

ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

# ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ

ΘΕΜΑ: ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΜΠΕΛΑΣΩΒ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ

Α.Γ.Μ: 4124

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 16.05.2019

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας: 03.07.2020

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<i>1</i>	ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ Κ. ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ	<b>ΦΥΣΙΚΟΣ</b> ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΟΣ		
<i>2</i>	ΤΣΟΥΛΗΣ Ν. ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ	<b>ΠΛΟΙΑΡΧΟΣ</b>		
<i>3</i>				
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ</b>				

**Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :**

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	6
Πρόλογος .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ .....	8
1.1. Παράδειγμα ευστάθειας αέρα .....	8
1.2. Αιτία αστάθειας.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	11
2.1. Σταθερή ατμόσφαιρα .....	11
2.2. Παράδειγμα ανάλυσης της σταθερότητας σε σχέση με τη ρύπανση .....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.....	16
4.1. Αισθητή θερμότητα.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	18
5.1. Θεωρία του Kohler.....	18
5.2. Συμπύκνωση στην ατμόσφαιρα .....	19
5.3. Εξίσωση Kelvin .....	20
5.4. Συμπύκνωση κοντά στο έδαφος.....	21
5.5. Γιατί σχηματίζονται σύννεφα και γιατί βρέχει; .....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΝΝΕΦΟΛΟΓΙΑ-ΤΥΠΟΙ ΝΕΦΩΝ .....	22
6.1. Cumulonimbus .....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ.....	27
7.1. Μονοκυτταρικές, πολυκυτταρικές και υπερκυτταρικές καταιγίδες.....	28
7.1.1. Μονοκυτταρική καταιγίδα .....	28
7.1.2. Πολυκύτταρα συμπλέγματα (Cluster Storms) .....	28
7.2. Πολύκυτταρική γραμμή καταιγίδα .....	29
7.3. Υπερκυτταρική καταιγίδα (Supercell Storm) .....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΜΕΣΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ .....	31
8.1. Δορυφορικά δεδομένα .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

8.2. Υπερυπολογιστές .....	33
8.3. AWIPS .....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΡΑΝΤΑΡ .....	34
9.1. Ραντάρ Doppler.....	34
9.2. Παρατηρήσεις επιφάνειας.....	35
9.3. Μετεωρολογικά μηνύματα METAR-SYNOP-SPECI.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΚΩΔΙΚΑΣ METAR.....	36
10.1. Παράδειγμα Metar .....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΚΩΔΙΚΑΣ SYNOP .....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΒΑΙΣΑΛΑ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ.....	40
13.1. Παγκόσμια μοντέλα πρόβλεψης καταιγίδων και άλλων φαινομένων .....	40
13.1.1. ECMWF (Ευρωπαϊκό Κέντρο μετεωρολογικών προβλέψεων μεσαίου εύρους) .....	40
13.1.2. GFS (Το παγκόσμιο σύστημα προβλέψεων) .....	41
13.1.3. ICON (Παγκόσμιο γερμανικό πρότυπο).....	41
13.1.4. UM (Ηνωμένο Βασίλειο Met Office) .....	42
13.1.5. CFS (Σύστημα Πρόβλεψης Κλίματος) .....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14. ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ .....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15. ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ .....	45
15.1. Πλημμύρες .....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΧΙΟΝΙΟΥ.....	47
16.1. Χιόνι στην ατμόσφαιρα.....	47
16.2. Χιόνι στο έδαφος .....	48
16.3. Διαφορές ανάμεσα σε χιόνι και χαλάζι.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17. ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ BERGERON .....	50
17.1 Διαδικασία πυρήνωσης .....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18. ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΑΣΤΡΑΠΩΝ.....	52
18.1. Περιορισμοί.....	53

18.2. Σύστημα AcuRite.....	53
18.3. Ανιχνευτές αστραπής και ραντάρ καιρού .....	54
Βιβλιογραφία .....	54

## Περίληψη

Τα νέφη, ο τρόπος δημιουργίας τους, τα είδη τους έχουν τραβήξει την προσοχή πολλών ειδικών και μη, με το πέρασμα των χρόνων. Η επιστήμη της νεφολογίας έχει πολλούς θαυμαστές, προφανώς λόγω της επίδρασης που έχουν τα σύννεφα στον άνθρωπο και στην καθημερινότητα του. Παρακάτω λοιπόν θα αναλυθεί η φύση, ο τρόπος σχηματισμού τους, οι ταξινομήσεις τους αλλά και το πιο σημαντικό νέφος από όλα το Cumulonimbus, το σύννεφο δηλαδή που δημιουργεί τις καταιγίδες. Οι τρόποι/μέσα ανίχνευσής τους αλλά και μελέτης των καταιγίδων είναι ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα και γι' αυτό και θα αναφερθούν επίσης. Θα σχολιαστούν επιπλέον έννοιες όπως η λανθάνουσα θερμότητα, οι αδιαβατικές μεταβολές και η συμπύκνωση, οι οποίες παίζουν μεγάλο ρόλο στην δημιουργία νεφών αλλά και γενικότερα στην ατμόσφαιρα. Τέλος, θα αναλυθούν διάφορα φαινόμενα μέσης κλίμακας όπως οι πλημμύρες καθώς είναι αυτά που συνήθως ταλανίζουν την ανθρωπότητα σε συνεργασία με τα φαινόμενα μικρής κλίμακας.

## Πρόλογος

Το πόνημα που ακολουθεί αποτελεί Πτυχιακή εργασία με τίτλο «Φυσική των Νεφών και Φαινόμενα Μέσης Κλίμακας». Συντάχθηκε στα πλαίσια πλήρωσης των προβλεπόμενων προϋποθέσεων, για την απόκτηση πτυχίου από την Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού με έδρα την Μακεδονία. Η ανάληψη αυτής ορίστηκε τον Μάιο του ακαδημαϊκού έτους 2019 κατά το Δ εξάμηνο σπουδών υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας κας Ρωσσιάδου Κωνσταντίας ενώ ακολουθήσε η ολοκλήρωση της εντός του προβλεπόμενου από το Υ.Ν.Α.Ν.Π. –του οποίου είναι η Α.Ε.Ν. Μακεδονίας παράρτημα– το επόμενο έτος.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Στη μετεωρολογία με τον όρο ευστάθεια ατμόσφαιρας νοούνται οι συνθήκες κατά τις οποίες η κανονική τιμή της βαροβαθμίδας αλλά και της θερμοβαθμίδας δεν διεγείρονται, δηλαδή δεν υπάρχουν μεταφορές αερίων μαζών. Βαροβαθμίδα είναι ο λόγος τη διαφοράς της ατμοσφαιρικής πίεσης ανάμεσα σε δύο τόπους προς την ευθεία απόσταση των τόπων αυτών. Μεταξύ δύο χώρων υπάρχει άπνοια όταν η βαροβαθμίδα μεταξύ τους έχει τιμή ίση με το 0. Θερμοβαθμίδα από την άλλη είναι η μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος στην τροπόσφαιρα.

Ευσταθής λοιπόν, ονομάζεται ο αέρας όταν η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας του είναι μικρότερη των  $0,64^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ . Η ονομασία αυτή δόθηκε επειδή η αναλογία αυτή αποκλείει τη δημιουργία κατακόρυφης μεταφοράς(ανοδικών ρευμάτων).

Θερμοκρασιακή αναστροφή, που αποτελεί συνθήκη εξαιρετικής ευστάθειας, ονομάζουμε όταν πιο θερμός αέρας βρίσκεται πάνω από πιο ψυχρό αέρα στην τροπόσφαιρα, δηλαδή η θερμοκρασία αυξάνει με το ύψος. Συνήθως συμβαίνει το αντίθετο, ο αέρας γίνεται πιο κρύος όσο ανερχόμαστε στην τροπόσφαιρα με αποτέλεσμα να είναι θερμότερος στα κατώτερα στρώματα και πιο ψυχρός στα ανώτερα. Το παραπάνω ισχύει όταν δεν υπάρχουν αίτια που να προκαλούν την ανάμιξη θερμού και ψυχρού αέρα.

Η ευστάθεια (ή η ατμοσφαιρική σταθερότητα) αναφέρεται στην τάση του αέρα είτε να ανεβαίνει και να δημιουργεί καταιγίδες (αστάθεια), είτε να αντιστέκεται στην κάθετη κίνηση (σταθερότητα).

[1]

### 1.1 Παράδειγμα ευστάθειας αέρα

Ο απλούστερος τρόπος για να γίνει κατανοητό πώς λειτουργεί η ευστάθεια είναι να φανταστεί κανείς μία μάζα αέρα που έχει ένα λεπτό, εύκαμπτο κάλυμμα, που μπορεί να διαστέλλεται και να συστέλλεται, αλλά εμποδίζει τον αέρα του να αναμιχθεί με τον περιβάλλοντα αέρα, όπως ισχύει με ένα μπαλόνι . Οπότε, παίρνουμε το μπαλόνι και το αναγκάζουμε να ανέβει στην ατμόσφαιρα. Δεδομένου ότι η πίεση του αέρα μειώνεται με το υψόμετρο, το μπαλόνι θα διασταλλεί και ως εκ τούτου η θερμοκρασία του θα μειωθεί. Εάν το δέμα ήταν πιο δροσερό από τον περιβάλλοντα αέρα, θα ήταν βαρύτερο (αφού ο δροσερός αέρας είναι πυκνότερος από τον ζεστό αέρα). και αν του



επιτρεπόταν, θα βυθιζόταν πίσω στο έδαφος. Ο αέρας αυτού του τύπου λέγεται ότι είναι σταθερός-ευσταθής.

Από την άλλη πλευρά, αν το μπαλόνι σηκωνόταν και ο αέρας μέσα του ήταν θερμότερος, και ως εκ τούτου, λιγότερο πυκνός από τον περιβάλλοντα αέρα του, θα συνέχιζε να ανεβαίνει μέχρι να φτάσει σε ένα σημείο όπου η θερμοκρασία του και η θερμοκρασία του περιβάλλοντός του θα ήταν ίσες. Αυτός ο τύπος αέρα ταξινομείται ως ασταθής.

Αλλά οι μετεωρολόγοι δεν χρειάζεται να παρακολουθούν τη συμπεριφορά ενός μπαλονιού κάθε φορά που θέλουν να γνωρίζουν την ατμοσφαιρική σταθερότητα. Μπορούν να φτάσουν στην ίδια απάντηση, μετρώντας την πραγματική θερμοκρασία του αέρα σε διάφορα ύψη. Αυτό το μέτρο ονομάζεται περιβαλλοντικός ρυθμός απώλειας.

Εάν ο περιβαλλοντικός ρυθμός απώλειας είναι απότομος τότε η ατμόσφαιρα είναι ασταθής. Αλλά εάν όμως είναι μικρός, που σημαίνει ότι υπάρχει σχετικά μικρή αλλαγή στη θερμοκρασία, είναι μια καλή ένδειξη μιας σταθερής ατμόσφαιρας. Οι πιο σταθερές συνθήκες εμφανίζονται κατά τη διάρκεια μιας αναστροφής θερμοκρασίας, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται (αντί να μειώνεται) με το ύψος.

Στην ατμοσφαιρική αστάθεια, όπου η ατμόσφαιρα της Γης θεωρείται γενικά ασταθής, ο καιρός υπόκειται σε υψηλό βαθμό μεταβλητότητας μέσω της απόστασης και του χρόνου. Η ατμοσφαιρική σταθερότητα είναι ένα μέτρο της τάσης της ατμόσφαιρας να αποθαρρύνει ή να αποτρέπει κάθετη κίνηση και η κάθετη κίνηση σχετίζεται άμεσα με διαφορετικούς τύπους καιρικών συστημάτων. Σε ασταθείς συνθήκες, μία ανυψωμένη αέρια μάζα θα είναι πιο ζεστή από τον περιβάλλοντα αέρα σε υψόμετρο. Επειδή είναι πιο ζεστή, είναι λιγότερο πυκνή και είναι επιρρεπής σε περαιτέρω ανάβαση.

[2]

Στη μετεωρολογία, η αστάθεια μπορεί να περιγραφεί από διάφορους δείκτες, όπως ο δείκτης Bulk Richardson, ο ανυψωμένος δείκτης, ο δείκτης K, η διαθέσιμη δυναμική ενέργεια μεταφοράς (CAPE), το Showalter και τα κατακόρυφα σύνολα. Αυτοί οι δείκτες, καθώς και η ίδια η ατμοσφαιρική αστάθεια, περιλαμβάνουν αλλαγές θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα με το ύψος ή ρυθμό λήξης. Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής αστάθειας στις υγρές ατμόσφαιρες περιλαμβάνουν ανάπτυξη καταιγίδας, η οποία πάνω από τους θερμούς ωκεανούς μπορεί να οδηγήσει σε τροπική κυκλογένεση και αναταράξεις. Σε ξηρή ατμόσφαιρα, μπορούν να σχηματιστούν αντικατοπτρισμοί, ανεμοστρόβιλοι σκόνης, αμού καθώς και ανεμοστρόβιλοι φωτιάς. Οι σταθερές ατμόσφαιρες μπορούν να συσχετιστούν με ψιλόβροχο, ομίχλη, αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση και έλλειψη στροβιλισμού.

## 1.2 Αιτία αστάθειας

Το αν η ατμόσφαιρα έχει σταθερότητα εξαρτάται εν μέρει από την υγρασία. Σε μια πολύ ξηρή τροπόσφαιρα, μια μείωση της θερμοκρασίας μικρότερης των  $9,8^{\circ}\text{C}$  ανά χιλιόμετρο δείχνει σταθερότητα, ενώ οι μεγαλύτερες αλλαγές δείχνουν αστάθεια. Αυτός ο ρυθμός μεταβολής είναι γνωστός ως ο ξηρός αδιαβατικός ρυθμός μεταβολής. Σε μια εντελώς υγρή τροπόσφαιρα, μια μείωση της θερμοκρασίας μικρότερη από  $6^{\circ}\text{C}$  ανά χιλιόμετρο δείχνει σταθερότητα, ενώ οι μεγαλύτερες αλλαγές δείχνουν αστάθεια. Στο διάστημα μεταξύ  $6^{\circ}\text{C}$  και  $9.8^{\circ}\text{C}$  μείωσης θερμοκρασίας ανά χιλιόμετρο, ο όρος "ασταθής" χρησιμοποιείται επίσης. [3]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

### 2.1 Σταθερή ατμόσφαιρα

Σε σταθερές συνθήκες, σε μια καθαρή και ήρεμη νύχτα, οι ρύποι θα παγιδευτούν κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Το ψιλόβροχο συμβαίνει σε μάζα υγρού αέρα όταν είναι σταθερή. Ο αέρας μέσα σε ένα σταθερό στρώμα δεν είναι τυρβώδης. Συνθήκες που σχετίζονται με ένα θαλάσσιο στρώμα, μια σταθερή ατμόσφαιρα, κοντά σε ρεύματα κρύου νερού, οδηγούν σε ομίχλη και πρωινή ομίχλη. Διαταραχές μπορούν να σχηματιστούν όταν ένα σύστημα χαμηλού ύψους όπως ένα κρύο μέτωπο πλησιάζει ένα στρώμα κρύου, σταθερού αέρα. Η διαταραχή που δημιουργείται στην ατμόσφαιρα προκαλεί μια κίνηση που μοιάζει με κύμα, γνωστή ως κύμα βαρύτητας. Παρόλο που τα κύματα εμφανίζονται ως ζώνες σύννεφων κατά μήκος του ουρανού, είναι εγκάρσια κύματα και ωθούνται από τη μεταφορά ενέργειας από μια επερχόμενη καταιγίδα και διαμορφώνονται από τη βαρύτητα. Η εμφάνιση αυτού του κύματος, που μοιάζει με κυματισμούς, περιγράφεται ως μια διαταραχή στο νερό όταν ένα βότσαλο πέφτει σε μια λίμνη ή όταν ένα κινούμενο σκάφος δημιουργεί κύματα στο νερό. Το αντικείμενο μετατοπίζει το νερό ή το μέσο που διανύει το κύμα και το μέσο κινείται προς τα πάνω. Ωστόσο, λόγω της βαρύτητας, το νερό ή το μέσο τραβιέται προς τα πίσω και η επανάληψη αυτού του κύκλου δημιουργεί την κίνηση των εγκάρσιων κυμάτων.

Μέσα σε ένα ασταθές στρώμα στην τροπόσφαιρα, η ανύψωση των αερίων μαζών θα πραγματοποιηθεί και θα συνεχιστεί για όσο διάστημα η ατμόσφαιρα γύρω τους παραμένει ασταθής. Τα βαθιά ρεύματα συναγωγής οδηγούν σε ανάπτυξη καταιγίδας όταν υπάρχει αρκετή υγρασία. Πάνω από τα ζεστά νερά του ωκεανού, μια τέτοια καταιγίδα μπορεί να αναπτυχθεί και να εξελιχθεί σε τροπικό κυκλώνα. Σε ζεστές επιφάνειες κατά τη διάρκεια ζεστών ημερών, ο ασταθής ξηρός αέρας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική διάθλαση του φωτός μέσα στο στρώμα του αέρα, το οποίο προκαλεί κατώτερους καπνούς. [4]

### 2.2 Παράδειγμα ανάλυσης της σταθερότητας σε σχέση με τη ρύπανση

Μιλώντας για τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας, συνήθως υποθέτουμε ότι το περιβάλλον είναι στατικό και ότι η θερμοκρασία αλλάζει σε οποιοδήποτε ύψος αργά. Αντίθετα, η θερμοκρασία του όγκου του αέρα που αυξάνεται ή μειώνεται μπορεί να αλλάξει γρήγορα.

