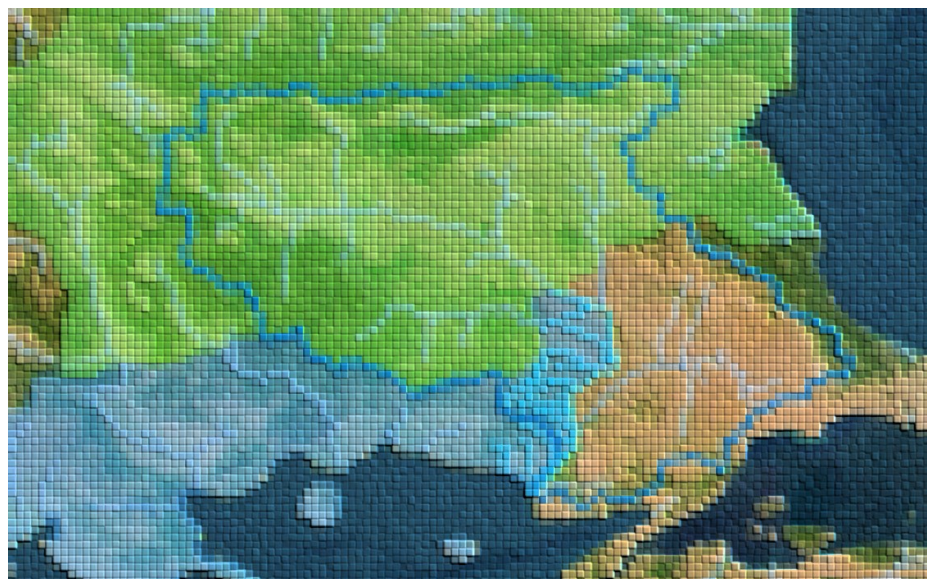




HELLENIC REPUBLIC



MINISTRY OF ENVIRONMENT AND ENERGY
GENERAL SECRETARIAT FOR NATURAL
ENVIRONMENT AND WATER
DIRECTORATE GENERAL FOR WATER



Interreg Greece-Bulgaria FLOODGUARD



European Regional Development Fund

FLOODGUARD

Integrated actions for joint coordination and responsiveness to
flood risks in the Cross Border area

DELIVERABLE 4.6.5.Γ – AUTOMATED OPERATIONAL WEB PLATFORM FOR FLOODGUARD EARLY WARNING SYSTEM

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ (ΕΛ)



EMVIS Consultants SA

Ιούλιος 2023

The Project is co-funded by the European Regional Development Fund (ERDF) and by national funds of the countries participating in the Interreg V-A "Greece-Bulgaria 2014-2020" Cooperation Programme





| Έκδοση | Ημερομηνία | Σχόλια |
|--------|-------------------|-----------------------|
| 1.0 | 24 Ιουλίου , 2023 | 1 ^η έκδοση |
| | | |
| | | |

Η παρούσα έκθεση συντάχθηκε από την ΕΜΒΗΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί για λογαριασμό της Γενικής Γραμματείας Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων, Γενική Διεύθυνση Υδάτων, στο πλαίσιο του έργου INTERREG "Integrated actions for joint coordination and responsiveness to flood risks in the Cross Border area - FLOODGUARD".

Αποποίηση ευθυνών: Το περιεχόμενο της παρούσας έκθεσης αποτελεί αποκλειστική ευθύνη της Γενικής Γραμματείας Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων, Γενική Διεύθυνση Υδάτων και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αντικατοπτρίζει τις απόψεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των συμμετεχουσών χωρών, της Διαχειριστικής Αρχής και της Κοινής Γραμματείας.



ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλημμύρες είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους και καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους, προκαλώντας απώλειες ζωών και ζημιές σε υποδομές και περιουσίες, σε όλο τον κόσμο. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να αυξήσει τη συχνότητα και τη σοβαρότητα των πλημμυρών σε πολλές περιοχές, ενισχύοντας την ανάγκη για αποτελεσματικά συστήματα παρακολούθησης και προειδοποίησης πλημμυρών. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην υδρομετεωρολογική μοντελοποίηση, τις τεχνικές τηλεπισκόπησης και την τεχνολογία της πληροφορίας παρέχουν νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση των δυνατοτήτων πρόβλεψης και έγκαιρης προειδοποίησης για τις πλημμύρες. Η σύζευξη υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων με τις προβλέψεις βροχόπτωσης μπορεί να παράγει προειδοποιήσεις πλημμυρών σε μεγαλύτερες χωρικές και χρονικές κλίμακες σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα. Η ενσωμάτωση αυτών των δυνατοτήτων σε διαδικτυακές πλατφόρμες υποστήριξης αποφάσεων μπορεί να προωθήσει την έγκαιρη αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης απλοποιώντας την ανάλυση και την απεικόνιση των δεδομένων για τους ενδιαφερόμενους.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης, επιχειρησιακής διαδικτυακής πλατφόρμας για την παρακολούθηση πλημμυρών και την έγκαιρη προειδοποίηση στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου, με επίκεντρο την περιοχή της πλημμυρικής ζώνης που βρίσκεται κατά μήκος των συνόρων Ελλάδας-Βουλγαρίας και Ελλάδας-Τουρκίας. Η πλατφόρμα ενσωματώνει στοιχεία μετεωρολογικής, υδρολογικής και υδραυλικής μοντελοποίησης για τη δημιουργία βραχυπρόθεσμων προβλέψεων πλημμυρών και την απεικόνιση των αποτελεσμάτων μέσω διαδραστικών διαδικτυακών χαρτών, γραφημάτων και ειδοποιήσεων έγκαιρης προειδοποίησης. Η πλατφόρμα αποσκοπεί στην ενίσχυση της ικανότητας για κοινή ετοιμότητα και αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών στην λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου. Επιδεικνύει επίσης τις δυνατότητες των αναδυόμενων τεχνολογιών για την προώθηση των επιχειρησιακών συστημάτων πρόβλεψης πλημμυρών. Η αρχιτεκτονική ανοικτού κώδικα και η εστίαση στη διαλειτουργικότητα διευκολύνει την προσαρμογή σε άλλες λεκάνες απορροής ποταμών και την ενσωμάτωση με εξωτερικά συστήματα. Συνολικά, η πλατφόρμα αποτελεί πολύτιμη συμβολή στην αποτελεσματικότερη μείωση του κινδύνου καταστροφών που σχετίζονται με το νερό.

ΣΚΟΠΟΣ

Ο κύριος στόχος του παρόντος έργου είναι η ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης, διαδικτυακής πλατφόρμας για την επιχειρησιακή πρόβλεψη και απεικόνιση των μετεωρολογικών συνθηκών, των ροών των υδατορευμάτων, των επιπέδων ροής και βαθών πλημμύρας και των εκτάσεων πλημμύρας στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου. Η πλατφόρμα ενσωματώνει στοιχεία μετεωρολογικής, υδρολογικής και υδραυλικής μοντελοποίησης με διαδραστικά εργαλεία απεικόνισης δεδομένων και έγκαιρης προειδοποίησης. Η πλατφόρμα παρέχει:

- Δημιουργία επιχειρησιακών εφαρμογών ενός μετεωρολογικού μοντέλου μέσης κλίμακας, ενός ημι-κατανεμημένου (semi-distributed) υδρολογικού μοντέλου και ενός δισδιάστατου υδραυλικού μοντέλου για τη λεκάνη του ποταμού Έβρου.
- Ανάπτυξη μιας ευέλικτης και διαλειτουργικής αρχιτεκτονικής λογισμικού για την αυτοματοποίηση της ροής δεδομένων μεταξύ των μοντέλων και τη δυνατότητα μελλοντικής ενσωμάτωσης εξωτερικών πηγών δεδομένων και μοντέλων.
- Σχεδιασμός διαδραστικών, διαδικτυακών διεπαφών για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων πρόβλεψης από τα μετεωρολογικά, υδρολογικά και υδραυτικά μοντέλα μέσω διαγραμμάτων χρονοσειρών και χαρτών.

- Εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης που εκδίδει ειδοποιήσεις όταν οι προβλέψεις υπερβαίνουν καθορισμένα όρια (π.χ. παροχή ή στάθμη).
- Δημιουργία ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης δεδομένων για την αποθήκευση μετεωρολογικών και υδρολογικών δεδομένων που υποστηρίζουν την αρχικοποίηση και βαθμονόμηση των μοντέλων.
- Δοκιμή και επιβεβαίωση του ολοκληρωμένου συστήματος μοντελοποίησης με τη χρήση ιστορικών πλημμυρικών γεγονότων στη λεκάνη του ποταμού Έβρου.
- Παράδοση της επιχειρησιακής πλατφόρμας στους ενδιαφερόμενους φορείς και παροχή εκπαίδευσης σχετικά με τη χρήση της για την έγκαιρη προειδοποίηση πλημμυρών και την αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών.
- Διάδοση των αποτελεσμάτων του έργου για την προώθηση της μεταφοράς τεχνολογίας και την ενθάρρυνση της προσαρμογής σε άλλες διασυννοριακές λεκάνες απορροής ποταμών.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι λειτουργικές απαιτήσεις του επιχειρησιακού συστήματος καθορίστηκαν μέσω διαβουλεύσεων με τους τελικούς χρήστες και τους ενδιαφερόμενους φορείς. Οι βασικές απαιτήσεις περιλαμβάνουν:

- Εφαρμογή μετεωρολογικής μοντελοποίησης: Απεικόνιση προβλέψεων μετεωρολογικών παραμέτρων σε διαδικτυακούς χάρτες και γραφήματα.
- Εφαρμογή υδρολογικής μοντελοποίησης: Απεικόνιση προβλέψεων ροής και έγκαιρων προειδοποιήσεων σε διαδικτυακούς χάρτες και γραφήματα.
- Εφαρμογή υδραυλικής μοντελοποίησης: Απεικόνιση προβλέψεων στάθμης πλημμύρας και έκτασης κατάκλυσης σε διαδικτυακούς χάρτες και γραφήματα.
- Σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης: Διαμόρφωση ορίων και ρυθμίσεων ειδοποίησης για υδρολογικές και υδραυλικές προβλέψεις.
- Διαχείριση χρηστών: Ασφαλής σύνδεση χρηστών και έλεγχοι πρόσβασης για τη διαχείριση του συστήματος και την απεικόνιση.

Ο σχεδιασμός του συστήματος ακολουθεί μια αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί στοιχεία ανοικτού κώδικα για ευελιξία, διαλειτουργικότητα και επεκτασιμότητα. Η αρχιτεκτονική του back-end αποτελείται από πέντε κύρια στοιχεία:

- Σχεσιακή βάση δεδομένων (PostgreSQL/PostGIS): Αποθηκεύει σύνολα μετεωρολογικών, υδρολογικών και υδραυλικών δεδομένων και εξόδους πρόβλεψης που απαιτούνται από τις εφαρμογές απεικόνισης και ανταλλαγής μηνυμάτων front-end.
- Σύστημα αποθήκευσης αρχείων: Παρέχει αρχειοθετημένα δεδομένα εισόδου και εξόδου του μοντέλου για την υποστήριξη της επανεκτέλεσης προσομοιώσεων.
- Διακομιστής εφαρμογών (Gunicorn): Εκτελεί εφαρμογές Python/Django και διαμεσολαβεί αιτήματα μεταξύ front-end και back-end.

- Διακομιστής ιστού (NGINX): Δρομολογεί τα αιτήματα των πελατών στον διακομιστή εφαρμογών.
- GeoServer: Παρέχει επίπεδα μετεωρολογικών, υδρολογικών και υδραυλικών χαρτών ιστού στις front-end εφαρμογές.

Το web-based front-end επιτρέπει τη διαδραστική απεικόνιση και τη διαμόρφωση έγκαιρης προειδοποίησης μέσω δύο εφαρμογών JavaScript που έχουν κατασκευαστεί με τη χρήση των βιβλιοθηκών React και Leaflet:

- Επιχειρησιακός πίνακας ελέγχου: Παρουσιάζει προβλέψεις από μετεωρολογικά, υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα με βάση τις επιλογές του χρήστη.
- Διαχειριστής έγκαιρης προειδοποίησης: Επιτρέπει τη διαμόρφωση των ορίων και των ρυθμίσεων ειδοποίησης για το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης.

Πρόσθετα σενάρια Rychon αυτοματοποιούν τη ροή εργασίας για την ανάκτηση μετεωρολογικών προγνώσεων και υδρολογικών δεδομένων, την εκτέλεση μοντέλων, την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την ενεργοποίηση ειδοποιήσεων βάσει προγραμματισμένου χρόνου εκτέλεσης.

