχίες μπορούν να παρέχουν μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας.

Ένα άλλο παράδειγμα ενός συστήματος δημιουργίας ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας πυρηνικός αντιδραστήρας. Σε γενικά πλαίσια, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες μπορούν να παρέχουν μια εξαιρετικά αποδοτική και μακροχρόνια πηγή ενέργειας. Επί του παρόντος, χρησιμοποιούνται σε πολλά διαστημόπλοια αλλά και σε ρομποτικούς εξοπλισμούς όπως για παράδειγμα στο ρόβερ Mars Curiosity. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας για την τροφοδοσία επιστημονικών οργάνων και άλλων συστημάτων. Αν και υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να προσπεραστούν είναι κάτι που πρέπει να μελετηθεί επαρκώς για να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στη διαστημική εξόρυξη.

Άλλα παραδείγματα που ερευνώνται ακόμα στο πλαίσιο των συστημάτων ισχύος βασισμένα στο διάστημα είναι οι κυψέλες καυσίμου και οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες.

Γενικά αυτά τα συστήματα είναι καίρια για τη σωστή λειτουργία των εργασιών εξόρυξης στο διάστημα. Μπορούν να αποτελέσουν μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας μειώνοντας την ανάγκη για συχνές αποστολές εφοδιασμού.



Εικόνα 12 Ηλιακό πάνελ στο διάστημα

Πηγή: <https://sa.catapult.org.uk/blogs/what-does-space-based-solar-power-mean-for-the-future-of-fossil-fuel-based-energy/>

Στην εικόνα είναι εμφανές ένα ηλιακό πάνελ για την τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί στο διάστημα.

### 3.3.4 Τηλεϊατρική

Η τηλεϊατρική αναφέρεται στη χρήση τεχνολογιών και τηλεπικοινωνιών για την παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης εξ αποστάσεως. Στη διαστημική εξόρυξη, η τηλεϊατρική είναι απαραίτητο εργαλείο καθώς θα παρέχεται αποτελεσματικά ιατρική βοήθεια σε αστροναύτες που εργάζονται απομακρυσμένα, σε απομονωμένα περιβάλλοντα όπως για παράδειγμα διαστημικοί σταθμοί ή τοποθεσίες εξόρυξης σε ουράνιο σώμα.

Στο πλαίσιο της διαστημικής εξόρυξης, τα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι αυτά της μεγάλης απόστασης, των περιβαλλοντικών συνθηκών και της έλλειψης ιατρικών εγκαταστάσεων. Έτσι, η τηλεϊατρική μπορεί να διαδραματίσει κύριο ρόλο στην παροχή υγειονομικής περίθαλψης. Σημαντικό επίσης, είναι ότι δεν είναι απαραίτητη η φυσική παρουσία. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται χρόνος και πόροι καθώς και η μείωση του κινδύνου στην έκθεση της ακτινοβολίας. Ακόμα, μπορεί να γίνει εξ αποστάσεως διάγνωση και θεραπεία ιατρικών προβλημάτων.

Η τηλεϊατρική επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της ψυχικής υγείας των εργαζομένων στα περιβάλλοντα διαστημικής εξόρυξης. Η μακροχρόνια απομόνωση και ο περιορισμός μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ψυχική υγεία. Έτσι, το άτομο μπορεί να ψυχαγωγείται και να υποστηρίζεται ψυχικά. Συμπερασματικά, η τηλεϊατρική είναι ένα εργαλείο που μπορεί να βοηθήσει όχι μόνο για τη διασφάλιση της υγείας αλλά και της ψυχικής κατάστασης του ατόμου. Με τη συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας και των υποδομών θα αποτελέσει σημαντικό κομμάτι στην εξερεύνηση και εξόρυξη του διαστήματος.

## 3.4 Τσιμέντο στο διάστημα

Ο όρος τσιμέντο αναφέρεται στη συνθετική σκόνη, συνήθως προ της ανάμιξης με νερό, χωρίς άλλα αδρανή πρόσθετα όπως άμμος και χαλίκι. Ο όρος σκυρόδεμα ωστόσο, αναφέρεται στο μείγμα τσιμέντου με ποσότητα από άλλα αδρανή υλικά. Είναι εμφανές ότι το τσιμέντο στο διάστημα έχει διαφορετική σύσταση καθώς οι συνθήκες αλλάζουν.

Όπως ακριβώς και το τσιμέντο στη Γη, το διαστημικό τσιμέντο είναι τύπος δομικού υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικοδομικές κατασκευές σε περιβάλλοντα εξόρυξης αλλά του διαστήματος. Κατασκευάζεται με την ανάμειξη υλικών όπως ο σεληνιακός Ρεγκόλιθος ή ακόμα και ο Ρεγκόλιθος του Άρη με ένα συνθετικό υλικό, όπως το θείο, για να δημιουργηθεί μια ουσία που μοιάζει με σκυρόδεμα και μπορεί να διαμορφωθεί σε διάφορα σχήματα.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης διαστημικού τσιμέντου στην εξόρυξη του διαστήματος είναι ότι μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας τοπικούς πόρους. Έτσι, μειώνεται η ανάγκη για μεταφορά δομικών υλικών από τη Γη, η οποία είναι ακριβή και μέσω της οποίας απαιτούνται μεγάλες ποσότητες δομικού υλικού. Επιπλέον, μειώνεται η πολυπλοκότητα των κατασκευών στο διάστημα.

Στις αντίξοες διαστημικές συνθήκες όπως οι ακραίες θερμοκρασίες, η ακτινοβολία και τα μικροσκοπικά κομμάτια από μετεωρίτες της διαστημικής σκόνης, η κατασκευή δομών στο διάστημα απαιτεί υλικά που μπορούν να αντέξουν τις συνθήκες αυτές. Το διαστημικό τσιμέντο μπορεί να ανταπεξέλθει υπό αυτές τις συνθήκες και να παρέχει ένα ασφαλές περιβάλλον για τους εργαζομένους.

Επιπλέον, το διαστημικό τσιμέντο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία υποδομής για εξορυκτικές διαδικασίες. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή χώρων προσγείωσης για διαστημόπλοια, εγκαταστάσεις αποθήκευσης πόρων και συστήματα μεταφοράς των πόρων από τη μια τοποθεσία στην άλλη. Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτού του τύπου τσιμέντο για τις κατασκευές γίνονται αποτελεσματικές και οικονομικά αποδοτικές. Συνεπώς το διαστημικό τσιμέντο είναι η βάση για τις εγκαταστάσεις όλων των ειδών. Μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο στη διαστημική εξερεύνηση.

#### 3.4.1 Στάδια δημιουργίας σεληνιακού τσιμέντου

Τα στάδια δημιουργίας σεληνιακού τσιμέντου για τη χρήση του είναι τα εξής:

1. Εξαγωγή και επεξεργασία του Ρεγκόλιθου: Για την κατασκευή σεληνιακού τσιμέντου, ο Ρεγκόλιθος πρέπει να εξαχθεί και να υποβληθεί σε επεξεργασία. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας εξοπλισμό εκσκαφής, όπως τρυπάνια ή μπουλντόζες, που θα μεταφερθούν στο φεγγάρι από τη Γη. Μόλις εξαχθεί ο Ρεγκόλιθος, πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία για να αφαιρεθούν τυχόν ανεπιθύμητα υλικά, όπως μεγάλα πετρώματα ή άλλα συντρίμμια.
2. Θρυμματισμός του Ρεγκόλιθου: Στη συνέχεια, ο Ρεγκόλιθος πρέπει να θρυμματιστεί σε λεπτή σκόνη χρησιμοποιώντας εξοπλισμό όπως οι θραυστήρες ή οι μύλοι. Αυτή η σκόνη στη συνέχεια επεξεργάζεται για να αφαιρεθούν ανεπιθύμητα στοιχεία, όπως το σίδηρο ή το τιτάνιο, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη διαδικασία παραγωγής τσιμέντου.
3. Θέρμανση και τήξη του Ρεγκόλιθου: Η επεξεργασμένη και καθαρή σκόνη στη συνέχεια θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, συνήθως περίπου 1500 βαθμούς Κελσίου, για να δημιουργηθεί ένα λιωμένο υγρό. Το λιωμένο υγρό στη συνέχεια ψύχεται και στερεοποιείται σε σκληρή μορφή, δημιουργώντας σεληνιακό τσιμέντο.
4. Δοκιμή και διύλιση του τσιμέντου: Μόλις δημιουργηθεί το σεληνιακό τσιμέντο, πρέπει να δοκιμαστεί για να διασφαλιστεί ότι έχει τις επιθυμητές ιδιότητες, όπως αντοχή και ανθεκτικότητα. Οποιαδήποτε προβλήματα με το τσιμέντο μπορούν στη συνέχεια να εντοπιστούν και να ακολουθήσουν άλλες μορφές επεξεργασίας.
5. Ενσωμάτωση του τσιμέντου σε έργα υποδομής: Το σεληνιακό τσιμέντο μπορεί να ενσωματωθεί σε έργα υποδομής. Οι διαδικασίες για τη χρήση του σεληνιακού τσιμέντου σε αυτά τα έργα θα είναι πιθανώς παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για το παραδοσιακό τσιμέντο στη Γη. Ωστόσο, μπορεί να χρειαστούν ορισμένες τροποποιήσεις λαμβάνοντας υπόψη τις μοναδικές ιδιότητες του Ρεγκόλιθου και την έλλειψη ατμόσφαιρας στο διάστημα.



### 3.4.2 Εταιρείες και οργανισμοί που αναπτύσσουν σεληνιακό τσιμέντο

Αρκετές είναι οι εταιρείες και οι οργανισμοί που αναπτύσσουν επί του παρόντος σεληνιακό τσιμέντο και τις αντίστοιχες τεχνολογίες για επιπλέον εξερεύνηση. Αυτές είναι:

- NASA: Η NASA ήταν από τις πρώτες στη σεληνιακή εξερεύνηση και έχει πραγματοποιήσει αρκετές μελέτες σχετικά με τη χρήση του σεληνιακού Ρεγκόλιθου για οικοδομικά υλικά, μαζί και του τσιμέντου. Το 2019, η NASA υπέγραψε σύμβαση με μια ομάδα στο Πανεπιστήμιο της Αριζόνα για την ανάπτυξη ενός πρωτότυπου σεληνιακού τσιμέντου που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευαστικά έργα στο φεγγάρι.
- Ευρωπαϊκός Οργανισμό Διαστήματος [European Space Agency – ESA]: Η ESA ερευνά επίσης ενεργά τη χρήση σεληνιακού Ρεγκόλιθου για οικοδομικά υλικά. Το 2021, ο οργανισμός υπέγραψε συμβάσεις με πολλές εταιρείες, όπως για παράδειγμα με τη Hibercon Technologies, μια ολλανδική εταιρεία, για τη μελέτη της χρήσης του Ρεγκόλιθου για την κατασκευή στο φεγγάρι.
- Blue Origin: Η εταιρεία εξερεύνησης του διαστήματος που ιδρύθηκε από τον Jeff Bezos έχει επίσης εκφράσει ενδιαφέρον για την σεληνιακή εξόρυξη και την κατασκευή έργων υποδομής στο φεγγάρι. Το 2019, η Blue Origin ανακοίνωσε τη συνεργασία της με τη NASA για την ανάπτυξη τεχνολογίας εξόρυξης και επεξεργασίας σεληνιακού Ρεγκόλιθου.
- Planetary Resources: Η Planetary Resources εστιάζει στην εξόρυξη αστεροειδών αλλά έχει εκφράσει επίσης το ενδιαφέρον της για τη χρήση σεληνιακών υλικών για την κατασκευή υποδομών.

