

# Πρόβλεψη του καιρού με ορίζοντα ενός έτους

Η «Κ» βρέθηκε στο κορυφαίο ευρωπαϊκό κέντρο μετεωρολογικών προβλέψεων ECMWF στο Harwell Campus της Αγγλίας

Του **ΓΙΑΝΝΗ ΜΟΥΡΑΤΙΔΗ**

**Μισή** ώρα χρειάζεται περίπου το τρένο από το Λονδίνο για να φτάσει στην κωμόπολη του Reading και από εκεί αν κάποιος έχει ως τελικό προορισμό το Harwell Campus, θα χρειαστεί να ταξιδέψει περίπου 45 περίπου λεπτά επιπλέον με το λεωφορείο μέσα από απέραντα πράσινα λιβάδια που συνήθως παίρνουν το γκρι χρώμα της συχνής απουσίας του ήλιου από τον βρετανικό ουρανό.

Κάναμε αυτή τη διαδρομή στα τέλη του Γενάρη, για να γνωρίσουμε το καλύτερο κέντρο μετεωρολογικών προβλέψεων σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως τουλάχιστον ισχυρίζεται η Dr Florence Rabier,

γενική διευθύντρια του European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

Το ECMWF είναι ένας πανευρωπαϊκός στο μεγαλύτερο ποσοστό του οργανισμός, ο οποίος δημιουργήθηκε το 1975 με στόχο τη μετεωρολογική πρόβλεψη.

Στην παρούσα κατάσταση, η δυνατότητα πρόβλεψης 3 ημερών θεωρείται εξαιρετικά ακριβής, ενώ με αρκετή ακρίβεια μπορούν να γίνουν προβλέψεις μέχρι και σε βάθος 10 ημερών. Από εκεί και πέρα η εικόνα γίνεται θολή. Αναμένεται όμως να ξεκαθαρίσει μέχρι το 2025, καθώς ο στόχος των ερευνητών μέχρι τότε, είναι η δυνατότητα μετεωρολογικής πρόβλεψης με ορίζοντα ενός έτους. Η Ελλάδα είναι μέλος του ECMWF

μέσω της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), με επίσημο κόστος συμμετοχής περίπου 750.000 ευρώ, λαμβάνοντας πληθώρα εξειδικευμένων μετεωρολογικών προϊόντων, τα οποία αποτελούν το βασικό προγνωστικό εργαλείο που χρησιμοποιεί η Υπηρεσία για την έκδοση των καθημερινών δελτίων πρόγνωσης καιρού και θαλασσών, την υποστήριξη της αεροναυτιλίας και την έκδοση προειδοποιήσεων επικίνδυνων καιρικών φαινομένων ενώ δεδομένα του μοντέλου του χρησιμοποιούνται ως αρχικές συνθήκες στο περιοχικό προγνωστικό μοντέλο της COSMO-GR.

Η EMY στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας και τα προϊόντα αυτά, παράγει σειρά δευτερογενών εξειδικευμένων προϊόντων, τα οποία διαθέτει στο κοινό ύστερα από αίτηση και σε πολύ χαμηλές τιμές, με τα έσοδα να αποδίδονται στα δημόσια ταμεία. Σημειώνεται ότι, αντίστοιχα προϊόντα διατίθενται σε πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα και δημόσιους φορείς εντελώς δωρεάν.

Εκτός από τα δεδομένα που διαθέτει το ECMWF στα 34 κράτη-μέλη του και σε συνεργαζόμενα κράτη, παράγει και μια δεύτερη ροή δεδομένων, τα οποία είναι διαθέσιμα στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus. Αυτή η ροή δεδομένων είναι από το 2013 και μετά διαθέσιμη σε κάθε ενδιαφερόμενο χωρίς κάποιο αντίτιμο. Στο πλαίσιο του Copernicus έχει δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο δίκτυο ανταλλαγής δεδομένων, με στόχο την αποτύπωση της πληρέστερης δυνατής εικόνας της ατμόσφαιρας και του κλίματος.

