

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ  
ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ  
ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

**Αθηνά Σαραντέα**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**Σταύρος Σακελλαρίου**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**2024**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία θα ήθελα ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Σταύρο Π. Σακελλαρίου, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε και το χρόνο που διέθεσε δίνοντάς μου χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Στο ίδιο πλαίσιο ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που μου πρόσφεραν τις γνώσεις τους, πάνω στις περιβαλλοντικές επιστήμες, όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς, τους γονείς μου και την οικογένεια μου, για την οικονομική και ψυχολογική τους στήριξη αλλά και τους φίλους μου που ομόρφυναν τα χρόνια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο *“Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον. Στρατηγικές μετριασμού”*, εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών 2020-2024 του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και έχει ως αντικείμενο την μελέτη των κυριότερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον αλλά και τα κυριότερα μέτρα-μεθόδους για την αντιμετώπιση τους. Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει σοβαρές μεταβολές στο περιβάλλον, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα και έμμεσα τις κατασκευές, τις υποδομές και γενικότερα τον αστικό ιστό.

Αρχικά, αναλύονται τα αίτια της κλιματικής αλλαγής, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, και οι κύριες επιπτώσεις της, γενικά στο περιβάλλον. Έπειτα αναλύονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον συγκεκριμένα, και τέλος αναλύονται τα βασικότερα μέτρα και στρατηγικές μετριασμού αυτών των επιπτώσεων. Η εργασία καταλήγει ότι η ενσωμάτωση αυτών των στρατηγικών στον σχεδιασμό και την κατασκευή των αστικών υποδομών είναι απαραίτητη για την προσαρμογή στις νέες κλιματικές συνθήκες. Η συνεργασία μεταξύ κρατικών φορέων, ιδιωτικού τομέα και της κοινωνίας των πολιτών κρίνεται αναγκαία για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή.

**Λέξεις κλειδιά:** Επιπτώσεις, Κλιματική Αλλαγή, Δομημένο Περιβάλλον, Μέθοδοι Μετριασμού

## **ABSTRACT**

This thesis entitled "Impacts of climate change on the built environment. Mitigation strategies", was prepared in the context of the undergraduate curriculum 2020-2024 of the Department of Environment of the University of Thessaly and has as its subject the study of the main impacts of climate change on the built environment and the main measures-methods to address them. Climate change has caused serious changes in the environment, which directly and indirectly affect constructions, infrastructures and the urban fabric in general.

Firstly, the causes of climate change, such as the greenhouse effect, and its main effects on the environment in general are analysed. Then the impacts of climate change on the built environment in particular are analysed, and finally the main measures and strategies for mitigating these impacts are discussed. The paper concludes that the integration of these strategies in the design and construction of urban infrastructure is essential to adapt to the new climate conditions. Cooperation between government agencies, the private sector and civil society is deemed necessary to effectively address the challenges posed by climate change.

**Key words:** Impacts, Climate Change, Built Environment, Mitigation Methods

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....                                                                                                      | 2  |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....                                                                                                         | 3  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                                                                         | 4  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Αίτια και επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής</b> .....                                                          | 10 |
| 1.1. Ορισμός για το Κλίμα.....                                                                                                | 10 |
| 1.2. Ορισμός Κλιματικής αλλαγής .....                                                                                         | 10 |
| 1.3. Αίτια κλιματικής αλλαγής .....                                                                                           | 10 |
| 1.4. Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής.....                                                                                       | 12 |
| 1.5. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα .....                                                                      | 16 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον</b> .....                                            | 18 |
| 2.1. Ορισμός για Δομημένο περιβάλλον .....                                                                                    | 18 |
| 2.2. Επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από την αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων.....                                   | 18 |
| 2.2.1. Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από την αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων.....                                   | 18 |
| 2.2.1.1. Οι επιπτώσεις της αύξησης των πλημμυρικών φαινομένων στο δομημένο περιβάλλον της Ελλάδας (το παράδειγμα Daniel)..... | 19 |
| 2.2.2. Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από την αύξηση των πυρκαγιών.....                                                | 20 |
| 2.2.2.1. Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον της Ελλάδας από την αύξηση των πυρκαγιών.....                                  | 22 |
| 2.3. Επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας από την αύξηση της θερμοκρασίας.....                                                | 25 |
| 2.3.1. Επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας από την αύξηση της θερμοκρασίας στην ΕΕ. ....                                     | 25 |
| 2.4. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία .....                                                                   | 28 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον</b> .....                     | 30 |
| 3.1. Χάρτες επικινδυνότητας.....                                                                                              | 30 |
| 3.1.1. Χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας.....                                                                                | 30 |
| 3.1.2. Χάρτες επικινδυνότητας πυρκαγιάς .....                                                                                 | 31 |
| 3.2. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων από πλημμύρες στο δομημένο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής.....                 | 32 |
| 3.2.1. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων από πλημμύρες στα κτήρια.....                                                        | 33 |
| 3.3. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων από πυρκαγιές στο δομημένο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής.....                 | 38 |
| 3.4. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων στην κατανάλωση ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής.....     | 42 |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5. Μέθοδοι μετριάσμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία..... | 46        |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>                                                       | <b>49</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                                                       | <b>55</b> |

## Κατάλογος Εικόνων

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Εικόνα 1.</b> Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.(1) Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα.(2) Ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από το διάστημα. (3) Ηλιακή ακτινοβολία που έχει ανακλαστεί από την επιφάνεια της γης και επιστρέφει στο διάστημα. (4) Γήινη ακτινοβολία που διαφεύγει στο διάστημα. (5) Γήινη ακτινοβολία που εγκλωβίζεται από την ατμόσφαιρα (Πηγή: depositphotos.com).....                                                                                                                                                                                              | 11 |
| <b>Εικόνα 2.</b> Οι ανωμαλίες της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας του αέρα (°C) από τον Ιανουάριο του 1979 έως τον Μάιο του 2024 εμφανίζονται ξεχωριστά για κάθε ημερολογιακό μήνα. Οι ανωμαλίες είναι σχετικές με τον μέσο όρο για την περίοδο αναφοράς 1991–2020. (Πηγή: Copernicus Climate Change Service/ECMWF).....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 13 |
| <b>Εικόνα 3.</b> Περιοχές της ΕΕ που διατρέχουν μεγάλο κίνδυνο για πλημμύρα (European Commission, 2023).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 19 |
| <b>Εικόνα 4.</b> Χαρτογράφηση πλημμυρισμένων εκτάσεων στην πεδιάδα της Θεσσαλίας 8 Σεπτεμβρίου 2023 (πηγή: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λάρισα).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 20 |
| <b>Εικόνα 5.</b> Χαρτογράφηση πλημμυρισμένων εκτάσεων στην πεδιάδα της Θεσσαλίας, από δορυφορικά δεδομένα 10 Σεπτεμβρίου 2023 (πηγή: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λάρισα)....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 20 |
| <b>Εικόνα 6.</b> Πυρκαγιές μέχρι τέλος Αυγούστου (Πηγή: EFFIS, 2023).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 22 |
| <b>Εικόνα 7.</b> Στατικός χάρτης με τις 9500 πυρκαγιές που ξέσπασαν το 2019 σε ολόκληρη τη χώρα (Troboukis, Athanasios, 2019).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 23 |
| <b>Εικόνα 8.</b> Καμένη έκταση στην μεγάλη πυρκαγιά στον Εβρο μέχρι τις 28.08.2023 από την Υπηρεσία Ταχείας Χαρτογράφησης Copernicus (EMS).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 24 |
| <b>Εικόνα 9.</b> Η σταδιακή μείωση των περιοχών όπου σημειώνουν ημέρες που απαιτείται θέρμανση στους εσωτερικούς χώρους κατά την περίοδο 1981-2021 στις χώρες της ΕΕ (Eurostat, 2022).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 26 |
| <b>Εικόνα 10.</b> Η σταδιακή αύξηση των περιοχών όπου σημειώνουν ημέρες που απαιτείται ψύξη στους εσωτερικούς χώρους κατά την περίοδο 1981-2021 στις χώρες της ΕΕ (Eurostat, 2022).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 27 |
| <b>Εικόνα 11.</b> Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων που επηρεάζουν την πλημμυρική επικινδυνότητα(Πηγή: ERMIS, 2020).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 31 |
| <b>Εικόνα 12.</b> Ξύλινη περίφραξη (railwaysleepers).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 34 |
| <b>Εικόνα 13.</b> Περίφραξη από σκυρόδεμα(railwaysleepers) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 34 |
| <b>Εικόνα 14.</b> Υπερυψωμένη βεράντα μπροστά από πόρτα (Πηγή : Arbor & Co) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 35 |
| <b>Εικόνα 15.</b> (a) Παραδοσιακό ξυλοπόδαρο σε ένα κανάλι κοντά στον ποταμό Chao Phraya στην Μπανγκόκ της Ταϊλάνδης (Ernie & Katy Newton Lawley). (b) Αρχιτεκτονική τύπου Flooded Queenslander στο Goondiwindi, Queensland, 1921 (αρχείο της Κρατικής Βιβλιοθήκης του Κουίνσλαντ) (c) Ανυψωμένο κτήριο κρεολικού στιλ, γωνία στο κέντρο του ποταμού των οδών Esplanade & Villere, Νέα Ορλεάνη (Infrogmation of New Orleans—Flickr,), (d) δρόμος υπερυψωμένων σπιτιών στο Calabar, Νιγηρία (πνευματικά δικαιώματα φωτογραφίας Olalekan Adekola)(Πηγή: David Proverbs and Jessica Lamond, 2017)..... | 36 |
| <b>Εικόνα 16.</b> Οι απαραίτητες αποστάσεις πυροπροστασίας (Πολιτική προστασία, Περιφέρεια Αττικής)..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 39 |
| <b>Εικόνα 17.</b> Φράγματα πυροπροστασίας (ukfirestoppers).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 41 |

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

**Διάγραμμα 1.** Ημερήσια παγκόσμια θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (°C) κατά μέσο όρο στην περιοχή 60°S-60°N, απεικονιζόμενη ως χρονοσειρά για κάθε έτος από την 1η Ιανουαρίου 1979 έως τις 31 Αυγούστου 2023. Τα έτη 2023 και 2016 απεικονίζονται με παχιές γραμμές με έντονο κόκκινο και σκούρο κόκκινο χρώμα, αντίστοιχα. Τα άλλα έτη παρουσιάζονται με λεπτές γραμμές και σκιασμένες ανάλογα με τη δεκαετία, από μπλε (δεκαετία 1970/80) έως κεραμιδί (δεκαετία 2020). Δεδομένα: ERA5. (Πηγή: C3S/ECMWF.).....14

**Διάγραμμα 2.** Μέσες παγκόσμιες ανωμαλίες της επιφανειακής θερμοκρασίας του αέρα σε σχέση με την περίοδο 1991-2020 για κάθε Αύγουστο από το 1940 έως το 2023. Δεδομένα: ERA5. (Πηγή: C3S/ECMWF.).....14

**Διάγραμμα 3.** Ο αριθμός των πυρκαγιών και των καμένων εκτάσεων στην ΕΕ (πηγή: Joint Research Center (JRC) / European Forest Fire Information System (EFFIS)).....21

**Διάγραμμα 4.** Ζήτηση ενέργειας θέρμανσης και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για δύο κλιματικές παραλλαγές (παραλλαγή με σταθερές μέσες θερμοκρασίες και παραλλαγή κλιματικής αλλαγής με συνεχή αύξηση των μέσων θερμοκρασία και ακτινοβολία), σε PJ ανά έτος (Πηγή: Aebischer, 2007)..28

## Κατάλογος πινάκων

**Πίνακας 1.** Τα μέτρα για την μείωση των επιπτώσεων στα κτήρια από πλημμύρες, τα αποτελέσματα και το ποσοστό μείωσης του κινδύνου ζημιών στα κτήρια λόγω της εφαρμογής των μέτρων, (πηγή: Hans de Moel. 2014).....38

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα και επείγοντα ζητήματα της εποχής μας, με επιπτώσεις που εκτείνονται σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Το δομημένο περιβάλλον, που περιλαμβάνει κτίρια, υποδομές και αστικούς χώρους, βρίσκεται στην πρώτη γραμμή αυτών των αλλαγών, αντιμετωπίζοντας αυξανόμενες προκλήσεις από ακραία καιρικά φαινόμενα, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τις μεταβολές στις κλιματολογικές συνθήκες. Οι κατασκευές που άλλοτε θεωρούνταν ασφαλείς, πλέον υπόκεινται σε νέες πιέσεις και φθορές, καθιστώντας αναγκαία την προσαρμογή τους στις νέες πραγματικότητες που επιβάλλει η κλιματική κρίση.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον και η παρουσίαση στρατηγικών μετριασμού που μπορούν να εφαρμοστούν για την προστασία και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κατασκευών. Μέσα από μια συνδυαστική ανάλυση βιβλιογραφικών πηγών, μελετών περίπτωσης και βέλτιστων πρακτικών, η εργασία στοχεύει να αναδείξει τις πολυδιάστατες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το δομημένο περιβάλλον και να προτείνει ολοκληρωμένες λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Η έρευνα αυτή συμβάλλει στην κατανόηση του πώς οι δομές μας μπορούν να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, διασφαλίζοντας την βιωσιμότητα και την ασφάλεια των πόλεων και των κοινοτήτων μας.

Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο της παρούσας εργασίας “Αίτια και επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής” αρχίζει με τους ορισμούς για το κλίμα και τον ορισμό για την κλιματική αλλαγή, όπως διατυπώθηκαν από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), έτσι ώστε να έχουν οριστεί και να είναι κατανοητά τα βασικά θέματα που αναλύονται στην παρούσα ενότητα. Στην συνέχεια του κεφαλαίου αναλύονται τα αίτια της κλιματικής αλλαγής και πιο συγκεκριμένα γίνεται ανάλυση του φαινομένου του θερμοκηπίου ως τον σημαντικότερο αίτιο της κλιματικής αλλαγής. Τέλος, γίνεται αναφορά στις κύριες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής όπως είναι η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της γης, η θέρμανση, άνοδος της στάθμης και οξίνιση των ωκεανών, οι επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς και η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων. Επίσης γίνεται μια γενική αναφορά στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο με τίτλο “Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον” δίνεται αρχικά ο ορισμός του δομημένου περιβάλλοντος, έτσι ώστε να είναι κατανοητό το αντικείμενο της μελέτης. Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον που μελετώνται στην παρούσα εργασία είναι, οι πλημμύρες και οι πυρκαγιές που προκαλούνται λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή, στον κόσμο και την Ελλάδα. Επίσης, μελετώνται οι επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων για ψύξη και θέρμανση στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τέλος γίνεται μία ανάλυση των βασικότερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία, ένα σημαντικό κομμάτι του δομημένου περιβάλλοντος.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο με τίτλο “Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον” αναλύεται αρχικά η χρησιμότητα των χαρτών κινδύνου ως μέθοδο μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής όσο αναφορά την πρόληψή από πλημμύρες και πυρκαγιές. Έπειτα γίνεται μία ανασκόπηση στις μεθόδους μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής από πλημμύρες και πυρκαγιές. Επιπροσθέτως, στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην κατανάλωση ενέργεια στο δομημένο περιβάλλον και τέλος γίνεται μια αναφορά στα κυριότερα μέτρα για την μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Αίτια και επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

## 1.1. Ορισμός για το Κλίμα

Για να μπορέσουμε να ορίσουμε την κλιματική αλλαγή πρέπει πρώτα να αναλύσουμε και να ορίσουμε τι είναι το κλίμα. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) ορίζει το κλίμα ως «τον μέσο όρο του καιρού μιας περιοχής ή, πιο συγκεκριμένα, την στατιστική περιγραφή των μέσων όρων των καιρικών συνθηκών σε μια περιοχή για μια χρονική περίοδο που εκτείνεται από δέκα χρόνια έως και χιλιετίες». Θα ήταν καλό να σημειωθεί ότι με τον όρο καιρικές συνθήκες αναφερόμαστε στις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο (IPCC, 2001).

Το κλίμα, σε μια ευρύτερη έννοια, αναφέρεται στην κατάσταση των διαφόρων συνιστωσών του κλιματικού συστήματος, όπως η ατμόσφαιρα, η υδρόσφαιρα, η κρυόσφαιρα, η λιθόσφαιρα και η βιόσφαιρα, καθώς και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Κάποιες από αυτές τις μετεωρολογικές παραμέτρους που συχνά μετρούνται είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, ο άνεμος και η βροχόπτωση. (Matthews, 2021, Shepherd, 2005).

Το κλίμα μιας τοποθεσίας επηρεάζεται από το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, το ανάγλυφο, το υψόμετρο, τη χρήση γης, καθώς και από τα κοντινά υδάτινα σώματα και τα ρεύματά τους (Gough, 2022).

## 1.2. Ορισμός Κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή ορίζεται από τις μεταβολές στις καιρικές συνθήκες που παρατηρούνται σε μια χρονική περίοδο πολλών ετών. Ο όρος κλιματική αλλαγή συνήθως αναφέρεται στην υπερθέρμανση του πλανήτη, την συνεχιζόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης και τις συνέπειες αυτής στην κλιματική ισορροπία. Στην ευρύτερη έννοιά της, η κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει και τις μακροχρόνιες μεταβολές στο κλίμα της Γης που προέρχονταν από φυσικές διαδικασίες. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια έχουν καταγραφεί ακριβείς μεταβολές στη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις και τους ανέμους σε παγκόσμιο επίπεδο, οι οποίες, σύμφωνα με τους ειδικούς, προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Σύμφωνα με τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως «η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες και διαφέρει από την κλιματική μεταβλητότητα η οποία έχει φυσικά αίτια» (United Nations, 1992) .

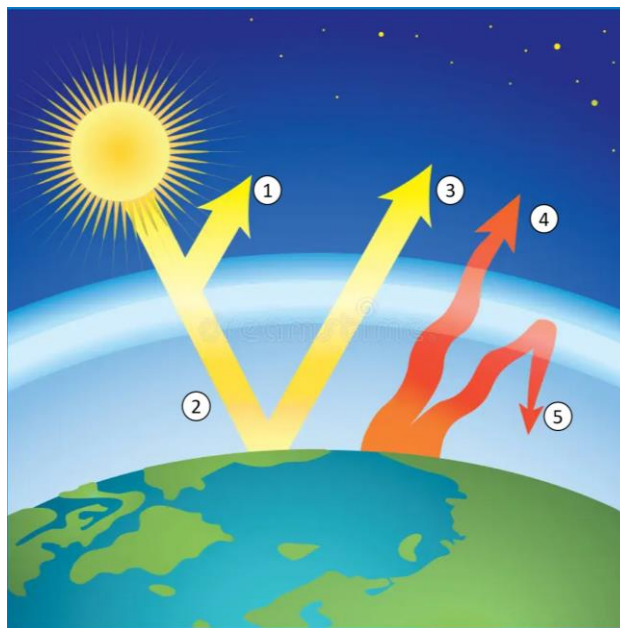
Η σημερινή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη είναι ταχύτερη από τις προηγούμενες αλλαγές και προκαλείται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων από τον άνθρωπο που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (IPCC, 2018, Lynas, 2021).

## 1.3. Αίτια κλιματικής αλλαγής

Καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας της Γης, το κλίμα έχει υποστεί συνεχείς μεταβολές. Τα τελευταία δύο εκατομμύρια χρόνια, τεράστιοι παγετώνες έχουν καλύψει και αποσυρθεί από τη Γη πολλές φορές. Αυτοί οι κύκλοι, με τις ψυχρές εποχές των παγετώνων και τις θερμές περιόδους, προκαλούνται από μικρές μεταβολές στην τροχιά

της Γης. Ωστόσο, η κλιματική αλλαγή που παρατηρείται τον 20ό και 21ο αιώνα είναι πολύ διαφορετική από τις παλαιότερες, διότι οφείλεται κυρίως σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτές οι δραστηριότητες απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και προκαλώντας υπερθέρμανση του πλανήτη (NASA, 2024).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα της Γης και είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης γύρω στους 15°C, ενώ χωρίς αυτό η μέση θερμοκρασία θα ήταν περίπου -20°C (NASA, 2024).



Εικόνα 1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου. (1) Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα. (2) Ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από το διάστημα. (3) Ηλιακή ακτινοβολία που έχει ανακλαστεί από την επιφάνεια της γης και επιστρέφει στο διάστημα. (4) Γήινη ακτινοβολία που διαφεύγει στο διάστημα. (5) Γήινη ακτινοβολία που εγκλωβίζεται από την ατμόσφαιρα (Πηγή: depositphotos.com)

Ο μηχανισμός της λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου φαίνεται στην εικόνα 1. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην Γη, ανακλάται από την ατμόσφαιρα και επιστρέφει στο διάστημα (1) ενώ ένα άλλο μέρος εισέρχεται στο εσωτερικό της (2) και είτε απορροφάται από την επιφάνεια της Γης θερμαίνοντας την, είτε ανακλάται από την επιφάνεια της Γης και επιστρέφει στο διάστημα (3). Ενέργεια, εκτός από τον Ήλιο παράγει και η Γη με την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Από αυτήν την ακτινοβολία το μεγαλύτερο μέρος εξέρχεται από την ατμόσφαιρα και διαφεύγει στο διάστημα (4) επιτρέποντας έτσι στον πλανήτη να αποβάλλει θερμότητα και να ψύχεται, ενώ ένα άλλο μέρος παγιδεύεται στην Γη (5) κάτι που μπορεί να συμβεί και με την ηλιακή ακτινοβολία, προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη. Η αιτία παγίδευσης της ακτινοβολίας στην Γη είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και τα φθοριούχα αέρια (F-Gases), τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και δρουν σαν “κουβέρτα” αποτρέποντας την ακτινοβολία να διαπεράσει την ατμόσφαιρα και να φύγει στο διάστημα. Η εγκλωβισμένη αυτή ακτινοβολία διατηρεί τη γη θερμή και κατάλληλη για να φιλοξενήσει έμβιους οργανισμούς (5) (UCAR Center for Science Education, 2021).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όμως αυξάνουν την συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα εγκλωβίζοντας περισσότερη ακτινοβολία από την επιθυμητή

στο εσωτερικό της Γης, κάτι που οδηγεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη και την επικίνδυνη άνοδο της μέσης θερμοκρασίας του.

Οι δραστηριότητες του ανθρώπου από τις οποίες αυξάνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι οι εξής (European Commission, 2019) :

- Η εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων, όπως η καύση άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου, παράγει διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- Η αποψίλωση των δασών, καθώς η μείωση της έκτασής τους οδηγεί σε μείωση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που απορροφούν.
- Η συνεχής και συχνή χρήση αζωτούχων λιπασμάτων μέσω των οποίων ενισχύονται οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- Η χρήση φθοριούχων αερίων στις κλιματιστικές μονάδες και στα συστήματα ψύξης και θέρμανσης που επιφέρει έως και 23.000 φορές μεγαλύτερη θερμαντική επίδραση από το  $\text{CO}_2$
- Η ανάπτυξη της κτηνοτροφίας, διότι τα βοοειδή όπως οι αγελάδες, αλλά και τα πρόβατα παράγουν κατά την πέψη της τροφής τους, μεγάλες ποσότητες μεθανίου ( $\text{CH}_4$ )

Σημαντικές αυξήσεις σε όλα τα θερμοκηπιακά αέρια λόγω των παραπάνω δραστηριοτήτων, παρατηρούνται από την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι σήμερα. Το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) είναι το αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται συχνότερα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και είναι υπεύθυνο για το 63% της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι σήμερα 40% υψηλότερη από ό,τι ήταν στην αρχή της εκβιομηχάνισης (European Commission, 2019). Άλλα αέρια του θερμοκηπίου εκλύονται σε μικρότερες ποσότητες, αλλά παγιδεύουν τη θερμότητα πολύ πιο αποτελεσματικά από το  $\text{CO}_2$  και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πολύ πιο ισχυρά. Το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) είναι υπεύθυνο για το 19% της υπερθέρμανσης του πλανήτη από ανθρωπογενείς πηγές και το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) αντιστοιχεί στο 6%. (European Commission, 2019).

#### 1.4. Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

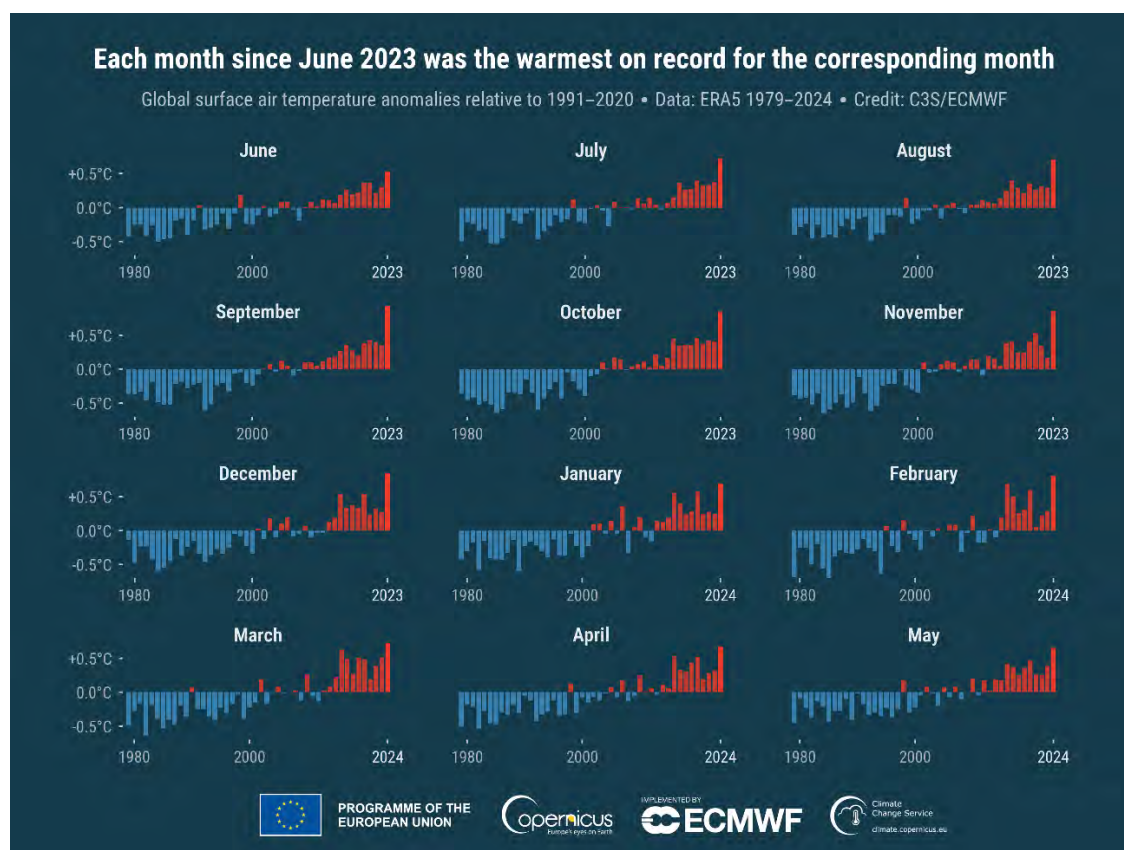
Υπάρχουν πλέον σαφείς αποδείξεις για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα δεδομένα προέρχονται από τα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας έως τα βάθη των ωκεανών και περιλαμβάνουν μεταβολές στη θερμοκρασία της επιφάνειας, της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, στη χιονοκάλυψη, στους πάγους, στη στάθμη της θάλασσας και στην ποσότητα των ατμοσφαιρικών υδρατμών. Επομένως, το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής που συντελείται από τον 19ο αιώνα είναι αδιαμφισβήτητο (Κατσαφάδος, Μαυροματίδης, 2015, IPCC, 2013).

##### Άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της γης

Από την προβιομηχανική εποχή μέχρι σήμερα, σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), η μέση θερμοκρασία της γης έχει αυξηθεί σχεδόν κατά 2 βαθμούς Φαρενάιτ (1,1 βαθμούς Κελσίου), με τα δύο τρίτα αυτής της αύξησης να έχουν συμβεί μόνο τις τελευταίες δεκαετίες (NRDC, 2019).

Η τελευταία δεκαετία, είναι η θερμότερη που έχει καταγραφεί ποτέ ενώ η έκθεση του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO) για την κατάσταση του παγκόσμιου

κλίματος επιβεβαιώνει ότι το 2023 είναι το θερμότερο έτος που έχει καταγραφεί ποτέ και αναμένεται το 2024 να είναι ακόμα πιο θερμό. Ο Μάιος του 2024 ήταν θερμότερος παγκοσμίως από οποιονδήποτε προηγούμενο Μάιο στο αρχείο δεδομένων, με μέση θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα 15,91°C, 0,65°C πάνω από τον μέσο όρο του Μαΐου 1991-2020 και 0,19°C πάνω από το προηγούμενο υψηλό που είχε οριστεί τον Μάιο του 2020. Αυτός είναι ο δωδέκατος συνεχόμενος μήνας που είναι ο θερμότερος στο αρχείο δεδομένων ERA5 (Σύστημα αναλύσεων μετεωρολογικών δεδομένων του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF)) για τον αντίστοιχο μήνα του έτους. Αν και ασυνήθιστο, μια παρόμοια σειρά μηνιαίων παγκόσμιων ρεκόρ θερμοκρασίας συνέβη στο παρελθόν το 2015/2016. Ο μήνας ήταν 1,52°C πάνω από τον εκτιμώμενο μέσο όρο του Μαΐου για το 1850-1900, την καθορισμένη προβιομηχανική περίοδο αναφοράς ενώ η παγκόσμια μέση θερμοκρασία τους τελευταίους 12 μήνες (Ιούνιος 2023 – Μάιος 2024) είναι η υψηλότερη που έχει καταγραφεί, με 0,75°C πάνω από τον μέσο όρο 1991-2020 και 1,63°C πάνω από τον προβιομηχανικό μέσο όρο 1850-1900. Επίσης, η μέση ευρωπαϊκή θερμοκρασία για τον Μάιο του 2024 ήταν 0,88°C πάνω από τον μέσο όρο 1991-2020 για τον Μάιο και ο τρίτος θερμότερος Μάιος που έχει καταγραφεί για την ήπειρο (C3S, 2024).



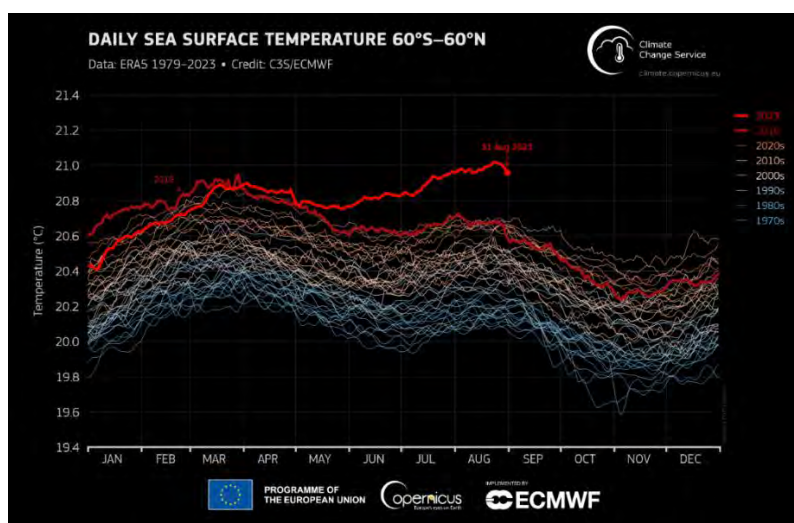
Εικόνα 2. Οι ανωμαλίες της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας του αέρα (°C) από τον Ιανουάριο του 1979 έως τον Μάιο του 2024 εμφανίζονται ξεχωριστά για κάθε ημερολογιακό μήνα. Οι ανωμαλίες είναι σχετικές με τον μέσο όρο για την περίοδο αναφοράς 1991–2020. (Πηγή: EPA5. Πίστωση: Copernicus Climate Change Service/ECMWF).

Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία για τον Μάρτιο-Μάιο 2024 ήταν ρεκόρ 0,68°C πάνω από τον μέσο όρο της περιόδου 1991-2020 για αυτούς τους τρεις μήνες ενώ η μέση ευρωπαϊκή θερμοκρασία για την άνοιξη (Μάρτιος-Μάιος) 2024 ήταν η υψηλότερη που έχει καταγραφεί για την εποχή, 1,50°C θερμότερη από τον μέσο όρο της περιόδου 1991-2020 και 0,36°C θερμότερη από την προηγούμενη θερμότερη ευρωπαϊκή άνοιξη, το 2014 (C3S, 2024).

Επιπλέον, το θερμότερο φαινόμενο Ελ Νίνιο, εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2023 στο βόρειο ημισφαίριο και αναπτύχθηκε ραγδαία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, είναι πιθανό να τροφοδοτήσει περαιτέρω τη ζέστη το 2024, επειδή το Ελ Νίνιο έχει συνήθως τη μεγαλύτερη επίδραση στις παγκόσμιες θερμοκρασίες μετά την κορύφωσή του (World Meteorological Organization, 2023).

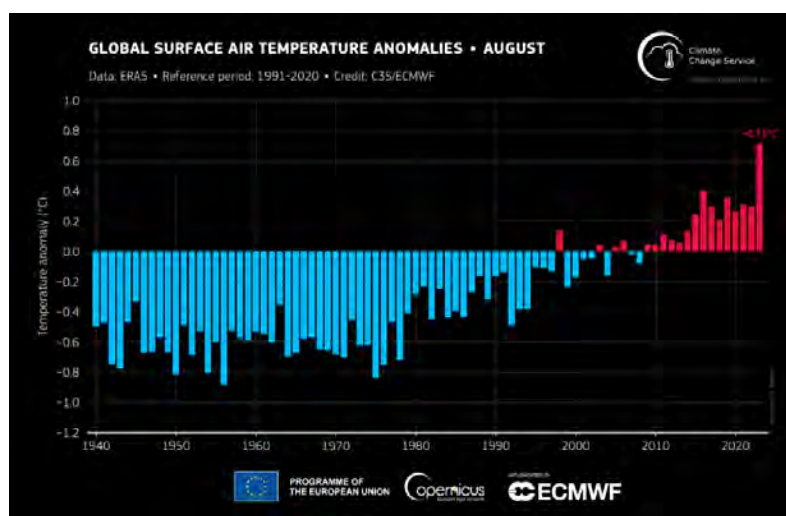
#### Θέρμανση, άνοδος της στάθμης και όξυνση των ωκεανών

Ο ωκεανός απορροφά την πλειονότητα της θερμότητας που προκαλείται από την υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα τελευταία είκοσι χρόνια, ο ρυθμός θέρμανσης του ωκεανού έχει αυξηθεί σημαντικά, και αυτό συμβαίνει σε όλα τα βάθη του ωκεανού αλλά και στην επιφάνειά του. Το 2023 είχε τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες στον ωκεανό που έχει καταγραφεί ποτέ (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1. Ημερήσια παγκόσμια θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (°C) κατά μέσο όρο στην περιοχή 60°S-60°N, απεικονιζόμενη ως χρονοσειρά για κάθε έτος από την 1η Ιανουαρίου 1979 έως τις 31 Αυγούστου 2023. Τα έτη 2023 και 2016 απεικονίζονται με παχιές γραμμές με έντονο κόκκινο και σκούρο κόκκινο χρώμα, αντίστοιχα. Τα άλλα έτη παρουσιάζονται με λεπτές γραμμές και σκιασμένες ανάλογα με τη δεκαετία, από μπλε (δεκαετία 1970/80) έως κεραμιδί (δεκαετία 2020). Δεδομένα: ERA5. (Πηγή: C3S/ECMWF.).

Συγκεκριμένα η μέση παγκόσμια θερμοκρασία επιφανειακού αέρα των 16,82°C για τον Αύγουστο του 2023 ήταν 0,71°C θερμότερη από τον μέσο όρο του Αυγούστου 1991-2020 και 0,31°C θερμότερη από τον προηγούμενο θερμότερο Αύγουστο του 2016 (Διάγραμμα 2)(C3S, 2023).



Με τη θέρμανση των ωκεανών ο όγκος του νερού αυξάνεται καθώς το νερό διαστέλλεται, με συνέπεια να παρατηρείται άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά την τελευταία περίοδο. Ακόμη, η τήξη των πάγων μπορεί να προκαλέσει άνοδο της στάθμης της θάλασσας και να επιφέρει μεταβολές στη χρήση γης (European Commission, 2019).

Το 2023, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έφτασε σε υψηλό επίπεδο ρεκόρ στα δορυφορικά αρχεία (από το 1993), αντανακλώντας τη συνεχιζόμενη αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών καθώς και το λιώσιμο των παγετώνων και των παγοκαλύψεων. Ο ρυθμός ανόδου της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας τα τελευταία δέκα χρόνια (2013-2023) είναι υπερδιπλάσιος του ρυθμού ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά την πρώτη δεκαετία της δορυφορικής καταγραφής (1993-2002) (WMO, 2023).

Επιπλέον, ο ωκεανός απορροφά το διοξείδιο του άνθρακα, κρατώντας το από την ατμόσφαιρα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα, με την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα να προκαλείται όξυνση των ωκεανών (WMO, 2023).

Τέλος είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών έχει επιπτώσεις και στην έκταση του πάγου στην ανταρκτική. Πιο συγκεκριμένα η έκταση του θαλάσσιου πάγου της Ανταρκτικής ήταν 8% κάτω από το μέσο όρο, η 6η χαμηλότερη έκταση για τον Μάιο του 2024, στο αρχείο δορυφορικών δεδομένων, σημαντικά μικρότερη σε μέγεθος από το ρεκόρ -17% που παρατηρήθηκε τον Μάιο του 2023 (C3S, 2024).

#### Επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς

Όλα αυτά έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα προκαλώντας τον αφανισμό πολλών θαλάσσιων φυτικών και ζωικών οργανισμών. Επίσης αυξάνεται το φαινόμενο της μετανάστευσης των θαλάσσιων ζωικών οργανισμών κάτι που προκαλεί διαταραχές στα οικοσυστήματα (United Nations, 2022).

Η κλιματική αλλαγή θέτει σε κίνδυνο την επιβίωση των ειδών στους ωκεανούς αλλά επίσης και στην στεριά. Από την κλιματική αλλαγή, ο κόσμος χάνει είδη με ρυθμό 1.000 φορές μεγαλύτερο από ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη περίοδο της καταγεγραμμένης ανθρώπινης ιστορίας. Ένα εκατομμύριο είδη κινδυνεύουν να εξαφανιστούν μέσα στις επόμενες δεκαετίες (United Nations, 2022).

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σήμερα τουλάχιστον 10.967 είδη που περιλαμβάνονται στον Κόκκινο Κατάλογο Απειλούμενων Ειδών™ της Διεθνής Ένωση Προστασίας της Φύσης (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources – IUCN), αυξάνοντας την πιθανότητα εξαφάνισής τους. Το Melomys Bramble Cay (Melomys rubicola) είναι το πρώτο θηλαστικό που αναφέρεται ότι εξαφανίστηκε ως άμεσο αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής (IFAW, 2023).

Μια από τις κυριότερες αιτίες εξάλειψης των ειδών είναι και αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων λόγω της κλιματικής αλλαγής.

#### Αύξηση ακραίων καιρικών φαινομένων

Πέρα όμως από την εξαφάνιση των ειδών τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν επιπτώσεις και στην οικονομία και τον άνθρωπο. Οι καταστροφικές καταιγίδες έχουν γίνει πιο έντονες και συχνές σε πολλές περιοχές. Με την αύξηση των θερμοκρασιών, περισσότερη υγρασία εξατμίζεται, ενισχύοντας τις ακραίες βροχοπτώσεις και τις πλημμύρες, γεγονός που οδηγεί σε περισσότερες καταστροφικές καταιγίδες. Η συχνότητα και η ένταση των τροπικών καταιγίδων επηρεάζονται επίσης από τη θέρμανση των ωκεανών. Οι κυκλώνες και οι τυφώνες αντλούν

ενέργεια από τα θερμά νερά στην επιφάνεια των ωκεανών (IPCC, 2021). Αυτές οι καταιγίδες συχνά καταστρέφουν σπίτια και κοινότητες, προκαλώντας θανάτους και τεράστιες οικονομικές απώλειες

Μεγάλες κοινωνικές και οικονομικές καταστροφές όπως επίσης και απώλεια ειδών οφείλονται στην ξηρασία που σε συνδυασμό με τον καύσωνα δημιουργεί μεγάλες πυρκαγιές.

### 1.5. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

Η Ελλάδα ανήκει στις χώρες που βιώνουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, μαζί με πολλές άλλες περιοχές παγκοσμίως. Ειδικά η μεσογειακή περιοχή είναι ευάλωτη λόγω της υψηλής ευαισθησίας της στην ξηρασία και την αύξηση της θερμοκρασίας (IPCC 2007, Giorgi 2006, GaoandGiorgi 2008). Η κλιματική αλλαγή δεν αφορά μόνο τις μακροπρόθεσμες τάσεις του κλίματος, αλλά και τις αλλαγές στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων (Kostopoulou και Jones 2005, Alpert, 2008). Αυτές οι μεταβολές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές δυσκολίες σε κλάδους όπως η γεωργία και ο τουρισμός, ενώ επηρεάζουν επίσης σημαντικά τις τοπικές κοινότητες. Εκτός αυτού, οι ακραίες καιρικές συνθήκες μπορούν να απειλήσουν την ανθρώπινη υγεία (Patzetal.2005), ενώ η κλιματική αλλαγή έχει επίσης έμμεσο αντίκτυπο στους ανθρώπους επηρεάζοντας άλλους τομείς όπως οι υδάτινοι πόροι και η ενέργεια (Hendersonand Muller, 1997, Subaket, 2000, Korner, 2005, Giannakopoulos, 2009).

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) το 2007 δημοσίευσε την 4η έκθεση της όπου περιέγραφε τις επιπτώσεις που μπορεί να υποστούν οι Μεσογειακές χώρες λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Σε αυτήν την έκθεση η IPCC ανέφερε τα εξής (IPCC, 2007):

- Τα οικοσυστήματα της Μεσογείου ανήκουν στις περιοχές που επηρεάζονται έντονα από τις παγκόσμιες αλλαγές. Με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά πάνω από 2°C, οι άγονες και οι χορτολιβαδικές περιοχές αναμένεται να αυξηθούν σε βάρος των θαμνωδών περιοχών, ενώ τα αείφυλλα και τα διαφορετικών ειδών φυλλοβόλα δέντρα αναμένεται να επεκταθούν αντικαθιστώντας τα κωνοφόρα δέντρα που ανήκουν στη βλαστική ζώνη των ψυχρόβιων κωνοφόρων.
- Περιοχές που είναι εκτεθειμένες στην ξηρασία, θα πληγούν περισσότερο από την κλιματική αλλαγή λόγω της εξάντλησης των υδατικών πόρων.
- Οι πυρκαγιές θα αυξηθούν λόγω των ζεστών και ξηρών συνθηκών που θα επικρατούν, οι οποίες θα έχουν μειώσει την παραγωγικότητα των δασών. Οι επιπτώσεις στην γεωργία και την δασοπονία είναι ήδη ορατές λόγω της αύξησης των περιόδων καύσωνα, των ξηρασιών και των πλημμυρών.
- Σε πολλές περιοχές της Μεσογείου, παρατηρείται αύξηση από 20% έως 34% στον αριθμό των εβδομάδων με υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς. Η αυξανόμενη συχνότητα των πυρκαγιών μετατρέπει τα εκτεταμένα δάση σε λιγότερο πυκνή βλάστηση, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2,6°C προκαλεί επίσης μεγαλύτερη εξάπλωση των εντόμων.
- Η αλλαγή στην στάθμη της θάλασσας και η κλιματική αλλαγή, επηρεάζει αρνητικά τους ευαίσθητους σε αυτές τις μεταβολές, παράκτιους υγροτόπους

Πέραν των πληροφοριών που παρέχονται για τη Μεσόγειο, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) επισημαίνει ειδικά τη Νότια Ελλάδα ως μία από τις περιοχές που θα υποστούν τις μεγαλύτερες επιπτώσεις από τις αλλαγές στο κλίμα, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό σημαίνει πιο συχνά

κύματα καύσωνα και μεγαλύτερες περιόδους ξηρασίας. Οι περίοδοι ξηρασίας στη Μεσόγειο αναμένεται να ξεκινούν νωρίτερα και να διαρκούν περισσότερο (IPCC, 2007).

Επιπλέον, με την επερχόμενη ερημοποίηση αναμένεται να παρουσιαστεί σταδιακή μείωση της γονιμότητας του εδάφους. Αυτή η διαδικασία, εκτός από το να επηρεάσει αρνητικά την παραγωγικότητα των εδαφών, συνδέεται επίσης με την υποβάθμιση του φυσικού τοπίου και των μνημείων που συχνά βρίσκονται εκεί. Στην Ελλάδα, το 35% των εδαφών έχει ήδη ερημοποιηθεί ή αντιμετωπίζει υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης, ενώ το 49% των εδαφών αντιμετωπίζει μέτριο κίνδυνο ερημοποίησης. Άμεσα σε κίνδυνο βρίσκονται τα εδάφη στην Πελοπόννησο, τη Δυτική Στερεά Ελλάδα, την Κρήτη, την Εύβοια, την Ήπειρο, τη Θεσσαλία και τη Θράκη (Παπίδα, 2015).

Επιπλέον, η έλλειψη πληροφοριών στη βιβλιογραφία σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα αντιμετωπίζεται μέσω της έκδοσης της Τράπεζας της Ελλάδας για τις "περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα", η οποία είχε δημοσιευθεί τον Ιούνιο του 2011. Αυτή η μελέτη επιτυγχάνει δύο βασικούς στόχους. Αφενός, αναλύει λεπτομερώς τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής για το περιβάλλον και την οικονομία. Αφετέρου, για πρώτη φορά παρουσιάζει εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος της μη δράσης και της προσαρμογής της χώρας. Η μελέτη προβλέπει ότι το κόστος της αδράνειας θα ανέλθει σε 701 δισεκατομμύρια ευρώ έως το 2100, ενώ με την εφαρμογή μέτρων προσαρμογής, το κόστος θα περιοριστεί στα 510 δισεκατομμύρια ευρώ. Επιπρόσθετα, υπολογίζεται ότι οι επενδύσεις για την προσαρμογή θα ανέλθουν σε 67 δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ τα οφέλη από τη μείωση των ζημιών θα φτάσουν τα 190 δισεκατομμύρια ευρώ (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011).

Η μελέτη της κλιματικής αλλαγής για την Ελλάδα πρέπει να συμπεριλαμβάνει αναλύσεις για την επίδραση στα μνημεία, καθώς αυτά αποτελούν σημαντικό μέρος της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Η παρούσα κλιματική αλλαγή, μαζί με τις αναμενόμενες μεταβολές στην ένταση και τη συχνότητα φυσικών φαινομένων, αναμένεται να επηρεάσει τα ιστορικά μνημεία που εκτίθενται στο περιβάλλον, καθώς και τις συλλογές που βρίσκονται σε μουσεία. Πλημμύρες, σεισμοί, πυρκαγιές, ισχυροί άνεμοι και η μακροπρόθεσμη επίδραση αντίξωων κλιματικών συνθηκών μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές, ακόμη και την πλήρη καταστροφή, σε μνημεία και αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς. Μέχρι σήμερα, δεν υπήρξε ολοκληρωμένη προσέγγιση σε εθνικό επίπεδο για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς από φυσικούς κινδύνους και καταστροφές, ενώ και σε ευρωπαϊκό επίπεδο παρατηρείται έλλειψη συνοχής στις προτεινόμενες προσεγγίσεις (European Parliament, 2007). Παρόλα αυτά στο κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας γίνεται μια εμπεριστατωμένη αναφορά στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον

### 2.1. Ορισμός για Δομημένο περιβάλλον

Ο όρος "δομημένο περιβάλλον" αναφέρεται στα ανθρωπογενή περιβάλλοντα και χρησιμοποιείται συχνά, μεταξύ άλλων, στην αρχιτεκτονική, την αρχιτεκτονική τοπίου, τον αστικό σχεδιασμό, τη δημόσια υγεία, την κοινωνιολογία και την ανθρωπολογία (Galster, 2017, Sallis, 2012). Αυτοί οι επιμελημένοι χώροι παρέχουν το πλαίσιο για την ανθρώπινη δραστηριότητα και δημιουργήθηκαν για να ικανοποιήσουν τις ανθρώπινες επιθυμίες και ανάγκες (McClure, 2007)

Ο όρος μπορεί να αναφέρεται σε μια πληθώρα στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων των παραδοσιακά συνδεδεμένων κτηρίων, πόλεων, δημόσιων υποδομών, μεταφορών, ανοιχτών χώρων, καθώς και σε πιο εννοιολογικά στοιχεία, όπως αγροτικές εκτάσεις, ποτάμια με φράγματα, διαχείριση άγριας ζωής, ακόμη και οικόσιτα ζώα (McClure, 2007).

### 2.2. Επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από την αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων

Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει την αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις που προκαλούν πλημμυρικά φαινόμενα ή οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας και έντονου καύσωνα που προκαλούν μεγάλες πυρκαγιές. Αυτά τα φαινόμενα έχουν προκαλέσει μεγάλες καταστροφές στο δομημένο περιβάλλον σε όλο τον κόσμο (IPCC, 2021).

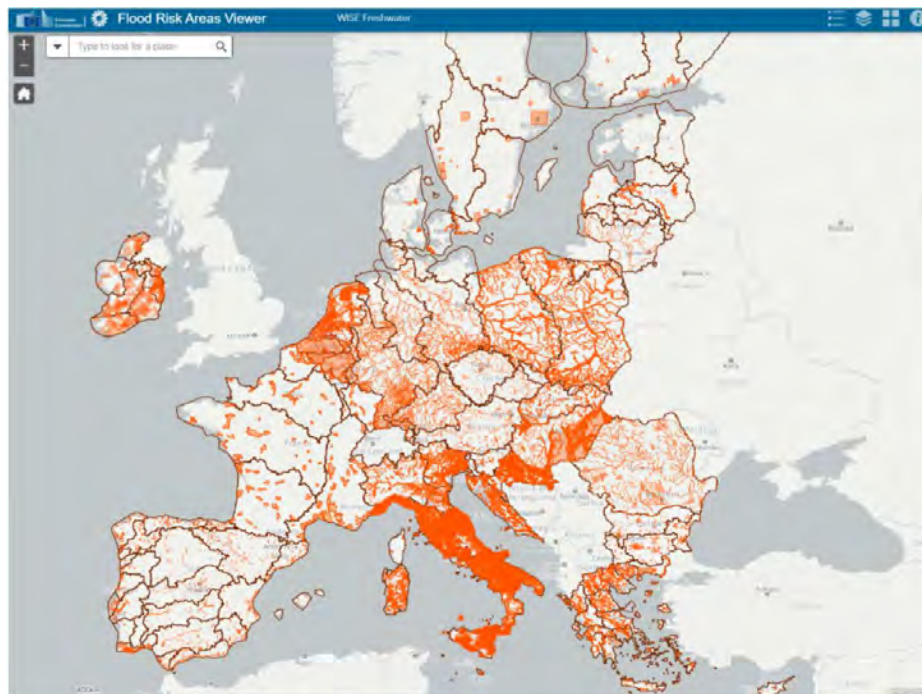
#### 2.2.1. Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από την αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων

Οι καταστροφές στο δομημένο περιβάλλον που προκαλούνται από πλημμύρες λόγω της υπερχειλίσης ποταμών, έχουν αυξηθεί δυναμικά τις τελευταίες δεκαετίες σε όλο τον κόσμο. Αυτό οφείλεται στην αύξηση των έντονων βροχοπτώσεων, με συνέπειες σε αυξανόμενο κίνδυνο πλημμυρών που προκαλούνται από τη βροχή (Zbigniew, Kundzewicz, 2010).

Οι πλημμύρες αποτελούσαν ανέκαθεν έναν σημαντικό φυσικό κίνδυνο και είναι σαφές ότι δεν αντιμετωπίζονται ικανοποιητικά. Στις ΗΠΑ υπήρξαν αρκετές πρόσφατες πλημμύρες κάθε μία από τις οποίες προκάλεσαν υλικές ζημιές ξεπέρασαν τα 10 δισεκατομμύρια δολάρια. Οι καταστροφικές πλημμύρες είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε περιοχές με χαμηλότερο γεωγραφικό πλάτος, ιδίως στην Ασία ( στο Μπαγκλαντές, την Κίνα και την Ινδία) και τη Νότια Αμερική. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών, πολυάριθμες καταστροφικές πλημμύρες σημειώθηκαν και σε άλλες ηπείρους (Zbigniew, Kundzewicz, 2010).

