



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΚΑΥΣΩΝΑ ΤΟΥ 2019 ΣΤΑ ΜΕΓΑΛΑ
ΑΣΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΧΩΡΟΥ:
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΥΣΩΝΑ
EHF (Excess Heat Factor)**

ΜΑΡΙΑ Ο. ΒΟΥΔΟΥΡΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020



*Στο κλείσιμο ενός επιμορφωτικού
και υπέροχου κύκλου σπουδών
και στο άνοιγμα ενός νέου κύκλου ζωής*



Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	1
Περίληψη	3
Abstract	4
1. Εισαγωγή	5
1.1 Ορισμός του καύσωνα και οι δυσμενείς επιπτώσεις του	5
1.2 Χαρακτηριστικά καυσόνων στην Ευρώπη	11
1.3 Ο καύσωνα του 2019 στην Ευρώπη	15
1.4 Η χρήση του δείκτη Excess Heat Factor στη μελέτη των καυσόνων	17
1.5 Σκοπός της εργασίας.....	19
2. Δεδομένα και Μεθοδολογία	20
2.1 Δεδομένα	20
2.2 Περιοχή μελέτης	20
2.3 Μεθοδολογία	21
2.3.1 Ακραίοι θερμοκρασιακοί δείκτες	21
2.3.2 Δείκτης Excess Heat Factor.....	22
3. Αποτελέσματα	25
3.1 Βασικά κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης	25
3.2 Μέγιστη T _{max} της θερμής περιόδου κατ' έτος	28
3.3 T _{Xx} ανά μήνα της θερμής περιόδου	34
3.4 T _{X95p} της θερμής περιόδου κατ' έτος	39
3.5 Μέγιστη T _{min} της θερμής περιόδου κατ' έτος	44
3.6 T _{Nx} ανά μήνα της θερμής περιόδου	49
3.7 T _{N95p} της θερμής περιόδου κατ' έτος	54
3.8 Μέγιστη T _{mean} της θερμής περιόδου κατ' έτος	58
3.9 T _{Gx} ανά μήνα της θερμής περιόδου	63
3.10 T _{G95p} της θερμής περιόδου κατ' έτος	68
3.11 Αριθμός ακολουθιών ημερών καύσωνα της θερμής περιόδου	73
3.12 Δείκτης Hot Days (1961-2019)	75
3.13 Μελέτη του καύσωνα κατά το καλοκαίρι του 2019 μέσω χρήσης του δείκτη EHF	76
4. Συμπεράσματα	125



Βιβλιογραφία	134
Διαδικτυακές πηγές	142



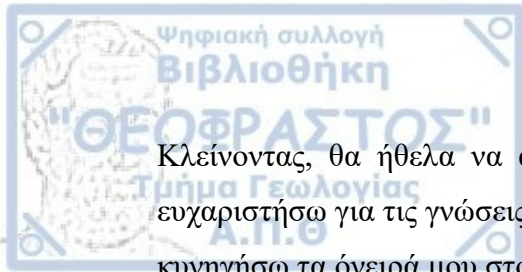
Η παρούσα διατριβή με τίτλο «Μελέτη του καύσωνα του 2019 στα μεγάλα αστικά κέντρα του Ευρωπαϊκού χώρου: εφαρμογή του σύγχρονου δείκτη καύσωνα EHF (Excess Heat Factor)» εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον» του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Κωνσταντία Τολίκα, αναπληρώτρια καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ, για τη συνεχή στήριξή της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου. Επίσης, δε θα μπορούσα να μην αναφέρω πως η ίδια με παρότρυνε να ακολουθήσω αυτό το πρόγραμμα σπουδών, πιστεύοντας από την αρχή στην επιτυχία μου και δίνοντάς μου την απαραίτητη ώθηση για να εκπληρωθεί αυτός ο στόχος. Ήταν ο άνθρωπος που επέβλεψε τις εργασίες μου από την αρχή των προπτυχιακών έως το τέλος των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα δύο μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, κα Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, αναπληρώτρια καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ και κο Κωνσταντίνο Λαγουβάρδο, Ερευνητή Α' του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης για το χρόνο που διέθεσαν διαβάζοντας την εργασία μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου που στήριξαν έμπρακτα τα όνειρά μου όλα αυτά τα χρόνια και που δεν σταμάτησαν ποτέ να με νουθετούν και να με καθοδηγούν. Ιδιαίτέρως, ευχαριστώ τη μητέρα μου που μου συμπαραστάθηκε κατά τη διαδικασία εκπόνησης της εργασίας μου και που δέχτηκε μετά χαράς να τη διαβάσει και να παρέμβει όπου έκρινε η ίδια απαραίτητο.

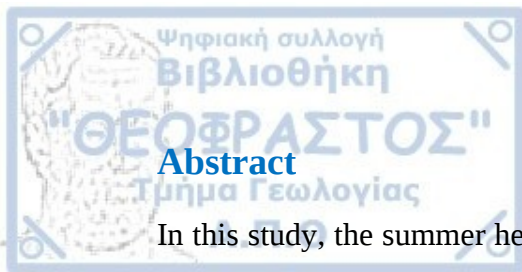
Δε θα μπορούσα να μην αναφερθώ στους συναδέλφους και φίλους μου πλέον που συμπορευτήκαμε σε αυτό το μεγάλο ταξίδι, το οποίο χωρίς αυτούς δε θα ήταν το ίδιο. Τους εύχομαι μέσα από την καρδιά μου ένα λαμπρό μέλλον και όλοι τους οι στόχοι και τα όνειρα να πραγματοποιηθούν. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το φίλο μου Ερρίκο Μανιό που ήταν και εξακολουθεί να είναι ένα άτομο που δεν σταμάτησε να στηρίζει κάθε μου προσπάθεια σε οτιδήποτε έχω επιλέξει να κάνω.



Κλείνοντας, θα ήθελα να αποχαιρετήσω όλους τους καθηγητές μου και να τους ευχαριστήσω για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν, οι οποίες αποτελούν το όπλο για να κυνηγήσω τα όνειρά μου στο νέο κύκλο ζωής που ανοίγεται μπροστά μου.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια ανίχνευσης και στατιστικής ανάλυσης του θερινού καύσωνα του 2019 σε 20 Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα μέσω εφαρμογής του σύγχρονου δείκτη καύσωνα Excess Heat Factor (EHF). Κύριος στόχος είναι η συσχέτιση των χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου καύσωνα με τις δυσμενείς επιπτώσεις που τυχόν προξένησε στον άνθρωπο. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας από το 1961 έως το 2019 και των 20 πρωτευουσών από τη βάση δεδομένων του European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). Αρχικά γίνεται προσπάθεια ορισμού του φαινομένου του καύσωνα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα στοιχειώδη χαρακτηριστικά των καυσώνων στην Ευρώπη και του καύσωνα του 2019, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται ο υπό μελέτη δείκτης στον εντοπισμό τους. Επιπλέον, περιγράφονται αναλυτικά οι ακραίοι δείκτες θερμοκρασίας που υπολογίστηκαν και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων οπτικοποιούνται μέσω διαγραμμάτων και πινάκων. Επιπροσθέτως, παρατίθενται βασικά κλιματικά χαρακτηριστικά των περιοχών μελέτης. Τέλος, αφού εφαρμόστηκε ο δείκτης EHF, σημειώνονται τα επεισόδια του καύσωνα του 2019 για κάθε καλοκαιρινό μήνα σε κάθε μία από τις Ευρωπαϊκές πρωτεύουσες. Μέσω χρήσης του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl), διερευνάται και αναλύεται ο υπό εξέταση καύσωνας όχι μόνο από στατιστικής πλευράς, αλλά επίσης μελετάται η επίδραση ή όχι που είχε στον ίδιο τον άνθρωπο και στην υγεία του.



Abstract

In this study, the summer heat wave of 2019 is detected and analyzed in 20 European capital cities using the updated heatwave index Excess Heat Factor (EHF). The main scope of the study has been the combination of the characteristics of this heat wave and the adverse effects that the humans may be influenced by. For this purpose, daily maximum, minimum and mean temperature data was utilized for the time period from 1961 to 2019 for 20 European capital cities. This data was taken from the European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) database. Initially, an attempt is made to define this extreme phenomenon. Moreover, the main characteristics of heat waves in general and more specifically of 2019 heat wave in Europe are presented as well as how the EHF index is used in their detection. In addition, the calculated extreme temperature indices are analyzed in detail and are visualized through diagrams and tables in the result chapter. Furthermore, the basic climatic characteristics of the research regions are given. Finally, the episodes of the heatwave of 2019 for each summer month in each of the European capitals are noted after the application of the EHF index. Using the EHI acclimatization index, the 2019 heat wave is investigated and analyzed not only from a statistical point of view, but also its possible adverse effects on people and their health.

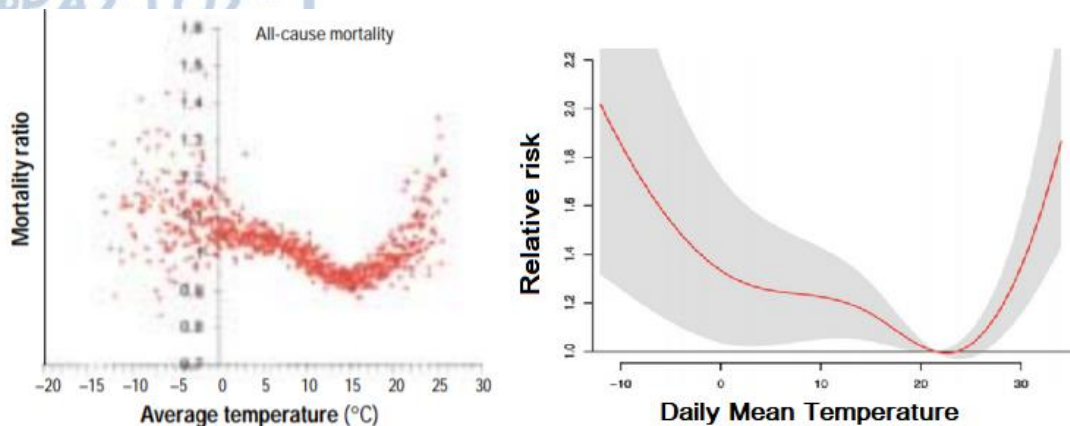
1. Εισαγωγή

1.1 Ορισμός του καύσωνα και οι δυσμενείς επιπτώσεις του

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει πως η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί (Smith et al., 2013). Τα δυναμικά μοντέλα δείχνουν αύξηση της έντασης, της συχνότητας εμφάνισης και της διάρκειας ακραίων θερμοκρασιών τον επόμενο αιώνα (Perkins et al., 2013). Συνεπώς, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας έχει στραφεί προς τη μελέτη της συχνότητας εμφάνισης των ακραίων θερμοκρασιών, καθώς και τις επιβλαβείς επιπτώσεις τους στην κοινωνία και το περιβάλλον (Smith et al., 2013). Οι καύσωνες προκαλούν ανυπολόγιστες καταστροφές στην ανθρώπινη υγεία, τα έμβια όντα λόγω αύξησης απαιτήσεων για νερό (McKechnie et al., 2010), τις υποδομές, την κοινωνία, την οικονομία και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη βιομηχανία ενέργειας, τη γεωργία, το οικοσύστημα, τους υδάτινους πόρους, τη δασοκομία και περιβαλλοντικούς κινδύνους όπως είναι οι πυρκαγιές. Παραδείγματα των επιπτώσεων των καυσώνων στη ανθρώπινη υγεία αποτελούν οι θάνατοι, το θερμικό σοκ, η θερμοπληξία, τα χρόνια καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα, τα οξέα εγκεφαλοαγγειακά ατυχήματα, οι πνιγμοί και η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, η νεφρική ανεπάρκεια, η υπερθερμία, η θρομβογένεση, οι ισχαιμικές καρδιακές παθήσεις, η εξάντληση και οι κράμπες λόγω ζέστης και η χρόνια αποφρακτική πνευμονική νόσος (Chen et al., 2015, Lubber et al., 2008). Πιο δυσμενείς είναι οι επιδράσεις των καυσώνων στις μεγάλες πόλεις λόγω του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Ως ευπαθείς και ευάλωτες ομάδες χαρακτηρίζονται οι υπερήλικες και οι πολύ νέοι άνθρωποι, οι γυναίκες και οι άνθρωποι με χαμηλό μορφωτικό επίπεδο (Piticar et al., 2018, Chen et al., 2015, Ostro et al., 2006, Lubber et al., 2008). Το χαμηλό επίπεδο μόρφωσης συνεπάγεται την έλλειψη ενημέρωσης σχετικά με την επικινδυνότητα ενός φαινομένου όπως ο καύσωνας και αδυναμία στον τρόπο αντιμετώπισης των δυσμενών του επιπτώσεων. Συνεπώς καθίσταται δύσκολη η λήψη αποφάσεων, η πρόληψη και η διαχείριση των πιθανών προβλημάτων υγείας που προκύπτουν. Μία σημαντική παράμετρος που αναφέρεται συχνά στις έρευνες είναι η επιπρόσθετη επίδραση του καύσωνα. Πρόκειται για την επιπρόσθετη επικινδυνότητα που συναντάται λόγω της εμμονής των ακραίων θερμοκρασιών για πολλές συνεχόμενες ημέρες. Η

επικινδυνότητα αυτή είναι μικρή και αυξάνεται με την αύξηση στην τιμή του κατώφλιού (Song et al., 2018).

Οι καύσωνες προκαλούν μεγάλο ποσοστό θανάτων παγκοσμίως σε μικρή χρονική περίοδο (Pirard, 2003). Μία μέθοδος συσχέτισης της θνησιμότητας λόγω ασθενειών που προκαλούνται από υπερβολική ζέστη με τα επεισόδια καυσώνων είναι η δημιουργία διαγραμμάτων, στα οποία συνυπάρχουν η πορεία του δείκτη Excess Heat Factor και ο αριθμός των θανάτων λόγω καυσώνων (Langlois et al., 2013). Σύμφωνα με τους Tong et al. (2010), η θνησιμότητα παρουσιάζει αυξητικές τάσεις για 10 ορισμούς του καύσωνα. Για κάθε ένα από τους 10 ορισμούς, χρησιμοποιείται διαφορετικό κατώφλι θερμοκρασιών. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματά τους, οι Tong et al. (2010) αποδεικνύουν πως όσο μεγαλύτερο είναι το κατώφλι θερμοκρασιών που χρησιμοποιείται στον ορισμό ενός καύσωνα, όπως το 99^ο ποσοστημόριο, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο κίνδυνος θνησιμότητας. Η διάρκειά τους δε μεταβάλλει τις επιδράσεις τους, όπως συμβαίνει με την έντασή τους. Οι επιδράσεις τους διαρκούν 3-4 ημέρες και είναι εμφανέστερες στα σχετικά δροσερά παρά στα ψυχρά και θερμά κλίματα (Guo et al., 2017). Τα μεγάλα ποσοστά θνησιμότητας που οφείλονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ασκούν σημαντικές πιέσεις στον ιατρικό τομέα όσον αφορά τη διαθεσιμότητα ιατρικού προσωπικού, τις ιατρικές εγκαταστάσεις και τους ιατρικούς πόρους. Τα ποσοστά αυτά θα ήταν αναμενόμενο να διατηρούνται σε παρατεταμένες περιόδους με υψηλές μέσες και μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες. Όμως η σχέση αυτών των δύο χαρακτηριστικών αποδεικνύεται πολύπλοκη και συνήθως είναι τύπου V. Πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες που προκύπτουν από τα διαγράμματα της μέσης ή μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας στο χ' άξονα και του ρυθμού θνησιμότητας στον γ' άξονα, προσομοιάζονται με το λατινικό γράμμα V (Εικόνα 1). Το κατώτερο σημείο της καμπύλης αντιστοιχεί στη βέλτιστη τιμή της θερμοκρασίας, όπου ο ρυθμός θνησιμότητας είναι ο ελάχιστος. Παρομοίως, η σχέση της φαινόμενης θερμοκρασίας T_a (θερμοκρασία+ υγρασία) και του αριθμού επειγόντων περιστατικών είναι τύπου U (Εικόνα 1) (Huynen et al., 2001, Song et al., 2018). Η συνεχής έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσει σε εγκλιματισμό και προσαρμογή από τον άνθρωπο, αλλά οι απότομες και διατηρούμενες αυξήσεις της θερμοκρασίας, καταλήγουν σε ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά θνησιμότητας (Langlois et al., 2013).



Εικόνα 1: Διαγράμματα μέσης θερμοκρασίας-ποσοστών θνησιμότητας (αριστερό σχήμα) και φαινόμενης θερμοκρασίας-αριθμού επειγόντων περιστατικών (δεξί σχήμα)

Σαφής και επίσημος ορισμός για τους καύσωνες δεν υπάρχει. Οι ορισμοί που έχουν δοθεί ποικίλλουν και εξαρτώνται από τους σκοπούς της κάθε μελέτης και από την τοπική κλιματολογία της περιοχής, λόγω διαφορετικότητας από περιοχή σε περιοχή. Για να περιγραφεί ένα επεισόδιο καύσωνα είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν η συχνότητα, η ένταση και η σφοδρότητά του (Bitencourt et al., 2020). Προς αποφυγή ασαφειών, λαμβάνονται υπόψη δείκτες που συνδέουν περισσότερες από μία μεταβλητές. Επιπροσθέτως, οι καύσωνες μετρώνται με απόλυτες και σχετικές προσεγγίσεις ή με συνδυασμό των δύο. Ευρεία είναι η χρήση συγκεκριμένων κατωφλίων θερμοκρασιών, με συνηθέστερη αυτή των ποσοστημορίων, τα οποία πρέπει να υπερβαίνονται. Για την ενδελεχή μελέτη τους χρησιμοποιούνται διαφορετικοί δείκτες, οι οποίοι οδηγούν σε διαφορετικές εκτιμήσεις των δυσμενών τους επιπτώσεων. Η μη χρήση κοινού δείκτη είναι πιθανόν να προκαλεί σύγχυση.

Συνολικά, οι διάφοροι ορισμοί που υπάρχουν για τους καύσωνες διαφοροποιούνται στα εξής χαρακτηριστικά (Smith et al., 2013):

1. Στον τρόπο με τον οποίο ορίζονται τα κατώφλια θερμοκρασίας και υγρασίας
2. Στην παράμετρο που χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης (ημερήσιες μέγιστες, ελάχιστες και μέσες θερμοκρασίες, υγρασία, κλπ.)
3. Στον καθορισμό της διάρκειας του καύσωνα

4. Στους λόγους για τους οποίους μελετώνται οι καύσωνες. Οι ερευνητές υγείας, σε αντίθεση με τους κλιματολόγους, εστιάζουν στον αντίκτυπο που έχουν τα ακραία αυτά φαινόμενα στην ανθρώπινη ευημερία.

Από την επιστημονική κοινότητα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω ποιοτικοί και ποσοτικοί ορισμοί για τους καύσωνες:

- Για τουλάχιστον 6 συνεχόμενες ημέρες οι ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 °C υψηλότερες από τις μέσες μέγιστες της περιόδου 1961-1990 (World Meteorological Organization (WMO)).
- Οποιαδήποτε θερμή ακολουθία που συμβαίνει κατά τη θερμή περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος). Ως θερμή ακολουθία ορίζεται ο αριθμός των ημερών όπου η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από το 90^ο ποσοστημόριο των ημερησίων μεγίστων θερμοκρασιών για τουλάχιστον 6 ημέρες (WMO, Zittis et al., 2016).
- Περίοδος τουλάχιστον 5 συνεχόμενων ημερών με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες τουλάχιστον 5 °C υψηλότερες από τις μέσες μέγιστες της περιόδου 1961-1990 (Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC))
- Περίοδος τουλάχιστον 5 συνεχόμενων ημερών με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες ≥ 25 °C (National Weather Service)
- Περίοδος 2 συνεχόμενων ημερών όπου ο δείκτης Heat Index (ή φαινόμενη θερμοκρασία T_a (θερμοκρασία & υγρασία)) είναι μεγαλύτερος ή ίσος των 40.6 °C την ημέρα και μεγαλύτερος ή ίσος των 26.7 °C κατά τη νύχτα. Τότε ενεργοποιείται και το σύστημα προειδοποίησης (National Weather Service). Σύμφωνα με αυτό το σύστημα προειδοποίησης τα γεγονότα ταξινομούνται σε no alarm, warm spells, hot spells και καύσωνες με αυξανόμενη την ένταση του φαινομένου (Robinson, 2001).
- Περίοδος τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες $\geq 90^{\text{ου}}$ ποσοστημορίου της κλιματολογίας της καλοκαιρινής περιόδου μιας περιοχής (Beniston, 2004)
- Περίοδος τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες $\geq 95^{\text{ου}}$ ποσοστημορίου (Gosling et al., 2007)

- Για την Αυστραλία: Επίτευξη ελάχιστης ακολουθίας διαδοχικών ημερών όπου η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία φτάνει ένα προκαθορισμένο κατώφλι (Nairn et al., 2009)
- Ποιοτικός ορισμός: Περίοδος ακραίας και ασυνήθιστης θέρμανσης (Smith et al., 2013)
- Περίοδος συνεχόμενων ημερών με συνθήκες υπερβολικά και αισθητά θερμότερες από τις φυσιολογικές (Perkins et al., 2013).
- Περίοδος τουλάχιστον 6 συνεχόμενων ημερών όπου ξεπερνιέται το 90° ποσοστημόριο των ημερησίων μεγίστων θερμοκρασιών (Perkins et al., 2013)
- Περίοδος υπερβολικής θέρμανσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με το δείκτη $Excess\ Heat\ Factor > 0$ για τουλάχιστον 3 ημέρες. Κατά τη χειμερινή περίοδο συναντώνται οι θερμές ακολουθίες (Tolika, 2019).
- Αναφορά στο χειρότερο ετήσιο θερμό γεγονός με τουλάχιστον 3 συνεχόμενες νύχτες χωρίς ανακούφιση από τις υψηλές ελάχιστες νυχτερινές θερμοκρασίες (Meehl et al., 2004)
- Περίοδος όπου η φαινόμενη θερμοκρασία T_a υπερβαίνει το 95° ποσοστημόριο. Η έναρξη του καύσωνα σηματοδοτείται από την αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά 2 °C σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα (Tomczyk et al., 2016).
- Περίοδοι τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών κατά τη διάρκεια των οποίων η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη ή ίση των 30 °C (Kysley, 2004).
- Καλοκαιρινές περίοδοι τουλάχιστον 3 ημερών όπου η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τον εποχικό κύκλο κατά τουλάχιστον 6 °C (Kysley, 2004).
- Προσέγγιση του Stedman το 1979: Παρατεταμένη περίοδος εξαιρετικά θερμών συνθηκών που διαρκεί τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες και συνδυάζει υψηλές τιμές φαινόμενης θερμοκρασίας (Deo et al., 2007)
- Για την Ινδία: 1) Ως φυσιολογική θερμοκρασία θεωρείται μία ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία $> 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Θα πρέπει λοιπόν η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία $\geq 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ δηλαδή 3-4 °C μεγαλύτερη από τη φυσιολογική θερμοκρασία (Σοβαρός καύσωνας). 2) Ως φυσιολογική θερμοκρασία θεωρείται μία ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία $\leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η ημερήσια

μέγιστη θερμοκρασία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη 5-6 °C μεγαλύτερη από τη φυσιολογική (India Meteorological Department (IMD), Murari et al., 2015, Chaudhurg et al., 2000).

- Για την Κ. Ευρώπη: Περίοδος 3 συνεχόμενων καλοκαιρινών ημερών για τις οποίες ισχύει το εξής: ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία >95° ποσοστημόριο των καλοκαιρινών ημερησίων μεγίστων θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς 1961-1990 (Lhotka et al., 2015)
- Υπερβολικά μεγάλα ποσά θερμικού φορτίου λόγω συσσώρευσης αισθητής θερμότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις συσχετίζονται οι μετεωρολογικές παράμετροι και η ανθρώπινη ευαισθησία σε τοπική κλίμακα. Η θερμοκρασία θα πρέπει να είναι >40 °C για τουλάχιστον 5-7 συνεχόμενες ημέρες ή η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία 5-6 °C υψηλότερη από τη μέγιστη θερμοκρασία για 8 συνεχόμενες ημέρες ή για τουλάχιστον 5 συνεχόμενες ημέρες η θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι ποσοστημορίου (90°, 95° 99°) (Khan et al., 2019)
- Περίοδος τουλάχιστον 2 συνεχόμενων ημερών με ημερήσιες μέσες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από κατώφλια ποσοστημορίων (90°, 98°) (Kent et al., 2014)
- Περίοδος τουλάχιστον 2-4 συνεχόμενων ημερών με τις ημερήσιες θερμοκρασίες να φτάνουν ένα συγκεκριμένο ποσοστημόριο (98°, 99°, 99,5°) (Hajat et al., 2006)
- Περίοδος τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών με ημερήσιες μέγιστες, μέσες και ελάχιστες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Θα πρέπει αυτή η 3μερη περίοδος να μη διακόπτεται από περισσότερες από 1 θερμές ημέρες και νύχτες (Kuglitsch et al., 2010).
- Περίοδος τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών όπου η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι τουλάχιστον ίση ή μεγαλύτερη του 92,5° ποσοστημορίου (Yang et al., 2019)
- Περίοδος τουλάχιστον 4 συνεχόμενων ημερών όπου η ημερήσια μέση θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη του 98° ποσοστημορίου (Chen et al., 2015)
- Περίοδος τουλάχιστον 5 συνεχόμενων ημερών με ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25 °C και με ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών μεγαλύτερη των 30 °C

(Netherlands Royal Meteorological Institute (NRMI), Huguenot et al., 2001, Hajat et al., 2002)

- Στα εύκρατα κλίματα: Περίοδος τουλάχιστον 3 ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 38 °C (Gocheva et al., 2006)
- Περίοδος d ημερών, όπου d η διάρκεια των καυσώνων, με ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση από T_0 , όπου T_0 ένα αυθαίρετο κατώφλι μέγιστης θερμοκρασίας (Ζουμάκης, 2016)

1.2 Χαρακτηριστικά καυσώνων στην Ευρώπη

Κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, στα πλαίσια της επικείμενης κλιματικής αλλαγής, προβλέπεται στη Νότια, Κεντρική και Δυτική Ευρώπη μεγαλύτερη αύξηση συχνότητας εξαιρετικά θερμών καλοκαιριών συνολικά και εξαιρετικά θερμών καλοκαιρινών μηνών σε σχέση με τη Βόρεια και Ανατολική Ευρώπη (Twardosz et al, 2013). Επιπροσθέτως, η διάρκεια, η συχνότητα εμφάνισης και η ένταση των καυσώνων αναμένεται να αυξηθεί στην Ευρώπη έως το δεύτερο μισό του 21^{ου} αιώνα εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της θερμοκρασίας ιδιαίτερα στη Μεσόγειο το καλοκαίρι (IPCC (2012), Meehl et al., 2004, Tolika, 2019, Della-Marta et al., 2007). Στη Νότια Ευρώπη και τα Βαλκάνια ανιχνεύονται καύσωνες λόγω του θερμότερου κλίματος που επικρατεί, λόγω αύξησης της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά τη νύχτα και λόγω μεγάλων θετικών ανωμαλιών υψών στα 500 hPa. Στη Βόρεια Ευρώπη έχει εντοπιστεί θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες λόγω της θετικής φάσης της Βορειοατλαντικής Κύμανσης (NAO) (Busuioc et al., 2007). Στην Κεντρική Ευρώπη, η ένταση, η συχνότητα εμφάνισης και η διάρκεια των πιο καταστροφικών καλοκαιρινών καυσώνων αυξάνονται και παρουσιάζουν έντονη μεταβλητότητα εξαιτίας της αύξησης των καλοκαιρινών μεγίστων θερμοκρασιών και των εξαιρετικά θερμών ημερών κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου με ταυτόχρονη τη μείωση των συστημάτων χαμηλών πιέσεων και την επικράτηση τροπικών αερίων μαζών στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (Ballester et al., 2010, Twardosz et al, 2013). Επιπλέον, έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα οι καύσωνες θα είναι πιο συχνοί στην Κεντρική Ευρώπη το χειμώνα και μέγιστης συχνότητας στη Μεσόγειο (Koffi et al., 2008). Η Ανατολική Μεσόγειος πλήττεται κατά βάση από

Χερσόνησο και η κατακόρυφη μεταφορά θερμών ροών από τη Βόρεια Αφρική, που οδηγούν στην επικράτηση καυσώνων μικρής μέσης διάρκειας στη Μεσογειακή Ευρώπη (Díaz et al., 2002, Tolika et al., 2009). Δε θα μπορούσε να παραληφθεί και η αρνητική παρέμβαση του ανθρώπου στο κλιματικό σύστημα, η οποία πυροδοτεί έντονους και σοβαρούς καύσωνες στην Ευρώπη όπως αυτός του 2003 (Schar et al., 2004).

Οι Ευρωπαίοι δεν έχουν καταφέρει να εγκλιματιστούν πλήρως στις απότομες αυξήσεις των θερμοκρασιών και το γεγονός αυτό τους καθιστά ευπαθείς και άμεσα πληγέντες (Konats et al., 2006). Βέβαια, μικρότερα ποσοστά θνησιμότητας προβλέπονται από τα μοντέλα με την πάροδο των ετών λόγω μείωσης της ευπάθειας του πληθυσμού στη θερμότητα, καλύτερης ενημέρωσης σχετικά με τους κινδύνους που εγκυμονούν οι ακραίες θερμοκρασίες και έγκαιρης λήψης προληπτικών μέτρων σε συνδυασμό με τη δημιουργία κατάλληλου συστήματος προειδοποίησης (Fouillet et al., 2008).

Στη Μεσόγειο, οι κατηγορίες καυσώνων είναι δύο. Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν οι θερμές ακολουθίες μικρής διάρκειας (3-5 ημέρες) με ξαφνικές και απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας (7-15 °C). Στη δεύτερη συγκαταλέγονται οι μεγάλης διάρκειας θερμές ακολουθίες (μεγαλύτερης ή ίσης των 10 ημερών), με βαθμιαία και λιγότερο έντονη αύξηση της θερμοκρασίας (5 °C). Κατά τη διάρκειά τους, επικρατούν θερμές και ξηρές περιβαλλοντικές συνθήκες σε όλη την περιοχή, με άμεση συνέπεια την αύξηση της ξηρασίας του εδάφους, την ερημοποίηση και την αύξηση της συχνότητας των καυσώνων και των πυρκαγιών (Colacino et al., 1995). Στη Δυτική Ευρώπη, πρόκειται για καλοκαιρινές και ξηρές περιόδους με απαιτήσεις των φυτών για διαπνοή υψηλότερες από το μέσο όρο, μεγάλη διάρκεια λιακάδας, χαμηλά ποσοστά βροχόπτωσης και μικρή σχετική υγρασία (De Boeck et al., 2010). Στην Κεντρική Ευρώπη εφαρμόζονται απόλυτα κατώφλια για τις μέσες μηνιαίες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες με απώτερο σκοπό το χαρακτηρισμό και το διαχωρισμό των διαφόρων ειδών ημερών κατά το καλοκαίρι. Έτσι συναντώνται: οι καλοκαιρινές ημέρες με μέση μηνιαία $T_{max} > 25$ °C, οι θερμές ημέρες με μέση μηνιαία $T_{max} > 30$ °C, οι πολύ θερμές ημέρες με μέση μηνιαία $T_{max} > 35$ °C και οι μέρες με μέση μηνιαία $T_{min} > 20$ °C (Twardosz et al, 2013).

Στη συνέχεια ακολουθεί μία λίστα με τους πιο καταστροφικούς και παγκοσμίως γνωστούς καύσωνες στην Ευρώπη λόγω υψηλών ποσοστών θνησιμότητας. (Kovats et al., 2006, Tomczyk et al., 2016, Giles et al., 1990, Kysley, 2004, Shevchenko et al., 2014, Wolf et al., 2013, Otto et al., 2012, Raei et al., 2018, Busuioc et al., 2007, Twardosz et al., 2013, Rothlisberger et al., 2020, Hajat et al., 2002, Fischer et al., 2007, Tolika et al., 2009, Yiou et al., 2020, Zittis et al., 2016, Retalis et al.):

- καλοκαίρι του 1987 (2083 θάνατοι), 1988 (600 θάνατοι) και 2007 στην Ελλάδα
- καλοκαίρι του 2003 κυρίως στη Δυτική Ευρώπη, την Ολλανδία, την Ελβετία και την Ιβηρική Χερσόνησο (πάνω από 70000 θάνατοι)
- καλοκαίρι του 2010 στην Ανατολική Ευρώπη και τη Ρωσία (περίπου 55000 θάνατοι)
- καλοκαίρι του 1981, 1991 και 2003 (2039 θάνατοι) στην Πορτογαλία
- καλοκαίρι του 1983 και 2003 (546 θάνατοι) στην Ιταλία
- καλοκαίρι του 1976, 1990, 1995, 2003 (2045 θάνατοι), 2006, 2009 και 2010 στην Αγγλία
- καλοκαίρι του 1994 και 2006 στην Κεντρική Ευρώπη
- καλοκαίρι του 2006 (40 θάνατοι) και 2015 (πάνω από 3000 θάνατοι) στη Γαλλία
- καλοκαίρι του 1983 στην Τσεχία
- καλοκαίρι του 2007 στη Ρουμανία
- καλοκαίρι του 1976, 1995 (1000 περισσότεροι θάνατοι), 2005, 2007 και 2015 στην Ευρώπη
- καλοκαίρι του 2018 στη Βόρεια Ευρώπη
- καλοκαίρι του 2007 στην Κύπρο

*Οι καύσωνες του 2003 και 2010 χαρακτηρίζονται από τη διεθνή βιβλιογραφία ως μεγακαύσωνες.

1.3 Ο καύσωνας του 2019 στην Ευρώπη

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization), κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών του 2019, ένα νέο κύμα καύσωνα έπληξε ένα μεγάλο μέρος της ευρωπαϊκής Ηπείρου (WMO, 2019). Παράλληλα, θερμά επεισόδια έλαβαν χώρα στην Αυστραλία, το Πακιστάν, τη Μέση Ανατολή και την Ινδία. Το έναυσμα του συγκεκριμένου κύματος καύσωνα ήταν η εισροή θερμών αερίων μαζών από τη Βόρεια Αφρική και την Ισπανία και η εξάπλωσή τους σε όλη την Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη. Πολλές χώρες οδηγήθηκαν σε νέα θερμοκρασιακά ρεκόρ με τις θερμοκρασίες να ξεπερνάνε το κατώφλι των 40 °C. Το κύμα κινήθηκε προς τα βόρεια διασχίζοντας τη Σκανδιναβία και τη Γροιλανδία, με αποτέλεσμα να λιώσουν οι πάγοι στην Ευρώπη, τη Γροιλανδία και την Αρκτική, φαινόμενο που βρίσκεται σε έξαρση τις τελευταίες δεκαετίες. Λόγω της έντασής του και της σφοδρότητάς του, τέθηκαν σε κίνδυνο η δημόσια υγεία, το περιβάλλον και η γεωργία με αυξημένη την επικινδυνότητα για εκδήλωση πυρκαγιών. Τεράστια οικολογική καταστροφή αποτέλεσε το κάψιμο των δασών της Σιβηρίας λόγω πυρκαγιών, τα οποία είναι υπεύθυνα για την απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα. Οι πυρκαγιές κατέκαψαν εκτάσεις δεκάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων, υποβαθμίζοντας σημαντικά και την ποιότητα του αέρα. Παρόλα αυτά, τα συστήματα προειδοποίησης λειτούργησαν με μεγάλη επιτυχία και έγκαιρα, περιορίζοντας κατά πολύ τα αναμενόμενα ποσοστά θνησιμότητας που σχετίζονται με τις υψηλές θερμοκρασίες, καθώς και τις δυσμενείς επιπτώσεις που θα είχε ο εν λόγω καύσωνας. Συνολικά στην Ευρώπη, καταρρίφθηκαν θερμοκρασιακά ρεκόρ τον Ιούνιο και τον Ιούλιο του 2019 (WMO, 2019).

Τον Ιούνιο, η μέση θερμοκρασία ήταν 2 °C υψηλότερη από τα φυσιολογικά επίπεδα. Σύμφωνα με το European Centre For Medium Range Weather Forecast (ECMWF) Copernicus Climate Change Service (CCCS), ο Ιούνιος ήταν 1 °C θερμότερος από τους Ιουνίους παλαιότερων δεκαετιών.

Στην Αυστρία, σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική και Υδρολογική Υπηρεσία ZAMG, ο Ιούνιος ήταν 4.5 °C θερμότερος από το μακροπρόθεσμο μέσο όρο και ακόμα πιο έντονος από αυτόν του μεγακαύσωνα που έπληξε την Ευρώπη

το 2003. Στην Ισπανία, σύμφωνα με την αντίστοιχη Υπηρεσία AEMET, οι θερμοκρασίες ξεπέρασαν το κατώφλι των 40 °C στις 27 και 30 του μηνός. Όπως διαπιστώθηκε από τα συστήματα προειδοποίησης, ο κίνδυνος πυρκαγιάς ήταν μεγάλος κυρίως στη Βορειοανατολική Ισπανία. Στην Τσεχία, η νέα μέγιστη τιμή πλησίασε τους 38.9 °C στις 26 Ιουνίου στην πόλη Doksan. Ο έντονος καύσωνας έπληξε παράλληλα την Πολωνία και την Ουγγαρία, με τα αποτελέσματα να μην απέχουν πολύ από τις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες. Στη Γαλλία, σύμφωνα με το Météo-France, σε πολλές πόλεις καταγράφηκαν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 45 °C, τιμή ρεκόρ για τη χώρα. Το νέο θερμοκρασιακό ρεκόρ άγγιξε τους 46 °C, θερμοκρασία που σημειώθηκε στην πόλη Vérargues στις 28 Ιουνίου. Εκείνη τη μέρα η θερμοκρασία στη γειτονική πόλη Gallargues-le-Montueux έφτασε τους 45.9 °C. Συνολικά στη Γαλλία, τα ρεκόρ ημερησίων μεγίστων και νυχτερινών ελαχίστων θερμοκρασιών ξεπεράστηκαν στην πλειοψηφία των σταθμών. Τέλος, η Γερμανική Μετεωρολογική Υπηρεσία Deutscher Wetterdienst, ανακοίνωσε πως το νέο εθνικό θερμοκρασιακό ρεκόρ του Ιουνίου στη Γερμανία ισούται με 39.6 °C. Η θερμοκρασία έφτασε σε αυτήν την τιμή στις 30 Ιουνίου σε μεγάλο αριθμό σταθμών, ενώ δεν ήταν λίγες οι πόλεις όπου οι θερμοκρασίες υπερέβησαν τους 35 °C.

(<https://public.wmo.int/en/media/news/european-heatwave-sets-new-temperature-records>)

Ο Ιούλιος χρήζει εξίσου περαιτέρω ανάλυσης μιας και ήταν ο θερμότερος Ιούλιος για τα περισσότερα Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα και ακολούθησε μετά από έναν ήδη πολύ θερμό Ιούνιο. Πριν την εμφάνιση του Ιουλίου του 2019, ο θερμότερος Ιούλιος ήταν αυτός του 2016 και πυροδοτήθηκε από ένα ισχυρό φαινόμενο El Nino, το οποίο συνεισέφερε στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Σε αντίθεση με το 2016, ο καύσωνας του Ιουλίου του 2019 ήταν εξαιρετικά έντονος χωρίς να εμφανιστεί το El Nino. Στην Ανατολική Ευρώπη παρατηρήθηκε παρατεταμένη περίοδος ξηρασίας, η οποία έπληξε μεγάλο κομμάτι της ηπείρου. Καταιγίδες και χαλαζοκαταιγίδες προκάλεσαν ανυπολόγιστες ζημιές στην Νοτιοανατολική, Βορειοανατολική και την Κεντρική Ευρώπη, ενώ δεν έλειψαν τα περιστατικά θερμικού σοκ που έπληξαν κυρίως τις ευπαθείς ομάδες. Έρευνες έδειξαν πως ο Ιούλιος του 2019 ήταν ο θερμότερος μήνας παγκοσμίως, 1.2 °C

θερμότερος από αυτόν της προβιομηχανικής περιόδου και γενικά η πενταετία 2015-2019 χαρακτηρίστηκε ως η θερμότερη.

(<https://public.wmo.int/en/media/news/july-matched-and-maybe-broke-record-hottest-month-analysis-began>)

Όπως προαναφέρθηκε, καταρρίφθηκαν θερμοκρασιακά ρεκόρ σε πολλές χώρες της Ευρώπης, κυρίως στις 25/7 με τις θερμοκρασίες να ξεπερνάνε τους 40 °C. Στην πόλη Lingen της Γερμανίας, εκείνη την ημέρα η μέγιστη θερμοκρασία έφτασε τους 42.6 °C, 2.3 °C υψηλότερη από το προηγούμενο εθνικό ρεκόρ. Το κατώφλι των 40 °C ξεπεράστηκε και σε γειτονικούς σταθμούς της Γερμανίας. Στη Γαλλία και συγκεκριμένα στο Παρίσι, στις 25 του μήνα καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές, με νέο ρεκόρ την τιμή 42.6 °C. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως καταγράφηκαν εξαιρετικά υψηλές ελάχιστες θερμοκρασίες (>28 °C). Στην Αγγλία, την ίδια μέρα το εθνικό ρεκόρ άγγιξε τους 38.7 °C, μεγαλύτερο και από αυτό του καύσωνα του Αυγούστου το 2003. Τρεις ημέρες αργότερα, στις 28/7, στο Ελσίνκι η θερμοκρασία ισούταν με 33.2 °C, ενώ στη Νορβηγία τα ρεκόρ που καταρρίφθηκαν οφείλονταν κυρίως στην εμφάνιση τροπικών νυχτών (ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία > 20 °C). Στις 30 Ιουλίου, η θερμοκρασία ρεκόρ στη Δυτική Γροιλανδία ήταν ίση με 20.6 °C. Τέλος, στο Βέλγιο, το Λουξεμβούργο, το σταθμό Nord (900 km από το Β. Πόλο) και την Ολλανδία, οι μέγιστες θερμοκρασίες που καταγράφηκαν ήταν ίσες με 41.8 °C, 40.8 °C, 16 °C και 40.7 °C (η μεγαλύτερη τιμή της τελευταίας 75ετίας) αντίστοιχα.

(<https://public.wmo.int/en/media/news/july-matched-and-maybe-broke-record-hottest-month-analysis-began>)

1.4 Η χρήση του δείκτη Excess Heat Factor στη μελέτη των καυσώνων

Η ανάγκη για συνεχή ενημέρωση των αρμόδιων αρχών που ασχολούνται με θέματα σχετικά με τους καύσωνες καθίσταται επιτακτική τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της συνεχούς αύξησης της έντασης, της διάρκειας και της συχνότητάς τους σε συνδυασμό με τις επιβλαβείς επιπτώσεις τους σε πολλούς τομείς. Συνεπώς, είναι εύλογο να χρησιμοποιείται ευρέως από τις μετεωρολογικές υπηρεσίες ένας κοινός δείκτης, ο οποίος όμως θα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις (Nairn et al., 2018):

- 1) Να χαρτογραφείται και να παρέχει έγκαιρη και ακριβή πληροφορία
- 2) Να είναι λειτουργικός σε ένα πλαίσιο προειδοποιήσεων πολλαπλών κινδύνων
- 3) Να είναι χρήσιμος και ικανοποιητικός ως δείκτης επίδρασης στον άνθρωπο
- 4) Να ερμηνεύεται εύκολα
- 5) Να είναι κοινός για τους λειτουργικούς και πολιτικούς χρήστες
- 6) Να παρέχει απρόσκοπτη ερμηνεία όσον αφορά τις εποχιακές και πολλών εβδομάδων προβλέψεις και τις κλιματικές προβολές

Ο δείκτης Excess Heat Factor (EHF) πληροί όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις και χρησιμοποιείται επιτυχώς από τις Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες της Αυστραλίας, του Ηνωμένου Βασιλείου και των ΗΠΑ. Αρχικά, προτάθηκε από την Αυστραλία και εφαρμόστηκε στη μελέτη των καυσώνων εκεί. Αργότερα η μέθοδος αυτή υιοθετήθηκε από τη Βαλκανική Χερσόνησο, την Τσεχία και τη Ρουμανία (Naim et al, 2009, Piticar et al., 2018, Kysely et al., 2004, Tolika, 2019).

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου δείκτη είναι τα ακόλουθα (Perkins et al., 2013, Tolika, 2019):

- ✓ Θεωρείται ο πιο κατάλληλος δείκτης συγκριτικά με τους υπόλοιπους επειδή συνυπολογίζει τις μέγιστες και τις ελάχιστες θερμοκρασίες. Έτσι, ποσοτικοποιείται η ένταση ενός επεισοδίου καύσωνα.
- ✓ Προβλέπει το πότε υπάρχει υψηλός κίνδυνος θνησιμότητας λόγω υψηλών ποσών θερμότητας.
- ✓ Δε λαμβάνει υπόψη μόνο τις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν μία συγκεκριμένη ημέρα, αλλά και τις δύο προηγούμενες ημέρες. Με αυτόν τον τρόπο είναι πιθανό να ενταθεί ή να μειωθεί η σημασία ενός συγκεκριμένου επεισοδίου καύσωνα.
- ✓ Συγκρίνει το πόσο θερμότερη είναι μία τριήμερη περίοδος σε σχέση με μία προγενέστερη 30 ημερών, η οποία θεωρείται περίοδος προσαρμογής.
- ✓ Είναι πιο ακριβής η χρήση του και υπερτερεί στην πρόβλεψη ακραίων συνθηκών θέρμανσης έναντι των άλλων δεικτών.

- ✓ Περιγράφει ικανοποιητικά την στατιστική σημαντικότητα των καυσώνων και την άμεση επίδρασή τους στον άνθρωπο.
- ✓ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα κλίματα, μιας και η τιμή του αποτελεί συνάρτηση του τοπικού κλίματος.
- ✓ Προβλέπει το 77% των περιστατικών έντονης νοσηρότητας κατά τη διάρκεια των πιο έντονων ημερών καύσωνα.
- ✓ Επιτρέπει μια πιο εις βάθος ανάλυση της σφοδρότητας και της δριμύτητας των καυσώνων.

Στη δεύτερη ενότητα με τα Δεδομένα & τη Μεθοδολογία, παρατίθενται αναλυτικές πληροφορίες για τον τρόπο υπολογισμού του δείκτη EHF, καθώς και για την ερμηνεία του.

1.5 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανίχνευση των επεισοδίων καύσωνα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) του 2019 σε 20 ευρωπαϊκές πρωτεύουσες, ο προσδιορισμός της διάρκειάς και της έντασής τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη γεωγραφική τους κατανομή μέσω της χρήσης του δείκτη Excess Heat Factor. Επίσης, μελετάται η ικανότητα του EHF στη λεπτομερή ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτού του καύσωνα. Η εφαρμογή του προαναφερθέντος δείκτη αποσκοπεί κυρίως στη συσχέτιση των απότομων και έντονων μεταβολών της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του καύσωνα και της ικανότητας του ανθρώπου να εγκλιματίζεται, να προσαρμόζεται και να μεταβαίνει ομαλά από τα επικρατούντα στα νέα δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται προσπάθεια διεκπεραίωσης μίας κλιματικής μελέτης με κέντρο ενδιαφέροντος τον ίδιο τον άνθρωπο και την ευημερία του.

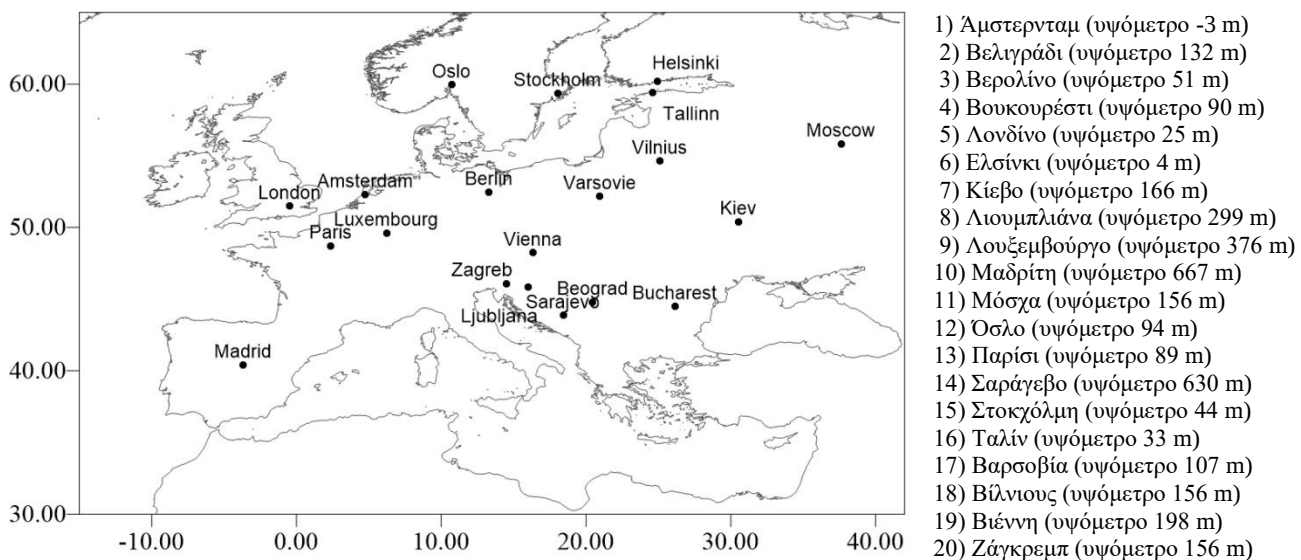
2. Δεδομένα και Μεθοδολογία

2.1 Δεδομένα

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα ελαχίστων (TN), μεγίστων (TX) και μέσων (TG) θερμοκρασιών από 20 ευρωπαϊκά αστικά κέντρα για μία περίοδο 59 ετών (1961-2019). Συλλέχθηκαν τα αναμεμιγμένα δεδομένα (blended ECA dataset) από τη βάση δεδομένων του European Climate Assessment & Dataset, στην οποία η πρόσβαση είναι ελεύθερη για το κοινό (ECA&D Project Team, 2012a).

2.2 Περιοχή μελέτης

Ο καύσωνας μελετήθηκε κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών του 2019 στα εν λόγω 20 αστικά κέντρα της Ευρώπης. Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται γεωγραφικά οι σταθμοί και δεξιά του χάρτη αναγράφονται τα αντίστοιχα ύψη στα οποία βρίσκονται. Το μικρότερο ύψος εντοπίζεται στο σταθμό του Άμστερνταμ (3m κάτω από το ύψος της μέσης στάθμης θάλασσας), ενώ το μεγαλύτερο στο σταθμό της Μαδρίτης (667 m).



Σχήμα 1: Γεωγραφική απεικόνιση των 20 Ευρωπαϊκών σταθμών και τα αντίστοιχα ύψη (m) στα οποία βρίσκονται (δεξιά του χάρτη)

Υπολογίστηκαν και αναπαραστάθηκαν γραφικά δείκτες ακραίων θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται ευρέως από την ερευνητική κοινότητα (Moberg et al., 2006, Smith et al., 2013, Perkins et al., 2013, Yang et al., 2019, Perkins et al., 2012, Kusso et al., 2019, Salinger et al., 2001, Rusticucci et al., 2004, Bonsal et al., 2001, Moberg et al., 2006, Ai-Hui et al., 2013, Ding et al., 2010, Zitis et al., 2016, Σπύρου, 2000). Το πρώτο λογισμικό ακραίων δεικτών που χρησιμοποιήθηκε είναι το RclimDex, το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο 27 δεικτών που προέρχονται από τις ημερήσιες τιμές των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών και της βροχόπτωσης. Αναπτύχθηκε για το project Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) του World Meteorological Organization Commission for Climatology (CCI)/ World Climate Research Programme (WCRP) (ECA&D Project Team, 2012a).

Ο ορισμός των δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκε και σε μία δεύτερη λίστα ακραίων δεικτών από την ιστοσελίδα του European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), στην οποία συμπεριλαμβάνονται συνολικά 40 δείκτες. (<https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

Οι δείκτες που υπολογίστηκαν αναλύονται παρακάτω:

1. Μέγιστη Tmax: η μέγιστη τιμή των ημερησίων TX (°C) για όλη τη θερμή περίοδο κάθε έτους (Μάιο-Σεπτέμβριο)
2. TXx: η μέγιστη μηνιαία τιμή των ημερησίων TX (°C) για κάθε μήνα της θερμής περιόδου όλης της 59ετίας (1961-2019)
3. TX95p (αριθμός εξαιρετικά θερμών ημερών): Αριθμός ημερών για τις οποίες ισχύει η συνθήκη $TX > 95^{\circ}$ ποσοστημόριο των ημερησίων TX όλης της περιόδου μελέτης (1961-2019). Οι εξαιρετικά θερμές ημέρες υπολογίστηκαν ξανά για τη θερμή περίοδο κάθε έτους. Στις λίστες δεικτών που προαναφέρθηκαν και σε πολλές μελέτες χρησιμοποιείται ο όρος θερμές ημέρες, με σχετικό κριτήριο το 90° ποσοστημόριο για την περίοδο αναφοράς 1961-1990.

