

Urban flood resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning

Επιμέλεια:

Επ. Καθ. Μ. Σπηλιώτης - Ε. Ευφραιμίδου
ΔΠΘ

ανθεκτικότητα σε πλ για αστικές περιοχές

Louise Bertilssona, Karin Wiklunda, Isadora de Moura Tebaldib, Osvaldo Moura Rezendec, Aline Pires Verólb,c, Marcelo Gomes Miguez

Εισαγωγή

- Η κλιματική αλλαγή και η αυξανόμενη αστικοποίηση θέτουν τεράστιες προκλήσεις στη διαχείριση του αστικού σχεδιασμού για ένα βιώσιμο μέλλον.
- Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή είναι πολύ πιθανό να αλλάξει τον υδρολογικό κύκλο σε πολλές περιοχές, προκαλώντας μεγαλύτερη πιθανότητα ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασίες και πλημμύρες (Bates et al., 2008)
- Η αστικοποίηση επιδεινώνει επίσης τις πλημμύρες αυξάνοντας την ποσότητα των αδιαπέραστων επιφανειών και τροποποιώντας τις διαδρομές ροής.
- Σε πρόσφατη έκθεση για τις φυσικές καταστροφές (UNISDR, CRED, 2015), τα Ηνωμένα Έθνη επεσήμαναν ότι το 43% από αυτές, την περίοδο μεταξύ 1995 και 2015, σχετίζονταν με πλημμύρες. Αυτά τα γεγονότα επηρέασαν περισσότερους από τους μισούς (56%) όλων των ανθρώπων που υπέφεραν από κάθε είδους φυσική καταστροφή, σκοτώνοντας περίπου το ένα τέταρτο από αυτούς (26%).
- Τα ποσοστά αστικοποίησης αυξάνονται ραγδαία και είναι σημαντικό να μάθουμε πώς να ζούμε με τις πλημμύρες, μετριάζοντας τις συνέπειές τους, στο παρόν και στο μέλλον. Αυτή η ανησυχία υποδεικνύει την έννοια της **ανθεκτικότητας**.

Βασικοί Ορισμοί

Κίνδυνος	ένα φυσικό φαινόμενο ή μια ανθρώπινη δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει μέσα σε καθορισμένο χρονικό διάστημα επιπτώσεις στον άνθρωπο, τις υποδομές, το περιβάλλον, στην περιουσία, συμπεριλαμβανομένης της πολιτιστικής κληρονομιάς, σε συγκεκριμένη περιοχή και ορισμένη χρονική περίοδο
Ανάλυση κινδύνου	προσδιορισμός, μελέτη και παρακολούθησή του για τον εντοπισμό της δυναμικής, της προέλευσης, των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του
Διακινδύνευση	είναι η πιθανότητα ένας κίνδυνος να προκαλέσει επιπτώσεις στον άνθρωπο, τις υποδομές, στο περιβάλλον, στην περιουσία, συμπεριλαμβανομένης της πολιτιστικής κληρονομιάς, σε συγκεκριμένη περιοχή και ορισμένη χρονική περίοδο και καθορίζεται από το συνδυασμό των παραγόντων του κινδύνου, της έκθεσης και της τρωτότητας.
Τρωτότητα	οι συνθήκες που καθορίζονται από φυσικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς, τεχνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες ή διαδικασίες που αυξάνουν την ευπάθεια του ατόμου, των κοινωνικών ομάδων και των υποδομών σε περίπτωση εκδήλωσης κινδύνου ή καταστροφής

Ανθεκτικότητα

Μπορεί να οριστεί (Sayers et al., 2013) ως «Η ικανότητα ενός ατόμου, μιας κοινότητας, πόλης ή έθνους να αντισταθεί, να απορροφήσει ή να ανακάμψει από ένα σοκ (όπως μια ακραία πλημμύρα) και/ή να προσαρμοστεί επιτυχώς σε αντιξοότητες ή αλλαγή των συνθηκών (όπως η κλιματική αλλαγή ή μια οικονομική ύφεση) με έγκαιρο και αποτελεσματικό τρόπο»

Δείκτες Ανθεκτικότητας	
FResI	Προτάθηκε από τον Verol το 2013. Το πρόβλημα των αστικών πλημμυρών προσεγγίζεται βήμα προς βήμα εξετάζοντας τη διάγνωση της τρέχουσας κατάστασης, χρησιμοποιώντας υδροδυναμικά μοντέλα για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας με χρήση προσέγγισης πολλαπλών κριτηρίων και έναν υπολογισμό ανθεκτικότητας, στάθμιση κινδύνων στο παρόν και στο μέλλον, τροποποιημένο ή όχι από διαφορετικές εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις. Αυτή η προσέγγιση, ωστόσο, είναι ενσωματωμένη πάνω από τη λεκάνη απορροής και η ανθεκτικότητα δεν χαρτογραφείται σε χωρικούς όρους
SFRESI	Προτείνεται από το συγγραφέας του άρθρου και παρέχει ένα ποσοτικό εργαλείο για την χαρτογράφηση της ανθεκτικότητας στις πλημμύρες με χωροταξικό τρόπο σε αστική λεκάνη απορροής.

Ανθεκτικότητα

Ο Holling (1973, 1996) όρισε την ανθεκτικότητα ενός συστήματος με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Η μηχανική ανθεκτικότητα επικεντρώνεται στη σταθερότητα κοντά σε μια σταθερή κατάσταση ισορροπίας, όπου η αντίσταση στη διαταραχή και η ταχύτητα επιστροφής στην ισορροπία είναι τα χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν την ελαστικότητα.
- Η οικολογική ανθεκτικότητα, από την άλλη πλευρά, ορίζει την ανθεκτικότητα με δυναμικό τρόπο, αποδεχόμενη διαφορετικές δυνατότητες ισορροπίας, όπου η ικανότητα απορρόφησης του μεγέθους της διαταραχής πριν αλλάξει η δομή της είναι το κύριο χαρακτηριστικό.

Ο Holling (1996) τονίζει ότι η μηχανική ανθεκτικότητα εστιάζει στην αποτελεσματικότητα, τη σταθερότητα και την προβλεψιμότητα, ενώ η οικολογική ανθεκτικότητα εστιάζει στην επιμονή, την αλλαγή και την απρόβλεπτη ικανότητα.

Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα κοινοτήτων ή πόλεων μπορεί να περιλαμβάνει τρία κύρια χαρακτηριστικά, όπως ορίζονται από τους Birkland και Waterman (2009):

- ❖ πρόληψη ζημιών,
- ❖ ταχεία αποκατάσταση και
- ❖ διατήρηση της λειτουργικότητας της κοινότητας

Οι Miguez και Veról (2017), όρισαν την **ανθεκτικότητα** (σε ένα πλαίσιο ανθεκτικότητας της πόλης στις πλημμύρες) ως: την ικανότητα ενός συστήματος να συνεχίσει να αντιστέκεται, ακόμη και αν υποβάλλεται σε στρεσογόνες συνθήκες πέρα από αυτές που καθορίζονται από τα κριτήρια σχεδιασμού. την ικανότητα του συστήματος να ανακάμπτει δομικά από ζημιές· και την ικανότητα του συστήματος να αποκαθιστά γρήγορα τις λειτουργίες, συνεχίζοντας να προσφέρει τις υπηρεσίες του.