Αύξηση του αριθμού των καταστροφών στο δομημένο περιβάλλον από πλημμύρες έχει παρατηρηθεί στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια, ενώ οι πλημμύρες υψηλού αντίκτυπου παρατηρούνται να συμβαίνουν όλο και πιο συχνά. Από το 1980 έως το 2023 έχουν καταγραφεί στην Ευρώπη σχεδόν 1500 πλημμύρες, ενώ συνολικά από το 1980 έως σήμερα έχουν

προκληθεί πάνω από 170 δισεκατομμύρια ευρώ οικονομικές ζημιές και πάνω από 4300 θάνατοι από πλημμύρες (European Commission, 2023). Σήμερα περισσότερες από 14.000 περιοχές στην ΕΕ διατρέχουν σημαντικό κίνδυνο πλημμύρας, σύμφωνα με ένα νέο διαδικτυακό πρόγραμμα προβολής που κυκλοφόρησε το 2023. Ο κίνδυνος για πλημμυρικά φαινόμενα θα αυξηθεί στο 82% ενώ μέχρι το 2100 θα αυξηθεί στο 180% (European Commission, 2023).



Εικόνα 3. Περιοχές της ΕΕ που διατρέχουν μεγάλο κίνδυνο για πλημμύρα (European Commission, 2023)

#### 2.2.1.1. Οι επιπτώσεις της αύξησης των πλημμυρικών φαινομένων στο δομημένο περιβάλλον της Ελλάδας (το παράδειγμα Daniel)

Σύμφωνα με τον επίτροπο περιβάλλοντος, ωκεανών και αλιείας της ΕΕ, Virginijus Sinkevičius, οι καταστροφικές πλημμύρες στην Ευρώπη και όλο τον κόσμο αυξάνονται ραγδαία ενώ οι επιπτώσεις των πλημμυρών που έγινα στην Σλοβενία και την Ελλάδα το 2023 ήταν τεράστιες (Sinkevičius, 2023).

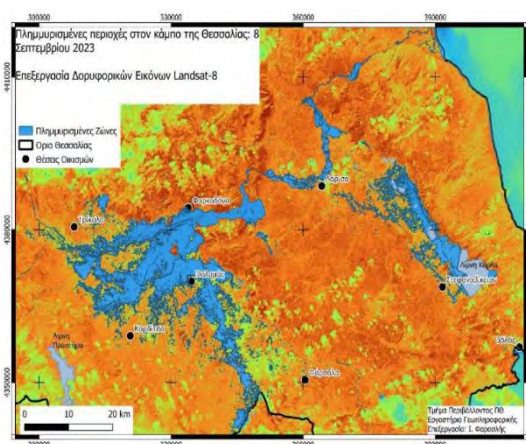
Πιο συγκεκριμένα μεταξύ 3 και 8 Σεπτεμβρίου η περιοχή της Μεσογείου επλήγη από ένα πρωτοφανές μετεωρολογικό φαινόμενο, την καταιγίδα Daniel. Η καταιγίδα αυτή χτύπησε τον Ελλαδικό χώρο έπειτα από μια μακράν περίοδο ξηρασίας και μεγάλων πυρκαγιών και έντονης ζέστης (Kang He, 2023). Η κεντρική Ελλάδα υπέστη ακραίες βροχοπτώσεις, και ορισμένες πόλεις έσπασαν το ρεκόρ των παρατηρήσεων με 500 χιλιοστά βροχόπτωσης σε μια ημέρα. Σύμφωνα με τη Μετεωρολογική Υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου, για παράδειγμα, η συσσώρευση βροχόπτωσης στη Ζαγορά ήταν περισσότερο από 55 φορές μεγαλύτερη από τη μέση βροχόπτωση του Σεπτεμβρίου (~16 mm) σε ολόκληρη την Ελλάδα (CBS, 2023).

Η καταρρακτώδης βροχή επέτεινε τις μεγάλες πλημμύρες στην κεντρική Ελλάδα, προκαλώντας εκτεταμένες περιοχές να πλημμυρίσουν (FloodList, 2023, NASA, 2023). Οι πλημμύρες προκάλεσαν τεράστιες καταστροφές σε υποδομές, μετατρέποντας δρόμους σε θανατηφόρα ποτάμια, γκρεμίζοντας κτίρια και γέφυρες και αφήνοντας ολόκληρα χωριά βυθισμένα (CNN, 2023, New York Times, 2023).

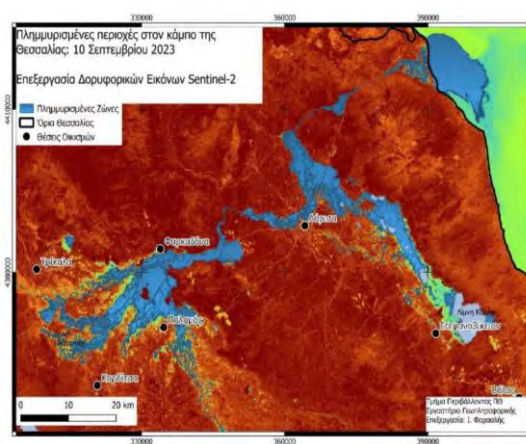
Η καταιγίδα Daniel θεωρείται η χειρότερη βροχόπτωση στην καταγεγραμμένη ιστορία της Ελλάδας, όπως επίσης και το πιο θανατηφόρο καιρικό φαινόμενο του 2023 μέχρι σήμερα. Τουλάχιστον δεκαεπτά άνθρωποι σκοτώθηκαν στη χώρα, ενώ δέκα νεκροί αναφέρθηκαν στη γειτονική Βουλγαρία και Τουρκία (Financial Times, 2023).

Οι οικονομικές απώλειες από τις πλημμύρες υπολογίζονται σε δισεκατομμύρια ευρώ και για αυτόν τον λόγο η Ευρωπαϊκή Ένωση προσέφερε στην Ελλάδα 2,25 δισεκατομμύρια ευρώ για να ανακάμψει (GreekReporter, 2023).

Οι απώλειες στην γεωργία ήταν τεράστιες διότι οι μεγαλύτερες πλημμύρες σημειώθηκαν στην Θεσσαλία η οποία αντιπροσωπεύει περίπου το 12,2% της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας της γεωργικής βιομηχανίας της Ελλάδας (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2023). Συγκεκριμένα η Θεσσαλία ήταν η περιοχή που επλήγη περισσότερο στην Ελλάδα, με τις μεγαλύτερες πλημμυρισμένες εκτάσεις, με ζώα πνιγμένα και ολόκληρες καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού, ντομάτας και μήλων να έχουν καταστραφεί (Financial Times, 2023). Σχεδόν το 70% της καλλιέργειας βαμβακιού στη Θεσσαλία εκτιμάται ότι καταστράφηκε από τις πλημμύρες (Hürriyet Daily News, 2023). Επιπλέον, η παραγωγή στην περιοχή αναμενόταν να μειωθεί κατά τουλάχιστον 50-60%, γεγονός που, με τη σειρά του, αναμένεται να μειώσει την συνολική παραγωγή βαμβακιού στην Ελλάδα κατά 15-20% (GreekReporter, 2023).



Εικόνα 4. Χαρτογράφηση πλημμυρισμένων εκτάσεων στην πεδιάδα της Θεσσαλίας 8 Σεπτεμβρίου 2023 (πηγή: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λάρισα)



Εικόνα 5. Χαρτογράφηση πλημμυρισμένων εκτάσεων στην πεδιάδα της Θεσσαλίας, από δορυφορικά δεδομένα 10 Σεπτεμβρίου 2023 (πηγή: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λάρισα)

Στους παραπάνω χάρτες (εικόνες 4 και 5) μπορούμε να παρατηρήσουμε το μέγεθος των πλημμυρισμένων εκτάσεων στην Θεσσαλία στις 8 Σεπτεμβρίου (εικόνα 4) και στις 10 Σεπτεμβρίου (εικόνα 5). Οι χάρτες αυτοί έγιναν με την χρήση δορυφορικών δεδομένων μέσω της εφαρμογής QGIS.

## 2.2.2. Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από την αύξηση των πυρκαγιών

Η άνοδος της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής έχει αυξήσει τις περιόδους ξηρασίας και καύσωνα, ξεραίνοντας το χώμα, και δημιουργώντας καύσιμη ύλη, ένα απαραίτητο συστατικό για την φωτιά. Κατά τα αυτόν τον τρόπο η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει τις πυρκαγιές ανά τον κόσμο, στο φυσικό δασικό περιβάλλον όπου και συνήθως δημιουργούνται (IPCC, 2021). Οι δασικές πυρκαγιές όμως σε πολλές περιπτώσεις εξαπλώνονται φτάνοντας κατοικημένες περιοχές προκαλώντας καταστροφές και στο δομημένο περιβάλλον.

## Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

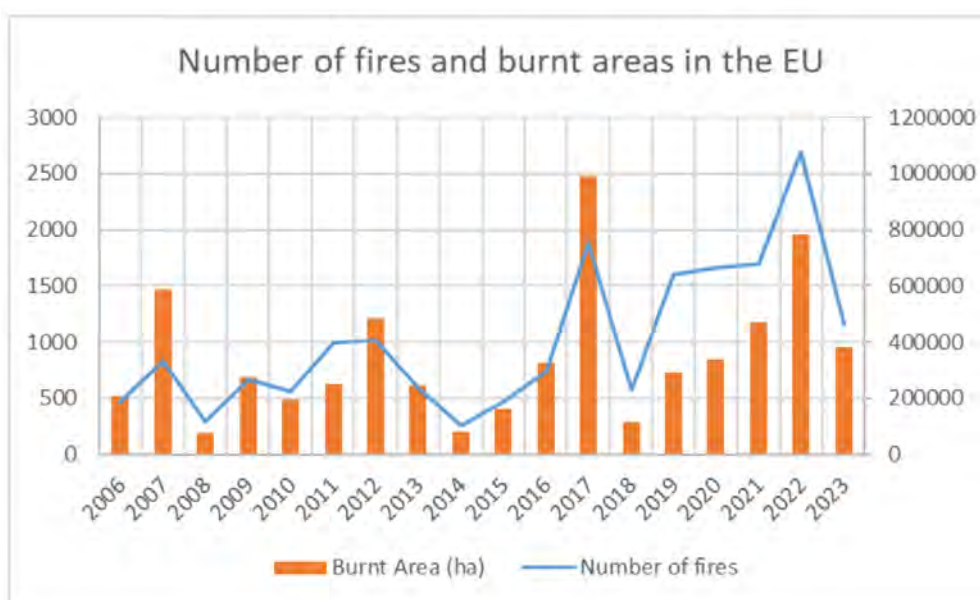
Σύμφωνα με τις προβλέψεις, η ετήσια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C θα αύξανε το μέγεθος των καμένων εκτάσεων ετησίως στις δυτικές ΗΠΑ έως και 600% σε ορισμένους τύπους δασών. Στις νοτιοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες η μοντελοποίηση υποδηλώνει αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς και μεγαλύτερη περίοδο πυρκαγιάς, με τουλάχιστον 30% αύξηση από το 2011 μέχρι το 2060 (C2ES, 2021).

Οι ζημιές που έχουν προκληθεί στο δομημένο περιβάλλον των ΗΠΑ λόγω των πυρκαγιών είναι τεράστιου κόστους. Συγκεκριμένα το 2000, 15 δασικές πυρκαγιές στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουν προκαλέσει ζημιές τουλάχιστον 1 δισεκατομμυρίου δολαρίων η καθεμία, κυρίως από την απώλεια κατοικιών και υποδομών, μαζί με το κόστος πυρόσβεσης. Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) εκτιμά το συνολικό κόστος των πυρκαγιών το 2017 και το 2018 σε περισσότερα από 40 δισεκατομμύρια δολάρια. Το 2019, οι πυρκαγιές προκάλεσαν ζημιές περίπου 4,5 δισεκατομμυρίων δολαρίων στην Καλιφόρνια και την Αλάσκα. Το 2020, πέντε από τις έξι μεγαλύτερες πυρκαγιές που έχουν καταγραφεί συνέβησαν στην Καλιφόρνια και στο Όρεγκον των οποίων τα επίπεδα εξάπλωσης της φωτιάς αλλά και των ζημιών που προκλήθηκαν ήταν ιστορικά από τα μεγαλύτερα (C2ES, 2021).

## Ευρώπη

Όπως σε όλον τον κόσμο, έτσι και στην Ευρώπη οι πυρκαγιές έχουν αυξηθεί ραγδαία λόγω της κλιματικής αλλαγής. Τα τελευταία τρία χρόνια ήταν τα χειρότερα που έχουν καταγραφεί από τότε που ξεκίνησαν οι καταγραφές το 1980, από την άποψη του μεγέθους των καμένων εκτάσεων στην Ευρώπη. Στη Νότια Ευρώπη, η συνολική καμένη έκταση το 2021 ήταν 391.736 εκτάρια, σχεδόν διπλάσιο από το σύνολο του προηγούμενου έτους, το 2022 ήταν 748.426 εκτάρια και το 2023 ήταν 468.289 εκτάρια (EFFIS, 2023).

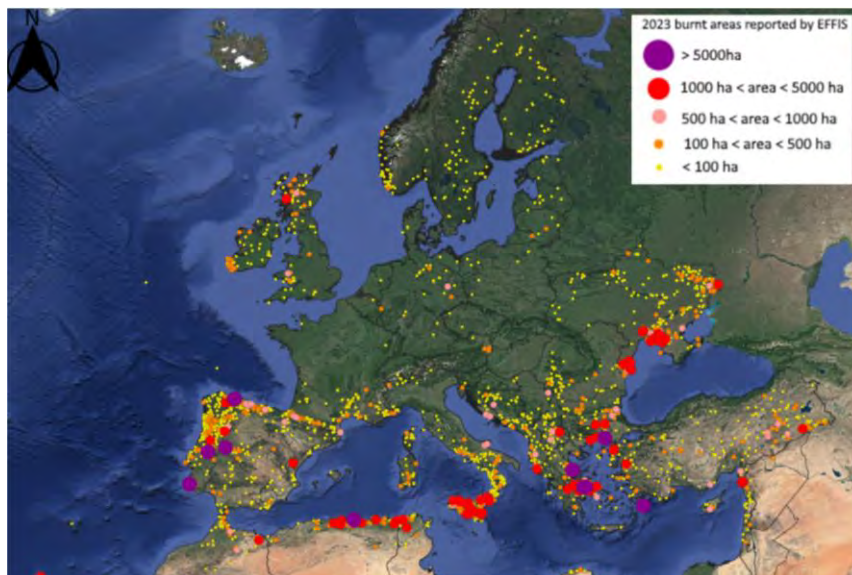
Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών Δασικών Πυρκαγιών CEMS (EFFIS) κατέγραψε έως και 1273 πυρκαγιές σε έκταση άνω των 30 εκταρίων στην ΕΕ έως τα τέλη Αυγούστου.



Διάγραμμα 3. Ο αριθμός των πυρκαγιών και των καμένων εκτάσεων στην ΕΕ (πηγή: Joint Research Center (JRC) / European Forest Fire Information System (EFFIS))

Οι χώρες που επλήγησαν περισσότερο το 2023 από τις πυρκαγιές ήταν κυρίως χώρες της Μεσογείου και της Μαύρης θάλασσας. Η έκταση των καμένων εκτάσεων το 2023 σε αυτές τις

χώρες ξεπέρασε το μέγεθος των καμένων εκτάσεων από τις πυρκαγιές ολόκληρης της περιόδου από το 2006 έως το 2022. Πιο συγκεκριμένα οι 5 χώρες στην Ευρώπη που επλήγησαν περισσότερο από τις πυρκαγιές του 2023 ήταν η Ουκρανία με 214.065 εκτάρια καμένης γης, η Ελλάδα με 174.773 εκτάρια, η Ιταλία με 97.595 εκτάρια, η Ισπανία με 91.220 και η Πορτογαλία με 36.640 εκτάρια (Statista, 2023).



Εικόνα 6. Πυρκαγιές μέχρι τέλος Αυγούστου (Πηγή: EFFIS, 2023)

#### 2.2.2.1. Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον της Ελλάδας από την αύξηση των πυρκαγιών

Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Η κλιματική αλλαγή όμως έχει προκαλέσει την αύξηση της θερμοκρασίας και την ξηρασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση και πιο συχνά πυρκαγιών στην Ελλάδα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπως επίσης και την εκδήλωση μεγαλύτερων πυρκαγιών (HNMS, 2019)

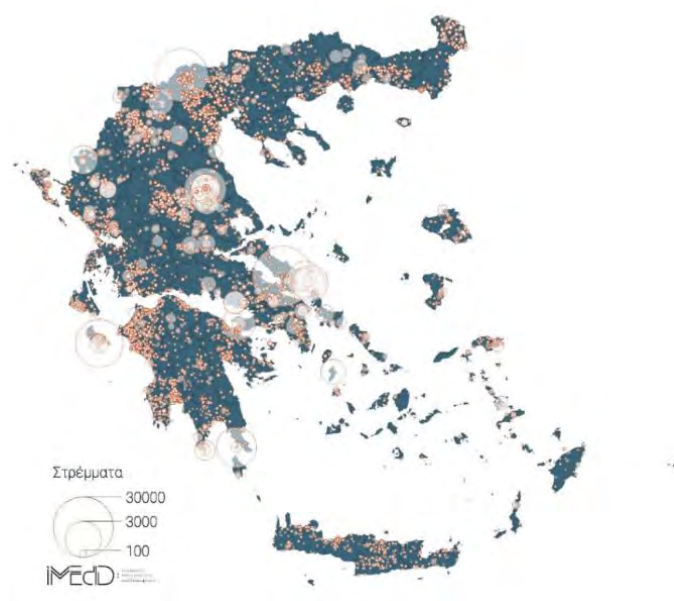
Πυρκαγιές δημιουργούνται σχεδόν κάθε χρόνο στην Ελλάδα όμως οι πιο αξιοσημείωτες των τελευταίων ετών είναι οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν κατά την περίοδο 2018-2023.

Στις 23 Ιουλίου 2018, ξέσπασε πυρκαγιά δυτικά της Αθήνας, κοντά στην Κινέτα. Λίγες ώρες αργότερα, μια δεύτερη πυρκαγιά άρχισε να καίει βόρεια της Αθήνας, κοντά στην Πεντέλη. Λόγω των πολύ ισχυρών ριπών ανέμων στην περιοχή, οι οποίες έφταναν τα 124 km/h (12 μποφόρ), και οι δύο πυρκαγιές εξαπλώθηκαν γρήγορα. Η φωτιά στην Κινέτα έκαψε σπίτια στην περιοχή, ενώ η φωτιά στην Πεντέλη κατευθύνθηκε ανατολικά προς την παραλία, καίγοντας τμήματα του Νέου Βουτζά, το Μάτι και το Κόκκινο Λιμανάκι, βόρεια της πόλης της Ραφήνας και μέχρι τα βόρεια προάστια (Masters, 2018).

Η πυρκαγιά αυτή έμεινε γνωστή για τον μεγάλο αριθμό θυμάτων που έφτασε τους 104 επιβεβαιωμένους νεκρούς και χαρακτηρίστηκε ως η πιο θανατηφόρα φωτιά στην σύγχρονη ιστορία της Ευρώπης και η δεύτερη θανατηφόρα φωτιά στον κόσμο των τελευταίων δεκαετιών μετά τις πυρκαγιές του Μαύρου Σαββάτου του 2009 στην Αυστραλία που σκοτώθηκαν 173 άνθρωποι (Statista, 2020)

Μεγάλες απώλειες εκτός από τις ανθρώπινες ζωές που ήταν και οι σημαντικότερες, σημειώθηκαν και στο δομημένο περιβάλλον. Από την πυρκαγιά αυτή καταστράφηκαν 4.000 σπίτια και χιλιάδες αυτοκίνητα (Smith, the Guardian, 2019). Επίσης κάηκαν 31149.4 στρέμματα αγροτικών εκτάσεων και 491.6 στρέμματα ΧΥΤΑ/σκουπιδότοποι (Troboukis, 2019).

Το 2019, από την 1η Ιανουαρίου μέχρι τις 30 Σεπτεμβρίου, σημειώθηκαν συνολικά 10.611 αγροτοδοασικές πυρκαγιές στην επικράτεια, με αποτέλεσμα να καούν περίπου 125.000 στρέμματα αγροτοδοασικών εκτάσεων. Από αυτές τις εκτάσεις, τα 96.360 στρέμματα αφορούν μόνο τις 43 μεγαλύτερες πυρκαγιές, σύμφωνα με το European Forest Fire Information System - EFFIS (Δασαρχείο, 2019)



Εικόνα 7. Στατικός χάρτης με τις 9500 πυρκαγιές που ξέσπασαν το 2019 σε ολόκληρη τη χώρα( Troboukis, Athanasios. 2019)

Οι νομοί στους οποίους καταγράφηκαν οι περισσότερες πυρκαγιές ήταν αριθμητικά ήταν ο νομός Ηλείας με 672 φωτιές, ακολουθεί ο νομός Λαρίσης με 590 και η Μεσσηνία με 532. Παρόλα αυτά η περιοχή με τις μεγαλύτερες καμένες εκτάσεις ήταν η Εύβοια στην οποία καταγράφηκαν περισσότερα από 35500 στρέμματα καμένης γης. Ο δεύτερος, μετά την Εύβοια, νομός με τα περισσότερα καμένα στρέμματα είναι ο νομός Λαρίσης με 31630 καμένα στρέμματα (Troboukis, Athanasios, 2019)

Η έκταση των πυρκαγιών τον 2019 ήταν πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του 2018, όμως οι καταστροφές που προκλήθηκαν στο δομημένο περιβάλλον από τις φωτιές του 2019 σε σχέση με του 2018 ήταν πολύ μικρότερες διότι αφορούσαν κυρίως το φυσικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά το 2019 καταγράφηκαν 18.281 αστικές πυρκαγιές που προκάλεσαν καταστροφές στο δομημένο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, εκδηλώθηκαν 3.992 σε κτήρια, κάηκαν 20565.3 στρέμματα αγροτικών εκτάσεων και 174.7 στρέμματα ΧΥΤΑ/σκουπιδότοποι (Troboukis Athanasios, 2019).

Κατά την διάρκεια του 2020 εκδηλώθηκαν συνολικά 33.171 αστικές πυρκαγιές από τις οποίες έχασαν την ζωή τους 68 άνθρωποι από αστικές πυρκαγιές. Η πανδημία προκάλεσε αναθεώρηση του επιχειρησιακού σχεδιασμού του Πυροσβεστικού Σώματος, οδηγώντας στην θλιβερή πρωτιά των θανάτων από πυρκαγιές σε δομές το 2020. Ο εξαιρετικά μεγάλος αριθμός θανάτων

και αστικών πυρκαγιών αποδίδεται πιθανότατα στις αλλαγές στον επιχειρησιακό σχεδιασμό του ΠΣ λόγω της πανδημίας covid-19.

Στις πυρκαγιές του 2020 ολόκληρα χωριά και κατοικίες καταστράφηκαν σε περιοχές όπως η Εύβοια, η Αττική και η Πελοπόννησος. Χιλιάδες άνθρωποι έχασαν τα σπίτια τους και έμειναν άστεγοι. Επίσης αγροκτήματα και εκτάσεις καλλιέργειας καταστράφηκαν, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές απώλειες στους αγρότες και τους κτηνοτρόφους. Οικονομικές εγκαταστάσεις, επιχειρήσεις και τουριστικοί προορισμοί υπέστησαν ζημιές ή καταστράφηκαν ολοσχερώς, μειώνοντας τα εισοδήματα και τις ευκαιρίες απασχόλησης σε πολλές περιοχές (dasarxeio, 2020).

Από τις αρχές του 2021 έως τον Οκτώβριο 2021 η πυροσβεστική κατέγραψε 8.728 πυρκαγιές που έκαψαν 1.301.239 στρέμματα. Οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο και κάηκαν οι μεγαλύτερες εκτάσεις είναι κατά σειρά : Η Εύβοιας με 511.854 στρέμματα, η Αρχαία Ολυμπία με 150.000 στρέμματα, η Ανατολική Μάνη με 101.001 στρέμματα, τα Βίλια με 94.590 στρέμματα, η Βαρυμπόμης με 83.774 στρέμματα και το Σχίνο με 69.642 στρέμματα (dasarxeio, 2021).

Από τις πυρκαγιές του 2021 σημειώθηκαν καταστροφές σε οικιστικές και αγροτικές περιοχές, με απώλεια σπιτιών, κατοικιών και αγροκτημάτων. Επιχειρήσεις, τουριστικές εγκαταστάσεις και υποδομές υπέστησαν ζημιές ή καταστράφηκαν ολοσχερώς, επηρεάζοντας την τοπική οικονομία και την απασχόληση. Καταστροφές επέστησαν επίσης υποδομές, όπως δρόμοι, γέφυρες και δίκτυα ενέργειας και επικοινωνιών, προκαλώντας προβλήματα στη μετακίνηση και τις υπηρεσίες (dasarxeio, 2021).

Το 2022, το σύνολο των καμένων εκτάσεων ανήλθε σε περίπου 223.000 στρέμματα. Οι σημαντικότερες πυρκαγιές ήταν εκείνες του δάσους της Δαδιάς, στην οποία κάηκε μέρος του ενός από τους δύο πυρήνες του Εθνικού Πάρκου και της Πεντέλης, η οποία ήταν και η δυσκολότερη στην κατάσβεση (dasarxeio, 2022).

Το καλοκαίρι του 2023 μεγάλες πυρκαγιές ξέσπασαν σε πολλές περιοχές της Ελλάδας με την μεγαλύτερη πυρκαγιά να μαίνεται στον Έβρο, στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης, η οποία χαρακτηρίστηκε ως «η μεγαλύτερη που έχει καταγραφεί στην ΕΕ» μέχρι στιγμής από αξιωματούχους της ΕΕ, με συνολικά 962.016 στρέμματα να κάηκαν . Οι επόμενες σε μέγεθος πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν το 2023 ήταν της Ρόδου με 177.735 στρέμματα, στην Πάρνηθα 58.326 στρέμματα, στη Ροδόπη 30.501 στρέμματα, στη Βοιωτία: 49.646 στρέμματα (στον Ταρσό), 34.741 στρέμματα (στον Πρόδρομο) και 10.097 στρέμματα (στην Υλίκη) και στον Νέστο Καβάλας με 13.226 στρέμματα (Copernicus 2023).