Συζητώντας τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας, εξετάσαμε έναν περιορισμένο όγκο αέρα (άνοδος ή πτώση). Ένας τέτοιος όγκος μπορεί να ερμηνευθεί ως κάποιο είδος δίνης. Όταν τέτοιες στροφές κινούνται πάνω ή κάτω, ο αέρας που τις σχηματίζει διατηρεί τους ίδιους δείκτες που είχε στο αρχικό ύψος.

Κατά τη διάρκεια πυρκαγιών, μεγάλη ποσότητα προϊόντων καύσης εισέρχεται στην ατμόσφαιρα - αιθάλη, διοξείδιο του άνθρακα κ.λπ. Τα αποτελέσματά τους είναι πολύ διαφορετικά. Σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις, λόγω του καπνού στην ατμόσφαιρα, η άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης θα εξασθενήσει έντονα (2-150 φορές). Αυτό θα επιβραδύνει τη φωτοσύνθεση και θα ξεκινήσει η ψύξη του αέρα. Από την άλλη πλευρά, η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από σωματίδια αιθάλης θα οδηγήσει σε θέρμανση της ίδιας της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα η ατμοσφαιρική στατική σταθερότητα να αυξηθεί απότομα. Αυτό θα αποδυναμώσει σημαντικά την ανταλλαγή θερμότητας και υγρασίας της ατμόσφαιρας με την επιφάνεια του εδάφους, αλλά μπορεί να βελτιώσει την ανταλλαγή θερμότητας και υγρασίας του ωκεανού με την χαμηλότερη ατμόσφαιρα. Η θερμοκρασία του ωκεανού δεν θα αλλάξει πολύ λόγω της μεγάλης θερμικής αδράνειας, ακόμη και του ανώτερου μικτού στρώματος νερού των 100 μέτρων. Αλλά λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του όγκου της ατμόσφαιρας, θα ευνοηθεί ο σχηματισμός χαμηλών νεφών και βροχοπτώσεων πάνω από τον ωκεανό. Επομένως, είναι δυνατόν να μειωθεί η βροχόπτωση στην ξηρά, η οποία θα επιβραδύνει την έκπλυση προϊόντων καύσης και η συννεφιά της ατμόσφαιρας θα διαρκέσει περισσότερο από το συνηθισμένο.

Στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας η επίδραση της υποκείμενης επιφάνειας στην κατανομή των μετεωρολογικών στοιχείων εκδηλώνεται σαφώς. Το ύψος του οριακού στρώματος είναι κατά μέσο όρο περίπου 1000 m, αλλά υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο εύρος. Είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο πιο έντονη είναι η αναταραχή και συνεπώς αυξάνεται με την αύξηση του ανέμου και τη μείωση της ατμοσφαιρικής σταθερότητας. Στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας, πραγματοποιείται η πληρέστερη ανάμειξη ακαθαρσιών από πηγές ρύπανσης. [5]

Είναι γνωστό ότι η ατμόσφαιρα είναι μερικές φορές σταθερή, μερικές φορές ασταθής και μερικές φορές ούτε το ένα ούτε το άλλο. Στην τελευταία περίπτωση, λέγεται ότι η ατμόσφαιρα είναι ουδέτερη. Σε μια σταθερή ατμόσφαιρα, ένας ορισμένος όγκος αέρα, ο οποίος έχει λάβει μετατόπιση από την αρχική του θέση σε ύψος, τείνει να επιστρέψει. Η αιτία της ανύψωσης μπορεί να είναι, για παράδειγμα, η αναταραχή, την οποία αναφέραμε παραπάνω.

Δεδομένου ότι η κατάσταση της ατμοσφαιρικής ευστάθειας καθορίζεται ουσιαστικά από την ένταση των κάθετων ροών μεταφοράς, μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ακόμη και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η χαρακτηριστική κατανομή της ατμοσφαιρικής ευστάθειας κατά τη διάρκεια της

ημέρας (για μεσαία γεωγραφικά πλάτη) φαίνεται στις διαφορετικές εποχές του έτους. Όπως φαίνεται, η κατανομή των διαφόρων καταστάσεων ατμοσφαιρικής ευστάθειας στις «κρύες» και «ζεστές» εποχές είναι πολύ διαφορετική. Έτσι, στις «κρύες» εποχές κυριαρχεί η ουδέτερη και σταθερή ατμόσφαιρα και στις «θερμές» εποχές: σταθερή τη νύχτα και ασταθής κατά τη διάρκεια της ημέρας .

Με πολύ ασθενή αέρα και σταθερή ατμόσφαιρα, παρατηρείται ροή ανεμιστήρα. Ο καπνός παραμένει σε πολύ λεπτή στρώση, σταδιακά διαλύεται στην εγκάρσια κατεύθυνση καθώς ο άνεμος τον μεταφέρει μακριά από την καμινάδα και παίρνει τη μορφή ανεμιστήρα. Οι συνθήκες για την εμφάνιση μιας ροής ανεμιστήρων δημιουργούνται συχνότερα τη νύχτα και νωρίς το πρωί, όταν προκύπτει ψύξη της γης κοντά στην επιφάνεια της από τη γήινη ακτινοβολία .

Η κατανομή θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα με το υψόμετρο ονομάζεται ατμοσφαιρική διαστρωμάτωση. Η σταθερότητα της ατμόσφαιρας εξαρτάται από τη διαστρωμάτωση, δηλαδή την ικανότητα μετακίνησης ορισμένων όγκων αέρα στην κατακόρυφη κατεύθυνση. Τέτοιες κινήσεις μεγάλων όγκων αέρα συμβαίνουν σχεδόν χωρίς ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον, δηλ. αδιαβατικά (θα αναλυθεί λεπτομερειακά παρακάτω). Αυτό αλλάζει την πίεση και τη θερμοκρασία του κινούμενου όγκου αέρα. Εάν ο όγκος του αέρα κινείται προς τα πάνω, τότε περνά σε στρώματα με λιγότερη πίεση και επεκτείνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία του. Όταν χαμηλώνει ο αέρας, εμφανίζεται η αντίστροφη διαδικασία. [6]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

Αδιαβατική μεταβολή ενός αερίου είναι η μεταβολή που συμβαίνει σε ένα αέριο χωρίς τη μεταφορά θερμότητας από και προς το περιβάλλον του. Σε αντίθεση με μια ισοθερμική μεταβολή, στην αδιαβατική μεταφέρεται ενέργεια στο περιβάλλον μόνο ως έργο. Αποτελεί επίσης τη θεωρία για να εξηγηθεί ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής και ως εκ τούτου είναι μια βασική θερμοδυναμική έννοια.

Ορισμένες χημικές και φυσικές διεργασίες συμβαίνουν πολύ γρήγορα, ώστε η ενέργεια να εισέλθει ή να εγκαταλείψει το αέριο ως θερμότητα, επιτρέποντας μια βολική "αδιαβατική προσέγγιση". Για παράδειγμα, στην αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας χρησιμοποιείται αυτή η προσέγγιση για να υπολογιστεί το ανώτατο όριο θερμοκρασίας της φλόγας, υποθέτοντας ότι η καύση δεν χάνει καθόλου θερμότητα προς στο περιβάλλον της.

Οι αδιαβατικές μεταβολές χωρίζονται σε αδιαβατικές ψύξεις και αδιαβατικές συμπίεσεις/θερμάνσεις. Η συμπίκνωση ενός αερίου προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του. Αντίθετα η διαστολή μιας μάζας αέρος στην ατμόσφαιρα προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας του.

Η αδιαβατική θέρμανση και ψύξη είναι συχνή σε ατμοσφαιρικά ρεύματα μεταφοράς. Στην αδιαβατική θέρμανση και ψύξη δεν υπάρχει καθαρή μεταφορά μάζας ή θερμικής ανταλλαγής μεταξύ του συστήματος (π.χ. όγκος αέρα) και του περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια, η αλλαγή της θερμοκρασίας της μάζας του αέρα οφείλεται σε εσωτερικές αλλαγές. [7]

Στην αδιαβατική ψύξη, όταν αυξάνεται μια μάζα αέρα (όπως συμβαίνει όταν κινείται ο αέρας ανηφορικά σε μια οροσειρά) αντιμετωπίζει μειωμένη ατμοσφαιρική πίεση με αυξανόμενη ανύψωση. Η μάζα του αέρα διαστέλλεται μέχρι να φτάσει την ισορροπία πίεσης με το εξωτερικό περιβάλλον. Η επέκταση οδηγεί σε ψύξη της μάζας του.

Στην αδιαβατική θέρμανση, καθώς η μάζα του αέρα κατεβαίνει στην ατμόσφαιρα (όπως συμβαίνει όταν κινείται κατηφορικά σε μια οροσειρά) ο αέρας αντιμετωπίζει αυξανόμενη ατμοσφαιρική πίεση. Η συμπίεση της μάζας αέρα συνοδεύεται από την αύξηση της θερμοκρασίας.

Επειδή ο θερμότερος αέρας είναι λιγότερο πυκνός από τον ψυχρότερο αέρα, ο θερμότερος αέρας ανυψώνεται. Ομοίως, ο υγρός αέρας είναι επίσης ελαφρύτερος από τον λιγότερο υγρό αέρα. Το νερό, που αποτελείται από στοιχεία οξυγόνου και υδρογόνου, είναι ελαφρύτερο από τα κυρίαρχα

ατμοσφαιρικά στοιχεία οξυγόνου και αζώτου. Για το λόγο αυτό, ο θερμός υγρός αέρας ανεβαίνει και συμβάλλει στην ατμοσφαιρική αστάθεια.

Στις χαμηλότερες περιοχές της ατμόσφαιρας (σε υψόμετρο περίπου 12.192 μ), η θερμοκρασία μειώνεται ανάλογα με το υψόμετρο . Επειδή η ατμόσφαιρα θερμαίνεται μέσω της αγωγιμότητας της επιφάνειας της Γης, αυτή η μείωση της θερμοκρασίας είναι φυσιολογικό να γίνεται με την αύξηση της απόστασης από την αγωγή πηγή. Ο ακόρεστος ή ξηρός αέρας αλλάζει τη θερμοκρασία με μέσο ρυθμό(3,05 ° C) ανά 304 μ. Ο κορεσμένος αέρας (ορίζεται ως αέρας σε σχετική υγρασία 100% ) αλλάζει τη θερμοκρασία κατά μέσο όρο 1,66 ° C ανά 304 μ. Αυτοί οι αριθμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των μεταβολών θερμοκρασίας στον αέρα που υφίσταται αδιαβατική εκτόνωση και συμπίεση.

Για παράδειγμα, καθώς μια μάζα αέρα σε σχετική υγρασία 80% (ξηρός αέρας) στους 18,3 ° C ανεβαίνει σε μια οροσειρά από την επιφάνεια της θάλασσας, θα μειωθεί η θερμοκρασία με ρυθμό 3,05 ° C ανά 304 μ έως ότου η μεταβαλλόμενη θερμοκρασία αλλάξει τη σχετική υγρασία (ένα μέτρο της ικανότητας υγρασίας του αέρα) σε 100%. Εκτός από τον σχηματισμό νέφους και την κατακρήμνιση, η συνεχιζόμενη άνοδος αυτής της τώρα «υγρής» ή κορεσμένης μάζας αέρα οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας με ρυθμό 1,66 ° C ανά 304 μ. Εάν το σημείο κορεσμού (το σημείο στο οποίο ο "ξηρός" αέρας γίνεται "υγρός" αέρας) είναι στα 1.219μ, η υποθετική μάζα αέρα που ξεκινά από 18,3 ° C θα κρυώσει από 12,2 ° C έως 6.1 ° C σε υψόμετρο 1.219 μ. Εάν ο αέρας ανέβαινε στα 1.829 μ. στην κορυφή της οροσειράς πριν ξεκινήσει την καταφορική κλίση, η θερμοκρασία στο υψηλότερο υψόμετρο των 3.048 μ. θα ήταν στους -3.9 ° C. Αυτό αντιπροσωπεύει βροχόπτωση με τη μορφή χιονιού κοντά σε βουνοκορφές ακόμη και όταν οι θερμοκρασίες της κοιλάδας είναι πολύ πάνω από το σημείο πήξης. Επειδή η απόλυτη περιεκτικότητα σε υγρασία της μάζας του αέρα έχει μειωθεί από το σχηματισμό και την κατακρήμνιση του νέφους, καθώς ο αέρας κινείται προς τα κάτω και θερμαίνεται η υγρασία πέφτει γρήγορα κάτω από τον κορεσμό και επομένως θερμαίνεται με ρυθμό 3,05 ° C ανά 1.000 πόδια (304 μ.). Μια μάζα ξηρού αέρα που κατεβαίνει από τα 3.048 μ, θα αυξήσει τη θερμοκρασία της κατά 30.6 ° C.

Αν και οι πραγματικοί ρυθμοί δεν ακολουθούν αυστηρά αυτές τις οδηγίες, παρουσιάζουν ένα μοντέλο αρκετά ακριβές για την πρόβλεψη συγκεκριμένων αλλαγών. [8]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Η λανθάνουσα και αισθητή θερμότητα είναι τύποι ενέργειας που απελευθερώνεται ή απορροφάται στην ατμόσφαιρα. Η λανθάνουσα θερμότητα σχετίζεται με αλλαγές στη φάση μεταξύ υγρών, αερίων και στερεών. Η αισθητή θερμότητα σχετίζεται με αλλαγές στη θερμοκρασία ενός αερίου ή αντικειμένου χωρίς αλλαγή στη φάση. Η λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας αυξάνει την αστάθεια στην ατμόσφαιρα που μπορεί να προκαλέσει σοβαρό καιρό. Η αισθητή θερμότητα προκαλεί αλλαγή στη θερμοκρασία λόγω της επαφής με ψυχρότερο ή θερμότερο αέρα των επιφανειών.

Η λανθάνουσα θερμότητα ουσιαστικά είναι η ενέργεια που απελευθερώνεται ή απορροφάται από μια ουσία κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης από αέριο σε υγρό ή στερεό ή αντίστροφα. Εάν μια ουσία αλλάζει από τη στερεή στην υγρή φάση, πρέπει να απορροφήσει ενέργεια από το περιβάλλον για να εξαπλώσει τα μόρια σε μεγαλύτερο, περισσότερο υγρό όγκο. Εάν η ουσία αλλάζει από μία φάση με χαμηλότερη πυκνότητα, όπως ένα αέριο, σε μια φάση με υψηλότερη πυκνότητα όπως ένα υγρό, εκπέμπει ενέργεια καθώς τα μόρια πλησιάζουν και χάνουν ενέργεια από την κίνηση και τους κραδασμούς.

Για παράδειγμα, όταν το νερό βράζει πάνω από μια σόμπα, η ενέργεια απορροφάται από το θερμαντικό στοιχείο και πηγαίνει στην επέκταση των μορίων του νερού σε ένα αέριο, γνωστό ως υδρατμός. Όταν το υγρό νερό τοποθετείται σε δίσκους για παγάκια και τοποθετείται στον καταψύκτη, το νερό εκπέμπει ενέργεια καθώς το νερό γίνεται συμπαγής πάγος. Αυτή η ενέργεια αφαιρείται από το σύστημα κατάψυξης για να διατηρείται ο ψυκτήρας κρύος.

Οι υδρατμοί είναι ένα αέριο που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό συστατικό για το σχηματισμό νεφών. Εάν ο αέρας είναι ξηρός ή ακόρεστος, τα σύννεφα δεν είναι πιθανό να σχηματιστούν επειδή υπάρχει ελάχιστος υδρατμός στον αέρα. Εάν ο αέρας είναι υγρός ή κορεσμένος, οι υδρατμοί θα συμπυκνωθούν για να σχηματίσουν σύννεφα. Όταν αυτά τα μόρια αερίου συμπυκνώνονται σε υγρές σταγόνες, λανθάνουσα θερμότητα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα που θερμαίνει τον αέρα που περιβάλλει το μόριο. Αυτό βοηθά στην αύξηση της αστάθειας στην ατμόσφαιρα και αυτός ο θερμός αέρας που περιβάλλει το μόριο θα θέλει να ανέβει. Ο θερμός αέρας είναι λιγότερο πυκνός από τον κρύο αέρα, επειδή τα μόρια στον ζεστό αέρα κινούνται πολύ πιο γρήγορα και απομακρύνονται πιο μακριά. [9]



Η λανθάνουσα θερμότητα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις καταιγίδες και τους τυφώνες. Τα σύννεφα σχηματίζονται όταν ανεβαίνει ο θερμός αέρας και οι υδρατμοί που περιέχει συμπυκνώνονται πάνω σε σωματίδια που ονομάζονται πυρήνες συμπύκνωσης σύννεφων. Σε αυτό το σημείο ο αέρας γίνεται κορεσμένος. Όταν αυτός ο αέρας αρχίζει να αυξάνεται, ο υδρατμός βρίσκεται στην αέρια φάση. Όταν οι υδρατμοί συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν σύννεφα, απελευθερώνει λανθάνουσα θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Η λανθάνουσα θερμότητα στη συνέχεια θερμαίνει τον περιβάλλοντα αέρα γύρω από το νέο σταγονίδιο νέφους προκαλώντας αστάθεια. Ο ζεστός αέρας γύρω από το σταγονίδιο νέφους θα θέλει τώρα να υψωθεί και να συμπυκνωθεί. Αυτό αυξάνει το ύψος των νεφών και ανάλογα με το πόσο ασταθής είναι η ατμόσφαιρα, θα μπορούσαν να σχηματιστούν καταιγίδες από αυτά τα αναπτυσσόμενα σύννεφα. Οι καταιγίδες απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες λανθάνουσας θερμότητας που αυξάνουν την αστάθεια στην ατμόσφαιρα προκαλώντας κάποιες από αυτές να γίνουν σοβαρές. Σε τυφώνες, η λανθάνουσα θερμότητα απελευθερώνεται μέσα στα σύννεφα του τυφώνα, θερμαίνοντας τον αέρα μέσα στα σύννεφα. Οι τυφώνες τροφοδοτούνται από αυτήν την λανθάνουσα απελευθέρωση θερμότητας, επειδή προκαλεί αστάθεια στο σύννεφο και ο ζεστός αέρας θέλει να ανεβεί. Έτσι η καταιγίδα ενισχύεται και αποκτά δύναμη. [10]

#### **4.1 Αισθητή θερμότητα**

Η αισθητή θερμότητα είναι η ενέργεια που απαιτείται για την αλλαγή της θερμοκρασίας μιας ουσίας χωρίς αλλαγή της φάσης. Η αλλαγή θερμοκρασίας μπορεί να προέλθει από την απορρόφηση του ηλιακού φωτός από το έδαφος ή τον ίδιο τον αέρα. Ή μπορεί να προέλθει από επαφή με τον θερμότερο αέρα που θερμαίνεται από την απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας (με άμεση αγωγιμότητα). Η ενέργεια κινείται μέσω της ατμόσφαιρας χρησιμοποιώντας λανθάνουσα θερμότητα που ενεργεί στην ατμόσφαιρα για να οδηγήσει την κίνηση των μορίων του αέρα που δημιουργούν άνεμο και κάθετες κινήσεις. [11]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Συμπύκνωση είναι η διαδικασία με την οποία οι υδρατμοί στον αέρα μετατρέπονται σε υγρό νερό. Η συμπύκνωση είναι ζωτικής σημασίας για τον κύκλο νερού, επειδή είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό νεφών. Αυτά τα σύννεφα μπορεί να προκαλέσουν βροχόπτωση, η οποία είναι η κύρια οδός για την επιστροφή του νερού στην επιφάνεια της Γης εντός του κύκλου του νερού. Η συμπύκνωση είναι το αντίθετο της εξάτμισης.

