



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πτυχιακή εργασία:

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΠΑΓΟΣ ΓΙΑ ΠΑΓΟΔΡΟΜΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



ΜΠΟΥΖΙΔΟΥ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ

Επιβλέπων: Καθ. Αναστασόπουλος Ηλίας

ΛΑΡΙΣΑ 2024



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENT



Degree Thesis:

ARTIFICIAL ICE FOR ICE-SKATING AND THE EFFECTS ON THE ENVIRONMENT



BOUZIDOU STAVROULA

Supervisor: Prof. Anastasopoulos Ilias

LARISSA 2024

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Περιβάλλοντος της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά το έτος 2024.

Πρώτα από όλα θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου, κ. Ηλία Αναστασόπουλο, για την ανάθεση του θέματος της πτυχιακής μου εργασίας, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας, για όλη τη βοήθεια που μου προσέφερε καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για να μου δώσει σημαντικές συμβουλές, διευκρινήσεις και επεξηγήσεις για το θέμα.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές του Τμήματος Περιβάλλοντος Λάρισας για τις γνώσεις και τη βοήθεια που μου προσέφεραν όλα τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου ζωής.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το σύζυγό μου Δημήτριο Καραϊσκό για την αμέριστη συμπαράστασή του, την ηθική του στήριξη καθώς και την κατανόηση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος ένα μεγάλο και εγκάρδιο ευχαριστώ αξίζουν οι τρεις κόρες μου (Σοφία, Αικατερίνη και Αθανασία-Μαρία) που αποτέλεσαν ένα ανεκτίμητο στήριγμα στη διαδρομή των σπουδών μου, βοηθώντας με να προχωρώ και να υπερπηδώ κάθε εμπόδιο για να φτάσω στο στόχο μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό αποτελεί τον σπουδαιότερο φυσικό πόρο στον πλανήτη, καλύπτει το 75% της επιφάνειας της Γης, ενώ είναι παράγοντας υψίστης σημασίας για την ανάπτυξη και τη διατήρηση της ζωής. Όταν το νερό βρεθεί σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 0°C παγώνει και έχουμε τη στερεή κατάσταση του νερού, τον πάγο, ένα διάφανο κρυσταλλικό ορυκτό εξίσου σημαντικό για το περιβάλλον, καθώς συχνά αποτυπώνει και τις μεταβολές του κλίματος του πλανήτη. Ήδη από τον 5^ο αιώνα οι άνθρωποι ανακάλυψαν την ολίσθηση επάνω στον πάγο ως τρόπο γρήγορης μεταφοράς και εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια μακρινών ταξιδιών. Η χαρά ωστόσο της ολίσθησης επάνω στον πάγο και το γεγονός ότι μπορούσαν να κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα σε συνδυασμό με την φυσική ομορφιά που προσφέρει η παγωμένη επιφάνεια των λιμνών, ποταμών και καναλιών, οδήγησε στην διάδοση κατά τον μεσαίωνα των παγοδρομιών ως ψυχαγωγική είτε αθλητική δραστηριότητα με την συνακόλουθη αύξηση της ανάγκης για ύπαρξη παγοδρομιών. Παρότι οι περισσότεροι πατινέρ προτιμούν την ολίσθηση σε φυσικό πάγο, σε υπαίθρια παγοδρόμια που έχουν δημιουργηθεί φυσικά, οι χειμώνες και οι διαρκώς μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες δεν επιτρέπουν συχνά τη δημιουργία τους. Το γεγονός αυτό καθώς και η ανάγκη για κατασκευή παγοδρομιών ακόμη και σε περιοχές με θερμότερες θερμοκρασίες όπου το κλίμα δεν ενδείκνυται για τη δημιουργία και τη διατήρηση της επιφάνειας του πάγου οδήγησαν στην δημιουργία του τεχνητού πάγου και την κατασκευή τεχνητών παγοδρομιών. Με τον όρο τεχνητός πάγος αναφερόμαστε στο νερό που έχει παγώσει μη φυσικά, μέσω ανθρώπινης παρέμβασης και χρήσης μηχανών και συστημάτων ψύξης, προκύπτοντας έτσι μια διαφορετική παγωμένη επιφάνεια με ελεγχόμενο τρόπο και σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται ο τρόπος σχηματισμού του τεχνητού πάγου, οι ιδιότητες του αλλά και οι διαφορές του συγκριτικά με τον φυσικό πάγο. Γίνεται αναφορά στα φυσικά και τεχνητά παγοδρόμια στην Ελλάδα και τον κόσμο, καθώς και στα συστήματα ψύξης που χρησιμοποιήθηκαν για την διατήρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του πάγου και τον τρόπο λειτουργίας τους. Δίνεται έμφαση στη βιολογική παγοπυρήνωση, διαδικασία σχηματισμού πάγου μέσω πυρήνων από βιολογικά σωματίδια, τεχνική που αξιοποιήθηκε και στην παραγωγή πάγου, όπου εφαρμόστηκαν πρωτεΐνες που οδηγούν στην παγοπυρήνωση (εμπορικά ονόματα, Icemax και Snomax) προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της παραγωγικής διαδικασίας και να επιτευχθεί ένας οικονομικά αποδοτικότερος τρόπος για τη δημιουργία μιας πιο ποιοτικής επιφάνειας πάγου με ταυτόχρονη μείωση του ενεργειακού κόστους. Τέλος, η παρούσα πτυχιακή διερευνά και εστιάζει στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρει η ανάπτυξη του τεχνητού πάγου και συγκεκριμένα η αλόγιστη χρήση των ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούνται καθώς και των μεγάλων ποσών ενέργειας που απαιτούνται κατά τη δημιουργία και τη συντήρηση του. Άλλωστε, στην εποχή της αειφόρου ανάπτυξης και της κλιματικής αλλαγής η μετάβαση σε πιο φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές και η υιοθέτηση καινοτόμων εναλλακτικών λύσεων κρίνεται επιτακτική για την προστασία του περιβάλλοντος και την εξασφάλιση της βιωσιμότητας του πλανήτη μας.

ABSTRACT

Water is the most important natural resource on the planet, covering 75% of the Earth's surface and it is an important factor in the development and maintenance of life. When water is found at temperatures below 0°C it freezes and we have the solid state of water, ice, a transparent crystalline mineral equally important to the environment, as it often reflects changes in the planet's climate. As early as the 5th century, humans discovered sliding on ice as a way of rapid transport and energy saving during long journeys. However, the pleasure of gliding on ice and the fact that they could move at greater speed, combined with the natural beauty of the frozen surface of lakes, rivers and canals, led to the spread of ice-skating as a recreational or sporting activity in the middle Ages, with the consequent increase in the need for ice rinks. Although most skaters prefer to slide on natural ice, outdoor rinks created naturally, winters and ever-changing temperatures often do not allow for their creation. This fact and the need to build ice rinks even in areas with warmer temperatures where the climate is not suitable for creating and maintaining the ice surface have led to the creation of artificial ice and the construction of artificial ice rinks. The term artificial ice refers to water that has been frozen non-naturally, through human intervention and the use of machines and cooling systems, resulting in a different frozen surface in a controlled manner and in controlled environments.

This thesis presents the way of formation of artificial ice, its properties and its differences compared to natural ice. A reference is made to the natural and artificial ice rinks in Greece and the world, as well as the cooling systems used to maintain the temperature of the ice surface and how they work. Emphasis is placed on biological ice nucleation, a process of ice formation through nucleation of biological particles, a technique that was also exploited in ice production, where ice nucleation-driving proteins (common names, Icemax and Snomax) were applied in order to increase the efficiency of the production process and to achieve a more cost-effective way of creating a higher quality ice surface while reducing the energy costs. Finally, this thesis explores and focuses on the environmental impact of the development of artificial ice, in particular the inappropriate use of the refrigerants used and the large amounts of energy required during its creation and maintenance. Besides, in the era of sustainable development and climate change, the transition to more environmentally friendly practices and the adoption of innovative alternatives is considered imperative to protect the environment and ensure the sustainability of our planet.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Νερό	8
1.1. Εισαγωγή	8
1.2. Δομή του νερού	9
1.3. Φάσεις νερού - Καταστάσεις	9
1.4. Ιδιότητες	10
1.5. Κύκλος νερού ή υδρολογικός κύκλος.....	12
Κεφάλαιο 2: Πάγος.....	14
2.1. Ορισμός.....	14
2.2. Ιστορική αναδρομή	14
2.3. Μορφές πάγου	15
2.4. Δομή πάγου.....	16
2.5. Διαδικασία σχηματισμού	17
2.6. Ιδιότητες πάγου.....	19
2.6.1. Φυσικοχημικές Ιδιότητες.....	19
2.6.2. Μηχανικές Ιδιότητες.....	19
2.6.3. Οπτικές Ιδιότητες	20
2.6.4. Ηλεκτρικές Ιδιότητες.....	21
Κεφάλαιο 3: Τεχνητός πάγος.....	23
3.1. Ορισμός.....	23
3.2. Διαδικασία σχηματισμού	23
3.3. Ιδιότητες τεχνητού πάγου και διαφορές με τον φυσικό πάγο.....	24
Κεφάλαιο 4: Παγοδρόμια	26
4.1. Εισαγωγή	26
4.2. Φυσικά παγοδρόμια	26
4.3. Τεχνητά παγοδρόμια.....	28
4.4. Παγοδρόμια στην Ελλάδα	30
Κεφάλαιο 5: Πλεονεκτήματα πάγου και παγοδρομίων	33
5.1. Πάγος ως οικοσύστημα – Βιοποικιλότητα	33
5.2. Χειμερινά σπορ και βελτίωση ψυχικής και σωματικής υγείας.....	34
5.3. Βελτίωση της κοινωνικότητας.....	35
5.4. Τοπική Οικονομία – Τουρισμός	36
Κεφάλαιο 6: Συστήματα ψύξης.....	37
6.1. Συστήματα ψύξης και τρόπος λειτουργίας	37
6.2. Κατηγορίες συστημάτων ψύξης	38

6.3. Ψυκτικά μέσα.....	39
Κεφάλαιο 7: Βιολογική Παγοπυρήνωση.....	41
7.1. Εισαγωγή	41
7.2. Παγοπυρήνωση βακτηρίων	41
Κεφάλαιο 8: Εμπορικά σκευάσματα παγοπυρηνωτικών παραγόντων.....	44
8.1. Εισαγωγή	44
8.2. Icemax.....	44
8.2.1. Τρόπος λειτουργίας	45
8.2.2. Οφέλη	45
8.3. Snomax	45
8.3.1. Τρόπος λειτουργίας	46
8.3.2. Οφέλη	46
8.4. Διαφορές Icemax και Snomax	47
Κεφάλαιο 9: Μηχανές επιφανειακής επίστρωσης πάγου	48
9.1. Εισαγωγή	48
9.2. Τρόπος λειτουργίας.....	49
Κεφάλαιο 10: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	50
10.1.Υπερθέρμανση του πλανήτη	50
10.2.Κατανάλωση ενέργειας	51
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	59
ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	67

Κεφάλαιο 1: Νερό

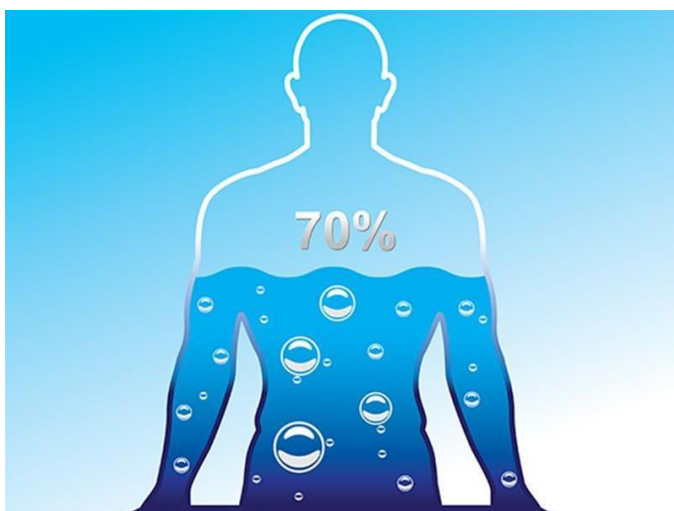
1.1. Εισαγωγή

Το νερό ή ύδωρ αποτελεί την πιο διαδεδομένη ανόργανη χημική ένωση στην φύση. Η ονομασία του προέρχεται από την βυζαντινή φράση «νεαρόν ύδωρ» που σημαίνει τρεχούμενο νερό. Πρόκειται για χημική ουσία που είναι άγευστη, άοσμη και φαινομενικά άχρωμη, ενώ στη περίπτωση που έχουμε αρκετά μέτρα βάθους μπορεί κανείς να αντιληφθεί το μπλε χρώμα.^{37,38}



Εικόνα 1. Νερό

Το νερό βρίσκεται παντού γύρω μας, αποτελώντας το 75% της επιφάνειας της Γης. Το 97% αυτού του νερού αποτελεί αλμυρό νερό και εντοπίζεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες, ενώ το 2% εντοπίζεται με τη μορφή πάγου στον βόρειο και νότιο πόλο, τους παγετώνες και τις χιονισμένες κορυφές οροσειρών. Το υπόλοιπο 1% είναι γλυκό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τους οργανισμούς στη φύση.^{39,40}



Εικόνα 2. Περιεκτικότητα νερού στο ανθρώπινο σώμα

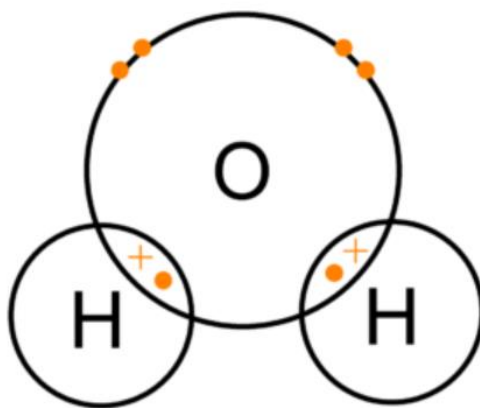
Το νερό αποτελεί γενικά απαραίτητη ουσία για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας. Το ανθρώπινο σώμα όπως και το σώμα των ζώων περιέχει 55-78% νερό και το χρησιμοποιεί για μια ποικιλία βασικών βιολογικών διεργασιών, όπως χημικών αντιδράσεων, μεταφορά θρεπτικών ουσιών, απομάκρυνση ουσιών, ενώ συμβάλει επίσης στη ρύθμιση και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος. Με παρόμοιο τρόπο το νερό επιτελεί τις λειτουργίες αυτές και σε άλλους οργανισμούς όπως τα

φυτά, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων αποτελείται επίσης από νερό. Συνεπώς εκτός από

το να εξυπηρετεί προσωπικές μας ανάγκες, έχει καθοριστικό ρόλο στη γεωργία, τη βιομηχανία, ενώ συχνά είναι συνυφασμένο με την παραγωγή ενέργειας.¹

1.2. Δομή του νερού

Ο μοριακός τύπος του νερού είναι H_2O . Ο Henry Cavendish μίλησε πρώτος, το 1781, για το ότι το νερό αποτελείται από υδρογόνο και οξυγόνο.² Ειδικότερα, το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου συνδεδεμένα μεταξύ τους με πολικούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Τα δύο άτομα υδρογόνου μοιράζονται δηλαδή ένα ζεύγος ηλεκτρονίων με το άτομο του οξυγόνου, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.^{38,41}



Εικόνα 3. Μοριακή δομή του νερού

1.3. Φάσεις νερού - Καταστάσεις

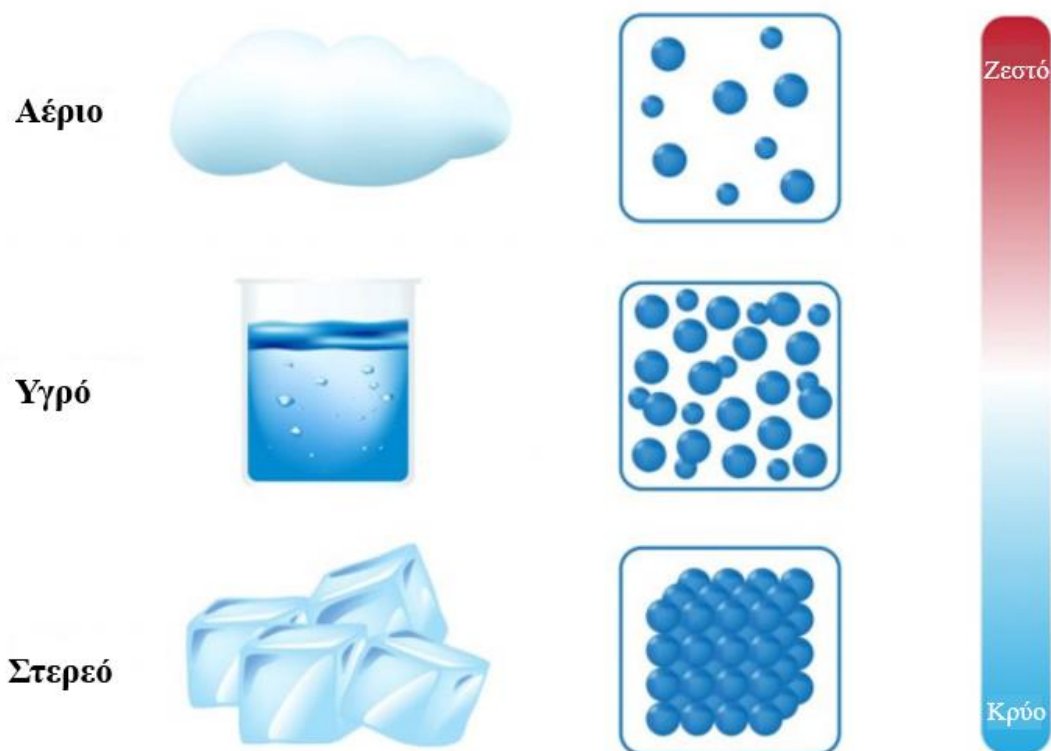
Το νερό είναι η μοναδική ουσία που συναντάται στη φύση σε τρεις καταστάσεις, στερεή, υγρή και αέρια και δύναται να μεταβεί από τη μία στην άλλη. Τα μόρια νερού παραμένουν αμετάβλητα, αλλά συμπεριφέρονται διαφορετικά καθώς αλλάζουν από την μία φάση στην άλλη. Μεταξύ των διαφόρων μορίων νερού σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου.

Στην υγρή κατάσταση οι δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται αλλά και διασπώνται διαρκώς καθώς τα μόρια ολισθαίνουν μεταξύ τους. Το σπάσιμο των δεσμών πηγάζει από την κινητική ενέργεια των μορίων νερού λόγω της θερμότητας που περιέχεται στο σύστημα. Το νερό υπάρχει στην υγρή μορφή σε θερμοκρασίες μεταξύ 25 – 100 °C.

Όταν το νερό βράζει, όταν δηλαδή η θερμοκρασία φτάσει τους 100 °C, η θερμότητα αυτή και συνεπώς η κινητική ενέργεια των μορίων αυξάνονται, με αποτέλεσμα να προκαλείται η πλήρης διάσπαση των δεσμών υδρογόνου γεγονός που επιτρέπει στα μόρια νερού να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα ως υδρατμοί (αέρια φάση). Στην κατάσταση αυτή τα

άτομα και τα μόρια είναι πολύ πιο διασκορπισμένα και κινούνται ελεύθερα με υψηλές ταχύτητες.

Αντίθετα, όταν το νερό ψύχεται, σε θερμοκρασίες μικρότερες των 0 °C, τα μόρια νερού σχηματίζουν μια κρυσταλλική δομή καθώς δεν υπάρχει η απαιτούμενη ενέργεια ώστε να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου, δομή η οποία καθιστά τον πάγο, την στερεά δηλαδή φάση του νερού, λιγότερο πυκνό από το υγρό.^{42,43}



Εικόνα 4. Καταστάσεις του νερού (στερεή, υγρή και αέρια φάση)

1.4. Ιδιότητες

Το νερό είναι εξαιρετικός διαλύτης για πληθώρα χημικών ενώσεων, διευκολύνοντας την μετακίνηση ιόντων και μορίων που απαιτούνται για τον μεταβολισμό και συνεπώς τη μεταφορά θρεπτικών συστατικών στους ζωντανούς οργανισμούς. Έχει ουδέτερο pH, το οποίο μπορεί να μεταβάλλεται όταν διαλύονται ουσίες σε αυτό. Μερικές εκ των πιο σημαντικών ιδιοτήτων του νερού παρουσιάζονται παρακάτω:

- Υψηλή πολικότητα

Το νερό όπως είδαμε αποτελείται από ένα άτομο οξυγόνου και δύο άτομα υδρογόνου. Η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ οξυγόνου και υδρογόνων προκαλεί στο οξυγόνο μερικό αρνητικό φορτίο και στο υδρογόνο θετικό. Αυτή η διαφορά φορτίου προκαλεί την πολικότητα, που οδηγεί ένα μόριο να έχει ηλεκτρική διπολική ροπή. Το θετικό φορτίο ενός υδρογόνου ενός μορίου νερού έλκει το αρνητικό φορτίο ενός οξυγόνου ενός άλλου μορίου νερού, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού. Η ικανότητα αυτή των μορίων νερού να προσκολλώνται μεταξύ τους ονομάζεται συνοχή-συνεκτικότητα (cohesion), ενώ η ικανότητα να προσκολλάται με μόρια άλλου είδους πρόσφυση (adhesion). Λόγω των δυνάμεων συνοχής το νερό παρουσιάζει μεγαλύτερη επιφανειακή τάση (71,99 mN/m στους 25°C), η τάση που έχει δηλαδή μια επιφάνεια ύδατος σε ηρεμία να συρρικνώνεται στη μικρότερη δυνατή επιφάνεια, σε σχέση με άλλα υγρά και σχηματίζει σταγόνες. Επιπλέον, για τη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου απαιτείται αρκετή ενέργεια, για το λόγο αυτό το νερό έχει και υψηλότερο σημείο τήξης (0°C) και βρασμού (100°C).

- Υψηλή ειδική θερμότητα και θερμότητα εξάτμισης

Εξαιτίας της παρουσίας των δεσμών υδρογόνου το νερό διαθέτει υψηλή ειδική θερμότητα (4184 J/kg·K) και υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (9,717 kcal/mol), η οποία βοηθά στον έλεγχο της θερμοκρασίας του σώματος. Το νερό (ιδρώτας) για παράδειγμα που εξατμίζεται απορροφά την υπερβολική θερμότητα του σώματος και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

- Πυκνότητα

Η πυκνότητα του νερού είναι 997 kg/m³. Το νερό καθώς ψύχεται (μέχρι τους 4°C) αυξάνει την πυκνότητα του, με την πυκνότητα του να είναι επομένως μέγιστη στους 4°C. Μετά γίνεται λιγότερο πυκνό. Για το λόγο αυτό άλλωστε επιπλέει και ο πάγος στο νερό.

- Υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα

Το νερό έχει ειδική θερμοχωρητικότητα 1 cal/(g °C). Απαιτείται πολύ ενέργεια-θερμότητα δηλαδή για την αύξηση της θερμοκρασίας μιας ορισμένης ποσότητας νερού κατά ένα 1°C/g.