4. Μέγιστη T_{min} : η μέγιστη τιμή των ημερησίων TN ($^{\circ}C$) για όλη τη θερμή περίοδο κάθε έτους
5. TN_x : η μέγιστη μηνιαία τιμή των ημερησίων TN ($^{\circ}C$) για κάθε μήνα της θερμής περιόδου όλης της 59ετίας (1961-2019)
6. $TN95p$ (αριθμός εξαιρετικά θερμών νυχτών): Αριθμός ημερών για τις οποίες ισχύει η συνθήκη $TN > 95^{\circ}$ ποσοστημόριο των ημερησίων TN όλης της περιόδου μελέτης (1961-2019). Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για τη θερμή περίοδο κάθε έτους. Στις διαδικτυακές πηγές αναφέρεται το $TN90p$.
7. Μέγιστη T_{mean} : η μέγιστη τιμή των ημερησίων TG ($^{\circ}C$) για όλη τη θερμή περίοδο κάθε έτους
8. TG_x : η μέγιστη μηνιαία τιμή των ημερησίων TG ($^{\circ}C$) για κάθε μήνα της θερμής περιόδου όλης της 59ετίας (1961-2019)
9. $TG95p$: Αριθμός ημερών για τις οποίες ισχύει η συνθήκη $TG > 95^{\circ}$ ποσοστημόριο των ημερησίων TG όλης της περιόδου μελέτης (1961-2019). Στα αποτελέσματα γίνεται ανάλυση για τη θερμή περίοδο κατ' έτος.
10. Ακολουθίες ημερών καύσωνα: Πρόκειται για θερμές ακολουθίες κατά τη θερμή περίοδο. Θερμές ακολουθίες ορίζονται οι συνεχόμενες ημέρες με ημερήσια TX μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο κατώφλι (Furrer et al., 2010, Perkins et al, 2012). Η διάρκεια των ακολουθιών ημερών καύσωνα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση των 3 συνεχόμενων ημερών για τις οποίες ισχύει πως $TX > 95^{\circ}$ ποσοστημόριο των ημερησίων TX όλη της περιόδου μελέτης (1961-2019). Υπολογίστηκαν παράλληλα ο συνολικός αριθμός καυσώνων με συγκεκριμένη διάρκεια, η διάρκεια της μέγιστης ακολουθίας, καθώς και το έτος που συναντάται αυτή η μέγιστη ακολουθία.
11. Hot days: Αριθμός ημερών όπου η ημερήσια $TX \geq 35^{\circ}C$. Αντιπροσωπεύει τον μέσο αριθμό θερμών ημερών κατ' έτος κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου όλης της 59ετίας. Αυτό το κριτήριο θεωρείται απόλυτο.

2.3.2 Δείκτης Excess Heat Factor

Το κυρίως μέρος της εργασίας αναφέρεται στην ανάλυση του σύγχρονου δείκτη EHF για κάθε καλοκαιρινό μήνα (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) του έτους 2019. Για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου δείκτη απαιτείται ο υπολογισμός δύο υπο-δεικτών, του δείκτη εγκλιματισμού $EHI(accl)$ και του δείκτη σημαντικότητας $EHI(sig)$. Αφού

υπολογιστούν, ο δείκτης EHF προκύπτει από πολλαπλασιασμό των δύο προαναφερθέντων υπο-δεικτών (Nairn et al., 2009, Langlois et al., 2013, Tolika, 2019, Loridan et al., 2016, Hatvani-Kovacs et al., 2016):

$$EHF = |EHI(accl)| \times EHI(sig) \quad (1)$$

$$EHF = EHI(sig) \times \max\{1, EHI(accl)\} \quad (2)$$

Ο πρώτος υπο-δείκτης EHI(accl) εκφράζεται από τη σχέση:

$$EHI(accl) = \frac{T_i + T_{i-1} + T_{i-2}}{3} - \frac{T_{i-3} + \dots + T_{i-32}}{30} \quad (3)$$

όπου T_i είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία της αντίστοιχης μέρας i . Η σχέση αυτή εκφράζει τη διαφορά μεταξύ του μέσου όρου της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας 3 ημερών και του μέσου όρου της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας των προηγούμενων 30 ημερών. Με τον τρόπο αυτό διερευνάται το αν υπάρχει περίοδος θέρμανσης θερμότερη από το πρόσφατο παρελθόν (Langlois et al., 2013). Θεωρείται πολύ σημαντικός παράγοντας της επίδρασης της θερμότητας στον άνθρωπο. Ακόμα και αν οι άνθρωποι τείνουν να εγκλιματίζονται στο τοπικό κλίμα που ζούνε, είναι πιθανό να μην είναι έτοιμοι να προσαρμοστούν σε μία απότομη αύξηση της θερμοκρασίας συγκριτικά με το πρόσφατο παρελθόν (Tolika, 2019). Οι τιμές του δείκτη εγκλιματισμού δεν αναμένεται να γίνουν πιο ακραίες υπό μία γενική τάση αύξησης της θερμοκρασίας (Nairn et al., 2009). Όταν ο EHI(accl) αποκτά θετικές τιμές, ο καιρός είναι σχετικά θερμός (Nairn et al., 2009). Παρατηρείται έλλειψη εγκλιματισμού στο νέο θερμότερο θερμοκρασιακό καθεστώς με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Εάν αυτή η συνθήκη ισχύει πριν την έναρξη του καύσωνα, σημαίνει πως οι άνθρωποι δεν ήταν ικανοί να προσαρμοστούν στην επικείμενη θέρμανση (Tolika, 2019). Η πληροφορία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί ως προειδοποίηση για τη διαχείριση και λήψη έγκαιρων μέτρων. Αντιθέτως, όταν ο EHI(accl) γίνεται αρνητικός, ο καιρός είναι σχετικά δροσερός. Ο άνθρωπος καταφέρνει να προσαρμοστεί και να εγκλιματιστεί στα νέα θερμοκρασιακά δεδομένα.

Η εξίσωση που εκφράζει τον υπολογισμό του δεύτερου υπο-δείκτη σημαντικότητας EHI(sig) είναι η ακόλουθη:

$$EHI(sig) = \frac{T_i + T_{i-1} + T_{i-2}}{3} - T_{mean95} \quad (4)$$

όπου $Tmean_{95}$ είναι το 95^ο ποσοστημόριο των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών για την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Ο υπολογισμός του ποσοστημορίου πραγματοποιείται για όλες τις ημέρες του έτους. Η σύγκριση με το $Tmean_{95}$ αποτελεί μέτρο της στατιστικής σημαντικότητας ενός γεγονότος καύσωνα (Nairn et al., 2009). Γενικά, θεωρείται μέτρο του πόσο ο μέσος όρος των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών τριών ημερών υπερβαίνει το 95^ο ποσοστημόριο των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς 30 ετών. Η παραπάνω εξίσωση αυτού του υπο-δείκτη εκφράζει την ασυνήθιστα υψηλή θερμότητα που δεν εκφορτίζεται επαρκώς κατά τη διάρκεια της νύχτας λόγω υψηλών νυχτερινών θερμοκρασιών (Langlois et al., 2013). Σε αντίθεση με το δείκτη EHI(accl), οι τιμές του EHI(sig) αναμένεται να γίνουν πιο ακραίες κάτω από μία γενική αυξητική τάση της θερμοκρασίας (Tolika, 2019). Η έναρξη του καύσωνα σηματοδοτείται όταν οι τιμές του EHI(sig) υπερβαίνουν το 0 (Tolika, 2019).

Συνεπώς, ο δείκτης καύσωνα Excess Heat Factor εκφράζει τις μακροπρόθεσμες ανωμαλίες θερμοκρασιών που ενισχύονται από τις αντίστοιχες βραχυπρόθεσμες (Langlois et al., 2013). Αποτελεί μέτρο της φόρτισης της θερμοκρασίας και της έντασης ενός πιθανού καύσωνα και μετράται σε $^{\circ}\text{C}^2$ (Langlois et al., 2013). Συνθήκες καύσωνα επικρατούν όταν ικανοποιείται η σχέση $\text{EHF} > 0$ για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες (Perkins et al., 2012). Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του EHF, τόσο πιο ακραίες είναι οι συνθήκες που επικρατούν. Για να χαρακτηριστεί ένα επεισόδιο καύσωνα σοβαρό, είναι απαραίτητο οι τιμές του EHF να υπερβαίνουν ένα συγκεκριμένο κατώφλι, χαρακτηριστικό για κάθε περιοχή λόγω διαφορετικής κλιματολογίας (Langlois et al., 2013).

Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής του δείκτη EHF, ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος υπολογισμού του. Στο Άμστερνταμ κατά την 1^η Ιουλίου του 2019, τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν τα εξής: ο πρώτος όρος της εξίσωσης του EHI(accl) είναι ίσος με 20.47 $^{\circ}\text{C}$, ο δεύτερος με 17.45 $^{\circ}\text{C}$ και τελικά $\text{EHI}(\text{accl}) = 3.02^{\circ}\text{C}$. Αντίστοιχα ο πρώτος όρος του EHI(sig) ισούται με 20.47 $^{\circ}\text{C}$ και ο δεύτερος με 19.1 $^{\circ}\text{C}$, με τον EHI(sig) να αποκτά τελικά την τιμή 1.37 $^{\circ}\text{C}$. Από πολλαπλασιασμό των δύο υποδεικτών, προκύπτει πως εκείνη την ημέρα $\text{EHF} = 4.12^{\circ}\text{C}^2$.

3. Αποτελέσματα

Αρχικά, δίνονται τα βασικά κλιματικά χαρακτηριστικά της υπο-μελέτη περιοχής. Ακολουθεί η μελέτη της πορείας της μέγιστης T_{max} κατ' έτος ολόκληρης της 59ετίας για κάθε ένα από τα 20 αστικά κέντρα. Στη συνέχεια, αναλύεται με τη μορφή πινάκων η TX_x για κάθε μήνα της θερμής περιόδου (Μάιο-Σεπτέμβριο) από το 1961-2019 και μετά αναλύεται ο ακραίος δείκτης θερμοκρασίας $TX95p$ για τη θερμή περίοδο κατ' έτος. Από τα ημερήσια δεδομένα της TN , υπολογίζεται η μέγιστη T_{min} κατ' έτος με τον τρόπο που υπολογίστηκε και η μέγιστη T_{max} . Τα αποτελέσματα περιγράφονται παρακάτω σε αυτήν την ενότητα. Αντιστοίχως, παραβάλλονται 20 πίνακες για κάθε μήνα του 5μηνου με την TN_x και ακολουθεί μελέτη του ακραίου δείκτη $TN95p$ της θερμής 5μηνης περιόδου του κάθε έτους. Όπως και για τις παραμέτρους TX και TN , έτσι και για τις ημερήσιες μέσες θερμοκρασίες TG (1961-2019), εξετάζονται 3 ακραίοι δείκτες, η μέγιστη T_{mean} , η TG_x και ο $TG95p$ των 20 επιλεγμένων αστικών κέντρων. Η διαδικασία ανάλυσης των αποτελεσμάτων και σε αυτήν την περίπτωση είναι παρόμοια. Ολοκληρώνοντας την ανάλυση των ακραίων δεικτών της μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας, παρουσιάζεται ένας πίνακας με το συνολικό αριθμό ακολουθιών ημερών καύσωνα ανά πρωτεύουσα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου όλης της 59ετίας. Στο κεφάλαιο 3.12 γίνεται αναφορά στον ακραίο δείκτη Hot Days. Τέλος, διεκπεραιώνεται και ο τελικός στόχος της παρούσας εργασίας, δηλαδή η μελέτη του θερινού καύσωνα του 2019 σε κάθε Ευρωπαϊκό αστικό κέντρο μέσω χρήσης του δείκτη Excess Heat Factor.

3.1 Βασικά κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Οι ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές των ημερησίων ελαχίστων (T_{min}), μέσων (T_{mean}) και μεγίστων (T_{max}) θερμοκρασιών της περιόδου 1961-2019 για όλη την περιοχή μελέτης παρατίθενται στον Πίνακα 1. Αναλυτικότερα, η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία των σταθμών της Δυτικής Ευρώπης κυμαίνεται από τους $-16.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως τους $42\text{ }^{\circ}\text{C}$, η ημερήσια μέση από τους $-17.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως τους $33.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η ημερήσια ελάχιστη από τους $-20.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως τους $24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στα υπό μελέτη αστικά κέντρα της Νότιας Ευρώπης τα εύρη των ημερησίων μεγίστων, μέσων και ελαχίστων θερμοκρασιών όλης της περιόδου είναι τα εξής: $-14.3-43.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-17.7-34.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $-22.2-27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως. Στην Κεντρική Ευρώπη η T_{max} κυμαίνεται από τους $-20.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως τους $40.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, η T_{mean} από τους $-24.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως τους $30.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η T_{min} από τους

-30.7 °C έως τους 25.4 °C. Στις βόρειες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες οι τιμές των τριών θερμοκρασιακών παραμέτρων είναι χαμηλότερες. Έτσι η T_{max} παρουσιάζει ελάχιστο στους -30.7 °C και μέγιστο στους 38.2 °C. Παρομοίως, το ελάχιστο της T_{mean} ισούται με -34.8 °C και το μέγιστο με 30.8 °C, ενώ η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της T_{min} είναι ίσες με -38 °C και 26 °C αντίστοιχα. Τα μελετώμενα αστικά κέντρα της Ανατολικής Ευρώπης εμφανίζουν το ελάχιστο των -23.5 °C όσον αφορά τις ημερήσιες T_{max} όλης της περιόδου μελέτης. Η μέγιστη τιμή της ημερήσιας T_{max} της Ανατολικής Ευρώπης αγγίζει τους 42.2 °C. Τα εύρη των ημερησίων T_{mean} και T_{min} εκεί είναι τα ακόλουθα: -28.3-31.7 °C και -30.7-25.2 °C. Είναι φανερό, πως και στις 20 πόλεις οι ελάχιστες τιμές και των 3 παραμέτρων (T_{min} , T_{mean} , T_{max}) ολόκληρης της 59ετίας είναι αρνητικές και σημειώνονται κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Οι μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η μέγιστη τιμή όλης της περιόδου μελέτης συναντάται στο Βελιγράδι και ισούται με 43.6 °C, ενώ η ελάχιστη στη Μόσχα και ισούται με -38 °C.

Η ίδια μεθοδολογία ακολουθήθηκε για τις ελάχιστες, μέσες και μέγιστες θερμοκρασίες των τριών θερμοκρασιακών παραμέτρων (ημερησίων T_{min} , T_{mean} , T_{max}) της θερμής περιόδου του έτους (Μάιος-Σεπτέμβριος). Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 2. Στις Δυτικές ευρωπαϊκές πρωτεύουσες το εύρος της T_{max} ισούται με 4.6-42 °C, της T_{mean} με 1.4-33.2 °C και της T_{min} με -2-24.5 °C. Οι συνθήκες διαφοροποιούνται στην Κεντρική Ευρώπη με την T_{max} να κυμαίνεται από τους 4.5 °C έως τους 40.2 °C, την T_{mean} από τους 1.8 °C έως τους 30.1 °C και την T_{min} από τους -3.1 °C έως τους 25.4 °C. Η θερμή περίοδος από το 1961 έως το 2019 των υπό μελέτη περιοχών της Βόρειας Ευρώπης έχει τα εξής κλιματικά χαρακτηριστικά: T_{max} =2.3-38.2 °C, T_{mean} =-0.3-30.8 °C και T_{min} =-5.2-26 °C. Θερμότερες παραμένουν οι συνθήκες στη Νότια Ευρώπη με την ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία να ξεκινάει από τους 4.5 °C και να φτάνει στους 43.6 °C. Αντίστοιχα, η ημερήσια μέση θερμοκρασία παρουσιάζει ελάχιστο στους 2.1 °C και μέγιστο στους 34.6 °C, ενώ η ημερήσια ελάχιστη από τους -1.7 °C καταλήγει στους 27.1 °C. Τέλος, στους σταθμούς της Ανατολικής Ευρώπης η T_{max} κυμαίνεται από τους 0 °C έως τους 42.2 °C, η T_{mean} από τους 0.2 °C έως τους 31.7 °C και η T_{min} από τους -4.8 °C έως τους 25.2 °C.

Συγκρίνοντας τους δύο πίνακες, φαίνεται πως οι μέγιστες τιμές και των 3 θερμοκρασιακών παραμέτρων στον Πίνακα 2 παραμένουν ίδιες με αυτές του Πίνακα

1, για όλες τις περιοχές ενδιαφέροντος. Αυτό επιβεβαιώνει το γεγονός ότι για όλους τους σταθμούς οι μέγιστες θερμοκρασίες σημειώνονται τους θερινούς μήνες. Συνεπώς, όπως και για όλη την περίοδο, έτσι και για τη θερμή από το 1961 έως το 2019, η υψηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στο Βελιγράδι (43.6 °C), με την ελάχιστη να συναντάται πάλι στη Μόσχα (-5.2 °C). Όσον αφορά τις ελάχιστες τιμές των ελαχίστων θερμοκρασιών, μόνο σε 5 σταθμούς δε γίνονται αρνητικές (Βελιγράδι, Ζάγκρεμπ, Βιέννη, Παρίσι, Μαδρίτη).

Πίνακας 1: Ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές των ημερησίων μεγίστων Tmax (°C) μέσω Tmean (°C) και ελαχίστων Tmin (°C) θερμοκρασιών των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων για την περίοδο 1961-2019

	Πόλεις	Tmax			Tmean			Tmin		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
Δυτική Ευρώπη	Άμστερνταμ	-9.5	13.6	36.4	-12.3	10.1	29.5	-18.8	6.6	21.4
	Βερολίνο	-16.4	13.6	37.9	-17.9	9.4	29.5	-20.3	5.4	22.5
	Παρίσι	-10.8	15.6	42	-13.7	11.5	33.2	-16.8	7.4	24.5
	Λουξεμβούργο	-12.1	13.1	39	-14.8	9.1	32.1	-17.8	5.4	24.1
Νότια Ευρώπη	Βελιγράδι	-14.3	17.3	43.6	-17.3	12.6	34.6	-21	8.4	27.1
	Μαδρίτη	-0.8	19.8	40.6	-4.5	14.9	32.9	-9.2	10	25.9
	Σαράγεβο	-13.1	15.7	38.3	-17.7	10.1	31	-22.2	5.3	26
	Ζάγκρεμπ	-10.4	16.2	38.8	-11.8	12.2	31.7	-17.2	8.5	25.7
Κ. Ευρώπη	Λιουμπλιάνα	-12.1	15.5	40.2	-15.5	10.6	30	-20.3	6.3	23.8
	Βαρσοβία	-20.2	12.7	37	-24.6	8.4	29.3	-30.7	4.3	22.8
	Βιέννη	-15.1	14.9	38.6	-17.3	10.9	30.1	-19.6	6.9	25.4
Βόρεια Ευρώπη	Μόσχα	-30.3	9.5	38.2	-34.8	5.7	30.8	-38	1.9	26
	Όσλο	-20.5	10.2	34.6	-22	6.4	26.4	-24.9	3	21.7
	Λονδίνο	-6.2	15	38	-8.9	11.2	29	-13.2	7.3	22.3
	Στοκχόλμη	-22.1	10.6	35.4	-23.9	7.3	28.3	-25.5	4.3	22.8
	Ταλίν	-28	9.4	34.3	-29.7	5.8	28.3	-32.2	2.3	22.4
	Ελσίνκι	-30.7	8.9	33.2	-32.5	5.9	26.4	-34.3	2.9	22.8
Α. Ευρώπη	Βίλνιους	-23.5	10.5	35	-28.3	6.5	28.1	-30.7	2.8	22.4
	Βουκουρέστι	-13	17.1	42.2	-18.4	10.8	31.7	-25.6	5.6	25.2
	Κιέβο	-20.3	12.5	39.2	-25	8.4	30.3	-27.9	4.9	24.9

Πίνακας 2: Ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές των ημερησίων μεγίστων T_{max} (°C) μέσω T_{mean} (°C) και ελαχίστων T_{min} (°C) θερμοκρασιών των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων για τη θερμή περίοδο από το 1961 έως το 2019

	Πόλεις	T _{max}			T _{mean}			T _{min}		
		min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
Δυτική Ευρώπη	Άμστερνταμ	6	19.7	36.4	3	15.5	29.5	-1.1	11.1	21.4
	Βερολίνο	6.5	21.7	37.9	3.2	16.3	29.5	-2	11.3	22.5
	Παρίσι	7.4	22.4	42	3.8	17.4	33.2	0.1	12.3	24.5
	Λουξεμβούργο	4.6	20.5	39	1.4	15.5	32.1	-2	10.9	24.1
Νότια Ευρώπη	Βελιγράδι	8.4	26	43.6	5.2	20.4	34.6	0.6	15.3	27.1
	Μαδρίτη	9.2	27.8	40.6	6.9	21.8	32.9	1.9	15.9	25.9
	Σαράγεβο	4.5	24.2	38.8	2.1	17.3	31	-1.7	11.5	26
	Ζάγκρεμπ	7.1	24.6	38.8	4.6	19.7	31.7	1.6	15.2	25.7
Κ. Ευρώπη	Λιουμπλιάνα	5.9	24.2	40.2	3	18.2	30	-1.2	12.8	23.8
	Βαρσοβία	4.5	21.7	37	1.8	16.3	29.3	-3.1	11.2	22.8
	Βιέννη	6.6	23.5	38.6	4.9	18.5	30.1	0.7	13.5	25.4
Βόρεια Ευρώπη	Μόσχα	2.3	20.5	38.2	-0.3	15.5	30.8	-5.2	10.8	26
	Όσλο	2.9	19	34.6	1.1	14.1	26.4	-2.7	10	21.7
	Λονδίνο	8	20.9	38	4.4	16.2	29	-0.9	11.6	22.3
	Στοκχόλμη	2.5	19.3	35.4	0	14.8	28.3	-3.8	11.1	22.8
	Ταλίν	2.4	18.3	34.3	0.7	13.8	28.3	-5	9.5	22.4
	Ελσίνκι	3.1	17.8	33.2	1.3	14.1	26.4	-4.5	10.6	22.8
Α. Ευρώπη	Βίλνιους	0	20.2	35	0.2	15	28.1	-4.8	10.2	22.4
	Βουκουρέστι	8.5	27	42.2	4.8	19.7	31.7	-3.1	13.1	25.2
	Κιέβο	3.6	22.9	39.2	1.6	17.7	30.3	-1	13.3	24.9

3.2 Μέγιστη T_{max} της θερμής περιόδου κατ' έτος

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται 20 διαγράμματα για κάθε πρωτεύουσα με τη μέγιστη T_{max} της θερμής περιόδου κατ' έτος (1961-2019) μαζί με τη γραμμή τάσης και την εξίσωσή της (μαύρη γραμμή). Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των σταθμών είναι πως η μέγιστη T_{max} παρουσιάζει ενδοετήσιες διακυμάνσεις και ανοδικές τάσεις, αλλά ο ρυθμός αύξησης ποικίλλει. Αρχικά, στο Άμστερνταμ η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται το 1974 και ισούται με 26.1 °C, ενώ η μέγιστη το 2019 και ισούται με 36.4 °C. Ο ρυθμός αύξησης της μέγιστης T_{max} είναι ίσος με 0.8 °C/10ετία. Στη συνέχεια, στο Βελιγράδι σημειώνεται ελάχιστο το 1976 (32.5 °C) και μέγιστο το 2007 (43.6 °C) με τη μέγιστη τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας κατ' έτος να αυξάνεται 0.6 °C/10ετία. Κατά το 2019 εκεί, η θερμοκρασία αγγίζει τους 37.6 °C. Αντίστοιχα, στο Βερολίνο η παράμετρος αυτή κυμαίνεται από 30.1 °C το 1993 έως και 37.9 °C το 2015 με ρυθμό αύξησης 0.6 °C/10ετία. Όπως και στο Βελιγράδι, η μέγιστη τιμή το 2019 ισούται με 37.6 °C. Για το Βουκουρέστι τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα: ελάχιστη τιμή το 1995 (32.2 °C) και μέγιστη το 2000 (42.2 °C), με 36.1 °C το 2019 και ρυθμό αύξησης 0.3 °C/10ετία. Όσον αφορά το Λονδίνο, φαίνεται από το

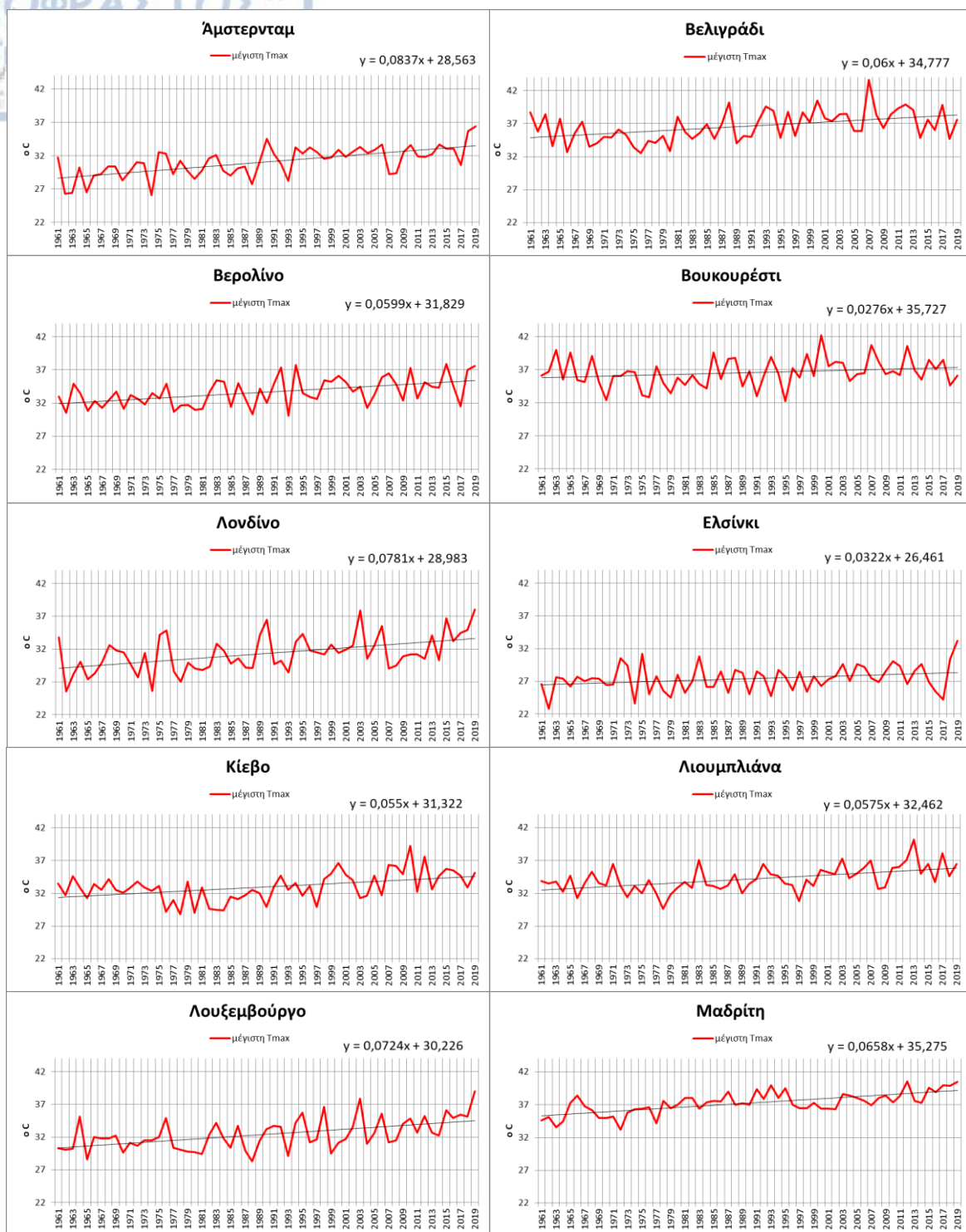
διάγραμμα πως εντοπίζεται ελάχιστο κατά τη θερμή περίοδο του 1962 (25.5 °C) και μέγιστο κατά το 2019 (38 °C) με συντελεστή ανοδικής τάσης 0.8 °C/10ετία. Επιπλέον, στο Ελσίνκι η χαμηλότερη τιμή της μέγιστης T_{max} βρέθηκε το 1962 και είναι ίση με 22.8 °C, ενώ η μέγιστη το 2019 και είναι ίση με 33.2 °C, αυξανόμενη κατά 0.3 °C ανά 10ετία. Στο Κίεβο, το ελάχιστο και το μέγιστο ισούνται με 28.8 °C (1978) και 39.2 °C (2010) αντίστοιχα, με το 2019 να μην είναι ακραίο (35.1 °C). Σε αυτήν την πρωτεύουσα, ο ρυθμός ανοδικής τάσης ισούται με 0.5 °C/δεκαετία. Χωρίς να φαίνεται και πάλι ακραίο το 2019 στη Λουμπλιάνα (μέγιστη T_{max}=36.5 °C), το εύρος μεγίστων θερμοκρασιών εκεί είναι 29.6 °C (1978)- 40.2 °C (2013) και η παράμετρος αυτή αυξάνεται κατά 0.6 °C/δεκαετία. Αντιθέτως, στο Λουξεμβούργο η μέγιστη θερμοκρασία παρουσιάζει μέγιστο το 2019 (39 °C), ενώ ελάχιστο το 1988 (28.3 °C), ενώ η τάση είναι ανοδική (0.7 °C/10ετία). Στη Μαδρίτη, κατά το 2019 η μέγιστη T_{max} έχει απόκλιση 0.1 °C από το peak, το οποίο σημειώνεται το 2012 (40.6 °C), και έτσι ισούνται με 40.5 °C. Το ελάχιστο των 33.2 °C εμφανίζεται το 1972. Ανά δεκαετία η μέγιστη T_{max} αυξάνεται κατά 0.6 °C. Ενδιαφέροντα αποτελέσματα προκύπτουν για τη θερμή περίοδο του 2019 στο Παρίσι, με το μέγιστο να φτάνει στους 42 °C, τιμή ρεκόρ για την πόλη. Το ελάχιστο που απέχει 12 βαθμούς από το μέγιστο, εμφανίζεται δύο φορές, το 1972 και το 1977 και ισούνται με 30 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία στο Παρίσι αυξάνεται με πολύ ταχείς ρυθμούς, 0.9 °C/10ετία. Επιπροσθέτως, στο Σαράγεβο φαίνεται από τα διαγράμματα πως η μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από τους 29.9 °C, τιμή του 1976 έως και τους 38.8 °C, τιμή του 2007. Με βάση αυτήν την παράμετρο, το 2019 θα χαρακτηριζόταν θερμό σε σχέση με τα υπόλοιπα έτη (μέγιστη T_{max}=37.5 °C). Ο συντελεστής ανοδικής τάσης ισούται με 0.7 °C/10ετία. Η Στοκχόλμη και το Ταλίν εμφανίζουν ελάχιστο κατά τη θερμή περίοδο του 1962 (24.7 °C και 25.1 °C αντίστοιχα). Όσον αφορά τη Στοκχόλμη, το μέγιστο παρουσιάζεται κατά το 1975 (35.4 °C), ενώ το 2019 η μέγιστη θερμοκρασία πλησιάζει τους 32 °C. Ανά δεκαετία, η παράμετρος αυτή αυξάνεται με αργούς ρυθμούς (0.3 °C/10ετία). Κατά αντιστοιχία, στο Ταλίν το μέγιστο φτάνει στους 34.3 °C το 1994, με το 2019 να εμφανίζει μέγιστη θερμοκρασία ίση με 31.6 °C. Ανά δεκαετία, ο ρυθμός αύξησης είναι λίγο μεγαλύτερος σε σχέση με τη Στοκχόλμη (0.4 °C/10ετία). Για τη Μόσχα, που γενικώς φημίζεται για τις ψυχρότερες συνθήκες της Ευρώπης, η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη θερμή περίοδο του 1976 αποκτά την ελάχιστη τιμή της (26.5 °C) και κατά τη θερμή περίοδο του 2010 τη μέγιστη (38.2 °C), ενώ το 2019 αγγίζει την τιμή των 31.2 °C. Ο ρυθμός αύξησης ισούται με 0.4 °C/10ετία και είναι σαφώς

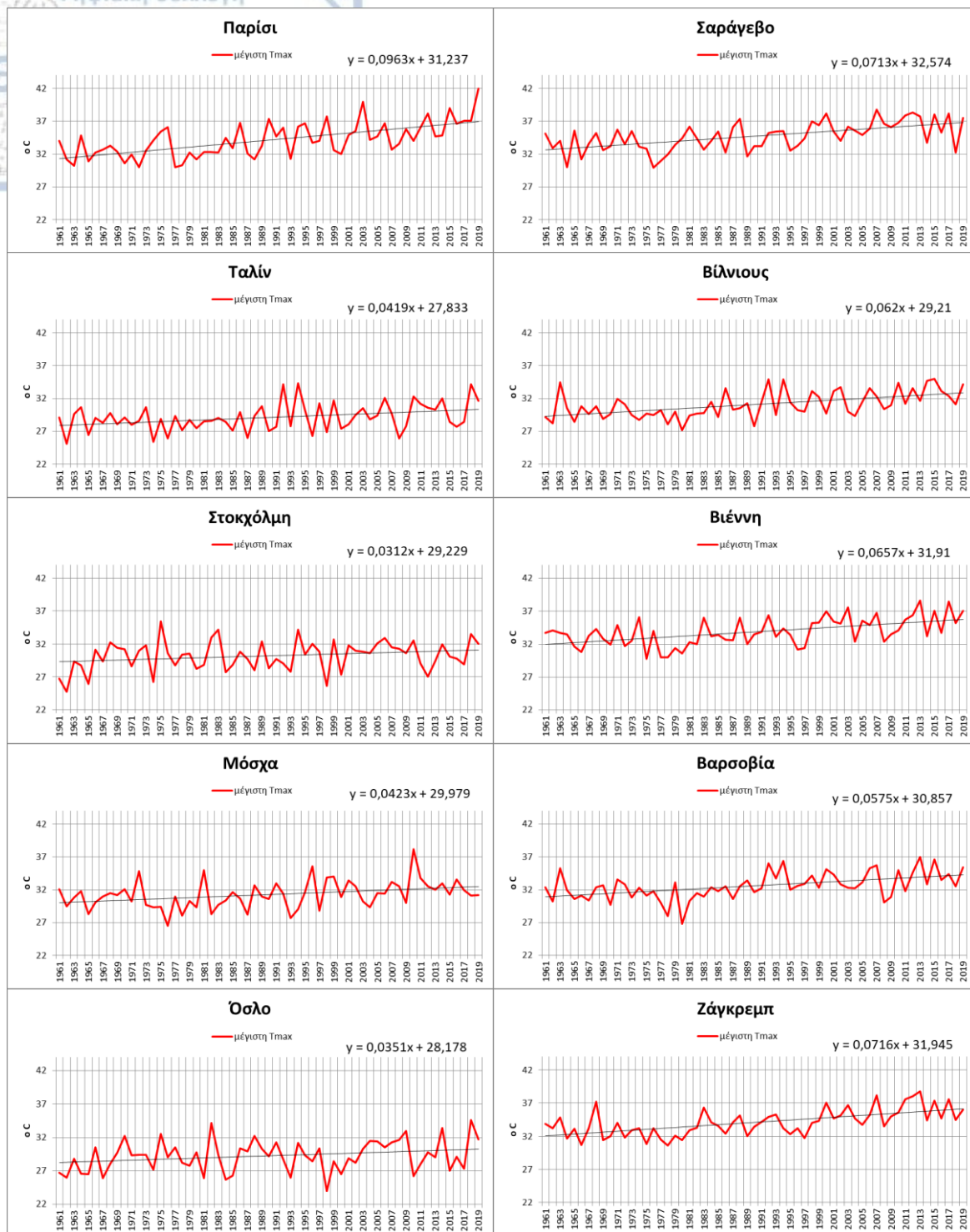
μικρότερος συγκριτικά με τις υπόλοιπες πόλεις. Το ίδιο ισχύει και για το Όσλο, όπου ο ρυθμός αύξησης είναι ακόμα μικρότερος και ίσος με $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{δεκαετία}$. Η λιγότερο θερμή περίοδος αναφορικά με τη μέγιστη $T_{\max}$ εμφανίζεται το 1998 ($24\text{ }^{\circ}\text{C}$) και η θερμότερη το 2018 ($34.6\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η διαφορά της θερμότερης περιόδου του 2018 από τη θερμή περίοδο του 2019 είναι αισθητή. Η μέγιστη θερμοκρασία κατά το 2019 φτάνει στους $31.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ιδιαίτερα θερμό για τη Βαρσοβία είναι το 2013, με μέγιστο στους $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, σχεδόν 10 βαθμούς υψηλότερο από το ελάχιστο του 1980 ($26.8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Το 2019 η μέγιστη θερμοκρασία αγγίζει τους $35.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ και αυξάνεται από το 1961 έως το 2019 κατά $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$. Με ίδιο ρυθμός αύξησης με τη Βαρσοβία, στο Βίλνιους το εύρος μεγίστων θερμοκρασιών είναι $27.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1980)- $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2015). Εκεί η μέγιστη $T_{\max}$ το 2019 απέχει μόλις $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ από το μέγιστο του 2015 ($34.2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και για τη Βιέννη αναφορικά με την τάση ανά δεκαετία. Η διαφορά έγκειται στις ακραίες τιμές. Έτσι, για τη Βιέννη η μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από τους $29.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά το 1975 έως τους $38.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά το 2013. Παρόλα αυτά, και η θερμή περίοδος του 2019 συγκριτικά με αυτή των υπολοίπων ετών, είναι θερμότερη με μέγιστη $T_{\max}= 37.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τέλος στο Ζάγκρεμπ, η πιο θερμή περίοδος παρατηρείται το 2013 (μέγιστη $T_{\max}= 38.8\text{ }^{\circ}\text{C}$) και η πιο ψυχρή το 1978 (μέγιστη $T_{\max}= 30.6\text{ }^{\circ}\text{C}$). Με μέγιστη $T_{\max}= 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη θερμή περίοδο του 2019, ο συντελεστής αύξησης της παραμέτρου ανά δεκαετία είναι υψηλός και ίσος με $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του κεφαλαίου 3.2 με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή της μέγιστης T_{max} (°C) μαζί με τα έτη εμφάνισής τους, τη μέγιστη T_{max2019} (°C) και το ρυθμό αύξησης της μέγιστης T_{max}/10ετία (°C)

Πόλεις	Ελάχιστη τιμή μέγιστης T _{max}	Μέγιστη τιμή μέγιστης T _{max}	Μέγιστη T _{max2019}	Ρυθμός αύξησης μέγιστης T _{max} /10ετία
Άμστερνταμ	26.1 (1974)	36.4(2019)	36.4	0.8
Βελιγράδι	32.5 (1976)	43.6 (2007)	37.6	0.6
Βερολίνο	30.1 (1993)	37.9 (2015)	37.6	0.6
Βουκουρέστι	32.2 (1995)	42.2 (2000)	36.1	0.3
Λονδίνο	25.5 (1962)	38 (2019)	38	0.8
Ελσίνκι	22.8 (1962)	33.2 (2019)	33.2	0.3
Κίεβο	28.8 (1978)	39.2 (2010)	35.1	0.5
Λιουμπλιάνα	29.6 (1978)	40.2 (2013)	36.5	0.6
Λουξεμβούργο	28.3 (1998)	39 (2019)	39	0.7
Μαδρίτη	33.2 (1972)	40.6 (2012)	40.5	0.6
Μόσχα	26.5 (1976)	38.2 (2010)	31.2	0.4
Όσλο	24 (1998)	34.6 (2018)	31.7	0.3
Παρίσι	30(1972,1977)	42 (2019)	42	0.9
Σαράγεβο	29.9 (1976)	38.8 (2007)	37.5	0.7
Στοκχόλμη	24.7 (1962)	35.4 (1975)	32	0.3
Ταλίν	25.1 (1962)	34.3 (1994)	31.6	0.4
Βαρσοβία	26.8 (1980)	37 (2013)	35.4	0.6
Βίλνιους	27.2 (1980)	35 (2015)	34.2	0.6
Βιέννη	29.8 (1975)	38.6 (2013)	37.1	0.6
Ζάγκρεμπ	30.6 (1978)	38.8 (2013)	36	0.7





Σχήμα 2: Μέγιστη Tmax της θερμής περιόδου κατ' έτος (1961-2019) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων

3.3 TXx ανά μήνα της θερμής περιόδου

Η μέγιστη μηνιαία τιμή των ημερησίων TXx ανά μήνα της θερμής περιόδου περιγράφεται συνολικά από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη τιμή. Έτσι στους Πίνακες 4-8 παρουσιάζονται με φθίνουσα σειρά οι TXx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου από το 1961 έως το 2019. Αρχικά, στον Πίνακα 4 καταγράφονται τα αποτελέσματα για το μήνα Μάιο. Σύμφωνα με τον Πίνακα, η υψηλότερη TXx (35.5 °C) καταγράφεται στη Μαδρίτη στις 13/5/2015 και η χαμηλότερη στο Ελσίνκι (27.6 °C) στις 29/5/1963. Αμέσως μετά τη Μαδρίτη ακολουθούν το Βουκουρέστι (1969), το Βελιγράδι (1996), η Βιέννη (2005) και το Κίεβο (2007) με τιμές του δείκτη ίσες με 35.1 °C, 34.9 °C, 33.7 °C και 33.6 °C αντίστοιχα. Στη συνέχεια, ο δείκτης συνεχίζει να μειώνεται στους 33.4 °C στο Ζάγκρεμπ κατά το 2008, στο Βερολίνο στους 33.3 °C κατά το 2005, στη Μόσχα στους 33.2 °C κατά το 2007 καθώς και στο Σαράγεβο το 2008 και στη Βαρσοβία στους 32.8 °C κατά το 2005. Καθώς ο δείκτης εξακολουθεί να μειώνεται, η σειρά είναι η εξής: Λιουμπλιάνα με TXx =32.4 °C το Μάιο του 1999, Παρίσι με TXx =31.7 °C το Μάιο του 2017, Λουξεμβούργο με TXx =31.6 °C το Μάιο του ίδιου έτους, Άμστερνταμ με TXx =31.5 °C το Μάιο του 1998, Ταλίν με TXx =31.4 °C το Μάιο του 2014 και Όσλο με TXx =31.1 °C το Μάιο του 2018. Στο τέλος του πίνακα πριν το Ελσίνκι που είναι το τελευταίο στην κατάταξη βρίσκεται το Βίλνιους με TXx =31.1 °C, το Λονδίνο με TXx =30.7 °C το 2005 και η Στοκχόλμη με TXx =29 °C το Μάιο του 1992. Σε κανένα σταθμό ο δείκτης δεν απέκτησε μέγιστη τιμή κατά το Μάιο του 2019.

Στον Πίνακα 5, παρόμοια κατάταξη πραγματοποιήθηκε για την TXx του Ιουνίου. Η μέγιστη και η ελάχιστη TXx εξακολουθούν να επικρατούν στη Μαδρίτη και το Ελσίνκι με μέγιστη TXx =40.5 °C στις 28/6/2019 (Μαδρίτη) και με ελάχιστη TXx =30.5 °C στις 28/6/1972 (Ελσίνκι). Θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός πως ο θερμότερος Ιούνιος εντοπίζεται το 2019 στην Ισπανική πρωτεύουσα. Παρατηρώντας τον πίνακα αναλυτικά, καθίσταται σαφές πως γενικά ο θερμότερος Ιούνιος κυριαρχεί κατά τη διάρκεια του 2019 σε πολλούς σταθμούς (7 σε αριθμό). Οι σταθμοί αυτοί κατά φθίνουσα σειρά είναι οι εξής: Μαδρίτη (TXx =40.5 °C στις 28/6/2019), Βερολίνο (TXx =37.6 °C στις 30/6/2019), Λιουμπλιάνα (TXx =36.5 °C στις 27/6/2019), Βαρσοβία (TXx =35.4 °C στις 26/6/2019), Βίλνιους (TXx =34.2 °C στις 13/6/2019), Κίεβο (TXx =34.1 °C στις 22/6/2019) και Ταλίν (TXx =31.1 °C στις

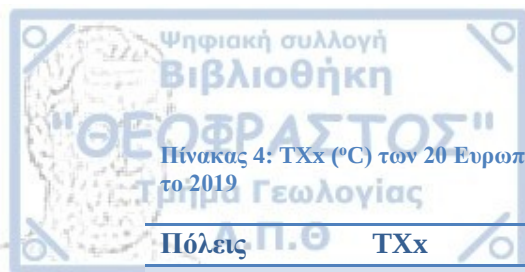
6/6/2019 και στις 7/6/2019). Οι τιμές του δείκτη των υπολοίπων σταθμών αναπαριστώνται στον Πίνακα. Για κάθε σταθμό, κατά την περίοδο 1961-2019, ο θερμότερος Ιούνιος εμφανίζεται διαφορετικό έτος.

Ακολουθώντας, στον Πίνακα 6, απεικονίζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα για τον Ιούλιο όλης της 59ετίας για όλη την περιοχή μελέτης. Στην προκειμένη περίπτωση, η μέγιστη TX_x δεν εμφανίζεται στη Μαδρίτη, αλλά στο Βελιγράδι και ισούται με 43.6 °C, θερμοκρασία που μετρήθηκε στις 24/7/2007. Ο Ιούλιος 6 σταθμών αποκτά τη μέγιστη θερμοκρασία το 2019. Στην τρίτη θέση τοποθετείται το Παρίσι με $TX_x = 42$ °C στις 25/7/2019, στην πέμπτη το Λουξεμβούργο με $TX_x = 39$ °C την ίδια μέρα και στην ένατη το Λονδίνο με $TX_x = 42$ °C πάλι την 25^η του Ιουλίου του 2019. Αντιστοίχως, στη δωδέκατη θέση βρίσκεται η Βιέννη με $TX_x = 37.1$ °C στην 1/7/2019 και στη δέκατη τρίτη το Άμστερνταμ με $TX_x = 36.4$ °C στις 26/7/2019, μία μέρα αργότερα από τα υπόλοιπα 3 αστικά κέντρα (εκτός της Βιέννης). Η ελάχιστη τιμή της TX_x συνολικά, καταγράφεται στο Ελσίνκι πάλι κατά τον Ιούλιο του 2019 (33.2 °C) στις 28/7. Τα αποτελέσματα του εν λόγω δείκτη για τις υπόλοιπες πρωτεύουσες της Ευρώπης δείχνουν πως ιδιαίτερα θερμός υπήρξε ο Ιούλιος του 2007 (19-20 και 24/7) στο Βελιγράδι, το Ζάγκρεμπ και το Κίεβο. Τέλος, κατά το τριήμερο 29-31/7 του 1994, μέγιστες θερμοκρασίες για τη μήνα Ιούλιο εμφανίζονται στη Βαρσοβία, το Βίλνιους, το Ταλίν και τη Στοκχόλμη.

Ομοίως, στον Πίνακα 7 παρατίθενται οι τιμές του δείκτη TX_x για το μήνα Αύγουστο. Ο θερμότερος Αύγουστος των 20 πόλεων είναι αυτός του Βουκουρεστίου και της Μαδρίτης στις 7/8/2012 και 10/8/2012 με μέγιστη θερμοκρασία 40.6 °C. Αντιθέτως, στο Ελσίνκι ο λιγότερο θερμός Αύγουστος έχει θερμοκρασία ίση με 31.2 °C (8/8/1975). Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος-Ιούλιος), σε κανένα σταθμό ο Αύγουστος δεν παρουσιάζει μέγιστο κατά το 2019. Συνοπτικά, για τα υπόλοιπα 17 αστικά κέντρα της Ευρώπης οι τιμές του δείκτη είναι οι ακόλουθες (από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη τιμή): Στη Λουμπλιάνα 40.2 °C (2013), το Βελιγράδι και το Παρίσι 40 °C (2000 και 2003 αντίστοιχα), το Κίεβο 39.2 °C (2010), το Σαράγεβο και το Ζάγκρεμπ 38.8 °C (2007 και 2013 αντίστοιχα), τη Βιέννη 38.6 °C (2013), το Λονδίνο και το Λουξεμβούργο 37.9 °C (2003), το Βερολίνο 37.7 °C (1994), τη Μόσχα 37.3 °C (2010), τη Στοκχόλμη 35.4 °C (1975), το Βίλνιους 35 °C (2015), το Άμστερνταμ 34.5 °C (1990) και το Όσλο με το Ταλίν 34.2 °C (1982 και 1992 αντίστοιχα).

Ο τελευταίος μήνας της θερμής περιόδου είναι ο Σεπτέμβρης και τα αποτελέσματά του περιγράφονται στον Πίνακα 8. Με βάση τον Πίνακα, η μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας του μήνα από το 1961 έως το 2019, εμφανίζεται στη Μαδρίτη στις 6/9/2016 και ισούται με 38.9 °C. Η μικρότερη τιμή εμφανίζεται στο Ελσίνκι το διήμερο 6-7/9/1968 και ισούται με 26.2 °C. Παρακάτω θα αναφερθούν τα έτη που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα στον πίνακα. Έτσι, είναι φανερό πως κατά το 2015, ο Σεπτέμβρης είναι από τους πιο θερμούς που έχουν υπάρξει από το 1961 έως το 2019. Πιο συγκεκριμένα, στο Σαράγεβο η μέγιστη θερμοκρασία του Σεπτεμβρίου του 2015 ισούται με 38 °C, το Κίεβο με 35.7 °C, τη Βαρσοβία με 34.5 °C, τη Βιέννη με 33.6 °C και το Βίλνιους με 33.1 °C. Ιδιαίτερα θερμός υπήρξε ο Σεπτέμβρης επίσης κατά το 2016 στο Λονδίνο ($TX_x = 32.8$ °C) και το Άμστερνταμ ($TX_x = 31$ °C). Ακολουθεί ο Σεπτέμβρης του 1992, με τη μέγιστη θερμοκρασία στη Μόσχα να αγγίζει τους 29.4 °C και στο Ταλίν τους 28 °C. Δε θα μπορούσε να παραληφθεί και το έτος 1968, με 3 σταθμούς (Ταλίν, Στοκχόλμη, Ελσίνκι) να παρουσιάζουν μέγιστο το Σεπτέμβρη ίσο με 28 °C, 27.9 °C και 26.2 °C (όπως προαναφέρθηκε).

Συγκρίνοντας τα στοιχεία όλων των πινάκων, αποδεικνύεται πως ο θερμότερος Μάιος για την πλειοψηφία των αστικών κέντρων (11 σε αριθμό) ανιχνεύεται κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 2001-2010. Στη συνέχεια, ο θερμότερος Ιούνιος και Ιούλιος σημειώνονται από το 2011 έως 2019 σε 11 πρωτεύουσες και σε 9 πρωτεύουσες αντίστοιχα. Οι υψηλότερες τιμές των μεγίστων θερμοκρασιών του Αυγούστου παρουσιάζονται σε 6 αστικά κέντρα από το 2001 έως το 2010 και σε 7 από το 2011 έως το 2019. Τέλος, τα αποτελέσματα για το Σεπτέμβρη δείχνουν πως τα μέγιστα εμφανίζονται από το 2011 έως το 2019 σε 11 πρωτεύουσες.