Η ανθεκτικότητα για τις αστικές μεγαπόλεις έχει ευρύτερη σημασία και βαρύτητα

Ανθεκτικότητα σε πλημμύρες σε πόλεις

- Υβριδική αντιμετώπιση μεταξύ μηχανικής και οικολογικής εννοίας της ανθεκτικότητας

Ανθεκτικότητα

Σύμφωνα με την UNESCO (Sayers et al., 2013) Η ανθεκτικότητα εμφανίζεται στον ορισμό του κινδύνου πλημμύρας ως στοιχείο της τρωτότητας.

Λαμβάνοντας αυτόν τον ορισμό ως αναφορά, η τρωτότητα αποτελείται από την εγγενή ευαισθησία σε ζημιά των στοιχείων του συστήματος, την αξία αυτών των στοιχείων και την ανθεκτικότητα. Σε αυτόν τον ορισμό, η τρωτότητα είναι υψηλή εάν η ευαισθησία σε ζημιά και η αξία είναι επίσης υψηλές. Με τη σειρά της, η ανθεκτικότητα δρα με την αντίθετη έννοια, μειώνοντας την ευπάθεια όταν η αξία της είναι υψηλή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ωστόσο, ότι η ανθεκτικότητα δεν είναι η αντίθετη ποιότητα της τρωτότητα. Στην πραγματικότητα, μπορεί να μειώσει την ευπάθεια, αλλά έχει τα δικά της χαρακτηριστικά.

Η κατανόηση της ευπάθειας μπορεί να είναι σημαντική για τη σύνθεση ενός ευρύτερου πλαισίου όπου εμφανίζεται επίσης η ανθεκτικότητα.

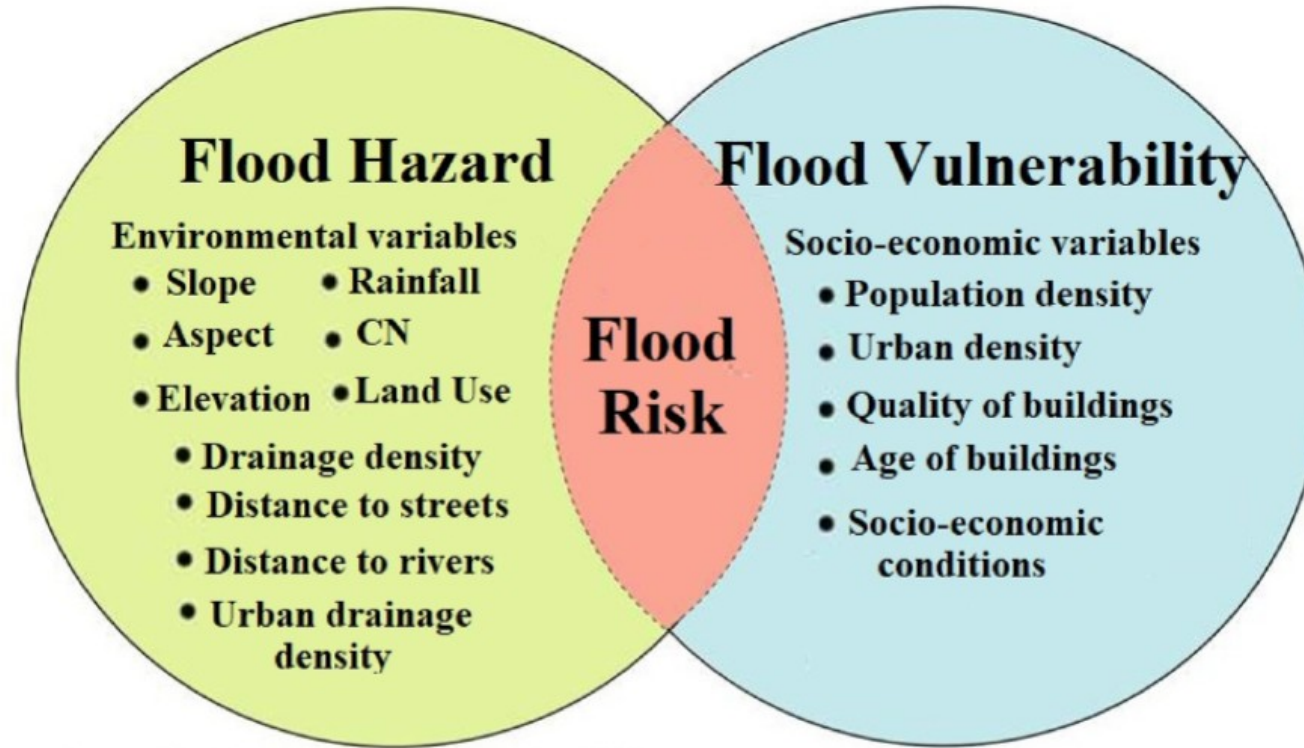
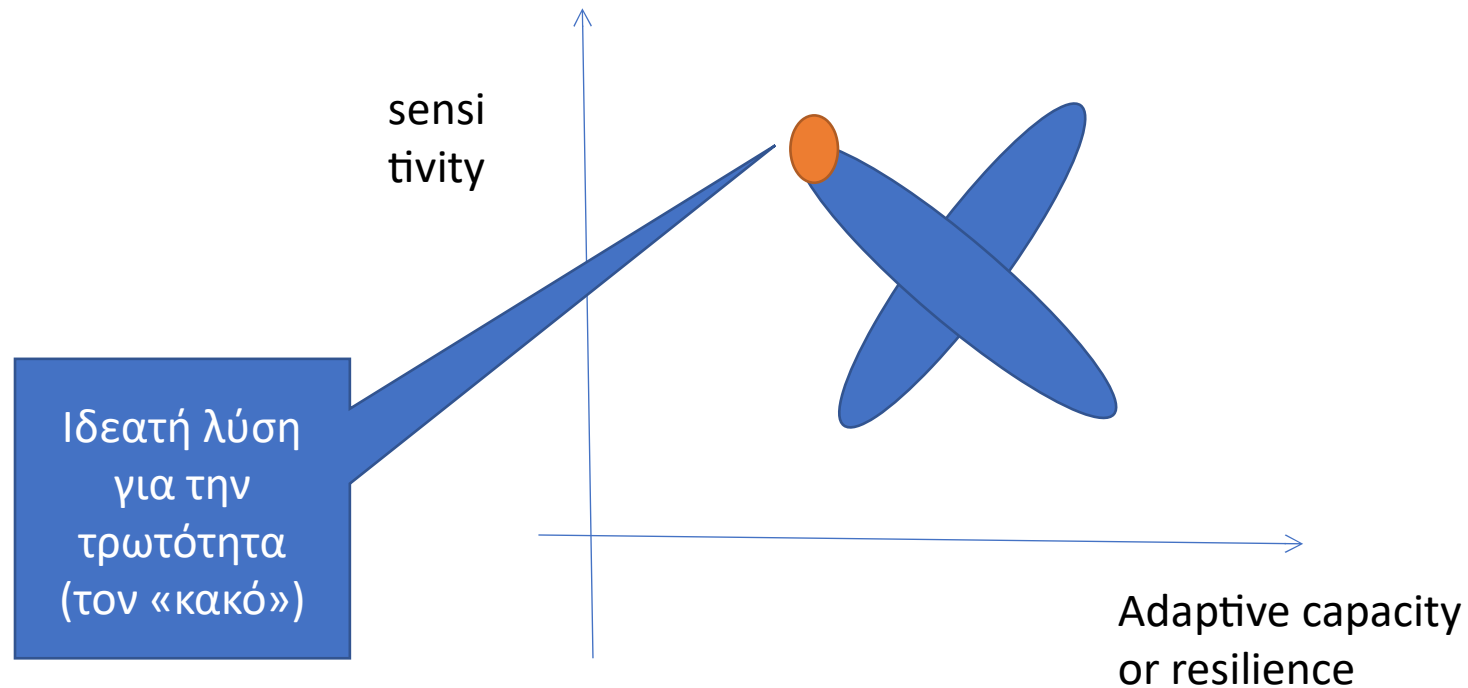


Fig. 4. Flood risk diagram.