### 3.4.3 Τρόποι εξαγωγής Ρεγκόλιθου από το έδαφος για την παραγωγή διαστημικού τσιμέντου

Οι τρόποι εξαγωγής του Ρεγκόλιθου από το έδαφος είναι οι εξής:

- Scooping: Αυτός είναι ο απλούστερος τρόπος εξαγωγής σεληνιακού Ρεγκόλιθου χρησιμοποιώντας μια σέσουλα ή φτυάρι για να σκαφτεί το υλικό της επιφάνειας. Αυτό μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή χρησιμοποιώντας ένα ρομποτικό βραχίονα. Αφού αφαιρεθεί ο ρεγκόλιθος μπορεί να μεταφερθεί σε ένα δοχείο αποθήκευσης για περαιτέρω επεξεργασία.
- Διάτρηση: Ένας άλλος τρόπος εξαγωγής του Ρεγκόλιθου είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα εργαλείο διάτρησης για να τρυπήσουμε την επιφάνεια και να εξάγουμε το υλικό. Η μέθοδος αυτή, είναι χρήσιμη για την εξαγωγή του Ρεγκόλιθου από τα βαθύτερα στρώματα ή για τη λήψη δειγμάτων από συγκεκριμένες τοποθεσίες.
- Ανατινάξεις: Η ανατινάξη είναι μια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων Ρεγκόλιθου από την επιφάνεια του

ουράνιου σώματος. Συνήθως περιλαμβάνει τη χρήση εκρηκτικών για τη διάσπαση του υλικού της επιφάνειας.

#### 3.4.4 Σκυρόδεμα στο διάστημα

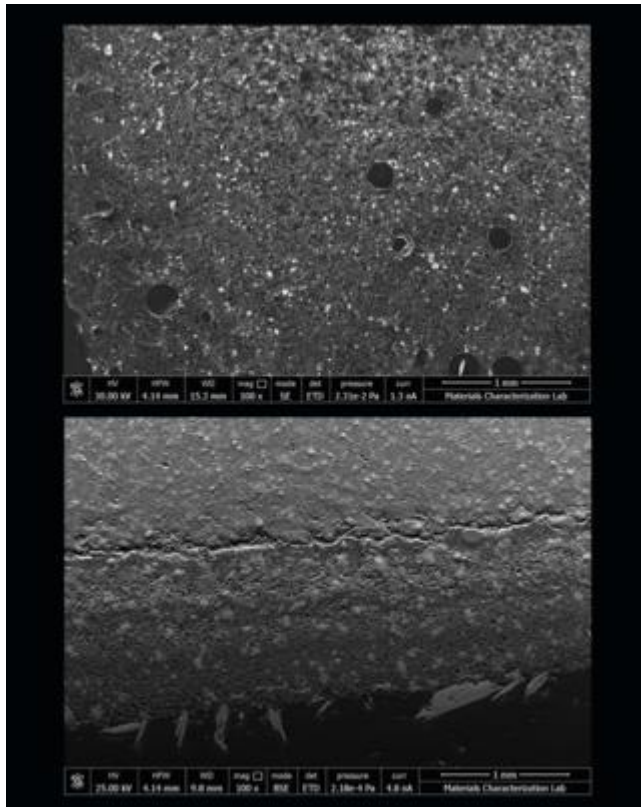
Το σκυρόδεμα είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό στη Γη. Αυτό οφείλεται στην αντοχή του, στην ανθεκτικότητά του και στην οικονομική του τιμή. Στο διάστημα ωστόσο, όσον αφορά τη χρήση του υπάρχουν κάποιες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Αρχικά, το σκυρόδεμα για να πήξει και να σταθεροποιηθεί χρειάζεται νερό. Το νερό στο διάστημα δεν μπορεί να βρεθεί με απλές διαδικασίες και η μεταφορά του από τη Γη δεν είναι εφικτή επιλογή. Για αυτό τον λόγο, οι επιστήμονες διερευνούν εναλλακτικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατο του νερού, όπως για παράδειγμα τα πολυμερή υγρά.

Επιπλέον, το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό βαρύ και η μεταφορά του διάστημα μπορεί να είναι δαπανηρή και δύσκολη. Ακόμα, το βάρος του σκυροδέματος μπορεί άμεσα να επηρεάσει τη σωστή λειτουργία του διαστημόπλοιου.

Στο διάστημα υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας που μπορούν να προκαλέσουν ρωγμές στο σκυρόδεμα και με την πάροδο του χρόνου να το αχρηστέψουν. Για τον λόγο αυτό, γίνονται έρευνες για την ανάπτυξη ενός τύπου σκυροδέματος που μπορεί να αντέξει σε αυτές τις συνθήκες, όπως το γεωπολυμερές σκυρόδεμα, το οποίο είναι κατασκευασμένο από βιομηχανικά απόβλητα και έχει αποδειχτεί ότι είναι πιο ανθεκτικό στις μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας σε σχέση με το παραδοσιακό σκυρόδεμα.

Ωστόσο, παρά τις προκλήσεις, υπάρχουν οφέλη από τη χρήση σκυροδέματος στο διάστημα. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή υποδομών στον Άρη, παρέχοντας έτσι μια σταθερή βάση για την ανθρώπινη εξερεύνηση αλλά και την εξόρυξη.



Εικόνα 13 Μίξη τσιμέντου στο διάστημα (πάνω) και στη Γη (κάτω)

Πηγή: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/news/concrete-advantage-for-space-explorers-mics-iss](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/concrete-advantage-for-space-explorers-mics-iss)

Στην εικόνα που παρουσιάζεται, έχουμε στο πάνω μέρος την μίξη τσιμέντου στο διάστημα ενώ στο κάτω μέρος η μίξη έγινε στη Γη. Στο πάνω μέρος το σκυρόδεμα φαίνεται να είναι πιο αραιό με άμεσο αντίκτυπο στην σκληρότητα του. Επομένως στο διάστημα επηρεάζεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### 4. ΣΕΛΗΝΗ

#### 4.1 Γενικά για τη Σελήνη

Το φεγγάρι είναι ένας φυσικός δορυφόρος της Γης και είναι το πέμπτο μεγαλύτερο φεγγάρι στο ηλιακό μας σύστημα. Είναι περίπου 238.855 μίλια μακριά από τη Γη και έχει διάμετρο περίπου 3.474 χιλιόμετρα. Γεγονός είναι ότι το φεγγάρι καθώς περιστρέφεται γύρω από τη Γη δείχνει πάντα το ίδιο ‘πρόσωπο’ δηλαδή οι άνθρωποι από τη Γη βλέπουν πάντα το ίδιο κομμάτι του.[NASA]

Το φεγγάρι αποτελεί πηγή επιστημονικής μελέτης για αιώνες. Επίσης, πολλοί θρύλοι, μύθοι και πολιτιστικές παραδόσεις έχουν ως επίκεντρο το φεγγάρι. Έχει άμεση επίδραση στον καιρό, στην παλίρροια αλλά και ορισμένες φορές ακόμα και στην συμπεριφορά των ζώων.

Οι μελέτες που γίνονται για το φεγγάρι είναι συνεχείς και ο ρόλος του είναι πολύ σημαντικός για την διαστημική εξόρυξη. Πέρα από τους φυσικούς πόρους που μπορεί να μας διαθέσει, μπορεί να αποτελέσει την βάση για την εξερεύνηση του ηλιακού μας συστήματος. Δημιουργώντας μια αποικία στη Σελήνη είναι η αρχή για μια βιώσιμη διαστημική οικονομία αλλά και για τη διαστημική εξερεύνηση. Η απόσταση Γης-Σελήνης συγκριτικά με άλλους πλανήτες είναι μικρή. Έτσι, μειώνονται τα καύσιμα και συνεπώς τα έξοδα που για τέτοιες αποστάσεις στο διάστημα είναι πολύ μεγάλα.

##### 4.1.1 Δημιουργία της Σελήνης

Η πιο ευρέως αποδεκτή επιστημονική θεωρία για το σχηματισμό της Σελήνης είναι αυτή της γιγάντιας πρόσκρουσης. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, η Σελήνη σχηματίστηκε πριν από περίπου 4.5 δισεκατομμύρια χρόνια όταν ένα μεγάλο αντικείμενο του διαστήματος στο μέγεθος του Άρη, που συνήθως ονομάζεται ‘Θεία’, συγκρούστηκε με την πρώιμη Γη. Η σύγκρουση αυτή ήταν τόσο ισχυρή που εξάτμισε ένα μέρος του μανδύα της Γης και της ‘Θείας’. Τα συντρίμια από τη σύγκρουση σχημάτισαν ένα δακτύλιο γύρω από τη Γη, ο οποίος στο τέλος ενώθηκε με τη Σελήνη. Αυτή η θεωρία της σύγκρουσης εξηγεί μερικά από τα χαρακτηριστικά της Σελήνης, όπως για παράδειγμα η σχετικά χαμηλή πυκνότητα της σε σχέση με τη Γη και το σχετικά μικρό της μέγεθος. Επίσης, εξηγεί γιατί η Σελήνη είναι αρκετά παρόμοια σε σύνθεση με τον μανδύα της Γης αλλά όχι με τον πυρήνα της. Ενώ ο σχηματισμός της

Σελήνης δεν είναι πλήρως επιστημονικά αποδεδειγμένος η θεωρία αυτή της σύγκρουσης είναι η πιο αποδεκτή.

#### 4.1.2 Ενδεχόμενο για ζωή

Με βάση τα όσα ξέρουμε για τη Σελήνη από μελέτες και έρευνες και με βάση τις συνθήκες που απαιτούνται για την ύπαρξη ζωής, είναι απίθανο να υπάρχει κάποια ύπαρξη ζωής επί του παρόντος ή στο παρελθόν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Σελήνη είναι άγονη και χωρίς ατμόσφαιρα, υγρό νερό και οργανικές ενώσεις που είναι απαραίτητες για τη ζωή όπως τη γνωρίζουμε σήμερα. Επιπλέον, οι ακραίες θερμοκρασίες, η ακτινοβολία και η έλλειψη προστασίας από τις κοσμικές ακτίνες θα καθιστούσαν πολύ δύσκολη την επιβίωση οποιασδήποτε μορφής ζωής.

Μερικοί επιστήμονες θεωρούν ότι υπάρχουν περιοχές στην επιφάνεια της Σελήνης, όπως κρατήρες κοντά στους πόλους, που θα μπορούσαν να περιέχουν παγωμένο νερό και άλλους πόρους που ενδεχομένως να υποστήριζαν την μελλοντική ανθρώπινη εξερεύνηση, ακόμα και αποικισμό. Οι πόροι αυτοί θα μπορούσαν ενδεχομένως να υποστηρίξουν και την ανάπτυξη κάποιων φυτών ή άλλων μορφών ζωής που οι άνθρωποι θα μετέφεραν στη Σελήνη.

#### 4.1.3 Τροχιά και περιστροφή της Σελήνης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικά χαρακτηριστικά για την τροχιά και την περιστροφή της Σελήνης.

Τροχιά:

- Η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη σε μια ελλειπτική τροχιά, με μέση απόσταση περίπου 238.855 μίλια (384.400 χιλιόμετρα) από το κέντρο της Γης.
- Η τροχιά της Σελήνης έχει κλίση περίπου 5 μοιρών σε σχέση με τη τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο, γεγονός που κάνει τη Σελήνη να κινείται πάνω κάτω στον ουρανό καθώς περιφέρεται.
- Η Σελήνη χρειάζεται περίπου 27.3 ημέρες για να ολοκληρώσει μια τροχιά γύρω από τη Γη, η οποία ονομάζεται αστρική περίοδος της.
- Λόγω της κίνησης της Γης γύρω από τον Ήλιο, η θέση της Σελήνης στον ουρανό αλλάζει κάθε βράδυ, ολοκληρώνοντας τον κύκλο των φάσεων της σε περίπου 29.5 ημέρες, που ονομάζεται συνοδική περίοδος της.

Περιστροφή:

- Η Σελήνη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της σε περίπου ίδιο χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρώσει μια τροχιά γύρω από τη Γη, που είναι περίπου 27.3 μέρες. Αυτό σημαίνει ότι η ίδια πλευρά της Σελήνης βλέπει πάντα τη Γη.
- Η περιστροφή της Σελήνης σχετίζεται με τη βαρυτική έλξη της Γης. Αυτό σημαίνει ότι οι βαρυτικές δυνάμεις μεταξύ των δύο σωμάτων έχουν προκαλέσει την επιβράδυνση της περιστροφής της Σελήνης με την πάροδο του χρόνου μέχρι οι δύο περιστροφές της να είναι ίσες χρονικά.