Εκτός από τα δεδομένα που διαθέτει το ECMWF στα 34 κράτη-μέλη του και σε συνεργαζόμενα κράτη, παράγει και μια δεύτερη ροή δεδομένων, τα οποία είναι διαθέσιμα στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus. Αυτή η ροή δεδομένων είναι από το 2013 και μετά διαθέσιμη σε κάθε ενδιαφερόμενο χωρίς κάποιο αντίτιμο. Στο πλαίσιο του Copernicus έχει δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο δίκτυο ανταλλαγής δεδομένων, με στόχο την αποτύπωση της πληρέστερης δυνατής εικόνας της ατμόσφαιρας και του κλίματος.

**Οικονομικά οφέλη**

Η Ε.Ε. θα έχει επενδύσει περίπου 7,4 δισ. ευρώ στο πρόγραμμα Co-

pernicus μέχρι το 2020, περιλαμβανομένης της δαπάνης για την εκτόξευση και διαχείριση της ομάδας δορυφόρων Sentinel, οι οποίοι είναι υπό την εποπτεία της European Space Agency. Σύμφωνα με μελέτες της Ε.Ε., το πρόγραμμα θα ωφεληθεί την ευρωπαϊκή οικονομία με 10,8 έως 13,5 δισ. δολάρια με εφαρμογές σε διαφορετικούς τομείς, όπως της πρόβλεψης ακραίων καιρικών φαινομένων, της διαχείρισης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της αγροτικής παραγωγής.

Προγράμματα ανάλογα του Copernicus βρίσκονται παράλληλα σε εξέλιξη στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία και ακολουθούν ανάλογη πολιτική όσον αφορά τη δωρεάν διάθεση των δεδομένων.

## Ανάγκη καλύτερης αποκωδικοποίησης της κλιματικής αλλαγής

**Μπορεί** ο τομέας της μετεωρολογίας να έχει κάνει άλματα τις 4 τελευταίες δεκαετίες, κυρίως λόγω της χρήσης των δορυφόρων, αλλά όπως λέει ο Dick Dee, Deputy Head του τομέα έρευνας για την κλιματική αλλαγή του προγράμματος Copernicus, υπάρχουν ακόμα πολλά σκοτεινά σημεία στον χώρο και στον χρόνο. Αυτό στην πράξη σημαίνει ότι χρειάζεται ακόμα μεγαλύτερη

**Για τους ερευνητές του ECMWF είναι δεδομένο πως οφείλεται στον άνθρωπο.**

ροή δεδομένων, προκειμένου να επιτευχθούν ακριβέστερες προβλέψεις και επιπλέον είναι απαραίτητη η ψηφιοποίηση καταγεγραμμένων μετεωρολογικών δεδομένων που ξεκινούν περίπου από τον 18ο αιώνα, για να μπορούμε να γνωρίζουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής.

Για τους ερευνητές του ECMWF, είναι δεδομένο πως η κλιματική αλλαγή είναι ανθρωπογενής και ως βασικό επιχείρημα αναφέρουν