Εικόνα 8. Καμένη έκταση στην μεγάλη πυρκαγιά στον Έβρο μέχρι τις 28.08.2023 από την Υπηρεσία Ταχείας Χαρτογράφησης Copernicus (EMS).

Οι μεγάλες αυτές πυρκαγιές έκαψαν τεράστιες δασικές εκτάσεις συμπεριλαμβανομένου του δάσους της Δαδιάς, μία από τις πιο σημαντικές περιοχές στην Ευρώπη για τα αρπακτικά πτηνά και το μοναδικό δάσος όπου διακρίνονται και τα τέσσερα ευρωπαϊκά είδη γύπα (dasarχείο, 2023).

Οι καταστροφές που σημειώθηκαν στο δομημένο περιβάλλον όμως ήταν επίσης μεγάλες. Συγκεκριμένα οι ασφαλιστικές εταιρείες δήλωσαν 403 ζημιές που αντιστοιχούν στο ποσό των 48,78 εκατ. €. Από αυτές, 387 ζημιές αφορούσαν τις ασφαλίσεις περιουσίας (εκτίμηση αποζημιώσεων 48,65 εκατ. €), 9 ζημιές τις ασφαλίσεις αυτοκινήτων (εκτίμηση 43 χιλ. €) και 7 ζημιές τις ασφαλίσεις μεταφορών (εκτίμηση 85 χιλ. €)(businessdaily, 2023)

Από τις πυρκαγιές αυτές 28 άνθρωποι σκοτώθηκαν.

### 2.3. Επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας από την αύξηση της θερμοκρασίας

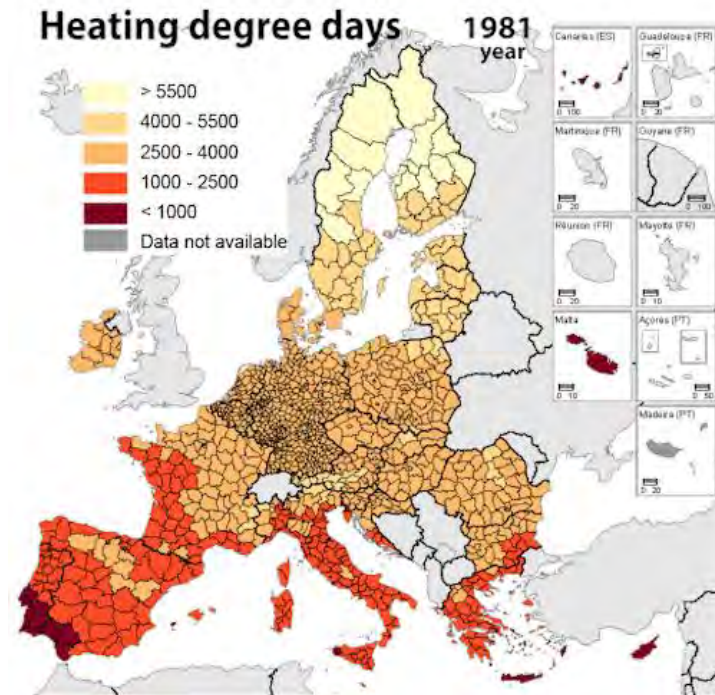
Πολλές από τις επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον προέρχονται από τις δραστηριότητες των ανθρώπων στο δομημένο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις όμως της κλιματικής αλλαγής όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, έχει προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον, αλλά έχει προκαλέσει εξίσου σοβαρές επιπτώσεις και στο δομημένο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις αυτές αφορούν κυρίως την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση και μπορούν να παρατηρηθούν ακόμα και στο δομημένο περιβάλλον της Ε.Ε αλλά και της Ελλάδας

#### 2.3.1. Επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας από την αύξηση της θερμοκρασίας στην ΕΕ.

Η ενέργεια για θέρμανση και ψύξη αντιπροσωπεύει σχεδόν το 50% της συνολικής ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ (Eurostat, 2023). Η κλιματική αλλαγή όμως προκαλεί όλο και περισσότερο θερμά καλοκαίρια με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ανάγκη για ψύξη των εσωτερικών χώρων των κτηρίων, κάτι που προκαλεί αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας όμως εκτός από θερμότερα καλοκαίρια, προκαλεί και ηπιότερους χειμώνες, μειώνοντας της κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Ως αποτέλεσμα μέχρι στιγμής, στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια που χρησιμοποιείται για ψύξη χώρων σε εθνική βάση - ακόμη και στον τομέα των υπηρεσιών (Aebischer, 2007).

#### Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση

Η ανάγκη θέρμανσης ενός συγκεκριμένου κτηρίου μειώθηκε με την πάροδο του χρόνου: η τιμή των βαθμονομημένων ημερών θέρμανσης μειώθηκε κατά 11% μεταξύ 1979 (3.510 βαθμοημέρες) και 2021 (3.126 βαθμοημέρες) στην ΕΕ. Με άλλα λόγια, το 2021 απαιτούνταν μόνο το 89% των αναγκών θέρμανσης σε σύγκριση με το 1979 (εικόνα 9)( Eurostat, 2022).



Εικόνα 6. Η σταδιακή μείωση των περιοχών όπου σημειώνουν ημέρες που απαιτείται θέρμανση στους εσωτερικούς χώρους κατά την περίοδο 1981-2021 στις χώρες της ΕΕ (Eurostat, 2022)

Από την παραπάνω εικόνα (εικόνα 9) μπορούμε να παρατηρήσουμε την σταδιακή μείωση των περιοχών της Ευρώπης που σημειώνουν ημέρες που απαιτείται θέρμανση με την χρήση των Heating Degree Days - HDD. Όσο πιο ανοιχτόχρωμη είναι μία περιοχή στον χάρτη, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για θέρμανση των κτηρίων της, ενώ όσο πιο σκουρόχρωμη είναι η περιοχή τόσο μικρότερη είναι η ανάγκη για θέρμανση εκεί. Η χρήση δεικτών όπως οι βαθμονομημένες ημέρες θέρμανσης (HDD) μπορεί να συμβάλει στη σωστή ερμηνεία της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση κτηρίων. Ο HDD είναι τεχνικός δείκτης που βασίζονται στις καιρικές συνθήκες και έχει σχεδιαστεί για να περιγράφει τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων όσον αφορά τη θέρμανση (HDD). Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης Heating Degree Days (HDD) εκφράζει την ανάγκη για θέρμανση, λαμβάνοντας υπόψη την εξωτερική θερμοκρασία ( $T^i_m$ ) και τη μέση θερμοκρασία δωματίου ( $18^\circ\text{C}$ ) (Eurostat, 2022).

Ο δείκτης HDD υπολογίζεται από τον εξής τύπο) (Euro SDMX , ESMS, 2022):

Αν  $T_m \leq 15^\circ\text{C}$  (η μέση θερμοκρασία τον χειμώνα)

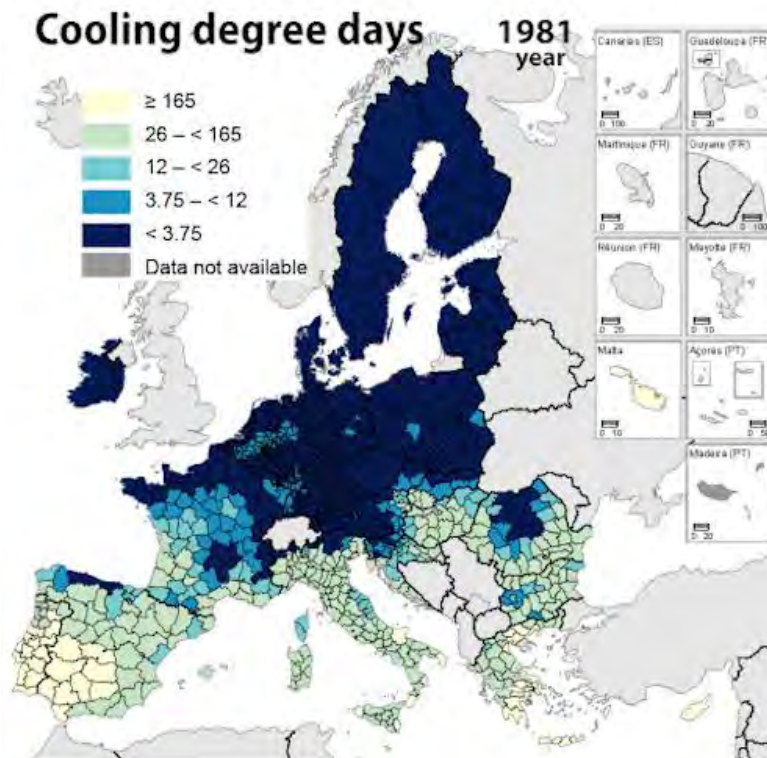
Τότε  $[HDD = \sum_i (18^\circ\text{C} - T^i_m)]$

Διαφορετικά  $[HDD = 0]$

Αυτοί οι υπολογισμοί εκτελούνται σε καθημερινή βάση, προστίθενται σε ημερολογιακούς μήνες και στη συνέχεια σε ημερολογιακά έτη.

#### Αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη

Η τιμή των βαθμολογημένων ημερών ψύξης ήταν σχεδόν τρεις φορές υψηλότερη το 2021 (100 βαθμοί ημέρες) από το 1979 (37), υποδεικνύοντας ότι η ανάγκη για ψύξη (κλιματισμός) σε ένα δεδομένο κτήριο αυξήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες (Eurostat, 2022).



Εικόνα 7. Η σταδιακή αύξηση των περιοχών όπου σημειώνουν ημέρες που απαιτείται ψύξη στους εσωτερικούς χώρους κατά την περίοδο 1981-2021 στις χώρες της ΕΕ (Eurostat, 2022)

Από την παραπάνω εικόνα (εικόνα 10) μπορούμε να παρατηρήσουμε την σταδιακή αύξηση των περιοχών της Ευρώπης που σημειώνουν ημέρες που απαιτείται ψύξη με την χρήση των Cooling Degree Days - CDD. Όσο πιο ανοιχτόχρωμη είναι μία περιοχή στον χάρτη, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για ψύξη των κτηρίων της, ενώ όσο πιο σκουρόχρωμη είναι η περιοχή τόσο μικρότερη είναι η ανάγκη για ψύξη εκεί. Η χρήση δεικτών όπως οι βαθμονομημένες ημέρες ψύξης (CDD) μπορεί να συμβάλει στη σωστή ερμηνεία της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη κτηρίων. Ο CDD είναι τεχνικός δείκτης που βασίζεται στις καιρικές συνθήκες και έχει σχεδιαστεί για να περιγράφουν οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων όσον αφορά τη ψύξη (CDD). Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης Cooling Degree Days (CDD) εκφράζει την ανάγκη για ψύξη, λαμβάνοντας υπόψη την εξωτερική θερμοκρασία ( $T^i_m$ ) και τη μέση θερμοκρασία δωματίου ( $24^\circ\text{C}$ ) (Eurostat, 2022).

Ο δείκτης CDD υπολογίζεται από τον εξής τύπο (Euro SDMX, ESMS, 2022):

Αν  $T_m \geq 24^\circ\text{C}$  (Η μέση θερμοκρασία το καλοκαίρι)

Τότε  $[CDD = \sum_i [T^i_m - 24^\circ\text{C}]]$

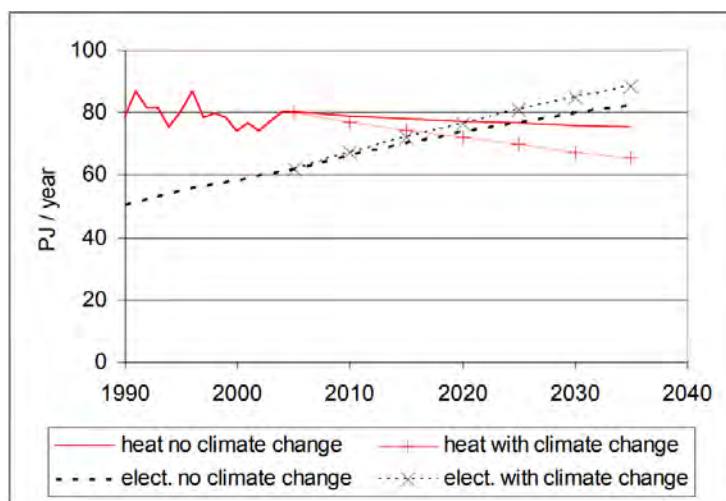
Διαφορετικά  $[CDD = 0]$

Και αυτοί οι υπολογισμοί όπως και στην περίπτωση του δείκτη Heating Degree Days (HDD) εκτελούνται σε καθημερινή βάση, προστίθενται σε ημερολογιακούς μήνες και στη συνέχεια σε ημερολογιακά έτη.

#### Η ολική ενέργεια που καταναλώνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής

Η ζήτηση για κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται με τα χρόνια. Πιο συγκεκριμένα η συνολική ζήτηση για ενέργεια θα είναι 7,5% υψηλότερη το 2035. Η κλιματική αλλαγή είναι μια αιτία

για περαιτέρω αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων, όπως είδαμε παραπάνω, και η άνοδος της κατανάλωσης ενέργειας θα ήταν αρκετά μικρότερη χωρίς αυτή (Aebischer, 2007).



Διάγραμμα 4. Ζήτηση ενέργειας θέρμανσης και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για δύο κλιματικές παραλλαγές (παραλλαγή με σταθερές μέσες θερμοκρασίες και παραλλαγή κλιματικής αλλαγής με συνεχή αύξηση των μέσων θερμοκρασία και ακτινοβολία), σε PJ ανά έτος (Πηγή: Aebischer, 2007)

Το 2035, το ποσοστό των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη ως μέρος της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του τομέα των υπηρεσιών αυξάνεται από 6,5 % χωρίς την κλιματική αλλαγή σε 13,1 % υπό κλιματική αλλαγή (Aebischer, 2007).

Σε σχέση με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό και αερισμό σύμφωνα με την SIA 380/4 (ελβετικό πρότυπο κατασκευής κτηρίων με σκοπό την βιωσιμότητα στο δομημένο περιβάλλον), το ποσοστό των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνεται από 26% χωρίς κλιματική αλλαγή σε 44 % υπό κλιματική αλλαγή (Aebischer, 2007).

## 2.4. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία

Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει πολλές επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον. Στο δομημένο περιβάλλον ανήκουν και τα μνημεία τα οποία όμως ήταν αναμενόμενο να επηρεάζονται επίσης από την κλιματική αλλαγή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για συχνότερη συντήρηση των μνημείων που όμως για να γίνει σωστά πρέπει πρώτα να έχει γίνει ενδελεχής μελέτη και κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία, που προκάλεσαν την ανάγκη για την συντήρησή τους.

Η κλιματική αλλαγή προκαλεί πολλές επιπτώσεις όχι μόνο στα μνημεία που έχουν βρεθεί και υπάρχουν σήμερα αλλά και στα αρχαιολογικά ευρήματα που μπορεί να ανακαλυφθούν στο μέλλον. Τα αρχαιολογικά στοιχεία διατηρούνται στο έδαφος για αιώνες μέχρι να βρεθούν διότι έχει επιτευχθεί υδρολογική, χημική και βιολογική ισορροπία στο έδαφος όπου βρίσκονται. Σύμφωνα με την UNESCO η κλιματική αλλαγή διαταράζει την ισορροπία των παραπάνω εδαφικών παραμέτρων κάτι που δυσκολεύει την επιβίωση των αρχαιολογικών ευρημάτων όταν αυτά είναι κατασκευασμένα από ευαίσθητα υλικά (UNESCO, 2007).

Η κλιματική αλλαγή όπως έχουμε αναφέρει, έχει αυξήσει τις σφοδρές βροχοπτώσεις. Τα ιστορικά κτήρια είναι κατασκευασμένα από πιο πορώδη υλικά από τα νέα κτήρια και αυτό τα κάνει πιο ευάλωτα στην υγρασία. Τα ιστορικά κτήρια έχουν την τάση να απορροφούν νερό από

το έδαφος στη δομή τους μέσω των πορωδών υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένοι οι τοίχοι και τα δάπεδα τους. Μόλις απορροφηθεί, το νερό αυτό χάνεται στο περιβάλλον μέσω της επιφανειακής εξάτμισης. Αυτή η διαδικασία έχει ως συνέπεια την κινητοποίηση των αλάτων που υπάρχουν στο έδαφος. Καθώς το νερό εισχωρεί στη δομή του κτηρίου, μπορεί να μεταφέρει μαζί του αυτά τα άλατα. Όταν το νερό εξατμίζεται, τα άλατα μένουν στις επιφάνειες του κτηρίου, οδηγώντας σε επιζήμια κρυστάλλωση στις διακοσμημένες επιφάνειες καθώς το νερό στεγνώνει (UNESCO, 2007).

Πολλά αρχαία μνημεία ή αντικείμενα είναι κατασκευασμένα ή έχουν μέρη που είναι κατασκευασμένα από ξύλο και άλλα βιολογικά υλικά. Η κλιματική αλλαγή προκαλεί αλλαγές στα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας και αυτό πολλές φορές ευνοεί τις συνθήκες ανάπτυξης οργανισμών όπως έντομα και τρωκτικά, καθώς και μύκητες και βακτήρια, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα οργανικά δομικά υλικά. Επιπλέον, μπορεί να οδηγήσει στη μετανάστευση επιβλαβών οργανισμών σε υψόμετρα και πλάτη όπου προηγουμένως δεν ήταν διαδεδομένοι. Για παράδειγμα, οι θερμότερες θερμοκρασίες σε μεγαλύτερα υψόμετρα ή οι μετατοπίσεις στα εύρη θερμοκρασιών σε ορισμένα γεωγραφικά πλάτη μπορούν να δημιουργήσουν νέα ενδιαίτηματα για τα παράσιτα, επιτρέποντάς τους να επεκτείνουν την περιοχή εξάπλωσής τους. Αυτό σημαίνει ότι τα μνημεία που έχουν κατασκευαστεί με οργανικά υλικά σε περιοχές που προηγουμένως δεν είχαν επηρεαστεί από ορισμένα παράσιτα μπορεί τώρα να είναι ευάλωτα σε προσβολές (UNESCO, 2007).

Όπως έχουμε αναφέρει η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι έντονες καταιγίδες και βροχοπτώσεις που προκαλούν πλημμυρικά φαινόμενα. Οι πλημμύρες μπορούν να βλάψουν ανεπανόρθωτα τα μνημεία που δεν έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν σε παρατεταμένη βύθιση ενώ η ξήρανση μετά την πλημμύρα μπορεί να ενθαρρύνει την ανάπτυξη επιζήμιων μικροοργανισμών, όπως οι μούχλες. Η ταχεία ροή του νερού μπορεί επίσης να διαβρώσει τα κτίρια. Επιπλέον οι καταιγίδες αυτές μπορεί να συνοδεύονται από ισχυρές ριπές ανέμου που μπορούν να προκαλέσουν δομικές ζημιές στα μνημεία (UNESCO, 2007).

Εκτός από την αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων, η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει και τις περιόδους ξηρασίας και καύσωνα. Η υπερβολική ζέστη μπορεί να επιταχύνει τη φθορά ορισμένων υλικών, όπως οι οργανικές ουσίες, όπως το ξύλο, το δέρμα και τα υφάσματα. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν επίσης να συμβάλουν στη διαστολή και συστολή των υλικών, οδηγώντας σε δομικές βλάβες με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία από τον ήλιο μπορεί να προκαλέσει ξεθώριασμα, αποχρωματισμό και φθορά των υλικών με την πάροδο του χρόνου, ιδιαίτερα εκείνων που είναι ευαίσθητα στην έκθεση στο φως. Τα κινητά αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς που εκτίθενται σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας, όπως κοντά σε παράθυρα ή κάτω από άμεσο ηλιακό φως, ενδέχεται να υποστούν βλάβες στις επιφάνειες και τις χρωστικές τους (UNESCO, 2007).

Οι παρατεταμένες περίοδοι καύσωνα και ξηρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε φαινόμενα ερημοποίησης. Η ερημοποίηση καθιστά τα φυσικά υλικά πιο επιρρεπή στη διάβρωση. Επιπλέον διάβρωση μπορεί να προκληθεί και από το αλάτι αλλά και λόγω του ανέμου και των περιστασιακών πλημμυρών, φαινόμενα στα οποία υπόκεινται οι ερημικές περιοχές. Η διάβρωση αυτή θα μπορούσε να φθείρει σταδιακά τα θεμέλια των μνημείων και το περιβάλλον τοπίο, θέτοντας σε κίνδυνο τη σταθερότητα και τη διατήρησή τους. Επιπλέον, η παρουσία αλάτων στο έδαφος και στα πετρώματα γύρω από τα μνημεία θα μπορούσε να συμβάλει στη φθορά των οικοδομικών υλικών του μέσω της διάβρωσης από το αλάτι, προκαλώντας ρωγμές και θρυμματισμό με την πάροδο του χρόνου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των παραπάνω είναι το τζαμί Chinguetti, ένα αρχαίο τζαμί που βρίσκεται στην περιοχή της ερήμου της Μαυριτανίας (UNESCO, 2007).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον

### 3.1. Χάρτες επικινδυνότητας

Η πρόληψη ενός κινδύνου και η αναγνώριση του είναι από τα σημαντικότερα μέτρα για την μείωση των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει. Για αυτό τον σκοπό έχουν δημιουργηθεί οι χάρτες επικινδυνότητας οι οποίοι μας δείχνουν τις περιοχές που διατρέχουν κίνδυνο για εκδήλωση πυρκαγιών ή πλημμυρικών φαινομένων, με σκοπό την λήψη μέτρων για την αποφυγή ή τον μετριασμό τέτοιων φαινομένων αλλά και των επιπτώσεων τους.

#### 3.1.1. Χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας

Ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία για την αξιολόγηση του επιπέδου του κινδύνου που διατρέχει μια περιοχή από πλημμύρες, είναι οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας. Οι χάρτες αυτοί έχουν διαβαθμισμένη χρωματική αναπαράσταση του κινδύνου από πλημμύρα, σε κλίμακα από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή επικινδυνότητα (ERMIS, 2020).

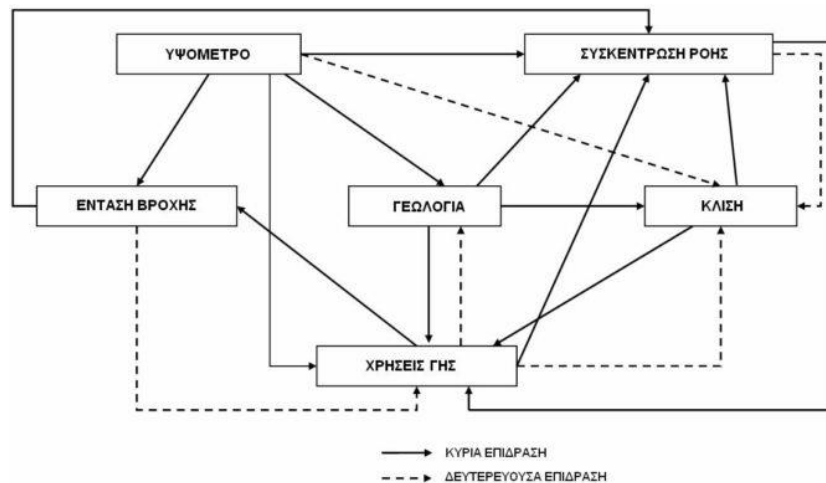
Οι νέες πρακτικές στον τομέα της επιστήμης, της διαχείρισης και της νομοθεσίας, όπως η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EC, επιβάλλουν την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμυρών, και αναδεικνύουν τη σημασία της ως ένα αποτελεσματικό μέσο για τη βελτιωμένη διαχείριση και προστασία του περιβάλλοντος, τόσο του ανθρωπογενούς όσο και του φυσικού (ERMIS, 2020).

Για τη δημιουργία χαρτών χρησιμοποιείται ένα λογισμικό που ανήκει στην κατηγορία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Αυτό το είδος λογισμικού είναι σχεδιασμένο για τη δημιουργία και την επεξεργασία χαρτών και χρησιμοποιείται ευρέως για τη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος. Με τη χρήση του λογισμικού GIS, μπορεί να απεικονιστεί γραφικά η πλημμυρική επικινδυνότητα μιας περιοχής με μεγάλη ακρίβεια (ERMIS, 2020).

Η πλημμυρική επικινδυνότητα προκύπτει από τον συνδυασμό ποικίλων παραγόντων, καθένας εκ των οποίων συντελεί με διαφορετική σημασία και ένταση στο τελικό αποτέλεσμα. Οι παράγοντες αυτοί είναι (ERMIS, 2020):

- α) Υψόμετρο (Elevation)
- β) Κλίση (Slope)
- γ) Χρήσεις Γης (Land Use)
- δ) Συγκέντρωση Ροής (Flow Accumulation)
- ε) Γεωλογία (Geology)
- στ) Ένταση Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity)

Επίσης, κάθε παράγοντας από τους παραπάνω αλληλοεπιδρά με τους υπόλοιπους, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 11. Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων που επηρεάζουν την πλημμυρική επικινδυνότητα (Πηγή: ERMIS, 2020)

Από το παραπάνω σχήμα (εικόνα 11) προκύπτει η σχέση μεταξύ των παραγόντων και κατηγοριοποιείται σε 2 επίπεδα: Κύρια επίδραση και Δευτερεύουσα.

### 3.1.2. Χάρτες επικινδυνότητας πυρκαγιάς

Με στόχο να υποστηρίξει τη Διοίκηση και να ενημερώσει τους πολίτες για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών κατά την περίοδο αυξημένου κινδύνου, εκπονείται και διανέμεται (συνήθως από 1 Ιουνίου έως 31 Οκτωβρίου κάθε έτους) ημερήσιος χάρτης πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιών από τη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Αντιμετώπισης Εκτάκτων Αναγκών της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας.

Ο κύριος στόχος του Ημερήσιου Χάρτη Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς είναι να ενημερώσει τους αντίστοιχους φορείς που ασχολούνται με την καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών για τις περιοχές όπου υπάρχει υψηλή πιθανότητα εκδήλωσης και εξάπλωσης πυρκαγιών εντός του επόμενου 24ωρου, χωρίς ωστόσο να προβλέπει σε πραγματικό χρόνο την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς (Περιφέρεια Αττικής, 2020).