## 4.2 Χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος της Σελήνης

### 4.2.1 Θερμοκρασία

**Σεληνιακή ημέρα:** Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η επιφάνεια της Σελήνης μπορεί να γίνει πολύ ζεστή, με θερμοκρασίες που φτάνουν έως και τους 127 βαθμούς Κελσίου (260 βαθμούς Φαρενάιτ), άμεσα κάτω από το ηλιακό φως. Ωστόσο, σε περιοχές που βρίσκονται στη σκιά ή αντίθετα από την πλευρά του Ήλιου, οι θερμοκρασίες μπορεί να πέσουν έως και τους -173 βαθμούς Κελσίου (-280 βαθμούς Φαρενάιτ).

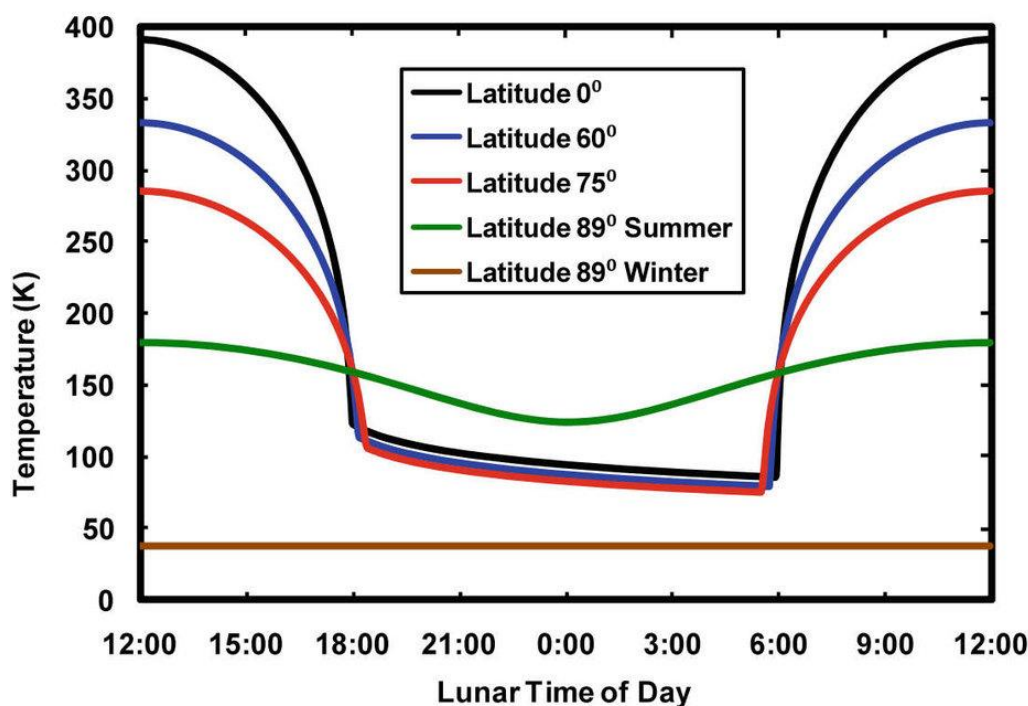
**Σεληνιακή νύχτα:** Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η επιφάνεια της Σελήνης ψύχεται γρήγορα επειδή δεν υπάρχει ατμόσφαιρα που να παγιδεύει τη θερμότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια της Σελήνης μπορεί να μειωθούν κατά εκατοντάδες βαθμούς Κελσίου μέσα σε λίγες μόνο ώρες.

Το μεγάλο αυτό εύρος της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Σελήνης μπορεί να δημιουργήσει σημαντικές δυσκολίες για τις εργασίες εξόρυξης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο εξοπλισμός και τα μηχανήματα μπορεί να υπερθερμανθούν και να δυσλειτουργούν εάν δεν είναι σχεδιασμένα να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, αυτό μπορεί να δυσκολέψει τους εργαζομένους να λειτουργούν αρκετή ώρα κάτω από το φως του Ήλιου. Από την άλλη πλευρά, οι εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες τη νύχτα μπορούν να κάνουν τα υλικά εύθραυστα και να σπάνε εύκολα. Ο εξοπλισμός και τα μηχανήματα εξόρυξης που δεν είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε τέτοιες συνθήκες μπορεί να καταστρέφονται δημιουργώντας εκρήξεις, οδηγώντας έτσι τους εργαζομένους σε κίνδυνο.

Επιπλέον, οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορούν να επηρεάσουν την ίδια τη διαδικασία της εξόρυξης. Για παράδειγμα, οι αλλαγές θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσουν διαστολή και συστολή των ορυκτών, γεγονός που μπορεί να δυσκολέψει την εξαγωγή τους από τη σεληνιακή επιφάνεια.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα και οι προκλήσεις, οι εργασίες εξόρυξης στη Σελήνη θα απαιτούσαν εξειδικευμένο εξοπλισμό και τεχνολογία που μπορούν να λειτουργούν σε ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας. Συνεπώς, αυτό περιλαμβάνει εξοπλισμό με υλικά ανθεκτικά στη θερμοκρασία, συστήματα ψύξης και μόνωση. Ακόμα, οι εργασίες εξόρυξης πρέπει να σχεδιαστούν με τρόπο ώστε να εκμεταλλεύονται τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, να

πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας και κατά τη διάρκεια της ημέρας να επαναφορτίζεται ο εξοπλισμός. Αυτό θα μπορούσε εύκολα να πραγματοποιηθεί με την λειτουργία ηλιακών πάνελ.



Εικόνα 14 Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κέλβιν κατά τη διάρκεια της μέρας

Πηγή: <https://www.thespaceresource.com/news/2019/2/surviving-the-temperamental-moon>

Όπως φαίνεται στην εικόνα, η θερμοκρασία αυξάνεται και μειώνεται απότομα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος.

#### 4.2.2 Ακτινοβολία

Η ακτινοβολία στη Σελήνη είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τις εξορυκτικές εργασίες στην επιφάνεια της. Σε αντίθεση με τη Γη, η Σελήνη δεν έχει προστατευτικό μαγνητικό πεδίο ή πυκνή ατμόσφαιρα για να την προστατεύει από την ακτινοβολία από τον Ήλιο αλλά και την ακτινοβολία του διαστήματος.

Αρχικά, υπάρχει η ηλιακή ακτινοβολία. Ο Ήλιος εκπέμπει σωματίδια υψηλής ενέργειας, μεταξύ άλλων πρωτόνια και ηλεκτρόνια, που θα μπορούν να διεισδύσουν στην επιφάνεια της Σελήνης και να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό αλλά και στα υλικά. Τα σωματίδια αυτά ωστόσο, μπορεί να είναι επικίνδυνα και για την υγεία του ανθρώπου προκαλώντας πολλές ασθένειες όπως καρκίνο.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχει η κοσμική ακτινοβολία. Οι κοσμικές ακτίνες, οι οποίες είναι σωματίδια υψηλής ενέργειας που προέρχονται ακόμα πιο μακριά από το ηλιακό μας σύστημα, εύκολα μπορούν να διεισδύσουν στην επιφάνεια της Σελήνης και

να προκαλέσουν επίσης ζημιά στον εξοπλισμό. Σύμφωνα με μελέτες από επιστήμονες η κοσμική ακτινοβολία είναι πιο δυνατή επειδή τα σωματίδια αυτά είναι πιο φορτισμένα. Συνεπώς, είναι πιο επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία από την ηλιακή ακτινοβολία.

Πέρα από αυτές τις μορφές ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Σελήνης, ο Ρεγκόλιθος μπορεί επίσης να αποτελέσει πηγή ακτινοβολίας. Ο Ρεγκόλιθος περιέχει ραδιενεργά στοιχεία όπως το ουράνιο και το θόριο τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία άλφα, βήτα και γάμμα.

Ωστόσο, υπάρχει λύση στο πρόβλημα της ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Σελήνης. Με διάφορα προστατευτικά υλικά, όπως το νερό, το πολυαιθυλένιο ή διάφορα συνθετικά υλικά μπορούμε να θωρακίσουμε και να προστατεύσουμε τον εξοπλισμό αλλά και το προσωπικό. Τα υλικά αυτά μπορούν και απορροφούν την ακτινοβολία ή την εκτρέπουν πίσω προς το διάστημα. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, μπορούμε απλά να μετριάσουμε την ένταση της ακτινοβολίας, προγραμματίζοντας εργασίες σε περιόδους χαμηλής ηλιακής έντασης ώστε να μειωθεί η ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς, η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει εύκολα κίνδυνο τόσο στον άνθρωπο όσο και στον εξοπλισμό. Έρευνες και μελέτες συνεχίζονται για να μπορέσουμε να μετριάσουμε αυτή τη βλαβερή ακτινοβολία.

#### 4.2.3 Έλλειψη βαρύτητας και ατμόσφαιρας

Σε αντίθεση με τη Γη, η Σελήνη χαρακτηρίζεται από την απουσία ατμόσφαιρας. Συνεπώς δεν υπάρχει ατμοσφαιρική πίεση, δηλαδή δεν υπάρχει ατμόσφαιρα να πιέζει τις επιφάνειες. Αρχικά, χωρίς την ατμόσφαιρα δεν υπάρχει η αντίσταση του αέρα. Υποθετικά λοιπόν, ο εξορυκτικός εξοπλισμός θα μπορούσε να κινηθεί πιο αποτελεσματικά στην επιφάνεια της Σελήνης. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και αυξημένη απόδοση στις εργασίες εξόρυξης.

Η έλλειψη ατμόσφαιρας επιπλέον σημαίνει και έλλειψη καιρικών συνθηκών. Πιο αναλυτικά, αυτό σημαίνει ότι δεν θα υπάρχουν καιρικές συνθήκες από τον άνεμο ή το νερό, συνεπώς δεν θα υπάρχει διάβρωση και αλλοίωση των επιφανειών των πετρωμάτων και ορυκτών. Συνεπώς, θα είναι πιο εύκολο να βρεθούν πολύτιμοι πόροι.

Από την άλλη πλευρά όμως, θα υπάρχουν δυσκολίες στις γεωτρήσεις. Η έλλειψη ατμόσφαιρας μπορεί να κάνει τις γεωτρήσεις και τις εκσκαφές πιο δύσκολες. Χωρίς την κατάλληλη πίεση αέρα ο καθαρισμός των υπολειμμάτων γύρω από την περιοχή της γεώτρησης θα ήταν αρκετά δύσκολη και η απουσία νερού θα έκανε δύσκολη την ψύξη του εξοπλισμού.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό, η απουσία αέρα θα καθιστούσε δύσκολο τον εντοπισμό διαρροών ή άλλων κινδύνων θέτοντας σε κίνδυνο μέχρι και τους ανθρώπους. Ακόμα, χωρίς αέρα για τη διάχυση της θερμότητας, ο εξοπλισμός και τα υλικά μπορεί να υπερθερμανθούν γρήγορα, δημιουργώντας μεγάλο κίνδυνο για πυρκαγιά.



Κατά τη διάρκεια των εξορυκτικών διαδικασιών, αν δεν υπάρχει ο κατάλληλος εξοπλισμός η υγεία του ανθρώπου βρίσκεται σε κίνδυνο. Η έκθεση στο κενό μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους πνεύμονες, στο δέρμα και τα μάτια. Επομένως, τα πρωτόκολλα ασφαλείας είναι απαραίτητα για να μετριάσουμε τους κινδύνους αυτούς.

Συμπερασματικά, υπάρχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Η κατανόηση αυτών είναι απαραίτητη για τον σωστό σχεδιασμό και την πετυχημένη εξόρυξη στο διάστημα.

#### 4.3 Επεξεργασία του σεληνιακού εδάφους για τον διαχωρισμό ορυκτών

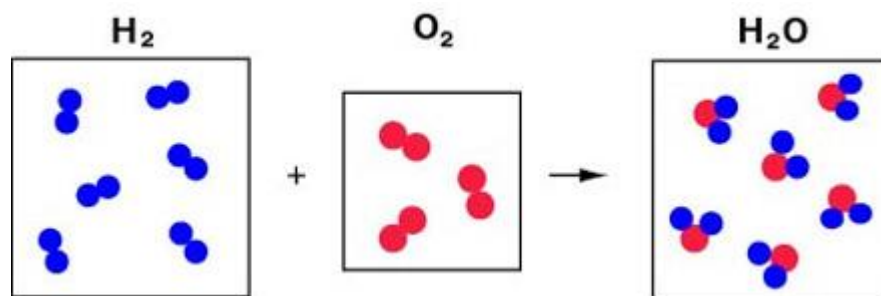
Η επεξεργασία του σεληνιακού εδάφους για τον διαχωρισμό ορυκτών είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία αποτελείται από πολλά στάδια. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αυτά τα στάδια.