- Ιξώδες και συμπιεστότητα

Τέλος το νερό παρουσιάζει υψηλό ιξώδες συγκριτικά με ουσίες που παρουσιάζουν παρόμοια δομή, ενώ διαθέτει εξαιρετικά χαμηλή συμπιεστότητα που μπορεί να θεωρηθεί ως ασυμπίεστο.^{41,42,44,45,46}

1.5. Κύκλος νερού ή υδρολογικός κύκλος



Εικόνα 5. Νερό

Ο κύκλος του νερού παρουσιάζει το που εντοπίζεται το νερό στη Γη και την κίνηση του νερού από το έδαφος στην ατμόσφαιρα και πάλι πίσω. Η ποσότητα του νερού μπορεί να ποικίλει από τόπο σε τόπο αλλά και ανάλογα την εποχή. Παρότι το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού στον πλανήτη βρίσκεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες, έχουμε τη διαρκή κυκλοφορία-ανακύκλωση του νερού που υπάρχει στη Γη μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας και λιθόσφαιρας. Συμβαίνει συνεχώς λόγω της ηλιακής ενέργειας. Η υδρολογία ορίζεται ως η επιστήμη που ασχολείται με τις φυσικές ιδιότητες, αλλά και την κίνηση του νερού στην ατμόσφαιρα, στην

επιφάνεια και τον εξωτερικό φλοιό της Γης. Οι σημαντικότερες εκ των διεργασιών που εμπλέκονται στον κύκλο του νερού είναι η εξάτμιση (evaporation), η εξάχνωση (sublimation), η συμπύκνωση (condensation), η κατακρήμνιση (precipitation), η διαπνοή (transpiration) και η απορροή (runoff). Το νερό που βρίσκεται σε υγρή κατάσταση εξατμίζεται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και μεταβαίνει στην αέρια κατάσταση, έχοντας έτσι τους υδρατμούς. Πρόκειται για υγρό νερό που έχει προέλθει κυρίως από ωκεανούς, ενώ όταν έχουμε άμεση μετατροπή από στερεή σε αέρια φάση, εξάτμιση δηλαδή που έχει προέλθει από χιόνι ή πάγο, γίνεται λόγος για εξάχνωση. Οι υδρατμοί στην συνέχεια συμπυκνώνονται στην υγρή κατάσταση λόγω της παρουσίας χαμηλών θερμοκρασιών, σχηματίζονται σταγονίδια τα οποία κατακρημνίζονται και πέφτουν στο έδαφος με τη μορφή βροχής ή χιονιού σε μια λεκάνη απορροής. Το υγρό νερό που πέφτει απορροφάται από το έδαφος και διοχετεύεται στα φυτά όπου περνάει στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής ή ρέει στο έδαφος (απορροή), όπου μέρος αυτού του νερού είτε εξατμίζεται είτε επιστρέφει στους ωκεανούς και τις θάλασσες.^{47,48,49,50}



Εικόνα 6. Κύκλος νερού ή Υδρολογικός κύκλος

Κεφάλαιο 2: Πάγος

2.1. Ορισμός

Ως πάγο ορίζουμε το νερό που έχει παγώσει σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 0°C και βρίσκεται στη στερεά κατάσταση. Πρόκειται για ένα διαφανές ανόργανο κρυσταλλικό στερεό, το οποίο θεωρείται ορυκτό.^{51,52}



Εικόνα 7. Κομμάτι καθαρού κρυσταλλικού πάγου

2.2. Ιστορική αναδρομή

Η ύπαρξη του πάγου χρονολογείται πολύ πριν την εμφάνιση του ανθρώπου. Ο παγετώνας Huronian, περίπου 2,4-2,1 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, αποτελεί την παλαιότερη εποχή των παγετώνων όπου ολόκληρος ο πλανήτης Γη είχε παγώσει πιθανώς από ηφαιστειακή δραστηριότητα που είχε προκληθεί. Αργότερα ακολούθησαν δύο γεωλογικές εποχές γνωστές ως κρυογονικές περιόδοι (Cryogenian periods), ο παγετώνας



Εικόνα 8. Παγόβουνο στον πορθμό Gerlache στην Ανταρκτική

Sturtian και ο Varanger περίπου 700 και 650 εκατομμύρια χρόνια πριν αντίστοιχα. Η εξάπλωση των φυτών που ακολούθησε την κρυογονική εποχή οδήγησε στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και την απελευθέρωση οξυγόνου και συνεπώς προκάλεσαν μια νέα εποχή των παγετώνων (Karoo ice age) πριν από 359 με 299 εκατομμύρια χρόνια. Οι πρώτοι παγετώνες

στις κορυφές των βουνών της Ανταρκτικής δημιουργήθηκαν 34 εκατομμύρια χρόνια πριν, ενώ έντονοι παγετώνες σχηματίστηκαν 3.2 εκατομμύρια χρόνια πριν. Τα στρώματα πάγου πέρασαν από πολλά στάδια ανάπτυξης, όσο έφεταν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και στάδια υποχώρησης με διαφορετικό ωστόσο ρυθμό από τη μία ήπειρο στην άλλη. Ειδικότερα, 130.000-114.000 χρόνια πριν οι πάγοι υποχώρησαν και έπειτα οδηγηθήκαμε στην γνωστή για τους ανθρώπους «εποχή των παγετώνων», 110.000-12.000 χρόνια πριν. Οι θερμοκρασίες άρχισαν να ανεβαίνουν και οι πάγοι έπειτα υποχώρησαν κατά τη τελευταία μεσοπαγετωνική περίοδο, περίοδο που διανύει η Γη τώρα, όπου η ύπαρξη παγετώνων έχει περιοριστεί σε εκτάσεις γύρω από τον βόριο και νότιο πόλο της Γης.^{3,53}

2.3. Μορφές πάγου

Ο πάγος δεν αποτελεί απλώς παγωμένο νερό. Συναντάται με διάφορους σχηματισμούς, αλλάζοντας ανάλογα με τις εποχές και τις περιβαλλοντικές συνθήκες αποτυπώνοντας έτσι και τις διάφορες μεταβολές του κλίματος στον πλανήτη. Δείγματα πάγου από παγετώνες έχουν διερευνηθεί για παράδειγμα από τους επιστήμονες για τη κατανόηση των διακυμάνσεων του κλίματος στο πέρασμα των ετών, προκειμένου να προβλεφθούν μελλοντικές κλιματικές αλλαγές. Οι παγετώνες αποτελούν μεγάλες μάζες γλυκού νερού που σχηματίζονται από συμπιεσμένο χιόνι, ενώ μπορούν να κινούνται



Εικόνα 9. Παγόβουνο

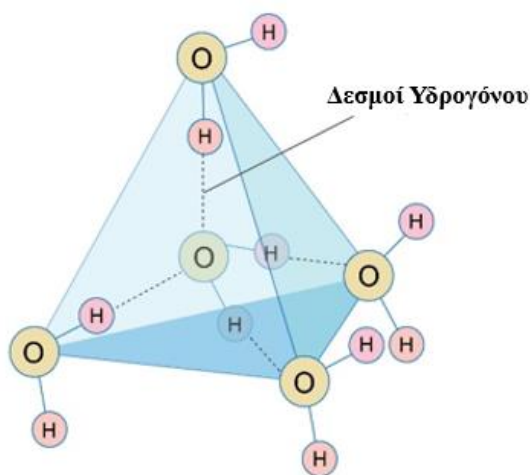
και να συνεχίζουν να αναπτύσσονται μέχρι να συναντήσουν τον ωκεανό όπου το θερμότερο αλμυρό νερό μπορεί να λιώσει τις άκρες τους. Πρόκειται ωστόσο για κατάλληλους περιβαλλοντικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή, εξαιτίας των ορατών αλλαγών που μπορούν να υποστούν σε σύντομο μάλιστα χρονικό διάστημα όπως λίγες μέρες. Τα παγόβουνα είναι πλωτές μάζες παγωμένου γλυκού νερού που έχουν προέλθει από το σπάσιμο παγετώνων και βρέθηκαν στον ωκεανό, ωστόσο η μάζα αυτή σύμφωνα με την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) πρέπει να έχει ύψος 4.9 m, πάχος 30-50 m και να καλύπτει επιφάνεια τουλάχιστον 500 m², διαφορετικά αναφερόμαστε σε μικρότερους σχηματισμούς

με διαφορετικές ονομασίες. Άλλοι σχηματισμοί πάγου, οι μεγαλύτεροι μάλιστα στον πλανήτη, είναι τα στρώματα πάγου, επιφάνειες πάγου που καλύπτουν την Γροιλανδία και την Ανταρκτική και συγκρατούν περισσότερο από το 99% του γλυκού νερού της Γης. Μικρότερης έκτασης στρώματα πάγου, γνωστά με την ονομασία καλύμματα πάγου, σχηματίζονται στις επίπεδες πολικές περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, όπως η Ισλανδία όπου η ανατολική της πλευρά καλύπτεται κυρίως από πάγο. Τέλος, στους πολικούς ωκεανούς συναντάται ο θαλάσσιος πάγος, παγωμένο αλμυρό νερό που επιπλέει στην επιφάνεια των ωκεανών και είναι υψίστης σημασίας για το κλίμα και την διατήρηση του οικοσυστήματος των πολικών περιοχών. Οι μάζες αυτές αλμυρού πάγου συντελούν στη μείωση της διάβρωσης των παγετώνων και δημιουργούν μια μονωτική επιφάνεια που εμποδίζει την εξάτμιση του νερού και την απώλεια θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Τους θερμότερους μήνες με το λιώσιμο του θαλάσσιου πάγου η επιφάνεια του ωκεανού εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία και τα θρεπτικά συστατικά απελευθερώνονται στον ωκεανό ώστε να βοηθήσουν στην ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν, βάση των θαλάσσιων τροφικών πλεγμάτων.^{4,54}

2.4. Δομή πάγου

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων νερού, στη στερεή κατάσταση, συμβάλλουν στη δημιουργία μιας εξαιρετικά διατεταγμένης αλλά χαλαρής δομής. Κάθε άτομο οξυγόνου περιβάλλεται από τέσσερα άτομα υδρογόνου, δύο εκ των οποίων είναι ομοιοπολικά συνδεδεμένα με αυτό, ενώ τα άλλα δύο συνδέονται με άτομα οξυγόνου με μη κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων.

Δομή κρυστάλλου πάγου

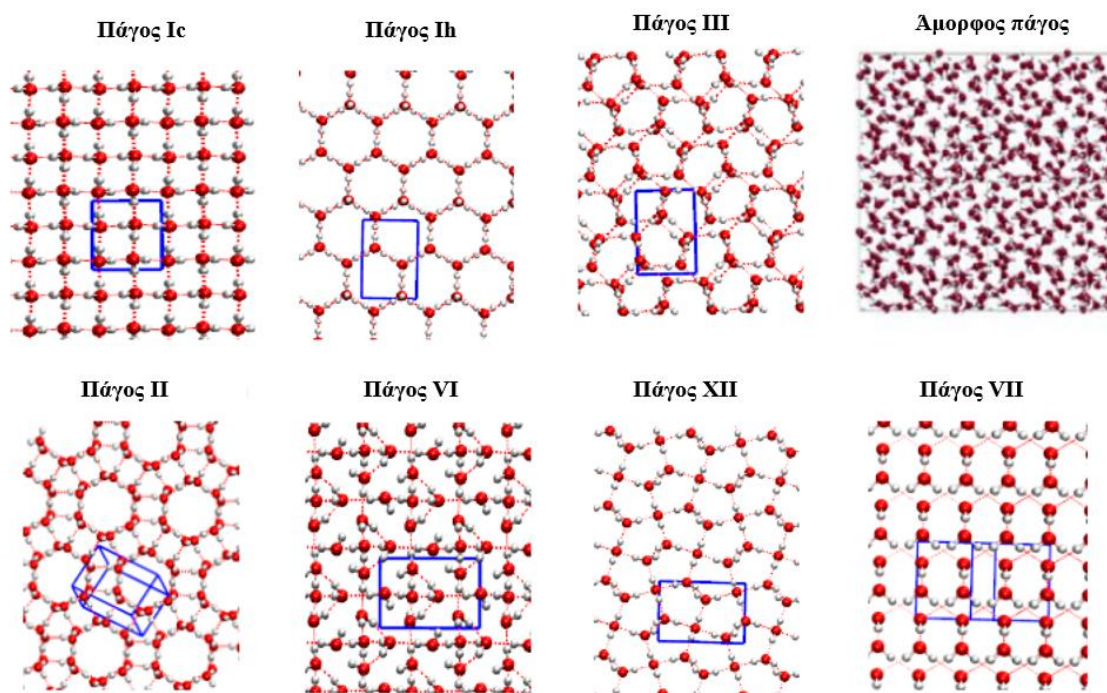


Εικόνα 10. Κρυσταλλική δομή του πάγου (παρουσιάζονται οι διαμοριακοί δεσμοί υδρογόνου και η τετραεδρική δομή)

Καθώς το νερό παγώνει μπορεί να λάβει πληθώρα κρυσταλλικών δομών, έχουν βρεθεί περίπου 18, ανάλογα με τις συνθήκες (εξωτερική πίεση και θερμοκρασία).^{55,56} Μάλιστα μπορεί να λάβει και δύο άμορφες καταστάσεις.⁵ Μερικές εκ των συνηθέστερων δομών που μπορεί να λάβει ο πάγος παρουσιάζονται στην εικόνα 11.

Σε κανονικές συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης η σταθερή φάση του πάγου ονομάζεται πάγος I (Ice I) και έχουμε δύο περιπτώσεις συμμετρίας, την εξαγωνική (I_h) όταν το νερό παγώνει σε πίεση περιβάλλοντος και την κυβική (I_c) που σχηματίζεται από την εναπόθεση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω από 140 K, και πρόκειται για κρυσταλλική δομή παρόμοια με αυτή του διαμαντιού.^{5,57}

Στο πλέγμα εξαγωνικής συμμετρίας (I_h), της συνήθους διαμόρφωσης του πάγου, κάθε άτομο οξυγόνου περιβάλλεται από άλλα τέσσερα, σε τετραεδρική διάταξη όπως υποδεικνύεται στην εικόνα 10. Κάθε άτομο οξυγόνου έχει κοντά του δύο υδρογόνα, ενώ υπάρχει μόνο ένα υδρογόνο μεταξύ δύο γειτονικών ατόμων οξυγόνου. Τέλος, κάθε μόριο νερού στο πλέγμα είναι προσανατολισμένο με τέτοιο τρόπο ώστε τα δύο υδρογόνα να δείχνουν προς δύο γειτονικά άτομα οξυγόνου.^{6,57}



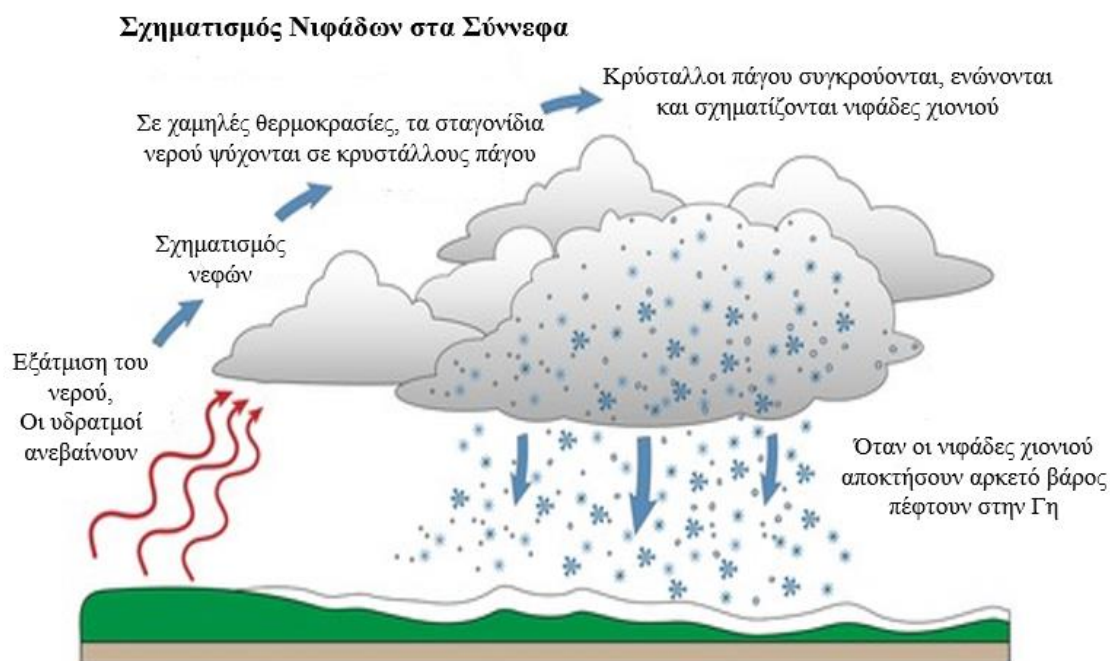
Εικόνα 11. Διαφορετικές δομές πάγου

2.5. Διαδικασία σχηματισμού

Όπως είδαμε το νερό που υπάρχει στην επιφάνεια της Γης μπορεί να εξατμιστεί λόγω της θερμότητας και της ύπαρξης της ηλιακής ακτινοβολίας, οδηγώντας στον σχηματισμό

υδρατμών. Οι υδρατμοί αυτοί ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα όπου λόγω της παρουσίας χαμηλών θερμοκρασιών συμπυκνώνονται, έχοντας έτσι τη δημιουργία σταγονιδίων νερού. Ένα σύννεφο αποτελείται από εκατοντάδες σταγόνες νερού, οι οποίες θα αρχίσουν να παγώνουν όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από -10°C λόγω της παρουσίας πυρήνων πάγου, χωρίς όμως να παγώσουν όλες ταυτόχρονα εφόσον έχουν διαφορετικούς πυρήνες. Ειδικότερα, μονοκρυσταλλοί πάγου ή αλλιώς νιφάδες χιονιού σχηματίζονται στα σύννεφα με διαφορετικούς τρόπους σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 0°C . Μπορούν να σχηματιστούν λόγω της παρουσίας ενός πυρήνα πάγου μέσα σε μια σταγόνα νερού, όπως για παράδειγμα ένα σωματίδιο σκόνης, που δρα ως καταλύτης για τη ψύξη της σταγόνας. Στη περίπτωση που η σταγόνα νερού παγώσει με αυτόν τον τρόπο σε θερμοκρασία μεταξύ 0°C και -36°C γίνεται λόγος για ετερογενή πυρήνωση. Αντίθετα, όταν το νερό παγώσει αυθόρμητα εξαιτίας των θερμοδυναμικών του ιδιοτήτων χωρίς την παρουσία πυρήνα πάγου, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των -36°C , καλείται ομογενής πυρήνωση.⁵⁸

Στη συνέχεια, οι κρύσταλλοι που δημιουργούνται μεγαλώνουν λόγω της ύπαρξης υδρατμών που συσσωρεύονται από την ατμόσφαιρα αλλά και των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στα σύννεφα. Όσο αναπτύσσεται ο κρύσταλλος πάγου δημιουργείται μια σύνθετη δομή, συνήθως ένα πρίσμα εξαγωνικής μορφολογίας, και καθώς ο κρύσταλλος μεγαλώνει η διάχυση περιορίζει την ανάπτυξη με αποτέλεσμα τον σχηματισμό διακλαδώσεων. Διαφορετικοί κρύσταλλοι πάγου συσσωρεύονται μεταξύ τους και όταν αποκτήσουν αρκετό βάρος πέφτουν στο έδαφος ως νιφάδες χιονιού. Καθώς οι νιφάδες πέφτουν μέσα από το σύννεφο εκτίθενται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και ποσοστά υγρασίας, με αποτέλεσμα να αλλάζει η ανάπτυξη τους ως συνάρτηση του χρόνου και συνεπώς να λαμβάνουν πληθώρα συμμετρικών σχημάτων.^{7,8}



Εικόνα 12. Διαδικασία σχηματισμού κρυστάλλων πάγου στα σύννεφα

2.6. Ιδιότητες πάγου

2.6.1. Φυσικοχημικές Ιδιότητες

Πρόκειται για τη στερεή κατάσταση του νερού. Σε θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C τα μόρια διατάσσονται σε εξαγωνική δομή, έχοντας έτσι μια στερεά ουσία με καθορισμένο σχήμα και σταθερό όγκο. Αν και συνήθως έχει λευκή, διαφανής απόχρωση, τυχόν ακαθαρσίες, άλατα, ρωγμές ή εγκλωβισμένες φυσαλίδες αέρος προσδίδουν στον πάγο ένα θολό, μη διαφανές χρώμα. Λόγω της παρουσίας των ακαθαρσιών του πάγου η πυκνότητα του, η μάζα δηλαδή πάγου ανά μονάδα όγκου, μπορεί να ποικίλει. Ωστόσο, ο πάγος έχει γενικά χαμηλότερη πυκνότητα σε σχέση με την υγρή μορφή του (νερό), για το λόγο αυτό και επιπλέει πάνω στο νερό. Συγκεκριμένα η πυκνότητα του πάγου είναι 0.9168 g/cm³ στους 0°C, ενώ η πυκνότητα του νερού είναι 0.9998 g/cm³ στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Ο καθαρός πάγος έχει θερμοκρασία τήξης τους 0°C. Είναι ευαίσθητος σε θερμοκρασιακές μεταβολές και μόλις η θερμοκρασία ξεπεράσει τη θερμοκρασία τήξης αρχίζει να λιώνει, απορροφώντας ενέργεια από το περιβάλλον του (λανθάνουσα θερμότητα) και αλλάζοντας την φάση του από στερεή σε υγρή. Επιπλέον, παρουσιάζει μικρότερο ειδικό βάρος από το νερό, καθώς ένα λίτρο νερού ζυγίζει 999.81 g στους 0°C, ενώ ίδιος όγκος πάγου ζυγίζει 916,7 g.^{9,10,56,59}

2.6.2. Μηχανικές Ιδιότητες

Ο πάγος παρουσιάζει πληθώρα μηχανικών ιδιοτήτων όταν υφίσταται μια εξωτερική δύναμη ή καταπόνηση. Μεταξύ των ιδιοτήτων αυτών πιο σημαντικές θεωρούνται η ελαστικότητα, η ανισοτροπία, η αντοχή στην θλίψη και τον εφελκυσμό, η ολκιμότητα και ο ερπυσμός.

Ελαστικότητα:

Ο πάγος ως στερεό με κρυσταλλική δομή παραμορφώνεται ελαστικά και επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα με την αφαίρεση της τάσης. Παρουσιάζει επομένως ελαστική συμπεριφορά. Ωστόσο, στην περίπτωση που εφαρμοστεί διατμητική τάση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα υφίσταται πρώτα ελαστική παραμόρφωση και έπειτα παραμορφώνεται πλαστικά έχοντας τη μόνιμη παραμόρφωση του.⁶⁰

Ανισοτροπία:

Οι κρύσταλλοι πάγου χαρακτηρίζονται από μέτρια ελαστική ανισοτροπία. Η ικανότητα δηλαδή να επανέρχονται στο αρχικό τους σχήμα μετά τη παραμόρφωση καθώς και οι μηχανικές ιδιότητες τους ποικίλουν ανάλογα με τη κατεύθυνση. Ο λόγος της τάσης

προς την παραμόρφωση, γνωστό ως μέτρο ελαστικότητας ή συντελεστής Young (E), λαμβάνει για παράδειγμα τιμές μεταξύ 8,6 GPa-12 GPa ανάλογα με τη κατεύθυνση.

Αντοχή:

Ο πάγος έχει καθορισμένη αντοχή, ικανότητα δηλαδή να αντέχει την πίεση ή τάση που εφαρμόζεται πριν υποστεί παραμόρφωση ή αστοχία. Η αντοχή του πάγου στον εφελκυσμό και την θλίψη καθορίζεται από πλήθος παραγόντων, όπως η θερμοκρασία, η τάση, ο ρυθμός παραμόρφωσης, η μικροδομή, αλλά και η πιθανή παρουσία ακαθαρσιών ή προ υπαρχόντων ρωγμών.



Εικόνα 13. Αντοχή πάγου σε καταπονήσεις που δέχεται από τις λεπίδες των παγοπέδινων και το βάρος των σκείτερς

Εκτός αυτών, στην περίπτωση που ο πάγος παραμορφώνεται με χαμηλούς ρυθμούς παραμόρφωσης εμφανίζει όλκιμη συμπεριφορά, παρουσιάζοντας μεγάλες παραμορφώσεις πριν την θραύση του. Τέλος δύναται να παρουσιάσει συμπεριφορά ερπυσμού όταν υποβάλλεται σε σταθερή τάση κάτω από το όριο διαρροής που εκδηλώνεται ως σταδιακή παραμόρφωση, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των παγετώνων όπου και επικρατούν συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας.^{11,9,60}

2.6.3. Οπτικές Ιδιότητες

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλοεπιδρά με τον πάγο. Η αλληλεπίδραση αυτή εξαρτάται από τις οπτικές σταθερές του πάγου συναρτήσει του μήκους κύματος, όπως για παράδειγμα ο δείκτης διάθλασης, που έχει τιμή 1.31 για τον καθαρό πάγο, και ο συντελεστής απορρόφησης. Γενικά ο δείκτης διάθλασης είναι σχεδόν σταθερός στις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που έχουμε χαμηλή απορρόφηση, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του πάγου στην περιοχή του ορατού. Ο πάγος χαρακτηρίζεται δηλαδή από χαμηλή ικανότητα απορρόφησης της ορατής και υπεριώδους ακτινοβολίας, ενώ

απορροφά μέτρια την υπέρυθη. Η χαμηλή αυτή τιμή του συντελεστή απορρόφησης στο ορατό και η αύξηση του στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου καθορίζουν τις φασματικές ιδιότητες των κόκκων πάγου. Τυχόν ακαθαρσίες, όπως για παράδειγμα εγκλωβισμένες φυσαλίδες αέρος που δύναται να εντοπιστούν στους πάγους επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή απορρόφησης. Επίσης, λόγω της εξαγωνικής κρυσταλλικής δομής του ο πάγος είναι διπλο-διαθλαστικός. Εμφανίζει υψηλό βαθμό ανάκλασης σε μήκη κύματος της ορατής ακτινοβολίας, ενώ χαμηλότερη ανάκλαση στο εγγύς υπέρυθρο. Όταν το φως πέφτει δηλαδή επάνω στην επιφάνεια του πάγου υπό γωνία αντανακλάται, επιτρέποντας τη λεγόμενη κατοπτρική ανάκλαση. Ο πάγος, όπως για παράδειγμα η επιφάνεια μιας παγωμένης λίμνης, λειτουργεί με τον τρόπο αυτό ως καθρέπτης, συμβάλλοντας στην λάμψη των σχηματισμών πάγου κάτω από το φως του Ήλιου και στη δημιουργία ενός οπτικά μαγευτικού τοπίου.^{12,13}



Εικόνα 14. Κατοπτρική ανάκλαση πάγου

2.6.4. Ηλεκτρικές Ιδιότητες

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του πάγου πηγάζουν από δομή του. Σε μοριακό επίπεδο ο πάγος αποτελείται από μόρια νερού διατεταγμένα σε εξαγωνικό πλέγμα, όπου κάθε μόριο νερού έχει μια μόνιμη διπολική ροπή εξαιτίας της ανομοιόμορφης κατανομής των ηλεκτρονίων. Η πολικότητα αυτή καθιστά τον πάγο διηλεκτρικό υλικό και μπορεί να πολωθεί παρουσία ηλεκτρικού πεδίου καθώς τα μόρια του νερού ευθυγραμμίζονται με την κατεύθυνση του πεδίου που εφαρμόζεται.