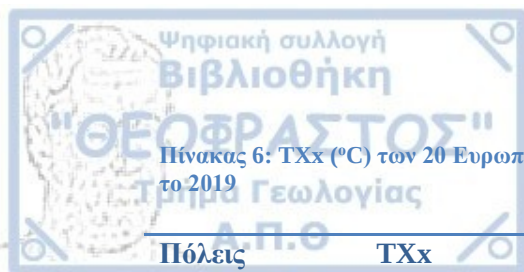


Πίνακας 4: TXx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Μαΐου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TXx	Ημερομηνίες
Μαδρίτη	35.5	13/5/2015
Βουκουρέστι	35.1	17/5/1969
Βελιγράδι	34.9	19/5/1996
Βιέννη	33.7	30/5/2005
Κίεβο	33.6	27/5/2007
Ζάγκρεμπ	33.4	27/5/2008
Βερολίνο	33.3	28/5/2005
Μόσχα	33.2	28/5/2007
Σαράγεβο	33.2	29/5/2008
Βαρσοβία	32.8	30/5/2005
Λιουμπλιάνα	32.4	31/5/1999
Παρίσι	31.7	28/5/2017
Λουξεμβούργο	31.6	29/5/2017
Άμστερνταμ	31.5	12/5/1998 27/5/2005
Ταλίν	31.4	19/5/2014
Όσλο	31.1	30/5/2018
Βίλνιους	31.1	29/5/2005
Λονδίνο	30.7	27/5/2005
Στοκχόλμη	29	31/5/1992
Ελσίνκι	27.6	29/5/1963

Πίνακας 5: TXx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Ιουνίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TXx	Ημερομηνίες
Μαδρίτη	40.5	28/6/2019
Βουκουρέστι	39	26/6/2007
Βερολίνο	37.6	30/6/2019
Βελιγράδι	37.4	24/6/2002
Παρίσι	37.1	21/6/2017
Λονδίνο	36.7	30/6/2015
Λιουμπλιάνα	36.5	27/6/2019
Ζάγκρεμπ	36.2	30/6/2012
Σαράγεβο	35.9	29/6/2006
Βιέννη	35.9	22/6/2000
Λουξεμβούργο	35.4	22/6/2017
Βαρσοβία	35.4	26/6/2019
Βίλνιους	34.2	13/6/2019
Κίεβο	34.1	22/6/2019
Μόσχα	33.9	15/6/1998
Άμστερνταμ	33.2	7/6/1996
Όσλο	32.2	20/6/1970 27/6/1988
Στοκχόλμη	32.2	18/6/1968
Ταλίν	31.1	6/6/2019 7/6/2019
Ελσίνκι	30.5	28/6/1972



Πίνακας 6: TXx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Ιουλίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TXx	Ημερομηνίες
Βελιγράδι	43.6	24/7/2007
Βουκουρέστι	42.2	5/7/2000
Παρίσι	42	25/7/2019
Μαδρίτη	39.7	13/7/2017
Λουξεμβούργο	39	25/7/2019
Μόσχα	38.2	29/7/2010
Σαράγεβο	38.2	4/7/2000
Ζάγκρεμπ	38.2	20/7/2007
Λονδίνο	38	25/7/2019
Βερολίνο	37.9	4/7/2015
Λιουμπλιάνα	37.1	27/7/1983
Βιέννη	37.1	19/7/2015 1/7/2019
Άμστερνταμ	36.4	26/7/2019
Κίεβο	36.3	19/7/2007
Βαρσοβία	35.9	30/7/1994 29/7/2013
Βίλνιους	34.9	31/7/1994
Όσλο	34.6	27/7/2018
Ταλίν	34.3	30/7/1994
Στοκχόλμη	34.2	11/7/1983 27/7/1994 29/7/1994
Ελσίνκι	33.2	28/7/2019

Πίνακας 7: TXx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TXx	Ημερομηνίες
Βουκουρέστι	40.6	7/8/2012
Μαδρίτη	40.6	10/8/2012
Λιουμπλιάνα	40.2	8/8/2013
Βελιγράδι	40	22/8/2000
Παρίσι	40	12/8/2003
Κίεβο	39.2	8/8/2010
Σαράγεβο	38.8	23/8/2007
Ζάγκρεμπ	38.8	8/8/2013
Βιέννη	38.6	8/8/2013
Λονδίνο	37.9	9/8/2003
Λουξεμβούργο	37.9	8/8/2003 12/8/2003
Βερολίνο	37.7	1/8/1994
Μόσχα	37.3	6/8/2010
Βαρσοβία	37	8/8/2013
Στοκχόλμη	35.4	6/8/1975
Βίλνιους	35	8/8/2015
Άμστερνταμ	34.5	4/8/1990
Όσλο	34.2	3/8/1982
Ταλίν	34.2	11/8/1992
Ελσίνκι	31.2	8/8/1975

Πίνακας 8: TXx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου από το 1961 έως το 2019

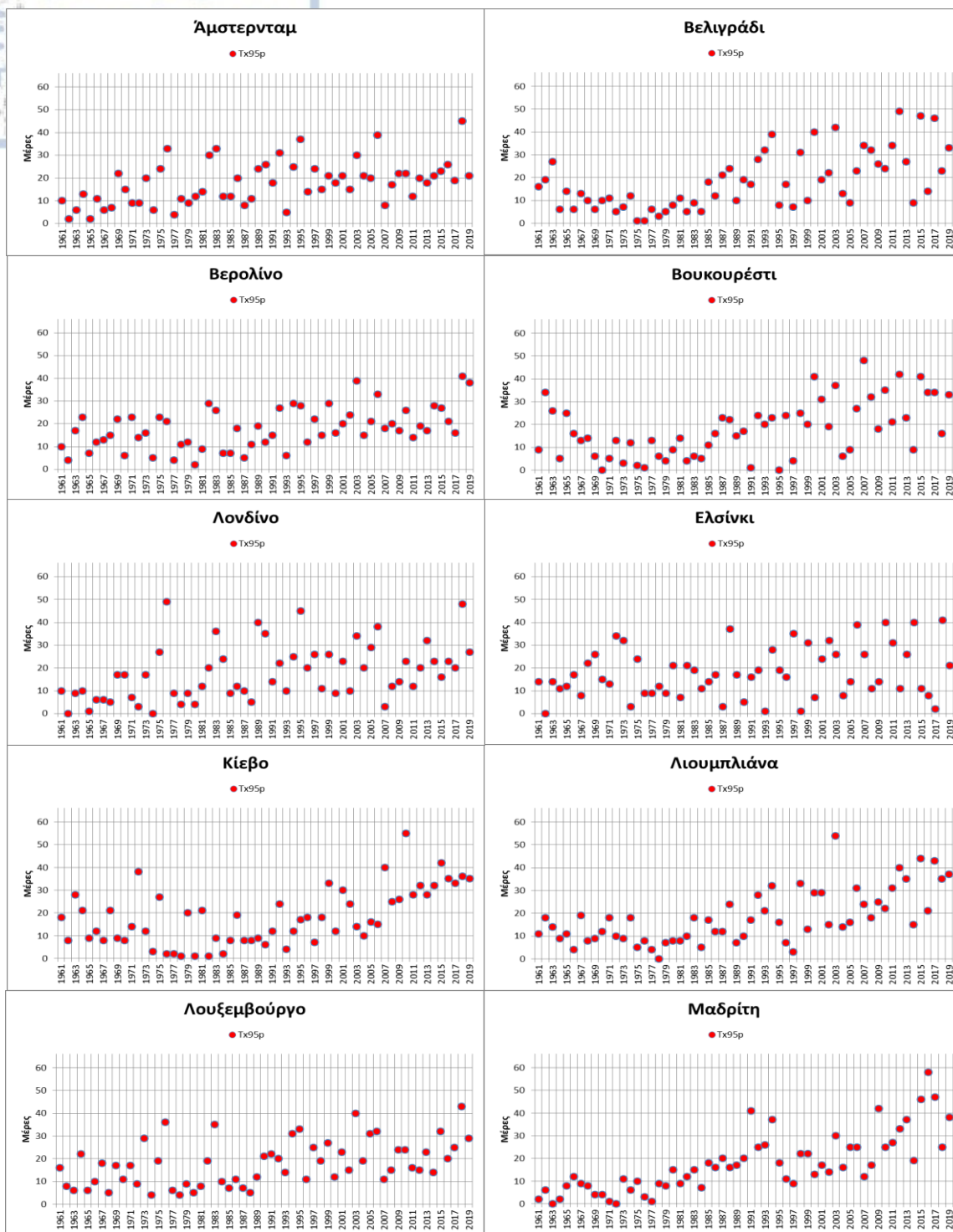
Πόλεις	TXx	Ημερομηνίες
Μαδρίτη	38.9	6/9/2016
Σαράγεβο	38	18/9/2015
Βελιγράδι	37.5	7/9/2008
Βουκουρέστι	36.8	15/9/1987
Κίεβο	35.7	2/9/2015
Βαρσοβία	34.5	1/9/2015
Βιέννη	33.6	17/9/2015
Λιουμπλιάνα	33.2	4/9/2011
Βίλνιους	33.1	1/9/2015
Παρίσι	33	5/9/2013
Ζάγκρεμπ	33	11/9/2011
Λονδίνο	32.8	12/9/2016
Βερολίνο	32	1/9/2009
Λουξεμβούργο	31.5	6/9/1973
Άμστερνταμ	31	14/9/2016
Μόσχα	29.4	1/9/1992
Ταλίν	28	5/9/1968 1/9/1992
Στοκχόλμη	27.9	7/9/1968
Όσλο	26.4	3/9/1991
Ελσίνκι	26.2	6/9/1968 7/9/1968

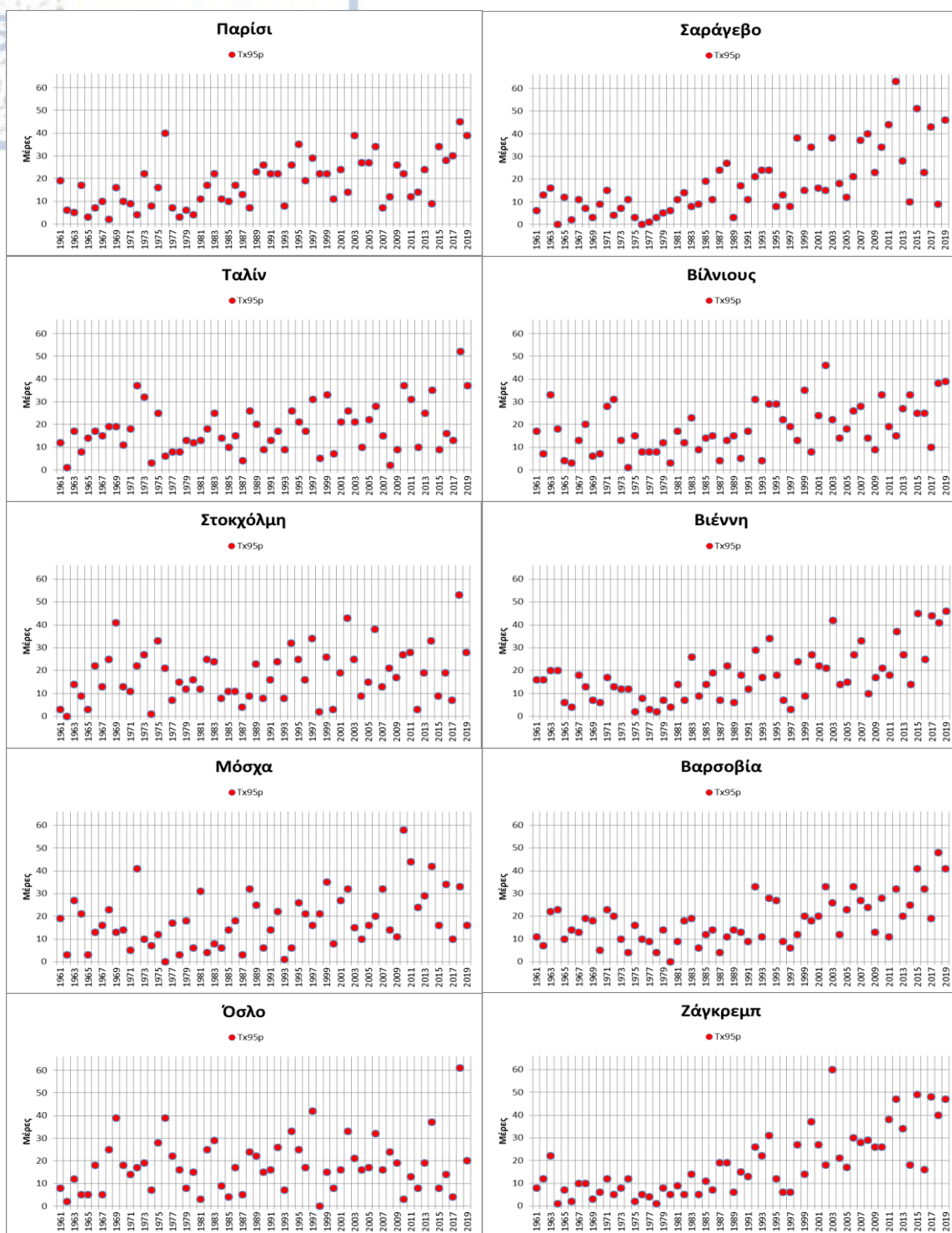
3.4 TX95p της θερμής περιόδου κατ' έτος

Ο δείκτης TX95p αντιπροσωπεύει τον αριθμό των εξαιρετικά θερμών ημερών και εφαρμόστηκε για τη θερμή περίοδο κατ' έτος από το 1961 έως το 2019 για κάθε αστικό κέντρο της Ευρώπης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν απεικονίζονται γραφικά στα 20 διαγράμματα του Σχήματος 3. Και από τα 20 διαγράμματα εξάγεται το συμπέρασμα πως οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη ποικίλλουν χωρικά και χρονικά. Για κάθε πόλη, γίνεται αναφορά στην ελάχιστη και μέγιστη τιμή των εξαιρετικά θερμών ημερών, καθώς και στον αριθμό αυτών κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του 2019.

Αρχικά, στο Άμστερνταμ κατά τη θερμή περίοδο του 1962 και του 1965 σημειώνεται η ελάχιστη τιμή του δείκτη (2 ημέρες) και η μέγιστη κατά τη θερμή περίοδο του 2018 (45 ημέρες). Για το 2019, οι εξαιρετικά θερμές ημέρες είναι 21. Τα αποτελέσματα για το Βελιγράδι έχουν ως εξής: TX95p= 1 ημέρα από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο του 1975 και του 1976 και TX95p=41 ημέρες του 2018. Το 2019 σημειώνεται εξίσου μεγάλη τιμή του δείκτη (TX95p=33 ημέρες). Παρομοίως, στο Βερολίνο ο αριθμός

των εξαιρετικά θερμών ημερών κυμαίνεται από 2 ημέρες το 1980 έως και 41 ημέρες το 2018, ενώ το 2019 απέχει 3 ημέρες από το 2018. Όσον αφορά τα Βουκουρέστι, κατά το 1970 και 1995 δεν υπάρχουν καθόλου εξαιρετικά θερμές ημέρες, σε αντίθεση με το 2007 που παρουσιάζεται το μέγιστο των 48 ημερών και το 2019 να μην ξεπερνά τον αριθμό των 33 ημερών. Όπως και στο Βουκουρέστι, έτσι και στο Λονδίνο απουσιάζουν οι ημέρες αυτές κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του 1962 και 1974. Δύο χρόνια αργότερα, το 1976, στο Λονδίνο μεγιστοποιείται ο αριθμός (49 ημέρες). Ο αντίστοιχος αριθμός το 2019 είναι ίσος με 27 ημέρες. Ίδιο μοτίβο φαίνεται και στο Ελσίνκι με απουσία εξαιρετικά θερμών ημερών το 1962 και παρουσία 41 εξαιρετικά θερμών το 2018, 20 περισσότερες από αυτές του 2019 (21 ημέρες). Στη συνέχεια, το Κίεβο εμφανίζει 1 μόνο ημέρα 3 φορές (1978, 1980, 1982) και 55 ημέρες το 2010. Σε σχετικά υψηλή θέση βρίσκεται το 2019 με 35 ημέρες. Ακραίες συνθήκες απουσιάζουν κατά τη διάρκεια του 1978 στη Λουμπλιάνα, ενώ το 2003 το μέγιστο ισούται με 54 ημέρες, αρκετά υψηλότερο από την αντίστοιχη τιμή του 2019 (37 ημέρες). Αναλόγως, στο Λουξεμβούργο οι εξαιρετικά θερμές ημέρες κυμαίνονται από 4 (1974, 1978) έως 43 (2018) με ενδιάμεση σχεδόν τιμή το 29 του 2019. Συνεχίζοντας, το εύρος των προαναφερθεισών ημερών στη Μαδρίτη είναι το εξής, 0 το 1963 και το 1972 έως 58 το 2016, ενώ το 2019 ελαττώνεται η συχνότητα εμφάνισης των ημερών αυτών σε 38. Στο Παρίσι, η συχνότητα αυτή ισούται με 2 το 1968 (ελάχιστο) και με 45 το 2018 (μέγιστο). Με μόλις έξι ημέρες λιγότερες από το 2018, στο Παρίσι το έτος 2019 καταγράφονται 39 εξαιρετικά θερμές ημέρες. Μεγάλη απόκλιση τιμών του ακραίου αυτού δείκτη παρατηρείται στο Σαράγεβο. Αναλυτικότερα, από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο του έτους 2012 επιτυγχάνεται το μέγιστο (63 ημέρες), παρόλο που σχεδόν στην αρχή της περιόδου μελέτης (1964, 1976) ο δείκτης είναι μηδενικός. Αντιθέτως, το 2019 ισχύει πως $TX95p = 46$ ημέρες. Στο Ταλίν, οι τιμές του δείκτη ποικίλλουν με ελάχιστη τιμή το 1 (1962) και μέγιστη το 52 (2018). Αντιστοίχως, η τιμή του 2019 ισούται με 37. Επιπροσθέτως, το εύρος τιμών στο Βίλνιους ισούται με $TX95p = 1$ ημέρα (1974)- 46 ημέρες (2002) και για το 2019 ισχύει πως $TX95p = 39$ ημέρες. Προς την αρχή της περιόδου μελέτης, το 1962, στη Στοκχόλμη δεν εντοπίζονται εξαιρετικά θερμές ημέρες και προς το τέλος, το 2018 εντοπίζονται 53. Σημαντικά μικρότερος είναι ο αριθμός στο τέλος της περιόδου, το 2019, ίσος με 28. Αξίζει να επισημανθεί πως στη Βιέννη το 2019, σημειώνεται το μέγιστο του δείκτη (46 εξαιρετικά θερμές ημέρες), με το ελάχιστο να εμφανίζεται δύο φορές κατά τη θερμή περίοδο του 1975 και του 1978. Στη Μόσχα απουσιάζουν οι





Σχήμα 3: TX95p της θερμής περιόδου κατ' έτος (1961-2019) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων

3.5 Μέγιστη T_{min} της θερμής περιόδου κατ' έτος

Η μέγιστη T_{min} αποτελεί έναν ακόμα ακραίο θερμοκρασιακό δείκτη που χρησιμοποιείται στη μελέτη των καυσώνων. Οι τιμές του απεικονίζονται στο Σχήμα 4 για τη θερμή περίοδο κατ' έτος (1961-2019) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων μαζί με τη γραμμή τάσης (μαύρη γραμμή). Βάσει του Σχήματος 4, θα αναλυθούν τα βασικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τα 20 διαγράμματα (1 για κάθε πρωτεύουσα). Είναι εμφανές πως η μέγιστη ελάχιστη θερμοκρασία ακολουθεί παρόμοια πορεία με τη μέγιστη των μεγίστων θερμοκρασιών, δηλαδή ανοδική.

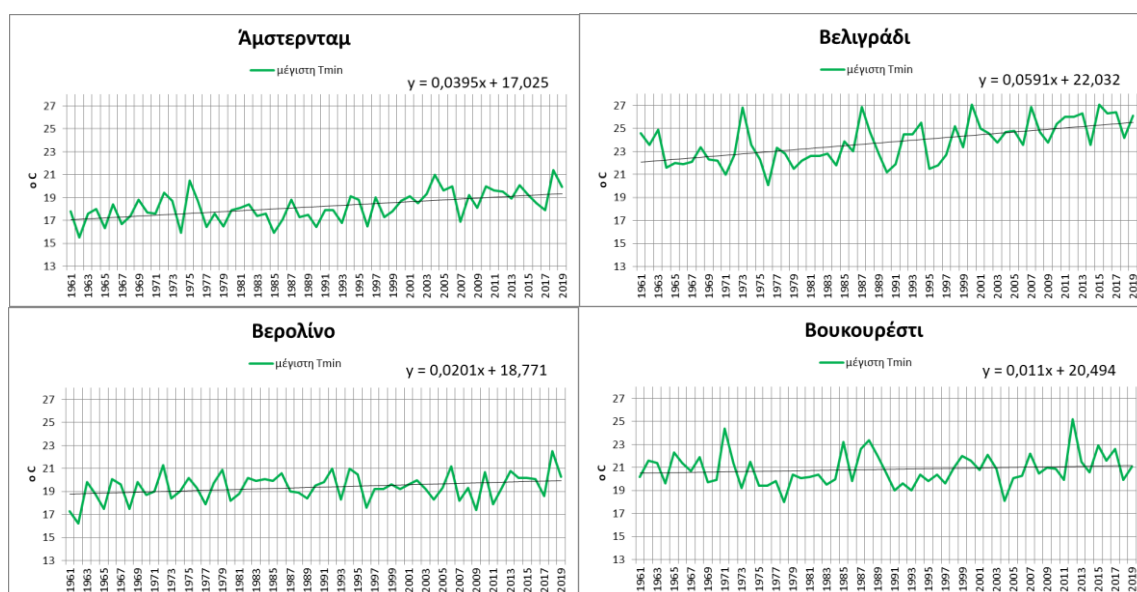
Αρχικά, στο Άμστερνταμ η μέγιστη T_{min} κυμαίνεται από τους 15.2 °C το 1962 έως τους 21.4 °C το 2018, με την τιμή να φτάνει στους 19.9 °C το 2019. Ο ρυθμός της ανοδικής τάσης στο Άμστερνταμ ισούται με 0.4 °C/10ετία. Στη συνέχεια, στο Βελιγράδι το ελάχιστο εντοπίζεται κατά τη θερμή περίοδο του 1976 (20.1 °C) και το μέγιστο κατά τη θερμή περίοδο του 2000 και 2015 (27.1 °C). Κατά το θερμό 5μηνο του 2019, η μέγιστη ελάχιστη θερμοκρασία φτάνει στους 26.1 °C με ρυθμό αύξησης 0.6 °C/10ετία. Για το Βερολίνο, η μέγιστη των ελαχίστων θερμοκρασιών αυξάνεται με πολύ αργούς ρυθμούς ανά δεκαετία συγκριτικά με τις υπόλοιπες πρωτεύουσες (0.2 °C/10ετία). Το εύρος είναι το εξής: 16.2 °C (1962) -22.5 °C (2018), ενώ το 2019 η τιμή πέφτει στους 20.3 °C. Στο Βουκουρέστι, ο δείκτης αυξάνεται με το μικρότερο ρυθμό σε σχέση με όλα τα αστικά κέντρα (0.1 °C/10ετία). Η ελάχιστη τιμή του δείκτη σημειώνεται το 1978 (18 °C) και η μέγιστη το 2012 (25.2 °C) με ταυτόχρονη πτώση στην τιμή του το 2019 (21.1 °C). Παρατηρώντας το διάγραμμα του Λονδίνου, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Η μέγιστη T_{min} κυμαίνεται από τους 15.6 °C (1965) έως τους 22.2 °C (2016). Με συντελεστή ανοδικής τάσης 0.4 °C/10ετία, η μέγιστη T_{min} το 2019 βρίσκεται στους 20.1 °C. Στο Ελσίνκι, οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στις αρχές της περιόδου μελέτης (το 1962) και οι υψηλότερες στα τέλη (2018). Οι τιμές αυτές ισούνται με 15.3 °C και 22.8 °C αντίστοιχα. Ανά δεκαετία η μέγιστη ελάχιστη θερμοκρασία αυξάνεται κατά 0.3 °C, παρόλο που η τιμή της το 2019 είναι χαμηλότερη και ίση με 20.2 °C. Στο Κίεβο, κατά το 1978 παρουσιάζεται το ελάχιστο (18.1 °C) και κατά τη διάρκεια του μεγακαύσωνα του 2010 το μέγιστο (24.9 °C). Με βάση αυτήν την παράμετρο, το 2019 θεωρείται θερμό (μέγιστη T_{min} =22.4 °C) και αναμένεται αύξηση 0.5 °C μέσα στην επόμενη δεκαετία. Παρομοίως, το ελάχιστο στη Λουμπλιάνα εμφανίζεται τη θερμή περίοδο του ίδιου έτους με το Κίεβο και είναι ίσο με 16.4 °C. Η διαφορά έγκειται στην τιμή και στο χρόνο εμφάνισης του

μεγίστου (23.8°C το 2017) και στην τιμή της μέγιστης $T_{\min}$ το 2019 (23°C). Την επόμενη δεκαετία, η μέγιστη ελάχιστη θερμοκρασία στη Λουμπλιάνα θα αυξηθεί κατά 0.6°C . Λόγω του ότι η μελέτη εστιάζει στα αποτελέσματα για το 2019, εξήχθησαν δύο σημαντικά στοιχεία για το Λουξεμβούργο και το Παρίσι. Και στα δύο αστικά κέντρα, το 2019 μπορεί να χαρακτηριστεί ακραίο, καθώς τα μέγιστα των ελαχίστων θερμοκρασιών σημειώνονται τότε και είναι ίσα με 24.1°C και 24.5°C αντίστοιχα. Στο Λουξεμβούργο από τη μία το ελάχιστο σημειώνεται το 1962 και είναι ίσο με 16.1°C , ενώ στο Παρίσι από την άλλη σημειώνεται το 1965 και ισούται με 16.8°C . Μεγαλύτερο συντελεστή ανοδικής τάσης εμφανίζει το Λουξεμβούργο ($0.7^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$) έναντι του Παρισιού ($0.5^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$). Αναφορικά με τη Μαδρίτη, το καθεστώς που επικρατεί είναι διαφορετικό. Η χαμηλότερη τιμή όλης της περιόδου μελέτης τοποθετείται στο 1977 (20.2°C) και η υψηλότερη στο 2018 (25.9°C), 0.9°C υψηλότερη τιμή συγκριτικά με το 2019 (25°C). Από την εξίσωση της γραμμής τάσης, φαίνεται πως ανά δεκαετία η μέγιστη των ελαχίστων θερμοκρασιών ακολουθεί ανοδική πορεία της τάξεως των 0.5°C . Με ίδιο ρυθμό αύξησης ανά δεκαετία, στο Σαράγεβο το εύρος των μεγίστων $T_{\min}$ έχει ως εξής: 15.6°C (1976)- 26°C (1987, 2007) και μέγιστη $T_{\min}$ (2019)= 19.7°C . Όσον αφορά το Ταλίν, από το 1962, έτος με το ελάχιστο όλης της περιόδου (13.2°C) έως και το 2018, έτος με το μέγιστο (22.4°C), ο δείκτης παρουσιάζει ανοδική πορεία με ρυθμό $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$. Η τιμή του δείκτη κατά το 2019 πλησιάζει τους 19.9°C . Η επίδραση του μεγακαύσωνα του 2010 είναι εμφανής και έντονη στο Βίλνιους. Η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία τότε αγγίζει τους 22.4°C όπως και στο Ταλίν, θερμοκρασία αρκετά μεγαλύτερη από το ελάχιστο του 1978 (15.3°C). Από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο του 2019, η μέγιστη τιμή του δείκτη ισούται με 21°C , ενώ μέσα σε 10 χρόνια προβλέπεται αύξηση 0.5°C . Βορειότερα, στη Στοκχόλμη, το θερμοκρασιακό εύρος διαφοροποιείται. Αναλυτικότερα, η μέγιστη $T_{\min}$ κυμαίνεται από τους 15.4°C (1974) έως τους 22.8°C (2018), με την τιμή να ελαττώνεται το 2019 και να γίνεται ίση με 19.7°C . Παρόλα αυτά, εξακολουθεί να υπερισχύει και σε αυτήν την περίπτωση η ανοδική τάση ($0.4^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$). Συνολικά για όλα τα αστικά κέντρα, ο ακραίος θερμοκρασιακός δείκτης της θερμής περιόδου από το 1961 έως το 2019 από έτος σε έτος μεταβάλλεται σημαντικά. Έτσι και στη Βιέννη, οι ενδοετήσιες μεταβολές είναι έντονες. Το ελάχιστο των 18.3°C μετράται το 1966 και το μέγιστο των 25.4°C μετράται δύο φορές, το 2015 και το 2017. Ο καύσωνας του 2019 δεν επέδρασε στην ελάχιστη θερμοκρασία με τέτοιο τρόπο ώστε να ξεπεραστεί το μέγιστο του 2015 και του 2017

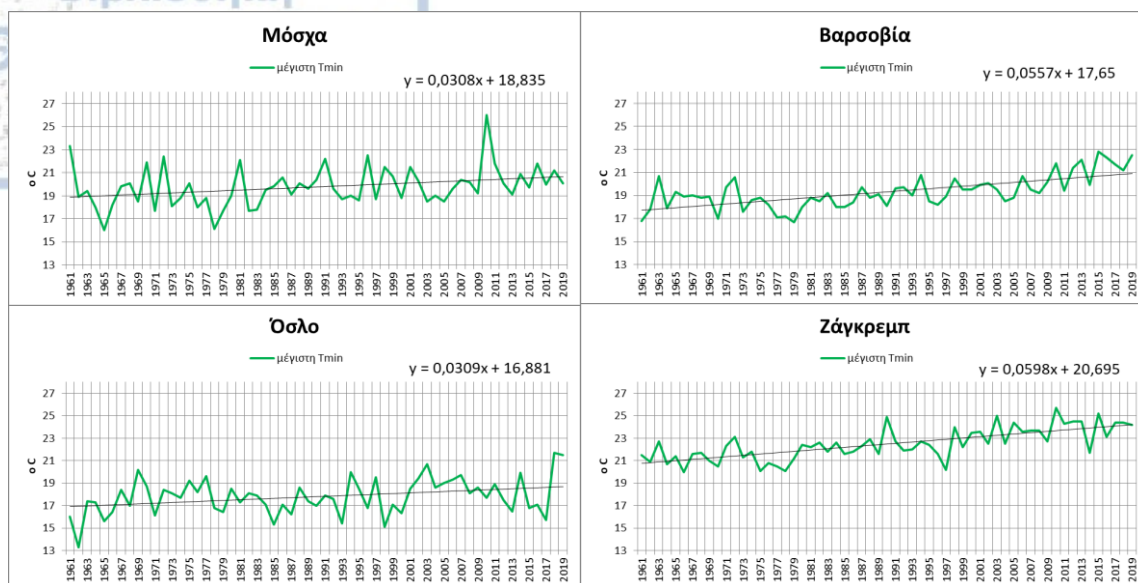
(μέγιστη T_{min} (2019)=23.2 °C). Σε διάστημα 20 ετών, είναι πιθανό η μέγιστη ελάχιστη θερμοκρασία να μεταβληθεί κατά +1.2 °C. Στη Μόσχα, άμεσα πληγείσα πόλη του μεγακαύσωνα του 2010, η μέγιστη T_{min} αγγίζει τους 26 °C, τιμή μη αναμενόμενη. Μόλις 10 °C κάτω (16 °C), το ελάχιστο παρουσιάζεται μέσα στο διάστημα από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο του 1965. Αισθητά χαμηλότερη είναι η τιμή κατά τη διάρκεια του 2019 (20.1 °C), ενώ ταυτόχρονα ο συντελεστής γραμμικής τάσης ισούται με 0.3 °C/10ετία. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα για τη Βαρσοβία είναι τα ακόλουθα: ελάχιστο της μέγιστης T_{min} = 16.7 °C (1979), μέγιστο μέγιστης T_{min} = 22.8 °C (2015), μέγιστη T_{min} = 22.5 °C (2019) και ρυθμός ανοδικής τάσης= 0.5 °C/10ετία. Το προτελευταίο διάγραμμα αναπαριστά τα αποτελέσματα για το Όσλο. Χωρίς να σημειώνεται η μέγιστη τιμή το 2019, η οποία είναι ίση με 21.5 °C, παρατηρείται πως απέχει μόλις 0.2 °C από το ολικό μέγιστο του 2018 (21.7 °C). Όπως και για τις περισσότερες πόλεις, έτσι και για το Όσλο το ολικό ελάχιστο συναντάται το 1962 (13.3 °C). Η ερχόμενη δεκαετία εικάζεται πως θα είναι κατά 0.3 °C θερμότερη από την προηγούμενη. Τέλος, στο Ζάγκρεμπ κατά το 1966 μετράται ένα από τα υψηλότερα ελάχιστα των μεγίστων T_{min} (20 °C). Κατά τη διάρκεια του μεγακαύσωνα του 2010, καταγράφεται στο Ζάγκρεμπ ολικό μέγιστο ίσο με 25.7 °C. Πιο ανίσχυρος δείχνει ο καύσωνας του 2019, καθώς η μέγιστη T_{min} ισούται με 24.2 °C. Σε διάστημα 10 ετών, η μέγιστη ελάχιστη θερμοκρασία αναμένεται να ανέλθει κατά 0.6 °C. Στο τέλος του κεφαλαίου 3.5 μέσω του Πίνακα 9, δίνονται περιληπτικά τα στοιχεία που προκύπτουν από τα διαγράμματα του Σχήματος 4.

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του κεφαλαίου 3.5 με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή της μέγιστης T_{min} (°C) μαζί με τα έτη εμφάνισής τους, τη μέγιστη T_{min}2019 (°C) και το ρυθμό αύξησης της μέγιστης T_{min}/10ετία (°C)

Πόλεις	Ελάχιστη τιμή μέγιστης T _{min}	Μέγιστη τιμή μέγιστης T _{min}	Μέγιστη T _{min} 2019	Ρυθμός αύξησης μέγιστης T _{min} /10ετία
Άμστερνταμ	15.2 (1962)	21.4 (2018)	19.9	0.4
Βελιγράδι	20.1 (1976)	27.1 (2000, 2015)	26.1	0.6
Βερολίνο	16.2 (1962)	22.5 (2018)	20.3	0.2
Βουκουρέστι	18 (1978)	25.2 (2012)	21.1	0.1
Λονδίνο	15.6 (1965)	22.2 (2016)	20.1	0.4
Ελσίνκι	15.3 (1962)	22.8 (2018)	20.2	0.3
Κίεβο	18.1 (1978)	24.9 (2010)	22.4	0.5
Λιουμπλιάνα	16.4 (1978)	23.8 (2017)	23	0.6
Λουξεμβούργο	16.1 (1962)	24.1 (2019)	24.1	0.7
Μαδρίτη	20.2 (1977)	25.9 (2018)	25	0.5
Μόσχα	16 (1965)	26 (2010)	20.1	0.3
Όσλο	13.3 (1962)	21.7 (2018)	21.5	0.3
Παρίσι	16.8 (1965)	24.5 (2019)	24.5	0.5
Σαράγεβο	15.6 (1976)	26 (1987, 2007)	19.7	0.5
Στοκχόλμη	15.4 (1974)	22.8 (2018)	19.7	0.4
Ταλίν	13.2 (1962)	22.4 (2018)	19.9	0.5
Βαρσοβία	16.7 (1979)	22.8 (2015)	22.5	0.5
Βίλνιους	15.3 (1978)	22.4 (2010)	21	0.5
Βιέννη	18.3 (1966)	25.4 (2015, 2017)	23.2	0.6
Ζάγκρεμπ	20 (1966)	25.7 (2010)	24.2	0.6







Σχήμα 4: Μέγιστη Tmin της θερμής περιόδου κατ' έτος (1961-2019) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων

3.6 TNx ανά μήνα της θερμής περιόδου

Καθώς η επίδραση των ελαχίστων θερμοκρασιών στους καύσωνες δε θεωρείται αμελητέα, μελετάται διεξοδικά η μέγιστη μηνιαία τιμή των ημερησίων ελαχίστων θερμοκρασιών. Δίνεται μία σειρά πινάκων (Πίνακες 10-14), στους οποίους τοποθετούνται τα 20 Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα με φθίνουσα σειρά όσον αφορά τις TNx (°C) κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου από το 1961 έως το 2019. Καταρχάς στον Πίνακα 10, διαφαίνονται τα αποτελέσματα για το μήνα Μάιο. Στην πρώτη θέση βρίσκεται το Βελιγράδι με $TN_x = 23.4$ °C στις 7/5/1968 και στην τελευταία θέση η Στοκχόλμη με $TN_x = 17.3$ °C στις 30/5/2018. Το 2019 απουσιάζει από όλα τα αστικά κέντρα, πράγμα που σημαίνει πως ο Μάιος του 2019 για κανένα αστικό δεν υπήρξε ακραία θερμός αναφορικά με τις ελάχιστες θερμοκρασίες. Στη δεύτερη θέση τοποθετούνται το Ζάγκρεμπ (2009) και το Σαράγεβο (1993), στην τρίτη το Κίεβο (2005) και στην τέταρτη η Μαδρίτη (2006) με τιμές του δείκτη ίσες με 21.4 °C, 20.7 °C και 20.6 °C αντίστοιχα. Ο δείκτης TNx εξακολουθεί να μειώνεται στους 20.4 °C στη Μόσχα κατά το 2007, στους 20 °C στο Βουκουρέστι και τη Βιέννη κατά το 1996 και 2012 αντίστοιχα, στους 19.4 °C στο Παρίσι κατά το 1998, στους 18.9 °C στη Λιουμπλιάνα και το Λουξεμβούργο κατά το 1969 και 2017 αντίστοιχα και στους 18.7 °C στη Βαρσοβία και το Ταλίν κατά το 2017 και 2018 αντιστοίχως. Μετά, οι τιμές του δείκτη έχουν ως εξής: Βερολίνο με $TN_x = 18.3$ °C το Μάιο του 2018, Βίλνιους με $TN_x = 18.1$ °C το Μάιο του 2007, Άμστερνταμ με $TN_x = 17.7$ °C το Μάιο του 2018,

Όσλο με $TN_x = 17.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ το Μάιο του 2012, Λονδίνο και Ελσίνκι με $TN_x = 17.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ το Μάιο του 1989 και 1961 αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 11, που ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία για το μήνα Ιούνιο, το έτος 2019 εμφανίζεται 4 φορές. Κατά σειρά, από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη τιμή της TN_x για το 2019, η κατάταξη διαμορφώνεται ως εξής: Την όγδοη θέση κατέχει το Κίεβο με $TN_x = 22.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 23/6 του έτους, τη δέκατη τρίτη θέση κατέχει το Βίλνιους με $TN_x = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 13/6, τη δέκατη έβδομη το Άμστερνταμ με $TN_x = 19.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 24/6 (μία μέρα αργότερα από το Κίεβο) και το Ταλίν στις 7/6. Στην πρώτη θέση ανέρχεται ξανά το Βελιγράδι με $TN_x = 26.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 29/6/2017, με το Όσλο στην τελευταία θέση ($TN_x = 19.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 11/6/2007). Σημαντική θέση φαίνεται να έχει ο Ιούνιος του 1976, καθώς σε 3 πρωτεύουσες σημειώνεται το μέγιστο του δείκτη (Παρίσι, Λουξεμβούργο, Λονδίνο).

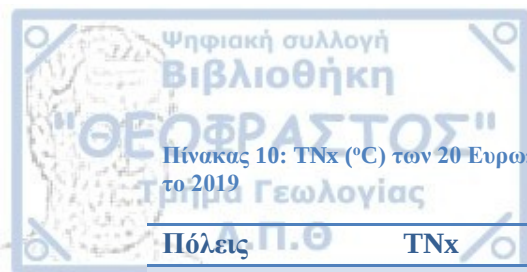
Στη συνέχεια για τον μήνα Ιούλιο (Πίνακας 12) τρία στα είκοσι αστικά κέντρα παρουσιάζουν μέγιστη θερμοκρασία αυτού του μήνα το 2019 (Παρίσι, Λουξεμβούργο, Βαρσοβία). Οι αντίστοιχες θερμοκρασίες και ημερομηνίες εμφάνισής τους είναι οι εξής και για τις τρεις πόλεις: Παρίσι με $TN_x = 24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 25/7/2019, Λουξεμβούργο με $TN_x = 24.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ την ίδια μέρα με το Παρίσι και Βαρσοβία με $TN_x = 22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ στη 1/7/2019. Το Βελιγράδι παραμένει σταθερά πρώτο στην κατάταξη με $TN_x = 27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 23/7/2015, ενώ στην τελευταία θέση μέχρι στιγμής εναλλάσσονται η Στοκχόλμη, το Όσλο και το Βερολίνο. Ειδικότερα στο τελευταίο η ελάχιστη τιμή του δείκτη TN_x για το μήνα Ιούλιο ισούται με $21.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ και καταγράφεται στις 19/7/1972. Κατά το 2010, η μέγιστη TN του Ιουλίου φτάνει στις υψηλότερες τιμές της στη Μόσχα, το Ζάγκρεμπ, το Κίεβο και το Βίλνιους, ενώ κατά το 2018 παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο στο Ελσίνκι, , το Ταλίν, το Όσλο και το Άμστερνταμ.

Ακολούθως, στους Πίνακες 13 & 14 παρατίθενται οι τιμές του δείκτη για τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο. Κοινό χαρακτηριστικό για τους μήνες αυτούς, αποτελεί το γεγονός πως το 2019 απουσιάζει και στις 20 πρωτεύουσες. Αυτό σημαίνει πως σε καμία από αυτές, το δίμηνο (Αυγ-Σεπτ) κατά τη διάρκεια του 19 δεν ήταν το θερμότερο όλης της περιόδου. Εστιάζοντας στον Πίνακα 13, καθίσταται σαφές πως συνολικά οι υψηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες του Αυγούστου καταγράφονται το 2018, το 2010, και το 2003. Αρχικά, με κριτήριο τις υψηλότερες ελάχιστες TN , ο Αύγουστος είναι θερμότερος το 2018 στη Μαδρίτη ($25.9\text{ }^{\circ}\text{C}$), τη Στοκχόλμη (22.8

°C), το Βερολίνο και το Ελσίνκι (22.5 °C) από την 1^η έως την 3^η του μηνός. Ο θερμότερος Αύγουστος κατά το 2010 παρατηρείται στη Μόσχα (24.4 °C), το Βίλνιους (22.4 °C) και το Ταλίν (21.1 °C) για διαφορετικές ημερομηνίες. Τέλος, διαφορετικές ημέρες του Αυγούστου του 2003 χαρακτηρίζονται ως θερμότερες στο Σαράγεβο (24.5 °C), το Παρίσι (23.5 °C) και το Λουξεμβούργο (23 °C). Ομοίως με τον Ιούνιο, ο θερμότερος Αύγουστος καταγράφεται στο Βελιγράδι με $TN_x = 27.1$ °C στις 22/8/2000 και ο λιγότερο θερμός στο Όσλο με $TN_x = 20.2$ °C στις 2/8/1969.

Από τα αποτελέσματα του τελευταίου Πίνακα (14), εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Συνολικά η μέγιστη TN του Σεπτεμβρη από το 1961 έως το 2019 για όλη την περιοχή μελέτης κυμαίνεται από τους 16.4 °C στο Ταλίν στις 8/9/2005 έως τους 23.5 °C στο Βελιγράδι στις 7/9/2008. Συγκρίνοντας τις τιμές όλων των υπολοίπων πρωτευουσών, φαίνεται πως ο Σεπτέμβρης του 2016 και του 2008 υπερέχουν θερμοκρασιακά. Όσον αφορά το Σεπτέμβρη του 2016, κατά φθίνουσα σειρά οι τιμές του δείκτη TN_x είναι οι εξής: 20.8 °C στο Παρίσι, 19.4 °C στο Λονδίνο, 18.6 °C στο Λουξεμβούργο και 18.5 °C στο Άμστερνταμ από τις 13 έως τις 14 του μηνός. Αντίστοιχα για το Σεπτέμβρη του 2008: 23.5 °C στο Βελιγράδι, 19 °C στη Μόσχα και 18.6 °C στη Λιουμπλιάνα από τις 6 έως τις 8 του μηνός.

Συνολικά, οι τιμές του δείκτη TN_x σε συνδυασμό με τις ημερομηνίες εμφάνισής τους, δείχνουν πως η θερμότερη περίοδος όσον αφορά το μήνα Μάιο είναι η 2011-2019. Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν από τις τιμές του δείκτη κατά τη διάρκεια του Ιουνίου και του Ιουλίου, καθώς από το 2011 έως το 2019, σε 10 και σε 12 πρωτεύουσες αντίστοιχα σημειώνονται μέγιστα. Εστιάζοντας στον πίνακα με το δείκτη TN_x του Αυγούστου, αποδεικνύεται πως από το 2001 έως το 2010 και από το 2011 έως το 2019 επικρατούν οι θερμότερες συνθήκες για την πλειοψηφία των αστικών κέντρων. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται και κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου από τον αντίστοιχο πίνακα

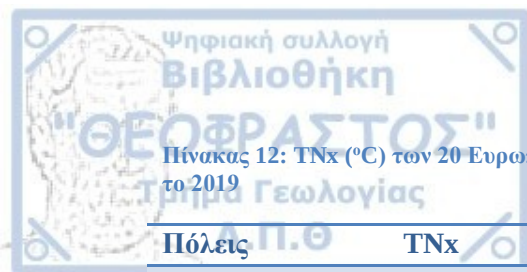


Πίνακας 10: TNx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Μαΐου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TNx	Ημερομηνίες
Βελιγράδι	23.4	7/5/1968
Ζάγκρεμπ	21.4	26/5/2009
Σαράγεβο	21.4	28/5/1993
Κίεβο	20.7	30/5/2005
Μαδρίτη	20.6	29/5/2006
Μόσχα	20.4	29/5/2007
Βουκουρέστι	20	21/5/1996
Βιέννη	20	24/5/2012
Παρίσι	19.4	14/5/1998
Λιουμπλιάνα	18.9	15/5/1969
Λουξεμβούργο	18.9	29/5/2017
Βαρσοβία	18.7	31/5/2017
Ταλίν	18.7	25/5/2014
Βερολίνο	18.3	29/5/2018
Βίλνιους	18.1	29/5/2007
Άμστερνταμ	17.7	27/5/2018
Όσλο	17.5	26/5/2012
Λονδίνο	17.4	24/5/1989
Ελσίνκι	17.4	31/5/1961
Στοκχόλμη	17.3	30/5/2018

Πίνακας 11: TNx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Ιουνίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TNx	Ημερομηνίες
Βελιγράδι	26.4	29/6/2017
Μαδρίτη	25.7	27/6/2012
Ζάγκρεμπ	24.3	20/6/2013
Σαράγεβο	23.9	17/6/2016
Λιουμπλιάνα	23.8	23/6/2017
Βιέννη	23.7	21/6/2002
Παρίσι	23.3	29/6/1976
Κίεβο	22.4	23/6/2019
Βαρσοβία	22.3	25/6/2016
Μόσχα	22.2	29/6/1991
Βουκουρέστι	22.1	23/6/2002
Λουξεμβούργο	21.5	28/6/1976
Βίλνιους	21	13/6/2019
Βερολίνο	20.9	3/6/1979
Λονδίνο	20.8	28/6/1976
Στοκχόλμη	20.3	25/6/1973
Άμστερνταμ	19.9	24/6/2019
Ταλίν	19.9	7/6/2019
Ελσίνκι	19.9	27/6/1988 29/6/1988
Όσλο	19.7	11/6/2007



Πίνακας 12: TNx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Ιουλίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TNx	Ημερομηνίες
Βελιγράδι	27.1	23/7/2015
Σαράγεβο	26	25/7/1987 24/7/2007
Μόσχα	26	29/7/2010
Ζάγκρεμπ	25.7	16/7/2010
Μαδρίτη	25.6	17/7/2015
Βιέννη	25.4	23/7/2015
Κίεβο	24.9	19/7/2010
Παρίσι	24.5	25/7/2019
Βουκουρέστι	24.4	29/7/1971
Λουξεμβούργο	24.1	25/7/2019
Λιουμπλιάνα	23.1	8/7/2015
Ελσίνκι	22.8	29/7/2018
Βαρσοβία	22.5	1/7/2019
Βίλνιους	22.4	18/7/2010
Ταλίν	22.4	29/7/2018
Λονδίνο	22.3	20/7/2016
Στοκχόλμη	22	28/7/1994
Όσλο	21.7	28/7/2018
Άμστερνταμ	21.4	27/7/2018
Βερολίνο	21.3	19/7/1972

Πίνακας 13: TNx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TNx	Ημερομηνίες
Βελιγράδι	27.1	22/8/2000
Μαδρίτη	25.9	3/8/2018
Βιέννη	25.4	2/8/2017
Βουκουρέστι	25.2	8/8/2012
Ζάγκρεμπ	24.9	1/8/1990
Κίεβο	24.5	22/8/2000
Σαράγεβο	24.5	30/8/2003
Μόσχα	24.4	4/8/2010
Παρίσι	23.5	11/8/2003
Λουξεμβούργο	23	8/8/2003
Βαρσοβία	22.8	9/8/2015
Στοκχόλμη	22.8	2/8/2018
Βερολίνο	22.5	1/8/2018
Ελσίνκι	22.5	3/8/2018
Βίλνιους	22.4	17/8/2010
Λιουμπλιάνα	22.4	5/8/2017
Λονδίνο	21.7	5/8/1975
Ταλίν	21.1	14/8/2010
Άμστερνταμ	21	9/8/2004
Όσλο	20.2	2/8/1969

Πίνακας 14: TNx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TNx	Ημερομηνίες
Βελιγράδι	23.5	7/9/2008
Μαδρίτη	23.4	7/9/2016
Κίεβο	21.9	2/9/2015
Ζάγκρεμπ	21.6	16/9/1987
Παρίσι	20.8	13/9/2016
Βιέννη	20.7	4/9/2006
Σαράγεβο	20.6	25/9/1987
Λονδίνο	19.4	14/9/2016
Βίλνιους	19.2	1/9/1992
Βουκουρέστι	19	19/9/1968 29/9/1994
Μόσχα	19	8/9/2008
Λιουμπλιάνα	18.6	6/9/2008 4/9/2012
Λουξεμβούργο	18.6	14/9/2016
Άμστερνταμ	18.5	14/9/2016
Στοκχόλμη	18.4	1/9/1997
Βαρσοβία	18.2	11/9/2005
Ελσίνκι	18.1	1/9/1963
Βερολίνο	18	3/9/2018
Όσλο	17	5/9/1968
Ταλίν	16.4	8/9/2005

3.7 TN95p της θερμής περιόδου κατ' έτος

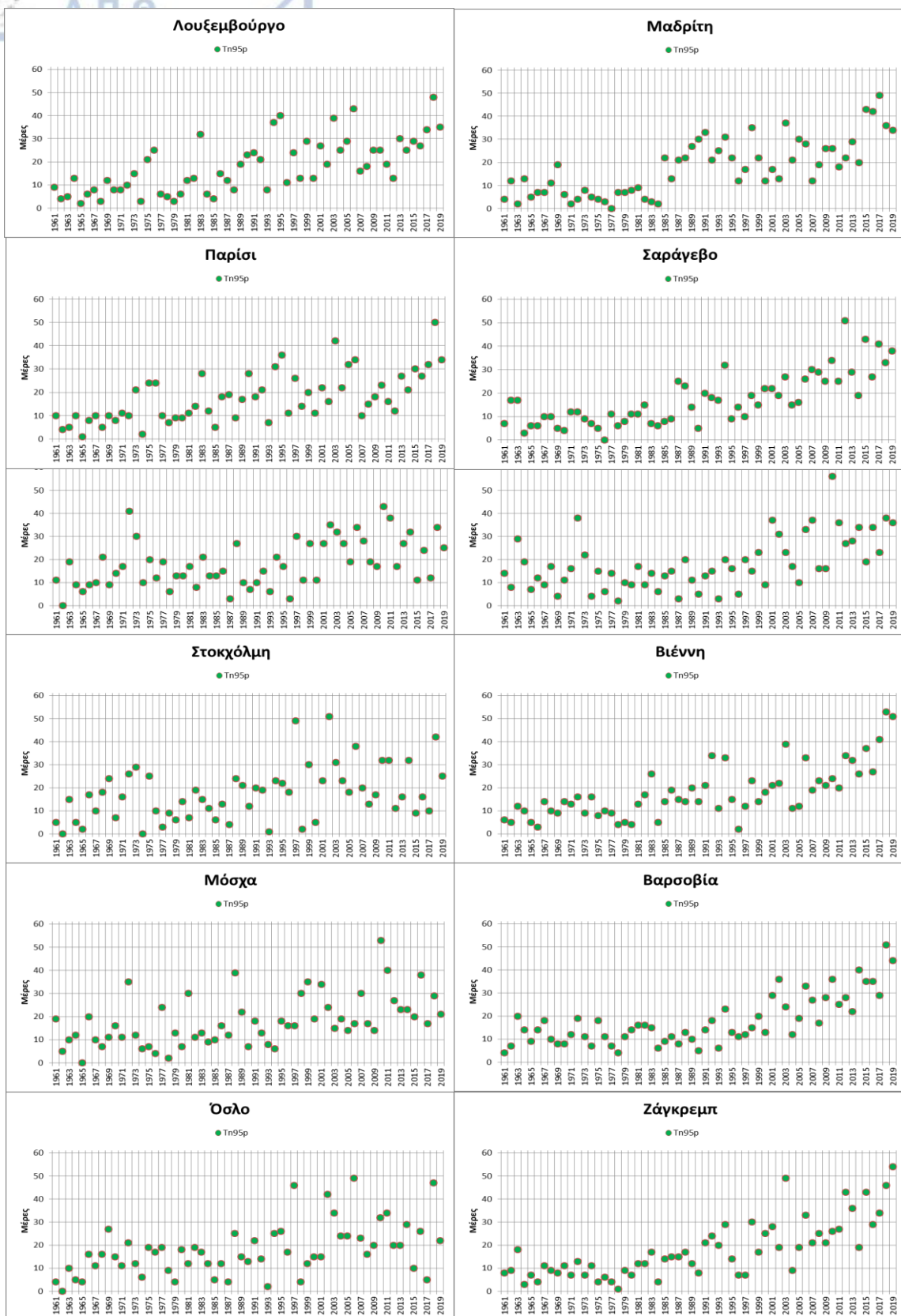
Οι εξαιρετικά θερμές νύχτες αποτελούν άλλη μία ακραία περίπτωση, καθώς κατά τη διάρκειά τους η ημερήσια τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας υπερβαίνει το 95° ποσοστημόριο. Ο αριθμός τους εκφράζεται μέσω του δείκτη TN95p, ο οποίος διερευνάται για τη θερμή περίοδο του κάθε έτους (1961-2019) για καθένα από τα 20 Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα (Σχήμα 5). Όπως φαίνεται και από τα 20 διαγράμματα, οι πόλεις διαφοροποιούνται αρκετά. Αρχικά, στο Άμστερνταμ οι εξαιρετικά θερμές νύχτες κυμαίνονται από 1 το 1976 έως και 43 το 2006, με το 2019 να εμφανίζει 29 εξαιρετικά θερμές νύχτες. Το εύρος των ακραίων θερμοκρασιακά νυχτών στο Βελιγράδι ποικίλλει με ελάχιστο το 1976 (1 νύχτα) και μέγιστο το 2012 (60 νύχτες). Αριθμητικά το 2019 διαφοροποιείται, με την εμφάνιση 4 λιγότερων θερμών νυχτών σε σχέση με το 2012 (54 νύχτες). Το Βερολίνο παρουσιάζει ελάχιστο μεγαλύτερο κατά μία νύχτα σε σχέση με τις άλλες δύο πόλεις το 1962, ίσο με 2. Αντιθέτως, το μέγιστο που ισούται με 34 νύχτες τοποθετείται προς το τέλος της περιόδου, το 2018, ενώ το 2019 αποδεικνύεται εξίσου θερμό με 32 εξαιρετικά θερμές νύχτες. Στο

Βουκουρέστι συμβαίνει κάτι οξύμωρο. Εμφανίζεται το ελάχιστο μετά από το μέγιστο. Το πρώτο αντιστοιχεί σε 1 νύχτα το 1978 και το δεύτερο σε 40 νύχτες το 1963, με τον αριθμό τους να αυξάνεται από το 1978 στις 17 νύχτες το 2019. Στο Λονδίνο καταγράφονται 2 εξαιρετικά θερμές νύχτες το 1965, 43 το 2006 και 29 το 2019. Αν και στο Ελσίνκι το μέγιστο αριθμητικά είναι ίδιο με του Λονδίνου παρόλο που εμφανίζεται το 1997, απουσιάζουν οι εξαιρετικά θερμές νύχτες το 1962. Σχεδόν 30 είναι οι νύχτες αυτές το 2019. Στη συνέχεια, στο Κίεβο τα ακρότατα παρατηρούνται το 1976 και το 1993 (ελάχιστο= 1 νύχτα) και το 2010 (μέγιστο=56 νύχτες). Μία σχεδόν μέση τιμή παρουσιάζεται το 2019 (31 νύχτες). Από την ανάλυση του ακραίου δείκτη θερμοκρασίας TN95p, δύο πόλεις κατατάσσονται στη λίστα των ακραίων περιπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο του 2019. Η πρώτη είναι η Λουμπλιάνα με 55 εξαιρετικά θερμές νύχτες το 2019 και η δεύτερη το Ζάγκρεμπ με 54. Στη Λουμπλιάνα είναι απύσες οι νύχτες αυτές το 1978, ενώ στο Ζάγκρεμπ μόλις 1 νύχτα εντοπίζεται το 1978. Όσον αφορά το Λουξεμβούργο το εύρος των τιμών του δείκτη είναι το ακόλουθο: TN95p=2 (1965)-48 νύχτες (2018). Κατά τη θερμή περίοδο του 2019 καταγράφονται 35 εξαιρετικά θερμές νύχτες. Μία λιγότερη καταγράφεται στη Μαδρίτη τότε (34 νύχτες), με καμία ακραία θερμοκρασιακά νύχτα το 1977 και 49 το 2017. Ίδια είναι η τιμή και για το Παρίσι κατά το 2019, με ελάχιστο TN95p=1 νύχτα το 1965 και μέγιστο TN95p=50 νύχτες το 2018. Επιπροσθέτως, οι εξαιρετικά θερμές νύχτες απουσιάζουν στο Σαράγεβο και το Ταλίν (το 1976 και το 1962 αντιστοίχως), ενώ επιτυγχάνονται το μέγιστο των 51 νυχτών το 2012 στην πρώτη και το μέγιστο των 43 νυχτών το 2010 στη δεύτερη. Αναλόγως, κατά το 2019 στις δύο πόλεις οι τιμές του δείκτη έχουν ως εξής: TN95p=38 νύχτες για το Σαράγεβο και TN95p=25 νύχτες για το Ταλίν. Συνεχίζοντας, στο Βίλνιους ο αριθμός των νυχτών αυτών κυμαίνεται από 2 το έτος 1978 έως 56 το έτος 2010, με το 2019 να φτάνει στις 36 εξαιρετικά θερμές νύχτες. Μηδενικές παραμένουν οι προαναφερθείσες νύχτες στη Στοκχόλμη για δύο έτη, το 1962 και το 1974, αλλά 51 το 2002 (μέγιστο) και 25 το 2019. Η Βιέννη παρουσιάζει το ελάχιστο των 2 εξαιρετικά θερμών νυχτών το 1996 και το μέγιστο των 53 το 2018. Υψηλές παραμένουν οι θερμοκρασίες τις νύχτες στα τέλη της περιόδου μελέτης εκεί, καθώς από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο του 2019 σημειώνονται 51 εξαιρετικά θερμές νύχτες. Ως συνήθως, επαναλαμβάνεται το φαινόμενο της απουσίας εξαιρετικά θερμών νυχτών στη Μόσχα το 1965, αλλά κατά τη διάρκεια του μεγκακύσωνα του 2010, ο αριθμός τους εκτινάσσεται στις 53. Σημαντική πτώση παρουσιάζουν το 2019 (21 νύχτες). Συνοπτικά, παρατίθενται τα

αποτελέσματα της Βαρσοβίας: ελάχιστος $TN95p=4$ νύχτες το 1961 και το 1978, μέγιστος $TN95p=51$ νύχτες το 2018 και $TN95p=44$ νύχτες το 2019. Τέλος, για ακόμα μία φορά απουσιάζουν οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες κατά τη νύχτα στο Όσλο το έτος 1962, ενώ γίνονται αισθητές το 2006 49 φορές. Όσον αφορά το 2019, η τιμή του ακραίου δείκτη $TN95p$ παίρνει την τιμή 22 (νύχτες).