Ωστόσο, δεν χρειάζεται να κοιτάξετε κάτι τόσο μακριά όσο ένα σύννεφο για να παρατηρήσετε συμπύκνωση. Η συμπύκνωση είναι υπεύθυνη για την ομίχλη στο ισόγειο, για τα γυαλιά σας που θολώνουν όταν βγαίνετε από ένα κρύο δωμάτιο στην ύπαιθρο μια ζεστή, υγρή ημέρα, για το νερό που στάζει έξω από το ποτήρι παγωμένο τσάι σας και για το νερό στο εσωτερικό των παραθύρων του σπιτιού σας σε μια κρύα μέρα.

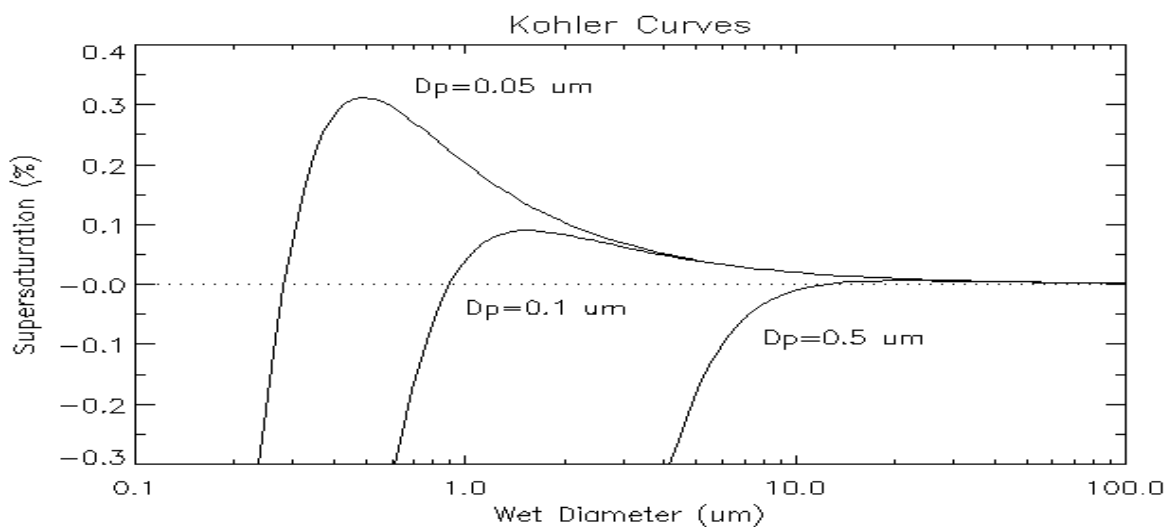
Η αλλαγή φάσης του νερού μεταξύ του ατμού, της υγρής και της στερεάς μορφής του εμφανίζεται στη διάταξη των μορίων του νερού. Τα μόρια του νερού σε μορφή ατμού διατάσσονται πιο τυχαία από ότι σε υγρό νερό. Καθώς λαμβάνει χώρα συμπύκνωση και σχηματίζεται υγρό νερό από τους ατμούς, τα μόρια του νερού οργανώνονται και ως αποτέλεσμα η θερμότητα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. [12]

#### 5.1 Θεωρία του Kohler

Η θεωρία του Köhler περιγράφει τη διαδικασία με την οποία οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και σχηματίζουν σταγόνες υγρού νέφους και βασίζεται στη θερμοδυναμική ισορροπίας. Συνδυάζει το φαινόμενο Kelvin, το οποίο περιγράφει τη μεταβολή της τάσης ατμών κορεσμού λόγω καμπύλης επιφάνειας, και του νόμου του Raoult, ο οποίος συσχετίζει την πίεση ατμών κορεσμού με τη διαλυμένη ουσία. Είναι μια σημαντική διαδικασία στον τομέα της φυσικής των νεφών. Αρχικά δημοσιεύθηκε το 1936 από τον Hilding Köhler, Καθηγητή Μετεωρολογίας στο Πανεπιστήμιο της Ουψάλα.

Η καμπύλη Köhler είναι η οπτική αναπαράσταση της εξίσωσης Köhler. Δείχνει τον υπερκορεσμό στον οποίο η πτώση του νέφους βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον σε ένα εύρος διαμέτρων σταγονιδίων. Το ακριβές σχήμα της καμπύλης εξαρτάται από την ποσότητα και τη σύνθεση των

διαλυτών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Οι καμπύλες Köhler όπου η διαλυμένη ουσία είναι χλωριούχο νάτριο είναι διαφορετικές από όταν η διαλυμένη ουσία είναι νιτρικό νάτριο ή θειικό αμμώνιο.



Η παραπάνω εικόνα δείχνει τρεις καμπύλες Köhler χλωριούχου νατρίου. Ας θεωρηθεί (για σταγονίδια που περιέχουν διαλυμένη ουσία με διάμετρο ίση με 0,05 μικρόμετρα) ένα σημείο στο γράφημα, όπου η υγρή διάμετρος είναι 0,1 μικρόμετρα και ο υπερκορεσμός είναι 0,35%. Δεδομένου ότι η σχετική υγρασία είναι πάνω από 100%, το σταγονίδιο θα αυξηθεί έως ότου βρεθεί σε θερμοδυναμική ισορροπία. Καθώς μεγαλώνει το σταγονίδιο, δεν συναντά ποτέ την ισορροπία και έτσι μεγαλώνει χωρίς δέσμευση. Ωστόσο, εάν ο υπερκορεσμός είναι μόνο 0,3%, η σταγόνα θα αυξηθεί μόνο έως περίπου 0,5 μικρόμετρα. Ο υπερκορεσμός στον οποίο η σταγόνα θα αυξηθεί χωρίς δέσμευση ονομάζεται κρίσιμος υπερκορεσμός. Η διάμετρος στην οποία κορυφώνεται η καμπύλη ονομάζεται κρίσιμη διάμετρος. [10]

## 5.2 Συμπύκνωση στην ατμόσφαιρα

Παρόλο που τα σύννεφα απουσιάζουν σε έναν κρυστάλλινο γαλάζιο ουρανό, το νερό εξακολουθεί να υπάρχει με τη μορφή υδρατμών και σταγονιδίων που είναι πολύ μικρά για να φανούν. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, τα μόρια του νερού θα συνδυαστούν με μικροσκοπικά σωματίδια σκόνης, αλατιού και καπνού στον αέρα για να σχηματίσουν σταγονίδια σύννεφων, τα οποία συνδυάζονται και μεγαλώνουν και αναπτύσσονται σε σύννεφα, μια μορφή νερού που μπορούμε να δούμε. Τα σταγονίδια νέφους μπορεί να ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό, από 10 μικρά (εκατοστό του μέτρου) έως 1 χιλιοστόμετρο (mm), ακόμη και έως και 5 mm. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει ψηλότερα στον ουρανό, όπου ο αέρας είναι πιο κρύος και συμβαίνει περισσότερη συμπύκνωση σε σχέση με την

εξάτμιση. Καθώς τα σταγονίδια νερού συνδυάζονται ( γνωστό ως συνεννόηση) μεταξύ τους, και μεγαλώνουν σε μέγεθος, τα σύννεφα όχι μόνο αναπτύσσονται, αλλά μπορεί επίσης να εμφανιστεί υετός. Ο υετός είναι ουσιαστικά νερό σε υγρή ή στερεή μορφή που πέφτει από τη βάση ενός νέφους. Αυτό φαίνεται να συμβαίνει πολύ συχνά κατά τη διάρκεια πικνίκ ή όταν συγκεντρώνονται μεγάλες ομάδες ανθρώπων σε πισίνα.

Τα σύννεφα που σχηματίζονται από τη συμπύκνωση είναι ένα περίπλοκο και κρίσιμο συστατικό του περιβάλλοντος της Γης. Τα σύννεφα ρυθμίζουν τη ροή της ακτινοβολημένης ενέργειας μέσα και έξω από το κλιματικό σύστημα της Γης. Επηρεάζουν το κλίμα της Γης αντανακλώντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (θερμότητα) πίσω στο διάστημα και την εξερχόμενη ακτινοβολία (επίγεια) από την επιφάνεια της Γης. Συχνά τη νύχτα, τα σύννεφα λειτουργούν ως «κουβέρτα», διατηρώντας ένα μέρος της θερμότητας της ημέρας δίπλα στην επιφάνεια. Η αλλαγή των προτύπων σύννεφων τροποποιεί το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης και, με τη σειρά του, τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια της Γης.

Όπως έχει προαναφερθεί, σχηματίζονται σύννεφα στην ατμόσφαιρα επειδή ο αέρας που περιέχει υδρατμούς ανεβαίνει και ψύχεται. Το κλειδί αυτής της διαδικασίας είναι ότι ο αέρας κοντά στην επιφάνεια της Γης θερμαίνεται από ηλιακή ακτινοβολία. Αλλά η ατμόσφαιρα κρύνει πάνω από την επιφάνεια της Γης λόγω της πίεσης του αέρα. Ο αέρας έχει μάζα και ασκεί πίεση. Στο επίπεδο της θάλασσας το βάρος μιας μάζας αέρα που πιέζει το κεφάλι μας είναι περίπου 14 ½ λίβρες (6,6 κιλά) ανά τετραγωνική ίντσα. Η πίεση (βάρος), που ονομάζεται βαρομετρική πίεση, που προκύπτει είναι συνέπεια της πυκνότητας του αέρα παραπάνω. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, υπάρχει λιγότερος αέρας και συνεπώς, λιγότερη πίεση αέρα προς τα κάτω. Η βαρομετρική πίεση είναι χαμηλότερη και η χαμηλότερη βαρομετρική πίεση σχετίζεται με λιγότερα μόρια ανά μονάδα όγκου. Επομένως, ο αέρας σε υψηλότερα υψόμετρα είναι λιγότερο πυκνός και λιγότερο θερμός. Καθώς η συνολική περιεκτικότητα σε θερμότητα ενός συστήματος σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα της ύλης που υπάρχει. [9]

### 5.3 Εξίσωση Kelvin

Η εξίσωση Kelvin περιγράφει την αλλαγή στην πίεση ατμών λόγω μιας καμπύλης διεπαφής υγρού-ατμού, όπως η επιφάνεια ενός σταγονιδίου. Η πίεση ατμών σε κυρτή επιφάνεια είναι υψηλότερη από αυτήν σε επίπεδη επιφάνεια. Η εξίσωση Kelvin εξαρτάται από τις θερμοδυναμικές αρχές και δεν αναφέρεται σε ειδικές ιδιότητες των υλικών. Η εξίσωση ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του William Thomson, επίσης γνωστού ως Lord Kelvin.

## 5.4 Συμπύκνωση κοντά στο έδαφος

Η διαφορά μεταξύ της ομίχλης και των νεφών που σχηματίζονται πάνω από την επιφάνεια της Γης είναι ότι δεν απαιτείται ανερχόμενος αέρας για να σχηματίσει ομίχλη. Η ομίχλη αναπτύσσεται όταν ο αέρας που έχει σχετικά υψηλή υγρασία έρχεται σε επαφή με μια πιο κρύα επιφάνεια, συχνά στην επιφάνεια της Γης και ψύχεται στο σημείο δρόσου. Πρόσθετη ψύξη οδηγεί σε συμπύκνωση και ανάπτυξη νεφών χαμηλού επιπέδου. Η ομίχλη που αναπτύσσεται όταν ο θερμότερος αέρας κινείται πάνω από μια πιο ψυχρή επιφάνεια είναι γνωστή ως επιφανειακή ομίχλη. Μια άλλη μορφή ομίχλης, γνωστή ως ομίχλη ακτινοβολίας, αναπτύσσεται τη νύχτα όταν οι θερμοκρασίες του εδάφους μειώνονται (λόγω απελευθέρωσης γήινης ακτινοβολίας, που είναι αποτέλεσμα της ηλιακής θερμότητας που απορρόφησε κατά τη διάρκεια της μέρας). [6]

## 5.5 Γιατί σχηματίζονται σύννεφα και γιατί βρέχει;

Ο αέρας, ακόμη και ο "καθαρός αέρας", περιέχει μόρια νερού. Σύννεφα υπάρχουν στην ατμόσφαιρα λόγω της αύξησης του αέρα. Καθώς ο αέρας ανεβαίνει και ψύχεται, το νερό μπορεί να "συμπυκνωθεί", σχηματίζοντας σύννεφα. Δεδομένου ότι τα σύννεφα παρασύρονται, είναι ένας από τους τρόπους με τους οποίους το νερό κινείται γεωγραφικά σε όλο τον κόσμο στα πλαίσια του υδρολογικού κύκλου.

Ο αέρας που φαίνεται να είναι απαλλαγμένος από σύννεφα περιέχει μικροσκοπικές σταγόνες, αλλά καθώς η εξάτμιση υπερβαίνει τη συμπύκνωση, οι σταγόνες δεν επιβιώνουν πολύ μετά από μια αρχική πιθανότητα συσσώρευσης μορίων. Καθώς ο αέρας ψύχεται, ο ρυθμός εξάτμισης μειώνεται σε σχέση με τον ρυθμό συμπύκνωσης, με αποτέλεσμα ο αέρας να αποκτά μια θερμοκρασία (τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου) όπου η εξάτμιση είναι μικρότερη από τη συμπύκνωση και ένα σταγονίδιο μπορεί να αναπτυχθεί σε μια σταγόνα νέφους. Όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, υπάρχει καθαρή συμπύκνωση και σχηματίζεται σύννεφο. [5]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

## ΣΥΝΝΕΦΟΛΟΓΙΑ-ΤΥΠΟΙ ΝΕΦΩΝ

Νέφη ονομάζονται τα ατμοσφαιρικά σχήματα τα οποία αποτελούνται από υδρογοσταγόνες ή παγοκρυστάλλους ή και από τα δύο. Τα προαναφερθέντα σχηματίζονται με τη διαδικασία της συμπύκνωσης (όπως έχει προαναφερθεί) των υδρατμών. Στην ουσία οι υδρατμοί συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν σταγονίδια ή κρυστάλλους πάγου. Αυτό μπορεί να συμβεί σε διάφορα ύψη και να δημιουργήσει μια ποικιλία διαφορετικών συστημάτων νεφών. Τα σύννεφα περιέχουν εκατομμύρια σταγονίδια νερού ή πάγου, ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα όπου αιωρούνται. Αποτελούν μέρος του κύκλου νερού της Γης και περιέχουν δισεκατομμύρια σωματίδια νερού.

Με βάση τη μορφή τους τα νέφη διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα στρώματα (stratus) που έχουν μεγάλη οριζόντια ανάπτυξη και τους σωρείτες (cumulus) που έχουν μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη. Μια ακόμα κατανομή ανάλογα με το σχήμα και το ύψος στο οποίο βρίσκονται τα χωρίζει σε 10 βασικές κατηγορίες. Κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες πάντα συναντάται σε ένα συγκεκριμένο ύψος (χαμηλό, μεσαίο ή υψηλό). Η ταξινόμηση τους έγινε σύμφωνα με τον Άτλαντα Νεφών που εξέδωσε το 1957 ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός. Έτσι έχουμε:

- τα χαμηλά νέφη στα οποία περιλαμβάνουν τα stratus (στόματα), τα stratocumulus (στρωματοσωρείτες), τα cumulus (σωρείτες) και τα cumulonimbus (σωρειτομελανίες).
- Τα μεσαία νέφη στα οποία συγκαταλέγονται τα altocumulus (υψισωρείτες), τα altostratus (υψιστρόματα) και τα nimbostratus (μελανοστρώματα).
- Τα υψηλά νέφη τα οποία είναι τα cirrus (θύσανοι), τα cirrostratus (θυσανοστρώματα) και τα cirrocumulus (θυσανοσωρείτες).