Ειδικότερα, οι ηλεκτρικές ιδιότητες του πάγου δημιουργούνται λόγω πρωτονιακών ατελειών (protonic defects) στο πλέγμα, όπως στη περίπτωση που ένας δεσμός υδρογόνου έχει δύο ή μηδέν άτομα υδρογόνου. Τα πρωτονιακά αυτά ελαττώματα κινούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να ακυρώσουν το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται. Η πεπερασμένη

αυτή κίνηση οδηγεί στην στη διηλεκτρική χαλάρωση του πάγου ή εξάρτηση από τη συχνότητα, την καθυστέρηση δηλαδή στην απόκριση κατά την πόλωση όταν έχουμε εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου. Σε χαμηλές συχνότητες έχουμε τον πλήρη διαχωρισμό των πρωτονιακών ατελειών και συνεπώς τη μέγιστη τιμή διηλεκτρικής σταθεράς, ενώ σε υψηλές συχνότητες οι ατέλειες δεν μπορούν να διαχωριστούν έχοντας έτσι τη χαμηλότερη τιμή διηλεκτρικής σταθεράς. Η συχνότητα διηλεκτρικής χαλάρωσης εξαρτάται ωστόσο και από τη θερμοκρασία.

Μερικές, λοιπόν, εκ των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του πάγου αποτελούν η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η διηλεκτρική διαπερατότητα, η πιεζοηλεκτρικότητα, η ηλεκτροσυστολή, φωτοηλεκτρικά φαινόμενα και άλλα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του καθαρού πάγου είναι αρκετά χαμηλή ($<10^{-9}$ S/m), η τιμή της οποίας μπορεί να αυξάνεται με την παρουσία ακαθαρσιών στον πάγο ή αλλαγή της θερμοκρασίας αφού οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν την κινητικότητα των ιόντων. Πρόκειται άρα για κακό αγωγό-μονωτή της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Λόγω της ιδιότητας του αυτής ένα ιγκλού μπορεί να λειτουργήσει ως μονωτής που περιορίζει τη μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον ακόμη και όταν η θερμοκρασία είναι εξαιρετικά χαμηλή.

Ο πάγος παρουσιάζει επίσης πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες, εξαιτίας των οποίων δύναται να δημιουργήσει ηλεκτρικό φορτίο ως απόκριση σε μια πιθανή καταπόνηση ή παραμόρφωση. Όταν παραμορφώνεται το κρυσταλλικό πλέγμα δημιουργείται ένα ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ θετικών και αρνητικών φορτίων.^{14,15,16}

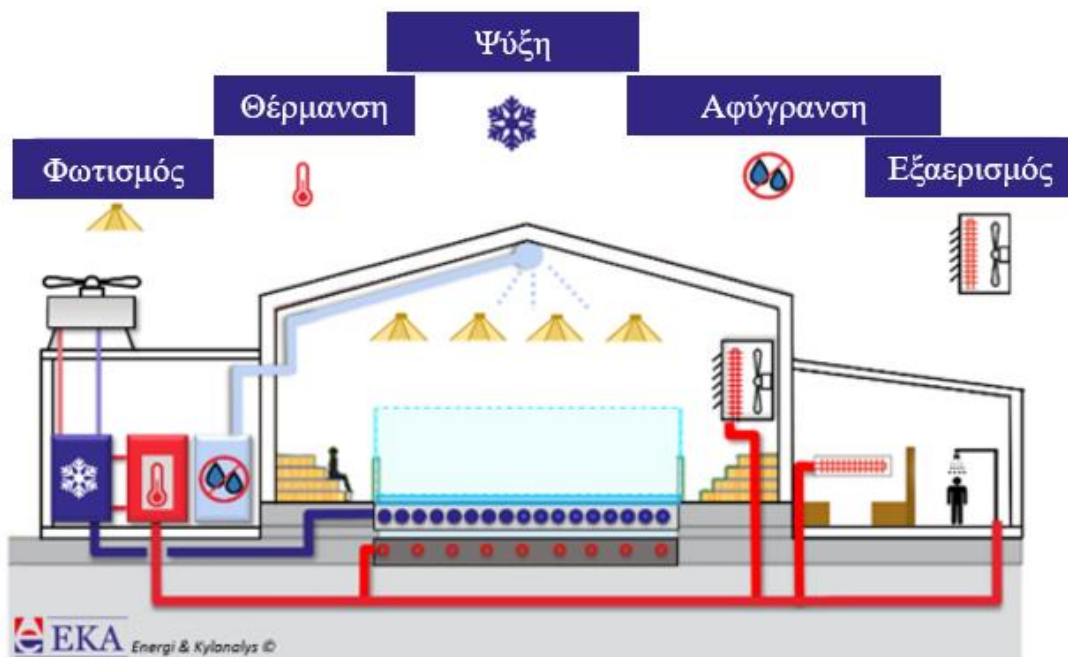
Κεφάλαιο 3: Τεχνητός πάγος

3.1. Ορισμός

Οι περισσότεροι άνθρωποι, αναφερόμενοι στον πάγο, σκέφτονται το νερό που έχει παγώσει φυσικά όταν η θερμοκρασία παραμένει εξαιρετικά χαμηλή, όπως το πάγωμα μιας λίμνης, ενός ποταμού ή ο πάγος ενός παγόβουνου. Η ανάπτυξη, ωστόσο, της τεχνολογίας οδήγησε στην ανακάλυψη και χρήση διαφορετικών τύπων πάγου αναλόγως με τη δραστηριότητα. Έτσι, ο τεχνητός πάγος αναφέρεται στο νερό που έχει παγώσει μέσω ανθρώπινης παρέμβασης με τη χρήση μηχανών, έχοντας με τον τρόπο αυτό μια παγωμένη επιφάνεια τελείως διαφορετική της φυσικής επιφάνειας του πάγου. Η χρήση μηχανών επέτρεψε την παραγωγή πάγου με ελεγχόμενο τρόπο σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα, όπως τα παγοδρόμια. Η επιφάνεια αυτή, ο τεχνητός πάγος όπως ονομάστηκε, χρησιμοποιήθηκε στα περισσότερα παγοδρόμια και διατηρήθηκε παγωμένη μέσω συστημάτων ψύξης.⁶¹ Συχνά συγχέεται με τον συνθετικό πάγο, μια μορφή πάγου που χρησιμοποιήθηκε για να αντικαταστήσει τον φυσικό πάγο και είναι κατασκευασμένο από πλαστικό υψηλής πυκνότητας (πολυαιθυλένιο).⁶²

3.2. Διαδικασία σχηματισμού

Για την παραγωγή τεχνητού πάγου και τον σχηματισμό της παγωμένης επιφάνειας των παγοδρομίων, υπό της καθοδήγηση της Αμερικανικής εταιρείας μηχανικών θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού ASHRAE, χρησιμοποιείται καθαρό νερό με ελεγχόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (για παράδειγμα 0.1-10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 25°C). Κατά τη προετοιμασία είναι απαραίτητο να ελεγχθούν οι συνθήκες που επικρατούν, όπως η θερμοκρασία δωματίου, η θερμοκρασία του πάγου, η ποιότητα του νερού και η υγρασία που επικρατεί. Οι εσωτερικές θερμοκρασίες που επικρατούν ποικίλουν, συνήθως 5°C-10°C, ενώ τα επίπεδα υγρασίας κυμαίνονται μεταξύ 2,5-6 g H₂O/kg αέρα. Πρέπει να δοθεί δηλαδή βάση σε πέντε βασικά συστήματα, στο σύστημα ψύξης, στην θέρμανση του χώρου και του νερού, στον εξαερισμό, τον φωτισμό και την αφύγρανση. Στην συνέχεια ακολουθεί ο ψεκασμός καθαρού νερού θερμοκρασίας 20°C, στρώση-στρώση, απευθείας στην επιφάνεια ψύξης (πλάκα σκυροδέματος) έως ότου επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος του πάγου. Ο τεχνητός πάγος σχηματίζεται λοιπόν σταδιακά από κάτω προς τα πάνω, με το σύστημα ψύξης να βρίσκεται τοποθετημένο κάτω από το στρώμα του πάγου. Η πρώτη στρώση παγώνει σχεδόν αμέσως, ενώ χρειάζεται περίπου μισή ώρα με 7 ώρες για να παγώσει το νερό και να επιτευχθεί τεχνητός πάγος διαφορετικού πάχους, με τη διαδικασία αυτή να διαρκεί έως και τέσσερις μέρες σε ορισμένες περιπτώσεις.^{17,18} Στο στάδιο αυτό, κατά το ψεκασμό των στρώσεων, σχεδιάζονται και βάφονται τυχόν γραμμές και λογότυπα που χρειάζονται σε ορισμένα αθλήματα, όπως για παράδειγμα στο χόκεϊ επί πάγου.⁶³



Εικόνα 15. Ενεργειακά συστήματα σε ένα τυπικό παγοδρόμιο

3.3. Ιδιότητες τεχνητού πάγου και διαφορές με τον φυσικό πάγο

Ο τεχνητός πάγος έχει υψηλότερη καθαρότητα από τον φυσικό πάγο, καθώς παράγεται σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα έχοντας έτσι μείωση των ακαθαρσιών. Οι ακαθαρσίες αυτές και οι τυχόν φυσαλίδες αέρος προσδίδουν στον φυσικό πάγο το θολό, μη διαφανές χρώμα, ενώ μπορούν να μειώσουν ελαφρώς το σημείο τήξης του πάγου, με αποτέλεσμα το σημείο τήξης του τεχνητού πάγου να είναι πιο κοντά στη θεωρητική του τιμή (0°C) κάνοντας τον πιο ανθεκτικό στη τήξη-λιώσιμο. Η ποιότητα του φυσικού πάγου διαφέρει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, ενώ ο τεχνητός πάγος προσφέρει μια λεία και επίπεδη επιφάνεια για πατινάζ ή άλλες αθλητικές δραστηριότητες.

Η δομή του τεχνητού πάγου είναι διαφορετική από τον πάγο μιας λίμνης ή ενός παγόβουνου, συνεπώς αναμένουμε διαφορετική μηχανική συμπεριφορά. Αναφέρεται ότι ο πάγος στη φύση έχει παρόμοια συμπεριφορά με το σκυρόδεμα ή έναν βράχο. Έχει εξαιρετική δηλαδή αντοχή στην θλίψη αλλά χαμηλή αντοχή στον εφελκυσμό, που εξαρτώνται από τις συνθήκες θερμοκρασίας και τον ρυθμό παραμόρφωσης. Ελέγχοντας τις παραμέτρους αυτές σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον όπως το παγοδρόμιο καταφέρνουμε να βελτιστοποιήσουμε λοιπόν τις μηχανικές ιδιότητες όπως η αντοχή στην θλίψη ή τον εφελκυσμό. Η πυκνότητα του παραγόμενου πάγου εξαρτάται επίσης από τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη παραγωγή του όπως η θερμοκρασία και η πίεση, με αποτέλεσμα ο τεχνητός πάγος να είναι ισχυρότερος και πιο ανθεκτικός από τον φυσικό πάγο. Στην περίπτωση του τεχνητού πάγου δύναται να ελέγξουμε και την ηλεκτρική αγωγιμότητα του

πάγου, καθώς και να μειώσουμε πιθανές ρωγμές και το φαινόμενο αστοχίας εφόσον αλλάζοντας το πάχος του πάγου ή ενός πιθανού μονωτικού στρώματος που μπορεί να τοποθετηθεί κάτω από την παγωμένη επιφάνεια του παγοδρομίου αλλάζει και το φορτίο ρωγμής.¹⁷ Εκτός αυτών, έχουν γίνει μελέτες για να προσδιοριστεί η σκληρότητα της επιφάνειας του πάγου σε παγοδρόμια και αθλητικές εγκαταστάσεις. Σε μια μελέτη του πανεπιστημίου του Κάλγκαρι στον Καναδά (University of Calgary) μετρήθηκε η σκληρότητα στην επιφάνεια μέσω ρίψης χαλύβδινων σφαιρών από διαφορετικά ύψη και μέτρησης της διαμέτρου της εσοχής των κρατήρων που σχηματίστηκαν. Η σκληρότητα βρέθηκε $(-.6 \pm .4)T + 14.7 \pm 2.1$ MPa, η τιμή της οποίας μπορεί να ποικίλει με τη θερμοκρασία του πάγου.¹⁹

Κεφάλαιο 4: Παγοδρόμια

4.1. Εισαγωγή

Οι άνθρωποι ανακάλυψαν από τον 5^ο ήδη αιώνα την ολίσθηση επάνω στον πάγο. Οι πρώτες ενδείξεις για πατινάζ επάνω στον πάγο εντοπίζονται στην νότια Φινλανδία, όπου η παγοδρομία χρησιμοποιήθηκε πιθανώς ως τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια μακρινών ταξιδιών. Το γεγονός ότι μπορούσαν να κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα έκανε το πατινάζ ακόμη πιο διασκεδαστικό από το περπάτημα. Για αρκετό καιρό χρησιμοποιούσαν οστά ζώων δεμένα στις μπότες ως παγοπέδιλα επάνω σε φυσικά παγοδρόμια, σε φυσικά παγωμένο νερό. Αρχαία παγοπέδιλα φτιαγμένα από οστά ζώων, ηλικίας τουλάχιστον 3000 ετών, ανακαλύφθηκαν από Κινέζους αρχαιολόγους στα ερείπια Gaotai στην βορειοδυτική Κίνα.⁶⁴ Στην Ολλανδία, το 1400 περίπου, τα οστά αυτά αντικαταστάθηκαν από λεπίδες χάλυβα, οι οποίες επέτρεψαν στους ανθρώπους να «κόβουν» τον πάγο και όχι απλά να ολισθαίνουν επάνω σε αυτόν. Κατά το μεσαίωνα ξεκίνησε λοιπόν η ανάπτυξη του σύγχρονου παγοπέδilu και η διάδοση του πατινάζ ως ψυχαγωγική δραστηριότητα. Σήμερα, οι περισσότεροι σκέιτερ προτιμούν τον φυσικό πάγο, κάνοντας μεγαλύτερες αποστάσεις πάνω σε παγωμένες λίμνες και κανάλια, απολαμβάνοντας την ομορφιά της φύσης. Οι χειμώνες ωστόσο και οι διαρκώς μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες δεν το επιτρέπουν συχνά, για το λόγο αυτό και αναπτύχθηκαν τεχνητά παγοδρόμια με φυσικό πάγο, που παράγεται και συντηρείται όμως με τεχνητό τρόπο.²⁰

4.2. Φυσικά παγοδρόμια

Ο άνθρωπος σήμερα έχει τη δυνατότητα να κάνει πατινάζ σε λίμνες, ποτάμια και κανάλια που έχουν παγώσει φυσικά όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 0°C και έτσι να απολαύσει την ελευθερία του «άγριου πατινάζ» όπως το αποκαλούν οι λάτρες.



Εικόνα 16. Φυσικό παγοδρόμιο στο Εθνικό Πάρκο και το Καταφύγιο Katmai

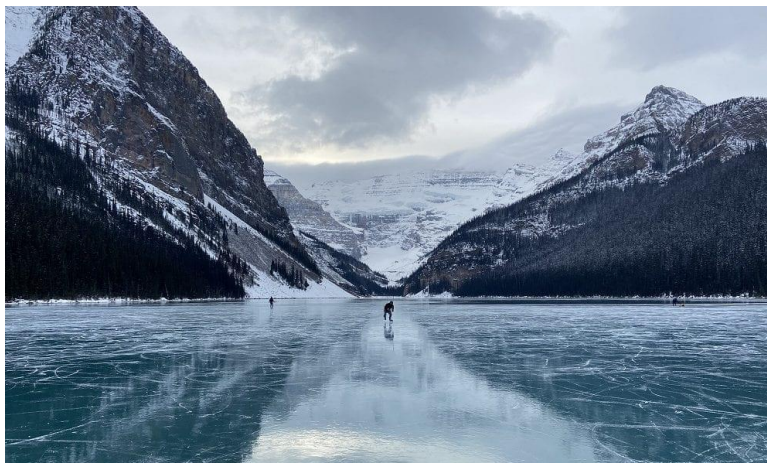
Τους παρέχεται η δυνατότητα να διανύσουν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις σε εξωτερικούς χώρους σε αντίθεση με ένα τεχνητό παγοδρόμιο, με το μήκος της διαδρομής να εξαρτάται βέβαια από τις τρέχουσες συνθήκες πάγου. Η επαφή με τη φύση, το περιβάλλον και ο καθαρός αέρας δημιουργούν μια πιο αναζωογονητική και γραφική ατμόσφαιρα, κάνοντας τη παγοδρομία στον υπαίθριο χώρο πιο ελκυστική δραστηριότητα. Οι σκέιτερς ολισθαίνουν πάνω σε τεράστιες παγωμένες εκτάσεις πάγου που περιβάλλονται συνήθως από μαγευτικά χειμωνιάτικα τοπία που τα τεχνητά παγοδρόμια δεν μπορούν να αναπαράγουν. Επιπλέον, δεν υπάρχει η ανάγκη συντήρησης της επιφάνειας του πάγου, εκτός από την ελάχιστη απαίτηση επικράτησης σταθερών και χαμηλών θερμοκρασιακών περιβαλλοντικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό τα φυσικά αυτά παγοδρόμια χρησιμοποιούνται μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες όπου η επιφάνεια παγώνει, διατηρείται φυσικά και το πάχος του πάγου είναι ικανό να υποστηρίξει το ανθρώπινο βάρος.

Το κανάλι Rideau (Rideau Canal Skateway) στην Οττάβα του Καναδά αποτελεί το δημοφιλέστερο και μεγαλύτερο φυσικά παγωμένο παγοδρόμιο στον κόσμο, μήκους 7.8 km, ενώ συγκαταλέγεται στα μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς της UNESCO.

Το Arrowhead Provincial Park στο Οντάριο του Καναδά είναι ένα μονοπάτι μήκους 1.3 km και διασχίζει τα πυκνά δάση. Η λίμνη Louise βρίσκεται στον Καναδά, στο εθνικό πάρκο Banff στην Αλμπέρτα, πήρε την ονομασία της από την πριγκίπισσα Louise Caroline Alberta και όταν παγώνει προσφέρει την μαγευτική εμπειρία για πατινάζ μεταξύ των χιονισμένων βουνών των Βραχώδη Ορών. Η λίμνη Joux μεταξύ των ορών Jura στην Ελβετία, αλλά και η λίμνη Vänern στη Σουηδία, τρίτη μεγαλύτερη λίμνη της Ευρώπης, προσφέρουν μια εκτεταμένη επιφάνεια πάγου ιδανική για τα χειμερινά σπορ.

Μερικά ακόμη παραδείγματα φυσικών παγοδρόμων αποτελούν η λίμνη Keystone και λίμνη Evergreen στο Κολοράντο, το μονοπάτι του ποταμού Nestaweya στο Γουίνιπεγκ του Καναδά, η λίμνη Canyon Ferry στην Μοντάνα, η λίμνη Bogstadvannet στο Όσλο της Νορβηγίας, η λίμνη Shichahai στο Πεκίνο, η λίμνη Weissensee στο Techendorf της Αυστρίας, η λιμνοθάλασσα Westchester στο Anchorage της Αλάσκας κα.

Στα περισσότερα από τα παραπάνω φυσικά αυτά παγοδρόμια ο σκιέρ δύναται να απολαύσει εκτός από πατινάζ, καλλιτεχνικό πατινάζ, χόκεϊ επί πάγου και άλλες χειμερινές δραστηριότητες.^{65,66}



Εικόνα 17. Παγωμένη λίμνη Louise στον Καναδά

4.3. Τεχνητά παγοδρόμια

Η διαρκώς αυξανόμενη δημοτικότητα των παγοδρομιών, από τον 18^ο αιώνα και μετά, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή οδήγησαν στην κατασκευή τεχνητών παγοδρομιών. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες στη σύγχρονη εποχή αργούν να έρθουν και η απόψυξη-λιώσιμο των πάγων έρχεται νωρίτερα, με αποτέλεσμα ο αριθμός των ημερών όπου έχουμε ποιοτικό πάγο και ευνοϊκές θερμοκρασιακές συνθήκες για τη διατήρηση του να έχουν μειωθεί αισθητά. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην δημιουργία τεχνητών παγοδρομιών, εγκαταστάσεων όπου ουσιαστικά έχουμε νερό που έχει παγώσει μηχανικά. Πρόκειται άρα για φυσικό πάγο που έχει παγώσει με ανθρώπινη παρέμβαση, μέσω συστημάτων ψύξης. Το γεγονός αυτό επέτρεψε τη δημιουργία παγοδρομιών σε όλο τον κόσμο, προσφέροντας με τον τρόπο αυτό την ευκαιρία για χειμερινά σπορ στον πάγο, ανεξαρτήτως εποχής, περιοχής, κλίματος και θερμοκρασιών που επικρατούν. Η δημιουργία ωστόσο και η συντήρηση τους απαιτεί τον προσεκτικό σχεδιασμό και την κατάλληλη τεχνολογία για να διασφαλιστεί ότι ο πάγος θα παραμένει συμπαγής και λείος. Με τη χρήση συστημάτων ελέγχου για παράδειγμα κατά τη λειτουργία τους μπορεί να προσδιοριστεί η θερμοκρασία του πάγου και να προσαρμοστεί ανά πάσα χρονική στιγμή στις βέλτιστες συνθήκες.

Το 1876 ο Βρετανός John Gamgee άντλησε γλυκερίνη μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων από χαλκό. Η γλυκερίνη ψύχθηκε από μια μηχανή του Raoul Pictet, ενώ η αντλία και ο συμπιεστής κινούνταν με ατμό. Αυτό το σύστημα, ουσιαστικά πρόκειται για ένα σύστημα ψύξης, αποτέλεσε το πρώτο τεχνητό παγοδρόμιο στον κόσμο, διαστάσεων 12 × 7 m και ονομάστηκε Glaciarium.²⁰ Το 1911 κατασκευάστηκε από τους Frank και Lester Patrick το πρώτο τεχνητό παγοδρόμιο στον Καναδά, στο Βανκούβερ της Βρετανικής Κολομβίας και μέχρι το 1920 υπήρχαν τέσσερα τεχνητά παγοδρόμια στον Καναδά.⁶⁷



Εικόνα 18. Τεχνητό παγοδρόμιο κλειστού τύπου

Με το πέρασμα των χρόνων δημιουργήθηκαν τεχνητά παγοδρόμια σε εξωτερικούς αλλά και σε εσωτερικούς, ελεγχόμενου περιβάλλοντος χώρους. Έχουμε δηλαδή δύο κατηγορίες τεχνητών παγοδρομίων, τα ανοικτού και κλειστού τύπου παγοδρόμια αντίστοιχα.

Τα **κλειστού τύπου παγοδρόμια** στεγάζονται συνήθως σε μεγάλες αρένες ή εγκαταστάσεις αναψυχής. Πρόκειται για ένα ελεγχόμενο περιβάλλον που μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ανεξαρτήτως των εξωτερικών καιρικών συνθηκών που επικρατούν. Για τη διατήρηση του πάγου στην κατάλληλη θερμοκρασία και την αποφυγή τήξης του είναι αναγκαία η χρήση προηγμένων συστημάτων ψύξης, ενώ η χρήση αφυγραντήρων μειώνει τα επίπεδα υγρασίας του αέρα, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη διατήρηση των βέλτιστων συνθηκών πάγου.