Από το 1985 έως και το τέλος της περιόδου παρατηρείται πως στο Βελιγράδι, το Κίεβο, τη Λιουμπλιάνα, το Σαράγεβο, τη Βιέννη, τη Βαρσοβία και το Ζάγκρεμπ, ο αριθμός των ακραίων θερμοκρασιακά νυχτών σχεδόν πενταπλασιάζεται συγκριτικά με την αρχή της περιόδου.





Σχήμα 5: TN95p της θερμής περιόδου κατ' έτος (1961-2019) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων

3.8 Μέγιστη Tmean της θερμής περιόδου κατ' έτος

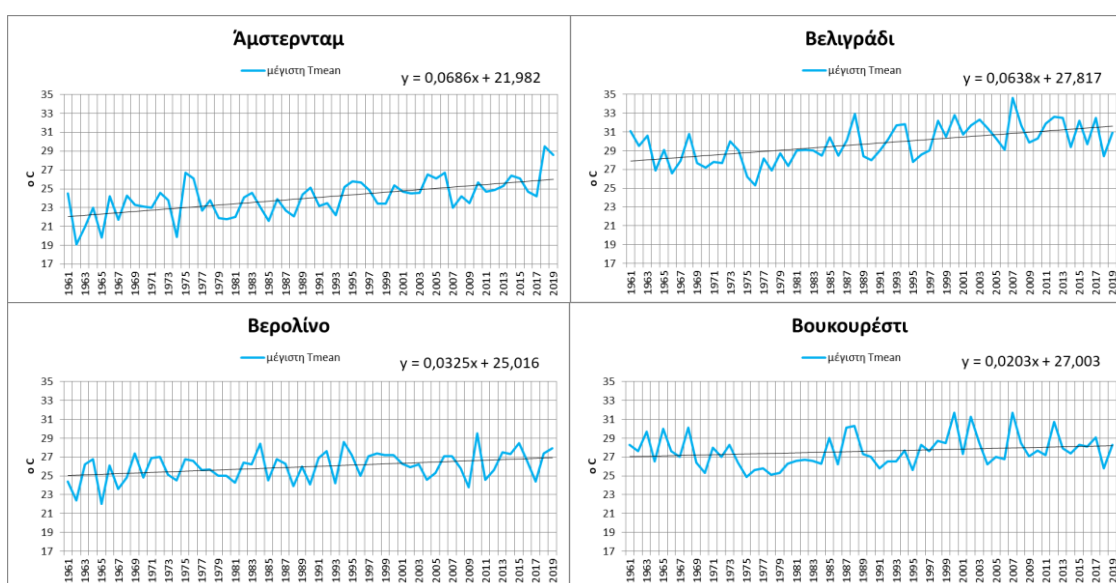
Στο σημείο αυτό εξετάζεται η μέγιστη Tmean της θερμής περιόδου κατ' έτος από το 1961 έως το 2019 των 20 Ευρωπαϊκών πρωτευουσών (Σχήμα 6). Σε κάθε ένα από τα 20 διαγράμματα, αναγράφεται η εξίσωση της γραμμής τάσης (μαύρη γραμμή). Κατά σειρά, από τα αποτελέσματα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Στο Άμστερνταμ, σημειώνεται ελάχιστο το 1962 ίσο με 19.1 °C και μέγιστο το 2018 ίσο με 29.5 °C. Λιγότερο θερμό εμφανίζεται το 5μηνο (Μάιος-Σεπτέμβρης) του 2019 με τη μέγιστη Tmean να φτάνει στους 28.6 °C. Παρουσιάζεται ανοδική τάση με ρυθμό αύξησης 0.7 °C/10ετία. Στη συνέχεια, στο Βελιγράδι η μέγιστη Tmean κυμαίνεται από τους 25.3 °C (1976) έως τους 34.6 °C (2006), η οποία ελαττώνεται στους 30.9 °C στο τέλος της περιόδου (2019) κι ας εντοπίζεται συντελεστής αύξησης του δείκτη 0.6 °C/10ετία. Όσον αφορά το Βερολίνο, το εύρος διαμορφώνεται ως εξής: 22 °C το 1965- 29.5 °C το 2010 και μέγιστη Tmean (2019)=27.9 °C και συντελεστής της εξίσωσης γραμμής τάσης= 0.3 °C/10ετία. Το Βουκουρέστι διαφοροποιείται καθώς το ολικό μέγιστο του δείκτη εμφανίζεται συνολικά 2 φορές, το 2000 και το 2007 (31.7 °C). Το ολικό μέγιστο αποκλίνει σχεδόν 6 °C από το ολικό ελάχιστο, το οποίο ισούται με 24.9 °C, τιμή του έτους 1975. Η μέγιστη Tmean κατά το 2019 δεν ξεπερνά τους 30 °C και ισούται με 28.3 °C. Σε δέκα χρόνια, η μέγιστη ημερήσια μέση θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί κατά 0.2 °C. Στο Λονδίνο αντίστοιχα η αύξηση αυτή μοιάζει να είναι σημαντικά μεγαλύτερη καθώς σε δέκα χρόνια η μέγιστη Tmean θα αυξηθεί κατά 0.7 °C. Το εύρος στο Λονδίνο για το συγκεκριμένο δείκτη είναι μεγάλο: μέγιστη Tmean=19.3 °C το 1962 (ελάχιστο)- 29 °C το 2003 (μέγιστο). Ισχύει πως μέγιστη Tmean=28.8 °C το 2019, τιμή που πλησιάζει το μέγιστο. Συγκριτικά με το Λονδίνο, το εύρος στο Ελσίνκι είναι μικρότερο: 17.7 °C (1962)- 26.4 °C (2018), όπως και η τιμή που σημειώνεται το 2019 (25.3 °C), καθώς και ο συντελεστής της γραμμής τάσης (0.2 °C/10ετία). Το Κίεβο παρουσιάζει μέγιστο του δείκτη κατά τη διάρκεια του μεγακαύσωνα του 2010 ίσο με 30.3 °C, σε αντίθεση με το 5μηνο του 1978 που δείχνει αισθητά ψυχρότερο, με το δείκτη να αποκτά την ελάχιστη τιμή του (23 °C). Ψυχρότερο από το 2010 κατά 3 °C, το 2019 σημειώνει μέγιστη Tmean ίση με 27.3 °C. Ο ρυθμός αύξησης της μέγιστης TG αντιστοιχεί σε 0.5 °C/10ετία. Συνοπτικά παρατίθενται τα αποτελέσματα για τη Λιουμπλιάνα: ολικό ελάχιστο= 23,3 °C το 1978, ολικό μέγιστο=30 °C το 2017, μέγιστη Tmean=29.1 °C το 2019 και ρυθμός αύξησης της μέγιστης TG=0.6 °C/10ετία. Το Λουξεμβούργο ξεχωρίζει από όλες τις

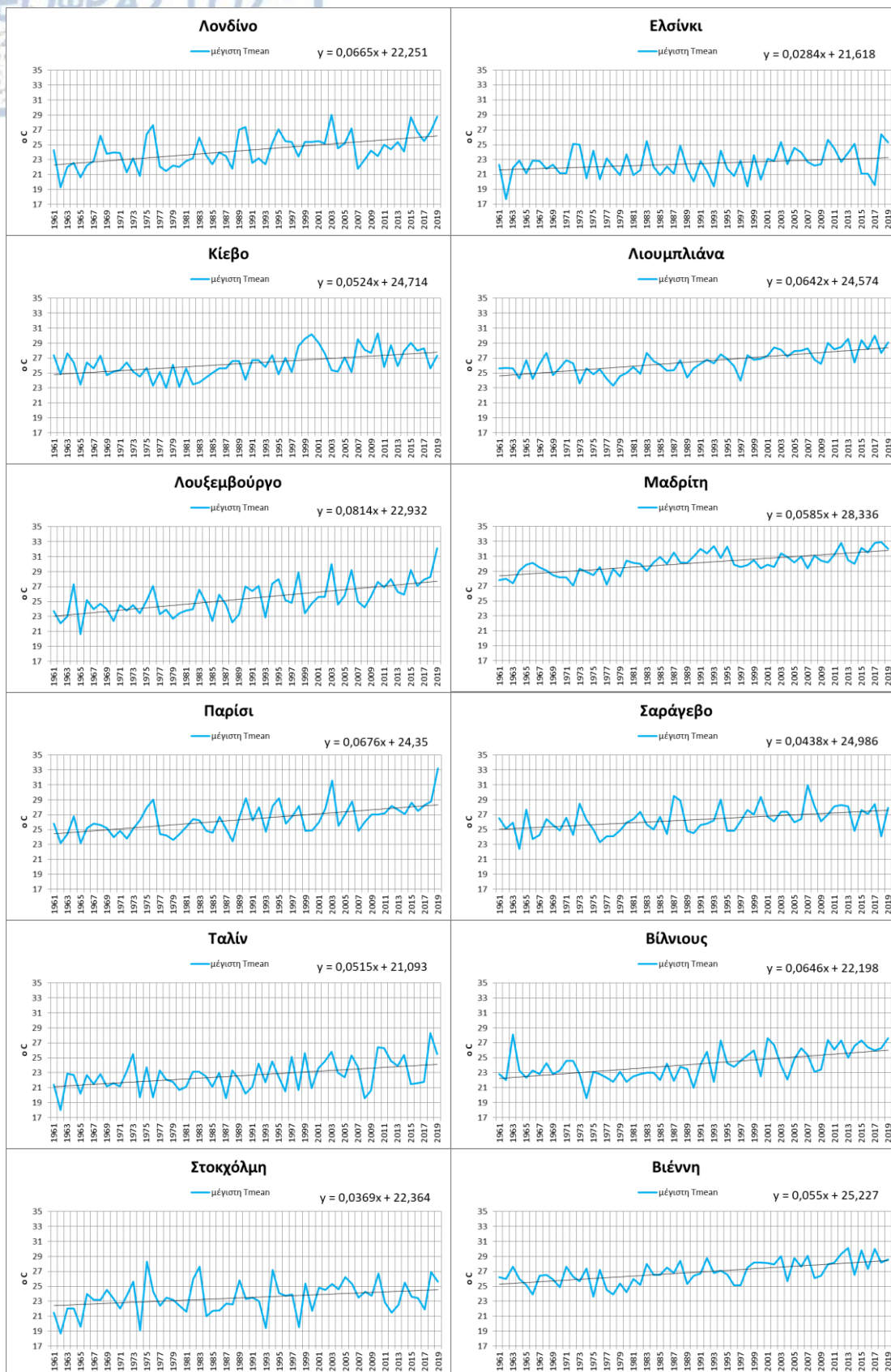
υπόλοιπες πόλεις, καθώς αποκτά το καινούριο μέγιστο των 32.1 °C κατά τη θερμή περίοδο του 2019. Εκτός αυτού, ανιχνεύεται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του δείκτη (0.8 °C/10ετία). Το ελάχιστο του 1965 αγγίζει τους 20.6 °C. Παρομοίως, στη Μαδρίτη εντοπίζεται το ελάχιστο προς τις αρχές της περιόδου μελέτης, κατά το 1972 (27.1 °C) και το μέγιστο προς το τέλος, κατά το 2018 (32.9 °C), τιμή υψηλότερη κατά 0,9 °C σε σχέση με αυτή του 2019. Σε διάστημα 10 ετών αναμένεται αύξηση 0.6 °C. Συνολικά, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα όλων των διαγραμμάτων, καθίσταται σαφές πως το ολικό μέγιστο της περιόδου μελέτης ανιχνεύεται στο Παρίσι το 2019 και ισούται με 33.2 °C. Στο Παρίσι η ελάχιστη τιμή του ακραίου δείκτη παραμένει εξίσου υψηλή και ίση με 23.2 °C κατά το 1962 και το 1965. Η μέγιστη μέση ημερήσια θερμοκρασία εκεί παρουσιάζει άνοδο με ρυθμό αύξησης 0.7 °C/10ετία. Επιπροσθέτως, με βάση το δείκτη που μελετάται, στο Σαράγεβο το λιγότερο θερμό 5μηνο τοποθετείται στο έτος 1964 (22.4 °C) και το θερμότερο στο 2007 (31 °C). Με ρυθμό αύξησης 0.4 °C/10ετία, το 5μηνο του 2019 παραδόξως δείχνει ψυχρότερο από το 2007 (27.9 °C). Προχωρώντας στο Ταλίν, φαίνεται πως λιγότερο ακραίες συνθήκες επικρατούν στην αρχή της περιόδου, ειδικότερα το 1962 με το δείκτη να παρουσιάζει ολικό ελάχιστο και ίσο με 18 °C. Προς τα τέλη της περιόδου, το 2018, επικρατούν θερμότερες συνθήκες, με τη μέγιστη μέση θερμοκρασία του 5μηνου να φτάνει στην υψηλότερη τιμή της (28.3 °C). Κατά το 2019, ο ακραίος δείκτης πέφτει στους 25.5 °C κι αν υπάρχει μία γενική αυξητική τάση της τάξεως των 0,5 °C/10ετία. Εστιάζοντας στο διάγραμμα του Βίλνιους, εντοπίζεται το εξής παράδοξο. Το ολικό ελάχιστο επιτυγχάνεται μετά το ολικό μέγιστο και πιο συγκεκριμένα το πρώτο σημειώνεται το 1974 (19.6 °C) και το δεύτερο το 1963 (28.1 °C). Από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο του 2019, η μέγιστη μέση θερμοκρασία αγγίζει τους 27.6 °C, ενώ σε 20 χρόνια προβλέπεται αύξηση της παραμέτρου κατά 1.2 °C. Αρκετά νωρίς (1975) φτάνει στο peak (28.3 °C) ο δείκτης στη Στοκχόλμη. Επίσης, ο δείκτης φτάνει στην ελάχιστη τιμή του (18.7 °C) στην αρχή της περιόδου, κατά το 1962, ενώ στο τέλος, κατά το 2019 ο δείκτης ισούται με 25.6 °C. Σε 10 χρόνια αναμένεται να έχει αυξηθεί κατά 0.4 °C. Στη Βιέννη, η μέγιστη Tmean κυμαίνεται από τους 23.6 °C το έτος 1975 έως τους 30.1 °C το έτος 2013. Έξι χρόνια αργότερα (2019), ο δείκτης παρουσιάζει πτώση και γίνεται ίσος με 28.6 °C. Αντιθέτως, παρουσιάζει άνοδο η τάση του, ρυθμού 0.5 °C/δεκαετία. Ισχυρή επίδραση φαίνεται να έχει ο καύσωνας του 2010 στη Μόσχα, καθώς τότε επιτυγχάνεται το ολικό μέγιστο των 30.8 °C. Το ολικό μέγιστο αποκλίνει πολύ από το ολικό ελάχιστο του 1976 (21 °C). Ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται η

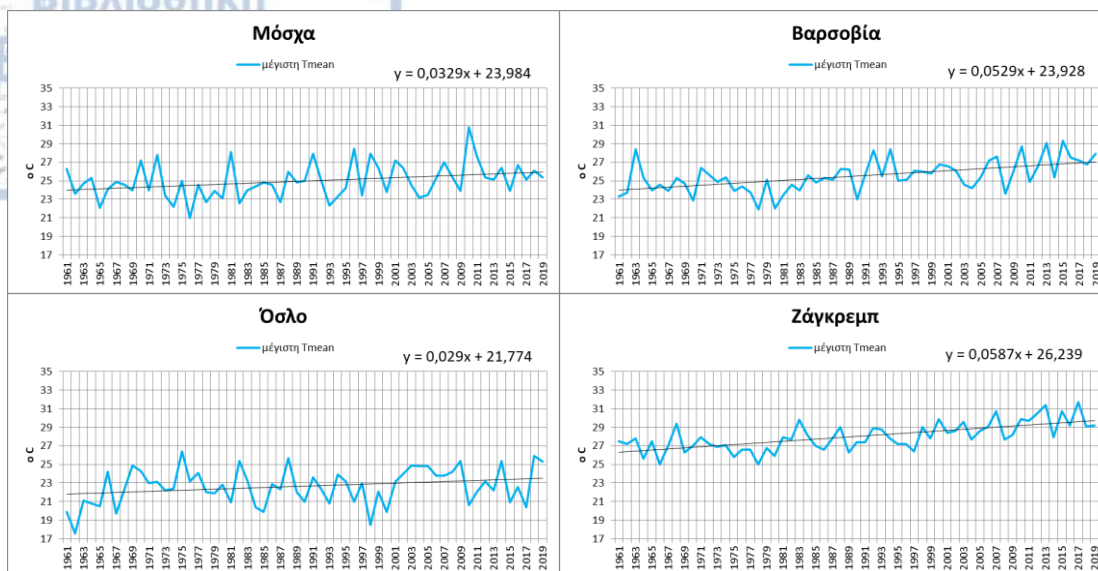
μέγιστη μέση θερμοκρασία ανά δεκαετία είναι μικρός ($0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$). Κατά το 5μηνο του 2019, μέγιστη $T_{\text{mean}}=25.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τα αποτελέσματα για τη Βαρσοβία είναι τα ακόλουθα: μέγιστη $T_{\text{mean}}=21.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ το 1978 (ελάχιστο), μέγιστη $T_{\text{mean}}=29.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ το 2015 (μέγιστο), μέγιστη $T_{\text{mean}}=27.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ το 2019 και $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$ ο συντελεστής γραμμής τάσης. Αξιοσημείωτο για το Όσλο είναι πως παρουσιάζει τη χαμηλότερη μέγιστη μέση θερμοκρασία από όλες τις πρωτεύουσες που συμπεριλαμβάνονται στην έρευνα. Αυτή ισούται με $17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ και μετράται το 1962. Η υψηλότερη τιμή μετράται το 1975 και είναι ίση με $26.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ανά δεκαετία, η μέγιστη TG ανεβαίνει κατά $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, με το 2019 να εμφανίζει την τιμή των $25.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τέλος, στο Ζάγκρεμπ η μέγιστη μέση ημερήσια θερμοκρασία του 5μηνου παρουσιάζει ελάχιστο το 1966 και το 1978 ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) και μέγιστο το 2017 ($31.7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η παράμετρος εξακολουθεί να αυξάνεται κατά $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$ κι ως αποκτά την τιμή των $29.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη θερμή περίοδο του 2019. Πριν από τα διαγράμματα του Σχήματος 6, συγκεντρώνονται όλα τα αποτελέσματα που περιγράφηκαν (Πίνακας 15).

Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του κεφαλαίου 3.8 με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή της μέγιστης Tmean (°C) μαζί με τα έτη εμφάνισής τους, τη μέγιστη Tmean₂₀₁₉ (°C) και το ρυθμό αύξησης της μέγιστης Tmean/10ετία (°C)

Πόλεις	Ελάχιστη τιμή μέγιστης Tmean	Μέγιστη τιμή μέγιστης Tmean	Μέγιστη Tmean ₂₀₁₉	Ρυθμός αύξησης μέγιστης Tmean/10ετία
Άμστερνταμ	19.1 (1962)	29.5 (2018)	28.6	0.7
Βελιγράδι	25.3 (1976)	34.6 (2006)	30.9	0.6
Βερολίνο	22 (1965)	29.5 (2010)	27.9	0.3
Βουκουρέστι	24.9 (1975)	31.7 (2000, 2007)	28.3	0.2
Λονδίνο	19.3 (1962)	29 (2003)	28.8	0.2
Ελσίνκι	17.7 (1962)	26.4 (2018)	25.3	0.2
Κίεβο	23 (1978)	30.3 (2010)	27.3	0.5
Λιουμπλιάνα	23.3 (1978)	30 (2017)	29.1	0.6
Λουξεμβούργο	20.6 (1965)	32.1 (2019)	32.1	0.8
Μαδρίτη	27.1 (1972)	32.9 (2018)	30	0.6
Μόσχα	21 (1976)	30.8 (2010)	25.4	0.3
Όσλο	17.6 (1962)	26.4 (1975)	25.3	0.3
Παρίσι	23.2 (1962, 1965)	33.2 (2019)	33.2	0.7
Σαράγεβο	22.4 (1964)	31 (2007)	27.9	0.4
Στοκχόλμη	18.7 (1962)	28.3 (1975)	25.6	0.4
Ταλίν	18 (1962)	28.3 (2018)	25.5	0.5
Βαρσοβία	21.9 (1978)	29.3 (2015)	27.9	0.5
Βίλνιους	19.6 (1974)	28.1 (1963)	27.6	0.6
Βιέννη	23.6 (1975)	30.1 (2013)	28.6	0.5
Ζάγκρεμπ	25 (1966, 1978)	31.7 (2017)	29.2	0.6







Σχήμα 6: Μέγιστη Tmean της θερμής περιόδου κατ' έτος (1961-2019) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων

3.9 TGx ανά μήνα της θερμής περιόδου

Ο δείκτης TGx αναφέρεται στις μηνιαίες μέγιστες τιμές της ημερήσιας μέσης θερμοκρασίας. Συγκαταλέγεται και αυτός στη λίστα των ακραίων υπό μελέτη δεικτών. Τα αποτελέσματά του παρουσιάζονται στους Πίνακες 16 έως 20 και για τα 20 Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα κατά τη διάρκεια του Μαΐου, Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου αντίστοιχα από το 1961 έως το 2019. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 16, κατά το Μάιο του 2019 δεν επικρατούν ακραίες συνθήκες σε καμία πρωτεύουσα. Στο Βελιγράδι ακραίος χαρακτηρίζεται ο Μάιος του 1968 και 1996 καθώς η TGx ισούται με 27.9 °C. Λόγω της τιμής αυτής, το Βελιγράδι ανέρχεται στην πρώτη θέση της κατάταξης. Στο τέλος της λίστας βρίσκεται το Ελσίνκι, εμφανίζοντας συγκριτικά με όλες τις πόλεις, το ελάχιστο των 21.3 °C δύο φορές, το 1963 και το 2014. Λίγες είναι οι περιπτώσεις που οι υπόλοιπες 18 πρωτεύουσες εμφανίζουν τη μέγιστη TGx κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους.

Βάσει του Πίνακα 17, επισημαίνεται πως κατά τη διάρκεια του Ιουνίου του 2019 σημειώνεται η μέγιστη μέση θερμοκρασία πολλών αστικών κέντρων, 6 για την ακρίβεια. Παρακάτω παρατίθενται με φθίνουσα σειρά οι τιμές της παραμέτρου ανά πρωτεύουσα μαζί με τις ημερομηνίες εμφάνισής τους: 29.1 °C στη Λιουμπλιάνα στις 27/6, 28.6 °C στη Βιέννη στις 27/6, 28 °C στο Λουξεμβούργο στις 27/6, 27.9 °C στο Βερολίνο και τη Βαρσοβία στις 26/6 και τέλος 25.5 °C στο Ταλίν στις 7/6. Συνεπώς όσον αφορά τον ακραίο θερμοκρασιακό δείκτη TGx, το θερμότερο διήμερο του Ιουνίου ξεκινάει στις 26 και τελειώνει στις 27 του μήνα. Μόνο το Ταλίν παρουσιάζει

μέγιστο, αισθητά χαμηλότερο από τις υπόλοιπες 5 πόλεις στις 7 του μήνα. Συνολικά, η Μαδρίτη τοποθετείται στην πρώτη θέση του πίνακα με $TG_x = 32.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 17/6/2017 και η Στοκχόλμη στην τελευταία με $TG_x = 24.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 24/6/1973. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα όλων των υπό μελέτη αστικών κέντρων, καταδεικνύεται πως γενικά οι χαμηλότερες τιμές της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας του Ιουνίου συναντώνται στις Σκανδιναβικές πρωτεύουσες.

Από τον Πίνακα 18, επιβεβαιώνεται η παρατήρηση πως κατά τον Ιούλιο του 2019 ξεπερνιούνται τιμές ρεκόρ σε 3 πόλεις. Πιο συγκεκριμένα, στο Παρίσι η μέγιστη μέση θερμοκρασία του μήνα αγγίζει τους $33.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 25/7. Πρόκειται για τη δεύτερη μεγαλύτερη τιμή στον πίνακα κατάταξης. Η πρώτη αφορά στο Βελιγράδι και ισούται με $34.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (22/7/2007). Μία άλλη πόλη που σημειώνει ρεκόρ κατά τις 25/7/2019 είναι το Λουξεμβούργο, με τη μέγιστη μέση θερμοκρασία του μήνα να φτάνει στους $32.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στη συνολική κατάταξη το Λουξεμβούργο κατέχει επίσης υψηλή θέση, την τέταρτη. Στη δέκατη πέμπτη θέση έρχεται το Λονδίνο, το οποίο όμως πέτυχε μέγιστη TG_x ίση με $28.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 25/7/2019. Η τελευταία θέση ανήκει στο Όσλο με $TG_x = 25.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 27/7/2018. Εξίσου μεγάλη συχνότητα εμφάνισης στον πίνακα έχουν τα έτη 2018 και 2010. Αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα των μεγίστων TG του Ιουλίου της περιόδου 1961-2019 πως ο συγκεκριμένος μήνας στις Σκανδιναβικές χώρες χαρακτηρίζεται ως λιγότερο ακραίος από όλη την περιοχή ενδιαφέροντος.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 19 και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα και των 20 Ευρωπαϊκών πόλεων, φαίνεται πως ο Αύγουστος των ετών 1975, 2003, 2010 και 2018 υπήρξε θερμότερος για την πλειοψηφία της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, κατά το διήμερο 2-3 Αυγούστου του 2018, σημειώνεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας του μήνα στη Μαδρίτη και στο Ελσίνκι αντιστοίχως. Στη Μαδρίτη, η μέγιστη τιμή ισούται με $32.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ και στο Ελσίνκι η ελάχιστη με $25.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Κατά τον Αύγουστο του ίδιου έτους, στο Ταλίν που βρίσκεται στη προτελευταία θέση ανιχνεύεται TG_x ίση με $25.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 10 του μήνα.

Ο τελευταίος πίνακας αφορά στο μήνα Σεπτέμβρη (Πίνακας 20). Η μόνη φορά που επετεύχθη μέγιστη μέση θερμοκρασία κατά το Σεπτέμβριο του 2019 είναι στο Ζάγκρεμπ στην 1^η του μήνα. Η θερμοκρασία φτάνει τους $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, τιμή που κατατάσσει το Ζάγκρεμπ στην πέμπτη θέση. Συνολικά, οι περισσότερες ακραίες περιπτώσεις από το 1961 έως το 2019 συμβαίνουν το Σεπτέμβριο του 2015 και του 2016.

Αναλυτικότερα, μεταξύ 1 και 2 Σεπτεμβρίου του 2015, οι μέγιστες μέσες θερμοκρασίες στο Κίεβο, τη Βαρσοβία, τη Βιέννη και τη Λιουμπλιάνα ισούνται με 28.8 °C, 27.2 °C, 25.5 °C και 24.3 °C αντίστοιχα. Εξαίρεση αποτελεί το Σαράγεβο του οποίου το μέγιστο (26.6 °C) εντοπίζεται στις 17/9/2015. Ένα χρόνο αργότερα, το 2016, σημειώνεται το ολικό μέγιστο του δείκτη TGx (31 °C) στη Μαδρίτη στις 7/9. Το διήμερο 12-13/9 του 2016 αποδεικνύεται ιδιαίτερος θερμό στο Παρίσι με TGx=26.6 °C, το Λονδίνο με TGx=24.4 °C, το Λουξεμβούργο με TGx=24.3 °C, το Άμστερνταμ με TGx=24.2 °C και το Βερολίνο με TGx=22.8 °C. Κλείνοντας, παρατηρείται πως το Όσλο κατέχει την τελευταία θέση με ελάχιστο TGx=19.7 °C στη 1/9/1997. Φαίνεται και στον τελευταίο πίνακα ότι οι πρωτεύουσες στην Σκανδιναβία βρίσκονται για ακόμα μία φορά στις τελευταίες θέσεις.

Συμπερασματικά, οι μέγιστες μέσες θερμοκρασίες των μηνών της θερμής περιόδου 1961-2019 κατανέμονται γεωγραφικά ως εξής. Οι πιο ακραίες τιμές συγκεντρώνονται στη Νότια Ευρώπη, ιδίως στο Βελιγράδι και τη Μαδρίτη και οι λιγότερο ακραίες στις Σκανδιναβικές πρωτεύουσες. Συνεπώς, παρατηρείται μείωση της ακραιότητας από τη Νότια προς τη Βόρεια Ευρώπη.

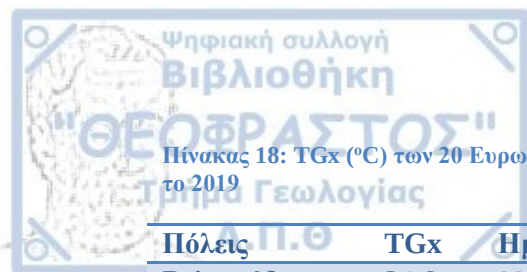
Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των πινάκων με τις μέγιστες μηνιαίες τιμές των μέσων θερμοκρασιών, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Η δεκαετία 2001-2010 υπήρξε η θερμότερη όλων όσον αφορά το μήνα Μάιο σε 8 αστικά κέντρα και η περίοδος από το 2011 έως το 2019 σε 7. Κατά τη διάρκεια του Ιουνίου, Ιουλίου και Σεπτεμβρίου, μέγιστες μέσες θερμοκρασίες καταγράφονται σε 9, 14 και 13 πρωτεύουσες αντίστοιχα από το 2011 έως το 2019. Τέλος, εξίσου ακραίος χαρακτηρίζεται ο Αύγουστος κατά τη διάρκεια των περιόδων 2001-2010 σε 7 αστικά κέντρα και 2011-2019 σε 8.

Πίνακας 16: TGx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Μαΐου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TGx	Ημερομηνίες	
Βελιγράδι	27.9	6/5/1968	19/5/1996
Μαδρίτη	27.5	13/5/2015	
Ζάγκρεμπ	27	26/5/2009	
Μόσχα	27	28/5/2007	
Βουκουρέστι	26.4	16/5/1969	
Κίεβο	26.3	23/5/2007	
Λιουμπλιάνα	25.5	26/5/2009	
Βιέννη	25.5	30/5/2005	
Σαράγεβο	25.4	30/5/1969	
Βερολίνο	25.4	18/5/1971	
Βαρσοβία	25.4	29/5/2005	
Λουξεμβούργο	25	28/5/2017	
Ταλίν	24.5	24/5/2014	
Παρίσι	24.2	28/5/2017	
Όσλο	24.2	30/5/2018	
Βίλνιους	23.9	26/5/2003	
Άμστερνταμ	23.4	12/5/1998	27/5/2005
Λονδίνο	22.8	24/5/1989	
Στοκχόλμη	21.9	28/5/2017	
Ελσίνκι	21.3	29/5/1963	24/5/2014

Πίνακας 17: TGx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Ιουνίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TGx	Ημερομηνίες	
Μαδρίτη	32.8	17/6/2017	
Βελιγράδι	31.7	24/6/2002	
Βουκουρέστι	31.3	24/6/2002	
Ζάγκρεμπ	29.6	23/6/2017	
Λιουμπλιάνα	29.1	27/6/2019	
Παρίσι	29	28/6/1976	
Βιέννη	28.6	27/6/2019	
Λουξεμβούργο	28	26/6/2019	
Βερολίνο	27.9	26/6/2019	
Μόσχα	27.9	29/6/1991	15/6/1998
Βαρσοβία	27.9	26/6/2019	
Κίεβο	27.8	12/6/2010	
Λονδίνο	27.6	28/6/1976	
Βίλνιους	27.6	13/6/2019	
Σαράγεβο	27.5	25/6/2007	
Άμστερνταμ	26.1	27/6/1976	24/6/2005
Όσλο	25.7	27/6/1988	
Ταλίν	25.5	7/6/2019	
Ελσίνκι	25.1	28/6/1972	
Στοκχόλμη	24.6	24/6/1973	



Πίνακας 18: TGx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Ιουλίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TGx	Ημερομηνίες
Βελιγράδι	34.6	22/7/2007
Παρίσι	33.2	25/7/2019
Μαδρίτη	32.3	20/7/1995
Λουξεμβούργο	32.1	25/7/2019
Βουκουρέστι	31.7	5/7/2000 23/7/2007
Σαράγεβο	31	24/7/2007
Μόσχα	30.8	28/7/2010
Ζάγκρεμπ	30.7	20/7/2007 28/7/2013 7/7/2015 19/7/2015 22/7/2015
Βιέννη	29.8	22/7/2015
Κίεβο	29.7	19/7/2010
Βερολίνο	29.5	12/7/2010
Άμστερνταμ	29.5	27/7/2018
Λιουμπλιάνα	29.4	19/7/2015
Βαρσοβία	29.1	29/7/2013
Λονδίνο	28.8	25/7/2019
Ταλίν	28.3	29/7/2018
Βίλνιους	28.1	26/7/1963
Στοκχόλμη	27.6	11/7/1983
Ελσίνκι	26.4	17/7/2018
Όσλο	25.9	27/7/2018

Πίνακας 19: TG (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TGx	Ημερομηνίες
Μαδρίτη	32.9	3/8/2018
Βελιγράδι	32.6	6/8/2012
Ζάγκρεμπ	31.7	4/8/2017
Παρίσι	31.6	11/8/2003
Κίεβο	30.3	8/8/2010
Μόσχα	30.2	4/8/2010
Βιέννη	30.1	8/8/2013
Βουκουρέστι	30	7/8/2012
Λιουμπλιάνα	30	4/8/2017
Λουξεμβούργο	30	8/8/2003 12/8/2003
Βαρσοβία	29.3	8/8/2015
Σαράγεβο	29	11/8/1994
Λονδίνο	29	10/8/2003
Βερολίνο	28.6	1/8/1994
Στοκχόλμη	28.3	7/8/1975
Βίλνιους	27.4	16/8/2010
Άμστερνταμ	26.7	8/8/1975
Όσλο	26.4	11/8/1975
Ταλίν	25.8	10/8/2018
Ελσίνκι	25.4	2/8/2018

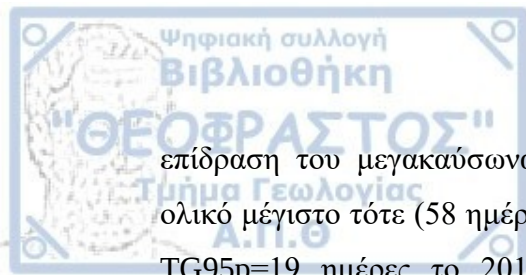
Πίνακας 20: TGx (°C) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	TGx	Ημερομηνίες
Μαδρίτη	31	7/9/2016
Βελιγράδι	30.3	7/9/2008
Κίεβο	28.8	2/9/2015
Βαρσοβία	27.2	1/9/2015
Ζάγκρεμπ	27	1/9/2019
Παρίσι	26.6	13/9/2016
Σαράγεβο	26.6	17/9/2015
Βουκουρέστι	25.8	15/9/1987
Βιέννη	25.5	1/9/2015
Βίλνιους	25.1	1/9/1992
Λονδίνο	24.4	13/9/2016
Λιουμπλιάνα	24.3	1/9/2015
Λουξεμβούργο	24.3	13/9/2016
Άμστερνταμ	24.2	13/9/2016
Μόσχα	23.4	3/9/1995
Βερολίνο	22.8	12/9/2016 13/9/2016
Στοκχόλμη	21.7	7/9/1968
Ταλίν	21.6	7/9/2018
Ελσίνκι	19.9	7/9/1968
Όσλο	19.7	1/9/1997

3.10 TG95p της θερμής περιόδου κατ' έτος

Αφού πρώτα υπολογίστηκε ο αριθμός των εξαιρετικά θερμών ημερών (δείκτης TG95p) κατά τη διάρκεια του θερμού 5μηνου για κάθε έτος όλης της περιόδου από το 1961 έως το 2019 και για τα 20 αστικά κέντρα, αναπαραστάθηκαν γραφικά οι τιμές του δείκτη στα διαγράμματα του Σχήματος 7. Ένα γενικό συμπέρασμα είναι πως στις περισσότερες πρωτεύουσες ο δείκτης μηδενίζεται κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών της περιόδου μελέτης. Αρχικά, στο Άμστερνταμ απουσιάζουν οι εξαιρετικά θερμές ημέρες το 1962, ενώ το 2018 ανιχνεύονται 46 ακραίες θερμοκρασιακά ημέρες. Στο τέλος της περιόδου (2019), ο δείκτης παίρνει την τιμή 25. Στο Βελιγράδι οι τιμές του TG95p κυμαίνονται από 0 το 1976 έως 57 το 2012, με TG95p=41 ημέρες το 2019. Παρομοίως, στο Βερολίνο το 1962 1 ημέρα εμφανίζει ακραίες συνθήκες και το 2018 39 ημέρες. Το 2019 οι ημέρες ελαττώνονται κατά 4 σε σχέση με το 2018. Συνεχίζοντας, στο Βουκουρέστι η ελάχιστη τιμή του δείκτη ισούται με 2 ημέρες και εντοπίζεται 2 φορές, το 1976 και το 1978. Από την άλλη, η μέγιστη τιμή ισούται με 50 ημέρες το 2012. Το 2019 η τιμή του δείκτη πέφτει σχεδόν στο μισό (29 ημέρες).

Όσον αφορά το Λονδίνο, το εύρος των τιμών του δείκτη έχει ως εξής: 0 ημέρες το 1962- 53 ημέρες το 2010 και πτώση στις 30 ημέρες το 2019. Βορειότερα, στο Ελσίνκι, απουσιάζουν για ακόμα μία φορά οι ημέρες με εξαιρετικά θερμές συνθήκες το 1962 και είναι παρούσες το 1972 και το 2010 (50 ημέρες). Ύστερα από 9 χρόνια (2019), ο αριθμός τους αντιστοιχεί σε 20. Το εύρος των τιμών του δείκτη στο Κίεβο είναι μεγάλο: 1 ημέρα (1976, 1978, 1980)-51 ημέρες (2010). Για το 2019 ισχύει πως $TG95p=30$ ημέρες. Ακόμα μεγαλύτερο αποδεικνύεται το εύρος στη Λουμπλιάνα, με ελάχιστο το 1978 και ίσο με 1 ημέρα και μέγιστο το 2003 και ίσο με 55 ημέρες. Δεκαέξι χρόνια αργότερα, ο αριθμός των ημερών με πολύ υψηλές μέσες θερμοκρασίες μειώνεται (44 ημέρες). Ακραίες θερμοκρασιακά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν οι ημέρες του 1965 στο Λουξεμβούργο, σε αντίθεση με τις 45 ημέρες του 2018, κατά τη διάρκεια των οποίων επικρατούν ακραίες συνθήκες. Το ίδιο ισχύει για 34 ημέρες το 2019. Στη Μαδρίτη, οι μέσες θερμοκρασίες όλων των ημερών των θερμών μηνών των ετών 1972 και 1977 παραμένουν φυσιολογικές, ενώ οι αντίστοιχες 53 ημερών του έτους 2016 και 34 του 2019 ξεπερνούν το κατώφλι του 95^{οο} ποσοστημορίου. Στο Παρίσι εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα: ολικό ελάχιστο του $TG95p=2$ ημέρες (1965), ολικό μέγιστο του $TG95p=49$ ημέρες (2018) και $TG95p=39$ ημέρες το 2019. Στο Σαράγεβο, κατά τη θερμή περίοδο του έτους 1964 δεν ικανοποιείται η συνθήκη του δείκτη καμία μέρα, πράγμα που δεν ισχύει για την αντίστοιχη 59 ημερών του έτους 2012. Από το 2012 έως το 2019, ο αριθμός των ημερών ελαττώνεται κατά 16. Αναλύοντας τα αποτελέσματα στο Ταλίν, εμφανίζονται τα ακρότατα του δείκτη το έτος 1962 (0 ημέρες) και το 2018 (49 ημέρες). Κατά το τελευταίο έτος της περιόδου ισχύει πως $TG95p=38$ ημέρες. Στο Βίλνιους, η ελάχιστη τιμή του δείκτη (0 ημέρες) επιτυγχάνεται το 1974 και η μέγιστη (46 ημέρες) το 2010. Εξίσου υψηλή φαίνεται η τιμή του ακραίου θερμοκρασιακού δείκτη το 2019 (41 ημέρες). Η μηδενική συχνότητα εμφάνισης των ημερών που πληρούν τα κριτήρια είναι συνήθης στη Στοκχόλμη, καθώς εντοπίζεται κατά τη διάρκεια 5 ετών (1962, 1965, 1974, 1993, 1998). Λίγα χρόνια αργότερα, κατά το 5μηνο του 2002, ο δείκτης μεγιστοποιείται (52 ημέρες) και το 2019 ισούται με 24 ημέρες. Αντιθέτως, στη Βιέννη κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του 2019, ο $TG95p$ παρουσιάζει μέγιστο (49 ημέρες) και δύο φορές (1975,1978) παρουσιάζει ελάχιστο (1 ημέρα). Όπως και στη Βιέννη, έτσι και στο Ζάγκρεμπ βάσει του εν λόγω δείκτη, 59 ημέρες από το Μάιο-Σεπτέμβριο του 2019 καθίστανται ακραίες. Ο δείκτης ελαχιστοποιείται τα έτη 1973, 1975, 1978 και 1997 (2 ημέρες). Για ακόμα μία φορά τονίζεται η ισχυρή



επίδραση του μεγακάυσωνα του 2010 στη Μόσχα, καθώς ο TG95p παρουσιάζει ολικό μέγιστο τότε (58 ημέρες). Το ολικό ελάχιστο του 1976 έχει μηδενική τιμή, ενώ TG95p=19 ημέρες το 2019. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα για τη Βαρσοβία: ελάχιστος TG95p ίσος με 1 ημέρα το 1980, μέγιστος TG95p ίσος με 57 ημέρες το 2018 και TG95p=47 ημέρες το 2019. Τέλος, στο Όσλο δεν υπάρχουν ημέρες κατά τη θερμή περίοδο του 1962 και του 1998 με τη μέση θερμοκρασία να υπερβαίνει το 95° ποσοστημόριο. Αντίθετα, το κατώφλι του 95^{ου} ποσοστημορίου υπερβαίνεται κατά τη διάρκεια 58 ημερών το 2018 και 19 ημερών το 2019.

Γενικά από το 1985 έως και το 2019, ο αριθμός των εξαιρετικά θερμών ημερών γίνεται έως και 6 φορές μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο στην αρχή της περιόδου στο Βελιγράδι, τη Λιουμπλιάνα, τη Μαδρίτη, το Σαράγεβο, τη Βιέννη, τη Βαρσοβία και το Ζάγκρεμπ.





Σχήμα 7: TG95p της θερμής περιόδου κατ' έτος (1961-2019) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων

3.11 Αριθμός ακολουθιών ημερών καύσωνα της θερμής περιόδου

Δεδομένου ότι η ένταση των καυσώνων κατά τη θερμή περίοδο των ετών τείνει να αυξηθεί με άμεσο αντίκτυπο στην άνθρωπο και την ευημερία του, επιλέχθηκε η ανάλυση του αριθμού ακολουθιών ημερών καύσωνα από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο των ετών 1961-2019 για κάθε ένα από τα 20 Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα (Πίνακας 21). Οι ακολουθίες που συμπεριλήφθηκαν στον πίνακα έχουν ελάχιστη διάρκεια 3 ημερών και πληρούν τα κριτήρια που αναγράφονται στο κεφάλαιο 2.3 (Μεθοδολογία). Ο διαχωρισμός των 4 κλάσεων τους βασίζεται στη διάρκειά τους και έχει ως εξής:

- 1^η κλάση: 3-10 ημέρες
- 2^η κλάση: 11-20 ημέρες
- 3^η κλάση: 21-30 ημέρες
- 4^η κλάση: >30 ημέρες

Στη δεύτερη στήλη του πίνακα προστέθηκε το T_{max}95 της περιόδου 1961-2019 και στην τελευταία η μέγιστη διάρκεια ακολουθιών που αντιστοιχεί στο μέγεθος των πιο ακραίων καυσώνων όσον αφορά τη διάρκεια.

Συνολικά, οι περισσότεροι καύσωνες διαρκούν 3-10 ημέρες και στις 20 πρωτεύουσες. Ο μεγαλύτερος αριθμός επεισοδίων καύσωνα μικρής διάρκειας εντοπίζεται στη Μαδρίτη και ισούται με 154 καύσωνες, ενώ ο μικρότερος στο Ελσίνκι και ισούται με 116 καύσωνες. Μετά τη Μαδρίτη, ακολουθούν το Σαράγεβο, η Λιουμπλιάνα, το Κίεβο και το Βελιγράδι με 149, 142, 138 και 137 καύσωνες μικρής διάρκειας αντίστοιχα. Έπονται η Βιέννη (135 καύσωνες), το Βίλνιους μαζί με το Λουξεμβούργο (134 καύσωνες) και η Μόσχα μαζί με τη Στοκχόλμη (132 καύσωνες). Ακόμα μικρότερος φαίνεται ο αριθμός των μικρής διάρκειας καυσώνων στο Λονδίνο με το Ταλίν, το Βουκουρέστι και τη Βαρσοβία με το Ζάγκρεμπ με 131, 130 και 125 ακολουθίες ημερών καύσωνα κατά τη θερμή περίοδο αντίστοιχα. Προχωρώντας, στο Βερολίνο 123 ακολουθίες διαρκούν 3-10 ημέρες και αμέσως μετά στο Άμστερνταμ 120. Τέλος, πριν το Ελσίνκι που έχει τον ελάχιστο αριθμό καυσώνων μικρής διάρκειας, τοποθετούνται το Όσλο και το Παρίσι με 118 επεισόδια καύσωνα 3-10 ημερών.

Καθώς αυξάνεται η διάρκεια των ακολουθιών, ελαττώνεται η συχνότητά εμφάνισής τους. Συνεπώς, σε όλες τις πόλεις ο αριθμός των καυσώνων διάρκειας 11-20 ημερών

πέφτει κατακόρυφα σε σχέση με τους αντίστοιχους διάρκειας 3-10 ημερών. Στην πρώτη θέση ανέρχεται το Ζάγκρεμπ με 13 καύσωνες και στην τελευταία βρίσκεται το Ταλίν με 1 καύσωνα μόνο. Το Όσλο έρχεται δεύτερο με 12 καύσωνες, το Ελσίνκι τρίτο με 10, ενώ το Κίεβο και η Λουμπλιάνα τοποθετούνται στην τέταρτη θέση. Η πέμπτη θέση μοιράζεται στο Βερολίνο και το Λονδίνο με 8 επεισόδια καύσωνα μεσαίας διάρκειας. Την έκτη θέση κατέχουν πολλά αστικά κέντρα (Βαρσοβία, Βιέννη, Λουξεμβούργο, Μαδρίτη, Παρίσι, Στοκχόλμη), στα οποία καταγράφονται 6 καύσωνες διάρκειας 11-20 ημερών. Στο Βελιγράδι, το Βουκουρέστι και το Σαράγεβο σημειώνεται 1 καύσωνας λιγότερος (5), ενώ στη Μόσχα 2 λιγότεροι (4). Στην προτελευταία θέση, στο Άμστερνταμ και το Βίλνιους συναντώνται 3 καύσωνες που ανήκουν στη 2^η κλάση.

Η συνεχής ελάττωση της συχνότητας εμφάνισης με την αύξηση της διάρκειας των καυσώνων είναι ακόμα εντονότερη στις ακολουθίες 3^{ης} κλάσης. Για την πλειοψηφία των αστικών κέντρων, ακολουθίες 3^{ης} κλάσης απουσιάζουν. Παρόλα αυτά, πρώτο το Ελσίνκι καταγράφει 3 φορές καύσωνες 21-30 ημερών. Δεύτερη η Στοκχόλμη μαζί με το Ταλίν εμφανίζουν 2 φορές ακολουθίες ανάλογου τύπου, ενώ τρίτη η Μόσχα με το Όσλο 1 φορά. Η μοναδική και μέγιστη ακολουθία 4^{ης} κλάσης διαρκεί 45 ημέρες στη Μόσχα κατά τη διάρκεια του μεγακαύσωνα του 2010.