Υψηλό επίπεδο(>16000ft)

Cirrus (Ci):

Αυτά είναι ως επί το πλείστον ινώδη νέφη λευκού χρώματος. Είναι κρυστάλλινα σύννεφα πάγου που δημιουργούνται από ήπιες ανοδικές κινήσεις ή στα όρια συνάντησης θερμών και ψυχρών αερίων μαζών. Επομένως τα Cirrus μπορούν να προκύψουν από την ανάμιξη 2 αερίων διαφορετικών θερμοκρασιών. Συχνά σχηματίζονται σε ύψος μεγαλύτερο των 16000 ποδιών και σε χαμηλή πίεση.

Μπορεί να συγχωνευτούν με cirrostratus. Αυτός ο τύπος υψηλού νέφους δεν προκαλεί κατακρήμνιση. [16]

#### Cirrocumulus (Cc):

Παρατεταγμένα νέφη σε μεγάλες σειρές ή μεγάλες ομάδες νεφών με μικρά μεσοδιαστήματα. Το χρώμα τους είναι γκρι και λευκό έχουν περιορισμένη μεταφορά. Αποτελούνται από κρύσταλλα πάγου ή σταγονίδια υπερψυγμένου νερού που εμφανίζονται ως στρογγυλές μάζες ή νιφάδες και μοιάζουν με κυματισμούς της άμμου σε μια παραλία. Τα Cirrocumulus σχηματίζονται περιστασιακά παράλληλα με τα cirrus και μπορεί να συνοδεύονται ή να αντικαθίσταται από cirrostratus. Αυτός ο τύπος παράγει κάποιες φορές κατακρημνίσεις οι οποίες όμως εξατμίζονται κάτω από τη βάση του νέφους και δεν φτάνουν στη γη.

#### Cirrostratus (Cs):

Το Cirrostratus είναι ένα λεπτό στρωματοειδές πέπλο από πάγο που συνήθως δημιουργεί φωτοστέφανα λόγω της διάθλασης των ακτινών του ήλιου. Ο ήλιος και το φεγγάρι είναι ορατά μέσω των νεφών αυτών λόγω της λεπτότητάς τους. Η εμφάνιση των Cirrostratus αποτελεί συχνά σημάδι μια αλλαγής του καιρού, όπως ενδεχόμενα θερμά μέτωπα και βροχές. Το ίδιο βέβαια δεν προκαλούν κατακρήμνιση.

### Μεσαίο επίπεδο(6000ft-16000ft)

#### Alto cumulus (Ac):

Πρόκειται για ένα σύννεφο περιορισμένης μεταφοράς που εμφανίζεται συνήθως με τη μορφή πιο εκτεταμένων νεφών διατεταγμένων σε ομάδες, γραμμές ή κύματα. Τα Alto cumulus μπορεί περιστασιακά να μοιάζουν με cirrocumulus, αλλά συνήθως είναι παχύτερα και αποτελούνται από ένα μείγμα σταγονιδίων νερού και κρυστάλλων πάγου, έτσι οι βάσεις δείχνουν τουλάχιστον κάποια ανοιχτή γκρι σκίαση. Το Alto cumulus μπορεί να παράγει πολύ ελαφριά βροχόπτωση που εξατμίζεται πριν φτάσει στο έδαφος. Εμφανίζονται συνήθως μπροστά από θερμά μέτωπα.

#### Altostratus (As):

Τα Altostratus είναι ένα μεσαίο αδιαφανές ή ημιδιαφανές πέπλο (όταν έχουν λεπτό πάχος), ενώ κάποιες φορές είναι γκριζα / μπλε σύννεφα και συχνά σχηματίζονται κατά μήκος των θερμών μετώπων και γύρω από περιοχές χαμηλής πίεσης. Το Altostratus αποτελείται συνήθως από σταγονίδια νερού, αλλά μπορεί να αναμιχθεί με κρύσταλλα πάγου σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Διαδεδομένο αδιαφανές altostratus μπορεί να παράγει ελαφριά συνεχή ή διαλείπουσα βροχόπτωση όταν είναι λεπτό. Όταν όμως έχουν μεγαλύτερο πάχος μπορούν να προκαλέσουν πιο έντονα φαινόμενα.

Nimbostratus(Ns):

Τα Nimbostratus είναι νέφη τόσο πυκνά που οι ακτίνες του ήλιου δεν μπορούν να τα διαπεράσουν. Είναι πάρα πολύ γκρίζα και πιο σκοτεινά σε σχέση με τα άλλα νέφη. Περιέχουν νερό σε υγρή μορφή και αποτελούν σύννεφα βροχής. Όταν υπάρχει άνεμος είναι κομματιασμένα και κινούνται πολύ πιο γρήγορα. Κάποιες φορές μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και κατακρήμνιση χιονιού. [15]

Χαμηλό επίπεδο(<5000ft)

Τα σύννεφα που σχηματίζονται στο χαμηλό επίπεδο της τροπόσφαιρας έχουν γενικά μεγαλύτερη δομή από αυτά που σχηματίζονται σε μεσαία και υψηλά επίπεδα. Έτσι συνήθως οι μορφές και οι τύποι των χαμηλών νεφών μπορούν να αναγνωριστούν χρησιμοποιώντας μονάχα το ανθρώπινο μάτι.

Stratocumulus (Sc):

Αυτός ο τύπος νέφους είναι ένα στρώμα περιορισμένης μεταφοράς, συνήθως με μικρό πάχος. Αποτελούν μια από τις πιο συνηθισμένες κατηγορίες νεφών. Το Stratocumulus είναι συχνά κατά τη διάρκεια υγρού καιρού που προέρχεται από άλλα σύννεφα βροχής, αλλά μπορεί να παράγουν μόνο πολύ ελαφριά βροχόπτωση από μόνα τους. Η ύπαρξη τους μαρτυρά αυξημένη υγρασία στην ατμόσφαιρα και δημιουργούνται από τη διέλευση ανοδικών μετώπων.

Stratus (St):

Πρόκειται για έναν επίπεδο στρωματοειδή τύπο που μερικές φορές μοιάζει με αυξημένη ομίχλη. Μόνο πολύ ασθενής βροχόπτωση μπορεί να πέσει από αυτό το νέφος, συνήθως ψιλόβροχο. Όταν ένα πολύ χαμηλό σύννεφο στρωμάτων υποχωρεί στο επίπεδο της επιφάνειας, χάνει την λατινική ορολογία του και έχει το κοινό όνομα «fog» (ομίχλη) εάν η επικρατούσα ορατότητα της επιφάνειας είναι μικρότερη από 1 χλμ. Εάν η ορατότητα είναι 1 km ή μεγαλύτερη, η ορατή συμπύκνωση ονομάζεται «mist» (αχλύς). Ουσιαστικά είναι τα νέφη που βρίσκονται στο πιο χαμηλό ύψος σε σχέση με τα άλλα (μαζί με τα Cb). [12]



Cumulus (Cu):

Αποτελούν την πιο συχνή κατηγορία νεφών και ουσιαστικά είναι τα απλά σύννεφα λευκού χρώματος που όλοι σχηματίζαμε σαν παιδιά. Δημιουργούνται από την ψύξη αέριας μάζας, η οποία κινείται ανοδικά.

## 6.1 Cumulonimbus

Το Cumulonimbus (Cb) είναι το πιο επικίνδυνο και μεγάλο νέφος το οποίο προκαλεί έντονα καιρικά φαινόμενα. Συνήθως έχουν ένα σχήμα που μοιάζει με μανιτάρι ή πύργο. Η βάση τους είναι πολύ κοντά στο έδαφος και έχουν τη μεγαλύτερη κατακόρυφη ανάπτυξη σε σχέση με τα υπόλοιπα νέφη. Αυτή η ανάπτυξη οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα του αέρα που ανυψώνουν τη κορυφή του. Τα σύννεφα αυτά πάντα ανησυχούν τους μετεωρολόγους καθώς είναι ταυτόσημα με τα μεγάλα καταιγιδοφόρα συστήματα. Για να κατανοηθούν όμως τα Cb πρέπει πρώτα να γίνει αντιληπτό τι είναι η καταιγίδα. [11]

Ο παγκόσμιος οργανισμός μετεωρολογίας ταξινομήσε τα μετεωρολογικά φαινόμενα σε 4 κλίμακες ανάλογα με την ένταση και το μέγεθος τους. Με βάση λοιπόν την ταξινόμηση αυτή υπάρχουν:

- Τα φαινόμενα μικρής κλίμακας (έκταση λιγότερη των 100 χιλιομέτρων) όπως καταιγίδες και ανεμοστρόβιλοι.
- Τα φαινόμενα μέσης κλίμακας (έκταση από 100 μέχρι 1000 χιλιόμετρα) όπως μεγάλα καταιγιδοφόρα συστήματα και πλημμύρες.
- Τα φαινόμενα μεγάλης κλίμακας (έκταση από 1000 μέχρι 5000 χιλιόμετρα) όπως χαμηλά βαρομετρικά.
- Τα φαινόμενα πλανητικής κλίμακας (έκταση μεγαλύτερη των 5000 χιλιομέτρων) όπως τα μεγάλα τροποσφαιρικά κύματα.

Καταιγίδα λοιπόν είναι η βίαιη ατμοσφαιρική διαταραχή, που χαρακτηρίζεται από χαμηλή βαρομετρική πίεση, κάλυψη νεφών, βροχόπτωση, ισχυρούς ανέμους και πιθανώς αστραπές, βροντές και χαλάζι. Μία καταιγίδα έχει συνήθως έκταση έως 30 χιλιόμετρα και διαρκεί έως μία ώρα.

Οι καταιγίδες εντοπίζονται σε μεμονωμένα κύτταρα (μονοκυτταρικές), σε μετωπικές ζώνες (γραμμές καταιγίδων), σε συμπλέγματα κυττάρων (πολυκυτταρικές) και σε υπερκυτταρικές.

Πολλές φορές ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια της, μια καταιγίδα μπορεί να προκαλέσει ακόμα και πλημμύρες. Για να δημιουργηθεί μια καταιγίδα απαιτούνται 3 στοιχεία:

- 1) υγρασία
- 2) ασταθής μάζα
- 3) ανυψωτική δύναμη

Συνήθως οι καταιγίδες εκδηλώνονται κατά τη θερμή περίοδο του έτους, παρόλα αυτά μπορούν να παρουσιαστούν και τον χειμώνα κοντά στη θάλασσα. [17]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ

Η ζωή μιας τυπικής καταιγίδας περνά από τρία στάδια: το πρώιμο, το ώριμο και το στάδιο διάλυσης. Παρακάτω θα αναλυθούν τα 3 στάδια:

Στο πρώτο στάδιο (σφορείτης), βλέπουμε το νέφος που θα προκαλέσει την καταιγίδα να αρχίζει να σχηματίζεται και να μεγαλώνει λόγω της ανερχόμενης θερμότητας. Η ανερχόμενη άνοδος του αέρα θα προκαλέσει ψύξη και συμπύκνωση. Στην περίπτωση καταιγίδων, η θερμότητα μεταφέρεται δεκάδες χιλιάδες πόδια πριν σταματήσει τελικά! Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, οι μικρές σταγόνες βροχής μπορεί να αρχίσουν να σχηματίζονται και να προσπαθούν να πέσουν. Ωστόσο, το ανοδικό ρεύμα μπορεί να ωθήσει τις σταγόνες βροχής ψηλότερα στο νέφος αντί να τις αφήσει να πέσουν. Οι σταγόνες βροχής συγκρούονται και ενώνονται σε μεγαλύτερα σταγονίδια λόγω του στροβιλισμού. [1]

Τελικά, οι σταγόνες βροχής θα γίνουν αρκετά μεγάλες και αρκετά βαριές για να πέσουν από το σύννεφο στο έδαφος. Αυτό σηματοδοτεί την αρχή του δεύτερου σταδίου (ώριμο). Ο όρος downdraft χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βροχή και τον δροσερό αέρα που αρχίζει να κατεβαίνει από την καταιγίδα.

Κατά τη διάρκεια της ώριμης φάσης, ραγδαία βροχή και (μερικές φορές) χαλάζι πέφτουν από την καταιγίδα. Εφ' όσον το περιβάλλον μπορεί να συνεχίσει να τροφοδοτεί τη καταιγίδα με ζεστό, υγρό αέρα, θα συνεχίσει να αυξάνεται και να εντείνεται. Ωστόσο, κάποια στιγμή διακόπτεται η παροχή ζεστού, υγρού αέρα. Μόλις συμβεί αυτό, η καταιγίδα μπαίνει στο τελευταίο της στάδιο.

Κατά τη διάρκεια της διάλυσης, η ανυψωτική δύναμη είναι πολύ αδύναμη ή ανύπαρκτη, και το καθοδικό ρεύμα είναι η κυρίαρχη δύναμη στην καταιγίδα. Η καταιγίδα σιγά σιγά εξαφανίζεται και αφήνει πίσω μόνο σύννεφα ως απόδειξη της ύπαρξής της. Αυτή η όλη διαδικασία συνήθως περνάει αρκετά γρήγορα και διαρκεί περίπου 30 λεπτά έως μια ώρα.

Σε σοβαρές καταιγίδες, αυτός ο κύκλος επεκτείνεται λόγω των διαφορών στην εισροή ζεστού, υγρού αέρα στην καταιγίδα. Εάν η ανύψωση είναι κεκλιμένη, τότε η βροχή που πέφτει έξω από το νέφος δεν θα διακόψει την εισροή του υγρού αέρα που είναι το καύσιμο της καταιγίδας, επιτρέποντάς της να συνεχίσει για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Μερικές σοβαρές καταιγίδες είναι γνωστό ότι διαρκούν για ώρες και ταξιδεύουν με ταχύτητες έως και 70 μίλια την ώρα. [3]

## **7.1 Μονοκυτταρικές, πολυκυτταρικές και υπερκυτταρικές καταιγίδες**

### **7.1.1 Μονοκυτταρική καταιγίδα**

Οι καταιγίδες με ένα κύτταρο έχουν διάρκεια ζωής 20-30 λεπτά. Συνήθως δεν είναι αρκετά ισχυρές για να προκαλέσουν έντονο καιρό. Μια αληθινή κυτταρική καταιγίδα είναι στην πραγματικότητα αρκετά σπάνια. Ακόμα και με ξεχωριστές καταιγίδες που βρίσκονται σε απόσταση η μία από την άλλη, το ένα κύτταρο της μίας προκαλεί συχνά την ανάπτυξη ενός άλλου κυττάρου σε απόσταση.

Αν και οι περισσότερες καταιγίδες μεμονωμένων κυττάρων είναι «αδύναμες», ορισμένες από αυτές μπορεί να προκαλέσουν σύντομα καιρικά φαινόμενα. Αυτές οι καταιγίδες, που ονομάζονται pulse severe storms, τείνουν να σχηματίζονται σε πιο ασταθή περιβάλλοντα από την αδύναμη καταιγίδα μεμονωμένων κυττάρων. Οι έντονες καταιγίδες έχουν ελαφρώς ισχυρότερες ταχύτητες βυθίσματος και συνήθως παράγουν ασθενές χαλάζι και / ή σύντομες μικροβροχές. Μπορούν επίσης να αναμένονται σύντομες και έντονες βροχοπτώσεις και περιστασιακά αδύναμοι ανεμοστρόβιλοι (πρέπει να θυμόμαστε ότι οποιαδήποτε καταιγίδα είναι θεωρητικά ικανή να παράγει ανεμοστρόβιλο). Επειδή οι καταιγίδες με ένα κύτταρο δεν είναι καλά οργανωμένες και επειδή φαίνεται να συμβαίνουν σε τυχαίες ώρες και τοποθεσίες, είναι δύσκολο να προβλεφθεί ακριβώς πότε και πού θα παρουσιαστούν .

### **7.1.2 Πολυκύτταρκα συμπλέγματα (Cluster Storms)**

Το σύμπλεγμα πολλαπλών κυττάρων είναι ο πιο κοινός τύπος καταιγίδας. Το σύμπλεγμα αποτελείται από ομάδα κυττάρων, που κινούνται μαζί ως μία μονάδα, με κάθε ένα από αυτά, σε μια διαφορετική φάση του κύκλου ζωής καταιγίδας. Καθώς το σύμπλεγμα κινείται, κάθε κύτταρο ένα ένα με τη σειρά του παίρνει τη θέση ως το κυρίαρχο κύτταρο στο σύμπλεγμα. Τα νέα κύτταρα τείνουν να σχηματίζονται στην ανοδική (συνήθως δυτική ή νοτιοδυτική) πλευρά του συμπλέγματος. Τα ώριμα κύτταρα βρίσκονται συνήθως στο κέντρο της καταιγίδας με διασκορπισμένα κύτταρα στην κάτω πλευρά (συνήθως ανατολική ή βορειοανατολική) άκρη της.