Το σύστημα μετεωρολογικής προσομοίωσης αρχικοποιείται χρησιμοποιώντας δεδομένα ανάλυσης 0.5° από το Παγκόσμιο Σύστημα Πρόγνωσης (GFS) του NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής) και εκτελείται καθημερινά στις 00:00 και 12:00 UTC, δημιουργώντας 5ήμερες προβλέψεις βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και άλλων μεταβλητών. Το βαθμονομημένο υδρολογικό μοντέλο (χρήση κώδικα HYPE) εκτελείται σε λειτουργία επιχειρησιακής πρόβλεψης με αρχικοποίηση των παραμέτρων με τις τελευταίες παρατηρήσεις και δεδομένα εισόδου τις ποσοτικές προβλέψεις βροχόπτωσης από το WRF. Τέλος, το υδραυλικό μοντέλο (σε κώδικα Nec-RAS) τροφοδοτείται με τη χρήση ανάντη οριακών συνθηκών από το υδρολογικό μοντέλο για την προσομοίωση του βάθους ροής και της έκτασης πλημμύρας. Οι προσομοιώσεις πρόγνωσης εκτελούνται αυτόματα χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου τα αποτελέσματα της παροχής που προέρχονται από το σύστημα υδρολογικής μοντελοποίησης.

Για την αυτόματη ενεργοποίηση ειδοποιήσεων έγκαιρης προειδοποίησης για πλημμύρες μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και SMS, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή μέσω Rychon. Οι τιμές ορίων ροής για θέσεις που αντιστοιχούν σε υδρολογικά σημεία πρόβλεψης μπορούν να διαμορφωθούν μέσω μιας ιστοσελίδας. Η εφαρμογή ελέγχει τις μοντελοποιημένες τιμές σε σχέση με τα διαμορφωμένα κατώτατα όρια μετά από κάθε επιχειρησιακή εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου. Εάν τα κατώτατα όρια ξεπεραστούν εντός της περιόδου πρόβλεψης των 5 ημερών, αποστέλλονται ειδοποιήσεις σε καθορισμένους παραλήπτες που συνοψίζουν τα επίπεδα σοβαρότητας της πρόβλεψης και τον χρόνο. Μια παρόμοια εφαρμογή αναπτύχθηκε για τη σύγκριση των προβλέψεων της στάθμης νερού του υδραυλικού μοντέλου με τα διαμορφωμένα κατώτατα όρια σε καθορισμένες θέσεις κατά μήκος του κάτω ρου του Έβρου.

Η πλατφόρμα ενσωματώνει στοιχεία μετεωρολογικού, υδρολογικού και υδραυλικού μοντέλου ανοικτού κώδικα με διαδραστική απεικόνιση και δυνατότητες έγκαιρης προειδοποίησης. Μια ευέλικτη διαλειτουργική αρχιτεκτονική υλοποιήθηκε με τη χρήση ανοικτών προτύπων και APIs για ευελιξία και επεκτασιμότητα. Το επιχειρησιακό σύστημα αποτελεί πολύτιμη συμβολή στην ενίσχυση της κοινής

ετοιμότητας και αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών στα σύνορα Ελλάδας-Βουλγαρίας. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική παρέχει ένα μεταβιβάσιμο σχέδιο για την ενσωμάτωση της επιστήμης στη λήψη αποφάσεων σε διασυνοριακές λεκάνες απορροής σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι επιχειρησιακές δοκιμές και η συνεχής εμπλοκή των ενδιαφερομένων θα συμβάλουν στη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας και του αντίκτυπου της πλατφόρμας. Τα συμπεράσματα που αντλήθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόσθετες βελτιώσεις των δεξιοτήτων των μοντέλων, των διεπαφών χρήστη και της υλικοτεχνικής υποδομής έγκαιρης προειδοποίησης. Συνολικά, το έργο αυτό αποτελεί μια υποδειγματική επίδειξη του τρόπου με τον οποίο οι αναδυόμενες τεχνολογίες μπορούν να αξιοποιηθούν για την προώθηση των δυνατοτήτων ολοκληρωμένης παρακολούθησης και πρόβλεψης πλημμυρών.