1. Συλλογή: Το πρώτο βήμα στην συνολική διαδικασία της επεξεργασίας του σεληνιακού εδάφους για τον διαχωρισμό ορυκτών είναι η συλλογή του δείγματος. Για παράδειγμα η NASA έχει στείλει πολλές αποστολές στη Σελήνη και μερικές από αυτές έχουν συλλέξει δείγματα εδάφους τα οποία είναι διαθέσιμα για ερευνητικούς σκοπούς.
2. Σύνθλιψη και άλεση: Στη συνέχεια, τα δείγματα του σεληνιακού εδάφους συνθλίβονται και αλέθονται σε λεπτά σωματίδια για να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός των ορυκτών από το έδαφος.
3. Μαγνητικός διαχωρισμός: Το επόμενο βήμα είναι η χρήση τεχνικών μαγνητικού διαχωρισμού για τον διαχωρισμό των μαγνητικών ορυκτών από τα μη μαγνητικά. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την έκθεση του σεληνιακού εδάφους σε ένα μαγνητικό πεδίο ώστε τα μαγνητικά ορυκτά να έλκονται από έναν μαγνήτη, ενώ τα μη μαγνητικά ορυκτά μένουν πίσω.
4. Ηλεκτροστατικός διαχωρισμός: Ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός είναι μια άλλη τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό ορυκτών με βάση τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη φόρτιση των σωματιδίων του σεληνιακού εδάφους και στη συνέχεια τον διαχωρισμό των φορτισμένων σωματιδίων με βάση τις ιδιότητες φορτίου τους.
5. Χημική επεξεργασία: Η χημική επεξεργασία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό ορυκτών από το σεληνιακό έδαφος. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την επεξεργασία του εδάφους με χημικές ουσίες που διαλύουν ορισμένα μέταλλα και αφήνουν άλλα πίσω.
6. Τελικός διαχωρισμός: Μόλις τα ορυκτά διαχωριστούν από το σεληνιακό έδαφος υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία για να διαχωριστούν μεμονωμένα στοιχεία. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει περαιτέρω χημική επεξεργασία, τήξη ή άλλες τεχνικές ανάλογα με τα εμπλεκόμενα μέταλλα.

Βέβαια, η συνολική διαδικασία του διαχωρισμού απαιτεί προηγμένο εξοπλισμό και τεχνικές. Ωστόσο, τα οφέλη από την εξόρυξη σεληνιακών ορυκτών πόρων θα ήταν τεράστια.

## 4.4 Εξαγωγή οξυγόνου από το σεληνιακό έδαφος

Η εξαγωγή οξυγόνου από το σεληνιακό έδαφος (δηλαδή τον Ρεγκόλιθο), είναι η βάση για την διαστημική εξόρυξη καθώς έτσι εδραιώνεται η ανθρώπινη παρουσία στη Σελήνη. Ωστόσο, το οξυγόνο δεν είναι απαραίτητο μόνο για την αναπνοή αλλά χρησιμοποιείται και ως προωθητικό πυραύλων και ως πηγή ενέργειας μέσω της καύσης. Η πιο απλή καύση είναι αυτή με το οξυγόνο και το υδρογόνο, όπως φαίνεται στη συνέχεια:



Εικόνα 15 Απλή μορφή καύσης υδρογόνου

Πηγή: <https://www.kiosterakis.gr/plus/episthmes-technologia/ximeia/1823-to-ydrogono-to-oksygono-kaigontai-to-nero-omos-oxi-giati>

Πολύ συχνά, το νερό που παράγεται που είναι το προϊόν της καύσης εμφανίζεται με τη μορφή αερίου.

Ο σεληνιακός Ρεγκόλιθος είναι πλούσιος σε διάφορα στοιχεία, όπως πυρίτιο, σίδηρος, αλουμίνιο, τιτάνιο και οξυγόνο. Ωστόσο, το οξυγόνο συνδέεται με άλλα στοιχεία με τη μορφή οξειδίων, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εξαγωγή του. Υπάρχουν μερικοί τρόποι για την εξαγωγή του οξυγόνου από το σεληνιακό έδαφος, όπως για παράδειγμα η ηλεκτρόλυση.

### 4.4.1 Ηλεκτρόλυση

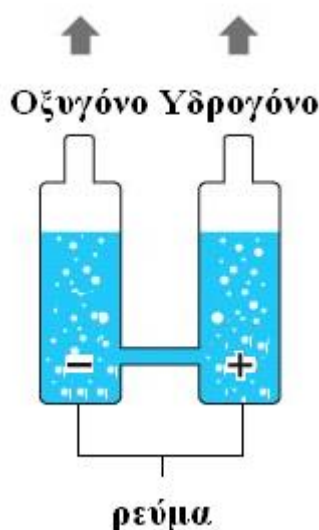
Η ηλεκτρόλυση είναι μια διαδικασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή οξυγόνου από το σεληνιακό έδαφος, δηλαδή τον Ρεγκόλιθο, περνώντας ηλεκτρικό ρεύμα από μέσα του. Αυτή η διαδικασία λειτουργεί με τον διαχωρισμό του οξυγόνου από άλλα στοιχεία, όπως το πυρίτιο και το σίδηρο, για την παραγωγή καθαρού οξυγόνου.

Η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης περιλαμβάνει τη χρήση μιας συσκευής, η οποία αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια βυθισμένα σε έναν υγρό ηλεκτρολύτη. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από τα ηλεκτρόδια, τα ιόντα στον ηλεκτρολύτη μετακινούνται στα ηλεκτρόδια, προκαλώντας χημικές αντιδράσεις που παράγουν οξυγόνο.

Στην περίπτωση του σεληνιακού εδάφους, ο Ρεγκόλιθος θα συνθλίβεται σε λεπτή σκόνη και θα αναμιγνύεται με ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη για να δημιουργηθεί ένας πολτός. Στη συνέχεια, θα εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα για την εξαγωγή οξυγόνου.

Ωστόσο, παρουσιάζονται δυσκολίες στη χρήση της ηλεκτρόλυσης, και η πιο σημαντική είναι ότι απαιτεί πολύ ενέργεια. Το σεληνιακό περιβάλλον παρουσιάζει προκλήσεις στη διαδικασία παραγωγής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης εκπομπής συνεχούς ηλιακού φωτός λόγω των μεγάλων σεληνιακών νυχτών. Για αυτό το λόγο, οι ερευνητές αναπτύσσουν μια σειρά λύσεων σε αυτό το πρόβλημα, όπως ηλιακοί συλλέκτες, πυρηνική ενέργεια και κυψέλες καυσίμου, για να τροφοδοτήσουν τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.

Η NASA αναπτύσσει τεχνολογία για την εξαγωγή οξυγόνου από το σεληνιακό έδαφος χρησιμοποιώντας ηλεκτρόλυση κατά τη διάρκεια του προγράμματος Artemis. Τα αποτελέσματα φαίνονται ελπιδοφόρα και η NASA συνεχίζει να βελτιώνει την τεχνολογία για μελλοντικές αποστολές.



Εικόνα 16 Ηλεκτρόλυση

Πηγή: <https://watereffect.gr/post/68660727741/%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CF%8C%CE%BB%CF%85%CF%83%CE%B7-%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-salt-electrolysis>

Στη φωτογραφία παρουσιάζεται μια κυψέλη ηλεκτρόλυσης. Πολύ συχνά ο ηλεκτρολύτης είναι λιωμένο αλάτι (χλωριούχο νάτριο).

#### 4.4.2 Πυρόλυση

Σε γενικά πλαίσια, η πυρόλυση είναι μια διαδικασία κατά την οποία ένα υλικό θερμαίνεται απουσία οξυγόνου, προκαλώντας την αποσύνθεσή του σε απλούστερες

ενώσεις. Στο πλαίσιο του σεληνιακού Ρεγκόλιθου, η πυρόλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή οξυγόνου από τον Ρεγκόλιθο.

Σε αυτή τη περίπτωση, ο Ρεγκόλιθος θερμαίνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον σε θερμοκρασίες μεταξύ 700 και 1000 βαθμών Κελσίου, απουσία οξυγόνου. Η θερμότητα αναγκάζει τα οξειδία μετάλλων να διασπαστούν στα συστατικά τους στοιχεία, μεταξύ αυτών και το οξυγόνο, το οποίο απελευθερώνεται ως αέριο.

Η διαδικασία της πυρόλυσης είναι πολύ χρήσιμη καθώς σαν διαδικασία απαιτεί μόνο τον Ρεγκόλιθο σαν υλικό και μια πηγή θερμότητας και μπορεί να προσφέρει μια βιώσιμη πηγή οξυγόνου. Μπορεί να πραγματοποιηθεί στη Σελήνη, στον Άρη και σε άλλα ουράνια σώματα.

#### 4.4.3 Bioleaching

Η διαδικασία Bioleaching ή Biomining είναι μια διαδικασία κατά την οποία χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί για την εξαγωγή μετάλλων από διάφορα υλικά. Είναι ένας τύπος βιοτεχνολογίας που χρησιμοποιεί ζωντανούς οργανισμούς για τη διεξαγωγή βιομηχανικών διεργασιών. Μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια και τα αρχαία χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή μετάλλων από ορυκτά ή από εξορυκτικά υπολείμματα κ.α.

Στην περίπτωση του Ρεγκόλιθου, η διαδικασία περιλαμβάνει μικροοργανισμούς για την εξαγωγή στοιχείων όπως το οξυγόνο, το νερό και διάφορα μέταλλα. Ο σεληνιακός Ρεγκόλιθος μεταξύ άλλων στοιχείων αποτελείται και από οξείδιο του πυριτίου, του αλουμινίου και του σιδήρου, τα οποία περιέχουν ίχνη μετάλλων και άλλων χρήσιμων στοιχείων. Η εξαγωγή αυτών των στοιχείων μέσω αυτής της διαδικασίας θα γίνεται με βιώσιμο και αποτελεσματικό τρόπο.

Οι μικροοργανισμοί αυτοί, υπάρχουν ελεύθεροι στη φύση αλλά πολλές φορές μπορεί να είναι γενετικά τροποποιημένοι για να έχουν ενισχυμένη την ικανότητα να εξάγουν μέταλλα. Η διαδικασία πραγματοποιείται συνήθως σε μεγάλα βιοαντιδραστήρια. Οι μικροοργανισμοί καλλιεργούνται σε περιβάλλον πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά με την κατάλληλη παροχή οξυγόνου για να υποστηρίζεται ο μεταβολισμός τους.

Η διαδικασία bioleaching έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους εξόρυξης. Πιο αναλυτικά, επιβαρύνει λιγότερο το περιβάλλον, κοστίζει λιγότερο και είναι ασφαλής για τους εργαζομένους. Ακόμα, έχει τη δυνατότητα εξαγωγής μετάλλων από πηγές που δεν είναι οικονομικά βιώσιμες χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους. Χρησιμοποιείται ήδη σε πολλές βιομηχανίες και στην διαστημική εξόρυξη μπορεί να αποτελέσει καλή μέθοδο εξαγωγής οξυγόνου και μετάλλων.

#### 4.4.4 Διαχωρισμός πλάσματος

Ο διαχωρισμός πλάσματος είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί το πλάσμα για την επιλεκτική εξαγωγή στοιχείων από υλικά, όπως ο Ρεγκόλιθος. Να σημειωθεί ότι το πλάσμα είναι ένα ιονισμένο αέριο υψηλής θερμοκρασίας που αποτελείται από ιόντα, ηλεκτρόνια και ουδέτερα φορτισμένα σωματίδια.