Παρόλο που κάθε κελί σε ένα σύμπλεγμα πολλαπλών κυττάρων διαρκεί μόνο περίπου 20 λεπτά (όπως με μια καταιγίδα ενός κελιού), το ίδιο το σύμπλεγμα πολλαπλών κυττάρων μπορεί να παραμείνει για αρκετές ώρες. Τα συμπλέγματα πολλαπλών κυττάρων είναι συνήθως πιο έντονα από τις καταιγίδες ενός κυττάρου. Μπορούν να προκαλέσουν έντονες βροχοπτώσεις (ειδικά εάν ένας αριθμός κυττάρων ωριμάσει στην ίδια περιοχή), καταιγίδες (με ταχύτητες ανέμου έως περίπου 80

μίλια την ώρα), χαλάζι μέτριου μεγέθους (έως περίπου μέγεθος γκολφ) και περιστασιακά αδύναμους ανεμοστρόβιλους. [8]

## 7.2 Πολύκυτταρική γραμμή καταιγίδα

Η καταιγίδα πολλαπλών κυττάρων γραμμής (ή "squall line", όπως λέγεται πιο συχνά) αποτελείται από μια μακρά σειρά καταιγίδων με ένα συνεχές, καλά αναπτυγμένο μέτωπο ριπής στο μπροστινό άκρο της γραμμής. Η γραμμή των καταιγίδων μπορεί να είναι σταθερή ή μπορεί να υπάρχουν κενά και διαλείμματα. Καθώς το μέτωπο της ριπής κινείται προς τα εμπρός, οι δυνάμεις ψυχρής εκροής απαιτούν ασταθές αέρα στο ανοδικό ρεύμα, συνήθως στην κύρια (ανατολική) άκρη της καταιγίδας, με τη πιο ισχυρή βροχή και χαλάζι ακριβώς από πίσω (στα δυτικά). Η πιο ασθενής βροχή, που σχετίζεται με παλαιότερα κύτταρα, συχνά καλύπτει μια μεγάλη περιοχή πίσω από το ενεργό άκρο της γραμμής.

Οι γραμμές (Squall line) μπορούν να παράγουν χαλάζι έως περίπου το μέγεθος της μπάλας του γκολφ, τις έντονες βροχοπτώσεις και τους αδύναμους ανεμοστρόβιλους, αλλά είναι πιο γνωστές ως παραγωγοί έκρηξης. Περιστασιακά, μια εξαιρετικά δυνατή έκρηξη θα επιταχύνει ένα μέρος της γραμμής squall μπροστά από την υπόλοιπη γραμμή. Αυτό παράγει ένα φαινόμενο που ονομάζεται ηχώ. Οι αντηχείς του τόξου ανιχνεύονται εύκολα στο ραντάρ, αλλά είναι δύσκολο (ή αδύνατο) να παρατηρηθούν οπτικά.

Όπως με τις καταιγίδες πολλαπλών κυττάρων, οι γραμμές squall lines συνήθως παράγουν σοβαρό καιρό κοντά στην ανατολική άκρη της καταιγίδας. Εάν οι ανεμοστρόβιλοι συνδέονται με μια γραμμή squall, συνήθως αναπτύσσονται σε κελιά, που βρίσκονται ακριβώς βόρεια από ένα σπάσιμο στη γραμμή ή στο νοτιότερο άκρο της γραμμής (μερικές φορές ονομάζεται "κελί άγκυρας"). Τα κελιά σε αυτές τις τοποθεσίες τείνουν να συμπεριφέρονται περισσότερο σαν supercells από τα τυπικά κυτταρικά line squalls ή πολυκυτταρικές γραμμές. [10]

## 7.3 Υπερκυτταρική καταιγίδα (Supercell Storm)

Το supercell είναι μια πολύ οργανωμένη καταιγίδα. Αν και τα supercells είναι σπάνια, αποτελούν μια υπερβολικά μεγάλη απειλή για τη ζωή και την περιουσία μας. Όπως και το single cell storm, το supercell αποτελείται από ανοδικά ρεύματα. Ωστόσο, η άνοδος σε ένα supercell είναι εξαιρετικά ισχυρή, φτάνοντας τις εκτιμώμενες ταχύτητες των 150- 175 μιλίων την ώρα. Το κύριο χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει το supercell από τις άλλες καταιγίδες που έχουμε συζητήσει είναι το

στοιχείο της περιστροφής. Το περιστρεφόμενο ανοδικό ρεύμα ενός supercell, που ονομάζεται μεσοκυκλώνας το βοηθά να παράγει ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως γιγαντιαίο χαλάζι (διαμέτρου άνω των 2 ιντσών), ισχυρές ριπές 80 μιλίων την ώρα ή περισσότερο και ισχυρούς, βίαιους ανεμοστρόβιλους.

Το περιβάλλον γύρω από ένα supercell χαρακτηρίζεται από υψηλή αστάθεια, ισχυρούς ανέμους στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα και στροφή του ανέμου με το ύψος στα πρώτα μίλια. Αυτό το περιβάλλον συμβάλλει στην οργάνωση του supercell. Καθώς ξεκινά η κατακρήμνιση, οι ισχυροί άνεμοι ανώτερου επιπέδου «ρίχνουν» κυριολεκτικά τη βροχόπτωση. Η καταιγίδα αυτή μπορεί να επιβιώσει για μεγάλα χρονικά διαστήματα με μόνο μικρές διακυμάνσεις στη δύναμη της. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο στροβιλισμός σε μεγάλο ύψος βοηθά το σχηματισμό μεσοκυκλώνων στο supercell.

Το μπροστινό άκρο της περιοχής υετού ενός supercell χαρακτηρίζεται από ελαφρά βροχή. Ο πιο δυνατός υετός πέφτει πλησιέστερα στον ανοδικό ρεύμα, βόρεια και ανατολικά του, με τη μορφή καταρρακτώδους βροχής και / ή μεγάλου χαλαζιού . Η περιοχή κοντά στον κύριο ανοδικό ρεύμα (συνήθως προς το πίσω μέρος της καταιγίδας) είναι η πιο συνηθισμένη περιοχή για σχηματισμό έντονου καιρού. [11]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

## ΜΕΣΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ

### 8.1 Δορυφορικά δεδομένα

Οι δορυφόροι καιρού παρακολουθούν τη Γη από το διάστημα, συλλέγοντας δεδομένα παρατήρησης που αναλύουν οι επιστήμονες. Η NOAA (national oceanic and atmospheric administration) για παράδειγμα διαθέτει τρεις τύπους καιρικών δορυφόρων. Οι πολικοί δορυφόροι σε τροχιά περιστρέφονται γύρω από τη Γη κοντά στην επιφάνεια, λαμβάνοντας έξι ή επτά λεπτομερείς εικόνες την ημέρα. Οι γεωστατικοί δορυφόροι που παραμένουν στην ίδια τοποθεσία ψηλά πάνω από την επιφάνεια, λαμβάνουν εικόνες ολόκληρης της Γης τόσο συχνά όσο κάθε 30 δευτερόλεπτα. Οι δορυφόροι διαστήματος παρακολουθούν τον ήλιο για ισχυρές ηλιακές καταιγίδες και διαστημικές καιρικές συνθήκες. Η NOAA χρησιμοποιεί επίσης δεδομένα από δορυφόρους άλλων οργανισμών και χωρών.

Για την πρόβλεψη καταιγίδων, οι μετεωρολόγοι χρησιμοποιούν μια ποικιλία δεδομένων. Οι παρατηρήσεις επιφανείας και ανώτερης ατμόσφαιρας μελετώνται για να βρεθούν περιοχές υψηλής στάθμης υγρασίας και αστάθειας και για να προσδιορισουν πώς οι άνεμοι μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη της καταιγίδας.

Μπορούμε να δούμε καταιγίδες με μια ποικιλία εργαλείων. Οι περισσότερες περιοχές της Γης είναι ορατές από δορυφόρους καιρού. Οι δορυφόροι φωτογραφίζουν τη Γη σε τακτά χρονικά διαστήματα από το διάστημα, και μας πληροφορούν πού βρίσκονται τα σύννεφα. Οι μετεωρολόγοι παρακολουθούν αυτές τις εικόνες με την πάροδο του χρόνου για να παρακολουθούν ταχέως αναπτυσσόμενα σύννεφα, μια ένδειξη για πιθανή καταιγίδα. Οι δορυφόροι μπορούν επίσης να μας πουν τη θερμοκρασία των νεφών. Σύννεφα με κρύες κορυφές συνήθως είναι πολύ ψηλά στην ατμόσφαιρα και αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το σύννεφο είναι αρκετά ψηλό για να δώσει καταιγίδα. Οι μετεωρολόγοι παρακολουθούν επίσης πώς κινούνται αυτά τα σύννεφα για να δουν ποιες περιοχές θα επηρεαστούν από την καταιγίδα στη συνέχεια.

Οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κίνησης των καιρικών συστημάτων που ενδέχεται να προκαλέσουν καταιγίδες. Με τη βοήθεια αριθμητικών μοντέλων υπολογιστή προσδιορίζεται πού θα μπορούσαν να εντοπιστούν ευνοϊκότερες περιοχές για σχηματισμό καταιγίδας. Το ραντάρ και οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των καταιγίδων μόλις σχηματιστούν.

Οι περισσότερες καταιγίδες αποτελούν απειλή έντονης βροχόπτωσης, ισχυρών ανέμων και αστραπών. Μερικές φορές, ωστόσο, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες γίνονται ευνοϊκές για να σχηματιστούν ιδιαίτερα επικίνδυνες καταιγίδες. Αυτές οι σοβαρές καταιγίδες παράγουν ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα: χαλάζι διαμέτρου 3/4 της ίντσας ή μεγαλύτερης, ριπές ανέμου έως 58 mph ή περισσότερο, ή ανεμοστρόβιλο.

Οι μετεωρολόγοι στο Κέντρο Πρόγνωσης Θύελλας στο Norman της Οκλαχόμα στις Η.Π.Α, είναι επιφορτισμένοι με την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας για σημάδια σοβαρών καταιγίδων και ανάπτυξης ανεμοστρόβιλου. Θα εκδώσουν ένα Severe Thunderstorm Watch για περιοχές όπου οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για το σχηματισμό σοβαρών καταιγίδων. Μόλις παρατηρηθεί σοβαρή καταιγίδα στο ραντάρ, θα εκδοθεί μια προειδοποίηση σοβαρής καταιγίδας από το τοπικό γραφείο της Εθνικής Υπηρεσίας Καιρού. [12]

Οι γεωστατικοί δορυφόροι (σταθεροί πάνω από ένα σημείο πάνω από τον ισημερινό) και οι πολιτικοί δορυφόροι σε τροχιά επιτρέπουν στους μετεωρολόγους να παρακολουθούν την ανάπτυξη νεφών και καιρικών συστημάτων. Οι δορυφόροι είναι εξαιρετικά χρήσιμοι για την παρακολούθηση των καιρικών συστημάτων στις απέραντες περιοχές του ωκεανού, όπου δεν υπάρχει ραντάρ και λαμβάνονται μόνο λίγες παρατηρήσεις στην επιφάνεια. Για παράδειγμα, οι δορυφόροι βελτίωσαν σημαντικά την ικανότητα των μετεωρολόγων να ανιχνεύουν το σχηματισμό και την κίνηση τυφώνων πάνω από τα τροπικά νερά. Οι δορυφόροι βοηθούν επίσης τους μετεωρολόγους να παρακολουθούν την κίνηση των μαζών αέρα που είναι είτε πολύ ξηρές (όπως στα βουνά) είτε πολύ υγρές ( ρεύματα από τον Ανατολικό Ειρηνικό Ωκεανό). Αυτό μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη μιας καταιγίδας. Τα μοτίβα σύννεφων λένε επίσης στους προγνώστες για τη δύναμη και την κίνηση της ροής (jet) που παίζει μεγάλο ρόλο στην ανάπτυξη καταιγίδων.

Ενώ οι δορυφόροι παρέχουν στους μετεωρολόγους πολλές πληροφορίες, έχουν επίσης περιορισμούς. Ο δορυφόρος βλέπει ένα σύννεφο από ψηλά, αλλά δεν λέει τι έχει σχηματιστεί κάτω από αυτό (όπως ένας ανεμοστρόβιλος). Σοβαρές καταιγίδες και ανεμοστρόβιλοι μπορούν να αναπτυχθούν και να εξαφανιστούν αρκετά γρήγορα. Ακόμα κι αν μια δορυφορική εικόνα υποδεικνύει σοβαρή καταιγίδα, η χρονική καθυστέρηση για τη λήψη της δορυφορικής εικόνας μπορεί να είναι 15 έως 30 λεπτά, η οποία μπορεί να είναι πολύ μεγάλη για να προειδοποιήσει εγκαίρως για ένα συμβάν όπως αυτό. [15]



## 8.2 Υπερυπολογιστές

Είναι υπερυπολογιστές του NOAA που συλλέγουν, επεξεργάζονται και αναλύουν δισεκατομμύρια παρατηρήσεις από δορυφόρους καιρού, μπαλόνια καιρού, σημαντήρες και επιφανειακούς σταθμούς από όλο τον κόσμο.

Το λειτουργικό σύστημα υπερυπολογιστών καιρού και κλίματος της NOAA (WCSS) είναι η ραχοκοκαλιά της σύγχρονης πρόβλεψης. Με 5,78 petaflop υπολογιστική ικανότητα μπορεί να επεξεργαστεί τετραπλάσιους υπολογισμούς ανά δευτερόλεπτο. Αυτοί οι υπερυπολογιστές είναι σχεδόν 6 εκατομμύρια φορές πιο ισχυροί από τον μέσο επιτραπέζιο υπολογιστή. Τα δεδομένα παρατήρησης που συλλέχθηκαν από ραντάρ doppler, δορυφόρους καιρού, και άλλα όργανα τροφοδοτούνται σε υπολογιστικά μοντέλα αριθμητικής πρόβλεψης NWS. Τα μοντέλα χρησιμοποιούν εξισώσεις, μαζί με νέα και προηγούμενα δεδομένα καιρού, για να παρέχουν προβλέψεις καθοδήγησης στους μετεωρολόγους.

Η Εθνική Υπηρεσία Καιρού χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό δεδομένων ραντάρ, δορυφόρου, ανίχνευσης κεραυνών και επιφανειακών παρατηρήσεων, συμπεριλαμβανομένων εθελοντικών αναφορών spotter για την ανίχνευση και παρακολούθηση σοβαρών καιρικών συνθηκών. Τα εξελιγμένα ραντάρ Doppler σε όλη τη χώρα έχουν αυξήσει σημαντικά την ικανότητα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας να εντοπίσει σοβαρές καταιγίδες και ανεμοστρόβιλους και να προειδοποιήσει το κοινό για το πού κινείται η καταιγίδα και ποιες μέτρα πρέπει να ληφθούν. Οι αναφορές Spotter λένε στους προγνώστες το μέγεθος του χαλαζιού, το βάθος του χιονιού ή των υδάτων πλημμύρας, εάν προκαλείται ζημιά από τον άνεμο ή εάν παρατηρείται ανεμοστρόβιλος. Αυτές οι αναφορές παρέχουν αξιοπιστία στις εικόνες που εμφανίζονται στο ραντάρ Doppler. [16]

## 8.3 AWIPS

Το AWIPS (το προηγμένο σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών για τον καιρό της NOAA) είναι ένα σύστημα επεξεργασίας υπολογιστών που συνδυάζει δεδομένα από όλα τα προηγούμενα εργαλεία σε μια γραφική διεπαφή που χρησιμοποιούν οι προγνώστες για την ανάλυση δεδομένων και την προετοιμασία και την έκδοση προβλέψεων και προειδοποιήσεων. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί τους υπερυπολογιστές NOAA για την επεξεργασία δεδομένων από ραντάρ doppler, δορυφόρους καιρού, ASOS και άλλες πηγές χρησιμοποιώντας μοντέλα και προϊόντα πρόβλεψης. Αφού οι μετεωρολόγοι προετοιμάσουν τις προβλέψεις, το AWIPS δημιουργεί γραφήματα καιρού, προβλέψεις για επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα και προειδοποιήσεις. Όλα αυτά βοηθούν τους μετεωρολόγους να δημιουργήσουν πιο ακριβείς προβλέψεις, πιο γρήγορα από ποτέ.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

## PANTAR

Ένα ραντάρ (radio detection and ranging που σημαίνει ανίχνευση με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και μέτρηση αποστάσεως) αποτελείται από έναν πομπό και έναν δέκτη. Ο πομπός εκπέμπει παλμούς μικροκυμάτων, έναν τύπο ραδιοκυμάτων, προς τα έξω σε κυκλικό μοτίβο. Η βροχόπτωση διαχέει αυτά τα μικροκύματα, στέλνοντας κάποια από αυτά πίσω στον πομπό, όπου ανιχνεύονται από τον δέκτη του ραντάρ. Η ένταση αυτού του λαμβανόμενου σήματος δείχνει την ένταση της κατακρήμνισης. Η μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για το ραδιοκύμα να αφήσει το ραντάρ και να επιστρέψει μας μαρτυρά πόσο μακριά είναι η καταιγίδα. Η κατεύθυνση που δείχνει το ραντάρ εντοπίζει την καταιγίδα.

Μοναδικά, το ραντάρ Doppler μπορεί να μετρήσει την ταχύτητα του ανέμου σε κατακρημνισμένες περιοχές. Ένας δέκτης ραντάρ Doppler «ακούει» κύματα υψηλότερης συχνότητας εάν τα σωματίδια κατακρήμνισης κινούνται προς το ραντάρ και χαμηλότερης συχνότητας εάν τα σωματίδια απομακρύνονται. Αυτό επιτρέπει στα ραντάρ του Doppler να αναγνωρίζουν τον καιρό. Για παράδειγμα, εάν τα σωματίδια αλλάζουν κίνηση μπρος και μετά από το ραντάρ Doppler σε μικρή απόσταση, η πηγή μπορεί να είναι ανεμοστρόβιλος. [7]

### 9.1 Ραντάρ Doppler

Το WSR-88D (Weather Surveillance Radar - 1988 Doppler) είναι το νέο σύστημα ραντάρ για το NWS. Το ραντάρ Doppler στέλνει πεδία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που μπορούν να ανακλαστούν πίσω στο ραντάρ από σωματίδια στον αέρα όπως οι βροχοσταγόνες. Η ποσότητα ενέργειας που ανακλάται πίσω μπορεί να μας πληροφορήσει πόσο ραγδαία είναι η βροχή ή αν υπάρχει χαλάζι. Το ραντάρ Doppler μπορεί επίσης να μας δείξει πώς φυσάει ο άνεμος κοντά και μέσα στην καταιγίδα. Αυτό είναι χρήσιμο για την κατανόηση των κινδύνων που μπορεί να ενέχει η καταιγίδα (ανεμοστρόβιλος, μικροβροχή, μέτωπα ριπής κ.λπ.). Μας βοηθά επίσης να καταλάβουμε πώς τροφοδοτείται η καταιγίδα.