Η διαδικασία δημιουργίας του Χάρτη ολοκληρώνεται πριν τις 12:30 το μεσημέρι της προηγούμενης ημέρας από την ημερομηνία ισχύος του. Επομένως, ο Ημερήσιος Χάρτης Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς ισχύει για την επόμενη ημέρα από την ημέρα έκδοσής του. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα μεγάλο ποσοστό των πυρκαγιών στη χώρα μας οφείλεται σε αμέλεια, ένας από τους κύριους στόχους της δημοσίευσης του Χάρτη είναι να αποτρέψει πράξεις που μπορεί να προκαλέσουν δασικές πυρκαγιές λόγω αμέλειας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνεχούς ενημέρωσης των πολιτών με δελτία τύπου, τα οποία εκδίδονται με ευθύνη της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας. (Περιφέρεια Αττικής, 2020).

Επιπροσθέτως, αναφέρεται ότι και άλλες χώρες που αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα λόγω δασικών πυρκαγιών (όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Αυστραλία, και οι χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου), ακολουθούν την ίδια πρακτική με την έκδοση και δημοσίευση παρόμοιων χαρτών πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς (Περιφέρεια Αττικής, 2020).

Η ελάχιστη γεωγραφική μονάδα που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κινδύνου στον Ημερήσιο Χάρτη Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς είναι τα διοικητικά όρια των Δασαρχείων της χώρας, καθώς αυτά συνδέονται με τα δασικά συμπλέγματα. Η παρουσίαση των δεδομένων

σε μορφή χάρτη έχει ως στόχο τη σύγκριση και αξιολόγηση των διαφόρων περιοχών που απεικονίζονται (Περιφέρεια Αττικής, 2020).

Στον Ημερήσιο Χάρτη Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς διακρίνονται διαφορετικές κατηγορίες κινδύνου, όπως χαμηλή, μέση, υψηλή και πολύ υψηλή, οι οποίες θα αντιστοιχούν σε αριθμητικές τιμές από το 1 έως το 4 αντίστοιχα. Συνήθως, η κατηγορία με αριθμό 5 εμφανίζεται σπάνια στο χάρτη, και αυτή η κατηγορία υποδεικνύει κατάσταση Συναγερμού.

Οι κατηγορίες κινδύνου αναλύονται ως εξής (Πολιτική Προστασία, 2019) :

- **Κατηγορία Κινδύνου 1 (Χαμηλή):** Ο κίνδυνος είναι χαμηλός. Η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή. Εάν ωστόσο ξεσπάσει πυρκαγιά, οι συνθήκες (κατάσταση καύσιμης ύλης, μετεωρολογικές συνθήκες) δεν θα ευνοήσουν την ταχεία εξάπλωσή της.
- **Κατηγορία Κινδύνου 2 (Μέση):** Ο κίνδυνος είναι συνήθης για τη θερινή περίοδο. Οι πυρκαγιές που ενδέχεται να εκδηλωθούν, αναμένεται να έχουν μέτριο βαθμό δυσκολίας στην αντιμετώπισή τους.
- **Κατηγορία Κινδύνου 3 (Υψηλή):** Ο κίνδυνος είναι υψηλός. Είναι πιθανό να σημειωθεί αυξημένος αριθμός πυρκαγιών, πολλές από τις οποίες θα είναι δύσκολο να κατασβεστούν υπό ευνοϊκές τοπικές συνθήκες (μορφολογία εδάφους, τοπικοί άνεμοι κ.λπ.).
- **Κατηγορία Κινδύνου 4 (Πολύ Υψηλή):** Ο κίνδυνος είναι ιδιαίτερα υψηλός. Ο αριθμός των πυρκαγιών που αναμένεται να εκδηλωθούν ενδέχεται να είναι μεγάλος, αλλά το πιο σημαντικό είναι ότι κάθε πυρκαγιά μπορεί να πάρει μεγάλες διαστάσεις αν δεν περιοριστεί άμεσα.
- **Κατηγορία Κινδύνου 5 (Κατάσταση ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ):** Ο κίνδυνος είναι ακραίος. Ο αριθμός των πυρκαγιών που αναμένεται να εκδηλωθούν μπορεί να είναι πολύ μεγάλος. Όλες οι πυρκαγιές που ενδέχεται να ξεσπάσουν, ενδέχεται να λάβουν γρήγορα μεγάλες διαστάσεις και να αναπτύξουν ακραία συμπεριφορά αμέσως μετά την έναρξή τους. Η δυσκολία ελέγχου τους αναμένεται να είναι πολύ μεγάλη μέχρι να αλλάξουν οι συνθήκες υπό τις οποίες αναπτύσσονται οι πυρκαγιές.

Η ταξινόμηση μιας περιοχής ως πολύ υψηλού κινδύνου (κατηγορία 4) ή κατάσταση συναγερμού (κατηγορία 5) δεν υποδηλώνει απαραίτητα ότι θα υπάρξει πυρκαγιά σε αυτήν την περιοχή. Ειδικά όταν οι πολίτες ενημερώνονται συστηματικά μέσω δελτίων τύπου, ενδέχεται να αποτραπούν ενέργειες που μπορεί να οδηγήσουν σε πυρκαγιά λόγω αμέλειας. Αυτό αποτελεί έναν από τους στόχους της ταξινόμησης αυτής. Επιπλέον, η ταξινόμηση μιας περιοχής σε κατηγορία χαμηλού κινδύνου δεν αποκλείει την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς (Περιφέρεια Αττικής, 2020).

### 3.2. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων από πλημμύρες στο δομημένο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει τα πλημμυρικά φαινόμενα που συχνά πλήττουν κατοικημένες περιοχές προκαλώντας ανεπανόρθωτες ζημιές σε υποδομές και κτήρια. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η εφαρμογή μεθόδων μετριασμού των επιπτώσεων από πλημμύρες στο δομημένο περιβάλλον.

### 3.2.1. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων από πλημμύρες στα κτήρια

Οι πιο ευρέως γνώστες και χρησιμοποιούμενες μέθοδοι μείωσης των επιπτώσεων των πλημμυρών στα κτήρια είναι η επιλογή υπερυψωμένων σημείων για την κατασκευή κτηρίων ή η ανύψωση των κτηρίων κατά την κατασκευή τους ή την προσαρμογή ενός υφιστάμενου κτηρίου κατά τρόπο ώστε να εμποδίζεται η είσοδος πλημμυρικών υδάτων στο εσωτερικό του και η καταστροφή της δομής του. Επίσης η ξηρή και η υγρή μόνωση κτηρίων είναι δύο μέθοδοι που μπορούν να μειώσουν τις επιπτώσεις των πλημμυρών στα κτήρια.

#### Διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου του κτηρίου

Η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου του κτηρίου είναι πολύ σημαντικό μέτρο για την μείωση των επιπτώσεων της πλημμύρας στο ίδιο το κτήριο και είναι συνετό να εφαρμόζεται συμπληρωματικά με κάθε αντιπλημμυρικό μέτρο που εφαρμόζεται στο κτήριο.

Η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου μπορεί να συμβάλει στον έλεγχο της ροής του νερού, αλλάζοντας το έδαφος και τη βλάστηση του ακινήτου. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη διαμόρφωση του εδάφους ώστε να δημιουργηθούν κλίσεις που κατευθύνουν το νερό μακριά από το κτήριο, τη φύτευση βλάστησης που απορροφά το νερό ή τη δημιουργία χαρακτηριστικών, όπως τα φρεάτια ή τα αναχώματα, που συλλαμβάνουν και ανακατευθύνουν το νερό (Beddoes and Booth, 2011).

Η ανέγερση φυσικών φραγμών ή κατασκευών γύρω από το κτήριο μπορεί επίσης να βοηθήσει στην αποτροπή του νερού από το να φτάσει σε αυτό κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν αντιπλημμυρικά τοιχώματα, αναχώματα ή φράγματα πλημμύρας που τοποθετούνται στρατηγικά για να εμποδίζουν ή να εκτρέπουν τα πλημμυρικά ύδατα μακριά από το κτήριο (Beddoes and Booth, 2011).

Οι τοίχοι από σκυρόδεμα και η ξύλινη περίφραξη που είναι εν μέρει από σκυρόδεμα είναι δύο είδη αντιπλημμυρικών φραγμών που μπορούν να εγκατασταθούν. Οι τοίχοι από σκυρόδεμα είναι συμπαγείς κατασκευές από σκυρόδεμα, ενώ η περίφραξη είναι συνήθως εν μέρει από σκυρόδεμα και εν μέρει από ξύλο, ενδεχομένως με βάση από σκυρόδεμα και ξύλινα πάνελ από πάνω. Τα φράγματα αυτά αποσκοπούν στην πρόληψη ή τον μετριασμό των πλημμυρών με τη δημιουργία φυσικών φραγμών μεταξύ των πλημμυρικών υδάτων και των ιδιοκτησιών ή των κοινοτήτων που προστατεύουν. Πύλες μπορούν να εγκατασταθούν σε αυτά τα φράγματα, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να ανοίγουν για διευκόλυνση της προσβασιμότητας, και κλείνουν σε περίπτωση πλημμύρας. Ένα μειονέκτημα των τοίχων/φραγμών είναι ότι μπορεί να υπάρχουν ακόμη προβλήματα με το νερό που διαρρέει μέσα από τα εμπόδια. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως ρωγμές στο σκυρόδεμα, κενά στην περίφραξη ή νερό που περνάει από το έδαφος κάτω από τα φράγματα. Επίσης, τα θεμέλια είναι οι βάσεις στις οποίες στηρίζονται τα φράγματα. Το αργιλώδες έδαφος μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για τη σωστή εγκατάσταση θεμελίων, καθώς μπορεί να μην παρέχει σταθερή στήριξη ή να διαστέλλεται και να συστέλλεται με τις αλλαγές στα επίπεδα υγρασίας, θέτοντας ενδεχομένως σε κίνδυνο την ακεραιότητα των φραγμάτων. Τέλος ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι όταν εγκαθίστανται φράγματα, μπορούν να ανακατευθύνουν τα πλημμυρικά ύδατα μακριά από τις προστατευόμενες ιδιοκτησίες προς τις γειτονικές. Ωστόσο, αυτή η ανακατεύθυνση μπορεί μερικές φορές να προκαλέσει τη ροή του νερού προς τις γειτονικές ιδιοκτησίες, προκαλώντας ενδεχομένως προβλήματα πλημμύρας σε αυτές (Beddoes and Booth, 2011).



Εικόνα 12. Ξύλινη περίφραξη (railwaysleepers)



Εικόνα 13. Περίφραξη από σκυρόδεμα(railwaysleepers)

Ένα χωμάτινο ανάχωμα μπορεί να παρέχει αντιπλημμυρική προστασία για μια μεμονωμένη ιδιοκτησία ή για μια κοινότητα. Για την κατασκευή τους απαιτείται εξειδικευμένος μηχανολογικός σχεδιασμός με εκτεταμένες εδαφικές εργασίες. Μπορεί όμως να υπάρξουν πάλι προβλήματα με τη διαρροή κάτω/μέσα από τους τοίχους και μέσω των φρεατίων του κήπου και για αυτό συνήθως απαιτούνται βοηθητικές αντλίες (Beddoes and Booth, 2011).

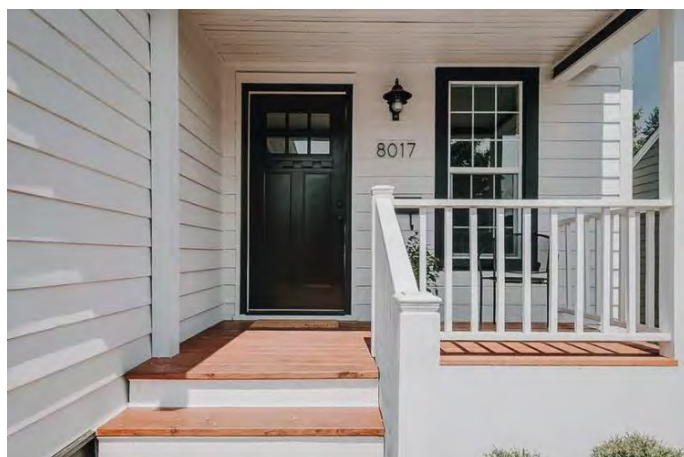
Επιπλέον, η εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων αποστράγγισης είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη της συσσώρευσης νερού γύρω από το κτήριο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εγκατάσταση υδρορροών, καταθλιπτικών αγωγών και σωλήνων αποστράγγισης για τη συλλογή και τη διοχέτευση των νερών της βροχής μακριά από την κατασκευή (Proverbs και Lamond, 2017).

#### Ανύψωση κτηρίων

Ένα σύνηθες μέτρο για την μείωση των επιπτώσεων των πλημμυρών στα κτήρια, είναι η ανύψωση τους. Η υπερύψωση ενός κτηρίου ή ακόμα και ολόκληρου συγκροτήματος κατοικιών μειώνει τις ζημιές από τις πλημμύρες με πολύ απλό τρόπο. Αντί να κατασκευάζονται κτίρια απευθείας στο επίπεδο του εδάφους, χτίζονται σε υψηλότερα επίπεδα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τεχνικές όπως η οικοδόμηση σε υψηλότερο έδαφος, η κατασκευή υπερυψωμένων πλατφορμών, πυλώνες, εκτεταμένους τοίχους θεμελίωσης, υπερυψωμένες χωμάτινες κατασκευές, επίπλευση ή αναχώματα (Proverbs και Lamond, 2017).

Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η ανύψωση του κτηρίου, μπορεί να γίνει ανύψωση της εξωτερικής πόρτας και του κατωφλιού. Αυτή είναι μια προσωρινή λύση για την προστασία από τις πλημμύρες με την ανύψωση της πόρτας εισόδου και του κατωφλιού με τη χρήση πρόσθετης τοιχοποιίας, υπό την προϋπόθεση ότι η υπάρχουσα δομή μπορεί να το υποστηρίξει, και προορίζεται για πλημμύρες σχετικά μικρής διάρκειας εντός συγκεκριμένου εύρους βάθους, μεταξύ περίπου 150 mm (χιλιοστά) και 300 mm βάθος (Beddoes and Booth, 2011).

Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή ούτε η ανύψωση της εξωτερικής πόρτας και του κατωφλιού, μπορεί να κατασκευαστεί μια υπερυψωμένη βεράντα μπροστά από την πόρτα για να αντισταθεί και πάλι σε πλημμύρες μέχρι 300 mm (Beddoes and Booth, 2011).



Εικόνα 14. Υπερυψωμένη θεράντα μπροστά από πόρτα (Πηγή : Arbor & Co)

Με την ανύψωση των κτηρίων, η στάθμη των πλημμυρικών υδάτων πρέπει να φτάσει σε μεγαλύτερο ύψος προτού πλημμυρίσουν στο εσωτερικό των κτηρίων. Αυτό σημαίνει ότι τα πλημμυρικά ύδατα θα πρέπει να ανέβουν σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο (το υψόμετρο των κτηρίων) πριν εισέλθουν και προκαλέσουν ζημιές. Για παράδειγμα, εάν ένα κτήριο είναι υπερυψωμένο κατά 1 μέτρο, τα πλημμυρικά ύδατα πρέπει να ανέβουν 1 μέτρο ψηλότερα από το επίπεδο του εδάφους πριν εισέλθουν στο κτήριο (Proverbs και Lamond, 2017).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η ανύψωση ενός κτηρίου μέσω εκτεταμένης βάσης είναι δημοφιλής και μερικές φορές με γκαράζ από κάτω. Αυτή η τάση υπήρχε εδώ και αρκετό καιρό, αλλά έχει επιταχυνθεί και υποστηρίζεται από πρόσφατες οδηγίες σχεδιασμού (PPG/S25). Επίσης, η τεχνική ανύψωσης στις κατασκευές με ξύλινο σκελετό είναι συνηθισμένη, για παράδειγμα στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Αυστραλία, η ανύψωση σε πυλώνες είναι η πιο βιώσιμη δομική τεχνική που χρησιμοποιείται συχνά. Οι παραποτάμιες/παραθαλάσσιες κατασκευές σε όλο τον κόσμο συχνά απαιτείται να κατασκευάζονται σε πασσάλους για σταθερότητα σε μεταβαλλόμενα εδάφη και σε ισχυρά ρεύματα (van de Lindt et al., 2007). Επιπλέον, η τεχνική της επίπλευσης (floating), είναι μία τεχνική που βασίζεται στην τεχνολογία που σχετίζεται με τα σκάφη και χρησιμοποιείται στην Ολλανδία και τις ΗΠΑ. Αναμφισβήτητα, η αποφυγή μέσω της πλεύσης μειώνει την ευπάθεια των ακινήτων σε ζημιές από ανεμοθύελλα, καθώς δεν είναι μόνιμα υπερυψωμένα και εκτεθειμένα σε αυξημένη ανεμοφόρτιση (Proverbs, Lamond, 2017).



Εικόνα 15. (a) Παραδοσιακό ξυλοπόδαρο σε ένα κανάλι κοντά στον ποταμό Chao Phraya στην Μπανγκόκ της Ταϊλάνδης (από τους Ernie & Katy Newton Lawley από το Bowie, MD, ΗΠΑ—Flickr, CC BY 2.0). (b) Αρχιτεκτονική τύπου Flooded Queenslander στο Goondiwindi, Queensland, 1921 (αρχείο της Κρατικής Βιβλιοθήκης του Κουίνσλαντ) (c) Ανυψωμένο κτήριο κρεολικού στυλ, γωνία στο κέντρο του ποταμού των οδών Esplanade & Villere, Νέα Ορλεάνη (από Infrogmation of New Orleans—Flickr, CC ME 2,0), (d) δρόμος υπερυψωμένων σπιτιών στο Calabar, Νιγηρία (πνευματικά δικαιώματα φωτογραφίας Olalekan Adekola)(Πηγή: David Proverbs and Jessica Lamond, 2017).

Τα πλεονεκτήματα της ανύψωσης θεωρούνται αυτονόητα εάν μπορούν να εξασφαλιστούν ασφαλής πρόσβαση και διαφυγή, αφήνοντας μόνο ερωτήματα σχετικά με τη δομική καταλληλότητα και την απόδοση κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας (Proverbs και Lamond, 2017). Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι σε πλημμύρες μεγάλου βάθους όπου το ύψος του νερού ξεπερνάει το ύψος της ανύψωσης η μέθοδος αυτή είναι αναποτελεσματική (Moel, 2014).

#### Ξηρή μόνωση (dry proofing)

Η ξηρή μόνωση αφορά τη σφράγιση ενός κτηρίου ώστε να μην μπορεί να εισέλθει νερό σε αυτό. Αυτό περιλαμβάνει το κλείσιμο των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα), τη στεγανοποίηση του εξωτερικού τοίχου και των υπογείων και τη διασφάλιση ότι δεν εισέρχεται νερό στο σπίτι μέσω των αποχετευτικών συστημάτων μέσω της εγκατάστασης βαλβίδων οπίσθιας διακοπής (Manojlovic and Pasche 2007 ). Για την μόνωση του κτηρίου σχεδιάστηκαν και πωλήθηκαν προϊόντα όπως προστατευτικά θυρών και παραθύρων, καλύμματα αεροστεγών τούβλων, έξυπνα αεροστεγή τούβλα και βαλβίδες αντεπιστροφής, αντλίες, συστήματα επένδυσης, πλαστικές ποδιές, ανθεκτικές στις πλημμύρες πόρτες και επιχρίσματα τοίχων, γεγονός που κατέστησε αναγκαία την εισαγωγή προτύπων και δοκιμών αποτελεσματικότητας για την προστασία των ιδιοκτητών και των κατόχων ακινήτων από την επένδυση σε τεχνολογία υποβαθμισμένων προδιαγραφών (PAS1188). Τέτοιου είδους δοκιμές διεξάγονται σε σχεδιασμένες εγκαταστάσεις στο Ηνωμένο Βασίλειο (BSI, 2016). Σε περιπτώσεις ανάγκης για άμεση στεγανοποίηση συχνά οι κοινότητες καταφεύγουν σε προσωρινά μέτρα, και χρησιμοποιούν συνήθως σακιά άμμου και αυτοσχέδιες σανίδες πλημμύρας για να αποκλείσουν το νερό κατά τη διάρκεια μιας έκτακτης ανάγκης. Οι σάκοι άμμου και τα προσωρινά μέτρα, ενώ μπορούν να επιβραδύνουν την είσοδο και τις ζημιές, δεν είναι ούτε επαρκή ούτε βιώσιμα.

Καθώς η ξηρή στεγανοποίηση κρατά το νερό έξω, μπορεί να μειώσει σημαντικά τη ζημιά από πλημμύρες, μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο νερού. Στην ξηρή στεγανοποίηση, υπάρχει ένα όριο στο ύψος του πλημμυρικού νερού που μπορεί να αντέξει ένας συμβατικός τοίχος σπιτιού, λόγω της υδροστατικής πίεσης που ασκεί το νερό στην εξωτερική δομή του κτηρίου (Beddoes και Booth, 2011). Η συσσώρευση πλημμυρικών υδάτων πάνω από το όριο αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστοχία των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου (Hans de Moel, 2014).

#### Υγρή μόνωση (wet proofing)

Σε αντίθεση με την ξηρή μόνωση, η υγρή μόνωση είναι ένα μέτρο που δεν εμποδίζει το νερό να εισέλθει στο κτήριο, αλλά περιλαμβάνει μεθόδους και τεχνολογία που έχουν σχεδιαστεί για τον περιορισμό της ζημιάς, μόλις το νερό παρακάμψει το περίβλημα του κτηρίου και εισέλθει στον κατεϊλημμένο χώρο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες τροποποιήσεις ή αλλαγές, όπως η μεταφορά ευάλωτων λειτουργιών και εγκαταστάσεων σε υψηλότερους ορόφους ή η χρήση ανυψωμένων πριζών ηλεκτρικού ρεύματος (Proverbs και Lamond, 2017).

Έχει αποδειχθεί από τους Kreibich et al. (2005) ότι τέτοιες προσαρμογές μείωσαν τη ζημιά στη δομή και το περιεχόμενο του κτηρίου κατά περίπου 40–50% κατά τις πλημμύρες του Έλβα του 2002. Αυτό είναι σύμφωνο με τις εκτιμήσεις του International Conference on Pattern Recognition - ICPR (2002) και το Τμήμα Περιβάλλοντος Τροφίμων & Αγροτικών Υποθέσεων (Department for Environment Food & Rural Affairs - DEFRA (2008)), οι οποίοι ανέφεραν μειώσεις 30–40 % και περίπου 50 %, αντίστοιχα (Kreibich, 2005).

Σε περιπτώσεις πλημμυρών πολλές φορές το νερό εισέρχεται στο κτήριο όπως και στην υγρή μόνωση. Για αυτό τον λόγο έχουν γίνει αρκετές μελέτες με σκοπό την δημιουργία αδιάβροχων ή ανθεκτικών στις πλημμύρες δομικών υλικών στα κτήρια. Η εναρκτήρια μελέτη για την αρχή μιας σειράς μελετών ήταν το Sheaffer και η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης (Federal Emergency Management Agency, FEMA) εξέδωσε οδηγίες για ανθεκτικά στις πλημμύρες υλικά το 1993, όπως και το Building Research Establishment εξέδωσε επίσης οδηγίες (BRE Scottish laboratory, 1996). Στη συνέχεια, η πειραματική έρευνα που ακολούθησε στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ευρώπη προχώρησε παράλληλα με τη μελέτη του Aglan (Aglan et al., 2004) σε συνδυασμό με την εργασία των Escameia et al. (2006) και ορισμένες εργαστηριακές μελέτες από τον (Wingfield et al. 2005). Στην Αυστραλία, ο Οργανισμός Επιστημονικής και Βιομηχανικής Έρευνας της Κοινοπολιτείας (CSIRO) επένδυσε κάποια προσπάθεια σε διάφορες μελέτες του Cole (για παράδειγμα Cole and Bradbury, 1995, όπως αναφέρεται στο Hawkesbury-Nepean Floodplain Management Steering Committee (2007).

Παρά τις παραπάνω μελέτες, η μέθοδος της υγρής μόνωσης δεν έχει μελετηθεί πολύ, λόγω της μεγαλύτερης εστίασης των επιστημών στην ξηρή μόνωση. Αυτό διότι η υγρή μόνωση αφήνει το νερό να εισέλθει στο κτήριο και έτσι θεωρείται από πολλούς ως η τελική λύση στην μείωση των επιπτώσεων μια πλημμύρας σε ένα κτήριο αφού πρώτα έχει εφαρμοστεί η ξηρή μόνωση και έχει αποτύχει λόγω του όγκου της πλημμύρας. Με άλλα λόγια είναι προτιμότερη η εφαρμογή της ξηρής μεθόδου που αποτρέπει την είσοδο του νερού στο κτήριο αλλά είναι συνετό να εφαρμόζεται συνοδευτικά και η υγρή μόνωση για την περίπτωση που το νερό παρακάμψει την ξηρή μόνωση και εισέλθει στο κτήριο (Proverbs και Lamond, 2017).

Και αυτή η μέθοδος όμως δεν είναι απολύτως αποτελεσματική σε μία πλημμύρα διότι και αυτή έχει κάποια μειονέκτημα. Το πρώτο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι σε πλημμύρες μεγάλου βάθους όπου το ύψος του νερού ξεπερνάει το ύψος του δεύτερου ορόφου η μέθοδος αυτή είναι αναποτελεσματική. Επίσης, αναποτελεσματική μπορεί να φανεί σε μονώροφα κτήρια (Hans de Moel, 2014). Το δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι πολλές φορές αυτή η μέθοδος περιορίζεται για αισθητικούς λόγους (Proverbs και Lamond, 2017).