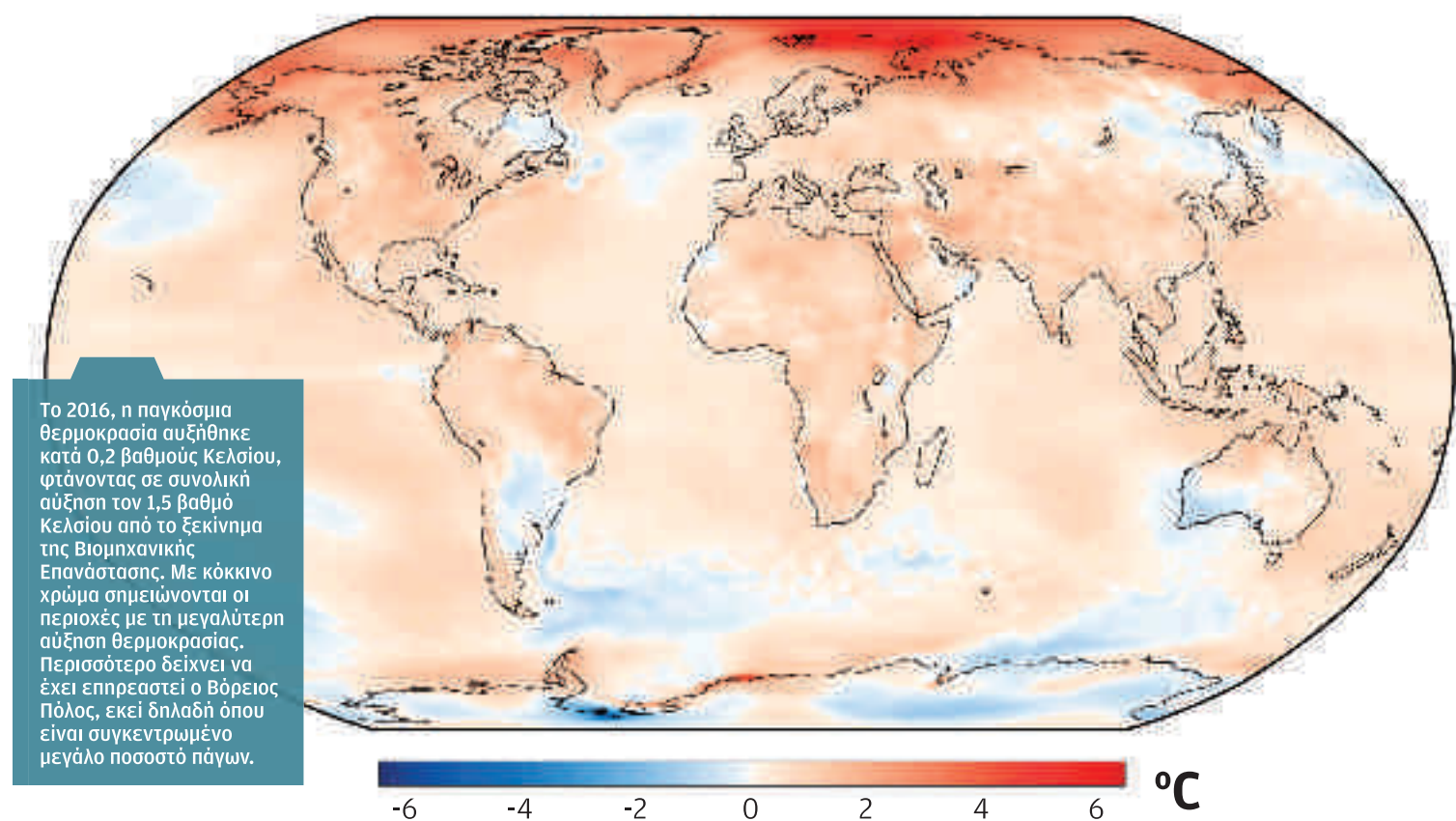
ότι ο ρυθμός εξέλιξης είναι ταχύτερος σε σχέση με κλιματικές αλλαγές που έχουν συμβεί στο απώτερο παρελθόν.

Αναφερόμενος στην κλιματική αλλαγή, ο Dick Dee μιλάει για συνέπειες που είναι ήδη ορατές. Το καλοκαίρι του 2015, ένα κύμα καύσωνα επηρέασε την Ευρώπη. Το ECMWF είχε καταφέρει να προβλέψει το επικίνδυνο καιρικό φαινόμενο σχεδόν 2,5 εβδομάδες πριν από την έναρξή του και να ενημερώσει τις χώρες που θα επηρέαζε, προκειμένου να προετοιμάσουν τις υποδομές τους.

Το 2016, η παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,2 βαθμούς Κελσίου, φτάνοντας σε συνολική αύξηση τους 1,5 βαθμούς Κελσίου από το ξεκίνημα της Βιομηχανικής Επανάστασης. Οπως φαίνεται στο παρακείμενο γράφημα, όπου το κόκκινο υποδηλώνει μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας, η περιοχή που έχει επηρεαστεί περισσότερο είναι ο Βόρειος Πόλος, εκεί δηλαδή που είναι συγκεντρωμένο μεγάλο ποσοστό πάγων.

Σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου, η εκτίμηση των αποτελεσμάτων της κλιματικής αλλαγής θα βοηθήσει τα κράτη να προετοιμαστούν για

## Περιοχές με τη μεγαλύτερη και μικρότερη μέση αύξηση θερμοκρασίας (2016)



ΠΗΓΗ: Copernicus Climate Change Service, ECMWF

Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ

αλλαγές που σύμφωνα με τους επιστήμονες είναι αναπόφευκτες. Το ερώτημα δεν είναι πλέον αν θα ανέβει η στάθμη των θαλασσών, αλλά σε ποιο ύψος θα φτάσει η άνο-

δος. Ενδεχομένως πληθυσμοί θα χρειαστεί να μετακινηθούν από τις παραθαλάσσιες περιοχές στην ενδοχώρα ή ίσως χρειαστεί να δημιουργηθούν φράγματα. Μεταξύ των

σημαντικότερων αλλαγών για τις οποίες θα χρειαστεί να προετοιμαστεί η ανθρωπότητα, είναι η διαχείριση των πόσμων και ποτιστικών υδάτων, η μετατόπιση ακραίων

καιρικών φαινομένων σε περιοχές που μέχρι τώρα είναι σπάνια και η διαχείριση των ενεργειακών πόρων για την ψύξη και θέρμανση κυρίως των μεγαλουπόλεων.

## 200 εκτοξεύσεις δορυφόρων ετησίως Οι αναλύσεις των υπερυπολογιστών

**Η αρχιτεκτονική** μιας νέας γενιάς μικρών και άρα ελαφρών και φθηνών δορυφόρων, προτάθηκε για πρώτη φορά από τους καθηγητές Jordi Puig-Suari του California Polytechnic State University και Bob Twiggs του Stanford University. Οι δορυφόροι αυτοί είναι πλέον γνωστοί ως CubeSat και συνήθως έχουν διαστάσεις 10x10x11,35 εκατοστά.

Πριν από 5 χρόνια, μόλις 10 έως 20 CubeSats εκτοξεύονταν κάθε χρονιά, ενώ στις μέρες μας, ο αριθμός των εκτοξεύσεων έχει αυξηθεί στις 200 περίπου ανά έτος. Οι περισσότεροι από τους CubeSats έχουν φθάσει με τη μορφή φορτίου στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό και έχουν εκτοξευθεί από εκεί, μειώνοντας έτσι εξαιρετικά το κόστος εκτόξευσης ανά μονάδα φορτίου. Ωστόσο, τον Μάιο του 2015, η NASA ανακοίνωσε μια νέα γενιά πυραύλων, οι οποίοι θα εκτοξεύονται από το Kennedy Space Center και θα προσφέρουν δυνατότητα μεταφοράς CubeSats. Κάθε πυραύλος θα μπορεί να θέσει σε τροχιά βάρος από 30 έως 60 κιλά, το οποίο μεταφράζεται σε αρκετές δεκάδες CubeSats. Η δυνατότητα μεταφοράς των CubeSats με τη μορφή φορτίου, τους κάνει κατάλληλους για χρήση και σε αποστολές εκτός γήινης τροχιάς. Στο άμεσο μέλλον 11 μικροί δορυφόροι θα περσιτρεύονται γύρω από τη Σελήνη και 2 μικροί δορυφόροι θα φτάσουν στον Άρη μέσω της αποστολής Mars Lander.

Σύμφωνα με τον Hugo Zunker, Policy Officer της Ε.Ε., ο οποίος



**Σε αυτό** το δωμάτιο, οθόνες υψηλής ευκρίνειας παρουσιάζουν σε πραγματικό χρόνο την οπτικοποίηση της ανάλυσης των μετεωρολογικών δεδομένων.



**Η Dr Florence Rabier**, γενική διευθύντρια του ECMWF, ο Juan Garces de Marcilla, διευθυντής των υπηρεσιών του κέντρου και ο Hugo Zunker, αξιωματικός της Ε.Ε.