Τα **ανοικτού τύπου ή υπαίθρια παγοδρόμια** αντίθετα είναι συνήθως προσωρινές εγκαταστάσεις και δημιουργούνται κυρίως σε δημόσιους χώρους όπως πλατείες, πάρκα ή φυσικά παγωμένα υδάτινα σώματα τον χειμώνα. Η ομαλή επιφάνεια για πατινάζ δημιουργείται έπειτα από ψύξη του νερού σε στρώσεις επάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια και χρήζει τακτικών συντηρήσεων για την αντιμετώπιση πιθανόν ρωγμών που μπορεί να έχουν προέλθει από τις καιρικές διακυμάνσεις. Ωστόσο τα υπαίθρια παγοδρόμια είναι πιο ελκυστικά, καθώς προσφέρουν την δυνατότητα να εξασκήσεις το πατινάζ και τις χειμερινές δραστηριότητες κοντά στο φυσικό περιβάλλον και τον καθαρό αέρα σε ένα πιο γραφικό χειμωνιάτικο τοπίο.²⁰



Εικόνα 19. Τεχνητό παγοδρόμιο ανοικτού τύπου

4.4. Παγοδρόμια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, γνωστή για το μεσογειακό της κλίμα και τους ήπιους χειμώνες, αποτελεί μια εκ των χωρών όπου δεν συναντά κανείς φυσικά παγοδρόμια. Οι χειμώνες δεν είναι αρκετά κρύοι και οι θερμοκρασίες αρκετά χαμηλές ώστε να μπορέσουν να παγώσουν και να διατηρήσουν παγωμένα τα υδάτινα σώματα όπως μια λίμνη ή ένα κανάλι. Ακόμη και στις ορεινές περιοχές όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και έχουμε συνήθως έντονες χιονοπτώσεις, οι συνθήκες δεν ευνοούν την δημιουργία σταθερών παγοδρομίων. Πιθανώς να συναντήσει κανείς προσωρινά παγωμένα υδάτινα σώματα, όμως το πάχος του στρώματος πάγου δεν είναι ικανό να υποστηρίξει το ανθρώπινο βάρος και να χρησιμεύσει έτσι ως παγοδρόμιο για ψυχαγωγικές ή αθλητικές δραστηριότητες.

Το διαρκώς ωστόσο αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα χειμερινά σπορ και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων οδήγησε στην δημιουργία και την εξέλιξη τεχνητών παγοδρομίων στην Ελλάδα.

Το πιο γνωστό τεχνητό παγοδρόμιο δημιουργήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στην Αθήνα, γνωστό ως Athens Heart Ice Arena. Πρόκειται για κλειστού τύπου παγοδρόμιο, επιφάνειας 1000 τ.μ. Αποτελούσε μέχρι και πρόσφατα το μεγαλύτερο μόνιμο παγοδρόμιο στην Ελλάδα, ωστόσο σταμάτησε οριστικά τη λειτουργία του το 2023.^{68,69}



Εικόνα 20. Παγοδρόμιο Athens Heart Ice Arena

Το παγοδρόμιο του Μοσχάτου ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1980 από τον Ιωάννη Καπετανίδη, ήταν το πρώτο τεχνητό παγοδρόμιο και λειτούργησε για μια περίπου εικοσαετία. Η παγοπίστα ήταν 1200 τ.μ. και τα πρώτα χρόνια «στρωνόταν» με τα χέρια και τη χρήση μεταλλικών φτυαριών, ενώ αργότερα εξοπλίστηκε με μηχανήμα λείανσης. Έμεινε γνωστό ως το μεγαλύτερο και αρτιότερο παγοδρόμιο που έχει κατασκευαστεί στην Ελλάδα μέχρι σήμερα.⁷⁰

Το 2007, στον πολυχώρο Cora Corana, δημιουργήθηκε το μεγαλύτερο ανοιχτού τύπου παγοδρόμιο της Ελλάδας επιφάνειας 1200 τ.μ. που λειτουργεί κατά τους χειμερινούς μήνες.



Εικόνα 21. Παγοδρόμιο Cora Corana

Πλήθος παγοδρομίων, μονίμων ή φορητών εγκαταστάσεων, κατασκευάστηκαν και λειτούργησαν κατά καιρούς και σε άλλα μέρη της Αθήνας ή και σε μεγάλες πόλεις όπως η Θεσσαλονίκη, με τα περισσότερα από αυτά να λειτουργούν κυρίως εποχιακά τους πιο κρύους μήνες. Μεταξύ αυτών το παγοδρόμιο στο Μέγαρο Μουσικής (Athens Concert Hall Ice Arena), στο Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, στη Μαρία Φλοίσβου, στο Νέο Ψυχικό, το παγοδρόμιο Iceberg Center στην Θεσσαλονίκη, το Veso Mare στην Πάτρα κα. Φορητά παγοδρόμια, διαφορετικών διαστάσεων, τοποθετούνται πλέον σε πλατείες, εμπορικά κέντρα και άλλους δημόσιους χώρους, παρέχοντας την δυνατότητα σε άτομα όλων των ηλικιών να απολαύσουν την ευκαιρία άσκησης των αθλημάτων στον πάγο.^{68,69}



Εικόνα 22. Παγοδρόμιο Μαρίνα Φλοίσβου



Εικόνα 23. Χάρτης με ορισμένα εκ των πιο γνωστών παγοδρομίων στην Ελλάδα

Κεφάλαιο 5: Πλεονεκτήματα πάγου και παγοδρομίων

5.1. Πάγος ως οικοσύστημα – Βιοποικιλότητα

Οι χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούν στις περιοχές του πλανήτη μας που καλύπτονται με πάγο σε συνάρτηση με την υψηλή ακτινοβολία UV, τη χαμηλή διαθεσιμότητα νερού σε υγρή μορφή και των χαμηλών θρεπτικών ουσιών, μας οδήγησαν στο χαρακτηρισμό του περιβάλλοντος των περιοχών αυτών ως ακραίου και πτωχού από μικροβιολογική άποψη. Αυτό όμως μπορεί να μην ισχύει καθώς στις αβιοτικές συνθήκες των περιοχών που καλύπτονται με πάγο ή χιόνι οι μικροοργανισμοί αλληλεπιδρούν - προσαρμόζονται (αναπτύσσοντας μηχανισμούς γενετικής αντίστασης στις πιέσεις που δέχονται εξαιτίας του περιβάλλοντός τους). Η αφθονία και η ποικιλία ταξινόμησης των οργανισμών αυτών είναι μεγάλη και οι αλληλεπιδράσεις τους είναι πολύπλοκες. Πιθανότατα έχουμε υποτιμήσει το ρόλο του χιονιού και του πάγου στους παγκόσμιους βιογεωχημικούς κύκλους καθώς αποτελούν αληθινά οικοσυστήματα.

Οι σκληρές συνθήκες λοιπόν που αντιμετωπίζουν οι οργανισμοί στο χιόνι και στον πάγο θεωρούνται περιοριστικές για την ανάπτυξη της ζωής. Όμως οι μικροοργανισμοί χάρη στην ικανότητά προσαρμογής τους σε ένα μεγάλο αριθμό οικοτόπων καταφέρνουν και επιβιώνουν και στα πιο αφιλόξενα περιβάλλοντα. Πολλές έρευνες σήμερα επικεντρώνονται στη μελέτη της κρυόσφαιρας (περιοχή του πλανήτη μας που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία της επιφάνειας της Γης όπως το χιόνι, ο θαλάσσιος πάγος, η παγωμένη επιφάνεια ποταμών και λιμνών, το παγωμένο έδαφος, οι παγετώνες κ.α.) και στοχεύουν στην ανακάλυψη ενζύμων που παρουσιάζουν βιοτεχνολογικό ενδιαφέρον.

Στις περιοχές που καλύπτονται με πάγο δεν υπάρχει βλάστηση και κύριοι κάτοικοι των περιοχών αυτών είναι συνήθως πολικές αρκούδες, πιγκουίνοι, φώκιες και θαλασσοπούλια που τρέφονται κυρίως με ψάρια. Η μικροβιακή αφθονία και ποικιλότητα που συναντάται στον πάγο και το χιόνι είναι αξιοσημείωτη καθώς το χιόνι το χειμώνα καλύπτει συνήθως έως και το 12% της επιφάνειας της γης ενώ το 10% της επιφάνειας της γης καλύπτεται από πάγο (παγετώνες – παγόβουνα κ.α.) αποθηκεύοντας το 75% του γλυκού νερού παγκοσμίως.

Είδη που συναντάμε πάνω από τον πάγο είναι κυρίως βακτήρια αλλά και φύκια, μύκητες, ιοί, φυτομαστιγώματα και σε κάποιες περιπτώσεις rotifers (τροχοφόρα) και διάτομα. Κάτω από τον πάγο θα συναντήσουμε κυρίως αερόβια/αναερόβια βακτήρια και ιούς. Πρόσφατα ανακαλύφθηκε σε ύδατα που ρέουν κάτω από τους πάγους της Ανταρκτικής ένα οικοσύστημα αποτελούμενο από μικρά αρθρόποδα μεγέθους 5 χιλιοστών.²¹



Εικόνα 24. Σμήνος αρθρόποδων μεγέθους περίπου 5 χιλιοστών που ανακαλύφθηκε κάτω από τον πάγο στην Ανταρκτική

5.2. Χειμερινά σπορ και βελτίωση ψυχικής και σωματικής υγείας

Η επαφή μας με τη φύση και οι δραστηριότητες σε αυτή βοηθούν στη βελτίωση της ψυχικής και σωματικής υγείας του ανθρώπου. Τα χειμερινά σπορ αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι δραστηριοτήτων στη φύση και προσελκύουν πλήθος ανθρώπων όλων των ηλικιών. Τα πιο γνωστά χειμερινά σπορ – αθλήματα είναι το σκι στο χιόνι, το πατινάζ στον πάγο, το άλμα στο χιόνι, το αλπικό σνόουμπορντ, το χόκεϊ επί πάγου, το μπόμπσλεϊ, το σνόουμπορντ το slopestyle, curling, skeleton, η αναρρίχηση στον πάγο, snowkiting αγώνες δρόμου με Snowmobiles, αγώνες δρόμου με αυτοκίνητα στον πάγο, Under Ice Diving, Shovel racing, Snow Snake, Γιουκιγκάσεν, αγώνες με έλκηθρο που οδηγούν σκύλοι και η κολύμβηση σε πάγο.



Εικόνα 25. Χόκεϊ επί πάγου

Ειδικότερα, το πατινάζ στον πάγο αποτελεί εναλλακτική δραστηριότητα για τη βελτίωση της υγείας και της ευεξίας. Πρόκειται για σωματική άσκηση που απαιτεί τη λειτουργία πολλών μερών και μυών του σώματος ταυτόχρονα. Ειδικότερα, βελτιώνεται η καρδιαγγειακή υγεία, καθώς στην προσπάθεια του να παραμείνει όρθιος ο αθλητής ανεβαίνουν οι παλμοί του καθιστώντας το πατινάζ μια εξαιρετική cardio άσκηση. Επιπλέον, ο αθλητής δύναται να αναπτύξει τη δύναμη του, ενώ βελτιώνει την ισορροπία και τον συντονισμό των μερών του σώματος του, εφόσον η εκμάθηση βασικών στοιχείων για το πώς να στέκεται κάποιος στον πάγο, να προχωρά και να ολισθαίνει επάνω σε αυτόν απαιτεί άφθονο συντονισμό κινήσεων και ισορροπία. Χρειάζεται άρα αρκετή συγκέντρωση, η οποία σε συνδυασμό με τις ενδορφίνες, (γνωστές και ως ορμόνες της ευτυχίας) που απελευθερώνει ο οργανισμός μας οδηγεί στη μείωση των επιπέδων του άγχους. Επίσης, στο πατινάζ συναντώνται συχνά πτώσεις και λάθη, για αυτό το λόγο αποτελεί εξαιρετική δραστηριότητα για την τόνωση του ηθικού, της αυτοεκτίμησης και αυτοπεποίθησης του ατόμου αλλά και την αίσθηση επιτυχίας κάθε φορά που βελτιώνεται. Τέλος, σε έρευνα του 2014 εξετάστηκε η επίδραση του πατινάζ και της ολίσθησης επάνω στον πάγο, στην ψυχική υγεία ατόμων με αναπηρία και ειδικότερα σε παιδιά με προβλήματα όρασης ή ακοής. Η συμμετοχή των παιδιών αυτών σε ένα προσβάσιμο άθλημα όπως το πατινάζ είναι ιδιαίτερα σημαντική εξαιτίας της δυσκολίας συμμετοχής που αντιμετωπίζουν σε σωματικές δραστηριότητες. Η μελέτη διεξάχθηκε σε παιδιά ηλικίας 8-16 ετών, που συμμετείχαν σε πρόγραμμα πατινάζ για διάστημα 3 μηνών, έχοντας έτσι την ευκαιρία να αθληθούν και ταυτόχρονα να διασκεδάσουν. Φάνηκε σημαντική βελτίωση στην αυτοεκτίμηση των παιδιών, την

αυτοαντίληψη του εαυτού τους, σε θέματα συμπεριφοράς αλλά και την ποιότητα του ύπνου τους, γεγονός που αποδεικνύει την σπουδαιότητα της ολίσθησης στον πάγο όχι μόνο ως άθλησης αλλά και ως ψυχαγωγικής δραστηριότητας.^{22,23,71}



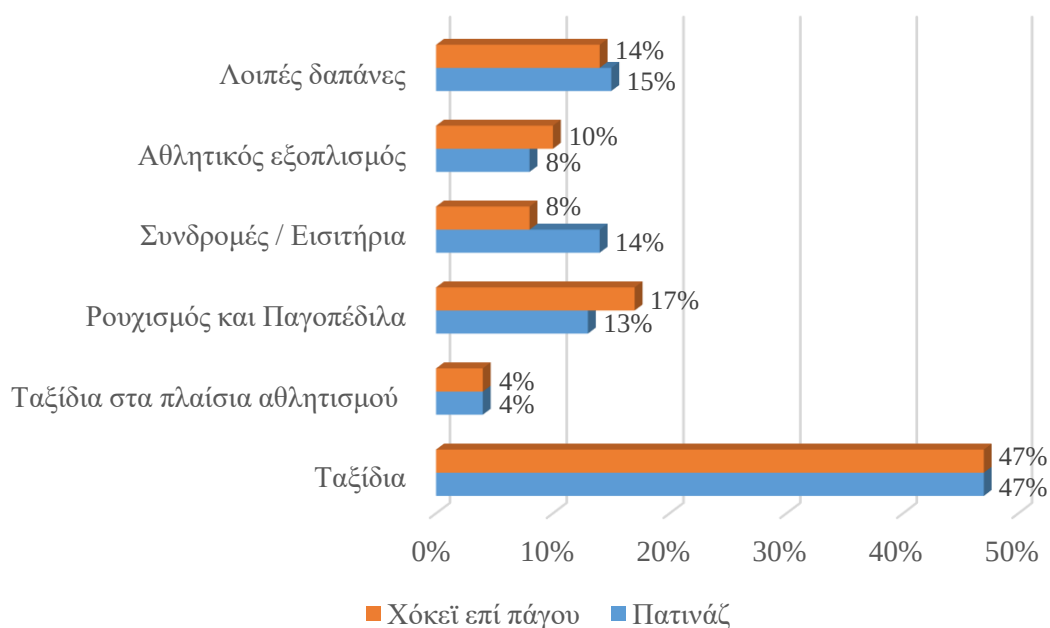
Εικόνα 26. Επαφή με τη φύση και βελτίωση της ψυχικής υγείας

5.3. Βελτίωση της κοινωνικότητας

Τα παγοδρόμια, φυσικά ή τεχνητά αποτελούν δημόσιους χώρους και η χρήση τους από τους ανθρώπους αντικατοπτρίζει συχνά και τις ηθικές αξίες τους. Ειδικότερα, τα παγοδρόμια αποτελούν χώρους με ελεύθερη πρόσβαση στο ευρύ κοινό και έτσι το άτομο έρχεται σε επαφή με ανθρώπους αγνώστους προς αυτόν, συχνά από διαφορετικές χώρες, κουλτούρες και αντιλήψεις, αναπτύσσοντας την κοινωνικότητα του αλλά και προωθώντας την κοινωνική ταυτότητα και το όραμα μιας πιο δίκαιης και ισότιμης κοινωνίας. Συχνά παρατηρούνται διαπροσωπικές αναγνωρίσεις, σύντομοι διάλογοι και αυθόρμητες συνομιλίες μεταξύ ξένων, διαφορετικής ηλικιακής ομάδας, φύλου είτε χώρας καταγωγής. Έρευνα που διεξάχθηκε πρόσφατα στα πλαίσια ενός προγράμματος του Μόντρεαλ στον Καναδά για την ανάπτυξη του χόκεϊ μεταξύ μεταναστών και διαφορετικών φυλετικών ομάδων έδειξε ότι ακόμη και στην περίπτωση υπαίθριων παγοδρομίων που δημιουργήθηκαν σε περιοχές με μεγάλο αριθμό μεταναστών και μειονοτήτων, οι χρήστες ήταν κυρίως λευκοί και άντρες. Αυτή η παρατήρηση υποδηλώνει ότι ενδεχομένως να υπάρχουν κοινωνικοί, πολιτιστικοί ή οικονομικοί παράγοντες που επηρεάζουν την προσβασιμότητα διαφορετικών ομάδων και εθνοτήτων και επομένως μέτρα και στρατηγικές που θα πρέπει να ληφθούν για την εξασφάλιση της προσβασιμότητας των ανθρώπων στις εγκαταστάσεις των παγοδρομίων ανεξαρτήτως εθνικότητας, φυλής ή αντιλήψεων. Τα παγοδρόμια και συγκεκριμένα το πατινάζ, το χόκεϊ και τα αθλήματα που διεξάγονται σε αυτά αποτελούν επομένως κοινωνικές δραστηριότητες που προωθούν μια κοινή καθημερινή ηθική κοινωνικότητα και ίση μεταχείριση μεταξύ των χρηστών του παγοδρομίου.²⁴

5.4. Τοπική Οικονομία – Τουρισμός

Η αυξανόμενη δημοτικότητα του πατινάζ στον πάγο και των χειμερινών αθλημάτων, καθώς και η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση τους, οδήγησε στην δημιουργία περισσότερων παγοδρομίων η οποία συνέβαλε στην ανάπτυξη της οικονομίας και του τουρισμού. Τα παγοδρόμια προσελκύουν το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, αλλά και επισκέπτες από γειτονικές περιοχές και όλο τον κόσμο, οι οποίοι όντας πρόθυμοι να πληρώσουν για τις παροχές και τις ανέσεις των παγοδρομίων συμβάλλουν στην ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας. Επιπλέον τα παγοδρόμια φιλοξενούν συχνά πολλές φορές εκδηλώσεις και αγώνες, όπως καλλιτεχνικό πατινάζ, χόκεϊ στον πάγο κ.α., προσελκύοντας με τον τρόπο αυτό όλο και περισσότερο κόσμο. Στη Γερμανία για παράδειγμα, σύμφωνα με έρευνα του 2012, βρέθηκε ότι το 55% του πληθυσμού ασχολείται με τα χειμερινά σπορ, με 6.4% (5.6 εκατομμύρια) να ασχολούνται συγκεκριμένα με το πατινάζ επί πάγου και 0.8% (0.62 εκατομμύρια) με το χόκεϊ επί πάγου, δαπανώντας συνολικά 1.3 και 1.4 δισεκατομμύρια αντίστοιχα. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται επιμέρους οι δαπάνες των επισκεπτών και αθλητών.



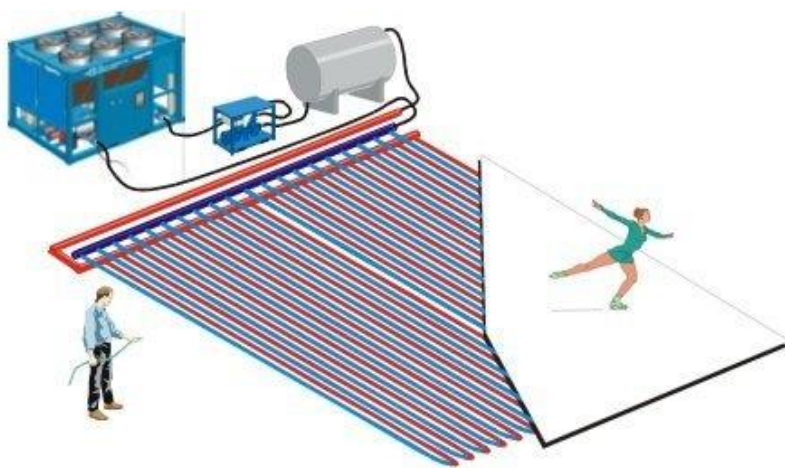
Σχήμα 1. Πρότυπο μέσης κατανάλωσης για το πατινάζ στον πάγο και το χόκεϊ επί πάγου

Επομένως, και ενώ το αρχικό κόστος κατασκευής, η αγορά εξοπλισμού και μηχανημάτων συντήρησης της επιφάνειας του πάγου είναι δαπανηρά, λαμβάνοντας υπόψη και το λειτουργικό κόστος που περιλαμβάνει την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας και νερού, τα μακροπρόθεσμα οφέλη και τα έσοδα καθιστούν τα παγοδρόμια μια κερδοφόρα επένδυση. Στην περίπτωση μάλιστα που χρησιμοποιούνται ενεργειακά αποδοτικότερες τεχνολογίες μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας και το ενεργειακό κόστος.⁷²

Κεφάλαιο 6: Συστήματα ψύξης

6.1. Συστήματα ψύξης και τρόπος λειτουργίας

Η ψύξη αποτελεί το 43% των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων σε ένα παγοδρόμιο, ώστε να μπορέσουν να διατηρηθούν χαμηλές θερμοκρασίες μεταξύ -7°C και 6°C . Προκειμένου λοιπόν να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες αυτές θερμοκρασίες για τη διατήρηση του τεχνητού πάγου χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες ψύξης. Η χρήση συστημάτων ψύξης επέτρεψε την λειτουργία των παγοδρομίων καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, προσφέροντας στους λάτρεις την ευκαιρία να απολαμβάνουν τα χειμερινά σπορ ανεξαρτήτως κλίματος και θερμοκρασιών.



Εικόνα 27. Σύστημα ψύξης συμβατικού παγοδρομίου

Η ψύξη παρέχεται με τη κυκλοφορία αλατούχων διαλυμάτων μέσω σωληνώσεων για να μην αλλοιωθεί η ποιότητα του στρώματος πάγου και να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη σκληρότητα της επιφάνειας του πάγου ανάλογα με το είδος του αθλήματος. Οι σωληνώσεις αυτές, συνήθως από χάλυβα,

είναι ενσωματωμένες σε πλάκα σκυροδέματος και διατηρούνται στους 0°C έτσι ώστε το νερό που τοποθετείται στην επιφάνεια της πλάκας να παγώνει.²⁵ Έχουν διεξαχθεί έρευνες για τη χρήση διαφορετικών υλικών στο δίκτυο σωληνώσεων. Ένα σύστημα ψύξης αποτελείται από μία αντλία, έναν ψύκτη, ένα μηχανικό σύστημα συμπίεσης ατμών, έναν συμπυκνωτή, ένα σύστημα διανομής για τη μεταφορά του ψυκτικού μέσου και ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας.²⁶

Ειδικότερα, το ψυκτικό υγρό/μέσο είναι μια ουσία που μπορεί να μεταβεί εύκολα από την αέρια στην υγρή κατάσταση, απελευθερώνοντας ή απορροφώντας θερμότητα όταν μεταβαίνει από την μία κατάσταση στην άλλη αντίστοιχα. Το ψυκτικό υγρό, συνήθως φρέον ή αμμωνία, είναι αυτό που αντλείται στις σωληνώσεις. Κυκλοφορεί και ψύχεται στον συμπιεστή. Ο συμπιεστής χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης αλλά και της θερμοκρασίας του ψυκτικού αερίου και από θερμό αέριο γίνεται υγρό. Στην συνέχεια, ο συμπυκνωτής είναι μια συσκευή που αφαιρεί τη θερμότητα από το ψυκτικό υγρό, το οποίο μπορεί πλέον να μεταφέρεται μέσω του δικτύου σωληνώσεων και να διατηρεί τελικά τη θερμοκρασία της επιφάνειας του πάγου.^{73,74,75}

6.2. Κατηγορίες συστημάτων ψύξης

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων ψύξης, άμεσα και έμμεσα συστήματα ψύξης, με τη κύρια διαφορά μεταξύ αυτών να εντοπίζεται στη ποιότητα του εξαγόμενου αέρα.