Δύο συνιστώσες της τρωτότητας



Πολλοί αναλυτές προσθέτουν και την ιστορική εμπειρία το Exposure (π.χ. θάνατοι στο παρελθόν)

Ανθεκτικότητα

Στην τεχνική βιβλιογραφία εμφανίζονται διάφορες πτυχές της τρωτότητας, κυρίως όσον αφορά τα χαρακτηριστικά υποδομής, τα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά. Ο Birkmann (2005) υπέθεσε πέντε διαφορετικές πιθανές προσεγγίσεις ευπάθειας.

1. Θεωρεί την τρωτότητα ως εγγενές χαρακτηριστικό του επηρεαζόμενου στοιχείου στην έννοια του κινδύνου.
2. Αναλύει την τρωτότητα ως το επίπεδο ευαισθησίας σε βλάβη ή πρόκληση βλάβης.
3. Βασίζεται σε μια δυαδική άποψη που αντιπαραβάλλει **την ευαισθησία στη βλάβη** και την **ανθεκτικότητα (συμπεριλαμβανομένης της ανθεκτικότητας στη συζήτηση για την ευπάθεια)**.
4. Εξατομικεύει μια πολλαπλή δομή που εξετάζει την έκθεση, την ευαισθησία, την ανταπόκριση και την προσαρμογή και
5. Έχει πολυδιάστατο χαρακτήρα, αντιμετωπίζοντας τα φυσικά, κοινωνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά και θεσμικά χαρακτηριστικά της τρωτότητας, σε μια ολοκληρωμένη ερμηνεία.

Επομένως, η ανθεκτικότητα είναι μια ευρεία και σύνθετη έννοια, που είναι δύσκολο να εκφραστεί με ποσοτικούς όρους ή ένα μόνο κριτήριο.

Ανθεκτικότητα

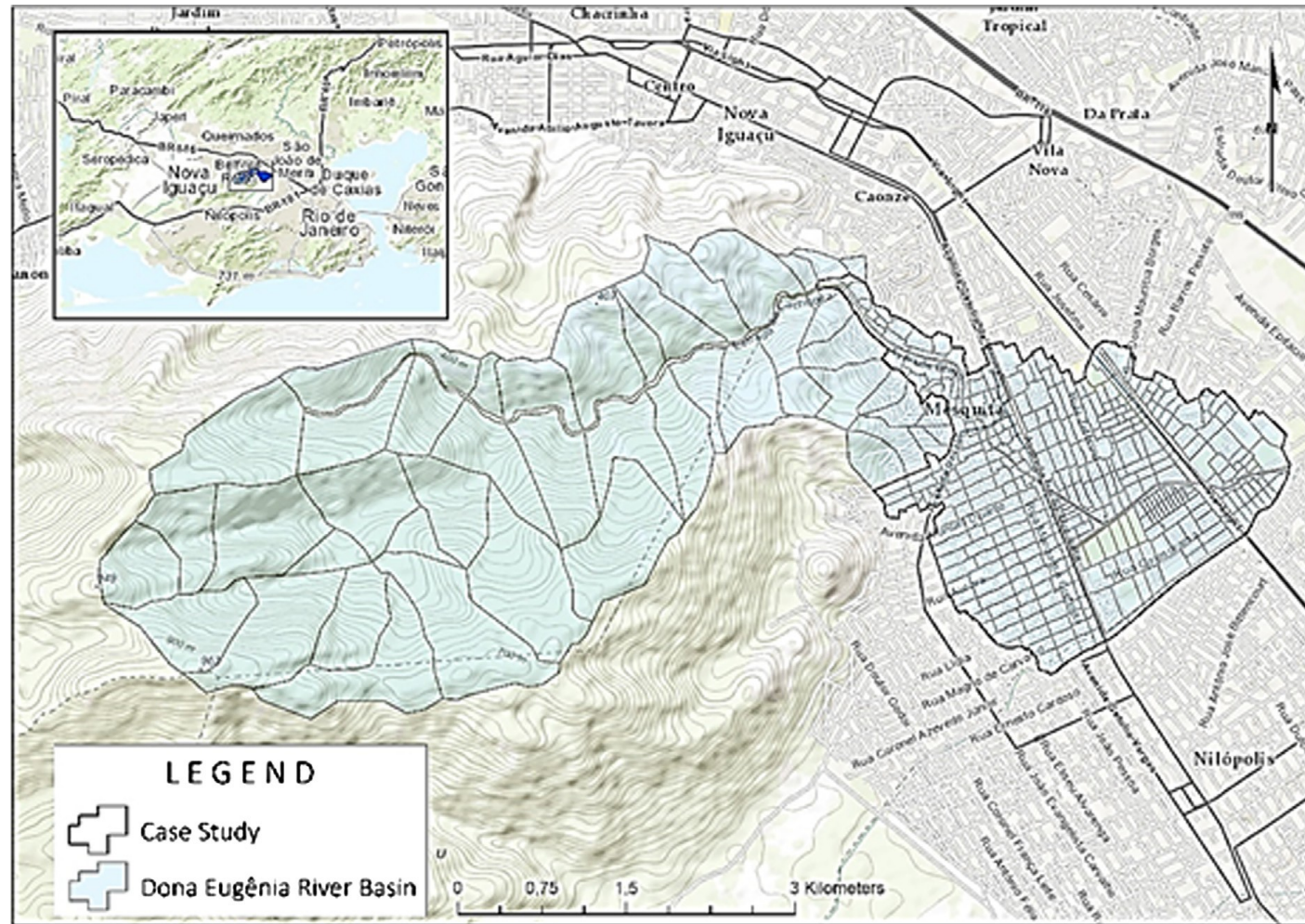
Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποια από τα λίγα μαθηματικά μοντέλα που ποσοτικοποιούν την ανθεκτικότητα με απτό τρόπο:

- ❖ Kotzee και Reyers (2016): Τονίζουν ότι «υπάρχει ανάγκη να προχωρήσουμε προς προσεγγίσεις που διαχειρίζονται την ανθεκτικότητα του συστήματος στις πλημμύρες, κατανοώντας και διαχειριζόμενοι τους παράγοντες ευπάθειας και προσαρμοστικής ικανότητας». Παρουσιάζουν μια ποσοτική μέθοδο όπου 24 δείκτες ανθεκτικότητας που σχετίζονται με τις πλημμύρες αναμειγνύονται σε ένα σύνθετο δείκτη, ικανό να χαρτογραφήσει τη χωρική κατανομή της ανθεκτικότητας στις πλημμύρες. Οι δείκτες καλύπτουν πτυχές σχετικών κοινωνικών, οικολογικών, υποδομών και οικονομικών πτυχών τριών δήμων στη Νότια Αφρική. Η χαμηλότερη ανθεκτικότητα στις πλημμύρες βρέθηκε στην περιφέρεια των πόλεων (συννά σε περιαστικούς άτυπους οικισμούς). Αυτά τα μέρη είχαν επίσης τη χαμηλότερη κοινωνική, οικονομική και οικολογική ανθεκτικότητα.