Εστιάζοντας στην τελευταία στήλη με τη μέγιστη διάρκεια ακολουθίας και το έτος εμφάνισής της για κάθε μία από τις 20 πόλεις, είναι εμφανές πως κατά το 5μηνο του 2018 συμβαίνουν πολλοί καύσωνες με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Αναλυτικότερα στο Όσλο 27 ημερών είναι ο πιο διαρκής καύσωνας, στη Στοκχόλμη 25 ημερών, στο Ταλίν 24, στο Άμστερνταμ 20 και τη Βιέννη 18 ημερών. Παρομοίως, κατά το 1994 σημειώνονται οι μέγιστης διάρκειας καύσωνες για τη Λιουμπλιάνα και το Ζάγκρεμπ (20 ημερών), τη Βιέννη (18 ημερών), το Βίλνιους και τη Βαρσοβία (16 ημερών). Σε 3 πόλεις εμφανίζονται κατά το 2015 οι διαρκέστερες ακολουθίες ημερών καύσωνα και πιο συγκεκριμένα στη Βαρσοβία (16 ημερών), το Βίλνιους και το Βουκουρέστι (15 ημερών). Στο Λονδίνο και το Λουξεμβούργο προς το 1976, οι μέγιστης διάρκειας καύσωνες δεν ξεπερνούν το διάστημα των 17 ημερών. Όπως προαναφέρθηκε, το μέγιστο όλων αποδίδεται στη Μόσχα. Αντιθέτως, το ελάχιστο αναφορικά με τη μέγιστη διάρκεια ακολουθιών ισούται με 15 ημέρες και παρατηρείται στο Βελιγράδι και το Βουκουρέστι κατά το 2015 και στο Βερολίνο κατά το 1969.

Πίνακας 21: Αριθμός ακολουθιών ημερών καύσωνα των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου από το 1961 έως το 2019

Πόλεις	T _{max} 95 (°C)	3-10 ημέρες	11-20 ημέρες	21-30 ημέρες	>30 ημέρες	Μέγιστη διάρκεια ακολουθίας
Άμστερνταμ	24.8	120	3			20 ημέρες (2018)
Βαρσοβία	27.6	125	6			16 ημέρες (1994) (2015)
Βελιγράδι	32	137	5			15 ημέρες (2015)
Βερολίνο	27.8	123	8			15 ημέρες (1969)
Βιέννη	29.5	135	6			18 ημέρες (1994) (2018)
Βίλνιους	26.2	134	3			16 ημέρες (1994)
Βουκουρέστι	32.4	130	5			15 ημέρες (2015)
Ελσίνκι	23.1	116	10	3		26 ημέρες (2014)
Ζάγκρεμπ	30.2	125	13			20 ημέρες (1994)
Κίεβο	28.7	138	9			19 ημέρες (2010)
Λιουμπλιάνα	29.9	142	9			20 ημέρες (1994)
Λονδίνο	25.8	131	8			17 ημέρες (1976)
Λουξεμβούργο	26.8	134	6			17 ημέρες (1976)
Μαδρίτη	34	154	6			18 ημέρες (2003)
Μόσχα	27	132	4	1	1	45 ημέρες (2010)
Όσλο	24.6	118	12	1		27 ημέρες (2018)
Παρίσι	28.1	118	6			18 ημέρες (1997)
Σαράγεβο	30.6	149	5			17 ημέρες (2012)
Στοκχόλμη	25.2	132	6	2		25 ημέρες (2018)
Ταλίν	24.1	131	1	2		24 ημέρες (2018)

3.12 Δείκτης Hot Days (1961-2019)

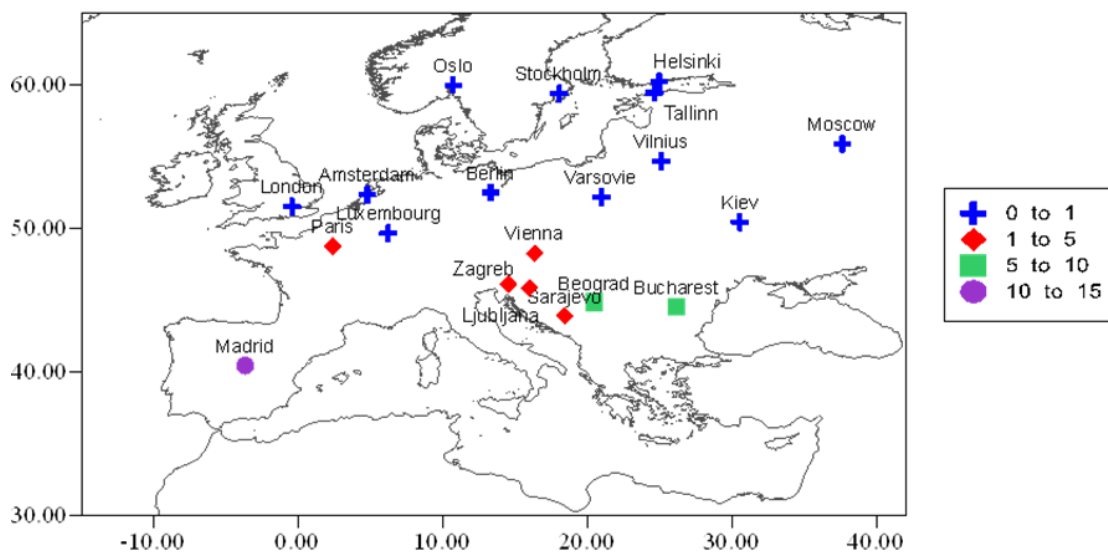
Λαμβάνοντας υπόψη το απόλυτο κριτήριο για τον ορισμό του ακραίου δείκτη Hot Days που αναγράφεται στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας, πραγματοποιείται συνοπτική περιγραφή των αποτελεσμάτων μέσω χρήσης του χάρτη στο Σχήμα 8. Σε αυτό το σχήμα αναπαρίσταται χάρτης της Ευρώπης με το μέσο αριθμό θερμών ημερών κατ' έτος για τις οποίες ισχύει πως $TX \geq 35$ °C. Η μελέτη πάλι αφορά στη θερμή περίοδο από το 1961 έως το 2019 των 20 περιοχών ενδιαφέροντος. Το εύρος τιμών του δείκτη χωρίστηκε σε 4 κλάσεις:

- 1^η κλάση: 0-1 ημέρα κατ' έτος (μπλε σταυρός)
- 2^η κλάση: 1-5 ημέρες κατ' έτος (κόκκινος ρόμβος)

- 3^η κλάση: 5-10 ημέρες κατ' έτος (πράσινο τετράγωνο)
- 4^η κλάση: 10-15 ημέρες κατ' έτος (μωβ κύκλος)

Η πολύ ακραία περίπτωση των 10-15 θερμών ημερών κατ' έτος με $TX \geq 35^\circ C$ εμφανίζεται αποκλειστικά στη Μαδρίτη. Η επίσης ακραία περίπτωση της 3^{ης} κλάσης παρουσιάζεται στο Βελιγράδι και το Βουκουρέστι. Ο δείκτης κυμαίνεται από 1 έως 5 θερμές ημέρες κατ' έτος στο Παρίσι, τη Βιέννη, το Ζάγκρεμπ, τη Λιουμπλιάνα και το Σαράγεβο. Τέλος, σε όλες τις υπόλοιπες πρωτεύουσες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης, το κατώφλι των $35^\circ C$ ξεπερνιέται κατά τη διάρκεια 0-1 θερμής ημέρας κατ' έτος.

Hot days (1961-2019)



Σχήμα 8: Μέσος αριθμός θερμών ημερών κατ' έτος ($TX \geq 35^\circ C$) των 20 Ευρωπαϊκών αστικών κέντρων κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου από το 1961 έως το 2019

3.13 Μελέτη του καύσωνα κατά το καλοκαίρι του 2019 μέσω χρήσης του δείκτη EHF

Στο τελευταίο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, περιγράφονται διεξοδικά τα χαρακτηριστικά του θερινού καύσωνα του 2019 και στα 20 μεγάλα Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα με τη βοήθεια του δείκτη καύσωνα Excess Heat Factor (EHF). Επιπλέον διερευνάται εάν ο δείκτης είναι ικανός να ανιχνεύσει και να αναλύσει εις

βάθος το συγκεκριμένο φαινόμενο εξίσου καλά σε όλες τις περιοχές μελέτης. Αρχικά υπολογίστηκαν οι δείκτες EHI(accl) και EHI(sig), για να υπολογιστεί τελικώς ο EHF κατά τη διάρκεια του κάθε καλοκαιρινού μήνα (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) του 2019.

Μετά τον υπολογισμό των δύο υπο-δεικτών σύμφωνα με τις εξισώσεις που αναφέρονται στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας, οι τιμές και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, απεικονίζονται στα Σχήματα 9-23 και για τους τρεις θερινούς μήνες των 20 υπό – μελέτη αστικών κέντρων.

Σε κάθε διάγραμμα των σχημάτων η μαύρη διακεκομμένη γραμμή αναπαριστά την μέση θερμοκρασία (Tmean) της κάθε ημέρας και η μαύρη συνεχής γραμμή αντιπροσωπεύει τη μέση Tmean95 της περιόδου 1971-2000. Όσον αφορά τους δείκτες, χρησιμοποιείται δευτερεύων άξονας. Αρχικά, η κίτρινη γραμμή δείχνει την τιμή 0, η πράσινη το δείκτη EHI(accl), η γαλάζια το δείκτη EHI(sig) και η κόκκινη το δείκτη καύσωνα EHF.

Πρωτίστως, αναλύονται τα αποτελέσματα του Ιουνίου του έτους μελέτης για κάθε μία από τις 20 πρωτεύουσες (Σχήματα 9-13).

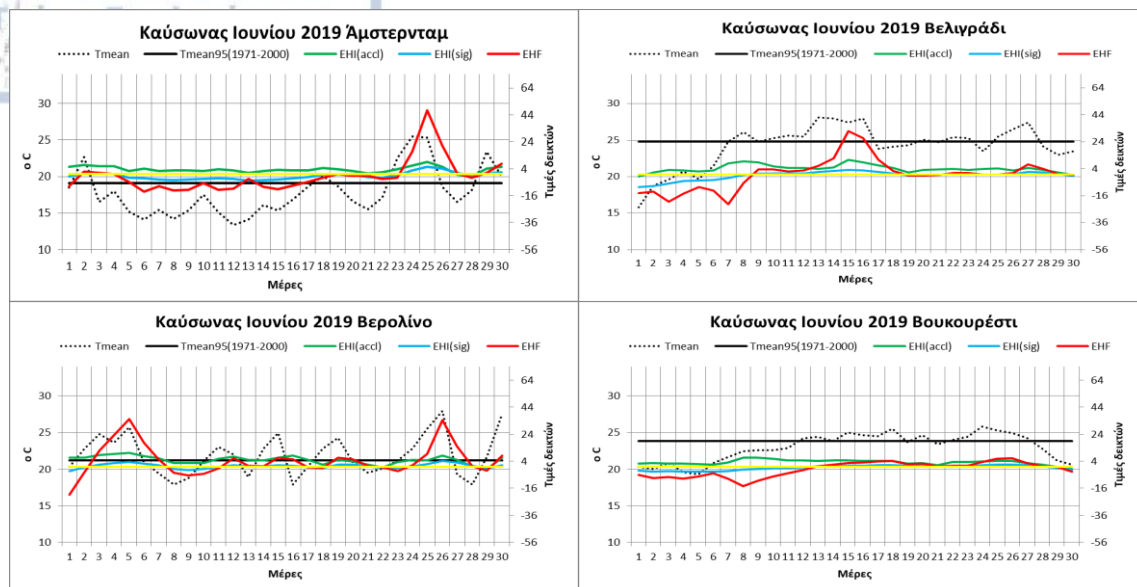
1. Αμστερνταμ: Το πρώτο κριτήριο ορισμού ενός καύσωνα είναι η Tmean να υπερβαίνει την Tmean95 για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες. Αυτό ισχύει από τις 23-25 Ιουνίου. Ο δείκτης EHI(sig) γίνεται θετικός στις 24/6, δηλαδή τη μέρα έναρξης του καύσωνα. Από τις 27/6 και μετά οι τιμές του γίνονται αρνητικές, τότε δηλαδή ο καύσωνας λήγει. Παρατηρώντας την πορεία του EHF, καθίσταται σαφές πως ο καύσωνας διαρκεί από τις 24-27 Ιουνίου, ημερομηνίες που διαφέρουν σε σχέση με αυτές που προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη μόνο το πρώτο κριτήριο. Η μέγιστη τιμή της Tmean ισούται με 25.5 °C στις 24/6, ενώ του EHF με 47.3 °C² μία μέρα αργότερα (25/6). Στον υπολογισμό του δείκτη EHF συμμετέχει και ο δείκτης εγκλιματισμού EHI(accl), ο οποίος παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για το αν ο άνθρωπος προσαρμόζεται φυσικά στην επικείμενη θέρμανση λόγω καύσωνα. Όσον αφορά το συγκεκριμένο δείκτη, παραμένει θετικός καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα, πράγμα που σημαίνει πως ο άνθρωπος δεν είναι ικανός να προσαρμοστεί στις επικείμενες θερμοκρασιακές ακραίες συνθήκες ακόμα και πριν την έναρξη του καύσωνα στις 24 Ιουνίου. Το γεγονός αυτό

υποδηλώνει σύμφωνα με τους Nairn et al., 2015 πως οι επιπτώσεις για την υγεία και την καθημερινότητα του ανθρώπου είναι δυσμενείς.

2. Βελιγράδι: Για το Βελιγράδι, με βάση το πρώτο κριτήριο ορισμού, εντοπίζονται δύο επεισόδια καύσωνα, από 10 έως 16 του μηνός και από 25 έως 27. Σύμφωνα με τις ημερομηνίες θετικών τιμών του πρώτου υπο-δείκτη σημαντικότητας (EHI(sig)), ο καύσωνας διαρκεί από τις 9 έως 18 του μηνός και από τις 26 έως τις 29 του μηνός. Η πορεία του δείκτη καύσωνα ακολουθεί την ίδια ακριβώς πορεία με το δείκτη σημαντικότητας και έτσι ο καύσωνας με βάση το δείκτη εμφανίζεται από τις 9 έως τις 18 Ιουνίου και από τις 26 έως τις 29 Ιουνίου (2 επεισόδια καύσωνα). Για το πρώτο επεισόδιο η μέγιστη μέση θερμοκρασία είναι ίση με 28.1 °C (13/6) και για το δεύτερο ίση με 27.4 °C (27/6). Αντίστοιχα, το μέγιστο του EHF παίρνει την τιμή 31.9 °C² στις 15/6 κατά τη διάρκεια του πρώτου επεισοδίου και 7.5 °C² στις 27/6 κατά τη διάρκεια του δεύτερου. Ο καύσωνας από τις 9 έως τις 18 Ιουνίου είναι εμφανώς πιο έντονος και μεγαλύτερης διάρκειας σε σχέση με αυτόν από τις 26-29/6, καθώς ο δείκτης EHF αριθμητικά υπερέχει. Με τη χρήση του δείκτη EHF παρέχονται επιπλέον χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν στον ανθρώπινο εγκλιματισμό. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρώντας την πορεία του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl), θετικές τιμές εμφανίζονται από τις 2 έως τις 29/6, πριν δηλαδή από την έναρξη και των δύο επεισοδίων καύσωνα. Πρακτικά η εμφάνιση θετικών τιμών του δείκτη EHI(accl) σημαίνει πως ο μέσος όρος των θερμοκρασιών τριών ημερών είναι υψηλότερος από το πρόσφατο παρελθόν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην έλλειψη ανθρώπινης προσαρμοστικότητας λόγω εμφάνισης θερμότερης περιόδου θέρμανσης σε σχέση με τις αντίστοιχες περιόδους που είχε συνηθίσει. Από τα προηγούμενα συμπεραίνεται πως ο άνθρωπος στο Βελιγράδι δεν ήταν έτοιμος από πριν να εγκλιματιστεί στις νέες ακραίες συνθήκες. Όταν ο δείκτης εγκλιματισμού γίνεται θετικός πριν από το δείκτη σημαντικότητας, οι αρμόδιοι φορείς μπορούν έγκαιρα να λάβουν μέτρα για τη δημόσια υγεία. Η πληροφορία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί και στην περίπτωση των καυσώνων του Ιουνίου στο Βελιγράδι.
3. Βερολίνο: Κατά τα διαστήματα 2-5 και 24-26 Ιουνίου, ισχύει πως $T_{mean} > T_{mean95}$, με μέγιστη $T_{mean} = 25.7$ °C στις 5/6 και 27.9 °C στις 26/6. Παρακολουθώντας την πορεία των δεικτών, ανιχνεύονται 4 επεισόδια

καύσωνα (3-7/6, 12-16/6, 19-21/6, και 24-28/6). Συνεπώς η ανίχνευση καύσωνων με τη χρήση του δείκτη είναι πιο ακριβής από την αποκλειστική μελέτη των θερμοκρασιών. Από όλα τα επεισόδια, ο δείκτης EHF παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή των $35\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 5/6, την ίδια μέρα με το peak της Tmean. Εστιάζοντας στον υπο-δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl) που εξάγει πληροφορίες για την ανθρώπινη συμπεριφορά στις απότομες αυξήσεις της θερμοκρασίας προκύπτουν τα εξής. Μόνο μία μέρα πέφτει υπό το μηδέν (22/6), δηλαδή μία μέρα μετά το τέλος του τρίτου επεισοδίου καύσωνα. Η 22^η του μήνα αποτελεί τη μοναδική μέρα στο Βερολίνο που καταφέρνει ο άνθρωπος να συνηθίσει τις νέες ακραίες θερμοκρασιακά συνθήκες εξαιτίας των συνεχών και μικρής διάρκειας επεισοδίων καύσωνα. Παρόλα αυτά, το περιβάλλον εξακολουθεί να είναι ιδιαίτερα θερμό και έτσι οι άνθρωποι συνεχίζουν να μην προσαρμόζονται ομαλά πριν την έναρξη του τελευταίου επεισοδίου. Αυτό συμβαίνει επειδή θετικές τιμές του δείκτη πριν την έναρξη του καύσωνα, προμηνύουν έλλειψη ανθρώπινου εγκλιματισμού στις επικείμενες εξαιρετικά θερμές συνθήκες.

4. Βουκουρέστι: Από τις 12 έως τις 18 και από τις 22 έως τις 27 Ιουνίου η μέση ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά το 95° ποσοστημόριο των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών της 30ετίας αναφοράς (1971-2000). Κατά το πρώτο διάστημα η μέση θερμοκρασία μεγιστοποιείται στις 18/6 ($25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) και κατά το δεύτερο στις 24/6 ($25.8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Μέσω της χρήσης των δεικτών EHI(sig) και EHF, φαίνεται πως τα δύο επεισόδια καύσωνα ενοποιούνται σε ένα που ξεκινά στις 13 και λήγει στις 28 Ιουνίου, με μέγιστο EHF ίσο με $6.18\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 26/6. Για να είναι πλήρη τα στοιχεία που δίνονται για τον καύσωνα, περιγράφονται αναλυτικά και οι επιπτώσεις του στον ανθρώπινο εγκλιματισμό μέσω παρακολούθησης της πορείας του ανάλογου υποδείκτη (EHI(accl)). Φαίνεται πως μόνο τις δύο τελευταίες ημέρες του Ιουνίου οι τιμές του δείκτη EHI(accl) παίρνουν αρνητικό πρόσημο, γεγονός που υποδηλώνει πως γίνεται αρνητικός μετά από το πραγματικό τέλος του καύσωνα στις 28 Ιουνίου, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των δεικτών EHI(sig) και EHF. Ο καύσωνας που έπληξε το Βουκουρέστι χαρακτηρίζεται μεγάλης επικινδυνότητας και οι επιπτώσεις των ακραίων θερμοκρασιακά συνθηκών στον άνθρωπο είναι έντονες.



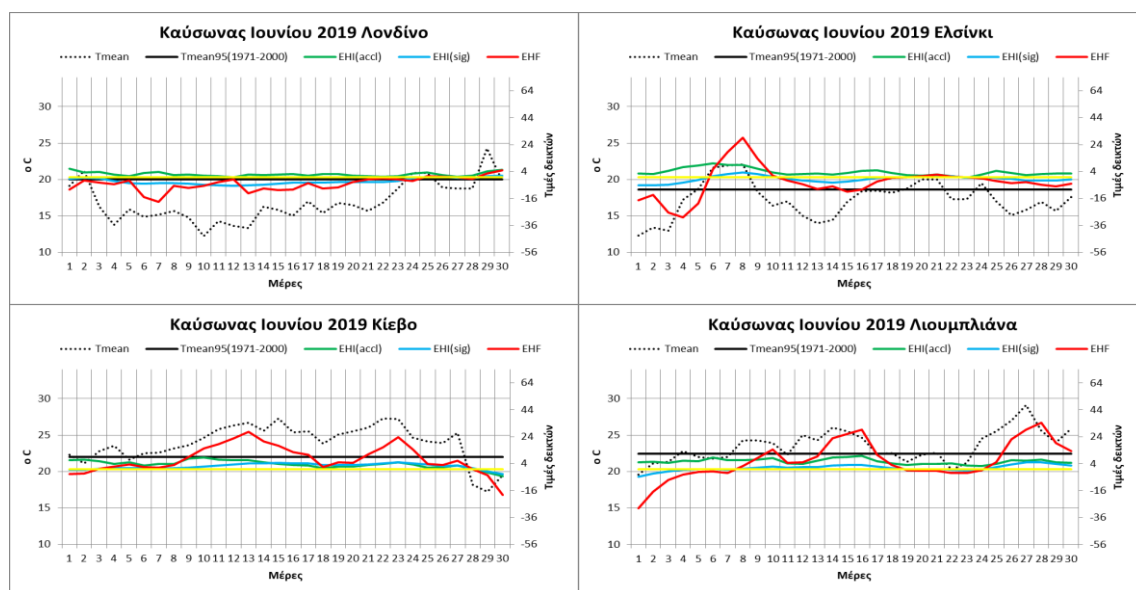
Σχήμα 9: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουνίου του 2019 για το Άμστερνταμ, το Βελγιάδι, το Βερολίνο και το Βουκουρέστι

5. Λονδίνο: Στο Λονδίνο δεν ικανοποιούνται οι συνθήκες για την εμφάνιση καύσωνα τον Ιούνιο. Από το αντίστοιχο σχήμα, γίνεται φανερό πως οι δείκτες EHI(sig) και EHF παραμένουν αρνητικοί και για τις 30 μέρες του μήνα. Έτσι δεν πληρείται το βασικό κριτήριο ορισμού καύσωνα, σύμφωνα με το οποίο θα πρέπει ο δείκτης EHF να είναι θετικός για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες (Perkins et al., 2012). Ταυτόχρονα δεν εμφανίζει θετικές τιμές ο δείκτης EHI(sig) καμία μέρα, ώστε να σηματοδοτείται έναρξη καύσωνα (Nairn et al., 2009).
6. Ελσίνκι: Από τις 5 έως τις 8 και από τις 19 έως τις 21/6 πληρείται το πρώτο κριτήριο. Συγκρίνοντας τα δύο χρονικά διαστήματα, φαίνεται πως η μέγιστη μέση ημερήσια θερμοκρασία τοποθετείται στο πρώτο διάστημα και ισούται με 22.1 °C στις 8/6. Καθώς ο EHI(sig) και ο EHF > 0 στις 6 και στις 20 Ιουνίου, σημαίνει πως τότε σηματοδοτείται η έναρξη δύο επεισοδίων καύσωνα. Το πρώτο διαρκεί έως τις 10 του μηνός, με μέγιστο EHF = 29.3 °C² και το δεύτερο έως τις 22, με μέγιστο EHF = 1.8 °C². Η εφαρμογή του δείκτη σε σχέση με τη μελέτη των μέσων θερμοκρασιών αποδεικνύει πως ο καύσωνας ξεκινά μία μέρα αργότερα. Ενδιαφέρον προκαλεί το πώς αντέδρασαν οι άνθρωποι πριν, μετά και κατά τη διάρκεια των δύο επεισοδίων καύσωνα, καθώς οι άνθρωποι στη Βόρεια Ευρώπη δεν είναι συνηθισμένοι σε απότομες αλλαγές θερμοκρασίας. Συνεπώς, χρήζει

περαιτέρω ανάλυσης η πορεία του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl). Ο EHI(accl) δε γίνεται αρνητικός κατά τη διάρκεια του Ιουνίου του 2019 στο Ελσίνκι. Επισημαίνεται και εδώ πως ο μέσος όρος των θερμοκρασιών τριών ημερών είναι υψηλότερος από τον αντίστοιχο των προηγούμενων τριάντα ημερών. Έτσι και στο Ελσίνκι διαφαίνεται παντελής απουσία εγκλιματισμού και προσαρμογής πριν από την έναρξη και τη λήξη των καυσώνων, καθώς και κατά τη διάρκειά τους. Οι άνθρωποι από την αρχή του μήνα δεν είναι σε θέση να προσαρμοστούν φυσικά σε αυτήν τη θέρμανση, πληροφορία ιδιαίτερα χρήσιμη για την έγκαιρη αντιμετώπιση της επικινδυνότητας για τη δημόσια υγεία.

7. Κίεβο: Στο Κίεβο το 95° ποσοστημόριο της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας της περιόδου 1971-2000 υπερβαίνεται από τις 6 έως τις 27/6 και η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ισούται με 27.3 °C (15 και 22/6). Οι δείκτες σημαντικότητας και καύσωνα (EHI(sig) & EHF αντίστοιχα) αποκτούν θετικές τιμές από τις 3 έως τις 28/6 με μέγιστο EHF=27.6 °C² στις 13/6. Μετά από την εφαρμογή του δείκτη αποδεικνύεται πως ο καύσωνας στο Κίεβο διήρκησε 26 ημέρες, σχεδόν ολόκληρο τον Ιούνιο. Η πολύ μεγάλη διάρκειά του μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με την πιθανότητα επίτευξης ανθρώπινου εγκλιματισμού στα τέλη του μήνα έπειτα από εκτενή έκθεση του ανθρώπου σε εξαιρετικά θερμές συνθήκες. Πράγματι η μελέτη του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl) επιβεβαιώνει την προηγούμενη πρόταση. Αρχικά ο δείκτης γίνεται πρώτη φορά θετικός από την 1^η του μήνα και παραμένει θετικός έως τις 28/6. Σύμφωνα με την ερμηνεία του, αυτό σημαίνει πως σχεδόν για όλο το μήνα επικρατεί κλίμα αδυναμίας προσαρμογής στις ακραίες θερμοκρασίες λόγω του 26ήμερου καύσωνα. Παρόλα αυτά, ο άνθρωπος επιβιώνει πιο εύκολα στο νέο θερμότερο περιβάλλον προς τα τέλη του μήνα, καθώς ο EHI(accl) πέφτει υπό το μηδέν, ακριβώς μία μέρα μετά τη λήξη του καύσωνα.
8. Λιουμπλιάνα: Τρία επεισόδια καύσωνα ανιχνεύονται μέσω του πρώτου κριτηρίου κατά τα διαστήματα 8-10, 12-16 και 24-30 Ιουνίου. Στο τελευταίο επεισόδιο και πιο συγκεκριμένα στις 27/6 καταγράφεται η μέγιστη ημερήσια μέση θερμοκρασία και ίση με 29.1 °C. Από την άλλη, δύο επεισόδια καύσωνα κατά τα διαστήματα 8-18 και 25-30 Ιουνίου, προκύπτουν από το κριτήριο ορισμού καυσώνων σύμφωνα με την ανίσωση EHI(sig) & EHF>0.

Για το επεισόδιο από τις 25 έως τις 30 του μηνός, σηματοδοτείται η έναρξη του καύσωνα μία μέρα αργότερα σε σχέση με το επεισόδιο 24-30 Ιουνίου της πρώτης μεθόδου. Το ολικό μέγιστο του δείκτη EHF τοποθετείται στις 28/6 ($34.5\text{ }^{\circ}\text{C}^2$), μία μέρα αργότερα από την ημερομηνία εμφάνισης της μέγιστης Tmean. Παρόλο που το πρώτο επεισόδιο είναι μεγάλης διάρκειας, οι άνθρωποι δεν προσαρμόζονται φυσικά στις νέες θερμοκρασίες. Ο Ιούνιος στη Λιουμπλιάνα χαρακτηρίζεται από παντελή αδυναμία ανθρώπινου εγκλιματισμού. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι ημέρες του μήνα παρουσιάζουν θετικές τιμές του δείκτη, επιτείνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις του εν λόγω καύσωνα στη Λιουμπλιάνα. Το γεγονός ότι ο δείκτης EHI(accl) γίνεται θετικός πριν από το δείκτη σημαντικότητας που αποκτά θετικές τιμές πρώτη φορά στις 8/6 αποτελεί εργαλείο στη λήψη άμεσων μέτρων με σκοπό την αποφυγή ασθενειών που προκαλούνται λόγω απότομης θέρμανσης.



Σχήμα 10: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουνίου του 2019 για το Λονδίνο, το Ελσίνκι, το Κίεβο και τη Λιουμπλιάνα

9. Λουξεμβούργο: Το 95^ο ποσοστημόριο των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών του 1971-2000 ξεπερνιέται από την 1^η έως την 5^η Ιουνίου και από την 23^η έως την 30^η Ιουνίου με μέγιστο peak των ημερησίων μέσων θερμοκρασιών στις 26/6 και ίσο με $25.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Συγκριτικά με το πρώτο κριτήριο ορισμού καυσώνων, μία μέρα αργότερα σηματοδοτείται η έναρξη του καύσωνα στην περίπτωση χρήσης των δεικτών σημαντικότητας και EHF με μέγιστο peak

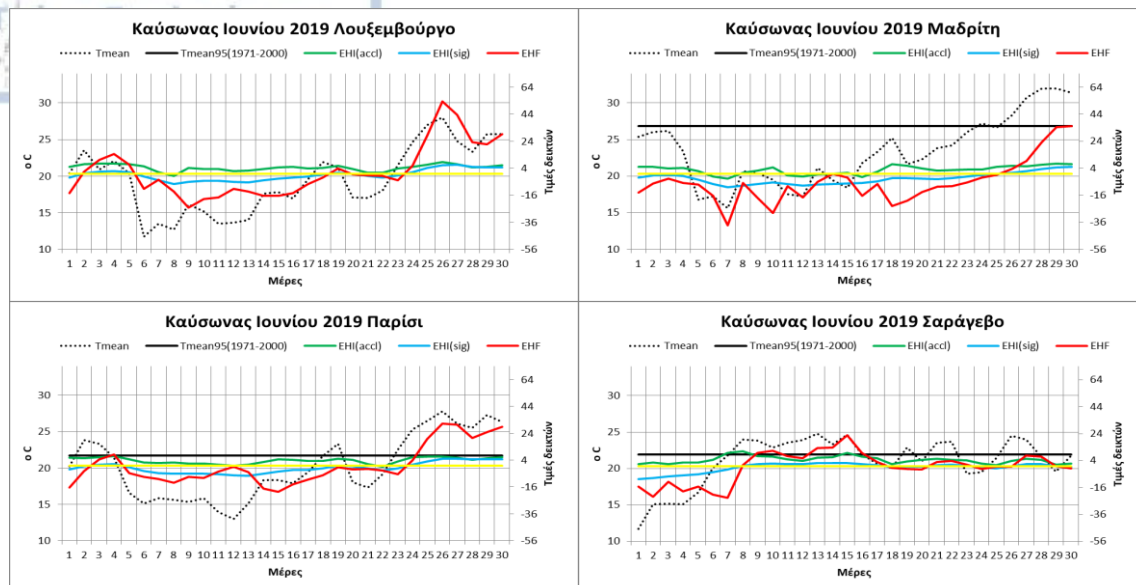
του EHF την ίδια μέρα ($53.4\text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Όσον αφορά το δείκτη εγκλιματισμού, τον έναν εκ των δύο υπο-δεικτών που συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη καύσωνα EHF, έχει θετικές τιμές κατά τη διάρκεια όλου του Ιουνίου.

Αυτό το φαινόμενο έχει παρατηρηθεί σε αρκετά από τα υπό μελέτη αστικά κέντρα. Η υψηλή τιμή του δείκτη EHF ($53.4\text{ }^{\circ}\text{C}^2$) σε συνδυασμό με τις θετικές τιμές του δείκτη EHI(accl) οδηγούν στο συμπέρασμα πως ο μεγάλης έντασης καύσωνα συμβαίνει σε περίοδο θέρμανσης αρκετά εντονότερη από την περίοδο των προηγούμενων τριάντα ημερών. Ως φυσικό συμπέρασμα, οι άνθρωποι δεν καταφέρνουν να εγκλιματιστούν στο νέο, εξαιρετικά θερμό και ασυνήθιστο για τους ίδιους περιβάλλον. Το συγκεκριμένο κύμα καύσωνα αναμένεται να προκαλέσει επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία τους. Συμπερασματικά, μετά από εφαρμογή των προαναφερθέντων δεικτών, το Λουξεμβούργο θεωρείται άμεσα πληγείσα πρωτεύουσα λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά του καύσωνα αλλά και τις αρνητικές του συνέπειες στον άνθρωπο.

10. Μαδρίτη: Το ορισμένο κατώφλι για τις Tmean υπερβαίνεται από τις 26 έως τις 30 του μηνός, με τη μέγιστη τιμή των $31.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ να σημειώνεται τέλη Ιουνίου. Μία μέρα πριν (29/6) μεγιστοποιείται ο δείκτης καύσωνα ($34.3\text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Ο δείκτης σημαντικότητας πρώτη φορά ξεπερνά την κίτρινη γραμμή στις 26 του μηνός, ενώ πρώτη φορά βρίσκεται υπό τη γραμμή αυτή στις 30 του μηνός. Ακριβώς το ίδιο ισχύει και για τον EHF. Συμπερασματικά στη Μαδρίτη το μόνο επεισόδιο καύσωνα συμβαίνει από τις 26 έως τις 30 Ιουνίου, καθώς και τα δύο κριτήρια συμφωνούν. Αρκετές ημέρες πριν την έναρξη του καύσωνα που σημειώνεται στις 26 του μήνα, αρχίζει να φαίνεται η έλλειψη προσαρμοστικότητας από τον άνθρωπο. Πιο συγκεκριμένα, από τις 17 έως και τα τέλη του μήνα ο δείκτης εγκλιματισμού EHI(accl) υπερβαίνει την τιμή 0. Για το χρονικό διάστημα 17-30 Ιουνίου, ο μέσος όρος των θερμοκρασιών τριών ημερών απέχει από τον αντίστοιχο των προηγούμενων τριάντα ημερών. Οι νέες, σημαντικά θερμότερες συνθήκες επιβαρύνουν τον άνθρωπο και τον καθιστούν αδύναμο. Παρόλα αυτά, η ανίχνευση των θετικών τιμών του EHI(accl) εννιά ημέρες πριν την έναρξη του επεισοδίου καύσωνα, μπορεί να συντελέσει στην έγκαιρη λήψη μέτρων.
11. Παρίσι: Το κύμα καύσωνα πλήττει το Παρίσι πρώτη φορά στις 24/6 και τελευταία στις 30/6. Εκείνο το χρονικό διάστημα παραμένουν θετικές οι

τιμές του EHI(sig) και του EHF. Μία μέρα πριν, η Tmean ξεπερνά το ορισμένο κατώφλι. Οι μέγιστες τιμές που κρατούνται είναι: μέγιστη Tmean=27.8 °C και μέγιστο EHF=31 °C² στις 26/6. Η 26^η του μήνα αποτελεί τη μέρα μέγιστης έντασης για το Παρίσι, επειδή τα δύο μέγιστα της Tmean και του EHF συμβαίνουν ταυτοχρόνως. Ακριβώς μία μέρα πριν την έναρξη του καύσωνα, στις 23/6 ικανοποιείται η συνθήκη EHI(accl)>0. Παρόλο που δε σηματοδοτείται ακόμη η έναρξη του επεισοδίου, οι κάτοικοι δε δείχνουν έτοιμοι για προσαρμογή και οι καινούριες κλιματικές συνθήκες επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία τους. Σε περίπτωση που αξιοποιηθεί έγκαιρα η παραπάνω πληροφορία, πιθανολογείται πως δε θα προκληθούν σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. Για αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη η ενημέρωση των υπευθύνων άμεσα.

12. Σαράγεβο: Για το Σαράγεβο, μετά από εφαρμογή και των δύο κριτηρίων προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα. Από τις 8 έως τις 15 του μήνα η μαύρη διακεκομμένη γραμμή ξεπερνά τη συνεχή, ενώ από τις 8 έως τις 17 και από τις 21 έως τις 23 του μήνα η κόκκινη και η γαλάζια γραμμή υπερβαίνουν την κίτρινη. Στις 15/6 μέγιστη Tmean=24.6 °C και μέγιστος EHF=23 °C². Επικεντρώνοντας την προσοχή στον αντίκτυπο που έχει ο εν λόγω καύσωνας στον άνθρωπο μελετάται η πορεία της πράσινης γραμμής που αντιπροσωπεύει τον υπο-δείκτη εγκλιματισμού. Αναλυτικότερα, η καμπύλη του προαναφερθέντος δείκτη τοποθετείται πάνω από την κίτρινη κατά τη διάρκεια όλου του μήνα. Ακόμα και αν οι άνθρωποι τείνουν να εγκλιματίζονται στο τοπικό κλίμα που ζούνε, με μία απότομη αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με προγενέστερες περιόδους, μπορούν να οδηγηθούν σε παντελή έλλειψη εγκλιματισμού, όπως στο Σαράγεβο.



Σχήμα 11: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουνίου του 2019 για το Λουξεμβούργο, τη Μαδρίτη, το Παρίσι και το Σαράγεβο

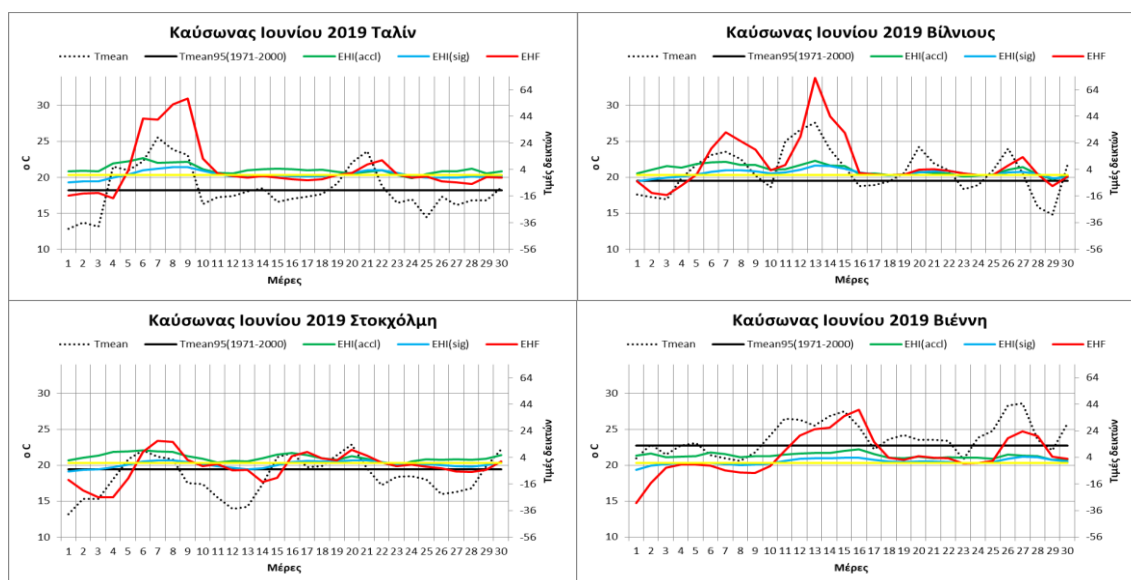
13. Ταλίν: Με βάση το πρώτο κριτήριο των θερμοκρασιών, συμπεραίνεται πως στο Ταλίν συμβαίνουν 2 επεισόδια καύσωνα, ένα από τις 4 έως τις 9 και ένα από τις 19 έως τις 22 του μήνα, με πιο έντονη την 7^η μέρα του Ιουνίου (μέγιστη $T_{mean}=25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Δύο επεισόδια εξακριβώνονται με βάση το δεύτερο κριτήριο των δεικτών, ένα από τις 5 έως τις 11 και ένα από τις 20 έως τις 23 Ιουνίου, με την 9^η μέρα του μήνα πιο έντονη (μέγιστος $EHF=57.4\text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Στη συνέχεια, αναλύονται τα αποτελέσματα του τρίτου μελετώμενου δείκτη, του $EHI(accl)$. Ο καιρός χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα θερμός για τα διαστήματα 1-22 και 25-30/6 καθώς τότε οι τιμές του είναι θετικές. Ως προς τον άνθρωπο, αυτό σημαίνει αδυναμία εγκλιματισμού σε μία περίοδο πολύ πιο έντονης θέρμανσης συγκριτικά με αντίστοιχες του κοντινού παρελθόντος. Μέσα σε ένα κλίμα απότομης και μη αναμενόμενης αύξησης της θερμοκρασίας, οι άνθρωποι δεν προλαβαίνουν να συνηθίσουν και τελικά να προσαρμοστούν στα πρωτόγνωρα θερμοκρασιακά δεδομένα.

14. Βίλνιους: Οι εξαιρετικά θερμές συνθήκες στο Βίλνιους είναι 4, από τις 4 έως τις 9, από τις 11 έως τις 15, από τις 19 έως τις 22 και από τις 25 έως τις 27/6, καθώς τότε η ημερήσια T_{mean} υπερβαίνει το 95^ο ποσοστημόριο. Απ' όλες τις ημερομηνίες, η μέγιστη ημερήσια T_{mean} καταγράφεται στις 13/6 και αντιστοιχεί στην τιμή των $27.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Μικρότερη συχνότητα εμφάνισης

εξαιρετικά θερμών ημερών προκύπτει με βάση το πότε καθίστανται θετικοί οι δείκτες EHF και EHI(sig). Αναλυτικότερα οι θετικές τιμές των προαναφερθέντων δεικτών σημειώνονται κατά τα διαστήματα 5-17/6, 19-23/6 και 26-28/6. Με γνώμονα το πότε παρουσιάζεται το μέγιστο του EHF, εντονότερος φαίνεται ο καύσωνας από τις 5 έως τις 17/6, καθώς ο εν λόγω δείκτης μεγιστοποιείται στις 13/6 ($73\text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Εκείνη την ημέρα μεγιστοποιούνται ταυτόχρονα η T_{mean} και ο EHF. Κοινό χαρακτηριστικό των περισσότερων σταθμών αποτελεί η απουσία προσαρμογής στις απότομες και εξαιρετικά θερμές συνθήκες. Καθώς η έρευνα που πραγματοποιείται αποσκοπεί στην εξαγωγή πληροφοριών κυρίως για τον άνθρωπο, δε θα μπορούσε να μη σχολιαστεί πως και το Βίλνιους αποτελεί παράδειγμα της προηγούμενης παρατήρησης. Κατά τα διαστήματα θετικών τιμών των δεικτών EHF και EHI(sig), παραμένει θετικός και ο EHI(accl) που αποτελεί σημαντικό παράγοντα επίδρασης στον άνθρωπο. Η διαπίστωση πως $EHI(accl)>0$ κατά τις ημερομηνίες του καύσωνα, συνεπάγεται την απουσία εγκλιματισμού από τον άνθρωπο.

15. Στοκχόλμη: Από το διάγραμμα του Σχήματος 12, προκύπτει πως η μαύρη διακεκομμένη τοποθετείται πάνω από τη συνεχή μαύρη γραμμή δύο φορές (5-8/6 και 15-21/6), με την υψηλότερη τιμή των T_{mean} να φτάνει στους $22.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 20 του μήνα. Απόκλιση μίας ημέρας στην έναρξη και λήξη του καύσωνα ανιχνεύεται μέσω των αποτελεσμάτων του Excess Heat Factor στις ημερομηνίες εμφάνισης του καύσωνα (6-9/6 και 16-22/6). Εστιάζοντας στο μέγιστο EHF, ο οποίος ισούται με $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 7/6, συμπεραίνεται πως το πρώτο κύμα καύσωνα είναι εντονότερο. Το αντίθετο συμπεραίνεται από την εστίαση στις T_{mean} . Αφού αναλύθηκε στατιστικά ο καύσωνας στη Στοκχόλμη, κρίνεται αναγκαίο να συσχετιστούν τα χαρακτηριστικά του με την επίδρασή του στον άνθρωπο. Αυτό πραγματοποιείται μέσω ανάλυσης του δείκτη EHI(accl). Ο δείκτης υπερβαίνει το 0 καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα και πριν την έναρξη των δύο επεισοδίων καύσωνα. Συμπερασματικά, επισημαίνεται η επικινδυνότητα και των δύο επεισοδίων στον άνθρωπο, ενώ ταυτόχρονα συντελείται παντελής έλλειψη προσαρμογής.
16. Βιέννη: Τα διαστήματα κατά τα οποία η ημερήσια $T_{mean}>T_{mean95}$ είναι τα ακόλουθα, 10-16/6, 18-22/6 και 24-28/6, με την 27^η Ιουνίου να χαρακτηρίζεται ευλόγως ως η θερμότερη μέρα του καύσωνα (μέγιστη

$T_{mean} = 28.6^{\circ}\text{C}$). Το πρώτο και το δεύτερο κύμα καύσωνα βάσει της T_{mean} συμπεριλαμβάνονται στο πρώτο κύμα βάσει του EHF και του $EHI(sig)$, το οποίο συμπίπτει με τις ημερομηνίες 11-22/6. Αργότερα, από τις 25 έως τα τέλη του μήνα προκαλείται ένα νέο επεισόδιο καύσωνα, επειδή EHF και $EHI(sig) > 0$. Και πάλι η 27^η Ιουνίου χαρακτηρίζεται η μέρα υψηλότερων θερμοκρασιών με μέγιστο $EHF = 23.7^{\circ}\text{C}^2$. Το πρώτο κύμα καύσωνα διαφέρει σημαντικά από το δεύτερο ως προς τη διάρκειά του. Παράλληλα, οι έντονες και επιμένουσες θερμές συνθήκες δικαιολογούν την αδυναμία ανθρώπινου εγκλιματισμού, η οποία επιβεβαιώνεται με τη συνθήκη $EHI(accl) > 0$ για όλο τον Ιούνιο. Σύμφωνα με τον ορισμό του δείκτη, οι θετικές τιμές του αντιστοιχούν σε θερμότερη περίοδο από το πρόσφατο παρελθόν, με άμεση συνέπεια την επιβάρυνση της ανθρώπινης υγείας. Όσοι παρευρίσκονται στη Βιέννη εκείνη τη χρονική περίοδο, αδυνατούν να συμβαδίσουν με τις ακραίες και ανυπόφορες σε αυτούς συνθήκες. Η παρουσία θετικών τιμών όμως από τις αρχές του μήνα και πολύ πριν την έναρξη των δύο επεισοδίων καύσωνα, προειδοποιούν για τις επικείμενες επιζήμιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη ευημερία.



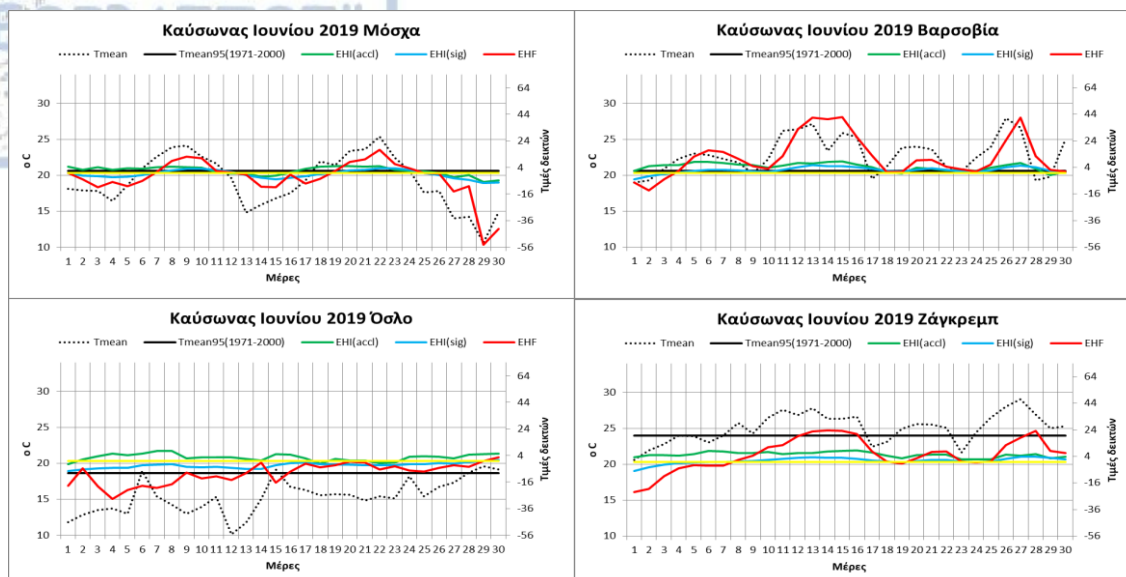
Σχήμα 12: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουνίου του 2019 για το Ταλίν, το Βίλνιους, τη Στοκχόλμη και τη Βιέννη

17. Μόσχα: Ο καύσωνας εμφανίζεται κατά τα διαστήματα 6-11/6 και 18-24/6, όταν δηλαδή οι ημερήσιες τιμές της T_{mean} υπερβαίνουν το 95° ποσοστημόριο. Η έναρξη του καύσωνα σηματοδοτείται μία μέρα αργότερα και για τα δύο διαστήματα με τα κριτήρια $EHF > 0$ για 3 συνεχόμενες ημέρες και $EHI(sig) > 0$. Οι πιο δυσμενείς συνθήκες επικρατούν στις 22/6 με την ημερήσια μέση θερμοκρασία να αγγίζει τους $25.4^{\circ}C$ και το δείκτη EHF τους $17.2^{\circ}C^2$. Στον υπολογισμό του δείκτη Excess Heat Factor, χρησιμοποιείται ο εξίσου σημαντικός δείκτης εγκλιματισμού. Εφαρμόζοντάς τον στη Μόσχα, ανιχνεύονται τα διαστήματα θετικών τιμών του τα οποία είναι τα εξής: 1-11/6 και 16-25/6. Η ανίχνευση των θετικών τιμών πριν την έναρξη και των δύο επεισοδίων λειτουργεί ως ενημέρωση των συστημάτων επαγρύπνησης με απώτερο σκοπό την ασφάλεια των πολιτών σε περίπτωση ασθενειών λόγω υπερβολικής θέρμανσης. Για πρώτη φορά ο $EHI(accl)$ γίνεται αρνητικός στις 12/6, ακριβώς μία μέρα μετά το τέλος του πρώτου επεισοδίου και αποκτά ξανά θετικές τιμές πριν την έναρξη του δεύτερου κύματος. Μετά το πρώτο σοκ που υπέστη ο άνθρωπος λόγω απότομης αύξησης της θερμοκρασίας, συνήθισε για ένα μικρό χρονικό διάστημα στα νέα δεδομένα και κατέστη ευάλωτος πριν το πέρασμα του δεύτερου κύματος.

18. Βαρσοβία: Τα αποτελέσματα για τη Βαρσοβία παρατίθενται παρακάτω. Από το πρώτο κριτήριο για τις T_{mean} , καταγράφονται 4 επεισόδια καύσωνα (3-8, 10-16, 18-22 και 24-27/6) με θερμότερη μέρα την 26^η του μήνα. Τότε η μέγιστη T_{mean} αγγίζει τους $27.9^{\circ}C$. Μετά από εφαρμογή του δεύτερου κριτηρίου με τους δείκτες, τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται. Προκύπτει 1 εξαιρετικά μεγάλης διάρκειας επεισόδιο καύσωνα από τις 4 έως τις 30 του μήνα με τη 15^η του μήνα την πιο ακραία θερμοκρασιακά ημέρα, δηλαδή ημέρα μεγίστου EHF ίσου με $41.9^{\circ}C^2$. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες πρωτεύουσες, η Βαρσοβία ξεχωρίζει εξαιτίας του διαρκέστερου επεισοδίου κατά τη διάρκεια του Ιουνίου του 2019. Κατόπιν ενδελεχούς και λεπτομερούς ανάλυσης του δείκτη εγκλιματισμού, εξάγονται ακόμα πιο χρήσιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του καύσωνα που έπληξε τη Βαρσοβία. Η πορεία της καμπύλης του δείκτη $EHI(accl)$ με τη βοήθεια του διαγράμματος στο Σχήμα 13, δείχνει πως γενικά οι τιμές του είναι θετικές πλην μίας ημέρας, στις 19/6 όπου $EHI(accl) < 0$. Σύμφωνα με τους Nairn et

al., 2015 αυτό σημαίνει πως επετεύχθη ανθρώπινος εγκλιματισμός σε εξαιρετικά ακραίες συνθήκες κατά τη διάρκεια καύσωνα πολύ μεγάλης διάρκειας. Συνεπώς, οι δυσμενείς επιπτώσεις μειώνονται για μικρό χρονικό διάστημα, καθώς από τις 20/6 έως το τέλος του μήνα, ο δείκτης ακολουθεί ανοδική πορεία και υπερβαίνει ξανά το 0.