Είναι επομένως ένα πολύ ευαίσθητο ραντάρ, σχεδιασμένο ειδικά για την ανίχνευση καιρικών φαινομένων. Οι υπολογιστές που συλλέγουν τα δεδομένα ραντάρ μπορούν να παράγουν έως και 100 διαφορετικές προβλέψεις κάθε 5 λεπτά και βοηθούν στην ερμηνεία της πρόγνωσης.

Συνήθως, το ραντάρ χρησιμοποιείται για να πληροφορήσει τους μετεωρολόγους πού συμβαίνει βροχόπτωση, πόσο έντονη είναι και προς τα πού κινείται. Οι καταιγίδες Supercell, που εμφανίζουν περιστροφή καταιγίδων, ενδέχεται να επιτρέψουν στους προγνώστες να προειδοποιήσουν για έναν ανεμοστρόβιλο έως και 20 λεπτά προτού φτάσει κάτω. Οι δεξιότητες των υπολογιστών και της χαρτογράφησης με το νέο σύστημα ραντάρ βοηθούν επίσης τους μετεωρολόγους να προσδιορίσουν τις ποσότητες βροχόπτωσης και να εντοπίσουν περιοχές με πιθανά προβλήματα πλημμύρας.

Όπως όλες οι τεχνολογίες, τα ραντάρ έχουν τους περιορισμούς τους. Οι ακτίνες τους δεν μπορούν να δουν μέσα από τα βουνά. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα ανιχνευτεί ο καιρός στον πυθμένα μιας κοιλάδας μεταξύ οροσειρών. Λόγω της καμπυλότητας της γης, καθώς η δέσμη ραντάρ απομακρύνεται από την πηγή της, φτάνει όλο και πιο ψηλά στην ατμόσφαιρα και δεν παίρνει πλέον δειγματοληψία στο κάτω μέρος των νεφών της καταιγίδας. Το NWS αντισταθμίζει το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιώντας μοντέλα καιρού που βοηθούν τους προγνώστες να συμπληρώσουν τα κενά και να παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση του εδάφους. [10]

## 9.2 Παρατηρήσεις επιφάνειας

Η επιφανειακή παρατήρηση είναι η «αλήθεια εδάφους» για εργαλεία όπως ραντάρ και δορυφόρους. Επειδή οι καταιγίδες εντοπίζονται αρκετά εύκολα και είναι μικρής χωρικής κλίμακας (το σοβαρό καιρικό φαινόμενο της καταιγίδας μπορεί να επηρεάσει μόνο μια περιοχή πλάτους ενός μιλίου), θα ήταν αδύνατο να υπάρχουν παντού παρατηρητές καιρού.

Είναι ο συνδυασμός των αναφορών επιφάνειας και των εργαλείων τηλεπισκόπησης που ολοκληρώνει την εικόνα για τους προγνώστες και αυξάνει την ικανότητά τους να εκδίδουν αποτελεσματικές, ενημερωτικές και έγκαιρες προειδοποιήσεις. Βέβαια αν και η νέα τεχνολογία έχει βελτιώσει την ικανότητα του μετεωρολόγου να εκδίδει έγκαιρη προειδοποίηση, θα έχει ελάχιστη χρησιμότητα εάν τα άτομα που λαμβάνουν την προειδοποίηση δεν γνωρίζουν τι μέτρα ασφαλείας πρέπει να πάρουν. [9]

## 9.3 Μετεωρολογικά μηνύματα METAR-SYNOP-SPECI

Η πρόγνωση των καιρικών φαινομένων (άρα και των καταιγίδων) γίνεται από δορυφόρους και ραντάρ. Η συγκέντρωση όμως των δεδομένων των καιρικών συνθηκών και η αποστολή τους ως μηνύματα, γίνεται μέσα από τους κώδικες Metar Specι και Synop.

# ΚΕΦΑΛΙΟ ΔΕΚΤΟ

## ΚΩΔΙΚΑΣ METAR

Το METAR είναι μια μορφή αναφοράς πληροφοριών καιρού. Μια αναφορά καιρού METAR χρησιμοποιείται κυρίως από πιλότους αεροσκαφών και από μετεωρολόγους, οι οποίοι χρησιμοποιούν συγκεντρωτικές πληροφορίες του METAR για να βοηθήσουν στην πρόγνωση καιρού.

Το Raw METAR είναι η πιο κοινή μορφή στον κόσμο για τη μετάδοση δεδομένων παρατήρησης του καιρού. Είναι εξαιρετικά τυποποιημένο μέσω του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) και έτσι γίνεται κατανοητό σε όλο τον κόσμο.

Τα METAR προέρχονται συνήθως από αεροδρόμια ή σταθμούς παρακολούθησης καιρού. Οι αναφορές δημιουργούνται μία φορά την ώρα ή κάθε μισή ώρα (συνήθως κάθε και 20 και παρά δέκα), αλλά εάν οι συνθήκες αλλάξουν σημαντικά, ενδέχεται να εκδοθεί μια αναφορά γνωστή ως SPECI. Τα SpecI ουσιαστικά είναι έκτακτα μηνύματα Metar. Ορισμένα METAR κωδικοποιούνται από αυτοματοποιημένους μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται σε αεροδρόμια και στρατιωτικές βάσεις. Ορισμένα γραφεία καιρού εξακολουθούν να χρησιμοποιούν παρατηρήσεις, οι οποίες καταγράφονται από ψηφιακούς αισθητήρες, κωδικοποιούνται μέσω λογισμικού και στη συνέχεια ελέγχονται από πιστοποιημένους παρατηρητές καιρού ή μετεωρολόγους. Οι παρατηρήσεις μπορούν επίσης να ληφθούν από εκπαιδευμένους παρατηρητές ή προγνώστες που παρατηρούν και κωδικοποιούν τις παρατηρήσεις τους.

Ένα τυπικό METAR περιέχει δεδομένα για τη θερμοκρασία, το σημείο δρόσου, την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου, τη βροχόπτωση, τα ύψος των νεφών, την ορατότητα και τη βαρομετρική πίεση. Ένα METAR μπορεί επίσης να περιέχει πληροφορίες για ποσότητες υετού, κεραυνούς και άλλα στοιχεία που ενδιαφέρουν τους πιλότους ή τους μετεωρολόγους, όπως μια πιλοτική αναφορά ή PIREP, καταστάσεις χρώματος και οπτική εμβέλεια διαδρόμου (RVR).

Επιπλέον, μια βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη που ονομάζεται TREND μπορεί να προστεθεί στο τέλος του METAR καλύπτοντας πιθανές αλλαγές στις καιρικές συνθήκες τις δύο ώρες μετά την παρατήρηση. Αυτά έχουν την ίδια μορφή με την Πρόγνωση τερματικής του αεροδρομίου (TAF).

Το συμπλήρωμα δηλαδή των METAR, που αναφέρει τις προβλέψεις καιρού και όχι τον τρέχοντα καιρό, είναι το TAF. Τα METAR και TAF χρησιμοποιούνται σε εκπομπές VOLMET. [12]

## 10.1 Παράδειγμα Metar

LGTS 221520Z 29010KT 9999 BR FEW030 BKN070 11/10 Q1007 RERA TEMPO 19015G30KT  
4000 TSRA BKN010 SCT15CB:

BR – Mist (Υγρή αχλύς), RERA – RE = Recent (Πρόσφατος) , RA = Rain (Βροχή) TEMPO – Παροδική μεταβολή του καιρού που προβάλλεται μαζί με την κύρια αναφορά. 19015G30KT – άνεμος από 190 μοίρες, έντασης 15 κόμβων αλλά με ριπές έως 30 κόμβους TSRA – TS = Thunderstorms (Καταιγίδα), RA = Rain (Βροχή) SCT15CB –  $\frac{3}{4}$  νέφη στα 1500 πόδια και ανάπτυξη νεφών Cumulonimbus. [7]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### ΚΩΔΙΚΑΣ SYNOP

Πρόκειται για μία αναφορά παρατήρησης όπως το METAR μόνο που είναι πολύ πιο εκτενές στις πληροφορίες που απεικονίζει και δίδεται κάθε 3 ώρες . Το Synop κωδικοποιείται σε 5ψήφιες ομάδες και ουσιαστικά είναι μια συνοπτική εικόνα των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στον μετεωρολογικό σταθμό κατά το χρονικό διάστημα της ισχύος του. Οι ώρες που δίδεται είναι στις κύριες (00-06-12-18) και στις δευτερεύουσες (03-09-15-21). Το Synop δεν ενδιαφέρει τόσο τους πιλότους αλλά του προγνώστες, καθώς βοηθάει στη, δημιουργία μετεωρολογικών μοντέλων για τις προγνώσεις.

Παράδειγμα synop:

13586 31530 80000 10036 20029 39821 40218 53002 71022 886//

333029 88715.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ VAISALA

Για την καταγραφή και συγκέντρωση μετεωρολογικών δεδομένων πολλοί σταθμοί καιρού παγκοσμίως χρησιμοποιούν το πρόγραμμα Vaisala. Σε αντίθεση με τους προκατόχους του, το Vaisala συγκεντρώνει από μόνο του όλα τα στοιχεία που χρειάζονται για τα Metar και Synop. Δεν χρειάζεται δηλαδή η συγκέντρωσή τους από τους μετεωρολόγους-παρατηρητές. Βεβαίως τα νέφη μπορούν να παρατηρηθούν πιο ιδανικά με το ανθρώπινο μάτι ενός έμπειρου παρατηρητή. Οπότε ως προς αυτό το θέμα το Vaisala δεν έχει αντικαταστήσει ακόμη τον μετεωρολόγο. Στοιχεία όπως η απόλυτη και σχετική υγρασία, η βαρομετρική πίεση, η καταγραφή του ανέμου κ.α συγκεντρώνονται λοιπόν από το πρόγραμμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την πιο γρήγορη αποστολή των μετεωρολογικών μηνμάτων. Το Vaisala χρησιμοποιείται από πολλά γραφεία καιρού και στην Ελλάδα. Το υψηλό κόστος της αγοράς του όμως έχει αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την εγκατάστασή του και στα υπόλοιπα γραφεία καιρού στα πολιτικά και πολεμικά αεροδρόμια. [7]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ

Οι καιρικές προβλέψεις γίνονται από υπερυπολογιστές που επιλύουν εξαιρετικά δύσκολες και περίπλοκες μαθηματικές εξισώσεις. Αυτές οι εξισώσεις μπορεί να διαφέρουν δραστικά ανάλογα με την περιοχή, το έδαφος, τα τεχνητά μέσα και πολλές άλλες παραμέτρους.

Επιπλέον, η πρόβλεψη απαιτεί ένα τεράστιο φάσμα μετεωρολογικών δεδομένων, που συλλέγονται από τους δορυφόρους, τα συστήματα παρατήρησης, αυτόματους και επανδρωμένους σταθμούς, αεροσκάφη, πλοία, μπαλόνια καιρού και ούτω καθεξής. Αυτός είναι ο λόγος που υπάρχουν σήμερα δεκάδες μοντέλα πρόβλεψης, το καθένα προσαρμοσμένο για μια συγκεκριμένη εργασία.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μοντέλων πρόβλεψης: παγκόσμια, που καλύπτουν ολόκληρο τον πλανήτη και τοπικά, που καλύπτουν συγκεκριμένες περιοχές, όπως ηπείρους, χώρες, οροσειρές και ούτω κ.τ.λ. Τόσο τα παγκόσμια όσο και τα τοπικά μοντέλα διαφέρουν μεταξύ τους στις αναλύσεις τους όπως στην απόσταση μεταξύ δύο σημείων του πλέγματος. Μεγαλύτερες αναλύσεις απόστασης 50 έως 10 km συνήθως αναπτύσσονται σε σχετικά επίπεδα εδάφη, ενώ οι οροσειρές απαιτούν τα σημεία να είναι πολύ πιο κοντά ο ένας στον άλλο, συνήθως 5, 2 ή 1 km.

#### 13.1 Παγκόσμια μοντέλα πρόβλεψης καταιγίδων και άλλων φαινομένων

##### 13.1.1 ECMWF (Ευρωπαϊκό Κέντρο μετεωρολογικών προβλέψεων μεσαίου εύρους)

Ανάλυση: διάφορα (14 χλμ. Στο Windy.app)

Βάθος πρόβλεψης: 10 ημέρες

Βήμα: 3 ώρες

Συχνότητα ενημερώσεων: 2 φορές / ημέρα

Το ECMWF είναι ένα ευρωπαϊκό απρόσκοπτο μοντέλο παγκόσμιας πρόβλεψης και θεωρείται ευρέως ως το καλύτερο και πιο αξιόπιστο μοντέλο που υπάρχει σήμερα. Χρησιμοποιεί αυτό που ονομάζεται 4D, το οποίο είναι μια αφομοίωση που επιτρέπει στο μοντέλο να ενημερώνεται συνεχώς



καθώς δέχεται νέα δορυφορικά ή άλλα δεδομένα εισόδου. Είναι γνωστό ότι το ECMWF ήταν το μόνο μοντέλο που προέβλεψε με ακρίβεια την κίνηση του τυφώνα Sandy. [10]

### **13.1.2 GFS (Το παγκόσμιο σύστημα προβλέψεων)**

Ανάλυση: 27 χλμ

Βάθος πρόβλεψης: 10 ημέρες

Βήμα: 1 ώρα

Συχνότητα ενημερώσεων: 4 φορές / ημέρα

Το GFS είναι το πιο γνωστό παγκόσμιο καιρικό μοντέλο και ενημερώνεται κάθε έξι ώρες από την αμερικανική μετεωρολογική υπηρεσία. Στην πραγματικότητα αποτελείται από 4 ξεχωριστά μοντέλα που συνεργάζονται για να απεικονίσουν μια ακριβή εικόνα των καιρικών συνθηκών: στην ατμόσφαιρα, στους ωκεανούς, στα εδάφη και στον θαλάσσιο πάγο. Ωστόσο, δεν λαμβάνει υπόψη την τοπογραφία και τα σχήματα των ακτών, επομένως δεν είναι πολύ ακριβές για μέρη δίπλα σε υδάτινα σώματα. Είναι όμως πολύ καλό για τους ωκεανούς.

Το GFS + είναι μια άλλη έκδοση του ίδιου μοντέλου. Ενώ το τυπικό GFS27 παρεμβάλλει δεδομένα για κάθε σημείο του τετραγώνου 27 km x 27 km, η έκδοση GFS + δείχνει πάντα τη μέγιστη τιμή σε κάθε τετράγωνο.

### **13.1.3 ICON (Παγκόσμιο γερμανικό πρότυπο)**

Ανάλυση: διάφορα (Ευρώπη 7km, ICON7), (παγκόσμια 13km, ICON13)

Βάθος πρόβλεψης: 5,1 ημέρα

Βήμα: 1 ώρα

Συχνότητα ενημερώσεων: 4 φορές / ημέρα

Δημιουργήθηκε από τη Γερμανική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Deutscher Wetterdienst). Το ICON θεωρείται γενικά ακόμη πιο ακριβές από το ECMWF λόγω της καλύτερης ανάλυσης, αν και μόνο στην Ευρώπη. Οι πιο σημαντικές μεταβλητές του ICON είναι η πυκνότητα του αέρα και η θερμοκρασία του, η οριζόντια και κάθετη ταχύτητα του ανέμου, η υγρασία, το νεφελώδες νερό, ο

πάγος νέφους, η βροχή και το χιόνι. Το τμήμα μικρής κλίμακας περιλαμβάνει το μοντέλο COSMO, το οποίο θα ενσωματωθεί πλήρως στο ICON έως το 2020. [7]

#### **13.1.4 UM (Ηνωμένο Βασίλειο Met Office)**

Ανάλυση: 1,5 km (UK), 10 km (Global)

Το UM (Unified Model), που συχνά αναφέρεται ως UKMO, είναι ένα παγκόσμιο μοντέλο που αναπτύχθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο. Αυτό το μοντέλο λειτουργεί κάθε 12 ώρες, με την έξοδο να εξαντλείται σε 3 ημέρες. Λόγω της ανάλυσής του, το UKMET είναι το πιο αξιόπιστο μοντέλο για το Ηνωμένο Βασίλειο. Το παγκόσμιο μοντέλο θεωρείται αξιόπιστο και αποτελεί βάση για ορισμένα περιφερειακά μοντέλα μικρής κλίμακας (π.χ. Νέα Ζηλανδία).