Ανθεκτικότητα

- ❖ Οι Mugume et al. (2015) παρουσίασαν έναν δείκτη ανθεκτικότητας με στόχο την ποσοτικοποίηση της υπολειπόμενης λειτουργικότητας του συστήματος, μετατοπίζοντας τον στόχο ανάλυσης από τον κίνδυνο στην απόδοση του συστήματος, όταν υπόκεινται σε μεγάλο αριθμό σεναρίων αστοχίας με συγκεκριμένο μέγεθος και διάρκεια, που οδηγεί σε πρόταση στρατηγικών προσαρμογής.
- ❖ Ο Verol (2013) έκανε επίσης μια προσπάθεια να μετρήσει την ανθεκτικότητα, όπως ήδη αναφέρθηκε. Πρότεινε έναν ολοκληρωμένο δείκτη ανθεκτικότητας, με σκοπό να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων για εναλλακτικές λύσεις ελέγχου των πλημμυρών. Αυτός ο δείκτης διαμορφώθηκε για να μετρήσει την απόκριση της πόλης όσον αφορά τον έλεγχο του κινδύνου πλημμύρας όταν αντιμετωπίζει μια ασυνήθιστη δυσμενή μελλοντική κατάσταση, που δεν προβλέπεται στη διαδικασία σχεδιασμού και ξεπερνά τον ορίζοντά της. Αυτός ο δείκτης, ωστόσο, ήταν σε θέση να μετρήσει μόνο τις συνολικές αποκρίσεις.

Περιοχή Μελέτης: λεκάνη απορροής του ποταμού Dona Eugênia Ρίο ντε Τζανέιρο, Βραζιλία



Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής είναι αστικοποιημένο

Περιοχή Μελέτης

- Οι κατασκευές κατασκευάζονται κατά μήκος των όχθων του ποταμού, εισβάλλοντας στο χώρο του ποταμού και περιορίζοντας τη ροή, γεγονός που προκαλεί ακατάλληλο φαινόμενο «περιορισμού» σε μεγάλες εκτάσεις του ποταμού, εξαλείφοντας την αλληλεπίδραση του ποταμού με τις πλημμυρικές πεδιάδες.
- Η απομάκρυνση της βλάστησης στις αστικές περιοχές έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.
- Οι διεργασίες λάσπης λαμβάνουν χώρα σε διάφορες εκτάσεις ποταμών και
- Υπάρχουν πολλές παράνομες συνδέσεις που απορρίπτουν λύματα απευθείας στο ποτάμι και μια γενική συσσώρευση στερεών αποβλήτων.



Μέθοδος---πολλαπλοί δείκτες

S-FRESI: εξετάζει τα στοιχεία ανθεκτικότητας όπως προτάθηκαν από τους Miguez και Veról (2017) και αντιπροσωπεύει την ανθεκτικότητα μοντελοποιώντας τις ικανότητες:

- διατήρησης της αντίστασης για μια χρονική περίοδο.
- των πληγεισών κοινοτήτων να ανακτήσουν από υλικές απώλειες και
- του αποχετευτικού συστήματος να ανακτήσει τις λειτουργίες του και να συνεχίσει να λειτουργεί μετά την καταιγίδα, διασφαλίζοντας βασικές προϋποθέσεις για την επιστροφή των αστικών υπηρεσιών στην κανονικότητα.

Κάθε μία από αυτές τις ικανότητες θα μοντελοποιηθεί ως μέρος της τελικής εξίσωσης δείκτη. Ωστόσο, αυτό το μοντέλο δεν σκοπεύει να συλλάβει όλες τις πιθανές ερμηνείες της ανθεκτικότητας - αυτό θα ήταν αδύνατο. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα τρία, είναι δυνατό να εξεταστούν αλλαγές στη διάταξη του συστήματος αποχέτευσης και στις κατανεμημένες παρεμβάσεις στη λεκάνη απορροής, για τη μείωση των πλημμυρών (μείωση του κινδύνου), αλλά είναι επίσης δυνατό να εξεταστούν μέτρα προσαρμογής που θέτουν τα κτίρια σε ασφαλέστερη κατάσταση.

Έχει σχεδιαστεί για να ενσωματώνει τις υποδομές και τις κοινωνικοοικονομικές πτυχές με τον κίνδυνο πλημμύρας, λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερθείσες εγκαταστάσεις, όπως παρουσιάζεται στην συνέχεια:

Μέθοδοι

S-FRESI: αποτελείται από τρία μέρη. Κάθε μέρος λειτουργεί ως υποδείκτης και οι τρεις υποδείκτες υπολογίζονται αφαιρώντας τους δείκτες από τη μονάδα, ώστε να έχουμε υψηλούς αριθμούς που αντιπροσωπεύουν υψηλή ανθεκτικότητα, ενώ αριθμοί κοντά στο μηδέν αντιπροσωπεύουν χαμηλή ανθεκτικότητα. Αυτή η επιλογή υποδηλώνει ότι η υψηλή ανθεκτικότητα εμφανίζεται όταν ελαχιστοποιούνται οι αρνητικές συνέπειες.

Το πρώτο μέρος του μοντέλου Εξ. (1) στοχεύει να αναπαραστήσει το βαθμό στον οποίο ο πληθυσμός και οι κατοικίες προστατεύονται από επιβλαβείς φυσικές επιπτώσεις. Συνδυάζει διαστάσεις κινδύνου, έκθεσης και ευαισθησίας (IH, IE, IS). για την αξιολόγηση του αντίκτυπου της πλημμύρας στην περιοχή μελέτης, παρόμοια με τον ορισμό του κινδύνου. Στην πραγματικότητα, εάν θεωρείται μεμονωμένο, είναι ένα μέτρο αντίστασης, αλλά εάν η αντίσταση διατηρείται με την πάροδο του χρόνου συνεπάγεται την επίτευξη μεγαλύτερης ανθεκτικότητας. Με άλλα λόγια, αυτό το μέρος της εξίσωσης εισάγει ένα μέτρο για την αντίσταση και ο δείκτης S-FRESI πρέπει να χρησιμοποιηθεί συγκριτικά. Η ικανότητα διατήρησης της αντίστασης με την πάροδο του χρόνου αξιολογείται όταν συγκρίνεται μια τρέχουσα κατάσταση με ένα μελλοντικό (τροποποιημένο) σενάριο, όπου ένα συγκεκριμένο έργο μπορεί να δοκιμαστεί ενάντια στην αστική ανάπτυξη ή την κλιματική αλλαγή, για παράδειγμα. Η ανάλυση για έναν χρονικό ορίζοντα δίνει την προκατάληψη της ανθεκτικότητας στον δείκτη.

Μέθοδοι

S-FRESI:

Το δεύτερο μέρος του μοντέλου Εξ. (2) στοχεύει να δείξει την οικονομική ικανότητα ανάκτησης από απώλειες που σχετίζονται με πλημμύρες (IRM) που συνδέονται με ζημιές σε κτίρια κατοικιών και στο περιεχόμενό τους. Όσο υψηλότερο είναι το εισόδημα, τόσο καλύτερο θα είναι το στοιχείο ανάκτησης. Με μικρή προσαρμογή, μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη εξωτερικές ενισχύσεις σε νομισματικούς όρους.