Στο πλαίσιο επεξεργασίας του σεληνιακού Ρεγκόλιθου, η διαδικασία διαχωρισμού του πλάσματος, περιλαμβάνει τη θέρμανση του Ρεγκόλιθου σε θερμοκρασίες αρκετών χιλιάδων βαθμών Κελσίου, δημιουργώντας το πλάσμα. Στη συνέχεια το πλάσμα διέρχεται από ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο διαχωρίζει τα διάφορα στοιχεία με βάση το ηλεκτρικό φορτίο τους. Έτσι, τα επιθυμητά στοιχεία μπορούν να συλλεχθούν για περαιτέρω επεξεργασία.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της διαδικασίας διαχωρισμού του πλάσματος, είναι αυτό της υψηλής επιλεκτικότητας και της γρήγορης επεξεργασίας των χρήσιμων στοιχείων. Τέτοια χρήσιμα στοιχεία μπορεί να είναι το οξυγόνο, το νερό και διάφορα μέταλλα τα οποία είναι πολύ χρήσιμα για την εξερεύνηση και αποίκηση του διαστήματος.

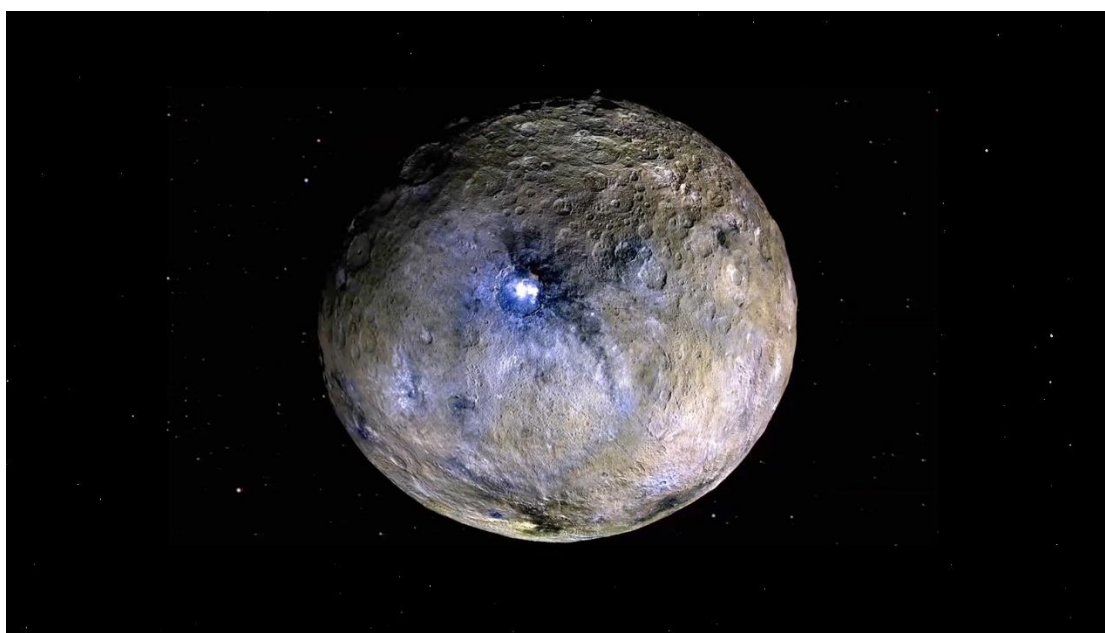
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### 5. ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

#### 5.1 Τι είναι οι αστεροειδείς

Οι αστεροειδείς είναι μικρά βραχώδη ή ακόμα και μεταλλικά αντικείμενα που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο. Οι αστεροειδείς δεν έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος, γι' αυτό χαρακτηρίζονται και ως δευτερεύοντες πλανήτες, επειδή είναι μικρότεροι από πλανήτες και έχουν ακανόνιστο σχήμα. Οι περισσότεροι γνωστοί αστεροειδείς βρίσκονται στη ζώνη των αστεροειδών που βρίσκεται ανάμεσα στις τροχιές του Άρη και του Δία.

Το μέγεθος των αστεροειδών ποικίλλει. Μπορεί να ξεκινάει από μόνο λίγα μέτρα ενώ η διάμετρος τους μπορεί να φτάσει εκατοντάδες χιλιόμετρα. Υπολογίζεται ότι ο μεγαλύτερος αστεροειδής στη ζώνη των αστεροειδών είναι ο αστεροειδής Ceres, που έχει διάμετρο περίπου 590 μίλια – 940 χιλιόμετρα.

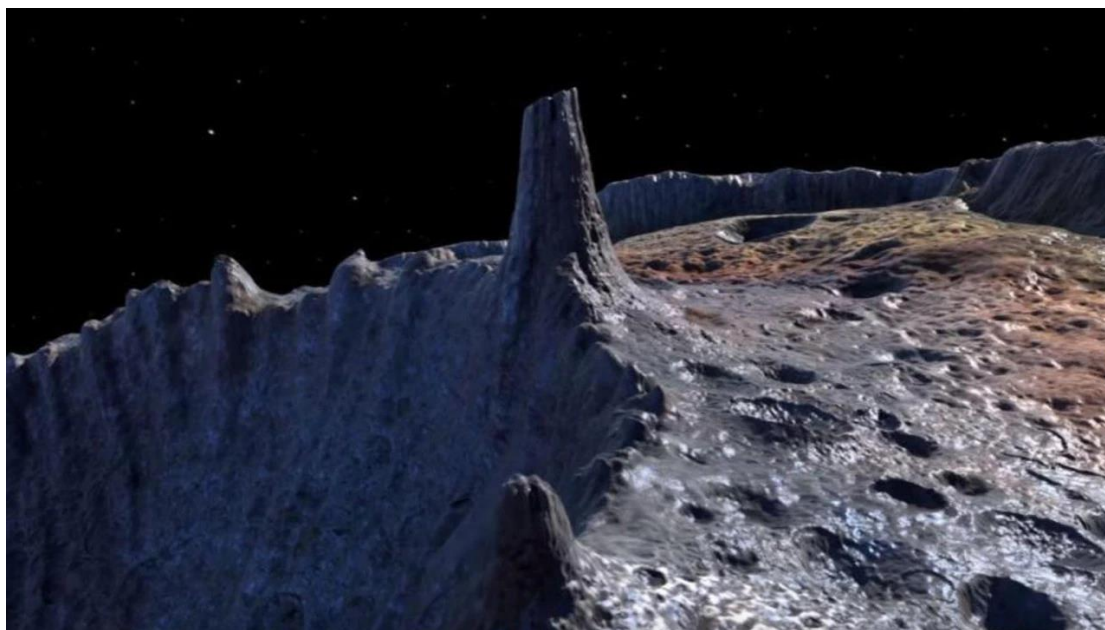


Εικόνα 17 Ο αστεροειδής Ceres – υπολογίζεται ότι είναι ο μεγαλύτερος αστεροειδής

Πηγή: <https://solarsystem.nasa.gov/planets/dwarf-planets/ceres/overview/>

#### 5.1.1 Κατηγορίες των αστεροειδών

Όπως έχει ειπωθεί, οι αστεροειδείς είναι πλούσιοι σε φυσικούς πόρους, όπως το νερό, στοιχεία σπανίων γαιών, πλατίνα και χρυσό.



Εικόνα 18 Επιφάνεια αστεροειδή στην οποία φαίνεται η ποικιλία μετάλλων που περιέχει

Πηγή: <https://www.kidsnews.com.au/space/striking-gold-in-space-in-2022/news-story/951ffae6c679bbcc02eb7bb4bc592c62>

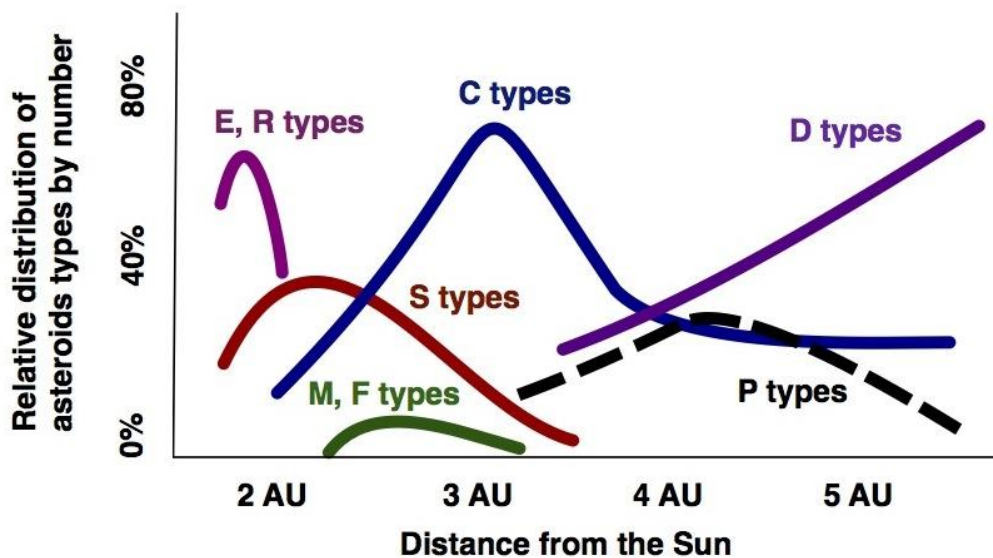
Οι αστεροειδείς ανάλογα με την απόστασή τους από τον Ήλιο χωρίζονται σε κατηγορίες. Δηλαδή, οι αστεροειδείς χωρίζονται ανάλογα με το πόσο φως εκπέμπουν ή αντανακλούν. Οι βασικές αυτές κατηγορίες είναι:

- Αστεροειδείς τύπου C: Οι αστεροειδείς αυτού του τύπου είναι σκοτεινοί και πλούσιοι σε άνθρακα. Συνήθως, βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά της ζώνης των αστεροειδών.
- Αστεροειδείς τύπου S: Αυτοί οι αστεροειδείς είναι φωτεινοί και πλούσιοι σε πυριτικά ορυκτά. Συνήθως, βρίσκονται στην εσωτερική πλευρά της ζώνης, δηλαδή πιο κοντά στον Ήλιο από τους αστεροειδείς τύπου C.
- Αστεροειδείς τύπου M: Αυτοί οι αστεροειδείς είναι μεταλλικοί και συχνά έχουν υψηλή συγκέντρωση σε νικέλιο και σίδηρο. Μπορούν να βρεθούν τόσο στην εσωτερική όσο και στην εξωτερική πλευρά της ζώνης αλλά και σε άλλες περιοχές στο ηλιακό μας σύστημα.

Ωστόσο, διακρίνονται κάποιες επιπλέον κατηγορίες αστεροειδών παρόμοιες με αυτές που προηγήθηκαν. Πιο αναλυτικά, υπάρχει η κατηγορία X η οποία είναι παρόμοια με την τύπου M αλλά με πιο υψηλό επίπεδο αντανάκλασης. Επιπλέον, υπάρχει η κατηγορία D, η οποία είναι παρόμοια με την τύπου C αλλά με πιο κοκκινωπή απόχρωση.

Στη συνέχεια, φαίνεται η αναπαράσταση των κατηγοριών των αστεροειδών σε σχέση με την απόσταση που παρουσιάζουν από τον Ήλιο.

Έχει υπολογιστεί ότι 1 AU [Astronomical Unit] είναι ίσο με 149,597,870,700 μέτρα.