#### **13.1.5 CFS (Σύστημα Πρόβλεψης Κλίματος)**

Ανάλυση: 108 χλμ

Βάθος πρόβλεψης: 30 ημέρες

Βήμα: 6 ώρες

Συχνότητα ενημερώσεων: 4 φορές / ημέρα

Το CFS είναι ένα παγκόσμιο αριθμητικό μοντέλο. Παράγεται από το US NOAA NCEP (Εθνικά Κέντρα Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης). Το μοντέλο βασίζεται σε 11 χρόνια καιρικών παρατηρήσεων. Σε κάθε ημερολογιακή μέρα, η ευθεία μέση τιμή καθορίζεται από τις διαθέσιμες 11 τιμές. Γενικά αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία: πραγματικός κλιματολογικός ετήσιος κύκλος, μετεωρολογικός θόρυβος, κλιματολογικός θόρυβος, μοντέλο θορύβου. Η πρότυπη περίοδος πρόβλεψης είναι 9 μήνες. Μπορεί να έχει χαμηλή τιμή πρόβλεψης, αλλά φαίνεται χρήσιμο για μακροπρόθεσμο σχεδιασμό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ

Η όξινη βροχή προκαλείται από τα όξινα αέρια που ανεβαίνουν στον ουρανό και αναμιγνύονται με τα σύννεφα, με αποτέλεσμα τα σύννεφα να «απορροφούν» τα όξινα αέρια και όταν δίνουν βροχή, αυτή να πέφτει με υψηλότερο από το κανονικό επίπεδο οξύτητας. Η βροχή είναι φυσικά όξινη, αλλά τα όξινα αέρια την καθιστούν ακόμη πιο όξινη. Τα όξινα αέρια προκαλούνται κυρίως από ανθρώπους που καίνε ορυκτά καύσιμα όπως άνθρακα και πετρέλαιο. Αλλά και η φύση δημιουργεί αυτά τα αέρια με τα ηφαίστεια.

Στον αντίποδα των οξέων είναι τα αλκάλια. Για παράδειγμα, η οδοντόκρεμα και η σκόνη ψησίματος είναι και τα δύο αλκάλια. Τα ισχυρά αλκάλια, όπως η αμμωνία και το λευκαντικό, μπορεί επίσης να είναι επικίνδυνα.

Η κλίμακα pH χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντοχής των οξέων και των αλκαλίων. Ένας χαμηλός αριθμός pH μάς δείχνει ότι μια ουσία είναι όξινη. Ένας μεγάλος αριθμός μάς δείχνει ότι μια ουσία είναι αλκαλική.

Η βροχή είναι συνήθως λίγο όξινη, με pH περίπου 5,5. Εάν το pH της βροχής είναι κάτω από 5,5 τότε η βροχή πιθανότατα έχει μολυνθεί από όξινα αέρια. Τα αέρια που προκαλούν όξινη βροχή είναι το θείο και το άζωτο. Όταν αυτά αναμιγνύονται με το οξυγόνο και τους υδρατμούς στον αέρα προκαλούν το σχηματισμό διοξειδίου του θείου και οξειδίου του αζώτου. Το μεγαλύτερο μέρος του θείου που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Τα ηφαίστεια παράγουν επίσης πολύ θείο όταν εκρήγνυνται. Τα περισσότερα από τα οξειδία του αζώτου προέρχονται από τα οχήματα με τα οποία ταξιδεύουν οι άνθρωποι σε όλο τον κόσμο καθημερινά δηλαδή αεροπλάνα, αυτοκίνητα και φορτηγά.

Η όξινη βροχή είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα. Όταν απελευθερώνονται όξινα αέρια, ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα και στη συνέχεια μεταφέρονται από ισχυρούς ανέμους. Η όξινη βροχή στις σκανδιναβικές χώρες προκαλείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση στη Βρετανία και σε άλλες χώρες της Ευρώπης. Στις ΗΠΑ, οι άνεμοι στέλνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση σε ορισμένες περιοχές του Καναδά. [15]

Όταν η βροχή είναι όξινη, επηρεάζει τα δέντρα, τις λίμνες, τα κτίρια, τα καλλιεργήσιμα εδάφη και την υγεία μας. Μερικές φορές η βροχή δεν είναι πολύ όξινη και δεν προκαλεί πολλά προβλήματα, αλλά όταν είναι, μπορεί να είναι πολύ επιβλαβής για το περιβάλλον.

Το οξύ στην βροχή καταστρέφει σημαντικές ουσίες από τα φύλλα και το έδαφος και αυτό προκαλεί μεγάλο κακό στα φυτά, τα δέντρα και την γη. Εάν το έδαφος είναι αλκαλικό, όταν η όξινη βροχή πέφτει πάνω του, το οξύ γίνεται ουδέτερο και έτσι τα φυτά δεν επηρεάζονται πολύ, αλλά εάν το έδαφος είναι ελαφρώς όξινο, μπορεί να είναι καταστροφικό. Όταν αρκετή όξινη βροχή πέφτει σε λίμνες και ποτάμια, η ζωή μπορεί να εξαφανιστεί σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα ανάλογα με τη μάζα του νερού.

Επίσης η όξινη βροχή επηρεάζει τον άνθρωπο και μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, ακόμη και καρκίνο. Το πόσιμο νερό που έχει μολυνθεί με όξινη βροχή μπορεί επίσης να προκαλέσει εγκεφαλική βλάβη με την πάροδο του χρόνου.

Η όξινη βροχή διαβρώνει επίσης πέτρες και μέταλλα. Έτσι τα κτίρια, ειδικά από ψαμμίτη και ασβεστόλιθο που αποτελούν παραδείγματα μαλακών πετρών, μπορούν να καταστραφούν από τη διάβρωση με την πάροδο του χρόνου. [12]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Ο όρος αναφέρεται σε οποιαδήποτε επικίνδυνα μετεωρολογικά φαινόμενα με δυνατότητα πρόκλησης ζημιών, σοβαρών κοινωνικών διαταραχών ή απώλεια ανθρώπινης ζωής. Οι τύποι ακραίων καιρικών φαινομένων ποικίλλουν, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο, την τοπογραφία και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Οι ισχυροί άνεμοι, το χαλάζι, η υπερβολική βροχόπτωση και οι πυρκαγιές είναι επιπτώσεις από σοβαρές καιρικές συνθήκες, όπως καταιγίδες, ανεμοστρόβιλους, νεροποντές, τροπικούς κυκλώνες, εξωτροπικούς κυκλώνες και ξηρασίες. Τα τοπικά και εποχικά σοβαρά καιρικά φαινόμενα περιλαμβάνουν χιονοθύελλες, καταιγίδες πάγου και καταιγίδες σκόνης.

Οι μετεωρολόγοι ορίζουν γενικά ως ακραίο καιρικό φαινόμενο οποιαδήποτε πτυχή του καιρού, που ενέχει κινδύνους για τη ζωή, την ιδιοκτησία ή απαιτεί την παρέμβαση των αρχών. Ένας στενότερος ορισμός του έντονου καιρού είναι οποιαδήποτε καιρικά φαινόμενα σχετίζονται με σοβαρές καταιγίδες.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), ο έντονος καιρός μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο ομάδες: γενικές καιρικές συνθήκες και τοπικές καιρικές συνθήκες. Οι Ευρωπαϊκές καταιγίδες και τα φαινόμενα που τις συνοδεύουν σχηματίζονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Αυτά τα περιστατικά ταξινομούνται ως γενικές καιρικές συνθήκες. Οι πλημμύρες και οι ανεμοστρόβιλοι είναι πιο τοπικοί και επομένως έχουν πιο περιορισμένο γεωγραφικό αποτέλεσμα. Αυτές οι μορφές καιρού ταξινομούνται ως τοπικές καιρικές συνθήκες [11]

#### 15.1 Πλημμύρες

Μια πλημμύρα είναι ένα φαινόμενο μέσης κλίμακας και αποτελεί μια υπερχειλίση του νερού σε εδάφη, που είναι συνήθως ξηρά. Με την έννοια του "ρέοντος νερού", η λέξη μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στην εισροή της παλίρροιας.

Η πλημμύρα μπορεί να υπάρξει σαν υπερχειλίση νερού από υδάτινα σώματα, όπως ποτάμι, λίμνη ή ωκεανό, στα οποία το νερό ξεπερνά τα συνήθη όρια τους, με αποτέλεσμα μερικά από τα ύδατα να ξεφεύγουν ή μπορεί να συμβεί λόγω συσσώρευσης νερού βροχής σε κορεσμένο έδαφος. Η ποσότητα του υπερχειλισμένου νερού μιας λίμνης ή άλλου «πάροχου» νερού ποικίλλει ανάλογα με τις

εποχιακές αλλαγές, τις βροχοπτώσεις και το λιώσιμο του χιονιού. Αυτές οι αλλαγές στη ποσότητα είναι απίθανο να θεωρηθούν σημαντικές, εκτός εάν πλημμυρίσουν ιδιοκτησία ή πνίξουν κατοικίδια ζώα.

Πλημμύρες μπορούν επίσης να συμβούν σε ποτάμια όταν ο ρυθμός ροής υπερβαίνει την ικανότητα του καναλιού του ποταμού να το αποθηκεύει, ιδιαίτερα σε στροφές στην υδάτινη οδό. Οι πλημμύρες προκαλούν συχνά ζημιές σε σπίτια και επιχειρήσεις,. Ενώ οι πλημμύρες των ποταμών θα μπορούσαν να εξαλειφθούν με την απομάκρυνση των ανθρώπων από αυτά, οι άνθρωποι παραδοσιακά ζούσαν και εργάζονταν κοντά σε ποτάμια επειδή η γη εκεί είναι συνήθως επίπεδη και εύφορη και επειδή τα ποτάμια παρέχουν εύκολη πρόσβαση στο εμπόριο και τη βιομηχανία.

Μερικές πλημμύρες αναπτύσσονται αργά, ενώ άλλες μπορούν να αναπτυχθούν σε λίγα λεπτά και χωρίς ορατά σημάδια βροχής. Επιπλέον, μπορεί να είναι τοπικές, επηρεάζοντας μια γειτονιά ή μια κοινότητα ή πολύ μεγάλες, επηρεάζοντας ολόκληρες τις λεκάνες απορροής ποταμού. [5]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

## ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΧΙΟΝΙΟΥ

### 16.1 Χιόνι στην ατμόσφαιρα

Μόλις σχηματιστούν κρύσταλλοι χιονιού στην ατμόσφαιρα, μεγαλώνουν απορροφώντας τα γύρω σταγονίδια νερού. Οι νιφάδες χιονιού που καταλήγουνε στο έδαφος είναι μια ένωση αυτών των κρυστάλλων πάγου. Αυτή η μεγεθυμένη εικόνα κρυστάλλων χιονιού καταγράφηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης χαμηλής θερμοκρασίας (SEM). Τα ψευδοχρώματα που απαντώνται συνήθως στις εικόνες SEM δημιουργούνται από υπολογιστή, και σε αυτήν την περίπτωση επισημαίνουν τους διαφορετικούς σχηματισμούς νιφάδων.

Οι μπάλες χιονιού που βλέπουμε στο έδαφος, είναι αποτέλεσμα ένωσης των παγοκρυστάλλων της φωτογραφίας.

Το κατά πόσον οι χειμερινές καταιγίδες παράγουν χιόνι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, αλλά όχι απαραίτητα από τη θερμοκρασία που αισθανόμαστε εδώ στο έδαφος. Το χιόνι σχηματίζεται όταν η ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι κάτω από το σημείο πήξεως (0 βαθμοί Κελσίου ή 32 βαθμοί Φαρενάιτ) και υπάρχει ελάχιστη ποσότητα υγρασίας στον αέρα. Εάν η θερμοκρασία του εδάφους είναι στο σημείο πήξεως ή κάτω από αυτό, το χιόνι θα φτάσει στο έδαφος. Ωστόσο, το χιόνι μπορεί ακόμα να φτάσει στο έδαφος όταν η θερμοκρασία του εδάφους είναι πάνω από το σημείο πήξεως εάν οι συνθήκες είναι σωστές. Σε αυτήν την περίπτωση, οι νιφάδες χιονιού θα αρχίσουν να λιώνουν καθώς φτάνουν σε αυτό το υψηλότερο επίπεδο θερμοκρασίας. Η τήξη δημιουργεί ψύξη λόγω της απώλειας λανθάνουσας θερμότητας, που ψύχει τον αέρα γρήγορα γύρω από τις νιφάδες χιονιού. Κατά γενικό κανόνα, ωστόσο, το χιόνι δεν θα σχηματιστεί εάν η θερμοκρασία του εδάφους είναι τουλάχιστον 5 βαθμοί Κελσίου (41 βαθμοί Φαρενάιτ).

Το χιόνι μπορεί να εμφανιστεί ακόμη και σε απίστευτα χαμηλές θερμοκρασίες εφόσον υπάρχει κάποια πηγή υγρασίας και κάποιος τρόπος ανύψωσης ή ψύξης του αέρα. Είναι αλήθεια, ωστόσο, ότι οι περισσότερες έντονες χιονοπτώσεις συμβαίνουν όταν υπάρχει σχετικά θερμός αέρας κοντά στο έδαφος, καθώς ο θερμότερος αέρας μπορεί να συγκρατήσει περισσότερους υδρατμούς.

Επειδή ο σχηματισμός χιονιού απαιτεί υγρασία, πολύ κρύες αλλά ταυτόχρονα και πολύ ξηρές περιοχές ενδέχεται σπάνια να δέχονται χιόνι. Οι ξηρές κοιλάδες της Ανταρκτικής, για παράδειγμα, αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα της ηπείρου που δεν δέχεται χιόνι. Οι ξηρές κοιλάδες είναι αρκετά κρύες αλλά έχουν πολύ χαμηλή υγρασία και οι ισχυροί άνεμοι βοηθούν στην απομάκρυνση τυχόν

υγρασίας που απομένει στον αέρα. Ως αποτέλεσμα, αυτή η εξαιρετικά κρύα περιοχή δέχεται λίγο χιόνι. [10]

## 16.2 Χιόνι στο έδαφος

Η μορφή της επιφάνειας του χιονιού μετά από χιονοπτώσεις εξαρτάται από την αρχική μορφή των κρυστάλλων και από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν όταν έπεσε το χιόνι. Για παράδειγμα, όταν μια χιονόπτωση συνοδεύεται από ισχυρούς ανέμους, οι κρύσταλλοι χιονιού διασπώνται σε μικρότερα θραύσματα που μπορούν να γίνουν πιο πυκνά. Μετά από μια χιονόπτωση, το χιόνι μπορεί να λιώσει ή να εξατμιστεί ή να παραμείνει για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Εάν το χιόνι παραμείνει στο έδαφος, η υφή, το μέγεθος και το σχήμα των μεμονωμένων κόκκων θα αλλάξουν ακόμα και όταν η θερμοκρασία του χιονιού παραμένει κάτω από το σημείο πήξης, ή ενδέχεται να λιώσουν και να παγώσουν με την πάροδο του χρόνου και τελικά να συμπιεστούν από τις επόμενες χιονοπτώσεις.

Κατά τη χειμερινή περίοδο στα μεγάλα πλάτη ή στα ορεινά των μικρότερων πλατών, η χιονόπτωση συνήθως συσσωρεύεται και αναπτύσσει μια σύνθετη στρωματοποιημένη δομή που αποτελείται από μια ποικιλία κόκκων χιονιού, που αντικατοπτρίζουν τις καιρικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη στιγμή της απόθεσης, καθώς και τις αλλαγές στο στρώμα χιονιού με την πάροδο του χρόνου.

Πόσο μεγάλες είναι οι νιφάδες χιονιού;

Οι νιφάδες χιονιού είναι ενώσεις πολλών παγοκρυστάλλων. Οι περισσότερες νιφάδες έχουν διάμετρο μικρότερη από 1,3 εκατοστά (0,5 ίντσες). Υπό ορισμένες συνθήκες, που συνήθως απαιτούν θερμοκρασίες ψύξης, ελαφρούς ανέμους και ασταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες, μπορούν να σχηματιστούν πολύ μεγαλύτερες και ακανόνιστες νιφάδες, πλησίον των 5 εκατοστών (2 ίντσες). Δεν λαμβάνονται ποτέ συνήθη μέτρα μέτρησης των διαστάσεων νιφάδας χιονιού, επομένως το ακριβές μέγεθος δεν είναι γνωστό.

## 16.3 Διαφορές ανάμεσα σε χιόνι και χαλάζι

Πολλοί είναι αυτοί που μπερδεύουν το χιόνι με το χαλάζι θεωρώντας ότι είναι το ίδιο φαινόμενο. Παρακάτω θα γίνει μια περιληπτική αναφορά στις βασικές τους διαφορές.

1. Οι νιφάδες χιονιού είναι κρύσταλλοι πάγου, ενώ οι χαλάζι είναι μπάλες πάγου.



2. Το χαλάζι σχηματίζεται όταν μία σταγόνα νερού ανεβοκατεβαίνει πολλές φορές μέσα σε ένα νέφος κατακόρυφης ανάπτυξης και αποκτά πολλαπλές στρώσεις πάγου. Οι νιφάδες χιονιού σχηματίζονται όταν οι υδρατμοί κρυσταλλώνονται.
3. Οι νιφάδες χιονιού συνήθως σχηματίζονται σε σύννεφα nimbostratus , ενώ το χαλάζι σχηματίζεται μόνο σε σύννεφα cumulonimbus.
4. Το χαλάζι έχει δακτυλίους , που μπορούμε να δούμε όταν κόβεται στη μέση. Οι νιφάδες χιονιού έχουν διαφορετικά σχήματα αλλά είναι πάντα εξαγωνικές.
5. Χαλάζι εμφανίζεται κατά τη διάρκεια καταιγίδων ή ανεμοστρόβιλων, συνήθως κατά τη θερμή περίοδο ενώ το χιόνι πέφτει μόνο κατά τη χειμερινή περίοδο [13]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

## ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ BERGERON

Συνήθως ονομάζεται διαδικασία πάγου και βροχόπτωσης, και παλαιότερα, θεωρία παγοκρυστάλλων,. Επίσης είναι γνωστή ως διαδικασία ή θεωρία Bergeron-Findeisen-Wegener ακόμη και με τα ονόματα με διαφορετική σειρά. Αποτελεί μια θεωρητική εξήγηση της διαδικασίας με την οποία τα σωματίδια κατακρήμνισης μπορούν να σχηματιστούν μέσα ένα μικτό νέφος (αποτελούμενο από κρύσταλλους πάγου και σταγόνες υγρού νερού).