(2)

Το τρίτο μέρος του μοντέλου Εξ. (3) στοχεύει να δείξει την ικανότητα του αποχετευτικού συστήματος να ανακάμπτει από υπερχειλίσεις, διατηρώντας τη λειτουργικότητά του μετά την εκδήλωση της καταιγίδας που αποστραγγίζει τις πλημμυρισμένες περιοχές. Είναι σύνηθες (αν και ανεπιθύμητο) αυτό το τμήμα της πόλης παραμένει πλημμυρισμένο για μεγάλες περιόδους μετά το τέλος της καταιγίδας. Αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, λόγω ανεπαρκούς μικρής αποστράγγισης, έλλειψης προηγούμενης συντήρησης ή λόγω απόφραξης κατά τη διάρκεια του συμβάντος πλημμύρας, λόγω των στερεών αποβλήτων που μεταφέρονται από την επιφανειακή ροή. Η περιοχή παραμένει πλημμυρισμένη, δεν είναι δυνατή η επιστροφή στην κανονικότητα των αστικών συστημάτων και υπηρεσιών στο σύνολό τους. Επομένως η εξίσωση (3) σχετίζεται με τη διάρκεια της πλημμύρας (IDE) και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει την κινητικότητα των πεζών, εμποδίζει την κυκλοφορία και καταστρέφει κτίρια.

$$Μ ε ρ ο ς τ ρ ι τ ο = [1 - I_{D E}] (3)$$

Μέθοδοι

S-FRESI: Όταν συνδυάζονται τα τρία μέρη προκύπτει η τελική εξίσωση

Κάθε μέρος μπορεί να σταθμιστεί ανάλογα με τη σημασία ή τη συνάφειά του με την υπό ανάλυση περίπτωση. Ωστόσο, η εστίαση σε αυτή τη μελέτη είναι στην αξιολόγηση της επάρκειας των δεικτών και της διατύπωσης ως συνόλου, επομένως ο έλεγχος της επίδρασης των βαρών δεν δόθηκε προτεραιότητα σε αυτό το στάδιο. Ως εκ τούτου, στα τρία μέρη της προτεινόμενης εξίσωσης εκχωρήθηκαν ίσα βάρη, $m_1=m_2=m_3=0,333$. Οι τρεις υποδείκτες, IH, IE, IS, έχουν εκθετικά βάρη: $n_1=0,5$, $n_2=0,25$, $n_3=0,25$. Σημειώστε ότι το n_1 αντιπροσωπεύει το βάρος του κινδύνου, ενώ το n_2 και το n_3 (μαζί, αθροίζοντας επίσης στο 0,50) αντιπροσωπεύουν τις συνέπειες. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αυτά τα βάρη μπορούν να τροποποιηθούν για να προσαρμοστούν σε μια συγκεκριμένη ερμηνεία και θα πρέπει να οριστούν σωστά από τους διαχειριστές της πόλης ή τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, συνιστάται ανάλυση ευαισθησίας ως περαιτέρω βήμα. Αναλυτικά οι δείκτες που συνθέτουν το S-FRESI κανονικοποιούνται σε τιμές που κυμαίνονται μεταξύ μηδέν και ενός.

S-FRESI

Δείκτες προσεγγίζουν τα κριτήρια, έχω τρία βασικά κριτήρια

Σύνθεση
κριτηρίων

1. Αντίσταση (Resistance)

Κίνδυνος (Hazard)

Έκθεση (Exposure)
(σχ. θα προτιμούσα δάνειο από sensitivity)

Επιδεκτικότητα (Susceptibility)



Επίπεδα πλημμύρας

όλες οι κατοικίες σε πλημμυρισμένη περιοχή

κατοικίες που επηρεάζονται άμεσα από τις πλημμύρες και έχουν υποστεί ζημιές



2. Ανάκτηση απωλειών (Material Recovery)



Ετήσια εξοικονόμηση



3. Επίδραση διάρκειας (Duration Effect)



διάρκεια πλημμύρας που επηρεάζει την κινητικότητα των πεζών και τα κτίρια



S - FRESI

3 βασικά κριτήρια

Δείκτες

Hazard, IH: αναφέρεται στον κίνδυνο πλημμύρας που σχετίζεται κυρίως με τα επίπεδα πλημμύρας, τα οποία λήφθηκαν. Τα βάθη του νερού προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας ένα υδροδυναμικό μοντέλο που ονομάζεται MODCEL (Mascarenhas and Miguez, 2002; Miguez et al., 2017) Το MODCEL βασίζεται στην έννοια των κυψελών ροής (Zanobetti και Lorgeré 1968) και χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή χαρτών πλημμύρας.

Το MODCEL ενσωματώνει ένα απλό κατανεμημένο υδρολογικό μοντέλο με ένα ψευδο-2D υδροδυναμικό μοντέλο, που ενσωματώνει αρκετούς υδραυλικούς συνδέσμους. Μεταξύ αυτών των συνδέσμων, για παράδειγμα, είναι η δυναμική εξίσωση του Saint Venant, οι επιφανειακές ροές, τα φράγματα με φαρδύ λοφίο, τα στόμια, οι αντλίες, οι πύλες με πτερύγια, οι είσοδοι και οι αποχετεύσεις καταιγίδων. Το κύριο χαρακτηριστικό του αναφέρεται στην προσομοίωση των επιφανειακών ροών μαζί με τις αποχετεύσεις ομβρίων και τα κύρια κανάλια.

Τα βάθη πλημμύρας ομαλοποιήθηκαν διαιρώντας τα με ένα βάθος πλημμύρας αναφοράς. Επομένως, η μέγιστη τιμή IH αποδόθηκε σε κυψέλες ροής με επίπεδα νερού πάνω από το βάθος πλημμύρας αναφοράς. Για όλες τις άλλες περιπτώσεις, η εξ. (5) εφαρμόστηκε. Το βάθος πλημμύρας αναφοράς θα πρέπει να θεωρείται ως κατώτατο επίπεδο πλημμύρας όπου σημειώνονται σημαντικές, αν όχι συνολικές, απώλειες σε περίπτωση υπέρβασης αυτού του ορίου. Εδώ η τιμή αναφοράς επιλέχθηκε να είναι **ένα μέτρο πάνω από το επίπεδο του εδάφους βραζιλ**

(5)

Αδιαστατοποιω τους δείκτες

Δείκτες

Exposure, I_E: Στοχεύει να εκφράσει τη σχετική έκθεση του πληθυσμού χρησιμοποιώντας ως δείκτη την πυκνότητα των νοικοκυριών. Η υψηλότερη οικιακή πυκνότητα θα φέρει περισσότερους ανθρώπους σε επαφή με το νερό από τις πλημμύρες. Το μελλοντικό σενάριο εξετάζει μια αύξηση του πληθυσμού, που θα οδηγήσει σε μια επακόλουθη αύξηση της πυκνότητας των νοικοκυριών.

Η πυκνότητα του νοικοκυριού κανονικοποιήθηκε διαιρώντας την με μια τιμή αναφοράς. Αυτή η αναφορά υπολογίστηκε ως το 75ο εκατοστημόριο. Αυτή η επιλογή αποφεύγει την παραμόρφωση της κλίμακας, καθώς μεμονωμένες τιμές υψηλής πυκνότητας θα μπορούσαν να συμπιέσουν μεγάλο αριθμό τιμών στο κάτω μέρος της κλίμακας. Σε όλες τις πυκνότητες νοικοκυριών πάνω από την τιμή αναφοράς δόθηκε η μέγιστη τιμή I_E. Για όλες τις άλλες περιπτώσεις Εξ. (6) εφαρμόστηκε.

$$I_E = \frac{HHD}{HHD_{ref}} \quad (6)$$

Δείκτες

Susceptibility, Is: Θεωρείται ως η πιθανότητα να συμβεί υλική ζημιά όταν τα σπίτια έρχονται σε άμεση επαφή με το νερό πλημμύρας - αυτή η υπόθεση αναφέρεται σε μονοκατοικίες ή ισόγεια πολυώροφων κτιρίων.