Εικόνα 19 Διάγραμμα των κατηγοριών των αστεροειδών σε σχέση με την απόστασή τους από τον Ήλιο

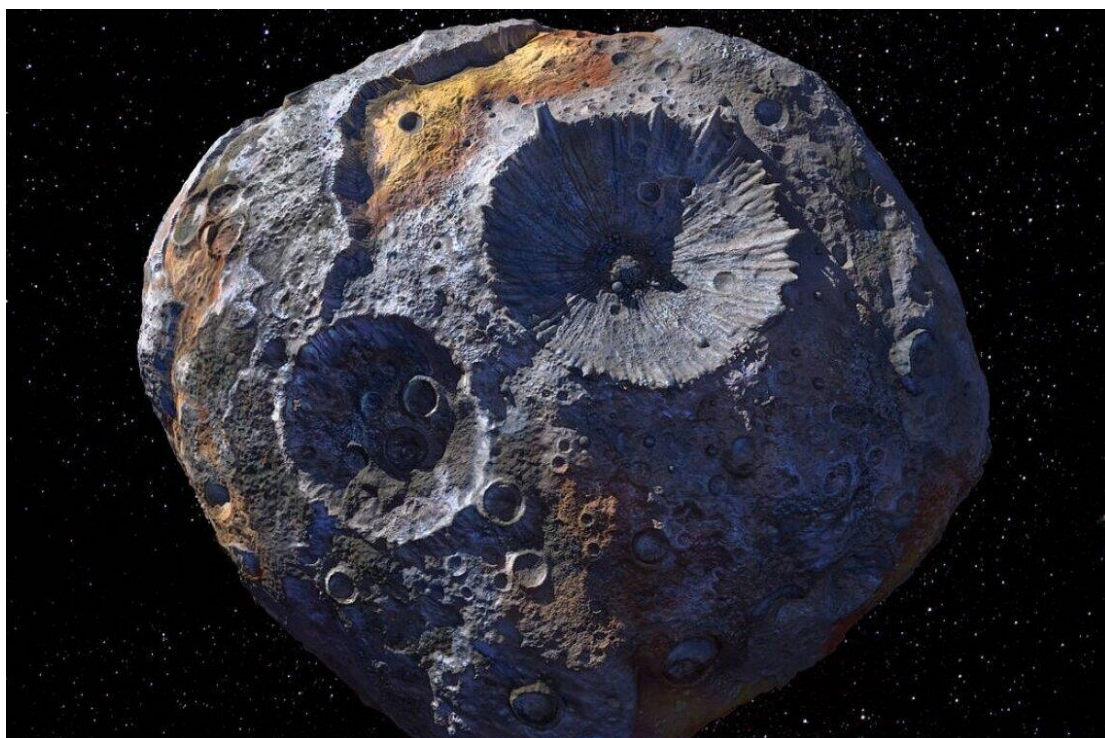
Πηγή: <https://astrobites.org/2014/02/01/the-composition-and-architecture-of-the-asteroid-belt-from-simple-to-complicated-in-just-three-decades/>

## 5.2 Χρηματική αξία των αστεροειδών και χρηματοοικονομικές προκλήσεις

Οι αστεροειδείς υπολογίζονται ότι έχουν πολύ μεγάλες ποσότητες φυσικών πόρων, συγκεκριμένα πλατίνας, χρυσού, και άλλων μετάλλων. Στην περίπτωση εκμετάλλευσής τους τα κέρδη θα ήταν τεράστια.

Για παράδειγμα σύμφωνα με έρευνες έχει υπολογιστεί ότι ο αστεροειδής 16 Psyche περιέχει χρυσό αξίας 700 πεντάκις εκατομμυρίων σε αμερικάνικα δολάρια. Αυτό σημαίνει ότι αν ο χρυσός αυτός μοιραζόταν, ο κάθε άνθρωπος στη Γη θα έπαιρνε το ποσό των 93 δισεκατομμυρίων δολαρίων.



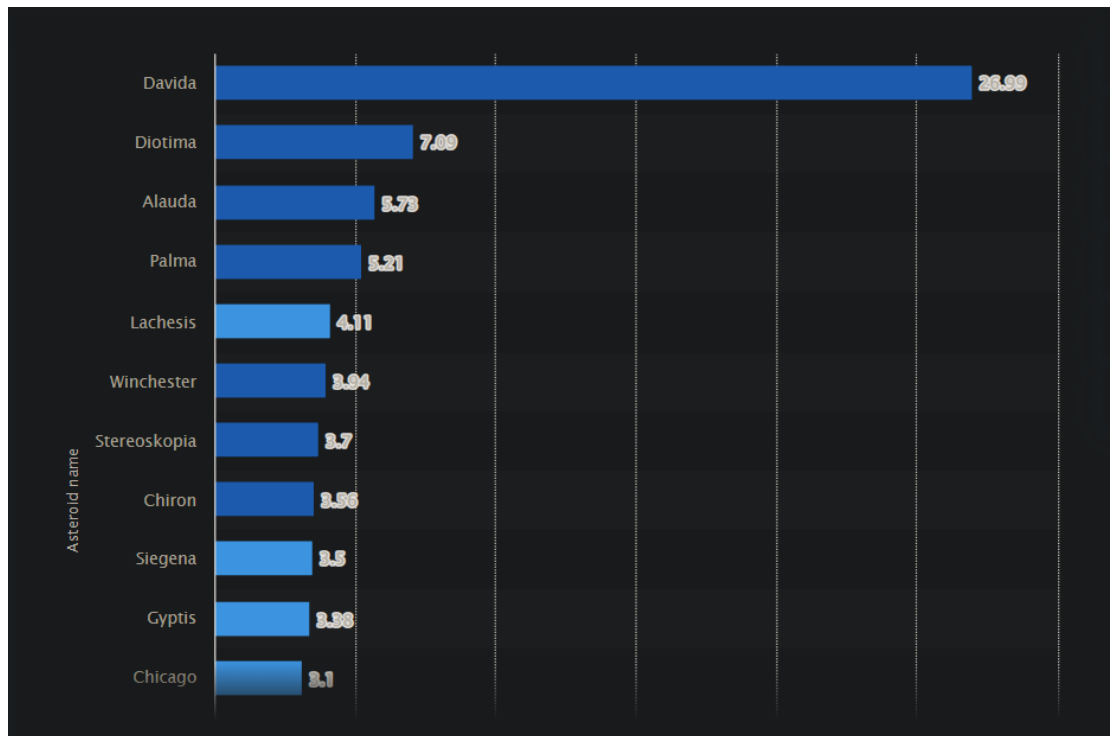


Εικόνα 20 Αστεροειδής 16 Psyche

Πηγή:

[https://www.google.com/search?q=psyche+asteroid&sxsrf=APwXEdetUCUclBxZ4qwafNzJMIIG3bDkkg:1683201673643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiSyt7uztv-AhViR\\_EDHZzSDPUQ\\_AUoAXoECAMQAw&biw=1536&bih=714&dpr=1.25#imgrc=Dam32NMDfxkXaM](https://www.google.com/search?q=psyche+asteroid&sxsrf=APwXEdetUCUclBxZ4qwafNzJMIIG3bDkkg:1683201673643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiSyt7uztv-AhViR_EDHZzSDPUQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1536&bih=714&dpr=1.25#imgrc=Dam32NMDfxkXaM)

Στη συνέχεια, φαίνεται η χρηματική αξία σε αμερικάνικα δολάρια των μεγαλύτερων αστεροειδών στην κλίμακα του πεντάκις εκατομμυρίου.



Εικόνα 21 Απεικόνιση της χρηματικής αξίας των αστεροειδών σε πεντάκις αμερικάνικα δολάρια αν εκμεταλλευτούν.

Πηγή: <https://www.statista.com/statistics/656143/mineral-and-element-value-of-selected-asteroids/>

Παρόλο τα υπέρογκα χρηματικά ποσά που οι αστεροειδείς μπορούν να προσφέρουν, σε κάθε περίπτωση για κάθε διαστημικό ταξίδι στο πλαίσιο της εξόρυξης αστεροειδών πρέπει να εξεταστούν οι εξής περιπτώσεις:

- **Κόστος εκτόξευσης:** Το κόστος εκτόξευσης ενός διαστημικού σκάφους είναι ένας σημαντικός οικονομικός παράγοντας στην εξόρυξη αστεροειδών. Το κόστος εκτόξευσης μπορεί να ποικίλλει ευρέως ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους αλλά και τον τύπο του.
- **Κόστος εξοπλισμού εξόρυξης:** Σε αυτό το πλαίσιο, πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος ανάπτυξης, κατασκευής και λειτουργίας εξοπλισμού εξόρυξης που είναι ικανός να εξάγει πολύτιμους πόρους από αστεροειδείς.
- **Αξία πόρων:** Η αξία των πόρων που μπορούν να εξαχθούν από έναν αστεροειδή είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στο πλαίσιο των οικονομικών δυνατοτήτων της εξόρυξης. Η αξία των πόρων όπως τα σπάνια μέταλλα, το νερό και τα ορυκτά πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το κόστος εξόρυξης, επεξεργασίας και μεταφοράς τους πίσω στο Γη.
- **Απόδοση επένδυσης – Return of investment [ROI]:** Η απόδοση επένδυσης για μια αποστολή εξόρυξης αστεροειδών πρέπει να αξιολογηθεί προσεκτικά. Το κόστος της αποστολής πρέπει να συγκριθεί με τα πιθανά κέρδη που προκύπτουν από την πώληση των πόρων που έχουν εξορυχθεί.
- **Ζήτηση αγοράς:** Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η ζήτηση για τους πόρους που εξάγονται από αστεροειδείς. Εάν η ζήτηση της αγοράς για τους πόρους είναι

χαμηλή, τότε η αξία των πόρων από την εξόρυξη μπορεί να μην είναι επαρκής για να καλύψει το κόστος της αποστολής.

- Νομικά και ρυθμιστικά ζητήματα: Τέλος, πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά τα νομικά και ρυθμιστικά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν για την εξόρυξη των αστεροειδών.

### 5.3 Γεωλογία των αστεροειδών

Συμπερασματικά, οι αστεροειδείς είναι πηγή φυσικού πλούτου που έμμεσα αυτό μπορεί να σημαίνει οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, από την μελέτη των αστεροειδών μπορούμε να καταλάβουμε καλύτερα τον τρόπο δημιουργίας του ηλιακού μας συστήματος. Πιστεύεται ότι οι μετεωρίτες μπορεί να είναι κομμάτια των αστεροειδών που αποκολλήθηκαν πριν από πάρα πολλά χρόνια, συνεπώς η μελέτη και η έρευνα των μετεωριτών βοηθάει στη μελέτη των αστεροειδών. Παρόλο που ο εξοπλισμός και η τεχνολογία στις μέρες μας δεν επαρκεί πλήρως για να μπορέσουμε να καταλάβουμε ακριβώς τι είναι ο αστεροειδής και από που προέρχεται, υπάρχουν τεχνικές που μας βοηθάνε να προσδιορίσουμε την γεωλογία του αστεροειδή και τι μέταλλα και φυσικούς πόρους μπορεί να περιέχει.

#### 5.3.1 Φασματομετρία

Η φασματομετρία είναι μια χρήσιμη τεχνική στην εξόρυξη των αστεροειδών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της σύνθεσης ενός αστεροειδούς. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τη μέτρηση της ποσότητας του φωτός που απορροφάται ή μεταδίδεται από ένα υλικό σε διαφορετικά μήκη κύματος.

Στο πλαίσιο της εξόρυξης αστεροειδών, η φασματομετρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό της παρουσίας πολύτιμων ορυκτών, όπως ο σίδηρος, το νικέλιο και διάφορα μέταλλα της ομάδας της πλατίνας. Αναλύοντας το φάσμα του φωτός που εκπέμπεται ή απορροφάται από τον εκάστοτε αστεροειδή, οι επιστήμονες μπορούν να προσδιορίσουν τη χημική σύσταση της επιφάνειας του αστεροειδούς.

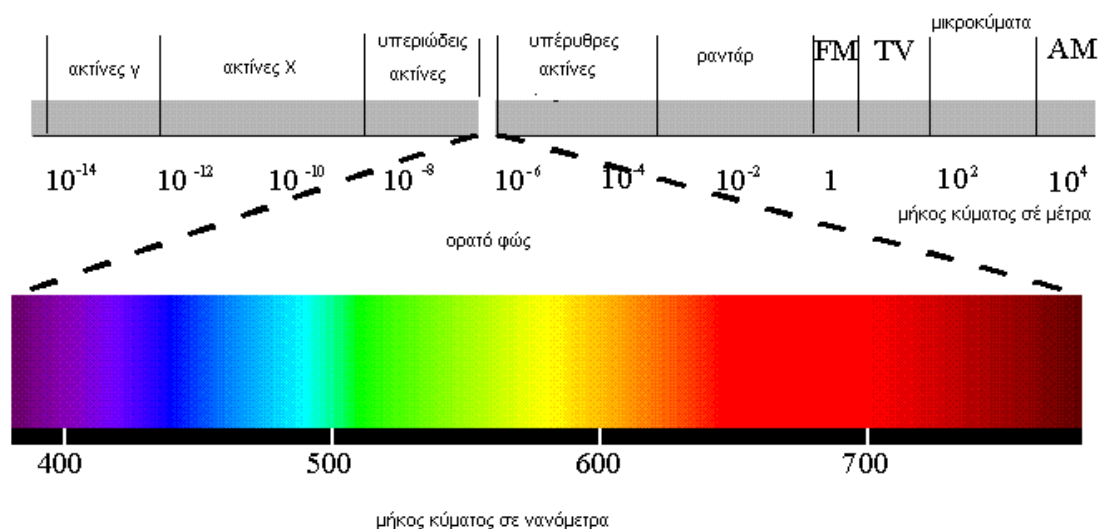
Η φασματομετρία ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του μεγέθους και του σχήματος ενός αστεροειδή καθώς και για τον ρυθμό που περιστρέφεται. Έτσι, με αυτές τις πληροφορίες ο σχεδιασμός εξόρυξης του θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά και τα διαστημικά σκάφη θα μπορούσαν να προσγειωθούν με ασφάλεια στην επιφάνεια του. Συμπερασματικά, η φασματομετρία είναι πολύ σημαντικό εργαλείο στην εξόρυξη των αστεροειδών.