### Σύγκριση μέτρων

| Μέτρα               | Αποτελέσματα                                         | Ποσοστό μείωσης κινδύνου                      |
|---------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Υπερυψωμένη περιοχή | Μείωση του βάθους πλημμύρας για ολόκληρη την περιοχή | 61 % (50 cm ανύψωση)<br>95% (200 cm ανύψωση)  |
| Υπερυψωμένο κτήριο  | Μείωση του βάθους πλημμύρας για κτίρια               | 50 % (50 cm ανύψωση)<br>74 % (200 cm ανύψωση) |
| Ξηρά μόνωση         | Μεγάλη μείωση του συντελεστή βλάβης έως 1 m          | ~ 61 %                                        |
| Υγρή στεγανοποίηση  | Μέτρια μείωση του συντελεστή βλάβης έως 3 m          | ~ 29 %                                        |

Πίνακας 1. Τα μέτρα για την μείωση των επιπτώσεων στα κτήρια από πλημμύρες, τα αποτελέσματα και το ποσοστό μείωσης του κινδύνου ζημιών στα κτήρια λόγω της εφαρμογής των μέτρων, (πηγή: Hans de Moel. 2014)

Στο παραπάνω πίνακα (πίνακας 1) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μέτρων υπερύψωσης μίας περιοχής, υπερύψωση ενός κτηρίου, ξηρή και υγρή στεγανοποίηση καθώς και το ποσοστό της μείωσης κινδύνου που προκύπτει από την εφαρμογή του καθενός μέτρου ξεχωριστά. Η περιοχή όπου μελετήθηκε στην έρευνα (Hans de Moel. 2014) από την οποία βγήκαν τα αποτελέσματα του πίνακα, αφορά μια περιοχή του Ρότερνταμ της Ολλανδίας χωρίς επίχωση και κάποια περίχωρα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η υπερύψωση μίας περιοχής (πχ ενός οικοδομικού τετράγωνου) μπορεί να μειώσει το βάθος της πλημμύρας για ολόκληρη την περιοχή αυτή και να μειώσει τον κίνδυνο για πλημμύρα 61 % για περιοχές που είναι ανυψωμένες 50 cm και 95 % για περιοχές που είναι ανυψωμένες 200 cm, αντίστοιχα. Η εφαρμογή του μέτρου της ξηρής μόνωσης έδειξε ότι μπορεί να επιφέρει μεγάλη μείωση του συντελεστή βλάβης για έως 1 m βάθος πλημμύρα και ~ 61 % μείωση του κινδύνου πλημμύρας ενώ η υγρή στεγανοποίηση σύμφωνα με την μελέτη επέφερε μέτρια μείωση του συντελεστή βλάβης για πλημμύρες έως 3 m και μείωση του κινδύνου πλημμύρας κατά ~ 29 % (Hans de Moel. 2014).

Άρα από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο συνολικό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται όταν ολόκληρη η περιοχή είναι ανυψωμένη.

### 3.3. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων από πυρκαγιές στο δομημένο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής

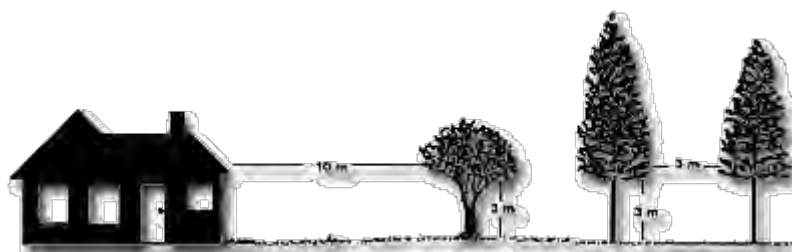
Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενα κεφάλαια η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει τη συχνότητα και την ένταση των πυρκαγιών σε πολλές περιοχές του κόσμου, με σοβαρές επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον και στις ανθρώπινες κοινότητες. Η ανάγκη για αποτελεσματικά μέτρα πρόληψης και προστασίας γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική. Διάφορα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για τη μείωση των επιπτώσεων των πυρκαγιών στο δομημένο περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη τις προκλήσεις που προκύπτουν από τις αλλαγές στο κλίμα. Μέσω της ανάλυσης αυτών των μέτρων, προσδοκούμε να διαμορφωθεί μια ολοκληρωμένη και αποτελεσματική προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτής της σοβαρής περιβαλλοντικής πρόκλησης.

### Διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου του κτηρίου

Η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου του κτηρίου είναι πολύ σημαντικό μέτρο για την μείωση των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς στο ίδιο το κτήριο και είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται συμπληρωματικά με κάθε αντιπυρικό μέτρο που εφαρμόζεται στο κτήριο. Για αυτόν τον λόγο το υπουργείο κλιματικής κρίσης και πολιτικής προστασίας της Ελλάδος έχει προτείνει μια λίστα οδηγιών και μέτρων με σκοπό τον περιορισμό των πυρκαγιών αλλά και την προστασία των κατοικιών και των πολιτών σε περίπτωση πυρκαγιάς (civilprotection.gov.gr, 2023).

Η δημιουργία μιας αντιπυρικής ζώνης γύρω από το κτήριο αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέτρο πρόληψης και μείωσης των επιπτώσεων μια πυρκαγιάς. Καθαρίζοντας σε ακτίνα τουλάχιστον 10 μέτρων τα ξερά χόρτα και φύλλα, τις πευκοβελόνες και τα κλαδιά, μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος πυρκαγιάς να φτάσει στο κτήριο. Η αφαίρεση αυτών των εύφλεκτων υλικών δημιουργεί ένα ασφαλές κενό γύρω από το κτήριο, προσφέροντας σημαντική προστασία σε περίπτωση πυρκαγιάς. Αυτό το μέτρο μπορεί να συμβάλει στη διασφάλιση της ασφάλειας του κτηρίου και των κατοίκων του, καθώς και στη μείωση του κινδύνου διάδοσης της φωτιάς σε γειτονικές περιοχές (civilprotection.gov.gr, 2023).

Η κλάδευση των δένδρων έως το ύψος των 3 μέτρων αποτελεί επίσης ένα σημαντικό μέτρο κατά των πυρκαγιών. Αυτό το βήμα εξασφαλίζει όχι μόνο την ελαχιστοποίηση της εύφλεκτης ύλης σε ύψος που ενδέχεται να προκαλέσει πυρκαγιές, αλλά και τη δημιουργία ενός πιο ασφαλούς περιβάλλοντος γύρω από το κτήριο. Η κλάδευση πρέπει να προσαρμόζεται στην ηλικία και την κατάσταση των δένδρων, ενισχύοντας έτσι την ανθεκτικότητά τους σε εκδηλώσεις πυρκαγιάς. Επιπλέον, είναι σημαντικό να μην αφήνουμε τα κλαδιά των δένδρων να ακουμπούν σε τοίχους, στέγες ή μπαλκόνια του σπιτιού, και να τα κλαδεύουμε κρατώντας απόσταση τουλάχιστον 5 μέτρων από το κτήριο αλλά και να αραιώνουμε τη δενδρώδη βλάστηση έτσι ώστε τα κλαδιά του ενός δένδρου να απέχουν τουλάχιστον 3 μέτρα από τα κλαδιά του άλλου (civilprotection.gov.gr, 2023).



Εικόνα 16. Οι απαραίτητες αποστάσεις πυροπροστασίας (Πολιτική προστασία, Περιφέρεια Αττικής)

Είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψη μας ορισμένες βασικές οδηγίες για την ασφάλεια στο σπίτι. Αποφεύγουμε την τοποθέτηση πλαστικών υδρορροών ή σωλήνων στους τοίχους, καθώς και παραθυρόφυλλα από εύφλεκτα υλικά σε παράθυρα και μπαλκονόπορτες. Φροντίζουμε για τη χρήση άφλεκτου υλικού στα καλύμματα των καμινάδων και των αεραγωγών, ενώ αποφεύγουμε την αποθήκευση εύφλεκτων αντικειμένων κοντά στο σπίτι. Επιπλέον, διασφαλίζουμε την ασφάλεια αποθήκευσης καυσόξυλων και καυσίμου, εξοπλίζοντας τον εαυτό μας με κατάλληλους πυροσβεστήρες και απαραίτητο εξοπλισμό προστασίας, που περιλαμβάνει σωλήνες ποτίσματος και δεξαμενή νερού (civilprotection.gov.gr, 2023).

### Αντιπυρική κατασκευή κτηρίων

Η διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου είναι πολύ σημαντική όμως αυτό το μέτρο από μόνο του δεν φτάνει για την προστασία ενός κτηρίου. Για αυτόν τον λόγο είναι πολύ σημαντική η

πρόληψη μέτρων κατά την κατασκευή ενός κτηρίου, έτσι ώστε το κτήριο να καταστεί ανθεκτικό στην πυρκαγιά.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία θερμομονωτικών υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή ενός κτηρίου για βασικό σκοπό της μόνωσης από τη μεταφορά θερμότητας. Ωστόσο, κατά τη δοκιμή μιας πυρασφάλειας των θερμομονωτικών υλικών, μπορεί κανείς να βρει μόνο λίγα υλικά που μπορούν να αντιστέκονται σε πραγματικές συνθήκες πυρκαγιάς. Ο ορυκτοβάμβακας (Mineral wool), τα διογκωμένα αδρανή (expanded aggregate) και η κυτταρίνη (cellulose) είναι εκπρόσωποι των πυράντοχων υλικών για θερμομόνωση (Mróz, 2016).

Ο ορυκτοβάμβακας (Mineral wool), γνωστός και ως πετροβάμβακας ή μαλλί σκωρίας, είναι ένας από τους παλαιότερους τύπους μόνωσης που αποτελείται από άκαυστο, φυσικά πυρίμαχο πετροβάμβακα. Αντέχει σε θερμοκρασία έως και 1000 °C και δεν καίγεται. Πάνω από 1000°C αρχίζουν να λιώνουν οι ορυκτές ίνες. Ο ορυκτοβάμβακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως θερμική και πυροπροστατευτική μόνωση μεταξύ του χώρου κατοικίας και των μη θερμαινόμενων χώρων της οροφής, αυτό βοηθά στη διατήρηση μιας άνετης θερμοκρασίας στο εσωτερικό των χώρων διαβίωσης και λειτουργεί επίσης ως φράγμα κατά της εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Επίσης ο ορυκτοβάμβακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πυράντοχων φραγμών γύρω από δομικά μέλη (όπως χαλύβδινες δοκούς) σε κτίρια. Αυτό βοηθά στην πρόληψη της εξάπλωσης της πυρκαγιάς και παρέχει πρόσθετη ασφάλεια σε περίπτωση συμβάντος πυρκαγιάς. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πυράντοχο κάλυμμα για τους σωλήνες και τους αγωγούς του κτηρίου (Mróz, 2016).

Τα διογκωμένα αδρανή (expanded aggregate) όπως είναι ο διογκωμένος περλίτης, ο σχιστόλιθος, ο άργιλος, ο σχιστόλιθος και ο βερμικουλίτης, είναι αναγνωρισμένα για την κατασκευή πυράντοχων καλυμμάτων, τα οποία προσφέρουν την αποτελεσματική λύση για την ασφάλεια της ζωής τόσο των ενοίκων όσο και των πυροσβεστών. Η μη εύφλεκτη φύση τους σε συνδυασμό με την υψηλή θερμομόνωση προσφέρει εγγενή δομική ακεραιότητα μετά την έκθεση στη φωτιά, γεγονός που το καθιστά προφανή επιλογή για την παθητική προστασία των κτιριακών κατασκευών. Ο βαθμός της αντοχής των αδρανών κατά της πυρκαγιάς εξαρτάται από το υλικό τους. Για παράδειγμα τα πολύ πορώδη υλικά απορροφούν περισσότερη υγρασία, κάτι που παρατείνει τον χρόνο ζωής τους σε μια πυρκαγιά μέχρι να εξατμιστεί το νερό που έχουν συκρατήσει (Mróz, 2016).

Η μόνωση κυτταρίνης γίνεται από ανακυκλωμένο χαρτί, εφημερίδα, χαρτόνι ή άλλο παρόμοια υλικά, θεωρείται ένα από τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον θερμομονωτικά υλικά. Παρόλο που η σύνθεση του υλικού συνδέεται με την υψηλή ευφλεκτότητα, η χημική επεξεργασία με θειικό αμμώνιο και βορικό οξύ εξασφαλίζουν την ακαυστότητα του. Επιπλέον, λόγω της πολύ συμπαγής σύστασης των ινών κυτταρίνης, το υλικό δεν περιέχει σχεδόν καθόλου οξυγόνο και μειώνει αποτελεσματικά τις κοιλότητες των τοιχωμάτων που υπάρχει αέρας και έτσι μπορεί να ελαχιστοποιήσει την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Καθώς η μόνωση κυτταρίνης είναι ένα "χαλαρό" υλικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για γέμισμα οροφής, δαπέδου και τοίχους εσωτερικού χώρου και συνήθως δεν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό για εξωτερικούς χώρους (Mróz, 2016).

Το σκυρόδεμα είναι ευρέως γνωστό ως πυράντοχο και άκαυστο υλικό, γι' αυτό χρησιμοποιείται ως βασικό υλικό για πυράντοχες κατασκευές τα τελευταία χρόνια. Προστατεύει μια κατασκευή από τη φωτιά με δύο τρόπους. Αφενός, το ίδιο το σκυρόδεμα περιέχει νερό, και αφετέρου η τσιμεντόπαστα περιέχει σημαντική ποσότητα ενυδατωμένων κρυστάλλων, που σημαίνει ότι έχει μεγάλη ποσότητα δεσμευμένου νερού. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, το ελεύθερο νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια που εκτίθεται στη θερμότητα, απορροφώντας μεγάλο μέρος της θερμότητας και μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία στο

εσωτερικό του δομικού στοιχείου. Επιπλέον, ένα βασικό συστατικό του σκυροδέματος που σχηματίζεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου με νερό, είναι το CSH (Calcium Silicate Hydrate) gel. Όταν το σκυρόδεμα θερμαίνεται σε θερμοκρασίες 500-550 °C, το τζέλ αυτό υφίσταται μια διαδικασία αφυδάτωσης, όπου τα μόρια νερού που είναι δεσμευμένα στη δομή του τζέλ απελευθερώνονται. Η διαδικασία αυτή απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον. Ένα άλλο συστατικό του σκυροδέματος που το κάνει πυράντοχο είναι ο πορτλανδίτης που σχηματίζεται κατά τη διαδικασία ενυδάτωσης. Όταν το σκυρόδεμα θερμαίνεται σε θερμοκρασίες γύρω στους 500-550°C, ο πορτλανδίτης υφίσταται αποσύνθεση, απελευθερώνοντας υδρατμούς και οξείδιο του ασβεστίου. Αυτή η αποσύνθεση είναι επίσης μια ενδόθερμη διαδικασία, που σημαίνει ότι απορροφά θερμότητα. Όλα τα παραπάνω κάνουν το σκυρόδεμα να έχει σχετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, που σημαίνει ότι δεν είναι καλός αγωγός της θερμότητας. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει στο σκυρόδεμα να λειτουργεί ως προστατευτικό φράγμα, επιβραδύνοντας τη μεταφορά θερμότητας στην υποκείμενη δομή και καθυστερεί την αύξηση της θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων, δίνοντας στους ενοίκους και τους πυροσβέστες περισσότερο χρόνο για να ανταποκριθούν και να λάβουν προληπτικά μέτρα, όπως η κατάσβεση της πυρκαγιάς ή η εκκένωση του κτηρίου (Mróz, 2016).

Ο γύψος (διυδρικό θειικό ασβέστιο) είναι ένα κρυσταλλικό ορυκτό που βρίσκεται σε ιζηματογενή πετρώματα, αλλά μπορεί επίσης να παραχθεί συνθετικά (γύψος αποθείωσης καυσασερίων) από τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κοινής ωφέλειας που καίνε άνθρακα και αφαιρούν το διοξείδιο του θείου από τα καυσαέρια. Επειδή ο γύψος περιέχει περίπου 20% χημικά δεσμευμένο νερό, αυτό μπορεί να εξατμιστεί σε περίπτωση πυρκαγιάς, συμβάλλοντας στη μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της προστατευόμενης κατασκευής και στον περιορισμό της εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Επιπλέον, οι γυψοσανίδες είναι εντελώς άκαυστες και, ακόμη και μετά την εξάτμιση όλου του νερού, παραμένουν θερμομονωτικό φράγμα. (Katarzyna, 2016).

Τα φράγματα πυροπροστασίας (Fire protection barriers) έχουν σχεδιαστεί για να περιορίζουν μια πυρκαγιά σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή διαμέρισμα, εμποδίζοντας την εξάπλωσή της σε άλλα μέρη του κτηρίου. Αυτά τα φράγματα πρέπει να σφραγίζουν όλα τα ανοίγματα για να είναι αποτελεσματικά.



Εικόνα 17. Φράγματα πυροπροστασίας (ukfirestoppers)

Επίσης, τα ανοίγματα σε τοίχους ή φράγματα πρέπει να σφραγίζονται αποτελεσματικά για να αποτρέπεται η εξάπλωση της πυρκαγιάς μέσω αυτών. Σημαντική είναι και η χρήση πυρακτωδών και αμβλωτικών υλικών. Τα ενδοσυγκολλητικά υλικά είναι ουσίες που διαστέλλονται όταν εκτίθενται στη θερμότητα, σχηματίζοντας ένα προστατευτικό στρώμα άνθρακα που μονώνει και θωρακίζει το υποκείμενο υλικό από τη φωτιά. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως για τη στεγανοποίηση ανοιγμάτων και την παροχή πυροπροστασίας (Mróz, 2016).

Τα ενδοσκληρυντικά υλικά είναι ένας τύπος υλικού που διαστέλλεται όταν εκτίθεται σε θερμότητα ή φωτιά. Αυτή η διαστολή σχηματίζει ένα στρώμα μόνωσης, το οποίο συμβάλλει στην προστασία του υποκείμενου υλικού από ζημιές λόγω θερμότητας. Τα υλικά αυτά μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορες βάσεις, όπως νερό, διαλύτες ή εποξειδικά υλικά. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται συχνά ως χρώματα ή επιστρώσεις που εφαρμόζονται σε επιφάνειες για την παροχή πυροπροστασίας. Όταν το πυρακτωμένο υλικό υποβάλλεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται συνήθως από 200°C έως 250°C (392°F έως 482°F), υφίσταται πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις. Οι αντιδράσεις αυτές προκαλούν σημαντική διόγκωση του όγκου του υλικού. Η διαστολή του υλικού έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός παχέος, μονωτικού στρώματος που λειτουργεί ως εμπόδιο στη μεταφορά θερμότητας, μειώνοντας έτσι τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού. Δύο είναι οι κύριοι τύποι ενδοσκληρυντικών υλικών και διακρίνονται σε επίστρωση λεπτής μεμβράνης και επίστρωση παχιάς μεμβράνης. Η επίστρωση λεπτής μεμβράνης σχηματίζει ένα σχετικά λεπτό στρώμα κατά την εφαρμογή και είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπου οι περιορισμοί χώρου ή βάρους είναι σημαντικοί. Οι επιστρώσεις παχιάς μεμβράνης παρέχουν ένα παχύτερο στρώμα μόνωσης και χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα πυροπροστασίας (Mróz et al., 2016).

### 3.4. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων στην κατανάλωση ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής

Λόγω της κλιματικής αλλαγής έχουμε όλο και μεγαλύτερες περιόδους καύσωνα και ζέστης που αυξάνουν την κατανάλωση ενέργειας για ψύξης στα κτήρια. Για αυτόν τον λόγο η ανάγκη για μεθόδους μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας ολοένα και μεγαλώνει.

Οι τεχνολογίες ψύξης κτηρίων περιλαμβάνουν δύο λογικές στρατηγικές, δηλαδή την παθητική και την ενεργητική. Η παθητική ψύξη περιλαμβάνει την ψύξη ενός κτηρίου χωρίς τη χρήση μηχανικών συσκευών που καταναλώνουν ενέργεια. Το αστικό μικροκλίμα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη λειτουργική απόδοση των τεχνολογιών παθητικής ψύξης σε εμπορικά κτίρια (Hughes, 2011).

Ο παθητικός σχεδιασμός ανταποκρίνεται στο τοπικό κλίμα και τις συνθήκες του χώρου, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την άνεση και την υγεία των χρηστών του κτηρίου, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη χρήση ενέργειας. Το κλειδί για το σχεδιασμό ενός παθητικού κτηρίου είναι η καλύτερη εκμετάλλευση του τοπικού μικροκλίματος. Η παθητική ψύξη αναφέρεται σε οποιεσδήποτε τεχνολογίες ή σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που υιοθετούνται για τη μείωση της θερμοκρασίας των κτηρίων χωρίς την ανάγκη κατανάλωσης ενέργειας (Al-Homoud, 2004).

Η παθητική ψύξη αξιοποιεί ελεύθερες, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τον ήλιο και τον άνεμο, για να παρέχει ψύξη, αερισμό και φωτισμό σε ένα σπίτι. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για μηχανική ψύξη. Η εφαρμογή παθητικής ψύξης συνεπάγεται τη μείωση των θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και τη δημιουργία ενός πιο άνετου και ευχάριστου περιβάλλοντος για διαμονή ή εργασία. Επίσης, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το ενδιαφέρον για τον παθητικό σχεδιασμό, είτε για θέρμανση είτε για ψύξη, έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, ειδικά την τελευταία δεκαετία, ως μέρος της στροφής προς τη βιώσιμη αρχιτεκτονική (Σανταμούρης και Ασημακόπουλος, 1996).

Μια σημαντική πτυχή της ενσωμάτωσης της παθητικής ψύξης στα κτίρια είναι η μείωση των ψυκτικών φορτίων ή η ελαχιστοποίηση των θερμικών φορτίων που δέχεται το κτήριο. Το μεγαλύτερο μέρος του θερμικού φορτίου σε ένα κτήριο αποτελείται από το φωτισμό και τα ηλιακά κέρδη. Επομένως, η μείωση των ηλιακών θερμικών φορτίων με τη χρήση απλών τεχνικών, όπως η σωστή μόνωση και οι προεξοχές, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου και να μειώσει το ψυκτικό φορτίο. Επίσης, σε περιοχές όπου υπάρχει σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ νύχτας και ημέρας, η παθητική ψύξη μέσω φυσικού αερισμού είναι μια από τις πιο βιώσιμες τεχνικές για τη μείωση των θερμικών κερδών ενός κτηρίου. Για να εφαρμοστεί αποτελεσματικά η παθητική ψύξη, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παραπάνω άμεσοι και έμμεσοι παράγοντες για βέλτιστα αποτελέσματα (Σανταμούρης και Ασημακόπουλος, 1996 ).

### Βελτιωμένη μόνωση

Η βελτιωμένη μόνωση παίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για ψύξη στα κτίρια.

Η μόνωση χρησιμεύει ως εμπόδιο στη ροή θερμότητας, συμβάλλοντας στην απομάκρυνση της θερμότητας από ένα κτήριο το καλοκαίρι και στη διατήρηση της ζεστασιάς το χειμώνα. Επιβραδύνοντας τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας, η μόνωση συμβάλλει στη διατήρηση μιας πιο σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας, μειώνοντας το φορτίο των συστημάτων θέρμανσης, εξερισμού και κλιματισμού (HVAC) (Shahee, 2024).

Πολλοί τύποι θερμικής μόνωσης κτηρίων υπάγονται στα ακόλουθα βασικά και σύνθετα υλικά (ASHRAE) (Shahee, 2024):

- Ανόργανα υλικά: Ινώδη υλικά όπως ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας και το μαλλί σκωρίας και υψελοειδή υλικά, όπως το πυριτικό ασβέστιο, ο συγκολλημένος περλίτης, βερμικουλίτης και κεραμικά προϊόντα.
- Οργανικά υλικά: Ινώδη υλικά όπως κυτταρίνη, βαμβάκι, ξύλο, χαρτοπολτός, ζαχαροκάλαμο ή συνθετικές ίνες και κυψελοειδή υλικά όπως φελλός, αφρώδες καουτσούκ, πολυστερίνη, πολυαιθυλένιο, πολυουρεθάνη, πολυισοκυανουρικό και άλλα πολυμερή.
- Μεταλλικές ή επιμεταλλωμένες ανακλαστικές μεμβράνες: Αυτές πρέπει να βλέπουν προς ένα χώρο γεμάτο αέρα, ή εκκενωμένο χώρο για να είναι αποτελεσματικές.

Κατά συνέπεια, τα μονωτικά υλικά παράγονται σε διάφορες μορφές ως εξής:

- Κουβέρτες ορυκτών ινών: ρόλοι και ρολά (υαλοβάμβακα και πετροβάμβακας).
- Υαλοβάμβακας ή πετροβάμβακας που αναμιγνύεται με σκυρόδεμα (κυτταρίνη, περλίτης, βερμικουλίτης).
- Άκαμπτες πλάκες (πολυστυρένιο, πολυουρεθάνη, πολυισοκυανουρικό και υαλοβάμβακας).
- Αφρολέξ ή σπρέι (πολυουρεθάνη και πολυϊσοκυανουρικό).
- Πλάκες ή μπλοκ (περλίτης και βερμικουλίτης).
- Μόνωση από τσιμεντόλιθους.
- Μόνωση σκυροδέματος.
- Αντανακλαστικά υλικά (φύλλο αλουμινίου, κεραμικές επιστρώσεις).

### Χρήση Προεξοχών

Οι προεξοχές είναι αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά που έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν σκίαση σε παράθυρα και πόρτες, κυρίως για να εμποδίζουν την είσοδο του άμεσου ηλιακού φωτός στους εσωτερικούς χώρους. Έχουν διάφορες μορφές, όπως τέντες, περυγία ή οριζόντιες

προεξοχές από την πρόσοψη του κτηρίου. Ο πρωταρχικός σκοπός των προεξοχών είναι η μείωση του ψυκτικού φορτίου στο σύστημα HVAC (θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού) ενός κτηρίου, ελαχιστοποιώντας την ποσότητα της ηλιακής θερμότητας που εισέρχεται από τα παράθυρα. Με τη σκίαση των παραθύρων από το άμεσο ηλιακό φως, οι προεξοχές συμβάλλουν στη διατήρηση χαμηλότερων εσωτερικών θερμοκρασιών, μειώνοντας την ανάγκη για κλιματισμό κατά τη διάρκεια του ζεστού καιρού. Επιπλέον, οι προεξοχές μπορούν να αποτρέψουν δυσάρεστες συνθήκες φωτισμού σε περιμετρικά δωμάτια. Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο τα διάφορα μήκη προεξοχών επηρεάζουν την απόδοση της σκίασης και του φωτισμού στα κτίρια, πραγματοποιούνται προσομοιώσεις με τη χρήση λογισμικού μοντελοποίησης σε υπολογιστή. Οι προσομοιώσεις αυτές περιλαμβάνουν τη μεταβολή του μήκους των προεξοχών και την ανάλυση των επιπτώσεών τους σε παράγοντες όπως το ηλιακό θερμικό κέρδος, τα ψυκτικά φορτία και τα επίπεδα εσωτερικού φωτισμού. Με τη διενέργεια αυτών των προσομοιώσεων, οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν το σχεδιασμό των προεξοχών ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ισορροπία μεταξύ σκίασης, φωτισμού ημέρας και ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια (Alyami, 2023).