Οι κατοικίες στο επίπεδο του ισογείου θεωρείται ότι αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες υλικές απώλειες, ενώ αυτές στους υψηλότερους ορόφους δεν επηρεάζονται άμεσα (αν και οι κάτοικοί τους μπορεί να επηρεαστούν από τη μετακίνηση). Οι σχεδιασμένοι χώροι ορόφων των κτιρίων στη λεκάνη απορροής είναι μικροί, αντανακλώντας το χαμηλού εισοδήματος χαρακτηριστικό του πληθυσμού. Στην περίπτωση αυτή, αυτό το χαρακτηριστικό οδήγησε στην υπόθεση ότι όλα τα πολυώροφα κτίρια έχουν μόνο ένα νοικοκυριό σε κάθε όροφο. Αυτή η υπόθεση επιβεβαιώνεται επίσης από επιτόπια επιθεώρηση. Ως εκ τούτου, κάθε κτίριο σε μια πλημμυρισμένη περιοχή δημιουργεί ένα πλημμυρισμένο νοικοκυριό. Αυτή είναι μια εξειδίκευση που σχετίζεται με αυτή τη μελέτη περίπτωσης. Για να αναπαραχθεί αυτός ο δείκτης σε άλλη λεκάνη απορροής, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα κατάλληλα χαρακτηριστικά της αστικής απασχόλησης για τον υπολογισμό του.

Στο πλαίσιο της ανθεκτικότητας στις πλημμύρες, οι περιοχές με μονοκατοικίες θεωρούνται πιο ευάλωτες από τις περιοχές με πολυκατοικίες, καθώς θα επηρεαστούν άμεσα όλες οι οικογένειες σε μια μονοκατοικία, ενώ μόνο ένα μέρος των οικογενειών (όσες κατοικούν στο ισόγειο) θα επηρεαστεί άμεσα σε πολυώροφο κτίριο.

Ο υποδείκτης «Ευαισθησία» (Εξ. (7)) υπολογίζεται από το λόγο των πλημμυρισμένων κατοικιών προς τον συνολικό αριθμό κατοικιών εντός της συγκεκριμένης κυψέλης ροής, όπου:

$HH_{Inundated}$ = Πλημμυρισμένες κατοικίες

HH_{Total} = Σύνολο κατοικιών

Δείκτες

Material Recovery, IMR: στοχεύει να δώσει μια ένδειξη της ικανότητας επισκευής ή αντικατάστασης υλικών που έχουν υποστεί ζημιές από τις πλημμύρες (συμπεριλαμβανομένων των ζημιών στα ίδια τα κτίρια και στο περιεχόμενό τους). Υπολογίζεται συσχετίζοντας τις οικονομικές απώλειες και τα έσοδα, όπου:

L=Χρηματικές απώλειες

I=Ετήσιο εισόδημα

Η μέθοδος για τον υπολογισμό των χρηματικών απωλειών βασίζεται στις μεταπτυχιακές διατριβές των Salgado (1995) και Nagem (2008), όπου η οικονομική απώλεια υπολογίστηκε από υπολογισμούς με βάση τις καμπύλες βάθους-ζημίας, χρησιμοποιώντας επίπεδα πλημμύρας και κατηγορίες εισοδήματος.

Οι συνολικές αναμενόμενες χρηματικές απώλειες διαιρούνται με το 30% του ετήσιου εισοδήματος ενός νοικοκυριού. Το κλάσμα του 30% είναι ένα τυπικό όριο χρηματοδότησης που σχετίζεται με την αγορά ακινήτων στη Βραζιλία και υποτίθεται ότι είναι το ετήσιο ποσό εξοικονόμησης που μπορεί να ξοδέψει μια οικογένεια για την ανάκαμψη από μια πλημμύρα. Σε αυτή την προσέγγιση, υποθέσαμε ότι η ετήσια αποταμίευση δεν μεταφέρεται στο επόμενο έτος.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η οικονομική δυνατότητα του νοικοκυριού για επισκευή και αντικατάσταση κατεστραμμένων αντικειμένων και κατασκευών είναι, στην πραγματικότητα, ένας δείκτης για όλες τις πιθανές ζημιές (π.χ. η δημόσια οικονομική δυνατότητα για επισκευή και αντικατάσταση δημοσίων περιουσιακών στοιχείων όπως σχολεία, δρόμοι, νοσοκομεία κ.λπ.). Αυτή η εκτίμηση συνεπάγεται ότι η σοβαρότητα των υλικών ζημιών αντιπροσωπεύει τη σοβαρότητα όλων των ζημιών.

Δείκτες

Duration effect, I_{DE} : Όσο περισσότερο μια περιοχή παραμένει πλημμυρισμένη, τόσο μεγαλύτερες θα είναι οι συνέπειες. Ο δείκτης που επιλέχθηκε για να εκφράσει αυτό είναι η διάρκεια πλημμύρας. Η ανθεκτικότητα υπολογίζει επίσης τη λειτουργική ικανότητα ανάκτησης ενός συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, ακόμη και αν ένα σύστημα αποχέτευσης αποτύχει (όταν εκτίθεται σε έντονη καταιγίδα μεγαλύτερης περιόδου επιστροφής από αυτή της βροχόπτωσης σχεδιασμού, για παράδειγμα), αναμένεται ότι αυτό το σύστημα θα είναι σε θέση να ανακάμψει γρήγορα από την αστοχία του, εκφορτίζοντας το υπερχειλίζει σε σύντομο χρονικό διάστημα, διασφαλίζοντας ότι μπορούν να αποκατασταθούν και άλλες αστικές υπηρεσίες. Μια ενημερωμένη έκδοση του παράγοντα μονιμότητας (Zonensein, et al., 2008) χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του υποδείκτη Εξ. (9). Τα βάθη νερού πάνω από 10 cm θεωρούνται ότι εμποδίζουν τους πεζούς. Τα βάθη νερού πάνω από 25 cm λαμβάνονται υπόψη να είναι επιβλαβής για την κινητικότητα της πόλης, διακόπτοντας την κυκλοφορία. Βάθη νερού άνω των 50 cm είναι πιθανό να βλάψουν τα κτίρια και το περιεχόμενό τους.

Ο χρόνος πάνω από αυτά τα όρια τείνει να είναι πιο κρίσιμος όσο περισσότερο μια περιοχή παραμένει πλημμυρισμένη. Ως εκ τούτου, ο παράγοντας μονιμότητας έχει διαχωριστεί και συνδυαστεί με δύο διαφορετικούς δείκτες, πολλαπλασιάζοντας τον δείκτη I_E , που υποδεικνύει πόσα άτομα είναι πιθανό να επηρεαστούν (πεζοί και άτομα που χρησιμοποιούν αυτοκίνητα ή δημόσια μέσα μεταφοράς) και το I_S .

$$I_{DE} = (0.2 \cdot T_{10} + 0.3 \cdot T_{25}) \cdot I_E + (0.5 \cdot T_{50}) \cdot I_S \quad (9)$$

Μεθοδολογία

1. Επισκόπηση της υφιστάμενης κατάστασης της περιοχής μελέτης (γεωγραφικές διακυμάνσεις του εισοδήματος, επίπεδα πλημμύρας και πυκνότητα των νοικοκυριών) και προσδιορισμός τιμών ανθεκτικότητας
2. Ανάλυση, αξιολόγηση και σύγκριση των επιμέρους δεικτών με παρόμοιες περιοχές.
3. Σύγκριση υποδεικτών με τις τιμές S-FRESI.