Σύστημα άμεσης ψύξης (Direct cooling system):

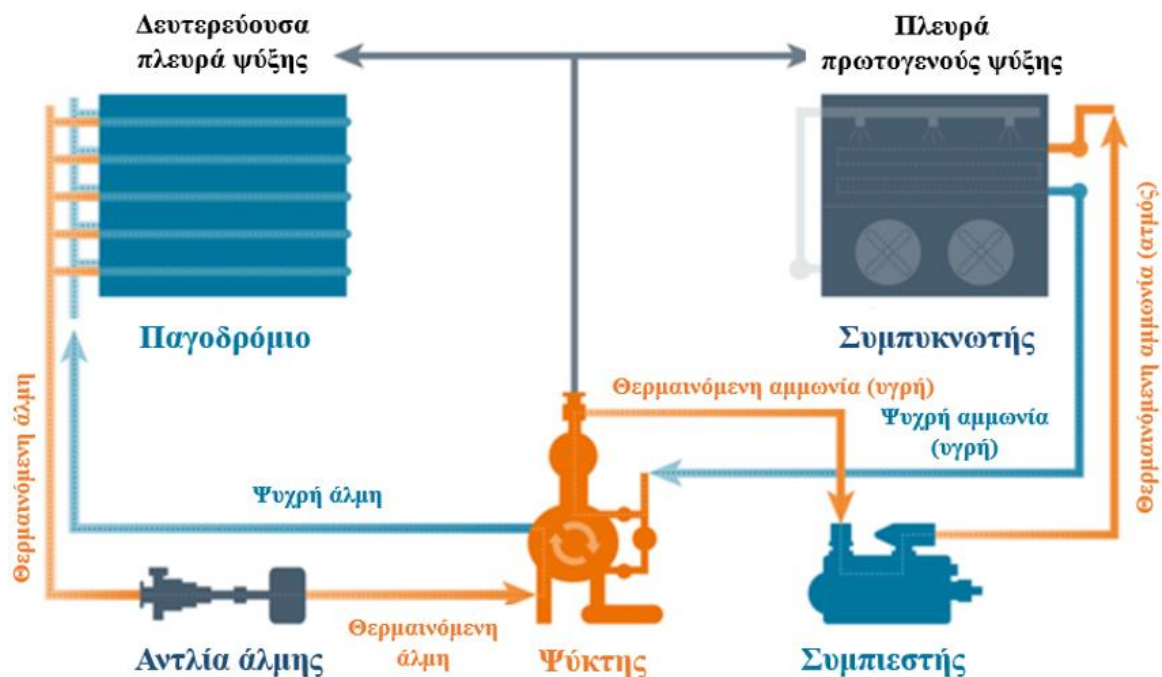
Σε αυτό το σύστημα ψύξης η ουσία ψύχεται μέσω της εξάτμισης ενός ψυκτικού μέσου που κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα σε ένα σύστημα ψύξης με συμπίεση ατμών. Εξαιτίας του δικτύου σωληνώσεων του συστήματος μεταφοράς του ψυκτικού μέσου και της υψηλής συνεπώς πίεσης λειτουργίας το κόστος είναι υψηλό. Επίσης η υψηλή ποσότητα ψυκτικού μέσου αυξάνει το κίνδυνο διαρροής.^{26,25,75}

Σύστημα έμμεσης ψύξης (Indirect cooling system):

Παρέχει τις επιθυμητές συνθήκες ψύξης χωρίς υγρασία. Σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιούνται δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα, έχοντας έτσι την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ πρωτογενούς ψυκτικού μέσου στο μηχανικό σύστημα συμπίεσης ατμών και των δευτερευόντων ψυκτικών μέσων στο σύστημα διανομής. Το υγρό ψυκτικό μέσο, συνήθως αμμωνία, απορροφά θερμότητα από το δευτερεύον υγρό, συχνά άλμη, που έχει απορροφήσει θερμότητα από την πηγή. Το ψυκτικό μέσο δεν έρχεται επομένως σε άμεση επαφή με την πηγή μεταφοράς θερμότητας.⁶³

Χάρη στη μικρότερη ποσότητα ψυκτικού μέσου, η πιθανότητα διαρροής ψυκτικού αλλά και το μέγεθος του συστήματος ψύξης μπορούν να μειωθούν.²⁵

Τέτοιου είδους συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως στη παραγωγή πάγου, στα παγοδρόμια, στη ψύξη γάλακτος αλλά και τον κλιματισμό.^{26,75}



Εικόνα 28. Σύστημα έμμεσης ψύξης

6.3. Ψυκτικά μέσα

Στα παγοδρόμια το ψυκτικό υγρό ψύχει το δευτερεύον ψυκτικό υγρό, το οποίο περνά μέσα από το δίκτυο σωληνώσεων κάτω από τον πάγο. Ως δευτερεύον ψυκτικό υγρό συνήθως χρησιμοποιείται άλμη. Η άλμη είναι ένα διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου και χρησιμοποιείται λόγω της ιδιότητας που έχει να παγώνει σε θερμοκρασία χαμηλότερη της θερμοκρασίας που παγώνει το νερό. Το γεγονός αυτό επιτρέπει να παραμένει υγρό καθώς ρέει μέσα στους σωλήνες ενώ εξακολουθεί να παραμένει αρκετά κρύο ώστε να μπορεί να παγώσει το νερό που πέφτει στην επιφάνεια των σωληνώσεων.⁶³

Τα κύρια ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα ψύξης είναι συνήθως οργανικές χημικές ενώσεις, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (Chlorofluorocarbons - CFCs), οι υδροφθοράνθρακες (Hydrofluorocarbons - HFCs) και οι υδροχλωροφθοράνθρακες (Hydrochlorofluorocarbons - HCFCs). Ωστόσο, έχει βρεθεί ότι οι χλωροφθοράνθρακες συντελούν στην καταστροφή του στρώματος του όζοντος στην στρατόσφαιρα, για το λόγο αυτό αντικαταστάθηκαν σταδιακά από προϊόντα που περιέχουν υδροφθοράνθρακες. Το R134a, όπως και το R404a, ανήκει στους υδροφθοράνθρακες και χρησιμοποιείται συχνά λόγω της καλής απόδοσής ως μέσο μεταφοράς θερμότητας. Συγκεκριμένα αντικατέστησε το διφθοροδιχλωρομεθάνιο (R12 ή φρέον-12), το οποίο ως χλωροφθοράνθρακας επιδρά αρνητικά στο περιβάλλον. Υδροχλωροφθοράνθρακες, όπως το διφθοροχλωρομεθάνιο (HCFC-22 ή R22) το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως παραδοσιακό ψυκτικό υγρό σε συστήματα ψύξης σε παλιότερα παγοδρόμια αντικαταστάθηκε επίσης από λιγότερο επιβλαβή ψυκτικά μέσα. Χρησιμοποιήθηκαν για παράδειγμα υδρογονάνθρακες. Το MC-134 προέρχεται από ένα μείγμα προπανίου (R290) και ισοβουτανίου ή R600a και αντικατέστησε το R134a,

καθώς είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Η αμμωνία (R717) χρησιμοποιείται επίσης ως το πλέον επικρατέστερο ψυκτικό μέσο στα παγοδρόμια στην Σουηδία, λόγω της καλής απόδοσης και του χαμηλού δείκτη καταστροφής του στρώμα του όζοντος. Έχει χαμηλή ογκομετρική χωρητικότητα, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα χρήσης μικρότερων σωλήνων, ενώ έχει και χαμηλή τιμή.^{25,27,76}

Γενικά, τις τελευταίες δεκαετίες η υπερβολική χρήση των ψυκτικών αυτών έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την ανθρώπινη κοινωνία εξαιτίας των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων όσον αφορά την καταστροφή του στρώματος του όζοντος, την δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή. Σε πολλές χώρες δεν επιτρέπεται πλέον η χρήση μεγάλων ποσοτήτων αμμωνίας κυρίως σε περιοχές με μεγάλο πληθυσμό, παρότι τα συστήματα αυτά ήταν η καλύτερη λύση όσον αφορά τη ποιότητα του πάγου και την κατανάλωση ενέργειας. Το ενδιαφέρον στράφηκε επομένως στην εύρεση ενός φιλικού προς το περιβάλλον ψυκτικού μέσου. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αποτελεί μη τοξικό, μη εύφλεκτο φυσικό αέριο με μηδενικό δείκτη καταστροφής του στρώματος του όζοντος (Ozone Destruction Potential - ODP) και χαμηλή δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential - GWP) και έχει συνεπώς εξαπλωθεί η χρήση του σε πληθώρα αθλητικών εγκαταστάσεων. Ειδικότερα, το υγρό διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιήθηκε το 1999 ως δευτερεύον ψυκτικό υγρό στο παγοδρόμιο Dornbirn στην Αυστρία. Αργότερα, το 2010, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά και ως κύριο ψυκτικό μέσο στο σύστημα ψύξης του παγοδρομίου στο St. Gedeon στο Κεμπέκ του Καναδά, όπου φάνηκε ότι το σύστημα CO₂ έχει τη χαμηλότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας, ιδίως χάρη στο σύστημα ανάκτησης θερμότητας και των μικρότερων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.^{25,28} Η τεχνολογία άμεσης εξάτμισης CO₂ υιοθετήθηκε και στους χειμερινούς Ολυμπιακούς αγώνες στο Πεκίνο το 2022 προκειμένου να έχουμε μια πιο φιλική προς το περιβάλλον, με εξοικονόμηση ενέργειας, πράσινη αθλητική διοργάνωση.^{20,29}

Κεφάλαιο 7: Βιολογική Παγοπυρήνωση

7.1. Εισαγωγή

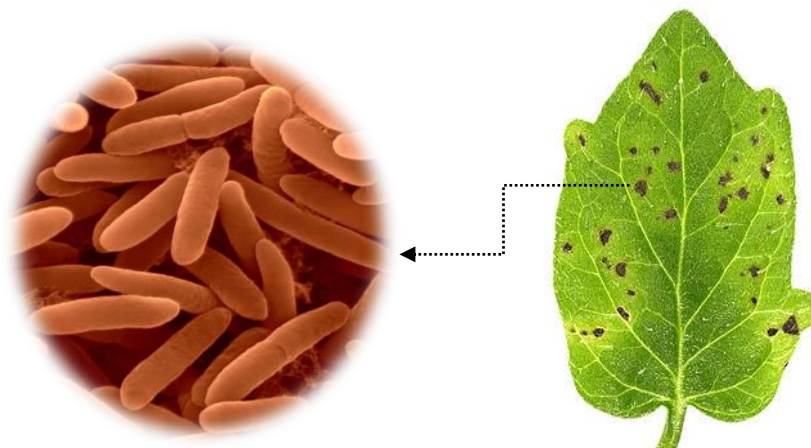
Το νερό αποτελεί παγκόσμιο διαλύτη όλων των οργανισμών, ενώ εντοπίζεται σε μεγάλα ποσοστά στους περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς. Όταν ένας οργανισμός βρεθεί σε θερμοκρασία κάτω των 0°C, κάτω δηλαδή του σημείου ισορροπίας πήξεως των υγρών των ιστών του οργανισμού, δύναται να σχηματιστεί πάγος στους ιστούς, γεγονός που μπορεί να αποδειχθεί θανατηφόρο. Προκειμένου να αποφευχθεί η ψύξη-πάγωμα και το νερό να παραμείνει στην υγρή κατάσταση ακόμη και κάτω τη θερμοκρασίας πήξεως (φαινόμενο υπέρψυξης) ή να γίνουν ανεκτικοί προς την ψύξη ώστε να επιβιώσουν, οι οργανισμοί ανέπτυξαν μηχανισμούς παγοπυρήνωσης ή μηχανισμούς έναντι της πυρήνωσης πάγου.³⁰

Με τον όρο λοιπόν παγοπυρήνωση και συγκεκριμένα βιολογική παγοπυρήνωση αναφερόμαστε στην διαδικασία κατά την οποία βιολογικά σωματίδια, όπως για παράδειγμα βακτήρια, μύκητες, η γύρη και άλλοι μικροοργανισμοί, δρουν ως πυρήνες για το σχηματισμό πάγου σε θερμοκρασίες μεταξύ -10°C και 0°C. Οι βιολογικοί αυτοί πυρήνες σχηματισμού πάγου συμμετέχουν σε διάφορες φυσικές διεργασίες, όπως οι καταστροφές λόγω παγετού στα φυτά αλλά και η διαδικασία ψύξης στην ατμόσφαιρα και την βιόσφαιρα.³¹

7.2. Παγοπυρήνωση βακτηρίων

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 βρέθηκε για πρώτη φορά η αποτελεσματική παγοπυρήνωση σε εδάφη υψηλής περιεκτικότητας οργανικών, σε πλαγκτόν ή σε αποσυντεθειμένα υπολείμματα δέντρων, όπου και οδήγησε τελικά στην ανακάλυψη των βακτηρίων ως πυρήνες πάγου με ελάχιστη ψύξη σε θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C. Πρόκειται για ανακάλυψη που προέκυψε από έρευνες σε διαφορετικά πεδία και συγκεκριμένα από τη περαιτέρω διερεύνηση του παγώματος των φυτών, του εδάφους, της ατμόσφαιρας αλλά και του μηχανισμού δημιουργίας πυρήνων πάγου σε χαλάζι. Ειδικότερα, το 1976 οι Russell Schnell και Gabor Vali συνόψισαν τα πρώτα αυτά αποτελέσματα.³²

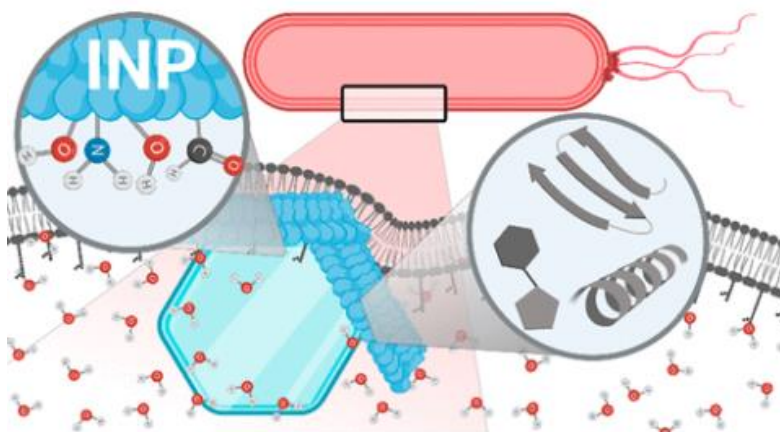
Πληθώρα οργανισμών είναι πλέον γνωστοί ως πιθανά σωματίδια σχηματισμού πυρήνων πάγου (Ice nucleating particles ή INPs). Μεταξύ αυτών το βακτήριο *Pseudomonas syringae* διαθέτει πολύ ισχυρούς πυρήνες σχηματισμού πάγου που βρίσκονται στην εξωτερική μεμβράνη του βακτηρίου, τους οποίους και χρησιμοποιεί προκειμένου να σχηματιστεί πάγος στην επιφάνεια διαφόρων φρούτων και φυτών σε θερμοκρασίες μέχρι και -2°C, γεγονός που οδηγεί στον τραυματισμό των επιθηλίων, καθιστώντας έτσι τα θρεπτικά συστατικά στους υποκείμενους φυτικούς ιστούς διαθέσιμα προς τα βακτήρια.^{30,31,32} Το συγκεκριμένο στέλεχος βακτηρίου δεν επιβιώνει σε ζεστό και ξηρό περιβάλλον και θεωρείται παθογόνο για τα φυτά όχι ωστόσο για τον άνθρωπο και τα ζώα καθώς δεν επιβιώνει στις θερμοκρασίες του σώματος.⁷⁷



Εικόνα 29. Βακτήριο *Pseudomonas Syringae*

Έρευνες έδειξαν ότι και άλλες οικογένειες βακτηρίων παρουσίασαν την ικανότητα παγοπυρήνωσης, όπως οι Pseudomonadaceae, Enterobacteriaceae, Xanthomonadaceae και Lysinibacillus.³¹

Η ικανότητα των βακτηριακών αυτών ειδών να δημιουργούν πυρήνες πάγου οφείλεται σε πρωτεΐνες που εντοπίζονται στην εξωτερική μεμβράνη των κυττάρων και δεσμεύουν τα μόρια νερού σε διάταξη πλέγματος ενισχύοντας την δημιουργία παγοκρυστάλλων. Χρησιμοποιούν τους πυρήνες αυτούς για να λάβουν θρεπτικά συστατικά από τα φυτά προκαλώντας έτσι ζημιές από τον παγετό και όταν μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα δημιουργούν πυρήνες πάγου μέσα στα νέφη. Τα βακτήρια αυτά πολλαπλασιάζονται πρώτα στην επιφάνεια των φυτών και έπειτα διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα είτε λόγω του ανέμου είτε λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων όπως η γεωργία, για αυτό και έχουν κυρίως εντοπιστεί σε νέφη πάνω από γεωργικές περιοχές, στην βροχή και την ομίχλη.^{31,33}



Εικόνα 30. Εξειδικευμένες πρωτεΐνες σχηματισμού πυρήνων πάγου (INPs) που είναι αγκυρωμένες στην εξωτερική βακτηριακή κυτταρική μεμβράνη

Ειδικότερα, το 1982, ο καθηγητής του Πανεπιστημίου της Μοντάνα (Montana State University) David Sands υπέθεσε ότι τα βιολογικά αυτά σωματίδια εφόσον βρεθούν στην

ατμόσφαιρα δύναται να προκαλέσουν κατακρήμνιση, βροχή ή παραγωγή χιονιού, γεγονός που διατυπώθηκε λίγο αργότερα, το 1987, και από τον καθηγητή του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν (University of Michigan) Williams S. Benninghoff ο οποίος υποστήριξε ότι υπάρχουν στην ατμόσφαιρα αιωρούμενα σωματίδια ή αερολύματα με ικανότητα παγοπυρήνωσης και συνεπώς έχουμε τον σχηματισμό πυρήνων πάγου όπου συσσωρεύονται σταγονίδια και προκαλείται η βροχόπτωση.^{33,77} Το 2019 δημοσιεύτηκε μελέτη από τους Rachel E. Joyce, Heather Lavender, Jennifer Farrar, Jason T. Werth, Carolyn F. Weber, Juliana D'Andrilli και Mickaël Vaitilingom όπου αναφερόταν στην δυνατότητα των βιολογικών σωματιδίων να προκαλέσουν κατακρήμνιση. Για την έρευνα λήφθηκαν 65 δείγματα βροχόπτωσης στην νοτιανατολική Λουιζιάνα σε βάθος χρόνου 2 ετών ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση του κλίματος, των μετεωρολογικών συνθηκών και του είδους καταιγίδας στην συγκέντρωση και τον τύπο σωματιδίων που σχηματίζουν πυρήνες πάγου (INPs).^{34,35}

Φαίνεται ωστόσο ότι η επιβίωση των αερολυμάτων αυτών και η παραμονή τους στην ατμόσφαιρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες που επικρατούν όπως η θερμοκρασία, η υγρασία ή η ηλιακή ακτινοβολία.

Κεφάλαιο 8: Εμπορικά σκευάσματα παγοπυρηνωτικών παραγόντων

8.1. Εισαγωγή

Πρωτεΐνες που οδηγούν στην παγοπυρήνωση εφαρμόστηκαν επίσης και στην παραγωγή τεχνητού χιονιού ή στην παραγωγή πάγου. Το Icemax αποτελεί πρωτεΐνη που έχει προέλθει από μια βιοτεχνολογική διεργασία, τη ζύμωση, διαδικασία που είναι ευρέως γνωστή στη καθημερινότητα μας καθώς συμβαίνει και σε προϊόντα όπως η μύρα, το κρασί, το γιαούρτι και το τυρί. Η πρωτεΐνη αυτή χρησιμοποιείται εδώ και τουλάχιστον 20 χρόνια σε πλήθος εφαρμογών, αλλά κυρίως στη παραγωγή χιονιού όπου συναντάται και με την ονομασία Snomax, τον εμπλουτισμό των νεφών και την συγκέντρωση των λυμάτων. Χρησιμοποιείται συχνά ως υποκατάστατο για βιολογικά σωματίδια που σχηματίζουν πυρήνες πάγου (Ice nucleating particles ή INPs), τα οποία αποτελούνται συνήθως από κάποιο ανόργανο ή ανθρακούχο υλικό όπως για παράδειγμα η κυτταρίνη.

8.2. Icemax

Τα βακτήρια όπως και άλλα βιολογικά σωματίδια αποτελούν τις πιο αποτελεσματικές ουσίες πυρήνωσης πάγου που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό το Icemax χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον και στην βιομηχανία παραγωγής πάγου και εγκαταστάσεις χειμερινών αθλημάτων όπως τα παγοδρόμια.



Εικόνα 31. Icemax

8.2.1. Τρόπος λειτουργίας

Όσον αφορά το πώς λειτουργεί, η πρωτεΐνη αυτή ουσιαστικά αλλάζει τις μοριακές ιδιότητες πρόσφυσης του νερού και συνεπώς επιδρά στο μέγεθος των παγοκρυστάλλων συμβάλλοντας στη δημιουργία λεπτότερων και πιο σφικτά πακεταρισμένων κρυσταλλικών πλεγμάτων. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνει το δεσμό συνοχής μεταξύ των κρυστάλλων και μειώνει την ποσότητα θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί προκειμένου να φτάσει το σημείο πήξης του νερού.

8.2.2. Οφέλη

Το Icemax οδηγεί στη δημιουργία ενός κρυστάλλου πάγου με πιο στενούς κόκκους που προσομοιάζει με την συμπεριφορά του απιονισμένου νερού που χρησιμοποιείται συνήθως στις πίστες των χειμερινών αθλημάτων και καταψύχεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε αθλήματος, με τη διαφορά ότι δεν χρειάζεται μονάδα παραγωγής απιονισμένου νερού (DI) και συνεπώς μειώνεται και το κόστος συντήρησης. Επιπλέον, με τη χρήση του Icemax μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κρύο νερό κατά τη παραγωγή της επιφάνειας πάγου, το οποίο σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η θερμοκρασία του παγοδρομίου μπορεί να είναι 3 έως και 4 βαθμούς υψηλότερη, επιτρέπει την εξοικονόμηση κόστους και ενέργειας.

Τέλος, δίνει στον πάγο μια οπτικά καθαρότερη και πιο λεία επιφάνεια, καθώς συμβάλει στην απομάκρυνση τυχών ακαθαρσιών από το νερό της πηγής του παγοδρομίου. Όπως αναφέρθηκε κατά τη διαδικασία σχηματισμού του τεχνητού πάγου, η παγωμένη επιφάνεια ενός παγοδρομίου σχηματίζεται με ψεκασμό σε στρώσεις. Εφόσον το Icemax αυξάνει τη συνοχή μεταξύ των στρωμάτων, οδηγεί σε μια πιο ανθεκτική επιφάνεια πάγου.

Πετυχαίνουμε δηλαδή την παραγωγή ενός ποιοτικού και διαυγή πάγου από νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας με ελάχιστες ακαθαρσίες και φυσαλίδες αέρος, με πολύ χαμηλότερο κόστος και υψηλότερες θερμοκρασιακές συνθήκες, ενώ μπορούμε να λάβουμε έως και 2,5 φορές περισσότερη ποσότητα πάγου.⁷⁸ Ωστόσο, μετά από μήνες χρήσης παρατηρήθηκε μείωση της ικανότητας σχηματισμού πυρήνων πάγου ύστερα από διαδοχικές επαναψύξεις, λόγω ενδεχόμενης διάσπασης ή μετατόπισης των ενεργών πρωτεϊνικών συσσωματωμάτων. Είναι επομένως σημαντική η σωστή αποθήκευση του στον καταψύκτη όταν δεν χρησιμοποιείται, για να μπορέσει να διατηρηθούν σταθερές οι ιδιότητες του.³⁶

8.3. Snomax

Το Snomax αποτελεί εμπορικό προϊόν, πρόσθετο που χρησιμοποιείται συχνά στην παραγωγή χιονιού στα χιονοδρομικά κέντρα και έχει προέλθει από πρωτεΐνες του φυσικού βακτηρίου *Pseudomonas syringae*. Προκειμένου να λάβουμε το καθαρό εμπορικό σκεύασμα, οι πρωτεΐνες αυτές απομονώνονται από την εξωτερική μεμβράνη των βακτηρίων, συμπυκνώνονται, λυοφιλοποιούνται (μέθοδος ψυχρής ξήρανσης μέσω χρήσης

αντλίας κενού για απομάκρυνση της υγρασίας, γνωστή και ως freeze drying), συσκευάζονται και αποστειρώνονται.