#### Επίδραση του σχήματος και του προσανατολισμού του σπιτιού

Η εκτεθειμένη επιφάνεια ενός κτηρίου σχετίζεται με τον ρυθμό με τον οποίο το κτήριο κερδίζει ή χάνει θερμότητα, ενώ ο όγκος σχετίζεται με την ικανότητα του κτηρίου να αποθηκεύει θερμότητα. Έτσι, η αναλογία όγκου προς εκτεθειμένη επιφάνεια χρησιμοποιείται ευρέως ως δείκτης του ρυθμού με τον οποίο το κτήριο θα θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και θα κρυώνει τη νύχτα. Μια υψηλή αναλογία όγκου προς επιφάνεια είναι προτιμότερη για ένα κτήριο που επιθυμητό είναι να θερμαίνεται αργά, καθώς προσφέρει μικρή εκτεθειμένη επιφάνεια για τον έλεγχο τόσο των απωλειών όσο και των κερδών θερμότητας (Shahee, 2024).

#### Φυσικός νυχτερινός αερισμός

Ο νυχτερινός αερισμός αξιοποιεί φυσικές δυνάμεις όπως η άνωση (η τάση του θερμότερου αέρα να ανεβαίνει) και ο άνεμος για την κυκλοφορία του αέρα μέσα στο κτήριο χωρίς μηχανική βοήθεια. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, τα παράθυρα, οι αεραγωγοί ή άλλα ανοίγματα στο κτήριο ανοίγουν για να εισέλθει ψυχρότερος αέρας και να διαφύγει ο θερμός αέρας. Τα υλικά του κτηρίου (όπως σκυρόδεμα, τούβλα ή πέτρα) απορροφούν τον δροσερό νυχτερινό αέρα, μειώνοντας τη θερμοκρασία τους. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, αυτά τα ψυχρά υλικά απορροφούν σταδιακά τη θερμότητα από τον εσωτερικό αέρα, συμβάλλοντας στη διατήρηση του εσωτερικού χώρου πιο δροσερού χωρίς την ανάγκη κλιματισμού (Hughes, 2011).

Ο νυχτερινός αερισμός μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, μειώνοντας την ανάγκη για μηχανική ψύξη (όπως ο κλιματισμός). Επίσης, βελτιώνει τη θερμική άνεση κατά τη διάρκεια της ημέρας, χρησιμοποιώντας τη δομή του κτηρίου για την απορρόφηση και τον μετριασμό της θερμότητας. Η μέθοδος αυτή είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς βασίζεται στις φυσικές δυνάμεις και μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα συστήματα κλιματισμού (Hughes, 2011).

Ο αποτελεσματικός νυχτερινός αερισμός απαιτεί προσεγμένο σχεδιασμό του κτηρίου, συμπεριλαμβανομένων χαρακτηριστικών που προάγουν τη ροή του αέρα και υλικών με καλή θερμική μάζα. Τέλος, λειτουργεί καλύτερα σε κλίματα με σημαντικές διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας, ιδίως όταν οι νύχτες είναι δροσερές (Hughes, 2011).

#### Σωστή χρήση συσκευών

Η ακατάλληλη χρήση ηλεκτρικών συσκευών όπως οι υπολογιστές αυξάνει την εσωτερική θερμοκρασία του χώρου του κτηρίου. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ενεργειακά

αποδοτικά μηχανήματα για τον περιορισμό των εσωτερικών κερδών. Η τεχνολογία ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον έλεγχο της ποσότητας θερμότητας και φωτός που διέρχεται από τα παράθυρα και επομένως βοηθά στη μείωση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας (Hughes, 2011).

#### Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η εγκατάσταση **φωτοβολταϊκών πάνελ** σε στέγες και προσόψεις μπορεί να μειώσει σημαντικά την εξάρτηση ενός κτηρίου από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου. Τα συστήματα που είναι τοποθετημένα στη στέγη, καθώς και τα ενσωματωμένα στο κτήριο φωτοβολταϊκά (BIPV), επιτρέπουν τη διπλή λειτουργία - παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα χρησιμεύουν ως μέρος της δομής του κτηρίου. Αυτό μειώνει τόσο την κατανάλωση ενέργειας όσο και το κόστος των υλικών. Εξωτερικές ολοκληρωμένες συσκευές όπως η ηλιακή σκίαση, τα στέγαστρα και τα στηθαία που ενσωματώνονται σε φωτοβολταϊκά συστήματα συμβάλλουν στην παραγωγή ενέργειας και μειώνουν την ανάγκη για τεχνητή ψύξη, παρέχοντας σκιά, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις σε ενέργεια ψύξης (Reddy, Jagadeeswara, 2024).

Η επί τόπου παραγωγή **αιολικής ενέργειας** όπως οι μικρής κλίμακας ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν πάνω ή κοντά σε κτίρια για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε περιοχές με σταθερά πρότυπα ανέμων και μπορεί να συμπληρώσει άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, παρέχοντας μια πιο σταθερή και διαφοροποιημένη παροχή ενέργειας (Rezaie, Behnaz, 2011).

Οι **Αντλίες θερμότητας εδάφους** (Ground Source Heat Pumps - GSHPs) είναι συστήματα που χρησιμοποιούν τη σταθερή θερμοκρασία του εδάφους για την παροχή θέρμανσης και ψύξης. Ανταλλάσσοντας θερμότητα με το έδαφος, οι GSHPs μπορούν να μειώσουν την ενέργεια που απαιτείται για τα συστήματα HVAC, οδηγώντας σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Reddy, Jagadeeswara, 2024).

Η θέρμανση με **βιοαέριο και βιομάζα** γίνεται με χρήση οργανικών υλικών, όπως πέλλετ ξύλου ή αγροτικών αποβλήτων, για την παραγωγή θερμότητας μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Τα συστήματα βιομάζας μπορούν να ενσωματωθούν σε υπάρχουσες υποδομές θέρμανσης για να παρέχουν μια ανανεώσιμη πηγή θερμικής ενέργειας (Reddy, Jagadeeswara, 2024).

Η ενσωμάτωση **συστημάτων αποθήκευσης μπαταριών** επιτρέπει στα κτίρια να αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους χαμηλής παραγωγής (π.χ. τη νύχτα για τα φωτοβολταϊκά), εξασφαλίζοντας συνεχή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας (Wu, Wei, Skye, 2021).

Ένα σημαντικό μέτρο είναι επίσης η παρακολούθηση και αυτοματοποίηση της ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή **έξυπνων αισθητήρων και συσκευών IoT** που συμβάλλουν στην βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας, παρακολουθώντας τα πρότυπα κατανάλωσης και ρυθμίζοντας αυτόματα τα συστήματα για αποδοτικότητα. Για παράδειγμα, οι έξυπνοι θερμοστάτες μπορούν να μαθαίνουν τα μοτίβα χρήσης και να ρυθμίζουν τη θέρμανση και την ψύξη ώστε να μειώνεται η περιττή χρήση ενέργειας (Reddy, Jagadeeswara, 2024).

Η επιτυχία της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια συχνά ενισχύεται από **υποστηρικτικές πολιτικές**, οικονομικά κίνητρα και εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού. Οι πρωτοβουλίες αυτές μπορούν να καταστήσουν τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πιο οικονομικά βιώσιμα και να ενθαρρύνουν την ευρύτερη υιοθέτηση (Hafez, Fatma, 2013).

### 3.5. Μέθοδοι μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία

Τα μνημεία είναι και αυτά ένα μέρος του δομημένου περιβάλλοντος, συνεπώς επηρεάζονται και αυτά από την κλιματική αλλαγή όπως και όλο το δομημένο περιβάλλον συνολικά. Τα μνημεία, ως ζωντανοί μάρτυρες της ιστορίας και της πολιτιστικής ταυτότητας των λαών, εκτίθενται σε αυξανόμενους κινδύνους λόγω των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι συχνότερες πλημμύρες και οι αυξανόμενες θερμοκρασίες είναι μερικές από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που απειλούν τη δομική ακεραιότητα και τη διατήρηση των μνημείων. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, είναι απαραίτητη η εφαρμογή καινοτόμων μεθόδων και στρατηγικών που θα συμβάλλουν στη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και θα εξασφαλίσουν την προστασία και τη διατήρηση αυτών των πολύτιμων πολιτιστικών θησαυρών για τις μελλοντικές γενιές.

Η μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα κτίρια και τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει την αξιολόγηση, τη διατήρηση, την προσαρμογή και τη συμμετοχή της κοινότητας.

#### Αξιολόγηση και παρακολούθηση κινδύνων

Για να προφυλάξουμε ένα κτήριο πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε ποια σημεία του κινδυνεύουν περισσότερο για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα τρωτά σημεία ενός κτηρίου αλλά και να τα παρακολουθούμε έτσι ώστε να μπορέσουμε να το προστατεύσουμε. Η διεξαγωγή λεπτομερών αξιολογήσεων για την κατανόηση των συγκεκριμένων τρωτών σημείων κάθε μνημείου πολιτιστικής κληρονομιάς σε κινδύνους που σχετίζονται με το κλίμα, όπως οι πλημμύρες, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα (Kyriakou, Panoskaltsis, 2022).

Επίσης ένα σημαντικό μέτρο είναι η εφαρμογή προγραμμάτων τακτικής παρακολούθησης με τη χρήση αισθητήρων και άλλων τεχνολογιών για την παρακολούθηση των αλλαγών στις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη φυσική κατάσταση των κατασκευών αλλά και εγκατάσταση συστημάτων κλιματικού ελέγχου για τη διαχείριση της υγρασίας, της θερμοκρασίας και της ποιότητας του αέρα, ιδίως στους εσωτερικούς χώρους των κτηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. (Kyriakou, Panoskaltsis, 2022)

#### Προληπτική συντήρηση

Όπως και σε κάθε πρόβλημα, η πρόληψη είναι το πρώτο και το κυριότερο μέτρο αντιμετώπισης του προβλήματος αφού αναγνωρίσουμε τον κίνδυνο ύπαρξης του στο μέλλον. Για αυτόν τον λόγο είναι πολύ σημαντική η καθιέρωση και διατήρηση αυστηρών προγραμμάτων προληπτικής συντήρησης για την αντιμετώπιση μικρών ζητημάτων πριν αυτά γίνουν μεγάλα προβλήματα. Επίσης, είναι απαραίτητη, η χρήση ανθεκτικών στο κλίμα υλικών και τεχνικών σε έργα αποκατάστασης που είναι συμβατά με τις παραδοσιακές μεθόδους δόμησης αλλά προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή έναντι των κλιματικών επιπτώσεων. Ένα ακόμα προληπτικό μέτρο θα ήταν δημιουργία ζωνών προστασίας γύρω από τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς για την προστασία τους από πλημμύρες, διάβρωση και άλλες περιβαλλοντικές απειλές. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση φυσικών φραγμών, όπως δέντρα και βλάστηση (Stagrum, Eknes, 2020).

### Ετοιμότητα και αντιμετώπιση καταστροφών

Η ετοιμότητα για την εμφάνιση ενός προβλήματος παίζει μεγάλο ρόλο για την επιτυχή αντιμετώπιση του. Για αυτόν τον λόγο, η ανάπτυξη και εφαρμογή σχεδίων ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης ειδικά για κάθε χώρο πολιτιστικής κληρονομιάς, συμπεριλαμβανομένων διαδικασιών εκκένωσης, επισκευών έκτακτης ανάγκης και επιχειρήσεων διάσωσης είναι απαραίτητη. Όμως μόνο η ανάπτυξη ενός σχεδίου χωρίς την κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού που την εφαρμόζει, θα έθετε το σχέδιο σε κίνδυνο. Η τακτική εκπαίδευση του προσωπικού και των εθελοντών σε τεχνικές αντιμετώπισης καταστροφών και διεξαγωγή ασκήσεων για τη διασφάλιση της ετοιμότητας είναι καθοριστικής σημασίας (Stagrum, Eknes, 2020).

### Πολιτική και νομοθεσία

Η υποστήριξη και εφαρμογή ρυθμιστικών πλαισίων που αναγνωρίζουν και αντιμετωπίζουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην πολιτιστική κληρονομιά αλλά και η εξασφάλιση χρηματοδότησης και δημιουργία οικονομικών κινήτρων για τη διατήρηση και την προσαρμογή των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς στην κλιματική αλλαγή είναι επίσης απαραίτητα μέτρα για την μείωση των επιπτώσεων (Hambrecht, Rockman, 2017).

### Έρευνα και καινοτομία

Η προστασία των μνημείων από την κλιματική αλλαγή απαιτεί συνεχή συμμετοχή σε διεπιστημονική έρευνα για την ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών για τη διατήρηση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες αλλά και τεκμηρίωση και ανταλλαγή περιπτώσιολογικών μελετών και βέλτιστων πρακτικών για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Stagrum, Eknes, 2020).

### Κοινοτική δέσμευση και εκπαίδευση

Η εκπαίδευση του κοινού και των τοπικών κοινοτήτων σχετικά με τη σημασία της πολιτιστικής κληρονομιάς και τις απειλές που θέτει η κλιματική αλλαγή αλλά και η εμπλοκή των τοπικών κοινοτήτων στις προσπάθειες διατήρησης, αξιοποιώντας τις παραδοσιακές τους γνώσεις και καλλιεργώντας το αίσθημα της διαχείρισης παίζουν σημαντικό ρόλο για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων (Sesana, 2019).

### Αειφόρος τουρισμός

Σε τουριστικές χώρες όπως η Ελλάδα, της οποίας τα μνημεία δέχονται εκατομμύρια επισκέπτες τον χρόνο, η προώθηση πρακτικών βιώσιμου τουρισμού που ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και υποστηρίζουν τη διατήρηση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς αλλά και η εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης των επισκεπτών για τη μείωση της φθοράς των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως η ελεγχόμενη πρόσβαση και οι ξεναγήσεις είναι καίριας σημασίας για την προστασία των μνημείων (Sesana, 2019).

### Πράσινες υποδομές

Όπως και σε κάθε κτήριο, η χρήση βιώσιμων πρακτικών διαμόρφωσης του τοπίου γύρω από τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς για τη διαχείριση της απορροής του νερού, τη μείωση των επιπτώσεων της θερμικής νησίδας και την προστασία από τη διάβρωση αλλά και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς με ελάχιστη παρέμβαση στον ιστορικό τους ιστό, όπως με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων φωτισμού και θέρμανσης μπορεί να μειώσει σημαντικά τις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή. Με την ενσωμάτωση αυτών των μέτρων, οι ενδιαφερόμενοι φορείς μπορούν να

ενισχύσουν την ανθεκτικότητα των κτηρίων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, εξασφαλίζοντας τη διατήρησή τους για τις μελλοντικές γενιές (Sesana, 2019).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κύριο αίτιο της κλιματικής αλλαγής είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από την αυξημένη συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, κυρίως λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποδόσωση και η βιομηχανική παραγωγή. Η αύξηση των αερίων αυτών, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο, δημιουργεί ένα στρώμα στην ατμόσφαιρα που παγιδεύει τη θερμότητα και οδηγεί σε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης, μία από τις πιο άμεσες και ορατές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (NASA, 2024). Αυτή η αύξηση οδηγεί σε θέρμανση των θαλασσών (IPCC, NRDC, 2019) και έτσι ο όγκος του νερού αυξάνεται καθώς το νερό διαστέλλεται, με συνέπεια να παρατηρείται άνοδος της στάθμης της θάλασσας, ένα φαινόμενο το οποίο συμβάλει επίσης και στο λιώσιμο των πάγων στους πόλους της γης. Επιπλέον, η όξυνση των ωκεανών, η οποία προκαλείται από την απορρόφηση αυξημένων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα, έχει σοβαρές συνέπειες για τη θαλάσσια ζωή και τα οικοσυστήματα (C3S, WMO, 2023, United Nations, 2022).

Η κλιματική αλλαγή προκαλεί επίσης αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως καταιγίδες και ξηρασία που με την σειρά τους προκαλούν πλημμύρες και πυρκαγιές. Αυτά τα φαινόμενα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες κοινωνίες, καταστρέφοντας υποδομές, επηρεάζοντας την αγροτική παραγωγή και θέτοντας σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία (IPCC, 2021). Ειδικότερα για την Ελλάδα, η κλιματική αλλαγή έχει ήδη αρχίσει να δείχνει τις επιπτώσεις της με την αύξηση της θερμοκρασίας, τους συχνότερους και εντονότερους καύσωνες, καθώς και τις αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων που επηρεάζουν τη γεωργία και την υδροδότηση (Henderson and Muller, 1997, Subaket, 2000, Korner, 2005, Giannakopoulos, 2009). Οι πλημμύρες και οι πυρκαγιές είναι δύο από τα πιο καταστροφικά φαινόμενα που επιδεινώνονται λόγω της κλιματικής αλλαγής, προκαλώντας σοβαρές ζημιές στις υποδομές και τις κτιριακές εγκαταστάσεις. Οι πλημμύρες αυξάνονται σε συχνότητα και ένταση, οδηγώντας σε καταστροφές που επηρεάζουν κατοικίες, επιχειρήσεις, δημόσια κτίρια και τις συνολικές υποδομές μιας περιοχής (Zbigniew, Kundzewicz, 2010). Στην Ελλάδα, οι επιπτώσεις των αυξημένων πλημμυρικών φαινομένων στο δομημένο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα εμφανείς. Το παράδειγμα της καταιγίδας Daniel είναι χαρακτηριστικό, καθώς προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές σε πολλές περιοχές, αναδεικνύοντας την ευαλωτότητα του ελληνικού δομημένου περιβάλλοντος (FloodList, 2023, NASA, 2023). Οι υποδομές πλημμύρισαν, οι δρόμοι και οι γέφυρες καταστράφηκαν, και οι κατοικίες υπέστησαν σοβαρές ζημιές, αποδεικνύοντας την ανάγκη για βελτιωμένα συστήματα αποστράγγισης και αντιπλημμυρικής προστασίας (CNN, 2023, New York Times, 2023, Financial Times, 2023).

Εκτός από τις πλημμύρες, η κλιματική αλλαγή έχει επιδεινώσει τις πυρκαγιές, οι οποίες προκαλούν καταστροφές σε δάση, αγροτικές περιοχές και κατοικημένες ζώνες (HNMS, 2019). Οι αυξημένες θερμοκρασίες και οι παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για την εξάπλωση των πυρκαγιών, θέτοντας σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και περιουσίες. Οι πυρκαγιές καταστρέφουν όχι μόνο τη φυσική βλάστηση αλλά και το δομημένο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των οικισμών και των υποδομών (IPCC, 2021, C2ES, 2021). Στην Ελλάδα, οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στο δομημένο περιβάλλον είναι συχνές και καταστροφικές. Τα τελευταία χρόνια, οι μεγάλες πυρκαγιές έχουν καταστρέψει ολόκληρους οικισμούς, καίγοντας κατοικίες και υποδομές, ενώ παράλληλα έχουν προκαλέσει σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Οι πρόσφατες πυρκαγιές σε περιοχές όπως η Αττική, η Εύβοια και η Αλεξανδρούπολη έχουν αναδείξει την ανάγκη για καλύτερα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης των πυρκαγιών, καθώς και την ανάγκη για ανασχεδιασμό του δομημένου περιβάλλοντος με βάση τα νέα κλιματικά δεδομένα (Masters, 2018).

Η κλιματική αλλαγή έχει σημαντικές επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον, επηρεάζοντας, μεταξύ άλλων, την κατανάλωση ενέργειας. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αλλαγές στις ενεργειακές ανάγκες των κτηρίων, με τις επιπτώσεις να διαφέρουν ανάλογα με την περιοχή και το κλίμα (Aebischer, 2007). Στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, παρατηρείται μια γενική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ενεργειακών δαπανών και σε ελάττωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος των κτηρίων. Ωστόσο, η ίδια αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Eurostat, 2022). Η ανάγκη για κλιματισμό και ψύξη των κτηρίων αυξάνεται σημαντικά, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους έντονων καυσώνων, όπως έχει καταγραφεί από την Eurostat. Αυτή η αυξημένη ζήτηση για ψύξη επιβαρύνει τα ενεργειακά συστήματα και μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και σε αυξημένο κόστος για τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις (Aebischer, 2007).

Στο δομημένο περιβάλλον που πλήττεται από την κλιματική αλλαγή, εντάσσονται και τα μνημεία. Οι αυξημένες περιόδους ξηρασίας και καύσωνα επιταχύνουν τη φθορά των υλικών, όπως το ξύλο, το δέρμα και τα υφάσματα, ενώ οι σφοδρές βροχοπτώσεις προκαλούν διάβρωση και προβλήματα υγρασίας. Οι ακραίες θερμοκρασίες και οι μεταβολές της υγρασίας ευνοούν την ανάπτυξη οργανισμών που βλάπτουν τα υλικά, ενώ οι πλημμύρες και οι καταγίδες προκαλούν δομικές ζημιές και διάβρωση. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή διαταράσσει την ισορροπία των εδαφικών παραμέτρων, καθιστώντας δύσκολη την επιβίωση των αρχαιολογικών ευρημάτων που βρίσκονται στο έδαφος. Η υπερϊώδης ακτινοβολία προκαλεί αποχρωματισμό και φθορά στα υλικά, ενώ η ερημοποίηση οδηγεί σε περαιτέρω διάβρωση (UNESCO, 2007).

Η πρόληψη και η αναγνώριση κινδύνων είναι κρίσιμες για τη μείωση των επιπτώσεων φυσικών καταστροφών όπως πυρκαγιές και πλημμύρες. Οι χάρτες επικινδυνότητας, ειδικά αυτοί που αφορούν την πλημμυρική επικινδυνότητα, είναι σημαντικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του κινδύνου και τη λήψη μέτρων πρόληψης. Αυτοί οι χάρτες παρουσιάζουν τις περιοχές με διαφορετικά επίπεδα κινδύνου, από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή επικινδυνότητα, βοηθώντας στη βελτιωμένη διαχείριση και προστασία του περιβάλλοντος. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EC υπογραμμίζει τη σημασία της αξιολόγησης του κινδύνου πλημμυρών ως μέσο βελτίωσης της διαχείρισης και της προστασίας τόσο του ανθρωπογενούς όσο και του φυσικού περιβάλλοντος (ERMIS, 2020). Παράλληλα, για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, εκπονείται ο Ημερήσιος Χάρτης Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς, ο οποίος ενημερώνει τους αρμόδιους φορείς και το κοινό για την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς την επόμενη ημέρα. Η δημοσίευση αυτού του χάρτη αποσκοπεί στην αποτροπή πράξεων που μπορεί να προκαλέσουν πυρκαγιές λόγω αμέλειας, ενώ παρόμοιες πρακτικές ακολουθούν και άλλες χώρες με προβλήματα δασικών πυρκαγιών (Περιφέρεια Αττικής, 2020). Οι κατηγορίες κινδύνου που παρουσιάζονται στο χάρτη κυμαίνονται από χαμηλή έως κατάσταση συναγερμού, με στόχο την ενημέρωση και την πρόληψη. Η τακτική ενημέρωση των πολιτών μέσω δελτίων τύπου συμβάλλει σημαντικά στην αποτροπή πυρκαγιών, μειώνοντας τον κίνδυνο και τις επιπτώσεις τους (Πολιτική Προστασία, 2019).

Η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου των κτηρίων παίζει κρίσιμο ρόλο στη μείωση των επιπτώσεων των πλημμυρών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη διαμόρφωση του εδάφους ώστε να δημιουργούνται κλίσεις που κατευθύνουν το νερό μακριά από το κτήριο και με τη φύτευση βλάστησης που απορροφά το νερό. Η δημιουργία φυσικών χαρακτηριστικών, όπως φρεάτια και αναχώματα, συμβάλλει επίσης στην ανακατεύθυνση των υδάτων. Παράλληλα, η ανέγερση φυσικών φραγμών ή κατασκευών, όπως αντιπλημμυρικά τοιχώματα και φράγματα πλημμύρας, μπορεί να εμποδίσει το νερό από το να φτάσει στο κτήριο. Ωστόσο, αυτά τα μέτρα

έχουν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως οι διαρροές μέσω των φραγμάτων λόγω ρωγμών ή κενών, και η ανακατεύθυνση των πλημμυρικών υδάτων προς γειτονικές ιδιοκτησίες, δημιουργώντας νέες πλημμυρικές προκλήσεις (Beddoes and Booth, 2011). Επιπλέον, η εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων αποστράγγισης είναι ουσιαστική για την πρόληψη της συσσώρευσης νερού γύρω από τα κτίρια. Αυτό περιλαμβάνει την εγκατάσταση υδρορροών, καταθλιπτικών αγωγών και σωλήνων αποστράγγισης που συλλέγουν και διοχετεύουν τα νερά της βροχής μακριά από την κατασκευή. Η χρήση χωμάτων αναχωμάτων προσφέρει επίσης προστασία, αλλά απαιτεί εξειδικευμένο σχεδιασμό και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διαρροής. Οι βοηθητικές αντλίες συχνά χρειάζονται για την αντιμετώπιση αυτών των διαρροών, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματικότητα των αντιπλημμυρικών μέτρων (Proverbs και Lamond, 2017).