Συγκρίσεις για διάφορες εναλλακτικές

I. Παρόν, χωρίς καμία τροποποίηση

II. Παρόν με την υλοποίηση έργου αειφόρου αστικής αποχέτευσης

III. Μέλλον, χωρίς καμία τροποποίηση

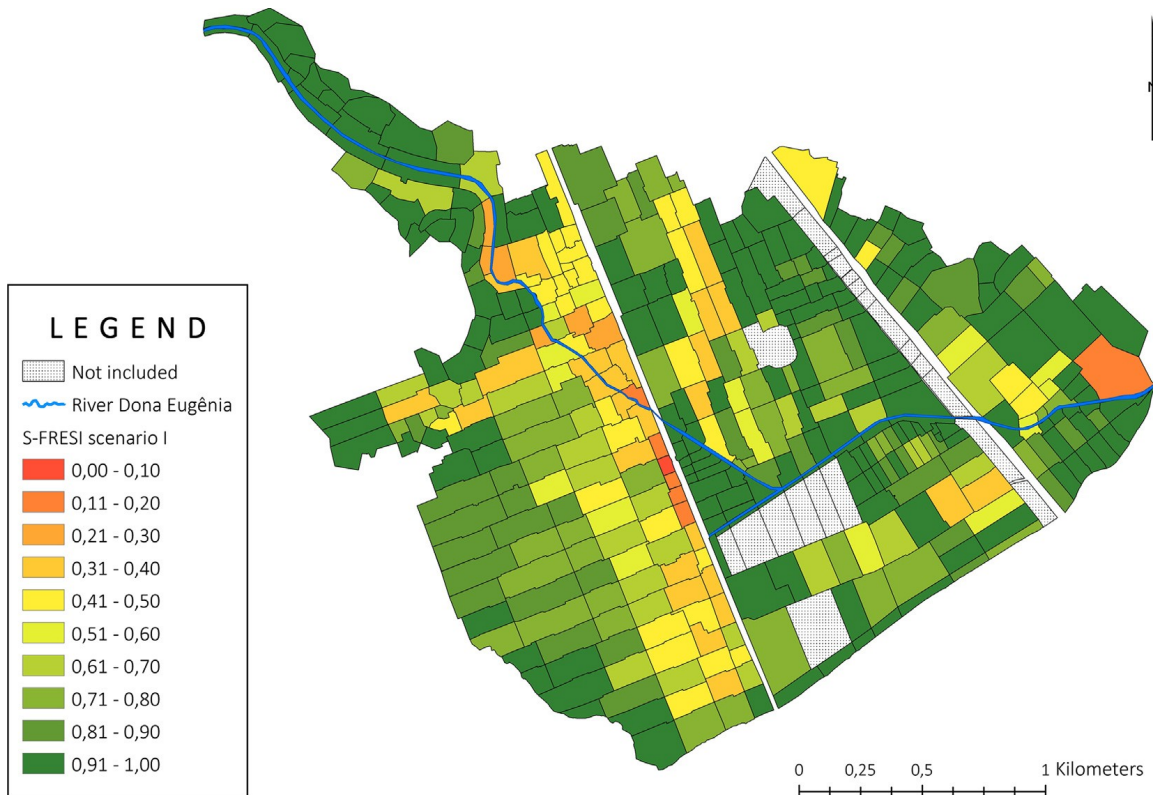
IV. Μέλλον με την υλοποίηση έργου αειφόρου αστικής αποχέτευσης

4. Αξιολόγηση της ακρίβειας του δείκτη S-FRESI, με ποιοτική ανάλυση της λεκάνης απορροής εξετάζοντας τα επίπεδα πλημμύρας σε συνδυασμό με το εισόδημα και την πυκνότητα των νοικοκυριών. Συνδυάζοντας τους τρεις τύπους δεδομένων, είναι δυνατό να ληφθεί μια ένδειξη σε ποιο εύρος πρέπει να βρίσκονται οι τιμές S-FRESI και έτσι να γίνει μια αξιολόγηση της αληθοφάνειας του μαθηματικού μοντέλου. Μια περιοχή με υψηλά επίπεδα νερού, φτώχεια και υψηλή οικιακή πυκνότητα, για παράδειγμα, αναμένεται να συσχετιστεί με χαμηλές τιμές SFRESI.

Αποτελέσματα: Παρόν

Τα πράσινα χρώματα αντιπροσωπεύουν υψηλή ανθεκτικότητα ενώ οι πορτοκαλί αποχρώσεις αντιπροσωπεύουν χαμηλή.

χωρίς καμία τροποποίηση



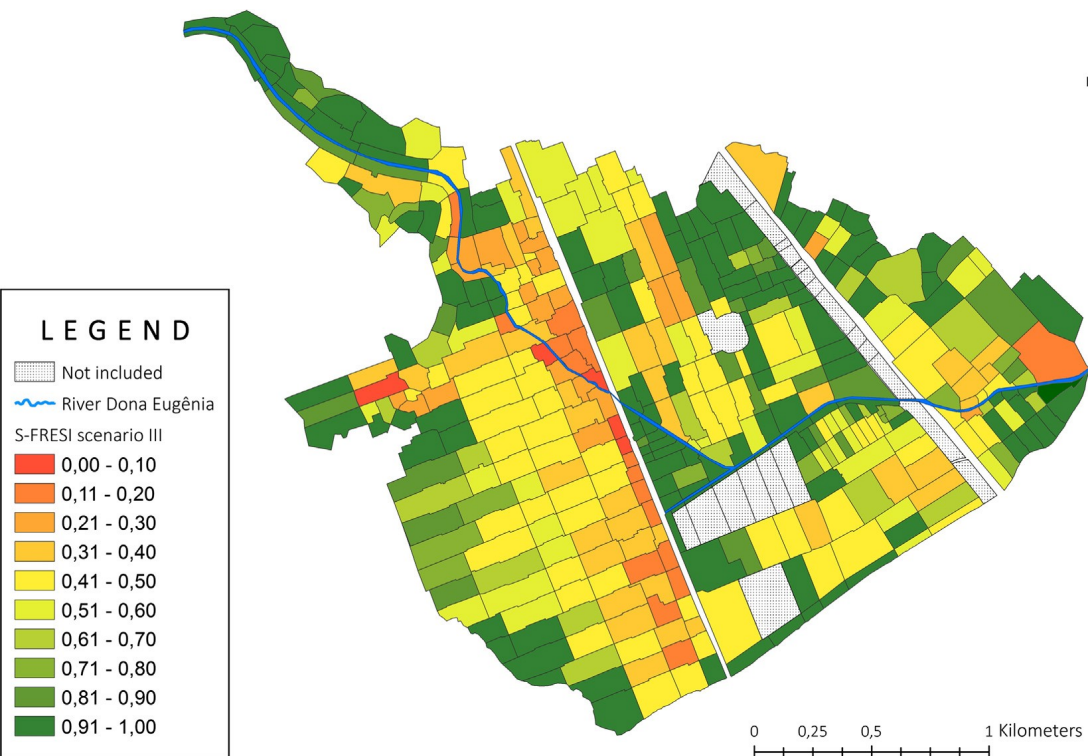
με την υλοποίηση έργου αιεφόρου αστικής αποχέτευσης