ήταν παρών στην επίσκεψή μας στο Reading, «η Ευρώπη παρακολουθεί από κοντά την τάση των CubeSats, θεωρώντας ότι είναι κατάλληλοι για κάποιες εφαρμογές, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι μπορούν να αντικαταστήσουν το σύνολο των αποστολών που χρησιμοποιούνται οι μεγαλύτεροι δορυφόροι». Σε ερώτησή μας αν θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο του προγράμματος Copernicus, μας απάντησε ότι δεν υπάρχει προσωρινά τέτοια πρόβλεψη, καθώς η ομάδα δορυφόρων Sentinel καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες του προγράμματος.

**Ένας φάρος** στην Αίγινα ίσως έχει ακόμα τη γνώση να παρατηρήσει από το προηγούμενο βράδυ τα σημεία και να προβλέψει τι καιρό θα κάνει την επόμενη μέρα. Όμως όταν οι ανάγκες απαιτούν παγκόσμια πρόβλεψη και μάλιστα με ορίζοντα μέχρι 10 ημέρες, τα 300 TB δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες και δορυφόρους καθημερινά, είναι αδύνατο να αναλυθούν από τον οποιονδήποτε ανθρώπινο εγκέφαλο.

Αυτή την εργασία έχει αναλάβει, ο «ANEMOS», ένας από τους διδυμούς υπερυπολογιστές που χρησιμοποιεί το ECMWF για να αναλύει σε καθημερινή βάση αυτόν τον ασύλληπτο όγκο δεδομένων και παράλληλα να κάνει οποιαδήποτε άλλη ανάλυση είναι απαραίτητη για τις απαιτήσεις της ναυτιλίας, των αγροτών, των κυβερνητικών οργανισμών, των αεροπορικών εταιρειών, ερευνητικών προγραμμάτων και οποιουδήποτε ιδιωτικού ή δημόσιου οργανισμού που η πρόβλεψη του καιρού παίζει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του.

Οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ του ECMWF μπορούν να συγκριθούν μόνο με αυτές του CERN, όπου λειτουργεί ο Large Hadron Collider, ο μεγαλύτερος σήμερα επιταχυντής σωματιδίων στον κόσμο. Σύμφωνα όμως με την δρ Isabella Weger, Deputy Director στο τμήμα του Computing, ενώ ο υπερυπολογιστής του CERN δέχεται ένα τεράστιο όγκο δεδομένων κάθε φορά που γίνεται ένα πείραμα στον επιταχυντή σωματιδίων, ο υπερυ-



**Ο υπερυπολογιστής** του ECMWF δέχεται 300 TB δεδομένων ημερησίως. Ο αποθηκευτικός του χώρος (200 PB) αυξάνεται κατά ένα PB την εβδομάδα.

**Οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ του ECMWF μπορούν να συγκριθούν μόνο με αυτές του CERN.**

πολογιστής του ECMWF δέχεται τον ίδιο όγκο δεδομένων 365 μέρες τον χρόνο. Σχεδόν κάθε 4 έως 6 χρόνια δημιουργείται ανάγκη για την εγκατάσταση νέου υπερυπολογιστή, ενώ ενδιάμεσες αναβαθμίσεις χρειάζονται κάθε 2 με 3 χρόνια. Ο υπερυπολογιστής εγκατα-

στάθηκε το 2014 και αναβαθμίστηκε το 2016. Ανάλογη είναι η ανάγκη αναβάθμισης του αποθηκευτικού χώρου. Σε τρία ερμητικά κλειστά γυάλινα δωμάτια, ρομποτικοί βραχίονες χειρίζονται κουτιά μνήμης, τα οποία στο σύνολό τους δημιουργούν τη μεγαλύτερη ψηφιακή βιβλιοθήκη μετεωρολογικών δεδομένων που υπάρχει σήμερα στον κόσμο με συνολική χωρητικότητα που ήδη ξεπερνά τα 200 Petabytes και αυξάνεται με ρυθμό ένα Petabyte ανά εβδομάδα. Ένα Petabyte είναι χίλιες φορές μεγαλύτερο από τη χωρητικότητα που έχει ο σκληρός δίσκος ενός μέσου υπολογιστή.