Εικόνα 32. Snomax

8.3.1. Τρόπος λειτουργίας

Όταν οι πρωτεΐνες αυτές προστίθενται στο νερό, λειτουργούν οι ίδιες ως πυρήνες πάγου, όπως οι τυχόν ακαθαρσίες, επιτρέποντας στα σταγονίδια του νερού να παγώσουν σε υψηλότερη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, το Snomax προστίθεται στο νερό το οποίο ψεκάζεται έπειτα υπό πίεση στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια κανονίων χιονιού. Οι παγοπυρηνωτικοί παράγοντες που περιέχονται στο Snomax ωθούν τα σταγονίδια νερού στη γρήγορη ψύξη τους, έχοντας τη δημιουργία μικρών κρυστάλλων πάγου, γύρω από τους οποίους θα παγώσει και άλλο νερό, σχηματίζοντας έτσι νιφάδες που όταν αποκτήσουν το επιθυμητό βάρος πέφτουν στο έδαφος με τη μορφή χιονιού. Οι πρωτεΐνες αυτές συμβάλλουν επομένως στην βελτίωση της διαδικασίας σχηματισμού πυρήνων πάγου και της κρυστάλλωσης.⁹⁰

8.3.2. Οφέλη

Χωρίς την ύπαρξη πυρήνων συμπύκνωσης, όπως θαλασσινό αλάτι, θειικό οξύ, σωματίδια αζώτου που μπορεί να βρίσκονται στον αέρα κα. οι υδρατμοί στον αέρα θα υγροποιηθούν μόνο όταν η σχετική υγρασία ξεπεράσει το 500%. Παρέχοντας έτσι ως πρόσθετο πυρήνες σχηματισμού πάγου, επιτυγχάνουμε την αποδοτικότερη παραγωγή χιονιού σε υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές στις οποίες θα συνέβαινε φυσικά, θερμοκρασίες κοντά στους -3°C αντί για θερμοκρασίες μικρότερες των -7°C . Με τον τρόπο

αυτό παράγεται περισσότερο χιόνι, μάλιστα σε ποσοστό έως και 40% περισσότερο σε σύγκριση με άλλους παράγοντες παγοπυρήνωσης. Η βελτίωση αυτή στην απόδοση της παραγωγής χιονιού συνεπάγεται και εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του λειτουργικού κόστους, καθώς λιγότερη ενέργεια απαιτείται για τη ψύξη του νερού. Επιπλέον, το χιόνι το οποίο παράγεται με τη χρήση του Snomax είναι πιο ανθεκτικό στην τήξη του, μπορεί άρα να διατηρηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και σε υψηλότερες θερμοκρασιακές συνθήκες, καθιστώντας το ιδανική επιλογή για τη κάλυψη των χιονοδρομικών πιστών, με αποτέλεσμα τα χιονοδρομικά κέντρα τα οποία μπορούν να παραμείνουν ανοιχτά και μετά το πέρας των χειμερινών μηνών. Για τους λόγους αυτούς, το Snomax χρησιμοποιείται ευρέως παγκοσμίως, ιδιαίτερα στην Αμερική και την Ελβετία, χωρίς να φαίνεται να έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αν και ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι ως χημικό πρόσθετο ενδέχεται να έχει καταστροφικές επιπτώσεις για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.⁹⁰

8.4. Διαφορές Icemax και Snomax

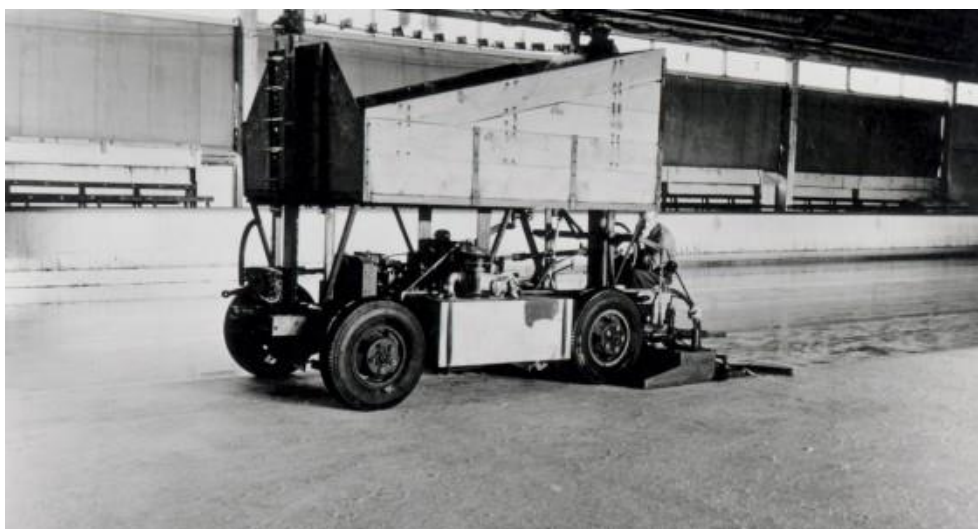
Το Snomax αποτελεί πρόσθετο που χρησιμοποιείται συχνά στην παραγωγή χιονιού για τη βελτίωση της παραγόμενης ποσότητας χιονιού ανά γαλόνι νερού. Αποτελεί πρωτεΐνη που έχει προέλθει από το βακτήριο *Pseudomonas syringae*. Αν και προέρχονται από στελέχη του ίδιου βακτηρίου, πρόκειται για διαφορετικό προϊόν από το Icemax, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και λειτουργία. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται ως επαγωγέας της βιολογικής παγοπυρήνωσης για τη παραγωγή χιονιού, ενώ μειώνει και τη θερμοκρασία που απαιτείται για να παγώσει το νερό. Χρησιμοποιείται κυρίως ως πρόσθετο σε μηχανές παραγωγής χιονιού επιτρέποντας το πάγωμα του νερού σε υψηλότερες θερμοκρασίες ακόμη και απουσίας ακαθαρσιών, ενώ το υψηλότερο σημείο τήξης του χιονιού το καθιστά καλύτερης ποιότητας και επιτρέπει τον ευκολότερο χειρισμό του. Επιπλέον, ελέγχοντας την πυκνότητα του είναι εφικτό να δημιουργηθεί διαφορετικό είδος χιονιού, από πιο ελαφρύ μέχρι πιο συμπαγές και ανθεκτικό. Το Snomax αναμειγνύεται με το νερό και ψεκάζεται μέσω των μηχανών παραγωγής χιονιού (κανόνια χιονιού) στον αέρα, όπου οι πρωτεΐνες βοηθούν στην πιο γρήγορη παραγωγή πυρήνων πάγου και συνεπώς στη ταχύτερη παραγωγή χιονιού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα σε χιονοδρομικά κέντρα και πίστες, εξασφαλίζοντας μια σταθερή χιονοκάλυψη ακόμη και σε περιπτώσεις όπου η φυσική χιονόπτωση κρίνεται ανεπαρκής.

Από την άλλη, το Icemax αναμειγνύεται με το νερό που ψεκάζεται με τη βοήθεια μηχανών επιφανειακής επίστρωσης πάγου, στοχεύοντας στην επίτευξη μιας πιο λείας, ανθεκτικής και υψηλότερης ποιότητας επιφάνειας πάγου στα παγοδρόμια. Περιέχει συνήθως σουλφαμικό οξύ ως δραστικό συστατικό, γεγονός που βοηθά στην απομάκρυνση αλάτων, τον καθαρισμό και συνεπώς την καλύτερη απόδοση των παγομηχανών.⁷⁹

Κεφάλαιο 9: Μηχανές επιφανειακής επίστρωσης πάγου

9.1. Εισαγωγή

Με την προσθήκη πρωτεϊνών, όπως το Icemax, επιτυγχάνουμε τη βελτίωση της επιφάνειας και της ποιότητας του πάγου, έχοντας έτσι μια πιο λεία και ομαλή επιφάνεια παγοδρομίου. Στο πλαίσιο αυτό, σημαντικό κομμάτι μετά τη δημιουργία του πάγου αποτελεί η συντήρηση του και η διατήρηση της ποιότητας του. Κύρια μηχανήματα για την επίτευξη αυτών αποτέλεσαν οι μηχανές επιφανειακής επίστρωσης πάγου, οι οποίες παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον από άποψη εφαρμογής της βιολογικής παγοπυρήνωσης. Η πρώτη μηχανή κατασκευάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1940 στην Νότια Καλιφόρνια, με τη χρήση ενός σασί στρατιωτικού αυτοκινήτου Jeep Willys και έγινε γνωστή με την ονομασία «Zamboni». Πήρε την ονομασία του από τον Αμερικανό εφευρέτη Frank Zamboni, ο οποίος κατάφερε να επιταχύνει τη διαδικασία της επιφανειακής επίστρωσης πάγου. Μέχρι τότε η παγωμένη επιφάνεια τριβόταν με τη βοήθεια ξύστρας που σερνόταν από τρακτέρ προκειμένου να εξομαλυνθεί η επιφάνεια του πάγου και στη συνέχεια καλυπτόταν ξανά με μια λεπτή στρώση νερού με σκοπό να επανέλθει στο προηγούμενο πάχος της.

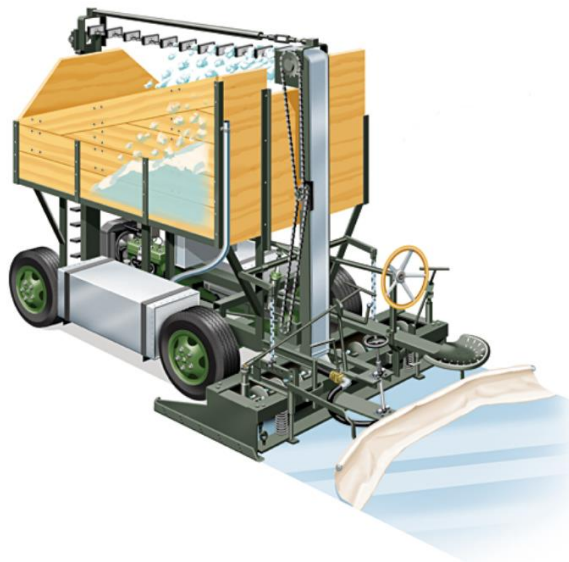


Εικόνα 33. Πρώτη μηχανή επιφανειακής επίστρωσης πάγου - Zamboni

Πλέον, η μηχανή επιφανειακής επίστρωσης, Zamboni, τρίβει την επιφάνεια του πάγου με αιχμηρή λεπίδα, συλλέγει τα θρύμματα πάγου τα οποία έπειτα απορρίπτει, ψεκάζει με νερό καθαρίζοντας έτσι την επιφάνεια, ενώ συλλέγει την περίσσεια νερού και ακαθαρσιών. Στη συνέχεια ψεκάζει με θερμό νερό, 60-63°C, ώστε να δημιουργηθεί μια πιο λεία και λεπτή στρώση στην επιφάνεια του παγοδρομίου. Ο σχεδιασμός των μηχανών επιφανειακής επίστρωσης πάγου εξελίχθηκε με τη πάροδο των χρόνων και των απαιτήσεων των παγοδρομίων, έχοντας πιο σύγχρονα μηχανήματα με επιπλέον χαρακτηριστικά που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν και με αυτοματοποιημένα συστήματα και αισθητήρες χωρίς να είναι αναγκαία η ύπαρξη οδηγού.⁸⁰

9.2. Τρόπος λειτουργίας

Κατά τη λειτουργία της μηχανής επιφανειακής επίστρωσης πάγου ακολουθείται μια σειρά βημάτων, προκειμένου να εξομαλύνουμε και να καθαρίσουμε την επιφάνεια του πάγου σε ένα παγοδρόμιο. Κύριο μέρος της μηχανής αποτελεί η συσκευή conditioner, επάνω στην οποία είναι τοποθετημένη η λεπίδα ή οποία θα τρίψει την επάνω στρώση της επιφάνειας του πάγου και καθώς το μηχανήμα κινείται το παγοτρύπανο (σύστημα οριζόντιου και κάθετου κοχλίου) θα μαζεύει τα θρύμματα από την επιφάνεια του πάγου, το συσσωρευμένο δηλαδή χιόνι, τα οποία και εναποθέτει σε μια δεξαμενή χιονιού πριν αυτά απορριφθούν. Στην συνέχεια η επιφάνεια ψεκάζεται με νερό, το οποίο αντλείται από δεξαμενή και στην συνέχεια ανακυκλώνεται και επιστρέφεται μέσω σωληνώσεων στη δεξαμενή αφού φιλτραριστεί, προκειμένου να ξεπλυθούν τυχόν ακαθαρσίες και υπολείμματα. Τέλος το μηχανήμα ψεκάζει με ζεστό νερό το οποίο διοχετεύεται από σωλήνα και απλώνεται ομοιόμορφα επάνω στην επιφάνεια μέσω πετσέτας που βρίσκεται ενσωματωμένη στην συσκευή conditioner, εξασφαλίζοντας έτσι την ομοιόμορφη εφαρμογή και λείανση του πάγου καθώς το νερό παγώνει ξανά.⁸¹



Εικόνα 34. Εσωτερικό μηχανής επιφανειακής επίστρωσης πάγου

Κεφάλαιο 10: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

10.1. Υπερθέρμανση του πλανήτη

Τα υγρά ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα ψύξης απορροφούν την θερμότητα από το παγοδρόμιο μετατρέποντας την σε ατμό, ο ατμός ψύχεται, επιστρέφει στην υγρή κατάσταση και ανακυκλώνεται, ψύχοντας με τον τρόπο αυτό την επιφάνεια του πάγου. Ωστόσο η υπερβολική χρήση ψυκτικών μέσων επιδρά αρνητικά στο περιβάλλον. Τα ψυκτικά μέσα περιέχουν συνήθως ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου (greenhouse gases) που θερμαίνουν την ατμόσφαιρα. Οι υδροφθοράνθρακες (HFCs) για παράδειγμα είναι πολύ αποτελεσματικά στην ψύξη, έχουν όμως δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential - GWP) εκατοντάδες φορές περισσότερο από αυτό του διοξειδίου του άνθρακα. Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη αποτελεί έναν δείκτη που μετρά την ενέργεια που καταναλώνουν οι εκπομπές ενός τόνου συγκεκριμένου αερίου σε σχέση με τις εκπομπές ενός τόνου διοξειδίου του άνθρακα, μετρά δηλαδή πόση θερμότητα παγιδεύει ένα αέριο στην ατμόσφαιρα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα. Όταν συνεπώς ο GWP είναι υψηλός ακόμη και μικρές διαρροές μπορούν να οδηγήσουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη και συνεπώς στην κλιματική αλλαγή, έχοντας την άνοδο των θερμοκρασιών και το λιώσιμο των πάγων.

Βρέθηκε ότι ορισμένα ψυκτικά μέσα όχι μόνο θερμαίνουν την ατμόσφαιρα αλλά όταν απελευθερώνονται σε αυτήν συντελούν στην καταστροφή του στρώματος του όζοντος, περιοχή της στρατόσφαιρας της Γης που απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους επιβλαβής ακτινοβολίας του Ήλιου. Αυτό αυξάνει τον κίνδυνο τόσο για τον άνθρωπο για καρκίνο του δέρματος-μελανώματος και καταρράκτη, καθώς η ακτινοβολία αυτή περνά μέσα από τον αμφιβληστροειδή του ματιού, αλλά και για το περιβάλλον εφόσον διαταράσσει τα θαλάσσια οικοσυστήματα και τη ζωή των χερσαίων φυτών. Μάλιστα, θεωρήθηκε ότι το φαινόμενο της τρύπας του όζοντος δημιουργήθηκε από την υπερβολική χρήση χλωροφθορανθράκων (CFCs). Τον Σεπτέμβριο του 1987 υπογράφηκε το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, μια παγκόσμια περιβαλλοντική συμφωνία για την προστασία της στιβάδας του όζοντος μέσω κατάργησης των χημικών ουσιών που την καταστρέφουν. Ακολούθησε έτσι η σταδιακή κατάργηση των υδροχλωροφθορανθράκων (HCFCs) και υδροφθορανθράκων (HFCs), με την κατάργηση των HCFCs στις ΗΠΑ να πιθανολογείται ότι θα έχει ολοκληρωθεί μέχρι το 2030. Η σταδιακή αυτή κατάργηση τους οδήγησε στην αντικατάσταση τους από ψυκτικά μέσα όπως η αμμωνία και το διοξείδιο του άνθρακα. Η αμμωνία έχει μηδενικό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential - GWP) και δυναμικό καταστροφής του όζοντος (Ozone Depletion Potential - ODP), αποτελεί όμως τοξική ουσία και μπορεί να γίνει επικίνδυνη σε περίπτωση που τα συστήματα ψύξης δεν συντηρούνται σωστά, χρειάζεται επομένως προσεκτικό χειρισμό και αυστηρά μέτρα ασφαλείας. Το 2017 για παράδειγμα διαρροή αμμωνίας στο παγοδρόμιο Fernie Memorial Arena στην Βρετανική Κολούμπια στον Καναδά οδήγησε στον θάνατο τριών ανδρών. Το διοξείδιο του άνθρακα από την άλλη έχει μηδενικό δυναμικό καταστροφής του όζοντος (ODP) και χαμηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP), αποτελεί όμως νεότερη

τεχνολογία και μαζί με την αμμωνία έχουν υψηλότερο κόστος από τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα.⁸²

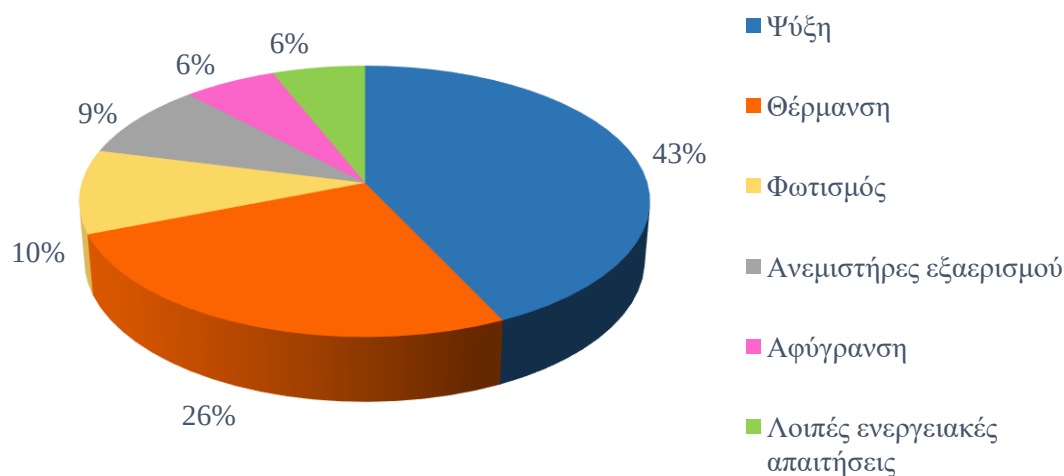
10.2. Κατανάλωση ενέργειας

Τα παγοδρόμια, και ειδικότερα τα συστήματά τους, έχουν τεράστιες ενεργειακές απαιτήσεις. Μελέτη που διεξάχθηκε μεταξύ 102 παγοδρομίων στην Σουηδία, γνωστό ως έργο Stoppsladd του κέντρου ενέργειας και ψύξης της Σουηδίας (SEK) και της Σουηδικής ομοσπονδίας χόκεϊ επί πάγου (SIF), έδειξε ότι μια εγκατάσταση παγοδρομίου χρησιμοποιεί 1185 MW ενέργειας τον χρόνο.



Εικόνα 35. Λογότυπο προγράμματος Stoppsladd

Η λειτουργία ενός μέσου παγοδρομίου απαιτεί άρα περίπου 1 GW ενέργειας ετησίως, η οποία είναι κυρίως ηλεκτρική ενέργεια και ισοδυναμεί περίπου με τη κατανάλωση ενέργειας 600 σπιτιών. Μερικές εκ των ενεργειακών αυτών απαιτήσεων, όπως φάνηκε από τη καταγραφή δεδομένων από τουλάχιστον 100 παγοδρόμια, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα, με τα διαφορετικά ενεργειακά συστήματα να χρειάζονται και διαφορετικά ποσά ενέργειας. Όπως φαίνεται, 43% της ενέργειας απαιτείται για τη ψύξη με το μεγαλύτερο μέρος αυτής να καταναλώνεται από τον συμπιεστή, 26% για τη θέρμανση, 10% για το φωτισμό, 9% για τους ανεμιστήρες εξαερισμού, 6% για την αφύγρανση και 6% για άλλες ενεργειακές απαιτήσεις.⁸³ Ειδικότερα, η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος ψύξης εξαρτάται από τα διάφορα θερμικά φορτία στην επιφάνεια του πάγου. Κατά τη διαδικασία συντήρησης του πάγου για παράδειγμα χρησιμοποιούνται μηχανήματα για την εξομάλυνση και την αποκατάσταση της επιφανειακής στρώσης του πάγου, που αναφέρονται συνήθως και με την ονομασία «Zamboni». Τα μηχανήματα αυτά χρησιμοποιούν 300-500 λίτρα νερού ανά στρώση σε θερμοκρασίες 30-50°C, με αποτέλεσμα το ζεστό νερό που προστίθεται στην επιφάνεια του πάγου να αυξάνει το θερμικό φορτίο στο σύστημα ψύξης, έχοντας έτσι μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Το 26 % των συνολικών απαιτήσεων ενέργειας, κυρίως για τα κλειστού τύπου παγοδρόμια, αποτελεί η θέρμανση, όπου η προσαρμογή και η διατήρηση μιας άνετης για τον αθλητή ή θεατή θερμοκρασίας του αέρα είναι υψίστης σημασίας, ενώ ενδέχεται να επηρεάσει το φορτίο ψύξης.



Σχήμα 2. Απαιτήσεις ενέργειας σε ένα τυπικό τεχνητό παγοδρόμιο

Στη μελέτη αυτή βρέθηκε επίσης ότι η ρύθμιση της χωρητικότητας των αντλιών για τα ψυκτικά μέσα δύναται να οδηγήσει σε εξοικονόμηση 21 MWh ετησίως, ενώ το ήμισυ του ποσού θερμότητας που απαιτείται μπορεί να αντικατασταθεί με ανάκτηση θερμότητας καθώς και ο φωτισμός με ενεργειακά αποδοτικότερα και νεότερα συστήματα. Συνολικά, δύναται να εξασφαλίσουμε εξοικονόμηση ενέργειας 218 MWh ετησίως ή 18% της ενέργειας που χρησιμοποιείται.⁸³

Όπως παρατηρείται λοιπόν οι ανάγκες ενέργειας σε ένα παγοδρόμιο είναι αυξημένες. Τα μεγάλα ποσά κατανάλωσης ενέργειας επιδρούν αρνητικά στο περιβάλλον, κυρίως λόγω των μεθόδων με των οποίων παράγεται η ενέργεια, των αερίων που εκπέμπονται, αλλά και των φυσικά διαθέσιμων πόρων που καταναλώνονται. Συνηθέστερη μέθοδος για τη παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας, όπως ηλεκτρική και θερμική, αποτελεί η καύση ορυκτών καυσίμων και προϊόντων τους, όπως για παράδειγμα ο άνθρακας (λιγνίτης, γαιάνθρακες, κλπ.), το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Κατά την αντίδραση της καύσης, οι αντιδράσεις του άνθρακα και του υδρογόνου με το οξυγόνο του αέρα για τη παραγωγή CO₂ και H₂O είναι εξώθερμες, με αποτέλεσμα να παράγεται ενέργεια με τη μορφή θερμότητας και φωτεινής ακτινοβολίας. Μέρος της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται ως θερμική ενέργεια ή μετατρέπεται σε άλλη μορφή. Τα αέρια που εκπέμπονται κατά τη καύση είναι διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), υδρατμοί (H₂O), οξείδιο του αζώτου (NO_x) (μείγμα NO και NO₂) και διοξείδιο του θείου (SO₂). Οι εκπομπές CO₂ κατά τη λειτουργία των σταθμών παραγωγής ενέργειας εξαρτώνται από τη φύση του ορυκτού καυσίμου και από την απόδοση καύσης (combustion efficiency) της μονάδας παραγωγής ενέργειας, αποτελούν ωστόσο το κύριο αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στη κλιματική αλλαγή, την υπερθέρμανση του πλανήτη και την αύξηση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως τυφώνες, ξηρασίες και καύσωνες. Σύμφωνα με την υπηρεσία προστασία

του περιβάλλοντος τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τα παγοδρόμια ισούνται με αυτά που εκπέμπονται από 110000 αυτοκίνητα ετησίως.

Τα οξείδια αζώτου και το διοξείδιο του θείου που εκπέμπονται αποτελούν αέριους ρύπους, υπεύθυνους για το σχηματισμό της αιθαλομίχλης και της όξινης βροχής, οι οποίες επιφέρουν καταστρεπτικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, τη βλάστηση και τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η αιθαλομίχλη είναι μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, προέρχεται από τη καύση στερεών καυσίμων και αποτελείται από σωματίδια αιθάλης και διοξείδιο του θείου, το οποίο σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικό. Ο όρος όξινη βροχή ή όξινη ρυποφόρα κατακρήμνιση αναφέρεται στην παρουσία διαλυμένων αέριων ρύπων με όξινη συμπεριφορά.

Επιπλέον, η εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων απαιτεί συνήθως εξορύξεις μεγάλης κλίμακας γεγονός που καταστρέφει τα φυσικά τοπία και συχνά οδηγεί στην απομάκρυνση της άγριας ζωής. Στην περίπτωση, μάλιστα, που χρησιμοποιείται πετρέλαιο ως ορυκτό καύσιμο, τυχόν διαρροές που δύναται να υπάρξουν κατά την εξόρυξη, τη μεταφορά και τη διύλιση του μπορούν να βλάψουν τα θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα. Εκτός αυτού τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι απεριόριστα, είναι μη ανανεώσιμοι πόροι και η αλόγιστη εξόρυξη τους αυξάνει τις περιβαλλοντικές ανησυχίες για την εξάντληση τους. Τέλος, σημαντικές κρίνονται και οι επιπτώσεις από τη κατασκευή εργοστασίων ηλεκτροπαραγωγής. Η κατασκευή για παράδειγμα αιολικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (αιολικών πάρκων) με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών ή φραγμάτων σε εργοστάσια υδροηλεκτρικής ενέργειας διαταράσσει τους τοπικούς οικοτόπους, απειλώντας τη βιοποικιλότητα. Τα μεγάλα ποσά νερού που απαιτούνται για τη ψύξη στα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής επιστρέφονται στα υδάτινα οικοσυστήματα μετά τη χρήση τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες, συμβάλλοντας επίσης στη διατάραξη των τοπικών οικοσυστημάτων.