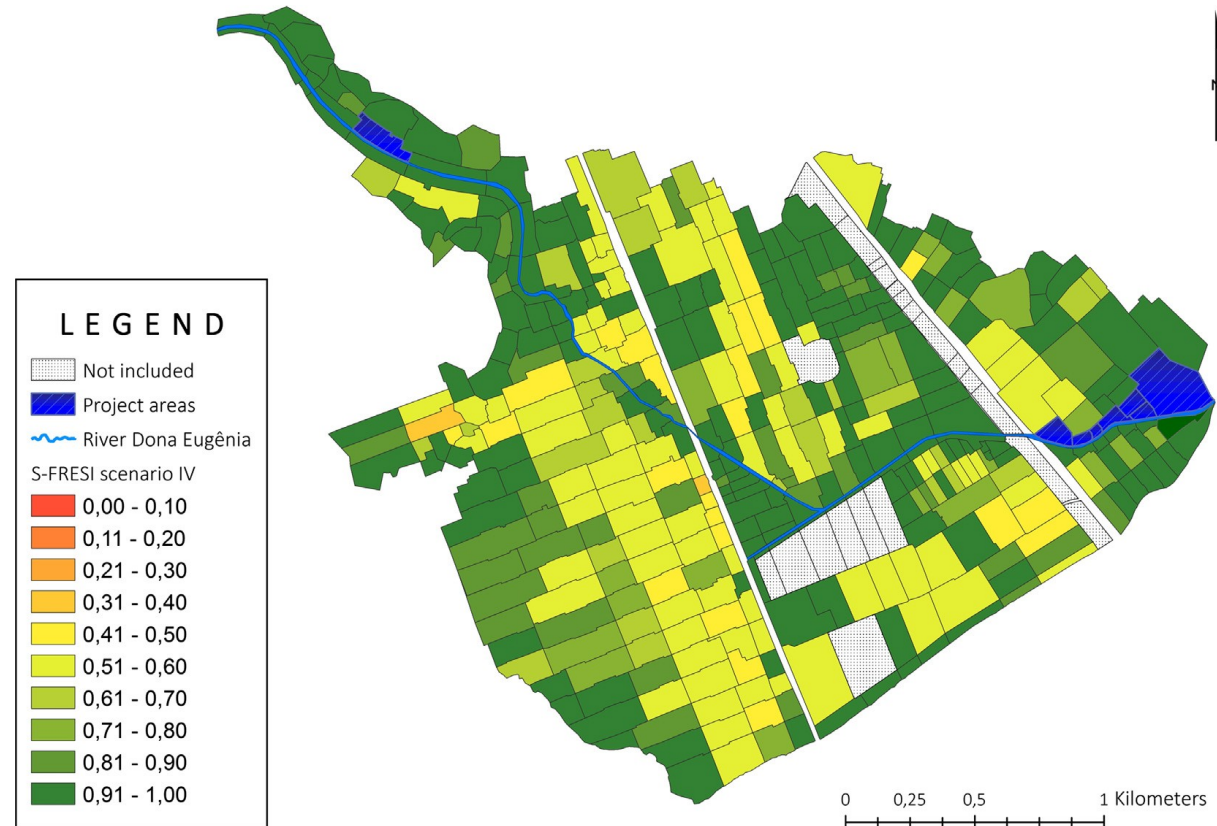
Παρατηρείται μεγάλη αύξηση της ανθεκτικότητας μπορεί να φανεί όταν συγκρίνουμε το τρέχον σενάριο με ένα σενάριο με την υλοποίηση ενός έργου βιώσιμης αστικής αποχέτευσης.

Αποτελέσματα: Μέλλον

χωρίς καμία τροποποίηση



με την υλοποίηση έργου αιεφόρου αστικής αποχέτευσης



Παρατηρείται μεγάλη αύξηση της ανθεκτικότητας μπορεί να φανεί όταν συγκρίνουμε το τρέχον σενάριο με ένα σενάριο με την υλοποίηση ενός έργου βιώσιμης αστικής αποχέτευσης.

Αποτελέσματα: Αποκρίσεις του δείκτη S-FRESI σε διαφορετικές ενέργειες – μερικά παραδείγματα

Δράσεις			
Μέτρα αποθήκευσης	↑ (<)		↑ (<)
Μέτρα διείσδυσης	↑ (<)		↑ (<)
Αντιπλημμυρική προστασία κτιριών	↑ (<)		↑ (<)
Μετακίνηση ανθρώπων από πλημμυρικές περιοχές	↑ (<)		↑ (<)
Ασφάλιση πλημμύρας		↑ (<)	
Κρατικές επιχορηγήσεις		↑ (<)	
Κλιματική αλλαγή	↓ (>)		
Ανεξέλεγκτη αστικοποίηση	↓ (>; >; >)		↓ (>; >)

Προσοχή στις πράσινες εναλλακτικές

- Υπάρχουν πράσινες, γκρίζες (με σκυρόδεμα) και μη δομικές (μη κατασκευαστικές) εναλλακτικές.
- Η ΕΕ δίνει έμφαση στις πράσινες λύσεις και εντός των πόλεων με ανασύσταση ποταμών και ενός παρόχθιου αστικού οικοσυστήματος, αξιοποίηση χώρων πρασίνου και αναψυχής κλπ

Συζήτηση

- Ο λόγος για την ανάπτυξη του δείκτη S-FRESI είναι να μπορέσουμε να εντοπίσουμε ορισμένες από τις πτυχές που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα στις πλημμύρες που είναι δυνατόν να εκφραστούν με μαθηματικούς όρους.
- Μια προσέγγιση πολλαπλών κριτηρίων επιτρέπει την εργασία με μεταβλητές που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, τα οποία μπορούν να ομαλοποιηθούν και να λειτουργήσουν, όπως δημογραφικά χαρακτηριστικά και επίπεδα πλημμύρας.
- Πάντα θα υπάρχουν αδυναμίες στα απλουστευμένα μοντέλα που προσπαθούν να αντιστοιχίσουν αριθμούς σε σύνθετες έννοιες. Ωστόσο, η μέτρηση προσφέρει την ευκαιρία να ενεργήσει κανείς αποτελεσματικά, και ως εκ τούτου ένα απλοποιημένο μοντέλο μπορεί να είναι ακόμα πολύ σημαντικό και να ωθήσει τον αστικό σχεδιασμό της πόλης προς τη σωστή κατεύθυνση.
- Προφανώς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλες πολυκριτηριακές μέθοδοι με περισσότερο ερμηνεύσιμη αλλά και πιο πολύπλοκη δομή, αναφορικά με τη σύνθεση των κριτηρίων

Συμπεράσματα

Ο δείκτης S-FRESI:

- ✓ Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον αστικό σχεδιασμό νερού και τον μετριασμό των πλημμυρών.
- ✓ Αναδεικνύει την επάρκεια των βιώσιμων έργων αποχέτευσης αστικών αποχετεύσεων για την αύξηση της ανθεκτικότητας της πόλης.
- ✓ Είναι προσιτό σε απλούς ανθρώπους, αλλά η κατανόηση της ανθεκτικότητας στις πλημμύρες είναι απαραίτητη για την καλύτερη χρήση του.
- ✓ Πρέπει να προσαρμόζεται κλιμακωτά για κάθε μελέτη περίπτωσης και να κανονικοποιείται για τους δείκτες.
- ✓ Επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών αντιπλημμυρικών μέτρων μεταξύ τους και τον εντοπισμό των ευαίσθητων περιοχών που έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη βελτιώσεων
- ✓ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση και την απεικόνιση των αλλαγών στην ανθεκτικότητα στις πλημμύρες που επιτυγχάνονται από διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις ελέγχου πλημμύρας, βοηθώντας επομένως στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τον πολεοδομικό σχεδιασμό και τον μετριασμό των πλημμυρών.

Κυρ. Βιβλιογραφία

Louise Bertilsson, Karin Wiklund, Isadora de Moura Tebaldi, Osvaldo Moura Rezende, Aline Pires Veról, Marcelo Gomes Miguez,

Urban flood resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning,

Journal of Hydrology,

Volume 573,

2019,

Pages 970-982,

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.052>.