19. Όσλο: Για 3 συνεχόμενες ημέρες ακριβώς (28-30/6) η Tmean ξεπερνά αριθμητικά τη σταθερή τιμή της Tmean95. Η μέγιστη Tmean εντοπίζεται στις 29/6 και ισούται με 19.6 °C. Καθόλου αναμενόμενο δεν είναι το γεγονός πως μέσω του δείκτη Excess Heat Factor κατά τον Ιούνιο δεν ανιχνεύεται επεισόδιο καύσωνα. Για δεύτερη φορά, δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις, ώστε να χαρακτηριστεί ένα διάστημα ως καύσωνας όπως και στο Λονδίνο. Πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες των δεικτών EHI(sig) και EHF στο διάγραμμα του Όσλο του Σχήματος 13 δεν υπερβαίνουν την κίτρινη γραμμή του μηδενός καμία ημέρα του Ιουνίου. Αυτομάτως δεν ανιχνεύεται ακολουθία τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών με θετικό δείκτη EHF.
20. Ζάγκρεμπ: Ο Ιούνιος στο Ζάγκρεμπ απαρτίζεται από 3 επεισόδια καύσωνα. Κατά το πρώτο κριτήριο τα επεισόδια αυτά είναι τα ακόλουθα: 8-16/6, 19-22/6 και 24-30/6. Κατά το δεύτερο και σημαντικότερο κριτήριο των δεικτών, διαφοροποιούνται οι ημερομηνίες: 8-18/6, 20-23/6 και 25-30/6. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των επεισοδίων αποτελεί το ότι μεταφέρονται μία μέρα αργότερα, όταν αξιοποιείται το δεύτερο κριτήριο. Μία επιπλέον ομοιότητά τους είναι πως κατά τη διάρκειά τους ο, ο δείκτης εγκλιματισμού EHI(accl) δεν αποκτά θετικές τιμές. Συνεπάγεται πως οι άνθρωποι διανύουν περίοδο θέρμανσης αισθητά θερμότερη από το πρόσφατο παρελθόν και αδυνατούν να προσαρμοστούν φυσικά στις αναπάντεχες μεταβολές της θερμοκρασίας. Πριν από την έναρξη κάθε επεισοδίου ο EHI(accl) παραμένει θετικός, γεγονός που προμηνύει τις επικείμενες δυσχερείς επιπτώσεις του εν λόγω καύσωνα στον άνθρωπο. Επιπροσθέτως, η μέγιστη μέση θερμοκρασία του Ιουνίου του 2019 στο Ζάγκρεμπ (29 °C) παρατηρείται στις 27 του μήνα. Αντιθέτως, η μέγιστη τιμή του EHF παρατηρείται πολύ νωρίτερα, στις 14 του μήνα (23.5 °C²). Έτσι, το εντονότερο επεισόδιο στο Ζάγκρεμπ τον Ιούνιο συμβαίνει στις 8-18 του μήνα.



Σχήμα 13: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουνίου του 2019 για τη Μόσχα, τη Βαρσοβία, το Όσλο και το Ζάγκρεμπ

Παρομοίως, εφαρμόζεται η ίδια μεθοδολογία στα Σχήματα 14-18 για το μήνα Ιούλιο.

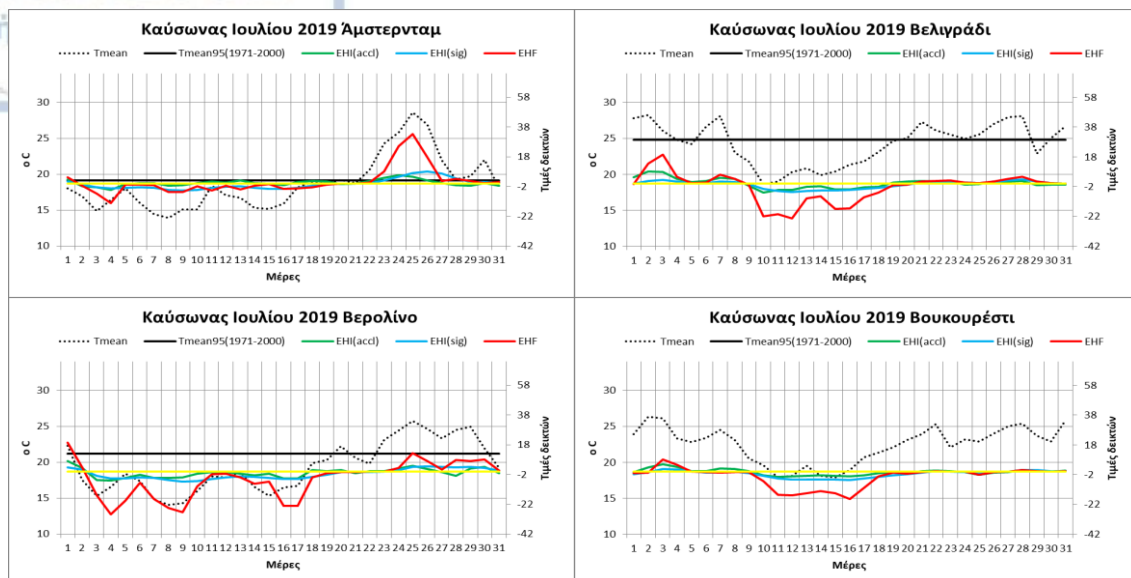
1. Άμστερνταμ: Στο διάγραμμα, η γραμμή των Tmean υπερβαίνει την μαύρη συνεχή ευθεία της Tmean95 από τις 22 έως τις 30 Ιουλίου, ενώ ο δείκτης σημαντικότητας εμφανίζει θετικές τιμές από τις 22 πάλι έως τις 31 Ιουλίου, μία μέρα αργότερα δηλαδή. Ίδια πορεία ακολουθεί ο EHF. Το διάστημα 22-31 Ιουλίου αποτελεί το μοναδικό επεισόδιο καύσωνα. Οι πιο ακραίες συνθήκες επικρατούν στις 25/7, ημέρα μέγιστης μέσης ημερησίας Tmean (28.6 °C) και μέγιστου EHF (33.4 °C²). Η χρήση του δείκτη EHF πέραν των στατιστικών χαρακτηριστικών, παρέχει και επιπρόσθετες πληροφορίες αναφορικά με την ανθρώπινη προσαρμοστικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό του υποδείκτη εγκλιματισμού και την παρακολούθηση της πορείας των τιμών του. Συνεπώς, ο δείκτης εγκλιματισμού είναι θετικός από τις 21-27/7, ενώ από τις 28-31 αποκτά αρνητικές τιμές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολοίπων δεικτών, ο καύσωνας πλήττει το Άμστερνταμ από τις 22 έως τα τέλη του μήνα. Από τις 28/7, πρώτη μέρα αρνητικών τιμών του EHI(accl), δηλαδή πριν τη λήξη του καύσωνα καταφέρνουν οι άνθρωποι να εγκλιματιστούν στις νέες συνθήκες εξαιτίας της μεγάλης διάρκειάς του.
2. Βελιγράδι: Όσον αφορά τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες, παρατηρείται καύσωνας από τις 20 έως τις 28 του μήνα, με μέγιστη ένταση την τελευταία ημέρα του γεγονότος (28/7). Εκείνη την ημέρα, η μέγιστη Tmean ισούται με

28.1 °C. Η βασικότερη συνθήκη ορισμού καύσωνα, δηλαδή $EHI(sig) > 0$ και $EHF > 0$ για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες, ικανοποιείται από τις 2 έως τις 8 και από τις 21 έως τις 31 του μήνα. Μέσω αυτής της συνθήκης, προστίθεται ένα ακόμα επεισόδιο καύσωνα στις αρχές του μήνα και το ήδη υπάρχον στα τέλη του μήνα φαίνεται να είναι διαρκέστερο μέσω ανίχνευσής του με τους δείκτες. Το peak του EHF τοποθετείται στις 3/7 και είναι ίσο με 19.3 °C². Συνεπώς, ο καύσωνας από τις 2 έως τις 8 Ιουλίου, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ένταση. Ο απώτερος σκοπός όμως της έρευνας είναι να συνδυαστούν τα χαρακτηριστικά του καύσωνα με τις επιπτώσεις του στην ανθρώπινη καθημερινότητα. Η δυνατότητα αυτή δίνεται μέσω ανάλυσης του δείκτη εγκλιματισμού $EHI(accl)$, ο οποίος αποτελεί τον έναν από τους δύο παράγοντες της εξίσωσης του EHF. Αναλυτικότερα, κατά τη διάρκεια του πρώτου επεισοδίου καύσωνα, οι τιμές του είναι θετικές. Στη συνέχεια, γίνεται αρνητικός μόνο στις 24 και 25 Ιουλίου, δηλαδή κατά τη διάρκεια του δεύτερου επεισοδίου και πριν τη λήξη του. Συμπερασματικά, με τη διέλευση του πρώτου κύματος ο μέσος όρος των θερμοκρασιών τριών ημερών είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των τριάντα προηγούμενων. Επικρατούν συνθήκες έντονης θέρμανσης και ο άνθρωπος καθίσταται αδύναμος και δεν προσαρμόζεται ομαλά στο νέο εξαιρετικά θερμό περιβάλλον. Αντιθέτως, επιτυγχάνεται εγκλιματισμός στα νέα ακραία θερμοκρασιακά δεδομένα κατά τη διάρκεια δύο ημερών του δεύτερου επεισοδίου, συνθήκη που αντιστρέφεται στη συνέχεια, καθώς οι τιμές του $EHI(accl)$ υπερβαίνουν και πάλι το 0.

3. Βερολίνο: Σχεδόν ταυτόχρονα με το Άμστερνταμ, ο καύσωνας σημειώνεται και στο Βερολίνο από τις 23 έως τις 30 Ιουλίου, με μέγιστη $T_{mean} = 24.9$ °C στις 29/7. Μία μέρα αργότερα (30/7), μεγιστοποιείται ο Excess Heat Factor (8.1 °C²). Με μοναδικό κριτήριο τις θετικές τιμές του δείκτη αυτού σε συνδυασμό με τον δείκτη σημαντικότητας, ο καύσωνας μετατίθεται μία μέρα αργότερα, δηλαδή αρχίζει στις 24 και λήγει στις 31 Ιουλίου. Η αποκλειστική μελέτη μόνο των δεικτών καύσωνα και σημαντικότητας δεν αρκεί για να εξαχθούν συμπεράσματα για τον αντίκτυπο στον άνθρωπο, καθώς οι ανάλογες πληροφορίες αντλούνται από την παρακολούθηση του δείκτη εγκλιματισμού $EHI(accl)$. Συγκεκριμένα, από τις 22 έως τις 26 του μήνα παραμένει θετικός, δηλαδή πρώτα γίνεται θετικός ο $EHI(accl)$ και δύο

μέρες μετά οι υπόλοιποι δύο δείκτες. Παρόλο που δε σηματοδοτείται έναρξη του καύσωνα, η αύξηση του δείκτη δείχνει πως οι άνθρωποι δεν είναι σε θέση να προσαρμοστούν φυσικά σε αυτή τη θέρμανση, πληροφορία ιδιαίτερα χρήσιμη για τη λήψη των ανάλογων μέτρων. Η κατάσταση αλλάζει από τις 27/7 έως και το τέλος του καύσωνα. Εκείνες τις ημέρες, ο άνθρωπος καθίσταται πιο ανθεκτικός στις υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες, καθώς οι τιμές του δείκτη EHI(accl) πέφτουν υπό το μηδέν. Σύμφωνα με τους Nairn et al., 2015, η εκτενής έκθεση του ανθρώπου σε ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να τον καταστήσει ανθεκτικότερο, μειώνοντας τον κίνδυνο των επιπτώσεων που προκαλούνται σε αυτόν.

4. Βουκουρέστι: Ακριβώς 3 ημέρες διαρκεί το επεισόδιο καύσωνα στο Βουκουρέστι με μόνο κριτήριο τις Tmean να υπερβαίνουν το 95^ο ποσοστημόριο. Η τελευταία ημέρα του καύσωνα είναι η θερμότερη όλων, καθώς η Tmean φτάνει στη μέγιστη τιμή της (25.4 °C). Διαφοροποιούνται τα αποτελέσματα με την εισαγωγή του κριτηρίου των υπό μελέτη δεικτών. Έτσι τα επεισόδια καύσωνα προσδιορίζονται ξανά: 3-5/7 και 27-31/7, μέρες για τις οποίες ισχύει πως EHI(sig)>0 και EHF>0. Το τριήμερο 3-5/7 υπερτερεί θερμοκρασιακά έναντι του πενταμέρου 27-31/7, διότι στις 3/7 ο EHF παρουσιάζει ολικό μέγιστο και ίσο με 8.1 °C². Όσον αφορά την επίδραση των δύο επεισοδίων καύσωνα στον άνθρωπο, συνίσταται η περιγραφή του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl). Αρνητική τιμή του EHI(accl) εμφανίζεται στις 27 του μήνα, πραγματική ημέρα έναρξης του δεύτερου επεισοδίου. Ενώ φαίνεται αρχικά πως οι συνθήκες δε θα είναι ανυπόφορες για τον άνθρωπο, τα δεδομένα διαφοροποιούνται με επαναφορά θετικών τιμών του EHI(accl). Καταληκτικά, οι άνθρωποι αδυνατούν να προσαρμοστούν και ο καύσωνας συνολικά προξένησε επιβλαβείς επιπτώσεις.



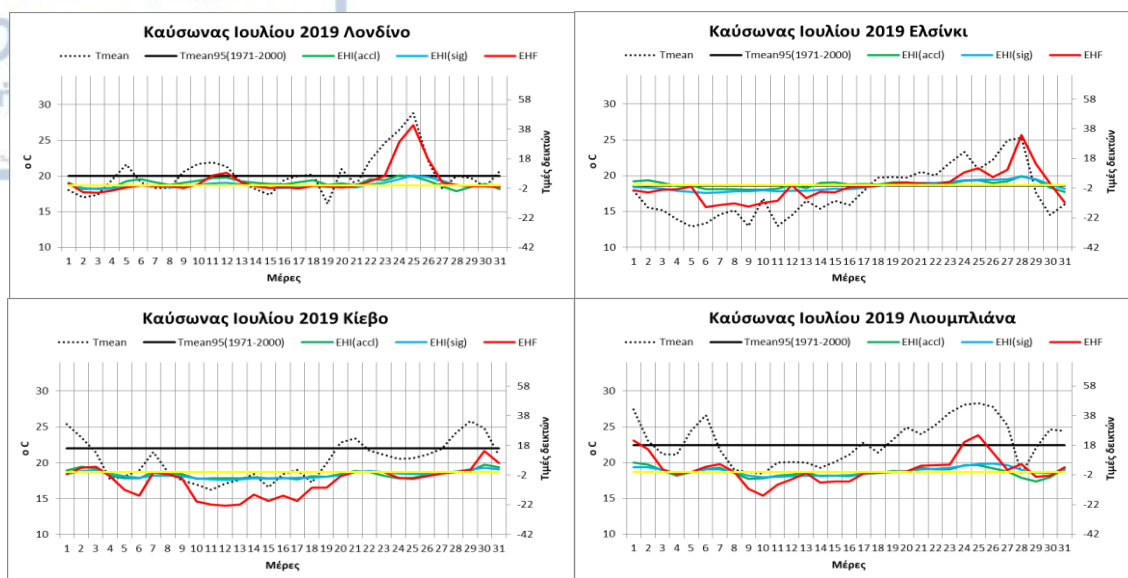
Σχήμα 14: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουλίου του 2019 για το Άμστερνταμ, το Βελιγράδι, το Βερολίνο και το Βουκουρέστι

5. Λονδίνο: Η μέση ημερήσια Tmean ξεπερνά το κατώφλι του 95^{ου} ποσοστημορίου κατά τα δύο διαστήματα 9-12 και 22-26/7, με peak στις 25/7 ίσο με 28.8 °C. Σε γενικά πλαίσια, ο EHF και ο EHI(sig) παύουν να είναι αρνητικοί μετά από μία μέρα όσον αφορά την έναρξη και τη λήξη του γεγονότος, δηλαδή κατά τα διαστήματα 10-13 και 22-28/7. Το μέγιστο του EHF (40.7 °C²) εμφανίζεται ταυτόχρονα με το peak της Tmean, δηλαδή στις 25/7. Τα παραπάνω αριθμητικά αποτελέσματα για το Λονδίνο αφορούν στα βασικά χαρακτηριστικά των επεισοδίων και δεν εξάγονται συμπεράσματα για τον κοινωνικό αντίκτυπο. Για το λόγο αυτό διερευνάται ο τελευταίος υπό μελέτη δείκτης, ο EHI(accl), που αποτελεί σημαντικό παράγοντα επίδρασης στον άνθρωπο. Έτσι ο δείκτης εγκλιματισμού είναι μεγαλύτερος του μηδενός από τις 5-26/7, δηλαδή κατά τη διάρκεια και των δύο επεισοδίων, αλλά γίνεται αρνητικός πριν τη λήξη του καύσωνα. Κατά Nairn et al., 2015 οι άνθρωποι ευκολότερα συμβαδίζουν με τα νέα θερμοκρασιακά δεδομένα στην περίπτωση μεγάλης διάρκειας καυσώνων. Στην προκειμένη περίπτωση, ο μεγάλης διάρκειας καύσωνας ξεκινάει 22 και λήγει 28 του μήνα σύμφωνα με τους δείκτες καύσωνα και σημαντικότητας. Οι ακριβείς ημερομηνίες ανθρώπινου εγκλιματισμού αναφορικά με το δείκτη EHI(accl) είναι 27-29 του μήνα.

6. Ελσίνκι: Ακολουθία διάρκειας 11 ημερών εντοπίζεται από τις 18 έως τις 28 Ιουλίου κατά την οποία ημερήσια $T_{mean} > T_{mean95}$. Η μέγιστη ένταση καθ' όλη την ακολουθία ανιχνεύεται στις 28/7, όταν επιτυγχάνεται η μέγιστη T_{mean} των 25.3 °C. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται ο μέγιστος EHF (33.8 °C²). Βάσει του εν λόγω δείκτη, πολύ μεγάλης διάρκειας καύσωνα φαίνεται να πλήττει το Ελσίνκι (19-30/7, όπου EHF και EHI(sig)>0). Συγκρίνοντας τις δύο ημερομηνίες των δύο κριτηρίων ορισμού καυσώνων, γίνεται αντιληπτό πως με τη χρήση του δείκτη, ο καύσωνας ξεκινάει μία μέρα αργότερα και λήγει μετά από δύο ημέρες. Εστιάζοντας στην επικινδυνότητα του συγκεκριμένου καύσωνα για τον άνθρωπο, κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στο δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl). Εξαιτίας ανίχνευσης θετικών τιμών του κατά τη διάρκεια σχεδόν όλου του μήνα αποδεικνύεται πως η περίοδος θέρμανσης στο Ελσίνκι είναι εντονότερη συγκριτικά με το πρόσφατο παρελθόν. Έτσι η υγεία του ανθρώπου επιβαρύνεται εξαιτίας των ακραίων θερμοκρασιών που επικρατούν πολλές ημέρες πριν την έναρξη του καύσωνα στις 19 του μήνα. Για μείωση των επιζήμιων επιδράσεων του διαρκούς καύσωνα που ακολουθεί, η παραπάνω πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα από τους αρμόδιους φορείς. Στη συνέχεια, στις 30/7 ο δείκτης εγκλιματισμού πέφτει υπό το μηδέν και έτσι εκείνη την ημέρα ελαχιστοποιούνται οι δυσμενείς επιπτώσεις του καύσωνα στην ανθρώπινη υγεία. Μία πιθανή εξήγηση είναι πως μετά την επικράτηση ακραίων συνθηκών μεγάλης διάρκειας, οι άνθρωποι αναπτύσσουν άμυνες και προσαρμόζονται ευκολότερα στις νέες συνθήκες (Nairn et al., 2015).
7. Κίεβο: Τα αποτελέσματα για το Κίεβο είναι τα ακόλουθα. Από τις 28 έως τις 30/7 ισχύει πως $T_{mean} > T_{mean95}$ με τη μέγιστη $T_{mean} = 25.8$ °C να σημειώνεται στις 29/7. Όσον αφορά το κριτήριο των δεικτών, από τις 21 έως τις 23 και από τις 28 έως τις 31/7 ικανοποιείται η συνθήκη EHF και EHI(sig)>0. Η μέγιστη τιμή του EHF ισούται με 6 °C² στις 31/7. Λεπτομερέστερες πληροφορίες προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση του δείκτη EHF, διότι αξιοποιώντας τα αποτελέσματα του πρώτου υποδείκτη που συμμετέχει στον υπολογισμό του (EHI(accl)), ανιχνεύονται οι ακριβείς ημερομηνίες ανθρώπινου εγκλιματισμού. Πιο συγκεκριμένα, πριν την έναρξη του πρώτου καύσωνα έως και 20/7, ο EHI(accl) καθίσταται θετικός. Εκείνες τις ημέρες σύμφωνα με το δείκτη ο καιρός είναι εξαιρετικά θερμός

συγκριτικά με κοντινές προγενέστερες παρελθοντικές περιόδους. Ως προς τον άνθρωπο αυτό ερμηνεύεται ως αδυναμία προσαρμοστικότητας και έλλειψη εγκλιματισμού στο νέο περιβάλλον. Παρόλα αυτά στο πρώτο επεισόδιο καύσωνα (21-23/7), ο άνθρωπος εγκλιματίζεται διότι τότε ισχύει πως $EHI(accl) < 0$. Στο δεύτερο επεισόδιο από τις 28 έως και τα τέλη του μήνα, συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο. Αναλυτικότερα ισχύει πως $EHI(accl) > 0$ από τις 24/7 και μετά, δηλαδή πριν την έναρξη του εν λόγω επεισοδίου. Ως πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς όφελος της δημόσιας υγείας με τη λήψη έγκαιρων μέτρων προστασίας και αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων που θα προκληθούν εξαιτίας ακραίων θερμοκρασιακά συνθηκών (Nairn et al., 2015).

8. Λιουμπλιάνα: Από τις 19 έως τις 27/7, η μέση ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει το κατώφλι του 95°F ποσοστημορίου και μεγιστοποιείται στις 25/7 (28.3°C). Περισσότερα επεισόδια καύσωνα καταγράφονται με την εφαρμογή του δείκτη: 1-3, 5-7 και 19-27 του μήνα. Και στα τρία επεισόδια πληρούνται τα κριτήρια. Η 25/7 υπερτερεί έναντι των υπολοίπων ημερών του μήνα εξαιτίας του ότι ο δείκτης EHF αγγίζει τη μέγιστη τιμή των 24.9°C^2 . Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των επεισοδίων καύσωνα στη Λιουμπλιάνα είναι πως ο δείκτης $EHI(accl)$ παραμένει θετικός πριν την έναρξή τους ή ακριβώς την ημέρα που σηματοδοτούνται, όπως στην περίπτωση του πρώτου επεισοδίου. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως ο μέσος όρος των θερμοκρασιών 3 συνεχόμενων ημερών είναι συγκριτικά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο μέσο όρο των προηγούμενων 30 ημερών. Άμεση συνέπεια σύμφωνα με τους Nairn et al., 2015 είναι η αδυναμία προσαρμογής στις επικρατούσες θερμότερες συνθήκες. Αντιθέτως, μόνο στις 8 και 28/7 όπου $EHI(accl) < 0$ φαίνεται πως ο άνθρωπος δύναται να προσαρμοστεί φυσικά και ομαλά στο νέο περιβάλλον.



Σχήμα 15: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουλίου του 2019 για το Λονδίνο, το Ελσίνκι, το Κίεβο και τη Λιουμπλιάνα

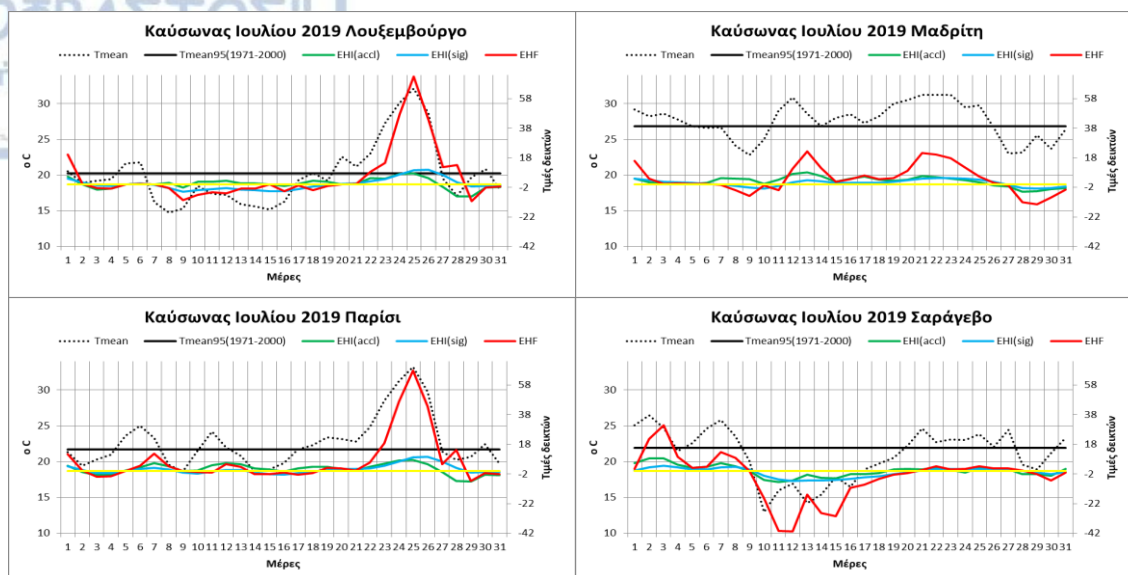
9. Λουξεμβούργο: Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές της Tmean που υπερέχουν αριθμητικά από την Tmean95, προκύπτει πως ο καύσωνας συμβαίνει από τις 20 έως τις 26 Ιουλίου, με την 25^η Ιουλίου την επικρατέστερη θερμοκρασιακά ημέρα (Tmean=32.1 °C). Τη ίδια ημέρα ο δείκτης EHF εκτινάσσεται στους 73 °C², τιμή εξαιρετικά υψηλή. Το συγκεκριμένο επεισόδιο καύσωνα επαληθεύεται με την εφαρμογή του δείκτη, με τη διαφορά ότι λήγει δύο μέρες αργότερα, δηλαδή στις 28/7. Η εξαιρετικά υψηλή τιμή του δείκτη EHF στις 25/7 καθιστά τον καύσωνα άκρως επικίνδυνο. Για να επιβεβαιωθεί η προηγούμενη παρατήρηση αρκεί να αναλυθεί ο δείκτης εγκλιματισμού EHI(accl). Η πορεία της καμπύλης του ακολουθεί ανοδική πορεία από τις 10 του μήνα και παραμένει θετικός έως και τις 26/7. Εφόσον η έναρξη του καύσωνα σηματοδοτείται στις 20/7, οι άνθρωποι δείχνουν αδυναμία προσαρμογής πριν τη διέλευση του κύματος στο Λουξεμβούργο. Με τη διέλευσή του η κατάσταση επιδεινώνεται και η έλλειψη προσαρμοστικότητας εξακολουθεί να ισχύει. Ο ανθρώπινος εγκλιματισμός είναι παρών από τις 27 έως τις 28 του μήνα όπου EHI(accl)<0 και δικαιολογείται λόγω της μεγάλης διάρκειας του φαινομένου (Nairn et al., 2015).
10. Μαδρίτη: Τρία επεισόδια καύσωνα προκύπτουν από την ανάλυση των μέσων θερμοκρασιών, από τη 1 έως τις 4, από τις 11 έως τις 13 και από τις 15 έως τις 25/7. Το ολικό μέγιστο αυτής της παραμέτρου παρουσιάζεται από

τις 21 έως τις 23/7, το οποίο αντιστοιχεί στην τιμή των 31.2 °C. Ένα επεισόδιο λιγότερο μετράται μέσω του δείκτη καύσωνα. Αναλυτικότερα, ο EHF και ο EHI(sig) έχουν θετικό πρόσημο από τη 1 έως τις 6 και από τις 12 έως τις 26/7. Μέγιστης έντασης θεωρείται η 21^η του μήνα με μέγιστο EHF ίσο με 21.3 °C². Συμπεραίνεται λοιπόν πως και οι δύο μέθοδοι ανίχνευσης καυσώνων συμφωνούν στον καθορισμό της ημέρας μέγιστης έντασης. Αναμένεται να εξακριβωθεί εάν τα δύο επεισόδια υπήρξαν καταστροφικά για τον άνθρωπο λόγω των ακραίων θερμοκρασιών που σημειώθηκαν. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του δείκτη EHI(accl), η καμπύλη του οποίου συμπεριλαμβάνεται στο ανάλογο διάγραμμα του Σχήματος 16. Εξακριβώνεται πως η τελευταία ημέρα του καύσωνα (26/7) βρίσκει τον άνθρωπο πιο εγκλιματισμένο, εξαιτίας της συνεχούς έκθεσής του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες για πολλές ημέρες. Μόνο τότε ο δείκτης εγκλιματισμού παίρνει αρνητικό πρόσημο. Τις υπόλοιπες ημέρες θετικών τιμών του δείκτη EHI(accl), η κατάσταση της υγείας του δυσχεραίνεται και φαίνεται ανίκανος στο να προσαρμοστεί φυσικά στο υπάρχον ανυπόφορο για τον ίδιο περιβάλλον.

11. Παρίσι: Ακολουθώντας την πορεία των γραμμών του διαγράμματος για το Παρίσι εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Κατά τα διαστήματα 5-7 και 18-26/7 η μαύρη διακεκομμένη γραμμή υπερβαίνει τη μαύρη συνεχή και η μεγαλύτερη τιμή της Tmean (33.2 °C) παρατηρείται στις 25/7. Αντίστοιχα η κόκκινη και η γαλάζια γραμμή υπερβαίνουν την κίτρινη κατά τα διαστήματα 6-8 και 19-28 του μήνα, με την υψηλότερη τιμή του Excess Heat Factor (67.8 °C²) να καταγράφεται την ίδια ημέρα με τη μέγιστη Tmean. Συνεπώς, ο δεύτερος καύσωνας που έπληξε το Παρίσι χαρακτηρίζεται εντονότερος από τον πρώτο. Λόγω της μεγάλης έντασης του φαινομένου, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία του δείκτη εγκλιματισμού. Όσο το Παρίσι βρίσκεται υπό την επίδραση του πρώτου επεισοδίου, ο δείκτης εμφανίζει θετικές τιμές. Για την ακρίβεια γίνεται θετικός στις 5/7 ακριβώς μία ημέρα πριν γίνει θετικός ο δείκτης σημαντικότητας EHI(sig), δηλαδή μία ημέρα πριν την έναρξη του καύσωνα. Παρόλο που οι άνθρωποι τείνουν να προσαρμόζονται στο τοπικό κλίμα που ζούνε, με μία απότομη και έντονη αύξηση της θερμοκρασίας συγκριτικά με το πρόσφατο παρελθόν, είναι πιθανό να πάντων να προσαρμόζονται φυσικά. Αυτό συνεπάγεται δυσμενείς

επιπτώσεις στην καθημερινότητά τους. Με τον εντοπισμό θετικών τιμών του δείκτη EHI(accl) πριν από τη διέλευση του καύσωνα, προμηνύεται η επικινδυνότητα του φαινομένου που θα ακολουθήσει και εφιστάται προσοχή προς τους υπευθύνους για την προστασία των πολιτών. Κατά τις 27 και 28/7 ελαχιστοποιούνται οι δυσμενείς επιπτώσεις του καύσωνα στην ανθρώπινη υγεία, επειδή ο δείκτης εγκλιματισμού γίνεται αρνητικός. Πρόκειται για τις δύο τελευταίες ημερομηνίες τους δεύτερου καύσωνα και γίνεται αντιληπτό πως λόγω της μεγάλης του διάρκειας, οι άνθρωποι τελικά καθίστανται λιγότερο ευάλωτοι στο νέο θερμοκρασιακό καθεστώς.

12. Σαράγεβο: Το πρώτο κριτήριο ορισμού ενός επεισοδίου καύσωνα πληρείται κατά τη διάρκεια των ημερών 1-3, 5-8 και 20-27/7 με peak στις 2 του μήνα ίσο με $26.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Μία μέρα αργότερα μετράται το peak του EHF ($30.7\text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Λιγότερο επεισόδια προκύπτουν από την εύρεση θετικών τιμών του δείκτη σημαντικότητας και του δείκτη καύσωνα EHF (1-9 και 21-28/7). Μελετώντας το δείκτη EHI(accl) που επικεντρώνεται καθαρά στον άνθρωπο, συμπεραίνεται πως μόνο στις 9, τις 24 και τις 28/7 οι τιμές του πέφτουν υπό το 0. Κοινό των δύο επεισοδίων καύσωνα που πλήττουν το Σαράγεβο είναι πως με τη λήξη τους επέρχεται κλίμα ισορροπίας όσον αφορά την ανθρώπινη προσαρμοστικότητα. Σε μερικές περιπτώσεις καυσώνων μεγάλης διάρκειας, όπως και στο Σαράγεβο, πιθανολογείται η ανθρώπινη προσαρμοστικότητα εξαιτίας της συνεχούς έκθεσης του ανθρώπου σε ασυνήθιστα θερμό περιβάλλον (Nairn et al., 2015). Οι επιπτώσεις στη δημόσια υγεία μειώνονται και η διακινδύνευση δεν είναι υψηλή.



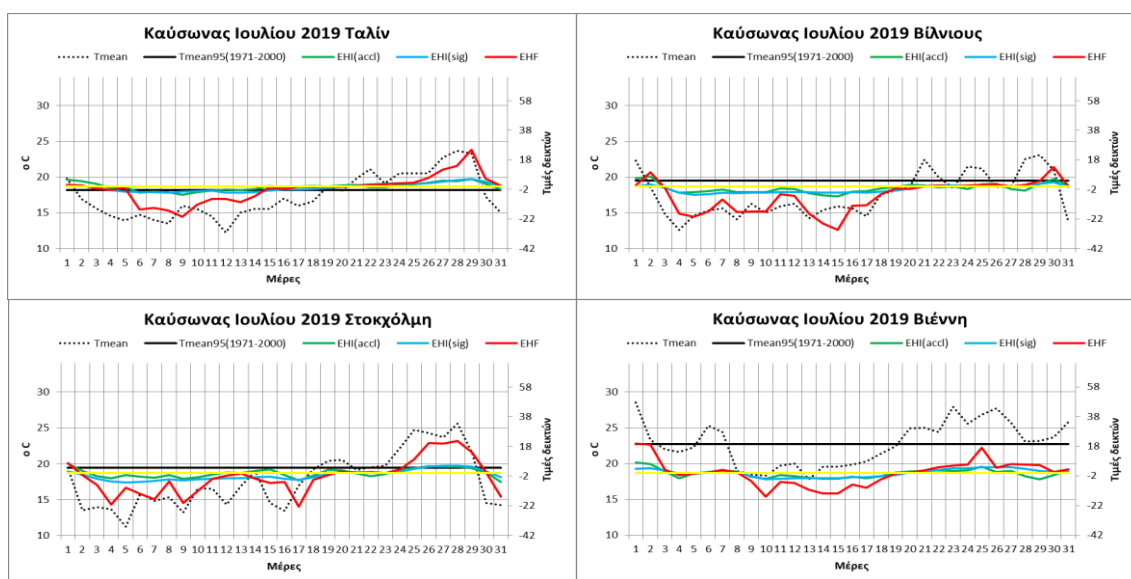
Σχήμα 16: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουλίου του 2019 για το Λουξεμβούργο, τη Μαδρίτη, το Παρίσι και το Σαράγεβο

13. Ταλίν: Η έναρξη του καύσωνα σηματοδοτείται στις 21 και η λήξη στις 29 Ιουλίου με βάση τη συνθήκη $T_{mean} > T_{mean95}$. Αναλόγως, μόνο η λήξη σηματοδοτείται δύο μέρες αργότερα (31/7) με βάση τη συνθήκη EHF και $EHI(sig) > 0$. Τα μέγιστα των υπό μελέτη παραμέτρων σημειώνονται στις 28/7 (μέγιστη $T_{mean} = 23.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$) και στις 29/7 (μέγιστος $EHF = 24.8 \text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Εξαιτίας της εμφάνισης καύσωνα 11 ημερών στο Ταλίν, χρήζει περαιτέρω ανάλυσης η επίδρασή του στην ανθρώπινη υγεία. Για να διαπιστωθεί αυτό, ελέγχονται τα αποτελέσματα του δείκτη EHI(accl). Κατά τη διάρκεια του καύσωνα, οι θετικές τιμές του δείκτη σημειώνονται από τις 24 έως τις 30 του μήνα. Οι ημερομηνίες αυτές αντιπροσωπεύουν περίοδο με μέσο όρο των θερμοκρασιών τριών ημερών υψηλότερο από το πρόσφατο παρελθόν. Συνεπάγεται η επικράτηση θερμότερων συνθηκών, η απουσία ανθρώπινου εγκλιματισμού και η επιβάρυνση της υγείας των ανθρώπων (Narn et al., 2015). Αποδεικνύεται πως τις πρώτες 3 ημέρες του καύσωνα καθώς και την τελευταία ικανοποιείται η σχέση $EHI(accl) < 0$, δηλαδή επιτυγχάνεται ανθρώπινη προσαρμογή.
14. Βίλνιους: Το κατώφλι του 95^{ου} ποσοστημορίου των ημερησίων μέσων θερμοκρασιών της περιόδου 1971-2000 υπερβαίνεται από τις 28 έως τις 30 του Ιουλίου, με ακρότατο στις 29/7 και ίσο με $23.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Το ίδιο επεισόδιο επαληθεύεται από την εύρεση θετικών τιμών των δεικτών σημαντικότητας

και EHF, με την παρουσία ενός επιπλέον επεισοδίου στις 21-26 του μήνα. Με γνώμονα τη μέγιστη τιμή του EHF ($13.3\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 30/7), τονίζεται πως το εντονότερο επεισόδιο είναι αυτό από τις 28 έως τις 30/7. Εφόσον εντοπίστηκαν τα επεισόδια καύσωνα, θα αναλυθεί το μέγεθος της αρνητικής επίδρασής τους στον άνθρωπο. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, μελετάται η πράσινη γραμμή της καμπύλης του δείκτη EHI(accl) στο Σχήμα 17 για το Βίλνιους. Κατά το πρώτο επεισόδιο η πράσινη καμπύλη του EHI(accl) βρίσκεται επάνω από την κίτρινη που αναπαριστά τη μηδενική τιμή από τις 20 έως τις 26/7, με εξαίρεση την 22^η και 24^η του μήνα που βρίσκεται από κάτω. Στις 21/6 σηματοδοτείται η έναρξη του πρώτου επεισοδίου σύμφωνα με τους δείκτες EHF και EHI(sig), έτσι εξακριβώνεται πως πρώτα ο EHI(accl) γίνεται θετικός. Η εξακρίβωση αυτή δείχνει πως οι άνθρωποι δεν καταφέρνουν να εγκλιματιστούν φυσικά στις υπάρχουσες συνθήκες ακόμα και πριν την διέλευση του κύματος στο Βίλνιους. Με το πέρασμα του δεύτερου επεισοδίου στις 28 του μήνα οι άνθρωποι κρίνονται ανθεκτικοί ($\text{EHI}(\text{accl}) < 0$), αλλά στη συνέχεια καθίστανται ευάλωτοι ($\text{EHI}(\text{accl}) > 0$) από τις 29-31/7).

15. Στοκχόλμη: Ακολουθία ημερών καύσωνα ξεκινάει στις 22 και λήγει στις 29 Ιουλίου (μέρες κατά τις οποίες $T_{\text{mean}} > T_{\text{mean}95}$), με μέγιστη ένταση ακολουθίας ($25.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{mean}) και $21.5\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ (EHF)) στις 28/7. Η ίδια ακολουθία αρχίζει λίγο πριν και τελειώνει μία μέρα μετά, όταν χρησιμοποιείται ο EHF (20-30/7). Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας, η εξίσωση του EHF συμπεριλαμβάνει το δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl). Συνδυαστικά με τις ημερομηνίες του επεισοδίου που ανιχνεύτηκαν με τη βοήθεια του EHF, θα παρατεθούν οι ημερομηνίες θετικών και αρνητικών τιμών του EHI(accl). Στην αρχή του γεγονότος (20-23/7), το αρνητικό πρόσημο του EHI(accl) ερμηνεύεται ως καιρός σχετικά δροσερός. Ως προς τον άνθρωπο ερμηνεύεται ως ικανότητα προσαρμογής στις ξαφνικές και απρόσμενες θερμοκρασιακές αλλαγές. Τις υπόλοιπες ημέρες του καύσωνα (24-30/7) αναιρείται η προηγούμενη συνθήκη, καθώς ο EHI(accl) αποκτά θετικό πρόσημο. Άμεση συνέπεια είναι η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας συγκριτικά με το πρόσφατο παρελθόν και η δυσκολία ομαλής προσαρμογής από τον άνθρωπο στο νέο θερμό κλίμα.

16. Βιέννη: Όσον αφορά τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες, συνθήκες καύσωνα επικρατούν από τις 20 έως τα τέλη Ιουλίου, με την υψηλότερη θερμοκρασιακά ημέρα στις 23/7 όπου $T_{mean}=27.9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Δύο επιπλέον επεισόδια καταμετρούνται όταν διερευνάται το πότε γίνονται θετικοί οι EHF και EHI(sig). Έτσι, συνολικά τα επεισόδια καύσωνα είναι τα εξής: 1-3, 6-8 και 20-31/7, με την 1^η Ιουλίου να σημειώνει ο μέγιστος EHF ($19.8\text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Το επεισόδιο από τις 20 έως τις 31 του μήνα χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλη διάρκεια συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Παρόμοια πορεία με τον EHF παρουσιάζει ο δείκτης εγκλιματισμού, ο οποίος όμως γίνεται αρνητικός από τις 28 έως τις 31 του μήνα. Η πρώτη ημερομηνία εμφάνισης αρνητικών τιμών (28/7) αντιστοιχεί σε ημερομηνία του τελευταίου καύσωνα. Κατά τους Nairn et al., 2015 μία πιθανή ερμηνεία αυτού του φαινομένου είναι πως έπειτα από διαρκή και συχνή έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, ο άνθρωπος τελικά καταφέρνει να προσαρμοστεί οριστικά στο νέο θερμότερο περιβάλλον.



Σχήμα 17: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουλίου του 2019 για το Ταλίν, το Βίλνιους, τη Στοκχόλμη και τη Βιέννη

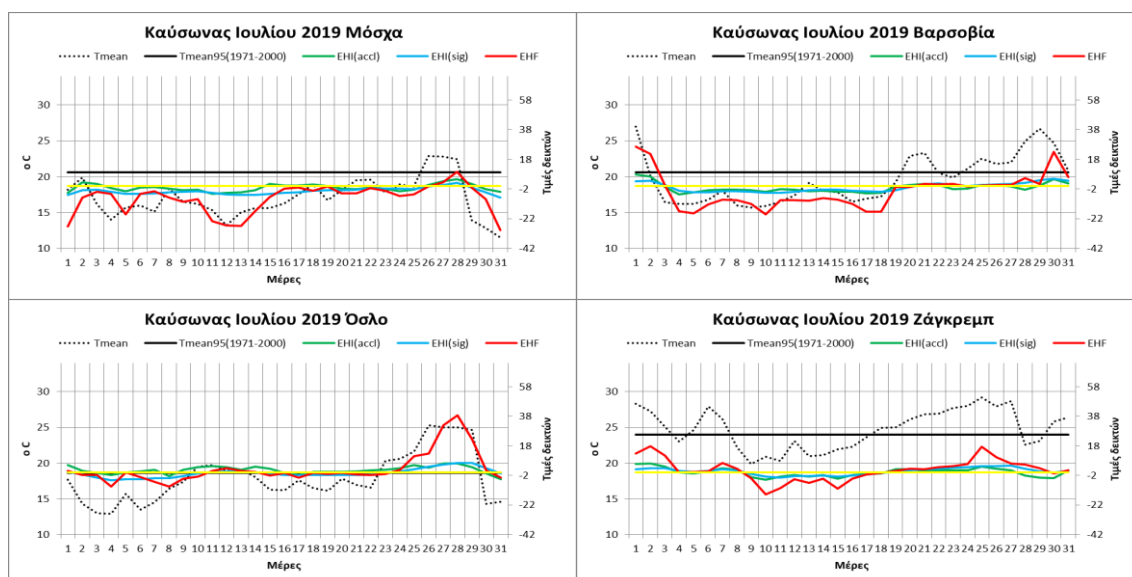
17. Μόσχα: Μόνο από τις 26 έως τις 28 του μήνα η Tmean ξεπερνά την Tmean95 για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες. Με την έναρξη του καύσωνα, μεγιστοποιείται και η έντασή του ($T_{mean}=22.9\text{ }^{\circ}\text{C}$). Οι προϋποθέσεις αναφορικά με τους δείκτες EHI(sig) και EHF δεν πληρούνται καθόλου μέσα στον Ιούλιο. Πιο συγκεκριμένα, στο διάγραμμα της Μόσχας (Σχήμα 18), η κόκκινη καμπύλη που αποτυπώνει τη συμπεριφορά του δείκτη EHF δεν παραμένει πάνω από την κίτρινη καμπύλη του μηδενός για τουλάχιστον 3 ημέρες. Στην προκειμένη περίπτωση, ο EHF δεν είναι ικανός να ανιχνεύσει το επεισόδιο καύσωνα κατά τη διάρκεια των ημερομηνιών 26-28/7.

18. Βαρσοβία: Από το διάγραμμα του Σχήματος 18 για τη Βαρσοβία αποτυπώνεται πως η γραμμή των Tmean βρίσκεται πάνω από τη συνεχή της Tmean95 από τις 24 έως τις 31 Ιουλίου. Τα σημείο καμπής της γραμμής με τη μέγιστη Tmean ισούται με $26.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (29/7). Αντιθέτως η κόκκινη και η γαλάζια γραμμή που αντιπροσωπεύουν τους δείκτες βρίσκονται πάνω από την κίτρινη που αντιπροσωπεύει το 0 τις εξής ημερομηνίες, 1-3, 21-23 και 25-31 Ιουλίου. Η πιο ακραία ημέρα των προαναφερόμενων διαστημάτων χαρακτηρίζεται η 1^η του μήνα με μέγιστο EHF ίσο με $26.4\text{ }^{\circ}\text{C}^2$. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες πρωτεύουσες, η Βαρσοβία εμφανίζει πολύ μεγάλη περίοδο αρνητικών τιμών του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl). Ο δείκτης αποκτά θετικό πρόσημο κατά τα διαστήματα 20-22 και 29-31 Ιουλίου. Κατά το πρώτο επεισόδιο καύσωνα (1-3/7) η ύπαρξη αρνητικών τιμών του EHI(accl) αντιστοιχεί σε θερμότερη περίοδο του πρόσφατου παρελθόντος συγκριτικά με τις τελευταίες τρεις ημέρες. Όσον αφορά τον άνθρωπο, δε δείχνει ευάλωτος στις συνθήκες που επικρατούν καθώς έχουν υπάρξει και θερμότερες στη Βαρσοβία πρόσφατα. Αρχίζει και επηρεάζεται από τις επικείμενες θερμότερες συνθήκες στις 20 του μήνα, μία ημέρα πριν τη διέλευση του δεύτερου κύματος. Οι περιπτώσεις όπου ο EHI(accl) γίνεται θετικός προτού αποκτήσει θετικό πρόσημο ο EHF λειτουργούν ως προειδοποιητικό μήνυμα για τις σοβαρές βλάβες που μπορεί να προκληθούν στον άνθρωπο εξαιτίας της ασυνήθιστης θέρμανσης. Τέλος κατά το τρίτο επεισόδιο, οι άνθρωποι επιβαρύνονται από τις δυσμενείς επιπτώσεις από τις 29 έως και τα τέλη του μήνα.

19. Όσλο: Αναλύοντας το διάγραμμα του Ιουλίου του 2019 για το Όσλο στο Σχήμα 18, συγκεντρώνονται τα εξής αποτελέσματα. Με τη χρήση του πρώτου κριτηρίου ορισμού του καύσωνα προκύπτει πως από τις 10 έως τις 13 και από τις 23 έως τις 29/7 η T_{mean} υπερβαίνει την T_{mean95} και η μέγιστη T_{mean} ισούται με $25.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 26/7. Μία μέρα αργότερα τοποθετούνται η έναρξη και η λήξη των καυσώνων μετά από εφαρμογή του δείκτη EHF. Έτσι από τις 11 έως τις 14 και από τις 24 έως τις 30/7, οι δείκτες EHF και EHI(sig) καθίστανται θετικοί με μέγιστο $\text{EHF}=32\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 27/7. Για τον υπολογισμό και την εφαρμογή του δείκτη EHF απαιτείται ο υπολογισμός του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl). Φαίνεται πως κατά τα διαστήματα 9 έως 15 και 18 έως 29/7 ικανοποιείται η συνθήκη $\text{EHI}(\text{accl}) > 0$. Ερμηνεύοντας το δείκτη, συμπεραίνεται πως τα διαστήματα αυτά αναφέρονται σε περιόδους εντονότερης θέρμανσης συγκριτικά με το πρόσφατο παρελθόν. Ως φυσικό επακόλουθο από την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, απουσιάζει ο ανθρώπινος εγκλιματισμός. Οι θετικές τιμές του δείκτη EHI(accl) σημειώνονται πριν την εμφάνιση θετικών τιμών του δείκτη EHF και για τους δύο καύσωνες. Συνεπώς η αδυναμία ανθρώπινης προσαρμογής στις ακραίες συνθήκες σηματοδοτείται πριν την έναρξη των καυσώνων και το γεγονός αυτό λειτουργεί ως προειδοποίηση για τους κινδύνους που εγκυμονούν οι καύσωνες που πλήττουν το Όσλο. Τα δύο επεισόδια όσον αφορά το δείκτη εγκλιματισμού διαφοροποιούνται στην ημερομηνία εμφάνισης αρνητικών τιμών. Στην περίπτωση του πρώτου επεισοδίου, ο EHI(accl) πέφτει υπό το 0 μία ημέρα μετά τη λήξη του, ενώ στην περίπτωση του δεύτερου μία ημέρα πριν τη λήξη του.

20. Ζάγκρεμπ: Εξαιρετικά θερμά χρονικά διαστήματα όσον αφορά τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες αποδεικνύονται τα ακόλουθα: 1-3, 5-7 και 18-27 Ιουλίου. Στις 27/7 καταγράφεται το μέγιστο των $29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Οι δείκτες EHF και EHI(sig) ξεπερνούν τη μηδενική τιμή από την 1^η έως την 8^η και από τη 19^η έως την 29^η του μήνα, με καταγραφή μέγιστου EHF ($17.7\text{ }^{\circ}\text{C}^2$) στις 2/7. Συγκρίνοντας τα δύο επεισόδια, εξακριβώνεται πως κατά το πρώτο ισχύει πως $\text{EHI}(\text{accl}) < 0$ μία φορά στις 5/7 και κατά το δεύτερο δύο φορές, στις 28 και 29/7. Οι ημερομηνίες αρνητικών τιμών του δείκτη εγκλιματισμού αντικατοπτρίζουν πιο ήπιες θερμοκρασιακά περιόδους με τον άνθρωπο να εγκλιματίζεται ομαλά και φυσικά στο τοπικό κλίμα που ζει. Η υγεία του δεν

επιδεινώνεται και οι κίνδυνοι περιορίζονται. Όσον αφορά το δεύτερο επεισόδιο, πριν την έναρξή του στις 19 του μήνα και κατά τη διάρκειά του, οι άνθρωποι δείχνουν ευάλωτοι στις απότομες αυξήσεις τις θερμοκρασίας ($EHI(accl) > 0$). Μία μέρα πριν τη λήξη του δεύτερου επεισοδίου στις 28/7 το πρόσημο του $EHI(accl)$ γίνεται αρνητικό. Αυτό σημαίνει σύμφωνα με τους Nairn et al., 2015 πως λόγω της μεγάλης διάρκειας των 11 ημερών του δεύτερου επεισοδίου, επιτυγχάνεται ανθρώπινος εγκλιματισμός και ελαττώνονται σημαντικά οι επιβαρυντικές συνέπειες του καύσωνα προς τον άνθρωπο.



Σχήμα 18: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Ιουλίου του 2019 για τη Μόσχα, τη Βαρσοβία, το Όσλο και το Ζάγκρεμπ

Ο καύσωνας για κάθε μέρα του Αυγούστου του 2019 απεικονίζεται μέσω 20 διαγραμμάτων, ένα για κάθε αστικό κέντρο στα Σχήματα 19-23. Στο κείμενο που ακολουθεί, περιγράφονται τα αποτελέσματα για κάθε περιοχή αναλυτικά.