Εικόνα 36. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα παγοδρόμια

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η ολίσθηση στον πάγο και οι παγοδρομίες εξελίχθηκαν πολύ γρήγορα σε μια αθλητική και άκρως διασκεδαστική δραστηριότητα για άτομα όλων των ηλικιών, συμβάλλοντας έτσι στην βελτίωση της σωματικής αλλά και της ψυχικής υγείας, προάγοντας παράλληλα την κοινωνικότητα και την επαφή με το περιβάλλον και την ομορφιά της φύσης. Στο πλαίσιο αυτό, η διαρκής ζήτηση και η ανάγκη ύπαρξης κατάλληλων χώρων για την διεξαγωγή των χειμερινών αυτών αθλημάτων καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, ακόμη και σε περιοχές όπου το κλίμα και οι θερμοκρασίες που επικρατούν δεν είναι ευνοϊκές, οδήγησε στην δημιουργία όλο και περισσότερων τεχνητών παγοδρομίων με ενσωματωμένα συστήματα ψύξης και χρήση ψυκτικών μέσων και μηχανών επιφανειακής επίστρωσης του πάγου.

Ωστόσο, είναι φανερό ότι τα παγοδρόμια και ειδικότερα τα συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούνται σε αυτά, έχουν αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, κυρίως λόγω της χρήσης των ψυκτικών μέσων που συμβάλλουν στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου αλλά και των υψηλών ποσών κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεκριμένα, η υπερβολική χρήση ψυκτικών μέσων συνδέθηκε με τη καταστροφή του στρώματος του όζοντος, την υπερθέρμανση του πλανήτη και την επικείμενη κλιματική αλλαγή, γεγονός που οδήγησε στην έρευνα και αναζήτηση φιλικότερων προς το περιβάλλον ψυκτικών μέσων. Σε πολλές χώρες έχει ήδη απαγορευτεί η χρήση μεγάλων ποσοτήτων αμμωνίας, ακόμη και αν αποτελούσε την αποδοτικότερη λύση ως προς την κατανάλωση ενέργειας και της ποιότητας του παραγόμενου πάγου. Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον έχει στραφεί στο διοξείδιο του άνθρακα, ως μη τοξικό, μη εύφλεκτο φυσικό αέριο, με μηδενικό δείκτη καταστροφής του στρώματος του όζοντος (ODP) και χαμηλή δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP), ενώ έχει αποδειχθεί ότι έχει τις χαμηλότερες εκπομπές αερίου του θερμοκηπίου αλλά και χαμηλή συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Επιπλέον, για τον μετριασμό των αρνητικών αυτών επιπτώσεων θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ενεργειακά αποδοτικότερες τεχνολογίες και συστήματα, καθώς και μια διαφορετική προσέγγιση στη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ενεργειακή απόδοση είναι απαραίτητη η εφαρμογή ενός συνδυασμού διαφορετικών μέτρων, πρακτικών και συντηρήσεων. Μπορούμε να εξοικονομήσουμε δηλαδή ενέργεια σε ένα σύστημα ψύξης μεταβάλλοντας για παράδειγμα την θερμοκρασία, τα επίπεδα υγρασίας του χώρου, τη διαδικασία συντήρησης της επιφανειακής στρώσης του πάγου ή τον υπάρχων εξοπλισμό. Τα παγοδρόμια απαιτούν ταυτόχρονα ενέργεια και για τη ψύξη και για τη θέρμανση, με τα μέτρα που θα ληφθούν για την μείωση κατανάλωσης του ενός να επηρεάζουν συχνά την κατανάλωση ενέργειας και του άλλου. Μεταβάλλοντας και ρυθμίζοντας λιγότερο για παράδειγμα τη θερμοκρασία του αέρα σε ένα παγοδρόμιο κλειστού τύπου καταφέρνουμε να μειώσουμε το ποσό ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση του χώρου, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται πιο αργή τήξη του πάγου και χαμηλότερο φορτίο ψύξης. Η θερμοκρασία του αέρα σε ένα παγοδρόμιο ρυθμίζεται συνήθως στους 13-16 °C ή 55-60 F, ενώ με μείωση στους 4 °C ή 40 F επιτυγχάνουμε 25-50% εξοικονόμηση ενέργειας. Ένας ακόμη τρόπος εξοικονόμησης

ενέργειας είναι η βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων φωτισμού. Μειώνοντας την ένταση του φωτισμού ανάλογα βέβαια και με τη δραστηριότητα ή το άθλημα μειώνεται το φορτίο ψύξης και εξοικονομείται ηλεκτρική ενέργεια, ενώ η εγκατάσταση αισθητήρων κίνησης στους υπόλοιπους χώρους του παγοδρομίου, όπως σε αποθηκευτικούς χώρους, γραφεία και τουαλέτες μπορεί να εξοικονομήσει από 30% έως 75% της απαιτούμενης για το φωτισμό ενέργειας. Η αντικατάσταση των συμβατικών πηγών φωτός με LED συστήματα φωτισμού (Δίοδος εκπομπής φωτός) αποτελεί εξίσου καλή λύση, καθώς εκτός από το μειωμένο κόστος παρουσιάζει υψηλότερη απόδοση, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (25000 – 50000 ώρες), μειώνει τη κατανάλωση ενέργειας έως και 95% και δεν εκπέμπει υψηλές θερμοκρασίες.^{84,85}

Η απενεργοποίηση της μονάδας ψύξης κατά τη διάρκεια της νύχτας αποτελεί επίσης έναν αποτελεσματικό τρόπο. Απενεργοποιώντας τη λειτουργία της αντλίας άλμης και ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του χώρου στους 2 °C ή 35 F, εξοικονομείται ενέργεια ενώ ο πάγος την επόμενη μέρα είναι πιο μαλακός και συνεπώς πιο εύκολα διαχειρίσιμος κατά τη συντήρηση και εξομάλυνση του, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής και μειώνοντας το κόστος συντήρησης του εξοπλισμού συντήρησης. Ειδικότερα, στις μηχανές που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση της επιφανειακής επίστρωσης του πάγου θα μπορούσαν να εγκατασταθούν συστήματα αυτόματης πλήρωσης νερού ώστε να αποφευχθεί τυχόν υπερχειλίση και σπατάλη του νερού, χωρίς να χρειάζεται οι εργαζόμενοι να κλείσουν το μηχανήμα. Επιπλέον, το νερό που χρησιμοποιείται στα μηχανήματα αυτά είναι συνήθως ζεστό νερό, τεχνική που εφαρμόζεται προκειμένου να αφαιρεθούν τυχόν φυσαλίδες αέρος, καθώς όσο περισσότερες ακαθαρσίες όπως φυσαλίδες ή μέταλλα εμπεριέχονται σε αυτό, τόσο πιο κρύο πρέπει να είναι πριν παγώσει και έτσι τόσο περισσότερη ενέργεια χρειάζεται για να μειώσει τη θερμοκρασία του, προκύπτοντας παράλληλα πάγος χαμηλότερης ποιότητας. Προκειμένου ωστόσο να αποφύγουμε την αύξηση του θερμικού φορτίου στο σύστημα ψύξης που συνεπάγεται η εφαρμογή του ζεστού νερού στην επιφάνεια του πάγου, είναι απαραίτητοι εκσυγχρονισμοί και αναβαθμίσεις, όπως για παράδειγμα η επεξεργασία του νερού μέσω της εγκατάστασης «αντλιών Vortex» που δημιουργούν ουσιαστικά μια δίνη που απορροφά τις φυσαλίδες αέρος από το νερό, επιτυγχάνοντας έτσι το πάγωμα του νερού σε υψηλότερες θερμοκρασίες ενώ θα πάρουμε σκληρότερο πάγο καλύτερης ποιότητας.⁸⁴ Είναι επίσης σημαντικό να βελτιστοποιηθεί το πάχος της επιφάνειας του πάγου ώστε ο ψυκτικός μηχανισμός να μην σπαταλήσει άσκοπα ενέργεια, αλλά να διατηρηθεί αρκετά παχύς ώστε να μπορέσει να υποστηρίξει το βάρος των σκέιτερς και να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες. Το βέλτιστο πάχος της επιφάνειας του πάγου κυμαίνεται μεταξύ 7 και 8 cm. Για παραπάνω μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα ανάκτησης θερμότητας, επιτυγχάνοντας συνολική εξοικονόμηση έως και 75%. Ειδικότερα έχει υπολογιστεί ότι περισσότερο από 2000 KW θερμότητας παράγονται κατά τη δημιουργία της παγωμένης επιφάνειας του παγοδρομίου κατά τη διάρκεια μίας ημέρας, ενέργεια αρκετή για την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών ενός παγοδρομίου σε θερμότητα. Με την θερμική ενέργεια αυτή θα μπορούσαν για παράδειγμα να θερμανθούν οι χώροι, το νερό που θα χρησιμοποιηθεί, ενώ δύναται να αξιοποιήσουμε την ενέργεια αυτή για την τήξη του πάγου και την προθέρμανση του εξωτερικού αέρα για τα συστήματα εξαερισμού.



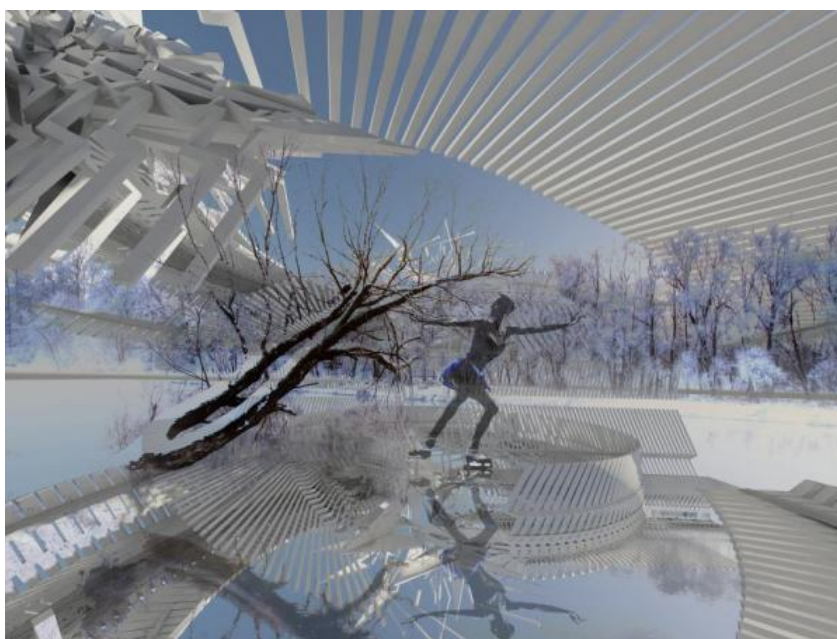
Εικόνα 37. Φωτοβολταϊκό παγοδρόμιο στο Καμτσάτσκι της Ρωσίας από την Margot Krasojevic Architects

Επιπλέον, με την ενσωμάτωση και χρήση κινητήρων ρυθμιζόμενης ταχύτητας (ASD) μπορεί να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, εφόσον οι κινητήρες δεν λειτουργούν συνεχώς στη μέγιστη ταχύτητα. Πρόκειται για συσκευές που ελέγχουν και προσαρμόζουν την ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων της αντλίας, των συμπιεστών και των ανεμιστήρων ανάλογα με τις απαιτήσεις της διεργασίας, επιτυγχάνοντας έτσι μέχρι και 50% εξοικονόμηση ενέργειας.^{84,86}

Τέλος στα παγοδρόμια κλειστού τύπου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά υλικά ή αντανακλαστικά χρώματα και να γίνουν τροποποιήσεις στην οροφή με τέτοιο τρόπο ώστε η θερμότητα να μην εγκλωβίζεται στο χώρο του παγοδρομίου, εξοικονομώντας έως 80% της ακτινοβολούμενης θερμότητας ή 24% του συνολικού φορτίου ψύξης, ενώ η τοποθέτηση μόνωσης κάτω από την παγωμένη επιφάνεια εξασφαλίζει τη λιγότερη απώλεια θερμότητας στο κάτω μέρος του παγοδρομίου.^{84,87}

Εφαρμόζοντας στοχευμένα κάποιο από τα παραπάνω μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας ή συνδυασμό αυτών μπορούμε να μειώσουμε τη κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς να μετριάσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μια εξίσου αποδοτική και βιώσιμη λύση θα μπορούσε να αποτελεί η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική, η ενέργεια του ήλιου, η υδροθερμική, η ενέργεια των ωκεανών, η ενέργεια που προέρχεται από τη βιομάζα και η γεωθερμική ενέργεια, με σημαντικά λιγότερες περιβαλλοντικές επιδράσεις σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Ιδιαίτερα στην εποχή μας, όπου οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη αισθητές σε ολόκληρο τον κόσμο και προβλέπεται να γίνουν εντονότερες μέσα στις επόμενες δεκαετίες, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μειώσει τη προσθήκη αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται κατά τη καύση των ορυκτών καυσίμων, αποτελώντας έτσι μια φιλική προς το περιβάλλον λύση που από πολλούς θεωρείται και ως αφετηρία για την αντιμετώπιση των οικολογικών ζητημάτων στον πλανήτη. Άλλωστε πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, αξιοποιώντας τις μειώνεται η εξάρτηση από τους υπό εξάντληση ενεργειακούς πόρους, ενώ δεν χρειάζεται κάποια εξόρυξη καθώς εκμεταλλευόμαστε την ήδη υπάρχουσα ροή της ενέργειας στη φύση. Ένα παράδειγμα καλής εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών αποτελεί το παγοδρόμιο «Liquid Skating Photovoltaic Ice Skating Rink», παγοδρόμιο που βρίσκεται σε φυσική λίμνη στη χερσόνησο Καμτσάτκα στην Ρωσία, σε μια περιοχή γνωστή για τη φυσική της ομορφιά λόγω των φυσικών της θερμών πηγών και των ηφαιστειακών εδαφών. Πρόκειται για ένα υπαίθριο «πράσινο

παγοδρόμιο» χόκεϊ που σχεδιάστηκε από την αρχιτέκτονα Margot Krasojevic και χρησιμοποιεί την ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια προκειμένου να διατηρήσει παγωμένη την επιφάνεια για όλο το χρόνο. Η μέση θερμοκρασία τον χειμώνα είναι -6°C ή 20°F , γεγονός που παρότι η λίμνη εκτίθεται σε έντονο φως την ημέρα διασφαλίζει τη διατήρηση της θερμοκρασίας του πάγου. Αναπτύχθηκε έτσι ένα σύστημα, φιλικό προς το περιβάλλον και χωρίς τη χρήση ψυκτικών μέσων ή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που επέτρεψε τη διατήρηση των θερμοκρασιών του πάγου ακόμη και για τις θερμότερες ημέρες. Φωτοβολταϊκά κύτταρα που βρίσκονται τοποθετημένα σε ραβδωτό θόλο επάνω από το παγοδρόμιο συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και εφόσον απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας αποτρέπουν το λιώσιμο του πάγου. Η ενέργεια αυτή που δεσμεύεται μαζί με τη ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από γεωθερμικές τουρμπίνες που βρίσκονται στις κοντινές θερμικές πηγές μπορεί να ανακυκλωθεί μέσω του δικτύου και να αξιοποιηθεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας της παγωμένης επιφάνειας. Επιπλέον, το ενεργειακό αυτό σύστημα σχεδιάστηκε να τροφοδοτεί και έναν πρωτοποριακό ηλιακό κινηματογράφο, όπου η εγκατάσταση ενός προβολέα στο θόλο δύναται να εμφανίζει φιλμ στην παγωμένη επιφάνεια του παγοδρομίου.^{88,89}



Εικόνα 38. Φωτοβολταϊκό παγοδρόμιο

Συμπερασματικά, τα παγοδρόμια αποτελούν εγκαταστάσεις με μεγάλα και ενεργοβόρα συστήματα ψύξης, που απαιτούν σωστή διαχείριση της ενέργειας, καθώς με την εφαρμογή στοχευμένων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας δύναται να μειωθεί σημαντικά το ενεργειακό κόστος και οι επιβλαβείς για το περιβάλλον συνέπειες, διατηρώντας ωστόσο μια υψηλής ποιότητας εμπειρία για τους αθλητές και χρήστες. Παρότι το κόστος της αρχικής επένδυσης, αλλά και το συνεχές κόστος συντήρησης είναι υψηλό, η δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ποιότητας και θερμοκρασίας της επιφάνειας του πάγου καθιστούν τα συστήματα αυτά υψίστης σημασίας ιδιαίτερα σε περιοχές όπου είναι αδύνατος ο

σχηματισμός πάγου για παγοδρομίες, ενώ με την ενσωμάτωση όλο και περισσότερο καινοτόμων συστημάτων και την υιοθέτηση αποδοτικότερων και πιο βιώσιμων τεχνολογιών καθίσταται εφικτή η μείωση του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Westall, F.; Brack, A., The Importance of Water for Life. *Space Science Reviews* **2018**, 214 (2).
2. West, J. B., Henry Cavendish (1731-1810): hydrogen, carbon dioxide, water, and weighing the world. *American journal of physiology. Lung cellular and molecular physiology* **2014**, 307 (1), L1-6.
3. Earle, S., *Physical Geology*. 2nd Edition ed.; 2015.
4. Johanna Laybourn-Parry, M. T., Andrew J. Hodson, *The Ecology of Snow and Ice Environments*. Oxford University Press: 2012.
5. PETROVIC, J. J., Mechanical properties of ice and snow. *Journal of materials science* **2003**, 38, 1-6.
6. Thorsten Bartels-Rausch, V. B., Julyan H. E. Cartwright, Rafael Escribano, John L. Finney, Hinrich Grothe, Pedro J. Gutiérrez, Jari Haapala, Werner F. Kuhs, Jan B. C. Pettersson, Stephen D. Price, C. Ignacio Sainz-Díaz, Debbie J. Stokes, Giovanni Strazzulla, Erik S. Thomson, Hauke Trinks, Nevin Uras-Aytemiz, Ice structures, patterns, and processes: A view across the ice-fields. *REVIEWS OF MODERN PHYSICS* **2012**.
7. Libbrecht, K. G., The physics of snow crystals. *Reports on Progress in Physics* **2005**, 68 (4), 855-895.
8. Libbrecht, K. G., The Formation of Snow Crystals: subtle molecular processes govern the growth of a remarkable variety of elaborate ice structures. *American Scientist* **2007**, 95, 52-59.
9. *Water: A Comprehensive Treatise*. 1972; Vol. 1: The Physics and Physical Chemistry of Water, Chapter: The Properties of Ice.
10. K.B. Fard, I. B. S., Properties of water, carbon dioxide, and nitrogen ices in planetary surface environments. *Icarus* **2024**, 410.
11. Schulson, E. M. I. M. P. R. M. i. M. S. a. M. E. d. b.-.-.-.-x., Ice: Mechanical Properties\$. *Elsevier* **2016**, (Reference Module in Materials Science and Materials Engineering).
12. Leonid A. Dombrovsky, A. A. K., SPECTRAL OPTICAL PROPERTIES OF PURE ICE AND SNOW. **2021**.
13. Warren, S. G., Optical properties of ice and snow. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* **2019**, 377 (2146), 20180161.
14. Stillman, D. E. G., R. E., Electrical Properties of Ice and Implications for Solar System Exploration. In *Lunar and Planetary Science XXXIX*, League City, Texas, 2008.
15. EVANS, S., DIELECTRIC PROPERTIES OF ICE AND SNOW- A REVIEW. *Glaciology, Cambridge University Press* **2017**.
16. Petrenko, V. F., *Electrical Properties of Ice*. 1993.
17. Borchers, A.; Pieler, T., Programming pluripotent precursor cells derived from *Xenopus* embryos to generate specific tissues and organs. *Genes* **2010**, 1 (3), 413-26.
18. Kurnitski, J.; Pomerancevs, J.; Rogstam, J.; Līckrastiņa, A.; Kalamees, T., Moisture handling mechanisms in ice rinks. *E3S Web of Conferences* **2020**, 172, 10010.

19. Poirier, L.; Lozowski, E. P.; Thompson, R. I., Ice hardness in winter sports. *Cold Regions Science and Technology* **2011**, 67 (3), 129-134.
20. BERENDS, E., NATURAL WORKING FLUIDS IN ARTIFICIAL SKATING RINKS *Refrigeration Division* **2006**.
21. Maccario, L.; Sanguino, L.; Vogel, T. M.; Larose, C., Snow and ice ecosystems: not so extreme. *Research in microbiology* **2015**, 166 (10), 782-95.
22. Dursun, O. B.; Erhan, S. E.; Ibis, E. O.; Esin, I. S.; Keles, S.; Sirinkan, A.; Yoruk, O.; Acar, E.; Beyhun, N. E., The effect of ice skating on psychological well-being and sleep quality of children with visual or hearing impairment. *Disability and rehabilitation* **2015**, 37 (9), 783-9.
23. Lynch, B. K., Ice Skating (Figure Skating) 101: A Lifelong Fitness Activity! *Strategies* **2021**, 34 (4), 19-27.
24. Mervyn Horgan, S. L., Amanda Dakin, Sofia Meligrana and Meng Xu, A Shared Everyday Ethic of Public Sociability: Outdoor Public Ice Rinks as Spaces for Encounter. *Urban Planning* **2020**, 5 (4).
25. Zhang, G.-B. W. X.-R., *CO2 Refrigeration Cycles and Systems for Ice Rinks and Snowmaking*. 2023.
26. Rezaee, V.; Houshmand, A., Feasibility Study Of Maisotsenko Indirect Evaporative Air Cooling Cycle In Iran. *GeoScience Engineering* **2015**, 61 (2), 23-36.
27. Rizki Muliawan, A. A. A., Tandi Sutandi, Nurrohman Nurrohman, Cooling System Performance Comparison of Refrigerant R-134a and MC-134 on Ice Slush Machine. *FLYWHEEL Jurnal Teknik Mesin Untirta* **2021**.
28. Ligeng Li, K. L., Hua Tian, Jinwen Cai, Christos N Markides, Jingyu Wang, Lingfeng Shi, Xuan Wang, Yitai Ma, Xingyu Liang, Gequn Shu A low-carbon CO2 ice rink technology for the Winter Olympics. *Elsevier* **2023**, (Science Bulletin).
29. Zhenying Zhang, S. W., Meiyuan Yang, Kai Gong and Yanhua Chen, Parametric Evaluation of Cooling Pipe in Direct Evaporation Artificial Ice Rink. *MDPI* **2022**.
30. Zachariassen, K. E.; Kristiansen, E., Ice nucleation and antinucleation in nature. *Cryobiology* **2000**, 41 (4), 257-79.
31. Lukas, M.; Schwidetzky, R.; Eufemio, R. J.; Bonn, M.; Meister, K., Toward Understanding Bacterial Ice Nucleation. *The journal of physical chemistry. B* **2022**, 126 (9), 1861-1867.
32. Schnell, G. V. a. R. C., Looking Back: An Account of How Ice Nucleation by Bacteria Was Discovered (1963 to about Mid-1980s). Part I: The Basics. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2024**.
33. Roeters, S. J.; Golbek, T. W.; Bregnhøj, M.; Drace, T.; Alamdari, S.; Roseboom, W.; Kramer, G.; Santl-Temkiv, T.; Finster, K.; Pfaendtner, J.; Woutersen, S.; Boesen, T.; Weidner, T., Ice-nucleating proteins are activated by low temperatures to control the structure of interfacial water. *Nature communications* **2021**, 12 (1), 1183.
34. Joyce, R. E.; Lavender, H.; Farrar, J.; Werth, J. T.; Weber, C. F.; D'Andrilli, J.; Vaitilingom, M.; Christner, B. C., Biological Ice-Nucleating Particles Deposited Year-Round in Subtropical Precipitation. *Applied and environmental microbiology* **2019**, 85 (23).

35. Morris, C. E.; Georgakopoulos, D. G.; Sands, D. C., Ice nucleation active bacteria and their potential role in precipitation. *Journal de Physique IV (Proceedings)* **2004**, 121, 87-103.
36. Polen, M.; Lawlis, E.; Sullivan, R. C., The unstable ice nucleation properties of Snomax® bacterial particles. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2016**, 121 (19).