Η βάση αυτής της θεωρίας είναι ότι η τάση ατμών ισορροπίας υδρατμών σε σχέση με τον πάγο είναι μικρότερη από αυτήν σε σχέση με το υγρό νερό στην ίδια θερμοκρασία υπέρτηξης. Έτσι, κατά την ανάμιξη αυτών των σωματιδίων, και υπό την προϋπόθεση ότι η συνολική περιεκτικότητα σε νερό είναι αρκετά υψηλή, οι κρύσταλλοι πάγου θα κερδίσουν μάζα με εναπόθεση ατμών σε βάρος των υγρών σταγόνων που θα χάσουν τη μάζα με εξάτμιση. Με την επίτευξη επαρκούς βάρους, οι κρύσταλλοι πάγου θα πέσουν ως χιόνι και πιθανότατα θα τροποποιηθούν περαιτέρω μέσω της τήξης ή / και εξάτμισης πριν φτάσουν στο έδαφος. Αυτή η θεωρία προτάθηκε για πρώτη φορά από τον T. Bergeron το 1933 και αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον W. Findeisen. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της που σχετίζονται με την πυρήνωση είχαν προταθεί από τον A. Wegener ήδη από το 1911. Για την λειτουργία αυτής της διαδικασίας απαιτούνται πολλές μικρές σταγόνες νερού που έχουν υπερψυχθεί (κάτι που αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό στα σύννεφα με θερμοκρασία μεταξύ περίπου  $0^{\circ}$  και  $-20^{\circ}$  C ή μικρότερη) μαζί με μικρό αριθμό κρυστάλλων πάγου. Οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται με εναπόθεση ατμών με μέγιστο ρυθμό περίπου στους  $-12^{\circ}\text{C}$ , για να δώσουν μεμονωμένους κρυστάλλους χιονιού σε περίπου 10 έως 20 λεπτά. [3]

### 17.1 Διαδικασία πυρήνωσης

Στη φύση, η ετερογενής πυρήνωση είναι η πιο κοινή, όταν μια τέτοια αλλαγή λαμβάνει χώρα σε μικρά σωματίδια διαφορετικής σύνθεσης και δομής. Ομογενής πυρήνωση εμφανίζεται όταν η αλλαγή της κατάστασης επικεντρώνεται σε έμβρυα που υπάρχουν στην ίδια αρχική κατάσταση με την μεταβαλλόμενη ουσία. Σε αυτήν την περίπτωση, το σύστημα πυρήνωσης περιέχει μόνο ένα συστατικό και ονομάζεται ομογενής πυρήνωση. Στην μετεωρολογία, ιδιαίτερα στη φυσική του νέφους, ενδιαφέρον προκαλούν ορισμένοι τύποι πυρήνων. Η διαδικασία με την οποία οι πυρήνες

συμπύκνωσης νέφους ξεκινούν την αλλαγή φάσης από ατμούς σε υγρό είναι σημαντική σε όλα τα προβλήματα σχηματισμού νέφους. Η φύση των πυρήνων συμπύκνωσης που μπορεί να είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή των σταγόνων του υπερψυγμένου νερού σε κρυστάλλους πάγου είναι κρίσιμης σημασίας στη θεωρία κατακρήμισης, όπως και η αποσαφήνιση του ρόλου της ομογενούς πυρήνωσης κοντά στους  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Με βάση τη θερμοδυναμική, όλες οι διεργασίες πυρήνωσης περιλαμβάνουν μείωση της ελεύθερης ενέργειας που σχετίζεται με την αλλαγή της φάσης και την αύξηση της ελεύθερης ενέργειας που σχετίζεται με τη δημιουργία νέων διεπαφών μεταξύ των φάσεων. [4]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΩΟ

### ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΑΣΤΡΑΠΩΝ

Τα συστήματα ανίχνευσης αστραπών χαρτογραφούν τις αστραπές από το σύννεφο, όπως πέφτουν στο έδαφος. Παρόλο που αυτό επιτρέπει στους μετεωρολόγους να γνωρίζουν ότι οι καταιγίδες είναι πράγματι σε εξέλιξη καθώς και τη συχνότητα των κεραυνών, λέει λίγα για τη σοβαρότητα της καταιγίδας. Οι άνθρωποι αναφέρουν συχνά "έντονο κεραυνό", αλλά όχι αστραπή, ένα κριτήριο για το εάν μια καταιγίδα είναι σοβαρή, σύμφωνα με τον ορισμό του NWS του «σοβαρού κεραυνού». Ο κεραυνός βοηθά τις προβλέψεις για πυρκαγιά και τους οργανισμούς διαχείρισης γης και τοπικούς πυροσβέστες.

Ένας ανιχνευτής αστραπών είναι μια συσκευή που ανιχνεύει κεραυνούς που προκαλούνται από καταιγίδες. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι ανιχνευτών: επίγεια συστήματα που χρησιμοποιούν πολλαπλές κεραίες, κινητά συστήματα που χρησιμοποιούν την κατεύθυνση και την κεραία αίσθησης στην ίδια θέση (συχνά πάνω σε αεροσκάφος) και συστήματα που βασίζονται στο διάστημα. Η πρώτη τέτοια συσκευή εφευρέθηκε το 1894 από τον Alexander Stepanovich Popov. Ήταν επίσης ο πρώτος ραδιοφωνικός δέκτης στον κόσμο.

Οι επίγαιοι και κινητοί ανιχνευτές υπολογίζουν την κατεύθυνση και τη σοβαρότητα του κεραυνού από την τρέχουσα θέση, χρησιμοποιώντας τεχνικές εύρεσης κατεύθυνσης ραδιοφώνου μαζί με ανάλυση των χαρακτηριστικών συχνοτήτων που εκπέμπονται από κεραυνό. Τα επίγεια συστήματα χρησιμοποιούν τριγωνισμό από πολλές τοποθεσίες, για να προσδιορίσουν την απόσταση, ενώ τα κινητά συστήματα εκτιμούν την απόσταση χρησιμοποιώντας τη συχνότητα και την εξασθένηση του σήματος. Οι διαστημικοί ανιχνευτές στους δορυφόρους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό του εύρους αστραπής, και της έντασης με άμεση παρατήρηση.

Τα επίγεια δίκτυα ανιχνευτών αστραπής χρησιμοποιούνται από μετεωρολογικές υπηρεσίες όπως η Εθνική Υπηρεσία Καιρού στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Μετεωρολογική Υπηρεσία του Καναδά, η Ευρωπαϊκή Συνεργασία για Ανίχνευση Κεραυνού (EUCLID), το Ινστιτούτο για την Παντοδύναμη Μετεωρολογία (UbiMet) και από άλλους οργανισμούς όπως ηλεκτρικές υπηρεσίες κοινής ωφελείας και υπηρεσίες πρόληψης δασικών πυρκαγιών. [16]

## 18.1 Περιορισμοί

Κάθε σύστημα που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση κεραυνών έχει τους δικούς του περιορισμούς. Αυτοί είναι:

- Ένα απλό επίγειο δίκτυο για αστραπές πρέπει να μπορεί να ανιχνεύει μία λάμψη με τουλάχιστον τρεις κεραίες, έτσι ώστε να την εντοπίσει με αποδεκτό περιθώριο σφάλματος. Αυτό συχνά οδηγεί στην αγνόηση της αστραπής από σύννεφο σε σύννεφο, καθώς μια κεραία μπορεί να ανιχνεύσει τη θέση της λάμψης στο αρχικό σύννεφο και η άλλη κεραία τη τελική λάμψη. Ως αποτέλεσμα, τα επίγεια δίκτυα έχουν την τάση να υποτιμούν τον αριθμό των αναλαμπών, ειδικά στην αρχή των καταιγίδων, όπου επικρατούν αστραπές από σύννεφο σε σύννεφο.
- Τα επίγεια συστήματα που χρησιμοποιούν πολλαπλές τοποθεσίες και μεθόδους ανίχνευσης της διάρκειας που βρίσκεται στον αέρα η αστραπή, πρέπει να έχουν μια κεντρική συσκευή για τη συλλογή δεδομένων, όπως το κτύπημα της αστραπής και η διάρκεια της, για τον υπολογισμό της τοποθεσίας. Επιπλέον, κάθε σταθμός ανίχνευσης πρέπει να έχει μια ακριβής πηγή διάρκειας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό.
- Δεδομένου ότι χρησιμοποιούν εξασθένηση και όχι τριγωνισμό, τα επίγεια δίκτυα ανίχνευσης αστραπών μερικές φορές υποδηλώνουν λανθασμένα μία αδύναμη αστραπή κοντά σε μία ισχυρή, ή αντίστροφα.
- Τα διαστημικά δίκτυα αστραπής δεν υφίστανται κανέναν από αυτούς τους περιορισμούς, αλλά οι πληροφορίες που παρέχονται από αυτά αφορούν δεδομένα αρκετών λεπτών πριν από τη στιγμή που είναι ευρέως διαθέσιμα, καθιστώντας τες για περιορισμένη χρήση στην εφαρμογή τους σε πραγματικό χρόνο, όπως σε θέματα αεροναυτιλίας. [13]

## 18.2 Σύστημα AcuRite

Το σύστημα ανίχνευσης αστραπής ονομαζόμενο ως AcuRite πρέπει να χρησιμοποιείται για γενική ασφάλεια και επίγνωση σχετικά με τους κεραυνούς. Το σύστημα ανίχνευσης αστραπών χρησιμοποιεί ένα ράδιο που ακούει αστραπές στα 500 KHz. Ακούει ένα συγκεκριμένο μοτίβο ραδιο-σήματος. Το μοτίβο αυτό δημιουργείται από τον ηλεκτρικό «σπινθήρα» που είναι ο ίδιος ο κεραυνός. Το σύστημα ανίχνευσης αστραπών είναι ευάλωτο όσον αφορά στην εσφαλμένη ανίχνευση κεραυνών. Το ίδιο σήμα «σπινθήρας» μπορεί να δημιουργηθεί τεχνητά από πολλές διαφορετικές τεχνητές πηγές. Τέτοιες πηγές θα μπορούσαν να είναι πύργοι ραδιοσυχνοτήτων, σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού

ρεύματος, σύστημα ανάφλεξης σε ένα αυτοκίνητο, εκκίνηση ηλεκτρικού κινητήρα, ανατροπή ενός διακόπτη φωτός και άλλα.

Το σύστημα χρησιμοποιεί φίλτρα για την απομόνωση και τη μείωση όσο το δυνατόν περισσότερων σφαλμάτων, αλλά ορισμένα «λανθασμένα» σήματα θα συνεχίσουν να περνούν. Εάν το σύστημα φίλτρου γίνει πιο ανθεκτικό και πιο διακριτικό, θα είναι επίσης λιγότερο ευαίσθητο στον κεραυνό και ενδέχεται να μην αντιληφθεί την απόσταση στην οποία βρίσκονται οι αστραπές.

Το σύστημα ανίχνευσης αστραπής δεν παρέχει λοιπόν τέλειο υπολογισμό πραγματικών κεραυνών, με σωστές εκτιμήσεις απόστασης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το σύστημα θα είναι μάλλον ακριβές, αλλά θα υπάρχουν πάντα μερικές ασυμφωνίες.

### 18.3 Ανιχνευτές αστραπής και ραντάρ καιρού

Οι ανιχνευτές κεραυνού και το ραντάρ καιρού συνεργάζονται για την ανίχνευση καταιγίδων. Οι ανιχνευτές υποδηλώνουν ηλεκτρική δραστηριότητα, ενώ το ραντάρ καιρού δείχνει βροχόπτωση. Και τα δύο φαινόμενα σχετίζονται με καταιγίδες και μπορούν να βοηθήσουν στην ένδειξη της έντασης της καταιγίδας.

- Ο αέρας κινείται προς τα πάνω λόγω αστάθειας.
- Εμφανίζεται συμύκνωση και το ραντάρ ανιχνεύει ηχώ πάνω από το έδαφος (έγχρωμες περιοχές).
- Τελικά η μάζα των σταγόνων βροχής είναι πολύ μεγάλη για να συγκρατηθεί από την άνοδο και πέφτουν προς το έδαφος.

Το νέφος πρέπει να αναπτυχθεί σε μια συγκεκριμένη κατακόρυφη έκταση πριν από την παραγωγή κεραυνού, οπότε γενικά το ραντάρ καιρού θα υποδηλώνει μια αναπτυσσόμενη καταιγίδα πριν από έναν ανιχνευτή αστραπής. Δεν είναι πάντοτε ξεκάθαρο από τις πρώτες επιστροφές, εάν ένα σύννεφο θα εξελιχθεί σε καταιγίδα και το ραντάρ καιρού μερικές φορές πάσχει από ένα φαινόμενο της κάλυψης λόγω εξασθένησης, όπου η βροχόπτωση κοντά στο ραντάρ μπορεί να κρύψει (ίσως πιο έντονη) βροχόπτωση πιο μακριά. Οι ανιχνευτές αστραπής δεν πάσχουν από επίδραση της κάλυψης και μπορούν να παρέχουν επιβεβαίωση, όταν ένα σύννεφο έχει εξελιχθεί σε καταιγίδα.

Ο κεραυνός μπορεί επίσης να βρίσκεται εκτός της βροχόπτωσης που καταγράφεται από ραντάρ. Η δεύτερη εικόνα δείχνει ότι αυτό συμβαίνει όταν τα κτυπήματα κεραυνού προέρχονται από το αμόνι cumulonimbus ή στην εξωτερική πλευρά της βροχής. Και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχει ακόμα μια περιοχή όπου αντηχούν ήχοι ραντάρ κάπου εκεί κοντά. [7]

## Βιβλιογραφία

1. Sanchez, A. L., Sánchez, N. E., & Sánchez, A. M. G. (2017). Climatic phenomenon and meteorological variables influencing the dengue fever incidence in Colombian South Pacific region: modeling study. *Annals of Tropical Medicine and Public Health*, 10(6), 1489.
2. Atique, S., Abdul, S. S., Hsu, C. Y., & Chuang, T. W. (2016). Meteorological influences on dengue transmission in Pakistan. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 9(10), 954-961.
3. Acero, J. A., & Arrizabalaga, J. (2018). Evaluating the performance of ENVI-met model in diurnal cycles for different meteorological conditions. *Theoretical and applied climatology*, 131(1-2), 455-469.
4. Wang, M., & Ullrich, P. (2018). Marine air penetration in California's Central Valley: Meteorological drivers and the impact of climate change. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57(1), 137-154.
5. Orlandi, F., Ranfa, A., & Fornaciari, M. (2018). Principal morphological and agronomic characteristics of some durum wheat varieties in central Italy influenced by meteorological anomalies. *ITALIAN JOURNAL OF AGROMETEOROLOGY-RIVISTA ITALIANA DI AGROMETEOROLOGIA*, 23(3), 31-38.
6. Choi, J. W., & Kim, H. D. (2018). Characteristics on Big Data of the Meteorology and Climate Reported in the Media in Korea. *Quantitative Bio-Science*, 37(2), 91-101.
7. Wang, W., Ertsen, M. W., Svoboda, M. D., & Hafeez, M. (2016). Propagation of drought: from meteorological drought to agricultural and hydrological drought. *Advances in Meteorology*, 2016.
8. Birsan, M., Muscalu, A., Voicea, I., & Pruteanu, A. (2019). GENERAL ASPECTS OF THE EXTREME METEOROLOGICAL PHENOMENON: HAIL. *Acta Technica Corvininensis-Bulletin of Engineering*, 12(2).
9. Baklanov, A., Grimmond, C. S. B., Carlson, D., Terblanche, D., Tang, X., Bouchet, V., ... & Hovsepyan, A. (2018). From urban meteorology, climate and environment research to integrated city services. *Urban Climate*, 23, 330-341.
10. Fei, J. (2018). Meteorological history and historical climate of China. In *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*.
11. Abdourahamane, Z. S., & Acar, R. (2018). Analysis of meteorological drought variability in Niger and its connection with climate indices. *Hydrological Sciences Journal*, 63(8), 1203-1218.
12. Neves, G. Z. D. F., Gallardo, N. P., & Vecchia, F. A. D. S. (2017). A short critical history on the development of meteorology and climatology. *Climate*, 5(1), 23.

13. Podnebesnykh, N. V., Loginov, S. V., Kharyutkina, E. V., & Usova, E. I. (2019, December). Vortex circulation and anomalous meteorological phenomena over the Asian territory of Russia in the context of climate change. In 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics (Vol. 11208, p. 1120883). International Society for Optics and Photonics.
14. Meldrum, H., Szymanski, D., Oches, E. A., & Davis, P. T. (2017). Speaking out or staying quiet on climate change: Broadcast meteorologists influenced by the need to be pithy, popular and politically cautious. In *Climate Change Adaptation in North America* (pp. 261-277). Springer, Cham.
15. Almazroui, M. (2019). Assessment of meteorological droughts over Saudi Arabia using surface rainfall observations during the period 1978–2017. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(22), 694.
16. Takemi, T., Okada, Y., Ito, R., Ishikawa, H., & Nakakita, E. (2016). Assessing the impacts of global warming on meteorological hazards and risks in Japan: Philosophy and achievements of the SOUSEI program. *Hydrological Research Letters*, 10(4), 119-125.
17. Mulena, G. C., Puliafito, S. E., & Lakkis, S. G. (2019). Application of Tropospheric Sulfate Aerosol Emissions to Mitigate Meteorological Phenomena with Extremely High Daily Temperatures. *Environmental and Climate Technologies*, 23(1), 14-40.