Η ανύψωση των κτηρίων αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο για τον μετριασμό των επιπτώσεων των πλημμυρών, επιτυγχάνοντας τη μείωση των ζημιών με την κατασκευή των κτηρίων σε υψηλότερο επίπεδο από το έδαφος. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω τεχνικών όπως η κατασκευή υπερυψωμένων πλατφορμών, πυλώνων, εκτεταμένων τοίχων θεμελίωσης, ή χωμάτων αναχωμάτων (Proverbs και Lamond, 2017). Αν η ανύψωση του κτηρίου δεν είναι εφικτή, μπορεί να γίνει ανύψωση της εξωτερικής πόρτας και του κατωφλιού ή να κατασκευαστεί μια υπερυψωμένη βεράντα μπροστά από την πόρτα, για την προστασία από πλημμύρες μέχρι βάθους 300 mm. Η ανύψωση εξασφαλίζει ότι τα πλημμυρικά ύδατα πρέπει να φτάσουν σε μεγαλύτερο ύψος προτού εισέλθουν στο κτήριο, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα ζημιών (Beddoes and Booth, 2011). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η ανύψωση μέσω εκτεταμένης βάσης με γκαράζ από κάτω είναι δημοφιλής και υποστηρίζεται από τις πρόσφατες οδηγίες σχεδιασμού. Σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και η Αυστραλία, όπου η κατασκευή με ξύλινο σκελετό είναι συνήθης, η ανύψωση σε πυλώνες είναι η πιο δομικά βιώσιμη τεχνική. Επίσης, η τεχνική της επίπλευσης, η οποία βασίζεται στην τεχνολογία των σκαφών, χρησιμοποιείται στην Ολλανδία και τις ΗΠΑ, προσφέροντας προστασία από τις πλημμύρες χωρίς αυξημένη έκθεση σε ανεμοφόρτιση (Proverbs, Lamond, 2017). Η μέθοδος της ανύψωσης προσφέρει σαφή πλεονεκτήματα, εφόσον εξασφαλίζονται ασφαλής πρόσβαση και διαφυγή, ενώ τα μειονεκτημάτα της περιλαμβάνουν την αναποτελεσματικότητα σε περιπτώσεις πλημμυρών μεγάλου βάθους, όπου το ύψος του νερού ξεπερνά το ύψος της ανύψωσης (Moel, 2014).

Η ξηρή μόνωση αποσκοπεί στην αποτροπή εισόδου νερού σε ένα κτήριο μέσω της σφράγισης ανοιγμάτων, στεγανοποίησης των εξωτερικών τοίχων και υπογείων, καθώς και της εγκατάστασης βαλβίδων αντεπιστροφής στα αποχετευτικά συστήματα (Manojlovic and Pasche 2007). Διάφορα προϊόντα όπως προστατευτικά θυρών και παραθύρων, ανθεκτικές στις πλημμύρες πόρτες, και επιχρίσματα τοίχων έχουν σχεδιαστεί για να εξασφαλίσουν αυτή τη στεγανότητα. Αυτά τα προϊόντα πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα πρότυπα και να έχουν περάσει δοκιμές αποτελεσματικότητας για να προστατεύουν αξιόπιστα τις ιδιοκτησίες. Παρά τα πλεονεκτήματα της ξηρής μόνωσης, υπάρχουν όρια στην αποτελεσματικότητά της, καθώς η υδροστατική πίεση μπορεί να προκαλέσει αστοχία των τοίχων σε υψηλά επίπεδα πλημμυρικού νερού (Beddoes και Booth, 2011). Προσωρινά μέτρα όπως οι σάκοι άμμου δεν παρέχουν επαρκή προστασία μακροπρόθεσμα. Αντίθετα, η υγρή μόνωση δεν εμποδίζει το νερό να εισέλθει στο κτήριο, αλλά επικεντρώνεται στον περιορισμό της ζημιάς μόλις το νερό εισέλθει. Αυτό επιτυγχάνεται με μετατροπές όπως η μεταφορά ευάλωτων λειτουργιών σε υψηλότερους ορόφους και η χρήση ανυψωμένων πριζών ηλεκτρικού ρεύματος (Proverbs και Lamond, 2017). Μελέτες έχουν δείξει ότι τέτοιες προσαρμογές μπορούν να μειώσουν τη ζημιά κατά 40-50% (Kreibich, 2005). Παρόλα αυτά, η υγρή μόνωση δεν έχει μελετηθεί όσο η ξηρή, επειδή η τελευταία θεωρείται πρωταρχική λύση για την αποτροπή εισόδου του νερού και εφαρμόζεται συνήθως μόνο αφού η ξηρή μόνωση έχει αποτύχει λόγω της ποσότητας του νερού. Ωστόσο, και η υγρή μόνωση έχει περιορισμούς, όπως την αναποτελεσματικότητα σε

πλημμύρες μεγάλου βάθους και την αισθητική αποδοχή, ειδικά σε μονοώροφα κτίρια (Proverbs και Lamond, 2017).

Η εφαρμογή αντιπυρικών μέτρων μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις των πυρκαγιών λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντα χώρου του κτηρίου αποτελεί κεντρικό μέτρο για τη μείωση των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς. Η δημιουργία αντιπυρικής ζώνης καθαρίζοντας σε ακτίνα τουλάχιστον 10 μέτρων τα ξερά χόρτα και φύλλα, οι πευκοβελόνες και τα κλαδιά, μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Η κλάδευση των δέντρων έως το ύψος των 3 μέτρων και η διατήρηση απόστασης μεταξύ των κλαδιών των δέντρων και του κτηρίου συμβάλλουν επίσης στη δημιουργία ενός ασφαλούς περιβάλλοντος. Επιπλέον, η χρήση άφλεκτων υλικών στις κατασκευές και η αποθήκευση καυσόξυλων και καυσίμου σε ασφαλή απόσταση, σε συνδυασμό με τη χρήση πυροσβεστήρων και κατάλληλου εξοπλισμού προστασίας, ενισχύουν την ανθεκτικότητα του κτηρίου στις πυρκαγιές. Η προστασία των κτηρίων από πυρκαγιές απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει τόσο την προετοιμασία του περιβάλλοντος χώρου όσο και την εφαρμογή δομικών μέτρων. Το υπουργείο κλιματικής κρίσης και πολιτικής προστασίας της Ελλάδος παρέχει οδηγίες για τον περιορισμό των πυρκαγιών και την προστασία των κατοικιών, προτείνοντας τη χρήση άφλεκτων υλικών στα καλύμματα των καμινάδων και των αεραγωγών, την αποφυγή πλαστικών υδρορροών και παραθυρόφυλλων από εύφλεκτα υλικά, καθώς και την αποθήκευση εύφλεκτων αντικειμένων μακριά από το κτήριο. Τα μέτρα αυτά, σε συνδυασμό με την καλή συντήρηση και την προσεκτική διαχείριση του περιβάλλοντος χώρου, μπορούν να προσφέρουν σημαντική προστασία και να μειώσουν τις επιπτώσεις των πυρκαγιών στις ανθρώπινες κοινότητες και στο δομημένο περιβάλλον (civilprotection.gov.gr, 2023).

Είναι κρίσιμο να ληφθούν μέτρα κατά την κατασκευή του κτηρίου, ώστε να γίνει ανθεκτικό στην πυρκαγιά. Οι θερμομονωτικές ιδιότητες και η ανθεκτικότητα των υλικών σε πυρκαγιές είναι καθοριστικής σημασίας για την προστασία του δομημένου περιβάλλοντος. Ο ορυκτοβάμβακας, τα διογκωμένα αδρανή και η κυτταρίνη είναι παραδείγματα υλικών που προσφέρουν σημαντική θερμομόνωση και αντοχή σε πυρκαγιά. Ο ορυκτοβάμβακας, για παράδειγμα, αντέχει σε θερμοκρασίες έως 1000°C και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πυράντοχων φραγμών γύρω από δομικά μέλη και σωλήνες του κτηρίου, προσφέροντας ουσιαστική προστασία. Τα διογκωμένα αδρανή, όπως ο περλίτης και ο βερμικουλίτης, είναι επίσης σημαντικά για την κατασκευή πυράντοχων καλυμμάτων, προσφέροντας υψηλή θερμομόνωση και δομική ακεραιότητα μετά την έκθεση στη φωτιά. Η μη εύφλεκτη φύση τους τα καθιστά κατάλληλα για την παθητική προστασία των κτηριακών κατασκευών. Η κυτταρίνη, αν και κατασκευάζεται από ανακυκλωμένο χαρτί και έχει υψηλή ευφλεκτότητα, μπορεί να υποστεί χημική επεξεργασία ώστε να γίνει άκαυστη. Η συμπαγής σύσταση των κυτταρινικών ινών μειώνει τις κοιλότητες αέρα, περιορίζοντας την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Χρησιμοποιείται κυρίως για μόνωση οροφής, δαπέδου και τοίχων εσωτερικού χώρου. Το σκυρόδεμα είναι γνωστό για την πυράντοχη και άκαυστη φύση του. Περιέχει ενυδατωμένα κρύσταλλα και τζελ CSH που, σε υψηλές θερμοκρασίες, απορροφούν θερμότητα και μειώνουν τη θερμική αγωγιμότητα. Αυτό το καθιστά αποτελεσματικό προστατευτικό φράγμα, επιβραδύνοντας τη μεταφορά θερμότητας στην υποκείμενη δομή και δίνοντας περισσότερο χρόνο στους ενοίκους και τους πυροσβέστες να αντιδράσουν. Ο γύψος, που περιέχει χημικά δεσμευμένο νερό, προσφέρει επίσης πυροπροστασία. Κατά την έκθεση σε φωτιά, το νερό εξατμίζεται, απορροφώντας θερμότητα και λειτουργώντας ως θερμομονωτικό φράγμα. Οι γυψοσανίδες παραμένουν θερμομονωτικές ακόμα και μετά την εξάτμιση του νερού, περιορίζοντας την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Τέλος, τα ενδοσκληρυντικά υλικά διαστέλλονται όταν εκτίθενται σε θερμότητα, σχηματίζοντας ένα προστατευτικό στρώμα που μειώνει τη θερμική αγωγιμότητα. Χρησιμοποιούνται ως χρώματα ή επιστρώσεις για την παροχή πυροπροστασίας, μειώνοντας τη μεταφορά θερμότητας και προστατεύοντας τις δομές από ζημιές λόγω θερμότητας (Mróz, 2016).

Για να αντιμετωπιστεί η αυξημένης ενεργειακή ζήτηση λόγω της κλιματικής αλλαγής, είναι απαραίτητη η εφαρμογή μεθόδων μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Οι τεχνολογίες ψύξης κτηρίων διακρίνονται σε παθητικές και ενεργητικές στρατηγικές, με τις παθητικές να μην απαιτούν μηχανικές συσκευές που καταναλώνουν ενέργεια και να στηρίζονται στην εκμετάλλευση του τοπικού κλίματος για την επίτευξη άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας (Hughes, 2011). Η παθητική ψύξη χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τον ήλιο και τον άνεμο, για την ψύξη, τον αερισμό και τον φωτισμό των κτηρίων, μειώνοντας την ανάγκη για μηχανική ψύξη. Αυτό οδηγεί σε βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, δημιουργία πιο άνετου περιβάλλοντος και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το ενδιαφέρον για παθητικό σχεδιασμό έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, ως μέρος της στροφής προς τη βιώσιμη αρχιτεκτονική. Μια σημαντική πτυχή της παθητικής ψύξης είναι η μείωση των θερμικών φορτίων που δέχεται το κτήριο, μέσω της βελτιωμένης μόνωσης και της χρήσης προεξοχών για σκίαση (Al-Homoud, 2004). Η βελτιωμένη μόνωση συμβάλλει στη σταθερότητα της εσωτερικής θερμοκρασίας, ενώ οι προεξοχές μειώνουν τα ηλιακά θερμικά κέρδη (Shahee, 2024). Ο φυσικός νυχτερινός αερισμός είναι επίσης αποτελεσματική τεχνική για τη μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας, εκμεταλλευόμενος τις φυσικές δυνάμεις για την κυκλοφορία του αέρα (Hughes, 2011). Η σωστή χρήση συσκευών και η εφαρμογή τεχνολογιών όπως οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες μπορούν να περιορίσουν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη (Hughes, 2011). Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ και οι μικρές κλίμακας ανεμογεννήτριες, μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου και να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων (Reddy, Jagadeeswara, 2024). Επιπλέον, συστήματα όπως οι αντλίες θερμότητας εδάφους και η θέρμανση με βιομάζα προσφέρουν βιώσιμες λύσεις για τη θέρμανση και την ψύξη των κτηρίων (Reddy, Jagadeeswara, 2024). Η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και η εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση ενέργειας και να εξασφαλίσουν συνεχή παροχή ενέργειας (Wu, Wei, Skye, 2021). Η επιτυχία αυτών των τεχνολογιών ενισχύεται από υποστηρικτικές πολιτικές και οικονομικά κίνητρα, που μπορούν να καταστήσουν τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πιο οικονομικά βιώσιμα και να ενθαρρύνουν την ευρύτερη υιοθέτησή τους (Hafez, Fatma, 2013).

Όσο αναφορά την αντιμετώπιση των επιπτώσεων που προκαλούνται λόγω της κλιματικής αλλαγής στα μνημεία, είναι απαραίτητη η εφαρμογή καινοτόμων μεθόδων και στρατηγικών που θα εξασφαλίσουν την προστασία και τη διατήρηση αυτών των πολύτιμων πολιτιστικών θησαυρών για τις μελλοντικές γενιές. Η μείωση των επιπτώσεων περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει την αξιολόγηση, τη διατήρηση, την προσαρμογή και τη συμμετοχή της κοινότητας. Η αξιολόγηση και η παρακολούθηση κινδύνων είναι καίριες. Απαιτείται λεπτομερής αξιολόγηση για την κατανόηση των συγκεκριμένων τρωτών σημείων κάθε μνημείου σε κινδύνους που σχετίζονται με το κλίμα. Επίσης, η εφαρμογή προγραμμάτων τακτικής παρακολούθησης με τη χρήση αισθητήρων και άλλων τεχνολογιών είναι σημαντική για την παρακολούθηση των αλλαγών στις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη φυσική κατάσταση των κατασκευών (Kyriakou, Panoskaltsis, 2022). Η προληπτική συντήρηση είναι επίσης κρίσιμη. Η καθιέρωση και διατήρηση αυστηρών προγραμμάτων προληπτικής συντήρησης για την αντιμετώπιση μικρών ζητημάτων πριν αυτά γίνουν μεγάλα προβλήματα, και η χρήση ανθεκτικών στο κλίμα υλικών και τεχνικών σε έργα αποκατάστασης, είναι απαραίτητα μέτρα. Επιπλέον, η δημιουργία ζωνών προστασίας γύρω από τα μνημεία για την προστασία τους από περιβαλλοντικές απειλές είναι ουσιαστική. Η ετοιμότητα και η αντιμετώπιση καταστροφών παίζουν καθοριστικό ρόλο (Stagrum, Eknes, 2020). Η ανάπτυξη και εφαρμογή σχεδίων ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης ειδικά για κάθε χώρο πολιτιστικής κληρονομιάς, καθώς και η τακτική εκπαίδευση του προσωπικού και των εθελοντών, είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση της ετοιμότητας (Stagrum, Eknes, 2020). Η υποστήριξη και η

εφαρμογή ρυθμιστικών πλαισίων που αναγνωρίζουν και αντιμετωπίζουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς και η εξασφάλιση χρηματοδότησης και η δημιουργία οικονομικών κινήτρων για τη διατήρηση και προσαρμογή των μνημείων, είναι επίσης απαραίτητα (Hambrecht, Rockman, 2017). Η έρευνα και η καινοτομία απαιτούν συνεχή συμμετοχή σε διεπιστημονική έρευνα για την ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών για τη διατήρηση των μνημείων υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες (Stagrum, Eknes, 2020). Η κοινοτική δέσμευση και η εκπαίδευση του κοινού σχετικά με τη σημασία της πολιτιστικής κληρονομιάς και τις απειλές της κλιματικής αλλαγής είναι ζωτικής σημασίας. Η εμπλοκή των τοπικών κοινοτήτων στις προσπάθειες διατήρησης ενισχύει την αίσθηση διαχείρισης και ευθύνης. Ο αειφόρος τουρισμός και οι πρακτικές βιώσιμου τουρισμού που ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι καίριες για τη μείωση της φθοράς των μνημείων. Τέλος, η χρήση πράσινων υποδομών και βιώσιμων πρακτικών διαμόρφωσης του τοπίου γύρω από τα μνημεία, καθώς και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή (Sesana, 2019).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aebischer, Bernard, et al. *Impact of Climate Change on Thermal Comfort, Heating and Cooling Energy Demand in Europe the Late George Henderson*. 2007.
- Alyami, Mana. "The Impact of the Composition and Location of Thermal Insulation in the Building Envelope on Energy Consumption in Low-Rise Residential Buildings in Hot Climate Regions." *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1 Nov. 2023, <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08366-8>.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). *Handbook of Fundamentals*, Atlanta, GA, USA, 2001 [Chapter 23].
- Andreou, Andreas, et al. "Decomposing the Drivers of Residential Space Cooling Energy Consumption in EU-28 Countries Using a Panel Data Approach." *Energy and Built Environment*, vol. 1, no. 4, Oct. 2020, pp. 432–442, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.03.005>.
- Arash Shahee, et al. "Reducing the Energy Consumption of Buildings by Implementing Insulation Scenarios and Using Renewable Energies." *Energy Informatics*, vol. 7, no. 1, 11 Mar. 2024, <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00311-9>.
- Barredo, José I. "Major Flood Disasters in Europe: 1950–2005." *Natural Hazards*, vol. 42, no. 1, 29 Nov. 2006, pp. 125–148, <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9065-2>.
- Beddoes, David W., and Colin A. Booth. "Property Level Flood Adaptation Measures: A Novel Approach." *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 1, no. 2, 3 Aug. 2011, pp. 162–181, <https://doi.org/10.2495/safe-v1-n2-162-181>.
- Ben Richard Hughes a et al. (2011) *A review of sustainable cooling technologies in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111001390#sec0010> (Accessed: 20 May 2024).
- Center for Climate and Energy Solutions. "Wildfires and Climate Change." *Center for Climate and Energy Solutions*, 26 Nov. 2018, [www.c2es.org/content/wildfires-and-climate-change/](http://www.c2es.org/content/wildfires-and-climate-change/).
- Civilprotection. "Δασικές Πυρκαγιές | Υπουργείο Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας." [civilprotection.gov.gr](http://civilprotection.gov.gr), 2023, [civilprotection.gov.gr/odigies-prostasias/dasikes-pyrkagies](http://civilprotection.gov.gr/odigies-prostasias/dasikes-pyrkagies).
- Copernicus. "Copernicus: May 2024, Streak of Global Records for Surface Air and Ocean Temperatures Continues | Copernicus." [Climate.copernicus.eu](http://climate.copernicus.eu), 6 June 2024, [climate.copernicus.eu/copernicus-may-2024-streak-global-records-surface-air-and-ocean-temperatures-continues](http://climate.copernicus.eu/copernicus-may-2024-streak-global-records-surface-air-and-ocean-temperatures-continues). Accessed 8 June 2024.

- dasarxeio. "Απολογισμός πυρκαγιών 2019." *Dasarxeio.com*, 6 Oct. 2019, [dasarxeio.com/2019/10/06/71673/](https://dasarxeio.com/2019/10/06/71673/) . Accessed 13 Mar. 2024.
- dasarxeio. "Απολογισμός πυρκαγιών κατά την τρέχουσα αντιπυρική περίοδο." *Dasarxeio.com*, 27 Aug. 2021, [dasarxeio.com/2021/08/27/101205/](https://dasarxeio.com/2021/08/27/101205/). Accessed 23 Mar. 2024.
- dasarxeio. "Απολογισμός πυρκαγιών, έτους 2020." *Dasarxeio.com*, 7 Oct. 2020, [dasarxeio.com/2020/10/07/87269/](https://dasarxeio.com/2020/10/07/87269/). Accessed 13 Mar. 2024.
- Dr. Jeff Masters. "5th Deadliest Wildfire Globally in Past 100 Years: 87 Dead from Monday's Greek Fires." *Www.wunderground.com*, 27 July 2018, [www.wunderground.com/cat6/5th-Deadliest-Wildfire-Globally-Past-100-Years-Greeces-87-Deaths-Mondays-Fires](http://www.wunderground.com/cat6/5th-Deadliest-Wildfire-Globally-Past-100-Years-Greeces-87-Deaths-Mondays-Fires).
- Dr. Mohammad S. Al-Homoud et al. (2004) Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials, *Building and Environment*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132304001878> (Accessed: 20 May 2024).
- ERMIS. "Χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας." *ERMIS - F*, 2020, [ermis-f.eu/newsletter-1st-issue/flood-hazard-maps/](http://ermis-f.eu/newsletter-1st-issue/flood-hazard-maps/) . Accessed 5 Apr. 2024.
- Eurostat. "Heating of Buildings Decreasing, Cooling Increasing." *Ec.europa.eu*, 31 May 2022, [ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220531-1](http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220531-1). Accessed 28 Feb. 2024.
- Guardian graphic. Source: European Forest Fire Information System (Effis)
- Hafez, Fatma S., et al. "Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research." *Energy Strategy Reviews*, vol. 45, no. 101013, Jan. 2023, p. 101013, [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X22002073](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X22002073), <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013>.
- Hambrecht, George, and Marcy Rockman. "INTERNATIONAL APPROACHES to CLIMATE CHANGE and CULTURAL HERITAGE." *American Antiquity*, vol. 82, no. 4, 7 Aug. 2017, pp. 627–641, <https://doi.org/10.1017/aaq.2017.30>.
- Hans de Moel, et al. "Evaluating the Effect of Flood Damage-Reducing Measures: A Case Study of the Unembanked Area of Rotterdam, the Netherlands." *Regional Environmental Change*, vol. Volume 14, 19 Feb. 2013, p. pages 895–908, <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0420-z>. Accessed 11 May 2020.
- Kundzewicz, Zbigniew W., et al. "River Floods in the Changing Climate—Observations and Projections." *Water Resources Management*, vol. 24, no. 11, 14 Jan. 2010, pp. 2633–2646, <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9571-6>.

- Kyriakou, V. and Panoskaltsis, V.P. (2022) Constructing sustainable shelters to safeguard monuments from climate change, MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2673-4931/15/1/42> (Accessed: 29 May 2024).
- Loewenstein, K.L. (1973). *The Manufacturing Technology of Continuous Glass Fibers*. New York: Elsevier Scientific. pp. 2–94.
- NASA. “Evidence.” Science.nasa.gov, NASA, 2024, science.nasa.gov/climate-change/evidence/.
- Proverbs, David, and Jessica Lamond. “Flood Resilient Construction and Adaptation of Buildings.” *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, 19 Dec. 2017, <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.111>.
- Reddy, Vennapusa Jagadeeswara, et al. “Pathway to Sustainability: An Overview of Renewable Energy Integration in Building Systems.” *Sustainability*, vol. 16, no. 2, 1 Jan. 2024, p. 638, [www.mdpi.com/2071-1050/16/2/638](https://doi.org/10.3390/su16020638), <https://doi.org/10.3390/su16020638>.
- Rezaie, Behnaz, et al. “Renewable Energy Options for Buildings: Case Studies.” *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 1, Jan. 2011, pp. 56–65, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.013>.
- Sesana, Elena, et al. “Mitigating Climate Change in the Cultural Built Heritage Sector.” *Climate*, vol. 7, no. 7, 11 July 2019, p. 90, <https://doi.org/10.3390/cli7070090>.
- Smith, Helena. ““In My Nightmares I’m Always in the Sea”: A Year on from the Greek Fires.” *The Guardian*, 20 July 2019, [www.theguardian.com/world/2019/jul/20/greek-fires-one-year-on-103-dead-survivors-and-rescuers-look-back](https://www.theguardian.com/world/2019/jul/20/greek-fires-one-year-on-103-dead-survivors-and-rescuers-look-back).
- Stagrum, Anna Eknes, et al. “Climate Change Adaptation Measures for Buildings—a Scoping Review.” *Sustainability*, vol. 12, no. 5, 25 Feb. 2020, p. 1721, <https://doi.org/10.3390/su12051721>.
- Troboukis, Athanasios. “Η Ελλάδα καίγεται και τον χειμώνα.” *IMeDD Lab*, 10 Dec. 2020, [lab.imedd.org/oi-dasikes-pyrkagies-tou-2019/](https://lab.imedd.org/oi-dasikes-pyrkagies-tou-2019/). Accessed 13 Mar. 2024.
- Troboukis, Athanasios. “Η μεθοδολογία για τον γεωεντοπισμό των πυρκαγιών.” *IMeDD Lab*, 10 Dec. 2020, [lab.imedd.org/i-methodologia-gia-ton-geoentopismo-to/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR0b1Oq7L38zy-3ldNn5UjMEBrrLloPEQkgNXtlvScnbA3lko2zuztQeqCk\\_aem\\_AeeMptguaTPKhMxbM-nC849ZkCRoueEgpYyUWcnmb4l-wbjGOjb0VAND-V5pjEGRfpwtUlyBvob1Ykp5CYCnniUa](https://lab.imedd.org/i-methodologia-gia-ton-geoentopismo-to/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR0b1Oq7L38zy-3ldNn5UjMEBrrLloPEQkgNXtlvScnbA3lko2zuztQeqCk_aem_AeeMptguaTPKhMxbM-nC849ZkCRoueEgpYyUWcnmb4l-wbjGOjb0VAND-V5pjEGRfpwtUlyBvob1Ykp5CYCnniUa) . Accessed 9 June 2024.
- UCAR Center for Science Education. “The Greenhouse Effect.” *Scied.ucar.edu*, UCAR, 2021, [scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/greenhouse-effect](https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/greenhouse-effect).

UNESCO. *Climate Change and World Heritage Report on Predicting and Managing the Impacts of Climate Change on World Heritage and Strategy to Assist States Parties to Implement Appropriate Management Responses* 22. May 2007.

United Nations. "Biodiversity - Our Strongest Natural Defense against Climate Change." United Nations, 2022, [www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/biodiversity](http://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/biodiversity).

Wu, Wei, and Harrison M. Skye. "Residential Net-Zero Energy Buildings: Review and Perspective." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 142, May 2021, p. 110859, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110859>.

Περιφέρεια Αττικής. "Ημερήσιος Χάρτης Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς." Περιφέρεια Αττικής, 28 May 2019, [www.patt.gov.gr/koinonia/politiki\\_prostasia/odigies\\_prostasias/imerisios-xartis-provlepsi-kindynou-pyrkagias-2/](http://www.patt.gov.gr/koinonia/politiki_prostasia/odigies_prostasias/imerisios-xartis-provlepsi-kindynou-pyrkagias-2/). Accessed 5 Apr. 2024.

Πυροσβεστικό σώμα Ελλάδος. "Ημερίδα για τον απολογισμό της αντιπυρικής περιόδου έτους 2021 - Νέα - Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος." *Fireservice.gr*, 2021, [www.fireservice.gr/el\\_GR/-/emerida-gia-ton-apologismo-tes-antipyrikes-periodou-etous-2021](http://www.fireservice.gr/el_GR/-/emerida-gia-ton-apologismo-tes-antipyrikes-periodou-etous-2021).