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

37. <https://www.translatum.gr/forum/index.php?topic=156947.0>
38. <https://www.toppr.com/guides/chemistry/hydrogen/water/>
39. <https://www.australianenvironmentaleducation.com.au/education-resources/what-is-water/>
40. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth>
41. <https://microbenotes.com/water/>
42. https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Map%3A_A_Raven_Biology_12th_Edition/02%3A_The_Nature_of_Molecules_and_the_Properties_of_Water/2.05%3A_Properties_of_Water
43. <https://biologyreader.com/physical-state-of-water.html>
44. <https://chemistrytalk.org/properties-water-physical-chemical/>
45. <https://scienceinfo.com/amazing-properties-of-water/>
46. <https://www.britannica.com/science/water/Physical-properties>
47. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/water-cycle>
48. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/freshwater/water-cycle>
49. <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/how-weather-works/water-cycle>
50. <https://www.cedengineering.com/userfiles/Hydrology%201%20-%20Precipitation%20R1.pdf>
51. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/ice>
52. <https://polarpedia.eu/el/%CF%80%CE%AC%CE%B3%CE%BF%CF%82/>
53. <https://www.newscientist.com/article/dn18949-the-history-of-ice-on-earth/>
54. <https://www.livescience.com/64444-ice-formations.html>
55. <https://www.britannica.com/science/water/Structures-of-ice>
56. <https://www.britannica.com/science/ice/The-ice-crystal>
57. <https://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/ice/ice.htm>
58. <http://www.cas.manchester.ac.uk/resactivities/cloudphysics/topics/formation/>
59. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_EN/SEMHE7TWLUG_0.html
60. <https://www.britannica.com/science/ice/The-ice-crystal>
61. <https://kwinksyntheticice.com/synthetic-ice-vs-artificial-ice/>
62. <https://www.glicerink.com/synthetic-ice-vs-real-ice/>
63. <https://www.chartindustries.com/Articles/Ice-Rinks-Refrigeration-On-A-Big-Scale>
64. <https://hellas-now.com/anakalypsan-archaia-pagopedila-osta-zoon-ilikias-ano-ton/>
65. <https://www.travelandleisure.com/trip-ideas/winter-vacations/natural-ice-rinks>
66. <https://www.nationalgeographic.com/travel/article/it-really-is-like-flying-explore-wild-skating-on-natures-ice>
67. <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-explained/keeping-rink-on-ice>
68. <https://www.icearena.gr/istoriko-pagodromion/>
69. <http://www.skatelog.com/regions/countries/greece/venues/ice-rinks/>
70. <https://icenskate.gr/pagodromio-mosxatoy/>
71. <https://hamptoncourtplaceicerink.co.uk/blog/health-benefits-of-ice-skating/>
72. https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/SSK/Wirtschaftsfaktor_Wintersport-engl.pdf?__blob=publicationFile&v=1
73. <https://www.harn.co.th/articles/understand-principles-of-cooling-system/>

74. <https://www.ironleek.com/Cooling-Information>
75. <https://www.acrlatinoamerica.com/en/2020030517898/articles/commercial-and-industrial-refrigeration/indirect-cooling-systems.html>
76. <https://xn--snkompetanse-wjb.no/wp-content/uploads/2020/06/Temperature-independent-snow-production.pdf?fbclid=IwAR2F7rqtWmytSk6Xl4FRZkbbS8UCfyvUKiApbBP36C4Sr-JDV3wKXZ-0CTg>
77. <https://www.downtoearth.org.in/interviews/david-sands-on-bacterias-role-in-rainfall--4439>
78. <https://www.icemax.info/>
79. <https://www.highsidechem.com/product/ice-max-ice-machine-cleaner/>
80. <https://annex.exploratorium.edu/hockey/ice3.html>
81. <https://zamboni.com/about/how-it-works/>
82. <https://www.eesi.org/articles/view/as-winter-olympics-heat-up-ice-rinks-can-exemplify-climate-policy-in-action>
83. http://www.stoppsladd.se/Slutrapport_Stoppsladd_fas_1.pdf
84. <https://esource.bizenergyadvisor.com/article/ice-rinks>
85. <https://sehpreveza.gr/%CE%BB%CE%AC%CE%BC%CF%80%CE%B5%CF%82-led-%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%83%CE%B5-%CF%84%CE%B9-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AD%CF%81%CE%BF%CF%85%CE%BD-%CE%B1%CF%80/>
86. <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/adjustable-speed-drive-part-load-efficiency>
87. <https://www.ice-world.com/knowledge-center/7-energy-saving-tips-for-your-ice-rink/>
88. <https://inhabitat.com/russian-ice-skating-rink-doubles-as-a-solar-powered-outdoor-cinema-and-geothermal-spa/>
89. <https://www.cladglobal.com/architecture-design-news?codeID=331077>
90. <https://www.coloradocollege.edu/academics/dept/obe/documents/FYE-Crested-Butte-2017-FINAL-public.pdf#page=73>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:

<https://enallaktikidراسي.com/wp-content/uploads/2013/05/1-19.jpg>

<https://psyktes.gr/blog/wp-content/uploads/2018/11/h2o-water.jpg>

Εικόνα 2:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmedlabgr.blogspot.com%2F2012%2F01%2Fblog-](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmedlabgr.blogspot.com%2F2012%2F01%2Fblog-post_22.html&psig=AOvVaw1fg1vIcl2WUME_Wli5Udd_&ust=1718439169418000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCNDO8vfS2oYDFQAAAAAdAAAAABAE)

[post_22.html&psig=AOvVaw1fg1vIcl2WUME_Wli5Udd_&ust=1718439169418000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCNDO8vfS2oYDFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmedlabgr.blogspot.com%2F2012%2F01%2Fblog-post_22.html&psig=AOvVaw1fg1vIcl2WUME_Wli5Udd_&ust=1718439169418000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCNDO8vfS2oYDFQAAAAAdAAAAABAE)

Εικόνα 3:

<https://www.toppr.com/guides/chemistry/hydrogen/water/>

Εικόνα 4:

https://chem.noesis.edu.gr/sites/default/files/inline-images/temp_states.jpg

Εικόνα 5:

https://www.veluda.com/assets/pages/main_15f63-water-cycle.jpg

Εικόνα 6:

<https://www.swfwmd.state.fl.us/residents/education/h2o-zone/the-water-cycle>

Εικόνα 7:

[https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRs_Kozli_4XfFAuwV8L-](https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRs_Kozli_4XfFAuwV8L-ElicTpockZ24IE4UzdqRYWASjULAKQ)

Εικόνα 8:

https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT9Dv6ZbeYiU32Hx5Paeb5Uvg_y6GK470yuFpkvwD9Pe8HgnQFv

Εικόνα 9:

https://resources.koha.net/images/2022/February/15/273692370_1435211070231226_6368313222806188151_n1644916312.jpg?q=90&w=860&h=550&r=fill

Εικόνα 10:

https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR-6iRdxB_7QE1U2mkuhrDDeqJB8Q3dyI1AeDocjs48eB8yPNxa

Εικόνα 11:

https://pub.mdpi-res.com/crystals/crystals-10-00040/article_deploy/html/images/crystals-10-00040-g001.png?1580934173

Εικόνα 12:

https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSExhCshJJ7KcrBR8Nf-q0iYa1iZcDtHHk025XUVet9hWo_-SBZ

Εικόνα 13:

<https://www.self.com/story/ice-skating-change-thanks-new-tech-development>

Εικόνα 14:

<https://argus-dog.gr/husky/>

Εικόνα 15:

https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/32/e3sconf_nsb2020_10010.pdf

Εικόνα 16:

<https://thingstolucat.com/nordic-skate/>

Εικόνα 17:

<https://gripped.com/gripped-outdoors/adventures-with-b-lake-louise-skating-and-backcountry-skate-tips/>

Εικόνα 18:

<https://calma-acoustics.gr/public/assets/images/products/mappyfiber-flat/mappyfiber-flat-1611847179.jpg>

Εικόνα 19:

<https://www.newsbeast.gr/image/s320x/file/files/1/2013/12/09/ice2.jpg>

Εικόνα 20:

https://lh5.googleusercontent.com/p/AF1QipNq4h4ZMuqoOHxLBPPYVYGkJnt4kQy1xc_pmmrD=w360-h240-n-k-no

Εικόνα 21:

https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRP0owjcInq0EgxsxLP-zmPpRUycdrOWicS0Teh-81S-f419_KX

Εικόνα 22:

<https://www.icearena.gr/wp-content/uploads/2020/01/marina-floisvou-xristougena-web.jpg>

Εικόνα 23:

<https://www.shutterstock.com/image-vector/greece-map-green-color-on-260nw-2143252117.jpg>

Εικόνα 24:

<https://www.protagon.gr/wp-content/uploads/2022/06/ice1.jpg>

Εικόνα 25:

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQAhG0FBCK60k1R60AeZZpiFfv1ivyNNc8JLw&s>

Εικόνα 26:

<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTFXWiqeSbes9RSNi8lFkGvdOQ5r5syXc-PHxxvLcX5JDL239AG>

Εικόνα 27:

https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR741WQ8mZq2tG6FWMGddw-D2HE7fYmfxgLga15Y6A_N_avhb5l

Εικόνα 28:

<https://www.chartindustries.com/Articles/Ice-Rinks-Refrigeration-On-A-Big-Scale>

Εικόνα 29:

https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT639G1wSgcpHY-eckciqNpnOH0l4y6BSoeZ2L12UFE_0YVRgqh

Εικόνα 30:

https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTwxOvAwHuf2PyaX3TGwxfaetOmRtO68BAKp_J__T8wFducvfU

Εικόνα 31:

<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSOF4EHSp-Vb14wiqz5AzTe06QfPBMGPRgoSrS-wJ5FdB4kpq8Y>

Εικόνα 32:

<https://www.snomax.com/product.html>

Εικόνα 33:

<https://zamboni.com/wp-content/uploads/2011/08/ModelA-564x300.jpg>

Εικόνα 34:

<https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQLtjwmK4rFlF4UGJyvdjsxpwl5PLssCilQEOsJcNaztLMHqOHh>

Εικόνα 35:

https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQlcrNHT7sQH-WUiOGofSDClw2EijwUI-n5_BYwtjwAMdGImdfK

Εικόνα 36:

<https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQkEVaN6oEaUrNJRuydvVJfhmv04FLWGvuWrYfZx9Fkw9qqo8ba>

Εικόνα 37:

<https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS68nxyDHoqKJZ-UUQuNHgGZDg2irfcdZjWOHT5bvbOKndFx24G>

Εικόνα 38:

https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcToYyRHd5jEpicBsvMTidlT8_4aeeGB7mnJgyUgPtSti9ZzleNu

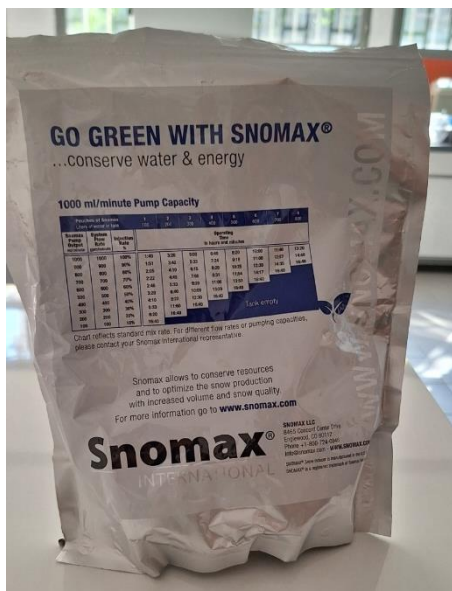
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εργαστηριακό Πείραμα:

Η επίδραση του Snomax στην δημιουργία κρυστάλλων πάγου

Υλικά:

- Εκκινητής σχηματισμού χιονιού Snomax LLC (χωρητικότητα αντλίας 1000 ml/minute)
- Υγρή παραφίνη (Paraffin Oil) της εταιρείας Paragel Oil
- Βιοαιθανόλη
- Εμφιαλωμένο νερό ΣΕΛΙ (pH 7.5) της εταιρείας Σ. ΜΕΝΤΕΚΙΔΗΣ Α.Ε.



Εικόνα 39. Snomax



Εικόνα 40. Υλικά και όργανα που χρησιμοποιήθηκαν: 1.Πιπέτα ακριβείας 20 μ L, 2. Tips πιπέτας, 3.Υγρή παραφίνη, 4. Δοχείο αλουμινίου, 5. Εμφιαλωμένο νερό, 6. Falcon, 7.Snomax

Προετοιμασία δειγμάτων και πειραματικές διατάξεις των οργάνων:

Για την σύνθεση των υλικών χρησιμοποιήσαμε τις ακόλουθες εργαστηριακές συσκευές:

- Αναδευτήρας Vortex Mixer της εταιρείας Stuart
- Θερμοστάτης ψύξης και θέρμανσης Lauda Ecoline RE120
- Ζυγός ακριβείας

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν:

- 2 Falcon 50 ml
- Πιπέτα ακριβείας 20 μ L και tips
- Δοχείο αλουμινίου



Εικόνα 41. Αναδευτήρας Vortex mixer Stuart



Εικόνα 42. Θερμοστάτης ψύξης και θέρμανσης Lauda Ecoline RE120

Πειραματική Διαδικασία:

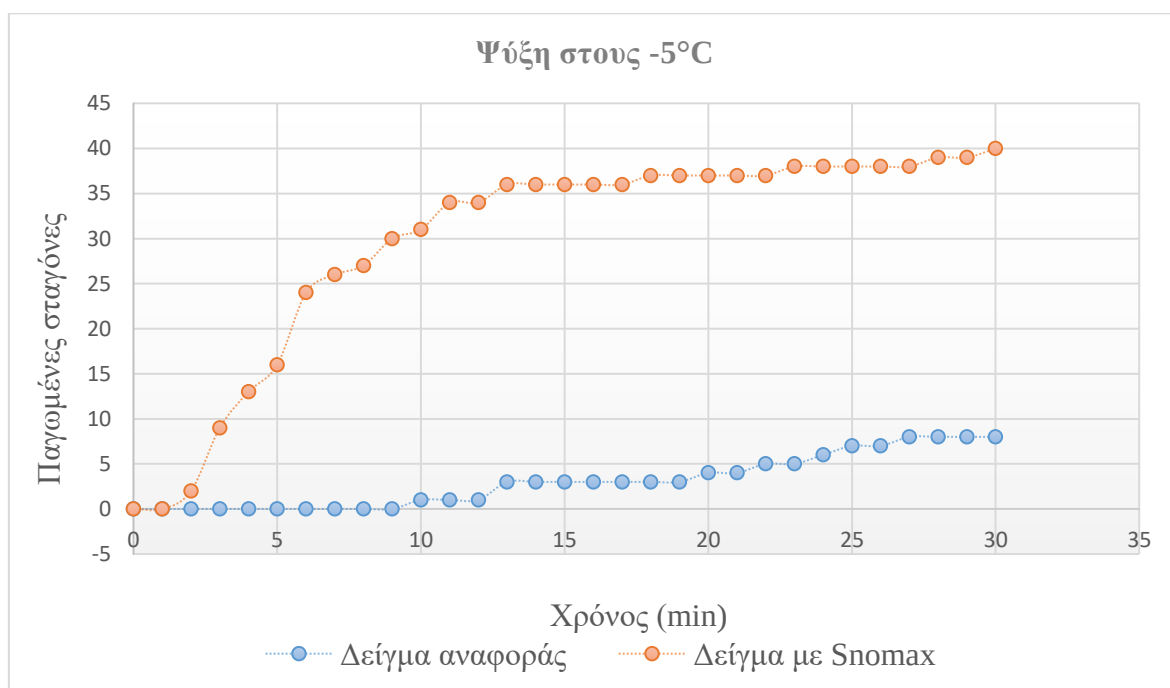
Αρχικά εισάγουμε 10 L βιοαιθανόλης στο λουτρό του θερμοστάτη ψύξης Lauda Ecoline RE120 και αφήνουμε μέχρι η θερμοκρασία να προσεγγίσει από τη θερμοκρασία δωματίου ($\sim 20.8^{\circ}\text{C}$) τους -5°C . Διαβρέχουμε αλουμινένιο δοχείο με μικρή ποσότητα από την υγρή παραφίνη (Paraffin Oil). Ετοιμάζουμε το δείγμα μας προσθέτοντας 0.103 g Snomax σε 40 ml εμφιαλωμένο νερό ΣΕΛΙ που έχουμε τοποθετήσει σε falcon των 50 ml και αναδεύουμε με τη χρήση vortex μέχρις ότου διαλυθούν όλοι οι κόκκοι. Σε διαφορετικό falcon των 50 ml, προσθέτουμε ίδια ποσότητα εμφιαλωμένου νερού (40 ml) από το ίδιο σφραγισμένο μπουκάλι (δείγμα αναφοράς). Αποθηκεύουμε τα δείγματα στο ψυγείο μέχρι ο θερμοστάτης ψύξης να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία (χρειάζεται περίπου 3 ώρες). Ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία στους -5°C στον θερμοστάτη ψύξης και τοποθετούμε με τη χρήση πιπέτας ακριβείας στο ίδιο αλουμινένιο δοχείο 40 σταγόνες των 20 μL από το δείγμα αναφοράς και 40 σταγόνες από το δείγμα που εμπεριέχει Snomax, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Τοποθετούμε το δοχείο στο λουτρό του οργάνου ψύξης και μετράμε τις παγωμένες σταγόνες, καθώς και το χρόνο που χρειάστηκε για τη δημιουργία των κρυστάλλων πάγου. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1. Ρυθμός δημιουργίας κρυστάλλων πάγου στους -5°C

Χρόνος t (min)	Παγωμένες σταγόνες από δείγμα αναφοράς (control)	Παγωμένες σταγόνες από δείγμα με Snomax
0	0	0
1	0	0
2	0	2
3	0	9
4	0	13
5	0	16
6	0	24
7	0	26
8	0	27
9	0	30
10	1	31
11	1	34
12	1	34
13	3	36
14	3	36
15	3	36
16	3	36
17	3	36
18	3	37
19	3	37

20	4	37
21	4	37
22	5	37
23	5	38
24	6	38
25	7	38
26	7	38
27	8	38
28	8	39
29	8	39
30	8	40

Οι μετρήσεις που λήφθηκαν αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



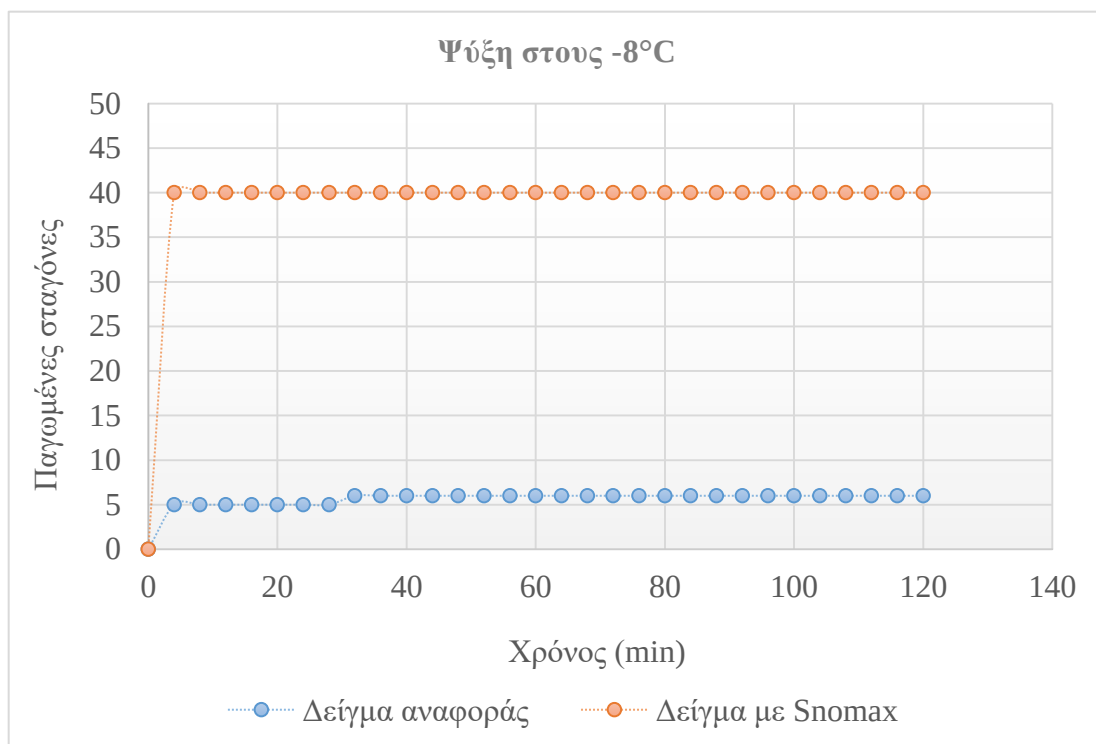
Σχήμα 3. Διάγραμμα παγωμένων σταγόνων στους -5°C συναρτήσει του χρόνου

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για τους -8°C . Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2. Ρυθμός δημιουργίας κρυστάλλων πάγου στους -8°C

Χρόνος t (sec)	Παγωμένες σταγόνες από δείγμα αναφοράς (control)	Παγωμένες σταγόνες από δείγμα με Snomax
0	0	0
4	5	40
8	5	40
12	5	40
16	5	40
20	5	40
24	5	40
28	5	40
32	6	40
36	6	40
40	6	40
44	6	40
48	6	40
52	6	40
56	6	40
60	6	40
64	6	40
68	6	40
72	6	40
76	6	40
80	6	40
84	6	40
88	6	40
92	6	40
96	6	40
100	6	40
104	6	40
108	6	40
112	6	40
116	6	40
120	6	40

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετρήσεις που λήφθηκαν για τους -8°C .



Σχήμα 4. Διάγραμμα παγωμένων σταγόνων στους -8°C συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 43. Εικόνες από τη διεξαγωγή του πειράματος στους -5°C αριστερά και στους -8°C δεξιά, σε χρόνο 30 λεπτά και σε 2 λεπτά αντίστοιχα. Στο αριστερό μέρος κάθε εικόνας φαίνονται οι σταγόνες από το δείγμα που εμπεριέχει την πρωτεΐνη Snomax, ενώ δεξιά σταγόνες από το δείγμα αναφοράς

Παρατηρήσεις-Συζήτηση:

Το παραπάνω πείραμα υλοποιήθηκε στο εργαστήριο Βιοτεχνολογίας του Καθ. Αναστασόπουλου Ηλία του τμήματος Περιβάλλοντος που Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Από τη διεξαγωγή του παραπάνω πειράματος διαπιστώθηκε και εξακριβώθηκε η καθοριστική δράση των εμπορικών σκευασμάτων παγοπυρηνωτικών παραγόντων, όπως το Snomax, στην δημιουργία κρυστάλλων πάγου. Ειδικότερα, στους -5°C , παρατηρήσαμε ότι σταδιακά από το δεύτερο κιόλας λεπτό ξεκίνησαν να παγώνουν οι σταγόνες του δείγματος που εμπεριείχε την πρωτεΐνη Snomax. Μάλιστα από τα 15 πρώτα λεπτά είχαν παγώσει όλες περίπου οι σταγόνες διαλύματος νερού-Snomax (36-38), ενώ χρειάστηκαν μόλις 30 λεπτά για να παγώσουν όλες. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η ανάπτυξη των κρυστάλλων είναι εκθετική συναρτήσει του χρόνου. Αντίθετα, στην περίπτωση που δεν είχαμε την πρωτεΐνη Snomax χρειάστηκαν δέκα λεπτά για να ξεκινήσει να παγώνει η πρώτη σταγόνα, ενώ μέσα σε μισή ώρα είχαν παγώσει μόνο 8 σταγόνες νερού. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις σταγόνες που πάγωσαν από το δείγμα αναφοράς, στο παρατηρούμενο διάστημα, βρισκόταν πολύ κοντά στις σταγόνες που εμπεριείχαν την πρωτεΐνη, οπότε ενδεχομένως να επηρεάστηκαν από αυτές. Επομένως θα ήταν παράλειψη να μην συμπεριλάβουμε και το ενδεχόμενο σφάλματος, την τυπική δηλαδή απόκλιση. Ομοίως, για την περίπτωση των -8°C , παρατηρήσαμε ότι ξεκίνησαν να δημιουργούνται πολύ πιο γρήγορα κρύσταλλοι πάγου λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας. Από τα πρώτα 4 δευτερόλεπτα είχαν παγώσει και οι 40 σταγόνες του δείγματος νερού-Snomax, ενώ στην περίπτωση που δεν είχαμε Snomax μετά το πέρας 2 λεπτών είχαν παγώσει μόνο 6 σταγόνες νερού, 3 εκ των οποίων βρισκόταν επίσης κοντά στις σταγόνες του άλλου δείγματος. Συμπερασματικά, όπως φάνηκε, το Snomax όταν προστίθεται στο νερό, επιταχύνει κατά πολύ την ανάπτυξη κρυστάλλων πάγου και συνεπώς την παραγωγή πάγου ή χιονιού, για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κατά κόρον σήμερα στα περισσότερα παγοδρόμια και χιονοδρομικά κέντρα.