1. Άμστερνταμ: Διερευνώντας το πότε οι ημερήσιες μέσες θερμοκρασίες υπερβαίνουν το 95^ο ποσοστημόριο, οι ημερομηνίες των επεισοδίων καύσωνα διαμορφώνονται ως εξής: 4-7 και 24-28/8 με τη μέγιστη Tmean (25.1 °C) να τοποθετείται στις 27/8. Τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται λίγο όταν εξακριβώνονται οι ακριβείς ημερομηνίες που ο EHI(sig) και ο EHF γίνονται θετικοί: 5-11 και 24-30/8 με το μέγιστο EHF (5.8 °C²) να

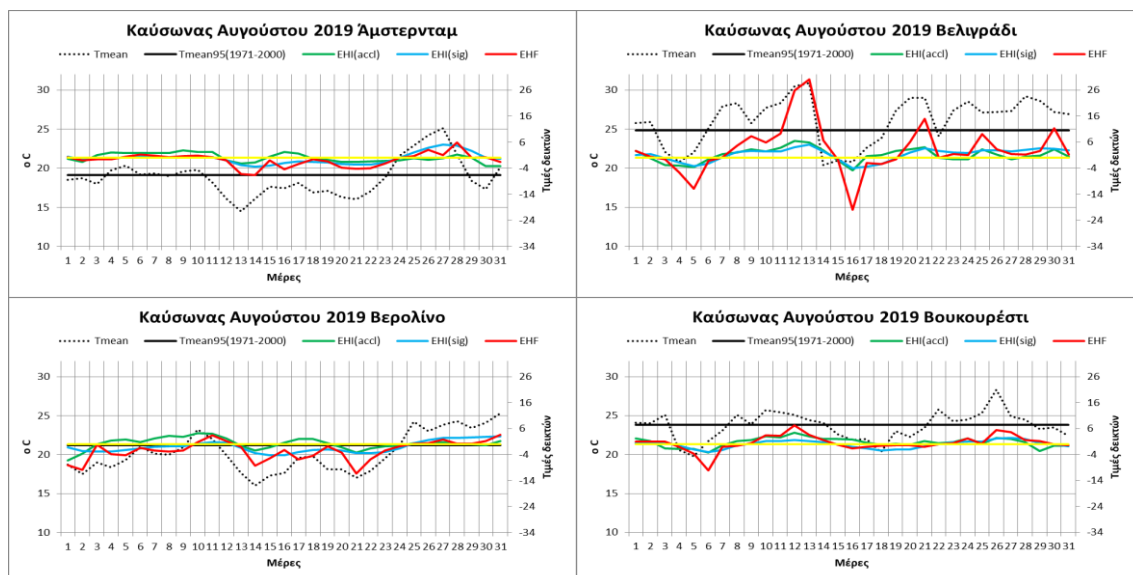
αποτυπώνεται στις 28/8, δηλαδή μία μέρα μετά από τη μέγιστη T_{mean} . Αφού παρατέθηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του καύσωνα του Αυγούστου του 2019 στο Άμστερνταμ, συνίσταται η ενδελεχής περιγραφή του δείκτη $EHI(accl)$, σημαντική παράμετρο επίδρασης στον άνθρωπο. Τα αποτελέσματα του προαναφερθέντος δείκτη δείχνουν πως $EHI(accl) < 0$ από τις 18 έως τις 30/8. Το διάστημα εκείνο επικρατούν λιγότερο θερμές συνθήκες σε σχέση με το πρόσφατο παρελθόν. Συνεπώς ο άνθρωπος είναι πιο έτοιμος και ανθεκτικός στις αιφνίδιες αυξήσεις της θερμοκρασίας λόγω του καύσωνα. Αντιθέτως καθ' όλη τη διάρκεια του πρώτου επεισοδίου οι τιμές του $EHI(accl)$ δεν έχουν αρνητικό πρόσημο. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου επεισοδίου και πολλές ημέρες πριν σηματοδοτηθεί η έναρξή του (στις 18/8), οι αρνητικές τιμές του δείκτη εγκλιματισμού οδηγούν στο συμπέρασμα πως οι αρνητικές επιδράσεις του εν λόγω επεισοδίου δεν είναι τόσο έντονες. Κατά κύριο λόγο το πρώτο επεισόδιο καύσωνα επιδρά αρνητικά στον άνθρωπο. Καθώς ο άνθρωπος έχει βιώσει ήδη ένα διαρκή καύσωνα από τις 5 έως τις 11 του μήνα, αναπτύσσει τελικά άμυνες και καθίσταται ανθεκτικότερος πριν τη διέλευση του δεύτερου.

2. Βελιγράδι: Η ανίσωση $T_{mean} > T_{mean95}$ παρατηρείται κατά τα διαστήματα 6-13, 19-21 και 23-31/8 και η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ($30.9\text{ }^{\circ}\text{C}$) ανιχνεύεται στις 13/8. Το πρώτο επεισόδιο καύσωνα μετατίθεται μία μέρα αργότερα και το δεύτερο με το τρίτο ενοποιούνται σε ένα επεισόδιο, όταν $EHI(sig)$ και $EHF > 0$ για 3 τουλάχιστον συνεχόμενες ημέρες. Έτσι οι ημερομηνίες των επεισοδίων είναι 7-14 και 20-31/8. Το peak του δείκτη EHF εντοπίζεται στις 12/8 (μία μέρα πριν τη μέγιστη T_{mean}), και ισούται με $25.8\text{ }^{\circ}\text{C}^2$. Προχωρώντας στη μελέτη του δείκτη εγκλιματισμού $EHI(accl)$ παρατηρείται πως το πρόσημο εναλλάσσεται συνεχώς. Ενώ οι τιμές του έχουν θετικό πρόσημο πριν την εμφάνιση του πρώτου επεισοδίου, στις 7/8 αποκτούν αρνητικό πρόσημο και τελικά κατά τη διάρκειά του υπερβαίνουν και πάλι το 0. Η τελευταία εμφάνιση αρνητικών τιμών του $EHI(accl)$ σημειώνεται το διάστημα 23 έως 27/8. Από την ερμηνεία του δείκτη υπενθυμίζεται πως οι ημερομηνίες αρνητικών τιμών του αναφέρονται σε καιρό σχετικά πιο δροσερό από το πρόσφατο παρελθόν, ενώ οι ημέρες θετικών τιμών σε περιόδους θερμότερες. Λαμβάνοντας υπόψη τις ημερομηνίες των επεισοδίων, καταδεικνύεται πως κατά τη διάρκεια του

πρώτου ο EHI(accl) υπερβαίνει το 0, ενώ βρίσκεται υπό το 0 από τις 23 έως τις 27 του μήνα, ημερομηνίες που συμπεριλαμβάνονται στο δεύτερο επεισόδιο. Εστιάζοντας στο τι σημαίνει αυτό για τον άνθρωπο, συμπεραίνεται πως σχεδόν όλος ο μήνας υπήρξε αρκετά ακραίος, με αποτέλεσμα να μην εγκλιματιστεί ο άνθρωπος φυσικά πέραν των τελευταίων ημερών. Εξαιτίας της διαρκούς έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες, επέρχεται κλίμα ισορροπίας και οριστικού εγκλιματισμού.

3. Βερολίνο: Οι ημερήσιες τιμές της Tmean υπερτερούν της σταθερής τιμής της Tmean95 από τις 25 έως τις 31 Αυγούστου (εκείνη την ημέρα σημειώνεται η μέγιστη Tmean ίση με 25.3 °C). Θετικό πρόσημο παίρνουν οι τιμές των δεικτών σημαντικότητας και καύσωνα κατά τα διαστήματα 10-12 και 25-31/8 (εκείνη την ημέρα καταγράφεται και ο μέγιστος EHF ίσος με 3.6 °C²). Το μέγεθος της αρνητικής επίδρασης των δύο επεισοδίων καυσώνων στον άνθρωπο αντιπαραβάλλεται μέσω εστίασης στα αποτελέσματα του δείκτη εγκλιματισμού. Έτσι ο EHI(accl) γίνεται αρνητικός προς τα τέλη του μήνα (28-31/7) μετά το πέρας του πρώτου επεισοδίου καύσωνα και μετά την ακριβή ημερομηνία έναρξης του δεύτερου. Η αντίχρευση θετικών τιμών του δείκτη τις υπόλοιπες ημέρες εξηγεί πως ο μέσος όρος θερμοκρασιών τριών ημερών υπερβαίνει τον αντίστοιχο των προηγούμενων τριάντα ημερών. Αυτό συνεπάγεται έλλειψη ανθρώπινου εγκλιματισμού και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Nairn et al., 2015) κατά τη διάρκεια σχεδόν όλου του μήνα. Οι άνθρωποι καθίστανται ικανότεροι να αντέξουν τις δυσμενείς θερμές συνθήκες μόνο κατά τη διάρκεια των ημερών αρνητικών τιμών του EHI(accl), δηλαδή από τις 28 έως τις 31 Αυγούστου.
4. Βουκουρέστι: Τον Αύγουστο στο Βουκουρέστι καταγράφονται 3 θερμά επεισόδια: 1-3, 8-14 και 22-28/8 (ημερομηνίες κατά τις οποίες Tmean>Tmean95). Η Tmean μεγιστοποιείται στις 26 του μήνα (28.3 °C), μέρα μεγίστου EHF (5.4 °C²). Ο δείκτης σημαντικότητας είναι θετικός τις εξής ημερομηνίες: 1-3, 9-14 και 22-29/8. Το ίδιο ισχύει και για το δείκτη Excess Heat Factor. Επιπλέον, ο δείκτης εγκλιματισμού έχει θετικό πρόσημο από τις 8 έως τις 17 και από τις 21 έως τις 28 του μήνα. Το θετικό πρόσημο του EHI(accl) σημαίνει πως ο πρώτος όρος της εξίσωσής του που αναγράφεται στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας είναι μεγαλύτερος από το

δεύτερο όρο. Με τον τρόπο αυτό ανιχνεύονται οι περίοδοι έντονης και απότομης θέρμανσης ως προς την περίοδο αναφοράς των προηγούμενων 30 ημερών. Στο Βουκουρέστι η απότομη εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιακά περιόδων σηματοδοτείται μία μέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων 9-14 και 22-29/8 και ως φυσικό επακόλουθο οι άνθρωποι δε φαίνονται ικανοί να προσαρμοστούν στις θερμοκρασιακές αλλαγές. Η πληροφορία αυτή θεωρείται χρήσιμη εάν αξιοποιηθεί για τη λήψη έγκαιρων μέτρων προστασίας από τους καύσωνες (Nairn et al., 2015). Κατά το πρώτο επεισόδιο καύσωνα οι άνθρωποι δείχνουν έτοιμοι για επικείμενες θερμές συνθήκες ($EHI(accl) < 0$), όπως προαναφέρθηκε όμως στην πορεία τα δεδομένα αλλάζουν και η ακραιότητα των επόμενων δύο επεισοδίων οδηγεί σε πιο δυσμενείς επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.



Σχήμα 19: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Αυγούστου του 2019 για το Άμστερνταμ, το Βελιγράδι, το Βερολίνο και το Βουκουρέστι

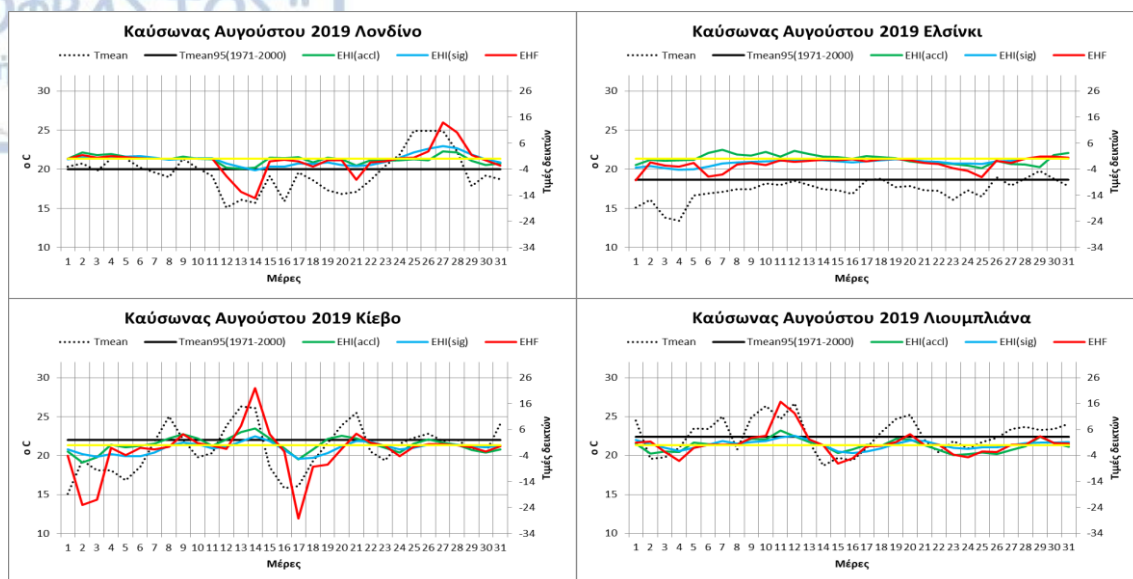
5. Λονδίνο: Από όλες τις τιμές των ημερησίων μέσων θερμοκρασιών, η μεγαλύτερη ισούται με 24.9 °C κατά το διάστημα 25 έως 27/8. Παράλληλα, στις 27/8 ο EHF φτάνει στη μέγιστη τιμή του (14 °C²). Μελετώντας τα επεισόδια καύσωνα που διαμορφώνονται με βάση το πρώτο κριτήριο προκύπτει πως οι ημερομηνίες τους είναι οι εξής: 4-6 και 23-28/8. Ως είθισται, μία μέρα αργότερα μετατίθενται οι ημερομηνίες αυτές όταν διερευνάται το διάστημα κατά το οποίο είναι θετικοί οι δείκτες EHI(sig) και EHF (2-7 και 24-29/8). Η ανάλυση του τρίτου υποδείκτη εγκλιματισμού που

παριστάνεται γραφικά στο διάγραμμα του Λονδίνου στο Σχήμα 20, πληροφορεί για την ανθρώπινη συμπεριφορά στις απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας. Αναλυτικότερα, πέφτει υπό το μηδέν από τις 18 έως και τα τέλη του μήνα. Καθ' όλη τη διάρκεια του καύσωνα από τις 2 έως τις 7 του μήνα δεν ισχύει η προηγούμενη συνθήκη καθώς $EHI(accl) > 0$. Συνεπώς, τονίζεται πως για εκείνο το χρονικό διάστημα οι τελευταίες τριάντα ημέρες που προηγήθηκαν υπήρξαν ηπιότερες θερμοκρασιακά και λιγότερο ακραίες σε σχέση με τις τελευταίες τρεις ημέρες. Έτσι πιθανολογείται πως οι άνθρωποι δε θα εγκλιματιστούν στο νέο θερμότερο περιβάλλον κατά το πρώτο επεισόδιο, γεγονός που υπογραμμίζει τις επιβαρυντικές του επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Μετά όμως από τη συνεχή κι διαρκή έκθεσή του στην υπερβολική ζέστη, ο άνθρωπος καταφέρνει στον τελευταίο καύσωνα να αναπτύξει άμυνες και να μειωθούν έτσι οι επιβλαβείς συνέπειες. Αυτό επιβεβαιώνεται από την παρουσία αρνητικών τιμών του $EHI(accl)$ από τις 18 έως τις 31/8.

6. Ελσίνκι: Εστιάζοντας στο διάγραμμα για το Ελσίνκι, παρατηρείται πως η μαύρη διακεκομμένη γραμμή υπερβαίνει τη συνεχή από τις 28 έως τις 30 του μήνα. Μία μέρα αργότερα η κόκκινη και η γαλάζια υπερβαίνουν μαζί την κίτρινη (29-31/8). Και στις δύο περιπτώσεις, το μέγιστο της T_{mean} και του EHF καταγράφονται ταυτόχρονα στις 29/8. Το πρώτο ισούται με 19.8°C και το δεύτερο με 0.7°C^2 . Ο καύσωνας στο Ελσίνκι διαρκεί μόνο τρεις ημέρες και η μέγιστη τιμή του EHF δείχνει πως δεν είναι έντονος. Απομένει να παρατεθούν τα αποτελέσματα του δείκτη εγκλιματισμού $EHI(accl)$ για να διαπιστωθεί το μέγεθος επίδρασής του καύσωνα στον άνθρωπο. Η πράσινη γραμμή του $EHI(accl)$ στο αντίστοιχο διάγραμμα του Σχήματος 20 ξεπερνά την κίτρινη του μηδενός από την αρχή του μήνα έως και τις 19/8. Επικρατεί κλίμα έντονης θέρμανσης σε σχέση με τις προηγούμενες τριάντα ημέρες και οι άνθρωποι παύουν να εγκλιματίζονται φυσικά στο ακραίο περιβάλλον. Μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα απουσίας εγκλιματισμού, φαίνεται πως τελικά οι άνθρωποι προσαρμόζονται γρήγορα και ο καύσωνας του Αυγούστου (29-31/8) δεν προξενεί σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του, καθώς $EHI(accl) < 0$ από τις 20 έως τα τέλη του μήνα.
7. Κίεβο: Η έναρξη του καύσωνα σηματοδοτείται στις 12 και η λήξη του στις 14/8 με βάση την ανίσωση $T_{mean} > T_{mean95}$, ενώ μία μέρα αργότερα

τοποθετείται και η έναρξη και η λήξη του βάσει της ανίσωσης $EHI(sig)$, $EHI > 0$ (13-15/8). Ένα επιπλέον επεισόδιο από τις 26 έως τις 28 του μήνα προκύπτει από το τελευταίο κριτήριο. Μέρα μέγιστης έντασης θεωρείται η 13^η του μήνα, καθώς τότε η μέγιστη T_{mean} και ο μέγιστος EHI ισούνται με $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $7.3\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ αντίστοιχα. Παρατηρώντας την πράσινη καμπύλη του τελευταίου μελετώμενου υποδείκτη $EHI(accl)$, αντλούνται οι παρακάτω πληροφορίες. Μία μέρα πριν την έναρξη και των δύο επεισοδίων, ο δείκτης εγκλιματισμού γίνεται θετικός. Όταν συμβαίνει αυτό πριν την έναρξη των καυσώνων κατά Nairn et al., 2015, τονίζεται η αδυναμία φυσικής και ομαλής προσαρμογής από τους ανθρώπους στην επικείμενη και αιφνίδια θέρμανση. Η πληροφορία αυτή θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ως προειδοποίηση για τη διαχείριση και λήψη έγκαιρων μέτρων για μείωση των κρουσμάτων ασθενειών που σχετίζονται με την υπερβολική ζέση.

8. Λιουμπλιάνα: Τελείως διαφορετικά αποτελέσματα δίνουν τα δύο κριτήρια ορισμού καυσώνων. Αρχικά, με βάση το πρώτο, ημερομηνίες καύσωνα είναι οι 5-7 και 9-12/8, ενώ με βάση το δεύτερο οι 6-13, 19-22 και 27-31/8. Επιπροσθέτως, απόκλιση μίας ημέρας εντοπίζεται στις τιμές των μεγίστων, δηλαδή μέγιστη $T_{mean}=26.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 12/8 και μέγιστος $EHI=16.7\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 11/8 (μια ημέρα πριν). Όσον αφορά το δείκτη $EHI(accl)$, έχει θετικό πρόσημο κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων επεισοδίων καύσωνα (6-13, 19-22/8). Με τη λήξη του δεύτερου επεισοδίου ισχύει πως $EHI(accl) < 0$, δηλαδή από τις 22/8, συνθήκη που διατηρείται έως τα τέλη του μήνα. Συσχετίζοντας τα παραπάνω με την ανθρώπινη προσαρμοστικότητα, συμπεραίνεται πως οι πρώτοι δύο καύσωνες επέδρασαν αρνητικά στον άνθρωπο, λόγω ύπαρξης θετικών τιμών του $EHI(accl)$. Με την πραγματική λήξη του δεύτερου καύσωνα, οι άνθρωποι μπορούν να επιβιώσουν σε θερμότερο περιβάλλον, εξαιτίας της συνεχούς έκθεσής τους σε ακραίες συνθήκες που επέφεραν οι δύο πρώτοι καύσωνες. Έως και τη λήξη του τελευταίου καύσωνα (27-31/8), η ανθεκτικότητα του ανθρώπου στην υπερβολική ζέση είναι εμφανής, γεγονός που καθιστά τον καύσωνα αυτό ως φαινόμενο λιγότερο ακραίο.



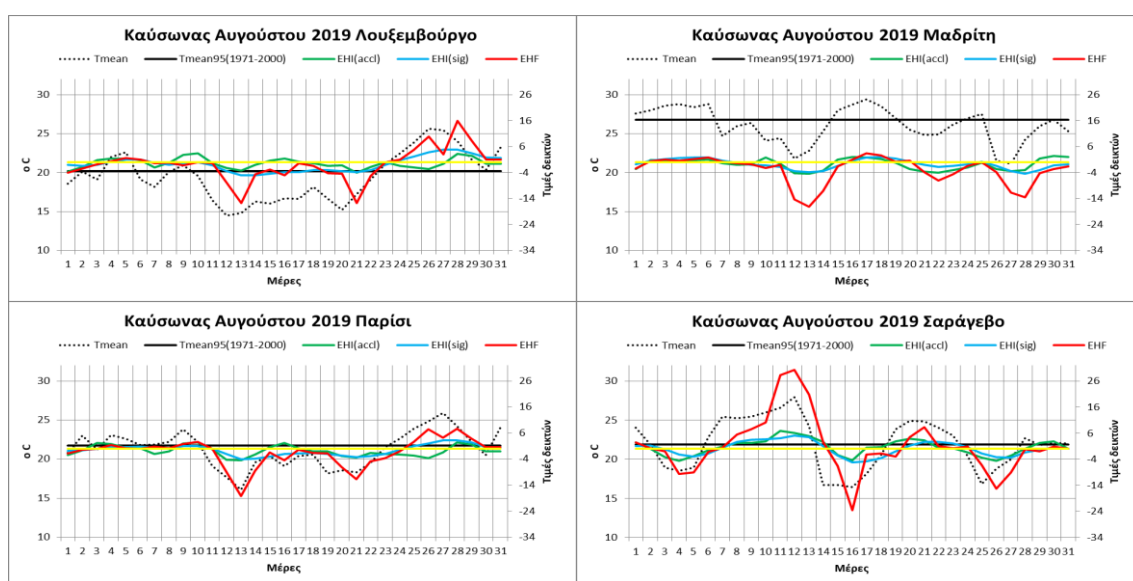
Σχήμα 20: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Αυγούστου του 2019 για το Λονδίνο, το Ελσίνκι, το Κίεβο και τη Λιουμπλιάνα

9. Λουξεμβούργο: Το διάγραμμα του Σχήματος 21 που απεικονίζει τον καύσωνα του Αυγούστου του 2019 για το Λουξεμβούργο δείχνει πως από τις 23 έως τις 31/8, η Tmean υπερβαίνει την Tmean95. Η μέγιστη Tmean που καταγράφεται ισούται με 25.6 °C στις 26/8. Όσον αφορά τους δείκτες καύσωνα και σημαντικότητας, από τις 4 έως τις 6 και από τις 24 έως τις 31/8 είναι θετικοί με μέγιστο EHF=8 °C² στις 29/8. Τέλος, ο δείκτης εγκλιματισμού παραμένει θετικός κατά το πρώτο επεισόδιο καύσωνα και από τις 28 έως τα τέλη του μήνα, δηλαδή περίπου από τα μέσα έως τα τέλη του δεύτερου καύσωνα. Τα χρονικά διαστήματα θετικών τιμών του EHI(accl) αντιστοιχούν σε διαστήματα εντονότερης θέρμανσης συγκριτικά με το πρόσφατο παρελθόν και συνεπώς σε περιόδους απουσίας ανθρώπινου εγκλιματισμού. Αντιθέτως, οι αρνητικές τιμές του EHI(accl) αναφέρονται σε περιόδους ομαλής και φυσικής ανθρώπινης προσαρμοστικότητας. Συνεπώς, στο Λουξεμβούργο ο πρώτος καύσωνας επιφέρει σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, ενώ οι βλάβες που προξενεί ο δεύτερος μειώνονται λόγω της παρουσίας εγκλιματισμού πριν από τις 28 του μήνα.
10. Μαδρίτη: Ακολουθίες ημερών καύσωνα όπου Tmean>Tmean95 για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες παρουσιάζονται από την 1^η έως την 6^η και από τη 15^η έως τη 19^η Αυγούστου. Η μέγιστη ένταση ακολουθίας

σημειώνεται στις 17/8 και ισούται με 29.4 °C. Οι ίδιες διάρκειας ακολουθίες αρχίζουν και τελειώνουν μία μέρα αργότερα αναφορικά με τη συνθήκη EHF και $EHI(sig) > 0$ για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες (2-7 και 16-20/8). Σε αυτήν την περίπτωση, η μέγιστη ένταση ισούται με 2.5 °C² στις 18/8 (μία μέρα αργότερα από τη μέγιστη Tmean). Η πράσινη γραμμή με τον $EHI(accl)$ βρίσκεται πάνω από την κίτρινη τα διαστήματα 2-6, 15-18 και 29-31/8. Ο $EHI(accl)$ ως σημαντικός παράγοντας επίδρασης στον άνθρωπο, λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Εκτενέστερα, το γεγονός πως παρουσιάζει θετικές τιμές πριν από τους δείκτες EHF και $EHI(sig)$ στην περίπτωση και των δύο καυσώνων επισημαίνει την επικείμενη απότομη αύξηση της θερμοκρασίας που θα ακολουθήσει. Το νέο θερμοκρασιακό καθεστώς που δημιουργείται δυσχεραίνει και καθυστερεί τον ανθρώπινο εγκλιματισμό με αποτέλεσμα να εντείνονται οι δυσμενείς επιπτώσεις των καυσώνων. Επιπλέον, η επικράτηση αρνητικών τιμών τις τελευταίες ημέρες των καυσώνων επιβεβαιώνει τη θεωρία πως σε περιπτώσεις μεγάλης διάρκειας ακολουθιών εξαιρετικά θερμών ημερών, είναι πιθανό να επιτευχθεί ανθρώπινος εγκλιματισμός (Nairn et al., 2015).

11. Παρίσι: Οι πιο θερμές ημέρες στο Παρίσι τον Αύγουστο του 2019 παρατηρούνται από τις 4 έως τις 10 και από τις 24 έως τις 29/8, με μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία στις 27/8 ίση με 25.9 °C. Εφαρμόζοντας το δείκτη EHF, φαίνεται πως το δεύτερο επεισόδιο ξεκινάει μία μέρα αργότερα και τελειώνει τέλη του μήνα. Στις 28/8 (αφού δηλαδή σημειώνεται η μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία) μεγιστοποιείται ο δείκτης (7.6 °C²). Ήδη πριν την έναρξη του καύσωνα (στις 3/8), ο δείκτης εγκλιματισμού $EHI(accl)$ έχει θετικές τιμές και επαληθεύεται πως ο μέσος όρος των θερμοκρασιών τριών ημερών είναι υψηλότερος από τον αντίστοιχο των προηγούμενων τριάντα ημερών. Επομένως, οι άνθρωποι είναι ανέτοιμοι για επικείμενες και απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές και οι αρνητικές επιδράσεις του φαινομένου εντείνονται. Στη συνέχεια, από τις 7 έως τις 10 του μήνα αρχίζουν να συνηθίζουν το νέο περιβάλλον καθώς ο καιρός είναι πιο δροσερός, συμπέρασμα που προκύπτει από την ανίσωση $EHI(accl) < 0$ για εκείνο το διάστημα. Στο τελευταίο επεισόδιο πλέον επιτυγχάνεται πλήρης προσαρμογή ($EHI(accl) < 0$) και τα αρνητικά επακόλουθά του στον άνθρωπο περιορίζονται σημαντικά.

12. Σαράγεβο: Θερμότερες από τις υπόλοιπες ημέρες καθίστανται οι συνεχόμενες ημέρες 6-13 και 19-23/8, με την ημερήσια T_{mean} να ξεπερνά το ορισμένο κατώφλι του 95^{ου} ποσοστημορίου και να μεγιστοποιείται στις 12 του μήνα (27.9 °C). Όπως και στις περισσότερες πόλεις, έτσι και στο Σαράγεβο η εφαρμογή του δείκτη μεταθέτει τις θερμότερες ημέρες μία ημέρα αργότερα (7-14 και 20-24/8), διατηρώντας όμως αμετάβλητη την ημερομηνία μεγίστου (μέγιστος EHF=30.2 °C² στις 12/8). Τα αποτελέσματα δεν αφορούν μόνο στον ίδιο το δείκτη EHF αλλά και στα αντίστοιχα ενός από τους υποδείκτες υπολογισμού του, του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl). Η πράσινη συνεχής γραμμή στο διάγραμμα του Σχήματος 21 για το Σαράγεβο αποτυπώνει την πορεία του κατά τον Αύγουστο του 2019. Μόνο την τελευταία ημέρα του δεύτερου καύσωνα (24/8) η καμπύλη τοποθετείται υπό το μηδέν. Παρομοίως με μερικά αστικά κέντρα, στο Σαράγεβο επαναλαμβάνεται το φαινόμενο ανίχνευσης αρνητικών τιμών του EHI(accl) μετά από μεγάλης διάρκειας καύσωνες. Η εμμονή των ακραίων θερμοκρασιών για μεγάλο χρονικό διάστημα τελικά καθιστά τους ανθρώπους πιο ανθεκτικούς στις επικρατούσες συνθήκες και αναμένεται μείωση της έντασης των αρνητικών συνεπειών που προκλήθηκαν προγενέστερα.



Σχήμα 21: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Αυγούστου του 2019 για το Λουξεμβούργο, τη Μαδρίτη, το Παρίσι και το Σαράγεβο

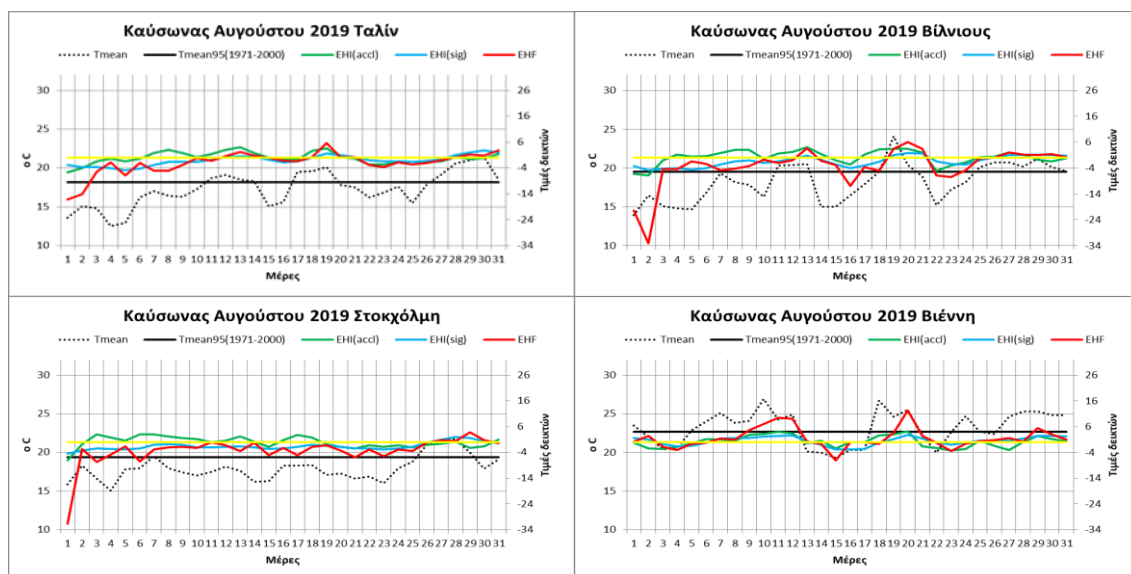
13. Ταλίν: Ο καύσωνας τον Αύγουστο του 2019 πλήττει το Ταλίν τα διαστήματα 18-21 και 28-31/8 (θετικοί δείκτες EHF και EHI(sig)), ενώ το κριτήριο των ημερησίων μέσων θερμοκρασιών ικανοποιείται τα διαστήματα 11-14, 17-19 και 27-31/8. Διαφορετικές ημερομηνίες προκύπτουν για την ημέρα μέγιστης έντασης (στις 30/8 μέγιστη $T_{mean}=21.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ και στις 19/8 μέγιστος $\text{EHF}=5.6\text{ }^{\circ}\text{C}^2$). Ήδη πριν την έναρξη του πρώτου καύσωνα που σηματοδοτείται από τους δείκτες EHF και EHI(sig), ο δείκτης EHI(accl) είναι μεγαλύτερος του μηδενός. Οι περίοδοι με θετικές τιμές του EHI(accl) χαρακτηρίζονται ως περίοδοι έντονης θέρμανσης σε σχέση με την προγενέστερη 30ήμερη περίοδο. Επομένως, πριν το πρώτο επεισόδιο πλήξει το Ταλίν, οι συνθήκες είναι δύσκολα υποφερτές από τους ανθρώπους. Από τις 21/8 έως και τα τέλη του μήνα όπου $\text{EHI}(\text{accl}) < 0$, ο άνθρωπος παύει να είναι ευαίσθητος στις υψηλές θερμοκρασίες και ένα ενδεχόμενο επεισόδιο καύσωνα δε θα έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία του. Κατόπιν αυτού, το δεύτερο επεισόδιο από τις 28 έως τις 31 δεν επιδρά αρνητικά στον άνθρωπο.

14. Βίλνιους: Παρακολουθώντας τις πορείες των γραμμών και τη διακύμανση των τιμών στο διάγραμμα του Σχήματος 22, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Η T_{mean} υπερτερεί σε σχέση με την T_{mean95} από τις 11 έως τις 13 και από τις 25 έως τις 31/8, με το ολικό μέγιστο της πρώτης παραμέτρου ($21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) στις 29/8. Ο EHI(sig) σε συνδυασμό με τον EHF που παρουσιάζει πανομοιότυπη συμπεριφορά ξεπερνούν τη μηδενική τιμή από τις 19 έως τις 21 και από τις 26 έως τις 31 του μήνα με peak του EHF ίσο με $6.1\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 20/8. Εμβαθύνοντας στα αποτελέσματα του υποδείκτη EHI(accl), εξάγονται συμπεράσματα για την επίδραση του καύσωνα στην ανθρώπινη υγεία. Διεξοδικά, τις τρεις τελευταίες ημέρες του μήνα (29-31), λίγο πριν λήξει το τελευταίο επεισόδιο καύσωνα, ο δείκτης εγκλιματισμού γίνεται αρνητικός. Η παραπάνω παρατήρηση δικαιολογεί το ότι η θέρμανση την περίοδο εκείνη δεν είναι τόσο αξιοσημείωτη σε σχέση με τις προγενέστερες τριάντα ημερών και επικρατεί κλίμα προσαρμογής. Μία ημέρα πριν την έναρξή του επεισοδίου αυτού, η θετική τιμή του δείκτη αναφέρεται σε περίοδο έντονης θέρμανσης και προειδοποιεί για πιθανή έλλειψη εγκλιματισμού, η οποία είναι υπαρκτή έως τις 28/8. Όσον αφορά το πρώτο επεισόδιο καύσωνα, επικρατεί κλίμα έλλειψης προσαρμογής, καθώς

ο δείκτης EHI(accl) είναι θετικός και το φαινόμενο εξ ολοκλήρου χαρακτηρίζεται ακραίο. Αναμένεται να προκληθούν σοβαρές επιπλοκές στη δημόσια υγεία εξαιτίας της ακραιότητας του καύσωνα.

15. Στοκχόλμη: Αναλόγως, στη Στοκχόλμη όσον αφορά τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες, ακραίο θερμοκρασιακά θεωρείται το διάστημα 26-29/8 με πιο ακραία την 28^η μέρα του μήνα ($T_{mean}=21.7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ταυτόχρονα, ο δείκτης Excess Heat Factor δεν έχει αρνητικές τιμές από τις 27 έως τις 30 του μήνα και φτάνει στη μέγιστη τιμή του ($3.7\text{ }^{\circ}\text{C}^2$) στις 29/8. Αποσκοπώντας στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την ανθρώπινη συμπεριφορά στην αντιμετώπιση ασυνήθιστα υψηλών θερμοκρασιών, στρέφεται η προσοχή στο δείκτη EHI(accl). Κατά τη διάρκεια του καύσωνα και πριν από αυτόν (από τις 19 του μήνα) είναι αρνητικός. Σύμφωνα με την ερμηνεία του δείκτη ο καιρός χαρακτηρίζεται σχετικά δροσερός και αυτομάτως δεν εγκυμονεί κινδύνους στον άνθρωπο. Καταληκτικά, ο καύσωνας κατά κύριο λόγο έχει μόνο κλιματολογική αξία όσον αφορά την ακραιότητά του.
16. Βιέννη: Παρακάτω παρατίθεται τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν για τη Βιέννη. Από τις 5 έως τις 12, από τις 18 έως τις 20 και από τις 27 έως τις 31/8 η T_{mean} ξεπερνά την T_{mean95} με μέγιστη $T_{mean}=26.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις 10/8. Χρησιμοποιώντας τους δείκτες οι ημερομηνίες τροποποιούνται και προκύπτει πως από τις 7 έως τις 13, από τις 19 έως τις 21 και από τις 25 έως τις 31/8, οι EHF και EHI(sig) γίνονται θετικοί με μέγιστο $EHF=12.3\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ στις 20/8. Στη συνέχεια, θα διευκρινιστεί το πότε ο δείκτης EHI(accl) εμφανίζει θετικές και αρνητικές τιμές. Πριν φτάσει στη Βιέννη το πρώτο κύμα καύσωνα στις 7 του μήνα, οι τιμές του είναι θετικές Υπονοείται πως οι υψηλές θερμοκρασίες υπερτερούν τις τελευταίες τρεις ημέρες έναντι των αντίστοιχων των προηγούμενων τριάντα ημερών. Παρόλο που οι άνθρωποι τείνουν να προσαρμόζονται γρήγορα στο κλίμα που ζούνε, οι απρόσμενες μεταβολές της θερμοκρασίας τους καθιστούν ευάλωτους και ευπαθείς. Η κατάσταση αυτή διαρκεί έως τις 12 του μήνα, ημέρες θετικών τιμών EHI(accl). Αντιθέτως, ανεκτικός στις ακραίες θερμοκρασίες καθίσταται ο άνθρωπος από τις 13 έως τις 15 και από τις 21 έως τις 28/8 μιας και τότε μόνο ικανοποιείται η συνθήκη $EHI(accl)<0$. Παρατηρείται πως 13 και 21/8 λήγουν τα πρώτα δύο επεισόδια καύσωνα, δηλαδή οι άνθρωποι κατάφεραν να προσαρμοστούν στις νέες θερμοκρασίες με το πέρας των επεισοδίων.

Κατά το τρίτο επεισόδιο, μεταβαίνουν ομαλά στο καινούριο περιβάλλον τις τρεις τελευταίες ημέρες του (29-31/8) και δείχνουν πάλι ανέτοιμοι για περαιτέρω θερμοκρασιακές αλλαγές.



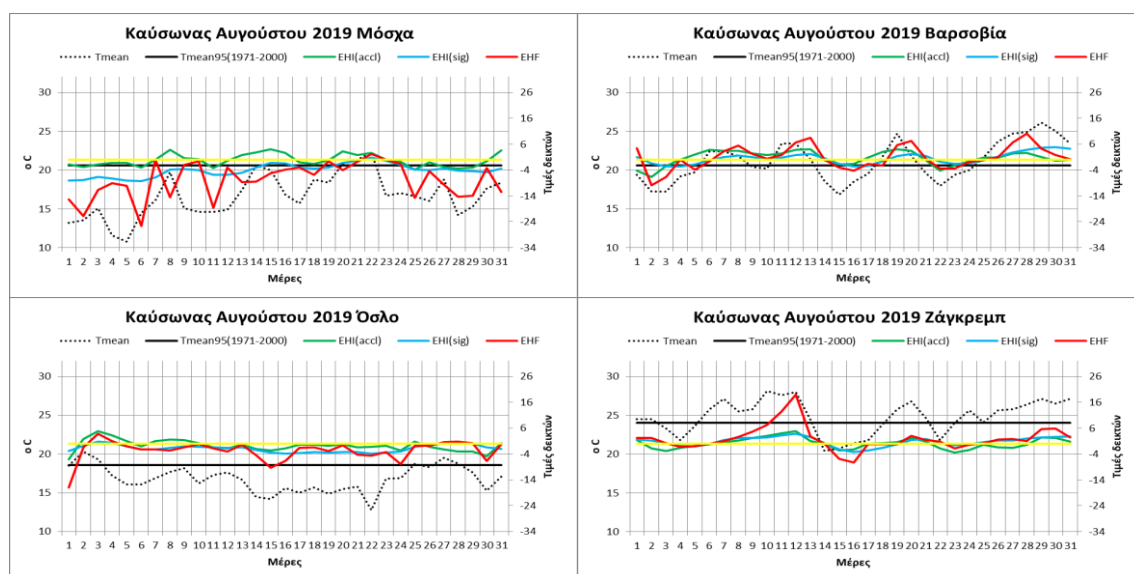
Σχήμα 22: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Αυγούστου του 2019 για το Ταλίν, το Βίλνιους, τη Στοκχόλμη και τη Βιέννη

17. Μόσχα: Σύμφωνα με το πρώτο κριτήριο ορισμού του καύσωνα φαίνεται πως από τις 20 έως τις 22 του μήνα ξεπερνιέται το κατώφλι του 95^{ου} ποσοστημορίου από τις ημερήσιες Tmean, με το μέγιστο της παραμέτρου (22.3 °C) να σημειώνεται στις 22/8. Ο δείκτης EHF στη Μόσχα δεν είναι ικανός να ανιχνεύσει επεισόδιο καύσωνα τον Αύγουστο του 2019, καθώς δεν πληρείται κανένα κριτήριο. Αναλυτικότερα για να θεωρηθεί ένα χρονικό διάστημα ως καύσωνας πρέπει τουλάχιστον για 3 συνεχόμενες ημέρες ο δείκτης EHF να υπερβαίνει το 0 και ταυτόχρονα ο δείκτης σημαντικότητας να είναι θετικός για να ανιχνευτεί η έναρξή του (Perkins et al., 2012). Η πορεία της κόκκινης και γαλάζιας συνεχούς γραμμής στο διάγραμμα για τη Μόσχα στο Σχήμα 23 δεν επιβεβαιώνει την παραπάνω παρατήρηση.
18. Βαρσοβία: Θερμές θεωρούνται οι ακολουθίες των διαδοχικών ημερών 6-8, 11-13, 18-20 και 25-31/8 και θερμότερη η 29^η του μήνα με τη μέγιστη Tmean να αγγίζει τους 26.1 °C. Οι ημερομηνίες καύσωνα προσδιορίζονται μέσω εφαρμογής του δείκτη EHF (7-14, 19-21 και 26-31/8). Στους 10 °C²

φτάνει ο δείκτης στις 28/8, μέρα μέγιστης έντασης. Πέραν της ανίχνευσης των ημερομηνιών καύσωνα που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του EHF, παρέχεται η δυνατότητα εύρεσης των ημερών θετικών τιμών EHI(accl). Από την εξίσωση του δείκτη EHI(accl) που αναγράφεται στο κεφάλαιο Μεθοδολογία, συνεπάγεται πως ο πρώτος όρος υπερέχει αριθμητικά από το δεύτερο. Αυτό σημαίνει πως οι θερμοκρασίες των τελευταίων ημερών είναι ακραίες και προκαλούν στον άνθρωπο δυσκολία προσαρμογής σε συνδυασμό με επιβάρυνση της υγείας του. Συνεπώς, η έλλειψη εγκλιματισμού στις ακραίες συνθήκες συμπίπτει με τις θετικές τιμές του δείκτη EHI(accl) από τις 5 έως τις 13, από τις 17 έως τις 20 και από τις 25 έως τις 28 Αυγούστου. Και στα τρία επεισόδια, η έλλειψη εγκλιματισμού αρχίζει να φαίνεται πριν την έναρξή τους και παύει να υπάρχει πριν τη λήξη τους. Παρόλο που η δημόσια υγεία τίθεται σε κίνδυνο, επιτυγχάνεται προς τα τέλη των καυσώνων εγκλιματισμός και μειώνεται σημαντικά η διακινδύνευση.

19. Όσλο: Όπως και στη Μόσχα, έτσι και στο Όσλο δεν ανταποκρίνεται ο δείκτης στην ανίχνευση επεισοδίων καύσωνα. Στην προκειμένη περίπτωση όμως, δικαιολογείται η παρατήρηση αυτή καθώς και η μέση ημερήσια θερμοκρασία δεν υπερβαίνει το 95° ποσοστημόριο για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες (Tolika, 2019). Εστιάζοντας στο διάγραμμα του Σχήματος 23 για το Όσλο, γίνεται αντιληπτό πως και η μαύρη διακεκομμένη γραμμή δεν υπερβαίνει τη μαύρη συνεχή, αλλά ταυτόχρονα η κόκκινη και η μπλε δε βρίσκονται πάνω από την κίτρινη για ακολουθία τουλάχιστον τριών ημερών. Συνεπώς, εύκολα συμπεραίνεται πως ο Αύγουστος του 2019 στο Όσλο δεν είναι μήνας καύσωνα.
20. Ζάγκρεμπ: Υπερβολικά υψηλές μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες επικρατούν κατά τα διαστήματα 6-13, 19-21 και 24-31/8 και στις 10 του μήνα καταγράφεται η υψηλότερη (28.1 °C). Τα επεισόδια καύσωνα φτάνουν τα 4 σε αριθμό και είναι τα ακόλουθα, 1-3, 7-14, 20-22 και 25-31 (τότε παρατηρούνται οι θετικές τιμές των δεικτών EHF & EHI(sig)). Το δεύτερο επεισόδιο είναι το εντονότερο, καθώς η μέγιστη τιμή του δείκτη Excess Heat Factor (19 °C²) μετράται στις 12/8. Οι επιπρόσθετες πληροφορίες που δίνονται από την εφαρμογή του δείκτη EHF αφορούν στην ανίχνευση ημερομηνιών έλλειψης ανθρώπινης προσαρμοστικότητας σε αιφνίδιες

μεταβολές της θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό διερευνάται το προφίλ του δείκτη εγκλιματισμού EHI(accl) . Γενικώς σε περίπτωση θετικών τιμών του EHI(accl), ο μέσος όρος των θερμοκρασιών τριών ημερών είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των προηγούμενων τριάντα ημερών, με άμεση συνέπεια την απότομη θέρμανση του τοπικού κλίματος και αδυναμία εγκλιματισμού από τον άνθρωπο. Συγκεκριμένα στο Ζάγκρεμπ, οι άνθρωποι αδυνατούν να προσαρμοστούν στο εμφανώς θερμότερο περιβάλλον της πόλης κατά τα διαστήματα 7-13, 18-21 και 29-31/8 (EHI(accl)>0). Με την έναρξη του πρώτου επεισοδίου οι άνθρωποι μένουν ανεπηρέαστοι και η αδυναμία τους φαίνεται κατά το δεύτερο επεισόδιο. Όταν λήγει και το δεύτερο, επιτυγχάνεται ανθρώπινος εγκλιματισμός έως και τις 17 του μήνα. Αρνητικές επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου εξακολουθούν να προκαλούνται κατά το τρίτο επεισόδιο, με εξαίρεση την τελευταία μέρα (22/8) όπου $EHI(accl)<0$. Τέλος, οι άνθρωποι πλήττονται από τις επικίνδυνες συνέπειες του καύσωνα από τις 29 έως τις 31 του μήνα, γεγονός που καθιστά και τον τελευταίο καύσωνα εξίσου επιβλαβή.



Σχήμα 23: Απεικόνιση του καύσωνα για κάθε μέρα του Αυγούστου του 2019 για τη Μόσχα, τη Βαρσοβία, το Όσλο και το Ζάγκρεμπ

Αφού εφαρμόστηκε ο δείκτης EHF, συνοψίστηκαν στους 3 Πίνακες (22-24) που παρατίθενται παρακάτω όλες οι πληροφορίες που περιγράφηκαν. Δίνονται ο αριθμός επεισοδίων καύσωνα του 2019 για κάθε καλοκαιρινό μήνα καθώς και οι ημερομηνίες εμφάνισής τους. Εάν η έναρξή ενός επεισοδίου σηματοδοτείται κατά τη διάρκεια ενός καλοκαιρινού μήνα και η λήξη του κατά τη διάρκεια του ακριβώς επόμενου, αναγράφεται ως επεισόδιο του μήνα έναρξης. Με έντονα γράμματα επισημαίνεται το εντονότερο επεισόδιο καύσωνα σύμφωνα με τη μέγιστη τιμή του δείκτη EHF. Δίπλα από τις ημερομηνίες του κάθε επεισοδίου, καταγράφεται η ημέρα μέγιστης έντασης σύμφωνα με τη μέγιστη τιμή του δείκτη EHF (με κόκκινο χρώμα). Τέλος, στην τελευταία στήλη δίνονται με μπλε χρώμα οι ημερομηνίες που επιτεύχθηκε ανθρώπινος εγκλιματισμός, δηλαδή οι ημερομηνίες όπου $EHI(accl) < 0$.

Η ικανοποίηση αυτής της συνθήκης αφορά μόνο στο χρονικό διάστημα κοντά στις ημερομηνίες των επεισοδίων. Μόνο στον Πίνακα 22 με τον Ιούνιο του 2019, επειδή συνολικά επικρατεί κλίμα εγκλιματισμού καθ' όλη τη διάρκειά του, δίνεται το πρόσημο του $EHI(accl)$. Για τον Ιούνιο, τα αποτελέσματα είναι τα εξής (Πίνακας 22):

Πόλεις	Αριθμός επεισοδίων	Ημερομηνίες επεισοδίων	Ημέρα μέγιστης έντασης	Πρόσημο EHF(accl)
Άμστερνταμ	1	24-27	25/6	+
Βελιγράδι	2	9-18 και 26-29	15/6	+
Βερολίνο	4	3-7, 12-16, 19-21 και 24-28	5/6	+
Βουκουρέστι	1	13-28	26/6	+
Ελσίνκι	2	6-10 και 20-22	8/6	+
Κίεβο	1	3-28	13/6	+
Λιουμπλιάνα	2	8-18/6 και 25/6-3/7	28/6	+
Λονδίνο	-	-	-	
Λουξεμβούργο	2	2-5 και 24-30	26/6	+
Μαδρίτη	1	26/6-6/7	29/6	+(17-30/6)
Μόσχα	2	7-11 και 19-24	22/6	+(1-11/6, 16-25/6)
Παρίσι	1	24-30	26/6	+(23-30/6)
Όσλο	-	-	-	
Σαράγεβο	2	8-17 και 21-23	15/6	+
Στοκχόλμη	2	6-9 και 16-22	7/6	+
Ταλίν	2	5-11 και 20-23	9/6	+
Βαρσοβία	1	4/6-3/7	15/6	+
Βίλνιους	3	5-17, 19-23 και 26-28	13/6	+
Βιέννη	2	11-22/6 και 25/6-3/7	16/6	+
Ζάγκρεμπ	3	8-18, 20-23/6 και 25-8/7	14/6	+

Κατά τον Ιούνιο του 2019, ο καύσωνας ανιχνεύεται επιτυχώς σε όλα τα αστικά κέντρα με εξαίρεση το Λονδίνο και το Όσλο, περιοχές που φαίνεται πως μένουν ανεπηρέαστες λαμβάνοντας υπόψη το δείκτη EHF. Ο μεγαλύτερης έντασης καύσωνας κατά τον Ιούνιο του 2019 τοποθετείται στο Βίλνιους με μέγιστο EHF=73 °C². Μεγάλης έντασης είναι και οι καύσωνες στο Ταλίν, το Λουξεμβούργο και το Άμστερνταμ (με EHF=57.4, 53.4 και 47.3 °C² αντίστοιχα). Οι μικρότερης έντασης καύσωνες εντοπίζονται στο Σαράγεβο, τη Μόσχα, τη Στοκχόλμη και το Βουκουρέστι (με EHF=23, 17.2, 16.5 και 6.18 °C² αντίστοιχα).

Εξετάζοντας τα επεισόδια μέγιστης έντασης του ίδιου μήνα, συμπεραίνεται πως το κύμα δε φτάνει ταυτόχρονα σε όλα τα αστικά κέντρα, αλλά διαφοροποιείται ως προς το χρόνο εμφάνισής του. Κατόπιν αυτού, οι περιοχές χωρίζονται σε υποπεριοχές.

Αρχικά στο Βερολίνο και το Κίεβο, ο καύσωνας ξεκινάει στις 3/6, στη Βαρσοβία στις 4/6, ενώ στο Ταλίν και το Βίλνιους στις 5/6. Στη συνέχεια, το κύμα ανιχνεύεται στο Ελσίνκι και τη Στοκχόλμη στις 6/6, στο Σαράγεβο και το Ζάγκρεμπ στις 8/6 και στο Βελιγράδι μία ημέρα αργότερα (9/6). Προς τη Βιέννη μεταφέρεται στις 11/6, στο Βουκουρέστι 13/6 και φτάνει στη Μόσχα στις 19/6. Στην ίδια υποπεριοχή ανήκουν το Άμστερνταμ, το Λουξεμβούργο και το Παρίσι, καθώς η έναρξη του καύσωνα σηματοδοτείται στις 24/6. Τέλος, η πορεία του δείχνει πως η Λουμπλιάνα επηρεάζεται στις 25/6 με τελευταία πληγείσα περιοχή τη Μαδρίτη στις 26/6.

Ο καύσωνας του Ιουνίου του 2019 δεν έχει την ίδια διάρκεια στις υπό μελέτη περιοχές. Αναλυτικότερα στη Βαρσοβία γίνεται ορατός ο μέγιστης διάρκειας καύσωνας των 29 ημερών, ενώ στο Κίεβο, το Βουκουρέστι και το Βίλνιους διαρκεί 25, 15 και 12 ημέρες αντίστοιχα. Αντιθέτως, στο Βερολίνο και το Ελσίνκι, τη Στοκχόλμη και το Άμστερνταμ παρατηρούνται οι ελάχιστης διάρκειας καύσωνες των 4 και 3 ημερών αντιστοίχως.

Όσον αφορά το δείκτη EHI(accl), συμπεραίνεται γενικώς πως κατά τον καύσωνα του Ιουνίου επικρατεί παντελής έλλειψη εγκλιματισμού σε όλες τις περιοχές. Είναι προφανές ότι οι επιπτώσεις του εν λόγω γεγονότος είναι άκρως επικίνδυνες.