#### 5.3.2 Ραδιομετρία

Η ραδιομετρία είναι επίσης μια άλλη πολύ σημαντική τεχνική που χρησιμοποιείται στην εξόρυξη των αστεροειδών. Η ραδιομετρία περιλαμβάνει την μέτρηση της ποσότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή αντανακλάται από έναν αστεροειδή. Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θερμοκρασία και τις θερμικές ιδιότητες της επιφάνειας ενός αστεροειδούς.

Επίσης με αυτή τη τεχνική, μπορεί να προσδιοριστεί η θερμική αδράνεια ενός αστεροειδή, η οποία ουσιαστικά είναι ένα μέτρο του πόσο γρήγορα η επιφάνεια του αστεροειδή ανταποκρίνεται στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Έτσι, με αυτό το τρόπο μπορούμε να σχεδιάσουμε κατάλληλα διαστημικά σκάφη και εξοπλισμό εξόρυξης που μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια στην επιφάνεια του αστεροειδή.

Η ραδιομετρία επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της ‘Λευκαύγειας’ ενός αστεροειδή. Η λευκαύγεια είναι το μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος. Μετράται ως ο λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην επιφάνεια ενός σώματος και συνήθως το κλάσμα αυτό εκφράζεται ως ποσοστό από 0% έως 100%. Μελετώντας έτσι το φάσμα του ηλιακού φωτός που εκπέμπεται ή αντανακλάται, οι επιστήμονες μπορούν να προσδιορίσουν τη σύνθεση του επιφανειακού υλικού. Σε αυτό περιλαμβάνονται διάφορα ορυκτά και μέταλλα που είναι χρήσιμα για την εξόρυξη. Συνολικά, η ραδιομετρία είναι ένα σημαντικό εργαλείο στην εξόρυξη αστεροειδών που επιτρέπει στους επιστήμονες να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τις θερμικές και ανακλαστικές ιδιότητες της επιφάνειας του αστεροειδή.



Εικόνα 22 Μήκη κύματος φάσματος ακτινοβολίας

Πηγή: <https://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/Aktinovolies/Aktinovolies.htm>

Στη εικόνα που φαίνεται (εικόνα 22), φαίνονται τα διάφορα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ραδιομετρία μετριέται στο πλαίσιο των υπέρυθρων ακτινών.

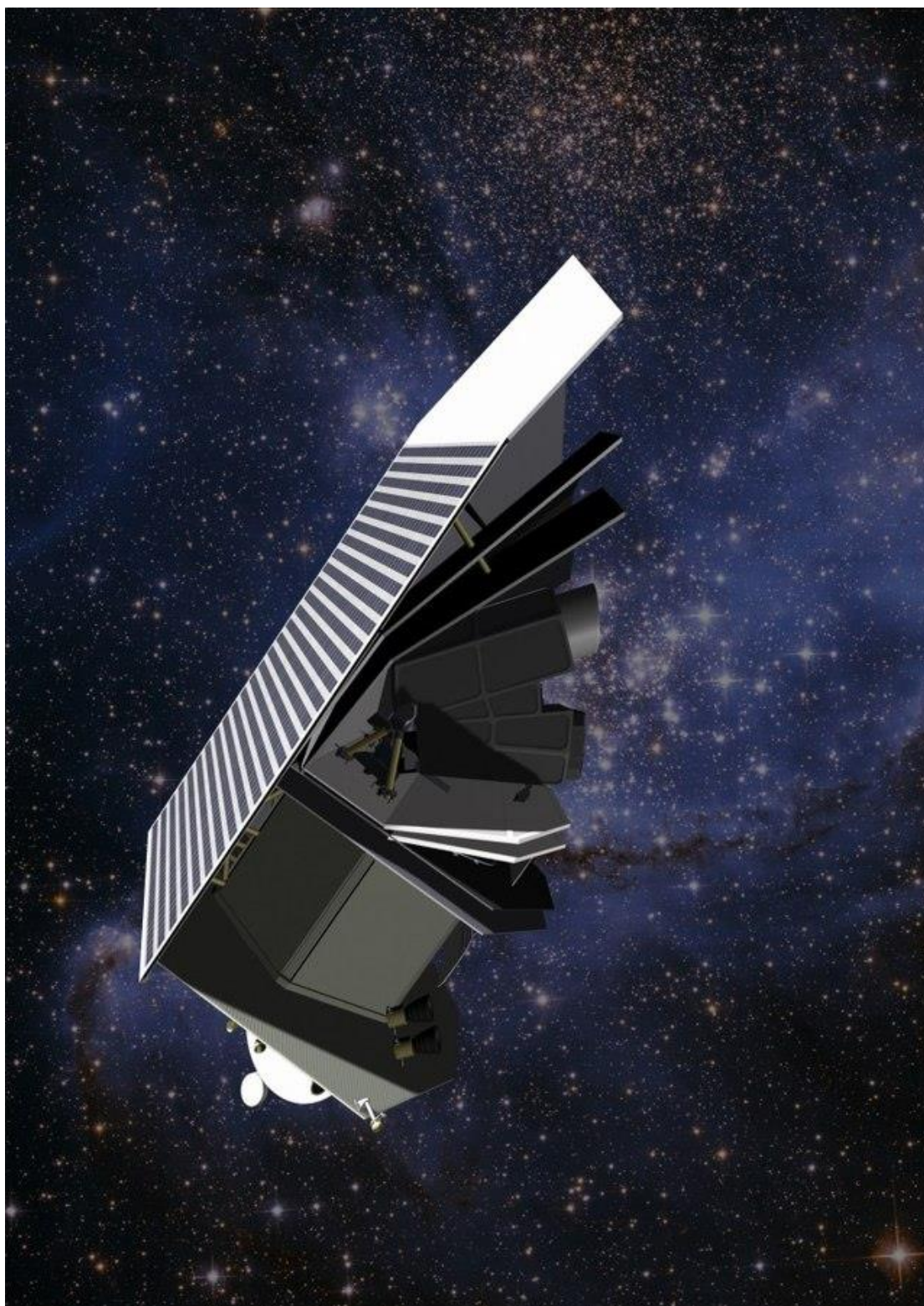
### 5.3.3 Υπερφασματική απεικόνιση

Η υπερφασματική απεικόνιση είναι μια ισχυρή τεχνική που μπορεί να παρέχει εξαιρετικά λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση και την ορυκτολογία της επιφάνειας ενός αστεροειδή. Αυτή η τεχνική, περιλαμβάνει την απεικόνιση της επιφάνειας του αστεροειδή σε πολλές στενές και συνεχόμενες φασματικές ζώνες. Αυτές οι ζώνες επιτρέπουν στους μελετητές να αναγνωρίσουν συγκεκριμένα ορυκτά και πετρώματα. Στην εξόρυξη αστεροειδών, αναλύοντας αυτά τα φασματικά δεδομένα που συλλέγονται από το σύστημα, οι ειδικοί μπορούν να δημιουργήσουν ορυκτολογικούς χάρτες που δείχνουν την κατανομή των ορυκτών στην επιφάνεια. Η υπερφασματική απεικόνιση γενικά είναι χρήσιμη για τη μελέτη της γεωλογίας ενός αστεροειδή. Αναλύοντας ωστόσο τα φασματογραφικά δεδομένα αναγνωρίζονται γεωλογικά χαρακτηριστικά όπως κρατήρες και λεκάνες πρόσκρουσης.

#### 5.3.4 Παρακολούθηση εδάφους του αστεροειδή

Η παρακολούθηση του εδάφους του αστεροειδή αποτελεί σημαντικό κομμάτι στο πλαίσιο της εξόρυξης του. Αυτό το κομμάτι περιλαμβάνει την παρακολούθηση της θέσης, της ταχύτητας και της τροχιάς ενός αστεροειδή καθώς κινείται στο διάστημα. Η ακριβής παρακολούθηση της κίνησης του αστεροειδή είναι πολύ σημαντική για τον σχεδιασμό της τροχιάς των διαστημικών σκαφών, την πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης του αστεροειδούς αλλά και τον προγραμματισμό των εργασιών εξόρυξης. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση ραντάρ ή τηλεσκοπίων για την παρατήρηση της θέσης και της κίνησης του αστεροειδή.





Εικόνα 23 Sentinel Space Telescope

Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel\\_Space\\_Telescope](https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel_Space_Telescope)

Στην εικόνα 23 φαίνεται ο σχεδιασμός του διαστημικού τηλεσκοπίου Sentinel. Αυτό ήταν ένα διαστημικό παρατηρητήριο που σχεδιάστηκε για το Ίδρυμα B612. Το Ίδρυμα

αυτό είναι αφιερωμένο στην προστασία της Γης από πιθανές συγκρούσεις της Γης με αστεροειδείς. Παρόλο που η αποστολή δεν έχει ξεκινήσει ακόμα αυτός ο διαστημικός εξοπλισμός είναι ο πρώτος που σχεδιάστηκε για το πρόγραμμα αυτό της προστασίας της Γης από τους αστεροειδείς.

### 5.3.5 Θερμικό μοντέλο

Η δημιουργία ενός θερμικού μοντέλου είναι πολύ σημαντική για του επιστήμονες στο πλαίσιο της εξόρυξης τους. Το θερμικό αυτό μοντέλο, βοηθάει τους επιστήμονες να προβλέψουν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του αστεροειδή και τις θερμικές ιδιότητες του Ρεγκόλιθου που βρίσκεται στην επιφάνεια. Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι σημαντικές για τον σχεδιασμό εξοπλισμού εξόρυξης και διαστημικών σκαφών τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα σε περιβάλλοντα ακραίας θερμοκρασίας όπως στο διάστημα.

Για να δημιουργηθεί ένα τέτοιο θερμικό μοντέλο, απαιτείται η χρήση μαθηματικών μοντέλων και διάφορων παραμέτρων υπό διάφορες συνθήκες. Τέτοιες συνθήκες για παράδειγμα είναι η γωνία και η ένταση του ηλιακού φωτός που πέφτει στην επιφάνεια του σώματος, ο ρυθμός περιστροφής και ο προσανατολισμός του αστεροειδή και οι ιδιότητες του υλικού της επιφάνειας. Με την βοήθεια τέτοιων μοντέλων προβλέπεται η θερμοκρασία στην επιφάνεια του αστεροειδή και οι θερμικές ιδιότητες του Ρεγκόλιθου όπως η θερμική αγωγιμότητα και η θερμική αδράνεια.

Σε δεύτερο στάδιο, αναλύοντας αυτά τα μοντέλα μπορεί να σχεδιαστεί κατάλληλα ο εξορυκτικός εξοπλισμός. Για παράδειγμα, ο εξοπλισμός μπορεί να χρειαστεί να σχεδιαστεί με συστήματα ψύξης για την αποφυγή υπερθέρμανσης σε ένα ακραίο θερμικά περιβάλλον. Από την άλλη πλευρά, τα διαστημόπλοια μπορεί να χρειάζεται να σχεδιαστούν με ασπίδες θερμότητας για την προστασία τους από την θερμότητα κατά τη διάρκεια της απογείωσης και της προσγείωσης.