Η λίστα καυσώνων του Ιουλίου του 2019 είναι η ακόλουθη (Πίνακας 23):

Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά του καύσωνα του Ιουλίου του 2019

Πόλεις	Αριθμός επεισοδίων	Ημερομηνίες επεισοδίων	Ημέρα μέγιστης έντασης	Ημερομηνίες όπου EHI(accl)<0
Άμστερνταμ	1	22-31	25/7	28-31
Βελιγράδι	2	2-8 και 21-31	3/7	24-25
Βερολίνο	1	24-31	30/7	27-31
Βουκουρέστι	2	3-5/7 και 27/7-3-8	3/7	27/7
Ελσίνκι	1	19-30	28/7	30/7
Κίεβο	2	21-23, 28-31	31/7	21-23
Λιουμπλιάνα	2	5-7 και 19-27	25/7	8 και 28/7
Λονδίνο	2	10-13 και 22- 28	25/7	27-29
Λουξεμβούργο	1	20-28	25/7	27-28
Μαδρίτη	1	12-26	21/7	26/7
Μόσχα	-	-	-	-
Παρίσι	2	6-8 και 19-28	25/7	27-28
Όσλο	2	11-14 και 24- 30	27/7	30/7
Σαράγεβο	2	1-9 και 21-28	3/7	9, 24 και 28/7
Στοκχόλμη	1	20-30	28/7	20-23
Ταλίν	1	21-31	29/7	21-23 και 31/7
Βαρσοβία	2	21-23 και 25- 31	30/7	23/7 και 25-28
Βίλνιους	2	21-26 και 28- 30	30/7	22, 24 και 28/7
Βιέννη	2	6-8 και 20-31	25/7	28-31
Ζάγκρεμπ	1	19-29	25/7	5, 28 και 29/7

Η χρήση του δείκτη Excess Heat Factor επιβεβαιώνει για ακόμα μία φορά την ύπαρξη του καύσωνα κατά τον Ιούλιο του 2019 στις 19 ευρωπαϊκές περιοχές ενδιαφέροντος με εξαίρεση τη Μόσχα. Ο καύσωνας του Ιουλίου του 2019 πλήττει κυρίως το Λουξεμβούργο, καθώς η τιμή του δείκτη ισούται με $73\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ και το Παρίσι με τιμή $67.8\text{ }^{\circ}\text{C}^2$. Έντονοι επίσης χαρακτηρίζονται οι καύσωνες στο Λονδίνο, το Ελσίνκι και το Άμστερνταμ (με EHF=40.7, 33.8 και $33.4\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ αντίστοιχα). Καύσωνες μικρής έντασης επηρεάζουν το Βίλνιους, το Βουκουρέστι, το Βερολίνο και το Κίεβο (με EHF=13.3, 8.1, 8.1 και $6\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ αντίστοιχα).

Κατά τον Ιούλιο του 2019 τα εντονότερα επεισόδια καύσωνα εμφανίζονται σε διαφορετικές ημερομηνίες. Αρχές Ιουλίου, το κύμα πλήττει το Σαράγεβο (1/7), το Βελιγράδι (2/7) και το Βουκουρέστι (3/7). Στις 12 Ιουλίου φτάνει στη Μαδρίτη και

κινείται προς το Ελσίνκι, τη Λιουμπλιάνα, το Παρίσι και το Σαράγεβο στις 19/7. Μία ημέρα αργότερα, στις 20 του μήνα, παρουσιάζεται στο Λουξεμβούργο, τη Στοκχόλμη και τη Βιέννη. Ακολούθως, στις 21 Ιουλίου πλησιάζει το Ταλίν και στις 22 Ιουλίου το Άμστερνταμ και το Λονδίνο. Συνεχίζει την πορεία του στο Βερολίνο και το Όσλο στις 24/7 και στις 25 Ιουλίου βρίσκεται στη Βαρσοβία. Προς τα τέλη του μήνα και συγκεκριμένα στις 28/7, το κύμα ανιχνεύεται στο Κίεβο και το Βίλνιους, όπου σημειώνεται και η λήξη του.

Χαρακτηριστικό του Ιουλίου είναι πως οι καύσωνες δε διαρκούν το ίδιο στις μελετώμενες πρωτεύουσες της Ευρώπης. Για την ακρίβεια, η Μαδρίτη επηρεάζεται για 14 συνεχόμενες ημέρες (μέγιστη διάρκεια), το Ελσίνκι και η Βιέννη για 11 και η Στοκχόλμη, το Ταλίν και το Ζάγκρεμπ για 10. Ο μικρότερος αριθμός συνεχόμενων ημερών καύσωνα σημειώνεται στο Κίεβο (3 ημέρες), στο Βουκουρέστι και το Βίλνιους (2 ημέρες).

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα του δείκτη EHI(accl), διαφαίνεται πως σε γενικές γραμμές οι άνθρωποι καταφέρνουν να προσαρμοστούν στο νέο θερμότερο περιβάλλον προς τα τέλη του μήνα.

Καταληκτικά, παρατίθενται όλα τα επεισόδια καύσωνα που καταγράφονται τον Αυγούστου του 2019 (Πίνακας 24):

Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά του καύσωνα του Αυγούστου του 2019

Πόλεις	Αριθμός επεισοδίων	Ημερομηνίες επεισοδίων	Ημέρα μέγιστης έντασης	Ημερομηνίες όπου EHF(accl)<0
Άμστερνταμ	2	5-11 και 24-30	28/8	18-30
Βελιγράδι	2	7-14 και 20-31	12/8	7, 23 και 27/8
Βερολίνο	2	10-12 και 25-31	31/8	28-31
Βουκουρέστι	2	9-14 και 22-29	26/8	1-7, 18-20 και 29/8
Ελσίνκι	1	29-31	29/8	20-31
Κίεβο	2	13-15 και 26-28	13/8	-
Λιουμπλιάνα	3	6-13, 19-22 και 27-31	11/8	22-31
Λονδίνο	2	2-7 και 24-29	27/8	18-31
Λουξεμβούργο	2	4-6 και 24-31	29/8	18-22
Μαδρίτη	2	2-7 και 16-20	18/8	7/8 και 19-20
Μόσχα	-	-	-	-
Παρίσι	2	4-10 και 25-31	28/8	7-10 και 25-31
Όσλο	-	-	-	-
Σαράγεβο	2	7-14 και 20-24	12/8	24/8
Στοκχόλμη	1	27-30	29/8	19-30
Ταλίν	2	18-21 και 28-31	19/8	21-31
Βαρσοβία	3	7-14, 19-21 και 26-31	28/8	14/8, 21/8 και 29-31
Βίλνιους	2	19-21 και 26-31	20/8	29-31
Βιέννη	3	7-13, 19-21 και 25-31	20/8	13-15 και 21-28
Ζάγκρεμπ	4	1-3, 7-14, 20-22 και 25-31	12/8	1-3, 14/8, 22/8 και 25-28

Ο καύσωνας που επικρατεί τον Αύγουστο δεν έχει την ίδια ένταση με τους υπόλοιπους καλοκαιρινούς μήνες, διότι οι τιμές του δείκτη EHF πέφτουν σημαντικά. Παρόλα αυτά, στο Σαράγεβο σημειώνονται θερμοκρασίες ρεκόρ με την υψηλότερη τιμή του EHF να φτάνει στους 30.2 °C², ενώ η Μόσχα και το Όσλο δεν επηρεάζονται. Το Βελιγράδι, το Ζάγκρεμπ και η Λιουμπλιάνα ανήκουν στις πόλεις έντονης επίδρασης από τον καύσωνα (με EHF=25.8, 19 και 16.7 °C² αντίστοιχα). Στις πόλεις ασθενούς επίδρασης συγκαταλέγονται η Στοκχόλμη, το Βερολίνο, η Μαδρίτη και το Ελσίνκι (με EHF=3.7, 3.6, 2.5 και 0.7 °C² αντίστοιχα).

Αναφορικά με τα επεισόδια μέγιστης έντασης, διαμορφώνονται περισσότερες ομάδες και ακολουθείται η εξής πορεία. Στις 6 Αυγούστου ο καύσωνας ξεκινάει από τη Λιουμπλιάνα και μεταφέρεται στο Βελιγράδι, το Σαράγεβο και το Ζάγκρεμπ στις 7 του μήνα. Αργότερα, στις 13/8 κινείται προς το Κίεβο, φτάνει στη Μαδρίτη 16/8 και στο Ταλίν 18/8. Κατά χρονολογική σειρά, ακολουθούν το Βίλνιους και η Βιέννη στις 19/8 και το Βουκουρέστι στις 22/8. Το Άμστερνταμ, το Λονδίνο και το Λουξεμβούργο ανήκουν στην ίδια ομάδα, καθώς το κύμα φτάνει εκεί στις 24/8. Επιπροσθέτως, το Βερολίνο και το Παρίσι συγκροτούν διαφορετική ομάδα με έναρξη του καύσωνα στις 25/8. Προς τα τέλη του μήνα, πλήττονται η Βαρσοβία (26/8), η Στοκχόλμη (27/8) και το Ελσίνκι (29/8).

Ο μοναδικός καλοκαιρινός μήνας, κατά τη διάρκεια του οποίου το ολικό μέγιστο και ελάχιστο της διάρκειας του καύσωνα δεν παρουσιάζεται μόνο σε μία ευρωπαϊκή πρωτεύουσα, είναι ο Αύγουστος. Εκτενέστερα, το ολικό μέγιστο των 7 ημερών καταγράφεται στο Βελιγράδι, το Βουκουρέστι, τη Λιουμπλιάνα, το Λουξεμβούργο, το Σαράγεβο και το Ζάγκρεμπ. Ωστόσο το ολικό ελάχιστο των 2 ημερών αποτυπώνεται στο Ελσίνκι, το Κίεβο, το Βίλνιους και τη Βιέννη.

Τα αποτελέσματα του δείκτη EHI(accl) για τον Αύγουστο εκφράζουν πως στην Ευρώπη δεν εγκλιματίζονται οι άνθρωποι με τον ίδιο τρόπο και εμφανίζονται διαφορές από περιοχή σε περιοχή. Γενικά, ανθεκτικότεροι στις υψηλές θερμοκρασίες κρίνονται οι άνθρωποι στο Άμστερνταμ, το Ελσίνκι, τη Λιουμπλιάνα, το Λονδίνο, τη Στοκχόλμη και το Ταλίν, επειδή ο δείκτης EHI(accl) εκεί παραμένει αρνητικός για περισσότερες από 10 ημέρες. Αντιθέτως, στο Σαράγεβο μόνο μία ημέρα φαίνεται πως επέρχεται κλίμα εγκλιματισμού ($EHI(accl) < 0$ στις 24/8).

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη κύριος στόχος ήταν η ανάλυση των ακραία υψηλών θερμοκρασιών και του καύσωνα κατά το καλοκαίρι του 2019 σε 20 πρωτεύουσες του ευρωπαϊκού χώρου. Με τη χρήση ενός σύγχρονου δείκτη εντοπισμού και μελέτης του καύσωνα, τον Excess Heat Factor (Nairn et al., 2009) συσχετίστηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του καύσωνα με τον εγκλιματισμό και την προσαρμογή του ανθρώπου στις αιφνίδιες και απρόσμενες θερμοκρασιακές μεταβολές.

Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν ήταν οι ημερήσιες τιμές τριών παραμέτρων, της μέσης, της ελάχιστης και της μέγιστης θερμοκρασίας από το 1961 έως το 2019 των 20 αστικών κέντρων της Ευρώπης από τη βάση δεδομένων του European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). Επιπλέον, υπολογίστηκε ένα σύνολο ακραίων δεικτών θερμοκρασίας με τον τρόπο που περιγράφεται στο ECA&D και το RclimDex. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν οι εξής δείκτες: μέγιστη T_{max} , μέγιστη T_{mean} και μέγιστη T_{min} , TX_x , TN_x , TG_x , TX_{95p} , TN_{95p} , TG_{95p} , Hot Days και υπολογίστηκαν οι ακολουθίες ημερών καύσωνα κατά τη θερμή περίοδο από το 1961 έως το 2019. Στο κυρίως μέρος της εργασίας μελετήθηκε διεξοδικά ο ακραίος δείκτης καύσωνα EHF για τους θερινούς μήνες του 2019 και τα συμπεράσματα επικεντρώνονται στα αποτελέσματά του.

Αρχικά, και οι τρεις δείκτες (μέγιστη T_{max} , μέγιστη T_{mean} και μέγιστη T_{min}) συνολικά παρουσιάζουν έντονες ενδοετήσιες διακυμάνσεις και αυξητικές τάσεις σε όλες τις πρωτεύουσες. Εντονότερη και σαφέστερη είναι η θέρμανση μετά την δεκαετία του 1970 παρόλο που οι καλοκαιρινές ακραίες θερμοκρασίες κυριαρχούν ήδη από το 1961 (Yan et al., 2002). Γενικά, οι ακραίες τιμές των μεγίστων θερμοκρασιών είναι υψηλότερες στη Νότια Ευρώπη και ελαττώνονται προς την Κεντρική, με τις ελάχιστες να εμφανίζονται στη Βόρεια (Kjellström et al., 2007). Η πιο ακραία μέγιστη τιμή των $43.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ σημειώνεται στο Βελιγράδι τη θερμή περίοδο του 2007 και η λιγότερο ακραία των $33.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ στο Ελσίνκι το 2019. Κατά μέσο όρο, η μέγιστη T_{max} αυξάνεται $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ετία}$ στην περιοχή ενδιαφέροντος, με μέγιστο ρυθμό αύξησης στο Παρίσι και ελάχιστο στη Βόρεια Ευρώπη. Η θερμή περίοδος του 2019 χαρακτηρίζεται ακραία στο Άμστερνταμ, το Λονδίνο, το Ελσίνκι, το Λουξεμβούργο και το Παρίσι, διότι τότε καταγράφονται τα ολικά μέγιστα όλης της

περιόδου μελέτης. Το Παρίσι εμφανίζεται στην πρώτη θέση με τη μέγιστη θερμοκρασία της θερμής περιόδου του 2019 να φτάνει στους 42 °C.

Αναφορικά με τις μέγιστες τιμές των ελαχίστων θερμοκρασιών της θερμής περιόδου από το 1961 έως το 2019, υπερτερεί το Βελιγράδι ξανά με την ακραία τιμή των 27.1 °C το 2000 και το 2015. Η χαμηλότερη τιμή των μεγίστων T_{min} συναντάται στο Άμστερνταμ το 2018 και ισούται με 21.4 °C. Οι πιο ακραίες περιπτώσεις συγκεντρώνονται στην Κεντρική και Νότια Ευρώπη με τις λιγότερο ακραίες στη Βόρεια και Δυτική. Γενικώς, η μέγιστη T_{min} παρουσιάζει αύξηση και ο ρυθμός αύξησής της είναι ελάχιστα μικρότερος σε σχέση με αυτόν της μέγιστης T_{max} (0.5 °C/10ετία) (Busoic et al., 2007). Στο Λουξεμβούργο και το Βουκουρέστι παρατηρείται ο ταχύτερος και ο βραδύτερος αντίστοιχα ρυθμός ανοδικής τάσης. Μόνο στο Παρίσι και το Λουξεμβούργο, κατά τη διάρκεια του Μαΐου-Σεπτεμβρίου του 2019, οι ακραίες τιμές των ελαχίστων θερμοκρασιών ξεπέρασαν τις αντίστοιχες των προηγούμενων ετών.

Παρομοίως, για τη μέγιστη T_{mean} συμπεραίνονται τα παρακάτω. Το Βελιγράδι εξακολουθεί να εμφανίζει τις πιο ακραίες τιμές θερμοκρασίας, καθώς η μέγιστη μέση αγγίζει τους 34.6 °C το 2007. Για την παρούσα παράμετρο, η χαμηλότερη τιμή ισούται με 26.4 °C και παρουσιάζεται στο Ελσίνκι (2018) και το Όσλο (1975). Η γεωγραφική κατανομή των μεγίστων T_{mean} ακολουθεί γενικά το ίδιο πρότυπο, δηλαδή τα μέγιστα στη Νότια και τη Δυτική Ευρώπη, ενώ τα ελάχιστα στη Βόρεια. Κατά μέσο όρο, σε διάστημα 10 ετών αναμένεται να αυξηθεί η μέγιστη μέση θερμοκρασία κατά 0.5 °C (όπως και η μέγιστη ελάχιστη), δηλαδή με μικρότερο ρυθμό συγκριτικά με τη μέγιστη T_{max} (Whan et al., 2015). Στο Λουξεμβούργο οι ρυθμοί αύξησης εμφανίζουν μέγιστο, ενώ στο Ελσίνκι ελάχιστο. Εστιάζοντας στη θερμή περίοδο του 2019, προκύπτει πως πάλι καθίσταται ακραία στο Παρίσι και το Λουξεμβούργο. Έτσι αποδεικνύεται πως το 2019 στο Παρίσι είναι το θερμότερο έτος σε σχέση με όλη την περίοδο μελέτης.

Στη συνέχεια, από την ανάλυση των πινάκων με τους ακραίους δείκτες TX_x , TN_x και TG_x της θερμής περιόδου εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Οι πόλεις με τις υψηλότερες τιμές των μεγίστων μηνιαίων θερμοκρασιών όλης της μελετώμενης περιόδου είναι η Μαδρίτη, το Βελιγράδι και το

Βουκουρέστι, ενώ οι αντίστοιχες με τις ελάχιστες είναι το Ελσίνκι, η Στοκχόλμη, το Όσλο και το Ταλίν, δηλαδή γενικά η Βόρεια Ευρώπη.

- Ο θερμότερος Μάιος ανιχνεύεται στη Μαδρίτη το 2015 (35 °C) , ενώ ο λιγότερο θερμός στη Στοκχόλμη το 2018 (17.3 °C). Συνολικά εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια αυτού του μήνα από το 2001 έως το 2010 και από το 2011 έως το 2019.
- Αντιστοίχως, οι υψηλότερες τιμές των μεγίστων θερμοκρασιών του Ιουνίου καταγράφονται στη Μαδρίτη το 2019 (40.5 °C) και οι χαμηλότερες των μεγίστων ελαχίστων στο Όσλο το 2007 (19.7 °C). Η περίοδος 2011-2019 χαρακτηρίζεται η πιο ακραία όλων αναφορικά με το μήνα Ιούνιο.
- Ο πιο ακραίος Ιούλιος εμφανίζεται στο Βελιγράδι το 2007 (43.6 °C) και ο λιγότερο ακραίος όσον αφορά τις μέγιστες ελάχιστες θερμοκρασίες στο Βερολίνο το 1972 (21.3 °C). Κατά την περίοδο 2011-2019, εμφανίζεται ο Ιούλιος ως ο θερμότερος όλων των προηγούμενων ετών.
- Για τον τελευταίο καλοκαιρινό μήνα, τον Αύγουστο, το ολικό μέγιστο όλης της περιόδου μελέτης τοποθετείται στο Βουκουρέστι (40.6 °C) το 2012, ενώ η χαμηλότερη τιμή των μεγίστων T_{min} στο Όσλο (20.2 °C) το 1969. Στα περισσότερα αστικά κέντρα, ακραίες τιμές καταγράφονται από το 2001 έως το 2010 και από το 2011 έως το 2019.
- Κλείνοντας, στη Μαδρίτη η μέγιστη θερμοκρασία των 38.9 °C κατά το Σεπτέμβρη του 2016 υπερβαίνει όλες τις υπόλοιπες. Αντιθέτως στο Ταλίν κατά το Σεπτέμβρη του 2005 η μέγιστη τιμή των ελαχίστων θερμοκρασιών (16.4 °C) αντιστοιχεί στη μικρότερη όλων. Ο Σεπτέμβρης της περιόδου 2011-2019 καθίσταται θερμότερος συγκριτικά με τον αντίστοιχο των προηγούμενων μελετώμενων περιόδων.
- Επισημαίνεται πως κατά το 2019, μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες (T_{max}, T_{min}, T_{mean}) καταγράφονται τον Ιούνιο (Μαδρίτη, Βερολίνο, Λιουμπλιάνα, Βαρσοβία, Βίλνιους, Άμστερνταμ, Κίεβο και Ταλίν) και τον Ιούλιο (Παρίσι, Λουξεμβούργο, Λονδίνο, Άμστερνταμ, Βιέννη και Ελσίνκι). Κατά το Σεπτέμβριο του 2019 στο Ζάγκρεμπ σημειώνεται η υψηλότερη τιμή των μεγίστων T_{mean} αυτού του μήνα.

Επιπροσθέτως, ο αριθμός των εξαιρετικά θερμών ημερών και νυχτών ποικίλλει χωρικά και χρονικά και δεν εξάγονται σαφή συμπεράσματα όσον αφορά τη

γεωγραφική κατανομή τους. Ωστόσο, στην Ευρώπη ο αριθμός αυτός αυξάνεται εξαιτίας της παρουσίας τροπικών αερίων μαζών στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, της ελάττωσης συχνότητας εμφάνισης συστημάτων χαμηλών πιέσεων και της επικράτησης συστημάτων υψηλών πιέσεων (Tomczyk et al., 2016, Ballester et al., 2010, Twardosz et al., 2013). Οι περισσότερες εξαιρετικά θερμές ημέρες καταμετρώνται στο Σαράγεβο τη θερμή περίοδο του 2012 (63 ημέρες). Κατατάσσοντας από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο τις μέγιστες τιμές του δείκτη TX95p, φαίνεται πως το Ελσίνκι παρουσιάζει το ελάχιστο (41 ημέρες, 2018). Κατά τη θερμή περίοδο του 2019, σημειώνονται οι περισσότερες εξαιρετικά θερμές ημέρες όλων των ετών στη Βιέννη (46 ημέρες). Πολλές είναι οι περιπτώσεις όπου κατά τη διάρκεια ενός έτους, ο δείκτης αυτός μηδενίζεται (δηλαδή δεν υπάρχουν εξαιρετικά θερμές ημέρες).

Αναλόγως, ο μεγαλύτερος αριθμός εξαιρετικά θερμών νυχτών εντοπίζεται στο Βελιγράδι (60 νύχτες) κατά τη θερμή περίοδο του 2012. Η χαμηλότερη τιμή των μεγίστων του δείκτη TN95p παρουσιάζεται στο Βερολίνο το 2018 (34 νύχτες). Όπως και οι εξαιρετικά θερμές ημέρες, έτσι και οι αντίστοιχες ακραίες νύχτες πολλές φορές απουσιάζουν κατά τη διάρκεια ενός έτους. Οι περισσότερες εξαιρετικά θερμές νύχτες όλων των ετών συμβαίνουν το 2019 στη Λιουμπλιάνα (55 σε αριθμό) και το Ζάγκρεμπ (54 σε αριθμό).

Από τα αποτελέσματα του δείκτη TG95p, είναι εμφανές πως η μέγιστη τιμή των 59 ημερών εντοπίζεται στο Σαράγεβο το 2012 (όπως και οι περισσότερες εξαιρετικά θερμές ημέρες). Το ελάχιστο των μεγίστων τιμών του δείκτη (39 ημέρες) τοποθετείται ξανά στο Βερολίνο το 2018 (το ίδιο ισχύει και για τις εξαιρετικά θερμές νύχτες). Συγκρίνοντας τις τιμές του δείκτη TG95p κατ' έτος σε κάθε πρωτεύουσα ξεχωριστά, εξακριβώνεται πως για τη Βιέννη και το Ζάγκρεμπ σημειώνονται μέγιστα κατά το θερμό 5μηνο του 2019 (49 και 52 ημέρες αντιστοίχως). Η μηδενική τιμή του δείκτη TG95p είναι κοινό ολικό ελάχιστο για την πλειοψηφία των 20 πρωτευουσών.

Συνολικά, από το 1985 έως και το τέλος της εξεταζόμενης περιόδου, ο αριθμός των εξαιρετικά θερμών ημερών κι νυχτών γίνεται 5 έως και 6 φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στην αρχή της περιόδου κυρίως στις πρωτεύουσες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης.

Συνοψίζοντας, σε όλους τους κλιματικούς δείκτες που αναλύονται παραπάνω, παρατηρείται γραμμική ανοδική τάση (Moberg et al., 2006, Kuglitsch et al., 2010). Σε όλους τους σταθμούς που συμπεριλαμβάνονται, οι μέγιστες T_{max} αυξάνονται με ελαφρώς γρηγορότερο ρυθμό συγκριτικά με τις μέγιστες T_{min} και T_{mean} . Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου συνδέεται με (Rusticucci et al. 2004, Moberg et al., 2006, Della-Marta et al., 2007):

- την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου
- την ενίσχυση του καλοκαιρινού υψηλού των Αζορών
- τη βύθυνση του καλοκαιρινού χαμηλού της Ισλανδίας
- την αύξηση της πίεσης της μέσης στάθμης της θάλασσας στην Ευρώπη
- τη διαβατική θέρμανση που προκαλείται από την τροπική περιοχή του Ατλαντικού με άμεση συνέπεια τη δημιουργία κυμάτων Rossby και την επικράτηση συστημάτων εμποδισμού στην Ευρώπη
- την αύξηση του αριθμού των εξαιρετικά θερμών ημερών και νυχτών τα τελευταία χρόνια. Οι εξαιρετικά θερμές ημέρες υπερέχουν αριθμητικά από τις εξαιρετικά θερμές νύχτες.

Προχωρώντας στον αριθμό ακολουθιών ημερών καύσωνα της περιόδου και περιοχής μελέτης, καθίσταται σαφές πως με την αύξηση της διάρκειας των ακολουθιών, ταυτόχρονα μειώνεται και η συχνότητα εμφάνισής τους (Tolika, 2019). Στη Βόρεια Ευρώπη εμφανίζονται πολύ λίγες ακολουθίες, αλλά πολύ μεγάλης διάρκειας. Στην υπόλοιπη Ευρώπη παρόμοιες ακολουθίες απουσιάζουν. Αντιθέτως, στη Νότια Ευρώπη (κυρίως στη Μαδρίτη) καταγράφονται οι περισσότερες ακολουθίες πολύ μικρής διάρκειας, με τις λιγότερες να συγκεντρώνονται στη Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη. Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, η τάση του αριθμού των ακολουθιών αυτών αναμένεται ανοδική στην Ευρώπη έως το δεύτερο μισό του 21^{ου} αιώνα (IPCC (2012), Meehl et al., 2004). Ταυτοχρόνως, προβλέπεται στατιστικά σημαντική αύξηση της διάρκειάς τους στις περισσότερες περιοχές (Piticar et al., 2018)

Η μέγιστη ακολουθία διήρκεσε 45 ημέρες στη Μόσχα κατά τη θερμή περίοδο του 2010 λόγω του μεγακαύσωνα που έπληξε τη Ρωσία (Otto et al., 2012). Γενικώς, η θερμή περίοδος του 2018 χαρακτηρίζεται από πολλούς καύσωνες μέγιστης διάρκειας και για τις 20 πρωτεύουσες (Yiou et al., 2020).

Σύμφωνα με το δείκτη Hot Days κατά τη θερμή περίοδο 1961-2019, εξάγεται το συμπέρασμα πως ο μέσος αριθμός θερμών ημερών με $T_{max} \geq 35$ °C κατ' έτος ελαττώνεται από τη Νότια προς τη Βόρεια Ευρώπη, με τη μέγιστη τιμή του δείκτη (10-15 ημέρες κατ' έτος) να αποτυπώνεται στη Μαδρίτη (Twardosz et al., 2013).

Από τα προηγούμενα αποδεικνύεται πως στη Μόσχα μεγιστοποιείται η διάρκεια των ακολουθιών ημερών καύσωνα, ενώ στη Μαδρίτη ο δείκτης Hot Days. Η διαφορά που παρουσιάζεται οφείλεται στη χρήση διαφορετικού κατωφλιού. Συγκεκριμένα στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται το 95° ποσοστημόριο και στη δεύτερη η θερμοκρασία των 35 °C.

Ο καύσωνας που έπληξε την Ευρώπη κατά το καλοκαίρι του 2019 πυροδοτήθηκε από θερμές αέριες μάζες της Αφρικής και της Ισπανίας, οι οποίες εισχώρησαν στην Κεντρική και κατέληξαν στη Βόρεια Ευρώπη (WMO, 2019). Αποτέλεσμα του συγκεκριμένου κύματος θερμών αερίων μαζών ήταν να επαναπροσδιοριστούν σχεδόν πανευρωπαϊκά τα θερμοκρασιακά ρεκόρ. Έτσι, σε πολλές ευρωπαϊκές πρωτεύουσες, ο καύσωνας του 2019 ήταν ο πιο ακραίος συγκριτικά με προγενέστερους καύσωνες της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Πιο συγκεκριμένα, κατά τον Ιούνιο του 2019, καταρρίφθηκαν τα ρεκόρ του καύσωνα του 2003 και κατά τον Ιούλιο του 2019 τα ρεκόρ του 2016 (WMO, 2019, Fouillet et al., 2008, Schär et al., 2004). Ο Αύγουστος του 2019 δεν ξεπέρασε την ακραιότητα των προηγούμενων καταγεγραμμένων καυσώνων της Ευρώπης.

Τα χαρακτηριστικά του καύσωνα κατά το καλοκαίρι του 2019 σύμφωνα με το δείκτη EHF διαμορφώνονται ως εξής. Αρχικά, τον Ιούνιο, μετά την εφαρμογή του, δεν ανιχνεύτηκε ο καύσωνας στο Λονδίνο και το Όσλο. Προς τις αρχές του μήνα το κύμα ξεκίνησε από την Ανατολική και Κεντρική Ευρώπη, έφτασε 6 του μηνός κυρίως στη Βόρεια και ανιχνεύτηκε στην Κεντρική και Νότια μέσα Ιουνίου. Στη συνέχεια, επηρέασε τη Δυτική Ευρώπη και επηρέασε τέλη του μήνα τη Νότια. Ο εντονότερος καύσωνας επηρέασε το Βίλνιους και ο μικρότερης έντασης το Βουκουρέστι, ενώ ο διαρκέστερος εντοπίστηκε στη Βαρσοβία και ελάχιστης διάρκειας ήταν κυρίως στη Βόρεια Ευρώπη. Χαρακτηριστικό του Ιουνίου αποτελεί η παντελής έλλειψη εγκλιματισμού. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται από τους Konats et al., 2006 που χαρακτηρίζουν τους Ευρωπαίους ευαίσθητους στις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές. Όσον αφορά τον Ιούλιο, φαίνεται πως ο καύσωνας δεν επηρέασε ποτέ τη

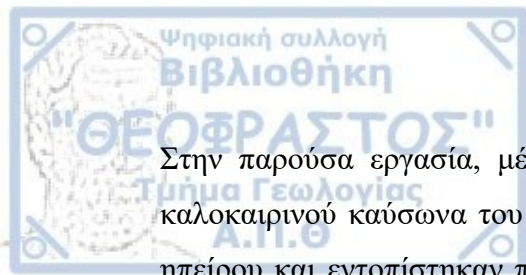
Μόσχα και η πορεία που διέγραψε ήταν η εξής. Αρχές Ιουλίου επηρέασε τη Νότια Ευρώπη και παρέμεινε εκεί έως τα μέσα του μήνα. Αργότερα, επηρέασε όλη την Ευρώπη και τέλη του μήνα επηρέασε τις πρωτεύουσες της Ανατολικής ηπείρου. Εντονότερος ήταν ο καύσωνας στο Λουξεμβούργο και σε γενικό πλαίσιο οι περιοχές της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης χαρακτηρίστηκαν από καύσωνες ελάχιστης έντασης. Η Μαδρίτη ξεχώρισε λόγω της παρουσίας μέγιστης διάρκειας καύσωνα, ενώ στην πλειοψηφία των σταθμών της Ανατολικής Ευρώπης διήρκησαν ελάχιστα. Η ανθρώπινη προσαρμογή επετεύχθη τέλη του μήνα. Τέλος, ο καύσωνας του Αυγούστου ήταν ελάσσονος σημασίας, καθώς τότε συγκεντρώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη EHF σε σχέση με τους υπόλοιπους δύο καλοκαιρινούς μήνες. Η Μόσχα και το Όσλο συνέχισαν να αποτελούν περιοχές ελάχιστης επίδρασης από τον καύσωνα του 2019, διότι πάλι δεν έδωσαν αποτελέσματα. Η έναρξη του καύσωνα στην Κεντρική Ευρώπη σηματοδοτήθηκε στις 6/8, μετατέθηκε μία μέρα αργότερα στη Νότια και κινήθηκε προς τα ανατολικά μέσα Αυγούστου. Γύρω στις 20/8 τοποθετήθηκε στην Κεντρική ήπειρο, μετατοπίστηκε δυτικότερα προς τις 25 του μήνα και κατέληξε τέλη Αυγούστου στη Βόρεια Ευρώπη. Τον Αύγουστο του 2019, στο Σαράγεβο εντοπίστηκε ο εντονότερος καύσωνας και κυρίως στη Βόρεια Ευρώπη ο ασθενέστερος. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου καλοκαιρινού μήνα ήταν η εμφάνιση μέγιστης και ελάχιστης διάρκειας καυσώνων σε περισσότερες από μία πρωτεύουσες. Ανθεκτικότεροι στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας αποδείχτηκαν οι άνθρωποι στη Βόρεια Ευρώπη και ιδιαίτερα ευάλωτοι στο Σαράγεβο.

Σε παλαιότερες μελέτες, έχει χρησιμοποιηθεί μία λίστα δεικτών που ποσοτικοποιούν τη διάρκεια και τη σφοδρότητα ενός καύσωνα με ευρέως χρησιμοποιούμενους τους ακραίους δείκτες που αφορούν στην ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία (Tolika, 2019, Piticar et al., 2018). Στην παρούσα διατριβή, για την ανίχνευση του καύσωνα του 2019 χρησιμοποιήθηκε ο ορισμός κατά Perkins et al. (2012) σύμφωνα με τον οποίο θα πρέπει ο Excess Heat Factor να παραμένει θετικός για διάστημα τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών. Παράλληλα ενσωματώθηκε στην έρευνα και το κριτήριο σύμφωνα με το οποίο θα πρέπει η Tmean να υπερβαίνει την Tmean95 για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες. Συγκρίνοντας τα δύο κριτήρια, αποδεικνύεται πως μέσω εφαρμογής του δείκτη EHF, μετατίθενται 1-2 μέρες η έναρξη, η λήξη και η μέρα μέγιστης έντασης ενός επεισοδίου καύσωνα (Tolika, 2019). Γενικώς η

εφαρμογή του δείκτη στη μελέτη των καυσώνων θεωρείται καταλληλότερη συγκριτικά με άλλες μεθόδους (Perkins et al., 2012). Ο βασικότερος λόγος που επιλέγεται ο EHF είναι επειδή τα αποτελέσματά του επικεντρώνονται στον άνθρωπο και επειδή επιτρέπει τη σύγκριση ανάμεσα σε περιοχές διαφορετικής κλιματολογίας (Tolika, 2019, Hatvani-Kovacs et al., 2016). Στην εξίσωσή του συμμετέχουν οι δύο βασικοί υποδείκτες EHI(sig) και EHI(accl) που αποτελούν μέτρα στατιστικής σημαντικότητας και της επίδρασης των καυσώνων στον άνθρωπο αντίστοιχα (Nairn et al., 2009). Όσον αφορά το πρόσημο του EHI(accl), εξάγονται δύο πολύ σημαντικά συμπεράσματα: Όταν γίνεται αρνητικός πριν τη λήξη ενός καύσωνα, σημαίνει πως ο πληθυσμός συνηθίζει το νέο θερμότερο περιβάλλον, λόγω προϋπαρξής διαρκών ακραίων συνθηκών και όταν γίνεται θετικός πριν την έναρξη ενός επεισοδίου, συνεπάγεται κίνδυνος και η λήψη έγκαιρων και κατάλληλων μέτρων κρίνεται απαραίτητη (Hatvani-Kovacs et al., 2016).

Η εφαρμογή του EHF αποδεικνύεται καταλληλότερη στον υπολογισμό και στην πρόβλεψη της θνησιμότητας και των ασθενειών που σχετίζονται με τους καύσωνες (Langlois et al., 2013). Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολύ σφοδρών καυσώνων, προβλέπεται το 77% της θνησιμότητας (Hatvani-Kovacs et al., 2016). Η δυνατότητα χρησιμοποίησής του ως μέτρο της έντασης έγκειται στο ότι η εξίσωσή του συμπεριλαμβάνει τη διαφορά του μακροπρόθεσμου και του βραχυπρόθεσμου μέσου όρου των μέσων θερμοκρασιών (Nairn et al., 2015). Ταυτόχρονα, εμπεριέχει τις τριήμερες περιόδους υψηλών ημερησίων μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών σε σχέση με προγενέστερες περιόδους τριάντα ημερών (Piticar et al., 2018). Σύμφωνα με τους Nairn et al. (2009) η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία δεν μπορεί να παραληφθεί από τη μελέτη των καυσώνων, καθώς αφορά στην υψηλή θερμότητα που συσσωρεύεται και δεν εκφορτίζεται επαρκώς κατά τη διάρκεια της νύχτας (Langlois et al., 2013). Παράλληλα, βάσει του EHF χωρίζονται οι καύσωνες σε κατηγορίες ανάλογα με τη σφοδρότητά τους. Το ποσοστό της θνησιμότητάς τους εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκουν (Loridan et al., 2016). Οι πιο σπάνιοι αλλά εντονότεροι και σφοδρότεροι καύσωνες ασκούν πολύ ισχυρή επίδραση σε περίπτωση που δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας (Nairn et al., 2018).

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές επιστημονικές μελέτες για την περιγραφή ιστορικών σημαντικών καυσώνων, με την Αυστραλία να πρωταγωνιστεί στη χρήση του (Nairn et al., 2009, Nairn et al., 2018).



Στην παρούσα εργασία, μέσω χρησιμοποίησής του επιβεβαιώθηκε η ύπαρξή του καλοκαιρινού καύσωνα του 2019 στις 20 υπό μελέτη πρωτεύουσες της ευρωπαϊκής ηπείρου και εντοπίστηκαν πολύ αποτελεσματικά η ένταση αλλά και η διάρκεια του καύσωνα σε κάθε μία από αυτές. Τέλος, δεν αναλύθηκαν και ανιχνεύτηκαν επιτυχώς μόνο τα στατιστικά χαρακτηριστικά του καύσωνα του 2019, αλλά και οι συνθήκες που έλαβαν χώρα και που συνέδραμαν θετικά ή αρνητικά στην ανθρώπινη υγεία. Μελλοντικά, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μελέτη που να συμπεριλαμβάνει τα αποτελέσματα του δείκτη EHI(accl) και των ποσοστών θνησιμότητας ενός έντονου καύσωνα σε ένα αστικό κέντρο. Με τον τρόπο αυτό θα εξακριβωθεί το πόσο αρνητικά επιδρά στον άνθρωπο η έλλειψη εγκλιματισμού στις απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές. Επίσης, χρήσιμα αποτελέσματα θα εξάγονταν από μία ανάλογη μελέτη, στην οποία θα συμπεριλαμβάνονταν μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας, δύο εξίσου σημαντικές παράμετροι για τον ορισμό ενός καύσωνα.

Ai-Hui, W. and Jian-Jian, F., 2013. Changes in daily climate extremes of observed temperature and precipitation in China. *Atmospheric and oceanic science letters*, 6(5), pp.312-319.

Ballester, J., Rodó, X. and Giorgi, F., 2010. Future changes in Central Europe heat waves expected to mostly follow summer mean warming. *Climate dynamics*, 35(7-8), pp.1191-1205.

Bitencourt, D.P., Fuentes, M.V., Franke, A.E., Silveira, R.B. and Alves, M.P., 2020. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*, 40(4), pp.2464-2478.

Bonsal, B.R., Zhang, X., Vincent, L.A. and Hogg, W.D., 2001. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 14(9), pp.1959-1976.

Busuioc, A., Dumitrescu, A., Soare, E. and Orzan, A., 2007. Summer anomalies in 2007 in the context of extremely hot and dry summers in Romania. *Romanian Journal of Meteorology*, 9(1-2), pp.1-17.

Chaudhury, S.K., Gore, J.M. and Ray, K.S., 2000. Impact of heat waves over India. *Current Science*, 79(2), pp.153-155.

Chen, K., Bi, J., Chen, J., Chen, X., Huang, L. and Zhou, L., 2015. Influence of heat wave definitions to the added effect of heat waves on daily mortality in Nanjing, China. *Science of the Total Environment*, 506, pp.18-25.

Colacino, M. and Conte, M., 1995. Heat waves in the central Mediterranean. A synoptic climatology. *Il Nuovo Cimento C*, 18(3), pp.295-304.

Dasari, H.P., Pozo, I., Ferri-Yáñez, F. and Araújo, M.B., 2014. A regional climate study of heat waves over the Iberian Peninsula. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4(05), p.841.

De Boeck, H.J., Dreesen, F.E., Janssens, I.A. and Nijs, I., 2010. Climatic characteristics of heat waves and their simulation in plant experiments. *Global Change Biology*, 16(7), pp.1992-2000.

Della-Marta, P.M., Luterbacher, J., von Weissenfluh, H., Xoplaki, E., Brunet, M. and Wanner, H., 2007. Summer heat waves over western Europe 1880–2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. *Climate Dynamics*, 29(2-3), pp.251-275.

Deo, R.C., McAlpine, C.A., Syktus, J., McGowan, H.A. and Phinn, S., 2007. On Australian heat waves: time series analysis of extreme temperature events in Australia, 1950-2005. In *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM07)* (pp. 626-635). Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc..

Díaz, J., Garcia, R., De Castro, F.V., Hernández, E., López, C. and Otero, A., 2002. Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *International Journal of Biometeorology*, 46(3), pp.145-149.

Ding, T., Qian, W. and Yan, Z., 2010. Changes in hot days and heat waves in China during 1961–2007. *International Journal of Climatology*, 30(10), pp.1452-1462.

ECA&D Project Team, 2012a: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Version 10.6. 46 pp. [www.ecad.eu/documents/atbd.pdf.]

Fischer, E.M., Seneviratne, S.I., Lüthi, D. and Schär, C., 2007. Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves. *Geophysical Research Letters*, 34(6).

Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P. and Jougl, E., 2008. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International journal of Epidemiology*, 37(2), pp.309-317.

Furrer, E.M., Katz, R.W., Walter, M.D. and Furrer, R., 2010. Statistical modeling of hot spells and heat waves. *Climate Research*, 43(3), pp.191-205.

Giles, B.D., Balafoutis, C. and Maheras, P., 1990. Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*, 34(2), pp.98-104.

Gocheva, A., Trifonova, L., Marinova, T. and Bocheva, L., 2006. Extreme hot spells and heat waves on the territory of Bulgaria. *Water Observation and Information System for Decision Support*, pp.23-26.

Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B.G., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., Coelho, M.D.S.Z.S., Pan, X., Kim, H., Hashizume, M. and Honda, Y., 2017. Heat wave and mortality: a multicountry, multicomunity study. *Environmental health perspectives*, 125(8), p.087006.

Hajat, S., Armstrong, B., Baccini, M., Biggeri, A., Bisanti, L., Russo, A., Paldy, A., Menne, B. and Kosatsky, T., 2006. Impact of high temperatures on mortality: is there an added heat wave effect?. *Epidemiology*, pp.632-638.

Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W. and Haines, A., 2002. Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56(5), pp.367-372.

Hatvani-Kovacs, G., Belusko, M., Pockett, J. and Boland, J., 2016. Can the excess heat factor indicate heatwave-related morbidity? A case study in Adelaide, South Australia. *EcoHealth*, 13(1), pp.100-110.

Huth, R., Kyselý, J. and Pokorná, L., 2000. A GCM simulation of heat waves, dry spells, and their relationships to circulation. *Climatic Change*, 46(1-2), pp.29-60.

Huynen, M.M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M.P. and Kunst, A.E., 2001. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental health perspectives*, 109(5), pp.463-470.

Kent, S.T., McClure, L.A., Zaitchik, B.F., Smith, T.T. and Gohlke, J.M., 2014. Heat waves and health outcomes in Alabama (USA): the importance of heat wave definition. *Environmental health perspectives*, 122(2), pp.151-158.

Khan, N., Shahid, S., Ismail, T., Ahmed, K. and Nawaz, N., 2019. Trends in heat wave related indices in Pakistan. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 33(1), pp.287-302.

Kjellström, E., Bärning, L., Jacob, D., Jones, R., Lenderink, G. and Schär, C., 2007. Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe. *Climatic Change*, 81(1), pp.249-265.

Koffi, B. and Koffi, E., 2008. Heat waves across Europe by the end of the 21st century: multiregional climate simulations. *Climate Research*, 36(2), pp.153-168.

Kovats, R.S. and Kristie, L.E., 2006. Heatwaves and public health in Europe. *European journal of public health*, 16(6), pp.592-599.

Kuglitsch, F.G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Zerefos, C.S., Türkeş, M. and Luterbacher, J., 2010. Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37(4).

Kysely, J., 2004. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *International journal of biometeorology*, 49(2), pp.91-97.

Langlois, N., Herbst, J., Mason, K., Nairn, J. and Byard, R.W., 2013. Using the Excess Heat Factor (EHF) to predict the risk of heat related deaths. *Journal of forensic and legal medicine*, 20(5), pp.408-411.

Lhotka, O. and Kysely, J., 2015. Spatial and temporal characteristics of heat waves over Central Europe in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Dynamics*, 45(9-10), pp.2351-2366.

Loridan, T., Coates, L., Argueso, D., Perkins-Kirkpatrick, S.E. and McAneney, J., 2016. The Excess Heat Factor as a metric for heat-related fatalitis: Defining heatwave risk categories. *Australian Journal of Emergency Management, The*, 31(4), p.31.

Luber, G. and McGeehin, M., 2008. Climate change and extreme heat events. *American journal of preventive medicine*, 35(5), pp.429-435.

McKechnie, A.E. and Wolf, B.O., 2010. Climate change increases the likelihood of catastrophic avian mortality events during extreme heat waves. *Biology letters*, 6(2), pp.253-256.

Meehl, G.A. and Tebaldi, C., 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), pp.994-997.

Moberg, A., Jones, P.D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L.V., Della-Marta, P.M., Luterbacher, J., Yiou, P. and Chen, D., 2006. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D22).

Murari, K.K., Ghosh, S., Patwardhan, A., Daly, E. and Salvi, K., 2015. Intensification of future severe heat waves in India and their effect on heat stress and mortality. *Regional Environmental Change*, 15(4), pp.569-579.

Nairn, J.R. and Fawcett, R.J., 2015. The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. *International journal of environmental research and public health*, 12(1), pp.227-253.

Nairn, J., Fawcett, R. and Ray, D., 2009, November. Defining and predicting excessive heat events, a national system. In *Extended Abstracts, Modelling and Understanding High Impact Weather, Third CAWCR Modelling Workshop*. Centre for Australian Weather and Climate Research. CAWCR Technical Report (No. 017, pp. 83-86).

Nairn, J., Ostendorf, B. and Bi, P., 2018. Performance of excess heat factor severity as a global heatwave health impact index. *International journal of environmental research and public health*, 15(11), p.2494.

Ostro, B.D., Roth, L.A., Green, R.S. and Basu, R., 2009. Estimating the mortality effect of the July 2006 California heat wave. *Environmental Research*, 109(5), pp.614-619.

Otto, F.E., Massey, N., Van Oldenborgh, G.J., Jones, R.G. and Allen, M.R., 2012. Reconciling two approaches to attribution of the 2010 Russian heat wave. *Geophysical Research Letters*, 39(4).

Perkins, S.E. and Alexander, L.V., 2013. On the measurement of heat waves. *Journal of Climate*, 26(13), pp.4500-4517.

Perkins, S.E., Alexander, L.V. and Nairn, J.R., 2012. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letters*, 39(20).

Pirard, P., 2003. Heat wave: a climatic deadly phenomena that can be prevented. *Enfermedades Emergentes*, 5, pp.145-146.

Piticar, A., Croitoru, A.E., Ciupertea, F.A. and Harpa, G.V., 2018. Recent changes in heat waves and cold waves detected based on excess heat factor and excess cold factor in Romania. *International Journal of Climatology*, 38(4), pp.1777-1793.

Raei, E., Nikoo, M.R., AghaKouchak, A., Mazdiyasni, O. and Sadegh, M., 2018. GHWR, a multi-method global heatwave and warm-spell record and toolbox. *Scientific data*, 5(1), pp.1-15.

Robinson, P.J., 2001. On the definition of a heat wave. *Journal of applied Meteorology*, 40(4), pp.762-775.

Röthlisberger, M., Sprenger, M., Flaounas, E., Beyerle, U. and Wernli, H., 2020. The substructure of extremely hot summers in the Northern Hemisphere. *Weather and Climate Dynamics*, 1(1), pp.45-62.

Russo, A., Gouveia, C.M., Dutra, E., Soares, P.M.M. and Trigo, R.M., 2019. The synergy between drought and extremely hot summers in the Mediterranean. *Environmental Research Letters*, 14(1), p.014011.

Rusticucci, M. and Barrucand, M., 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, 17(20), pp.4099-4107.

Salinger, M.J. and Griffiths, G.M., 2001. Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(12), pp.1437-1452.

Schär, C. and Jendritzky, G., 2004. Hot news from summer 2003. *Nature*, 432(7017), pp.559-560.

Shevchenko, O., Lee, H., Snizhko, S. and Mayer, H., 2014. Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*, 34(5), pp.1642-1650.

Smith, T.T., Zaitchik, B.F. and Gohlke, J.M., 2013. Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Climatic Change*, 118(3-4), pp.811-825.

Song, X., Wang, S., Li, T., Tian, J., Ding, G., Wang, J., Wang, J. and Shang, K., 2018. The impact of heat waves and cold spells on respiratory emergency department visits in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 615, pp.1499-1505.

Tolika, K., 2019. Assessing Heat Waves over Greece Using the Excess Heat Factor (EHF). *Climate*, 7(1), p.9.

Tolika, K., Maheras, P. and Tegoulis, I., 2009. Extreme temperatures in Greece during 2007: Could this be a "return to the future"? *Geophysical Research Letters*, 36(10).

Tomczyk, A.M. and Bednorz, E., 2016. Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. *International Journal of Climatology*, 36(2), pp.770-782.

Tong, S., Wang, X.Y. and Barnett, A.G., 2010. Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. *PloS one*, 5(8), p.e12155.

Twardosz, R. and Kossowska-Cezak, U., 2013. Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951–2010). *Theoretical and Applied Climatology*, 112(3-4), pp.617-628.

Ustrnul, Z., Czekierda, D. and Wypych, A., 2010. Extreme values of air temperature in Poland according to different atmospheric circulation classifications. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9-12), pp.429-436.

Wang, L., Huang, J., Luo, Y., Yao, Y. and Zhao, Z., 2015. Changes in extremely hot summers over the global land area under various warming targets. *PloS one*, 10(6), p.e0130660.

Whan, K., Zscheischler, J., Orth, R., Shongwe, M., Rahimi, M., Asare, E.O. and Seneviratne, S.I., 2015. Impact of soil moisture on extreme maximum temperatures in Europe. *Weather and Climate Extremes*, 9, pp.57-67.

Wolf, T. and McGregor, G., 2013. The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, pp.59-68.

Yan, Z., Jones, P.D., Davies, T.D., Moberg, A., Bergström, H., Camuffo, D., Cocheo, C., Maugeri, M., Demarée, G.R., Verhoeve, T. and Thoen, E., 2002. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. In *Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources* (pp. 355-392). Springer, Dordrecht.

Yang, J., Yin, P., Sun, J., Wang, B., Zhou, M., Li, M., Tong, S., Meng, B., Guo, Y. and Liu, Q., 2019. Heatwave and mortality in 31 major Chinese cities: definition, vulnerability and implications. *Science of The Total Environment*, 649, pp.695-702.

Yiou, P., Cattiaux, J., Faranda, D., Kadyrov, N., Jézéquel, A., Naveau, P., Ribes, A., Robin, Y., Thao, S., van Oldenborgh, G.J. and Vrac, M., 2020. Analyses of the Northern European summer heatwave of 2018. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(1), pp.S35-S40.

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Fnais, M. and Lelieveld, J., 2016. Projected changes in heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and the Middle East. *Regional environmental change*, 16(7), pp.1863-1876.

Ζουμάκης, Μ., 2016. *Μελέτη της θνησιμότητας που σχετίζεται με τα επεισόδια καύσωνα κατά τη θερινή περίοδο των ετών 1945-2010 στο Δήμο Θεσσαλονίκης* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Επιστημών Υγείας. Τμήμα Ιατρικής. Εργαστήριο Υγιεινής).

ΠΕΤΑΛΗΣ, Α., ΠΑΡΩΝΗΣ, Δ., ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ, Σ., ΤΥΜΒΙΟΣ, Φ., ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ, Δ., ΧΑΤΖΗΜΙΤΣΗΣ, Δ. and ΑΓΑΠΙΟΥ, Α., ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΣΤΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΙ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΚΑΥΣΩΝΑ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ.

Σπύρου, Κ., 2000. *Συνοπτική και δυναμική μελέτη του φαινομένου του καύσωνα στον ευρύτερο ελληνικό χώρο* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας).

<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/25430#page/10/mode/2up>

Διαδικτυακές πηγές

<https://www.ecad.eu/dailydata/predefinedseries.php>

<https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>

http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

<https://public.wmo.int/en/media/news/european-heatwave-sets-new-temperature-records>



<https://public.wmo.int/en/media/news/july-matched-and-maybe-broke-record-hottest-month-analysis-began>

<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/25430#page/10/mode/2up>