## 5.4 Φυσικοί πόροι

### 5.4.1 Εξαγωγή νερού

Από τους πιο σημαντικούς φυσικούς πόρους που μπορούν να βρεθούν σε αστεροειδείς, όπως έχει ειπωθεί, είναι το νερό. Πέρα από την διατήρηση της ανθρώπινης ζωής, το νερό έχει χρήσεις και στην παραγωγή καυσίμων πυραύλων κ.α. Ακολουθούν μερικές μέθοδοι εξαγωγής νερού από τους αστεροειδείς:

- Εξόρυξη: Το νερό μπορεί να εξορυχθεί με παραδοσιακές μορφές εξόρυξης. Για παράδειγμα με διάτρηση στην επιφάνεια του αστεροειδή και εξαγωγή των

ορυκτών που περιέχουν νερό. Το νερό μπορεί στη συνέχεια να εξαχθεί από τα ορυκτά χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως η θέρμανση ή οι χημικές αντιδράσεις.

- **Θέρμανση:** Πολλοί αστεροειδείς περιέχουν νερό με τη μορφή ενυδατωμένων μετάλλων, τα οποία απελευθερώνουν νερό όταν θερμαίνονται. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως θερμική εκρόφιση. Αυτή περιλαμβάνει τη θέρμανση του αστεροειδή σε υψηλές θερμοκρασίες ώστε να απελευθερωθούν υδρατμοί, από τους οποίους στη συνέχεια μπορούμε να εξάγουμε νερό υγρής μορφής.
- **Ηλεκτρόλυση:** Με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης διασπώνται τα μόρια του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να παραχθεί από ηλιακούς συλλέκτες στην επιφάνεια του αστεροειδή ή αλλιώς από πυρηνικούς αντιδραστήρες που θα έχουν μεταφερθεί στον αστεροειδή.
- **Άμεση σύλληψη:** Πολλοί αστεροειδείς περιέχουν νερό με τη μορφή πάγου στην επιφάνεια τους ο οποίος μπορεί να συλληφθεί απευθείας. Αυτό μπορεί να γίνει με τεχνικές όπως η διάτρηση.

#### 5.4.2 Νικέλιο και σίδηρος

Το νικέλιο και ο σίδηρος είναι κοινά μέταλλα που βρίσκονται σε αφθονία στην επιφάνεια αστεροειδών. Η εξαγωγή τους μπορεί να γίνει με μια ποικιλία μεθόδων. Αυτές οι μέθοδοι αναλύονται στη συνέχεια:

- **Τήξη:** Η τήξη περιλαμβάνει τη θέρμανση του υλικού που βρίσκεται στην επιφάνεια του αστεροειδή σε υψηλές θερμοκρασίες για να λιώσει το μέταλλο. Στη συνέχεια, το μέταλλο μπορεί να διαχωρισθεί και να συλλεχθεί. Αν και αυτή η διαδικασία απαιτεί υψηλό επίπεδο ενέργειας και εξιδεικευμένο εξοπλισμό, μπορεί να αποτελέσει σημαντική μέθοδο για την εξαγωγή μεγάλων ποσοτήτων μετάλλων από αστεροειδείς.
- **Ηλεκτρόλυση:** Σε αυτή τη περίπτωση όπως ακριβώς και με το νερό, με τη χρήση ηλεκτρισμού οι μεταλλικές ενώσεις διασπώνται στα συστατικά μέρη τους.
- **Μαγνητικός διαχωρισμός:** Ο μαγνητικός διαχωρισμός περιλαμβάνει τη χρήση ενός μαγνητικού πεδίου για τον διαχωρισμό του σιδήρου και του νικελίου από άλλα υλικά του αστεροειδή. Αυτή η διαδικασία βασίζεται στο γεγονός ότι ο σίδηρος και το νικέλιο είναι μαγνητικά υλικά ενώ άλλα όχι.

#### 5.5 Διαθεσιμότητα αστεροειδών

Η διαθεσιμότητα των αστεροειδών αναφέρεται στον αριθμό αυτών που είναι προσβάσιμοι για εξερεύνηση και πιθανή εξόρυξη πόρων. Υπάρχουν εκατομμύρια αστεροειδείς στο ηλιακό μας σύστημα, αλλά ένα μικρό ποσοστό από αυτούς είναι πιθανός στόχος για εξερεύνηση και εξόρυξη.



Ένας από τους παράγοντες που καθορίζει τη διαθεσιμότητα των αστεροειδών είναι η τοποθεσία τους. Πολλοί αστεροειδείς βρίσκονται στη ζώνη των αστεροειδών, η οποία είναι μεταξύ του Άρη και του Δία, που είναι πολύ μακριά από τη Γη και είναι δύσκολο να προσεγγιστεί με την τρέχουσα τεχνολογία. Ωστόσο, υπάρχουν αστεροειδείς που βρίσκονται κοντά στη Γη, οι οποίοι είναι πιο εύκολα προσβάσιμοι και θα μπορούσαν να εξορυχθούν.

Ένας άλλος παράγοντας που καθορίζει τη διαθεσιμότητα των αστεροειδών είναι το μέγεθος και η σύνθεση τους. Οι μεγαλύτεροι αστεροειδείς έχουν γενικά περισσότερους πόρους και επομένως είναι πιο πολύτιμοι για εξόρυξη, αλλά μπορεί επίσης να είναι πιο δύσκολο να εξορυχθούν λόγω του μεγέθους τους και της απόστασης τους από τη Γη. Η σύνθεση του αστεροειδούς είναι επίσης σημαντική καθώς διαφορετικοί αστεροειδείς μπορεί να περιέχουν και διαφορετικούς τύπους και ποσότητες πόρων όπως το νερό, μέταλλα και διάφορα σπάνια ορυκτά.

Συνεπώς, η διαθεσιμότητα ενός αστεροειδή είναι ένας σημαντικός παράγοντας κατά τον σχεδιασμό για την εξερεύνηση του διαστήματος και την εξόρυξη των πόρων. Καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται ραγδαία θα είμαστε σε θέση να εξερευνήσουμε μεγαλύτερο αριθμό αστεροειδών, ανοίγοντας νέες ευκαιρίες για την εξερεύνηση του διαστήματος αλλά και για εμπορικές δραστηριότητες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαστημική εξόρυξη με την πάροδο των χρόνων γίνεται αναγκαία και ο άνθρωπος κάνει προσπάθειες για να καταφέρει να πραγματοποιήσει ένα μεγάλο βήμα σαν και αυτό. Παρόλο που βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και έχουν πραγματοποιηθεί μόνο μερικές μικρές αποστολές ρομποτικού εξοπλισμού για έρευνα, οι επιστήμονες θεωρούν ότι η εξόρυξη στο διάστημα μπορεί να αποτελέσει μια παγκόσμια βιώσιμη οικονομία. Επιχειρήσεις και ιδιωτικοί οργανισμοί σε παγκόσμιο επίπεδο σημειώνουν πρόοδο συνεχώς, αναπτύσσοντας την τεχνολογία και τον εξοπλισμό και προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τα λάθη των αποστολών. Κάνοντας συνεχώς αποστολές στη Σελήνη και σε NEO, τα προσεχή χρόνια φαίνεται ότι θα μπορούμε να βασιστούμε σε μια διαστημική εξορυκτική οικονομία.

Λόγω αποστάσεως και έλλειψης γνώσης για το βαθύ διάστημα, εύκολος στόχος για την ανάπτυξη της εξόρυξης σε πρώτο στάδιο φαίνεται να είναι η Σελήνη. Ο άνθρωπος έχει καταφέρει να πάει στη Σελήνη κατά τη διάρκεια των αποστολών Apollo αλλά ακόμα δεν έχει φτάσει στο επίπεδο να μπορεί να εκτελέσει εργασίες εξορυκτικού τύπου. Οι προσπάθειες συνεχίζονται ωστόσο, λόγω του ότι στη Σελήνη υπάρχουν σε αφθονία διάφοροι φυσικοί πόροι που ο άνθρωπος θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί, και η επέκταση στη Σελήνη φαίνεται να μην αργεί.

Σε δεύτερο επίπεδο, μια πολύ καλή βάση για διαστημικές εξορυκτικές δραστηριότητες είναι ο Άρης. Γύρω από τον Άρη υπάρχουν πολλοί αστεροειδείς πλούσιοι σε μεταλλεύματα και ορυκτά και ο Άρης θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν βάση για αυτό το σκοπό. Επιπλέον, η επέκταση και λειτουργία στον Άρη είναι η αρχή για έρευνα και εξερεύνηση στο βαθύ διάστημα. Στην τροχιά του Άρη και του Δία, είναι και η ζώνη των αστεροειδών οι οποίοι είναι φυσικός πλούτος και η ανάπτυξη εξορυκτικών εργασιών σε τέτοιο επίπεδο θα έλυνε πολλά προβλήματα.

Συνεπώς, έρευνα και ανάπτυξη γίνεται συνεχώς από τους επιστήμονες. Η εξόρυξη στο διάστημα φαίνεται στο μέλλον να αποτελεί μια βιώσιμη οικονομία που η ανθρωπότητα θα μπορεί να βασιστεί. Όταν μπορέσουμε και το καταφέρουμε αυτό θα είναι η αρχή για ένα καλύτερο μέλλον.

## ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- HISTORY H, 2018. 1969 Moon Landing
- Amanda Barnett, Phil Davis, 2023. NASA, SOLAR SYSTEM EXPLORATION, Our Galactic Neighborhood.
- Brian Dunbar, 2018. National Aeronautics and Space Administration.
- Eileen Stansbery, Charles Meyer, 2022. NASA, Petrographic thin section set study guide.
- Center for astrophysics, 2022.
- Brian Dunbar, Svetlana Shekhtman, 2021. NASA.
- Laura E. Fackrell, Paul A. Schroeder, Aaron Thompson, Karen Stockstill-Cahill, Charles A. Hibbitts, 2021. Development of martian regolith and bedrock simulants: Potential and limitations of martial Regolith as an in-situ resource.
- Tony Greicius, Naomi Hartono. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.
- iSpace, 2023. HAKUTO-R Mission 1.
- Baker, David, Lunar Roving Vehicle: Design Report, *Spaceflight*, 13, 234-240, July 1971. The Apollo Lunar Roving Vehicle.
- Brian Dunbar, 2021. Taking a Ride on the Moon in the Lunar Roving Vehicle.
- Brian Dunbar, Loura Hall, 2020. NASA, Explore Space Tech.
- J. Edmunson<sup>1</sup> and C. A. McLemore<sup>2</sup>, <sup>1</sup> BAE Systems/NASA Marshall Space Flight Center (Jennifer. E.Edmunson@nasa.gov, Huntsville AL 35812), <sup>2</sup> NASA Marshall Space Flight Center (Carole.A.McLemore @nasa.gov, Huntsville AL 35812), 2012. IN SITU MANUFACTURING IS A NECESSARY PART OF ANY PLANETARY ARCHITECTURE, Concepts and Approaches for Mars Exploration.
- Jason Schuler, Dew Smith, AJ Nick, 2021. Regolith Advanced Surface Systems Operation Robot (RASSOR).
- Paul J. Mackey, Michael R. Johansen, Robert C. Olsen, MaBhew G. Raines, James R. Phillips III, Rachel E. Cox, Michael D. Hogue, Carlos I. Calle NASA Kennedy Space Center Jacob R. S. Pollard, Appalachian State University, 2016. Electrodynamic Dust Shield for Space Applications.
- Michael R. Johansen\*, Paul J. Mackey, Michael D. Hogue, Rachel E. Cox, James R. Phillips and Carlos I. Calle. National Aeronautics and Space Administration, Kennedy Space Center, FL, 32899, USA
- Esa Nummi, 2016. 3D Printing in Space: Bringing Asteroid Mining One step Closer to Riality.
- Pagel, John P, 2022. A STUDY OF SPACE-BASED SOLAR POWER SYSTEMS.
- Michael Johnson, 2019. A Concrete Advantage for Space Explorers.
- Molly Wasser. NASA Science, Earth's Moon.
- Envis Center on environmental biotechnology, 2012. SUPPORTED BY MINISTRY OF ENVIRONMENT AND FORESTS GOVERNMENT OF INDIA.

