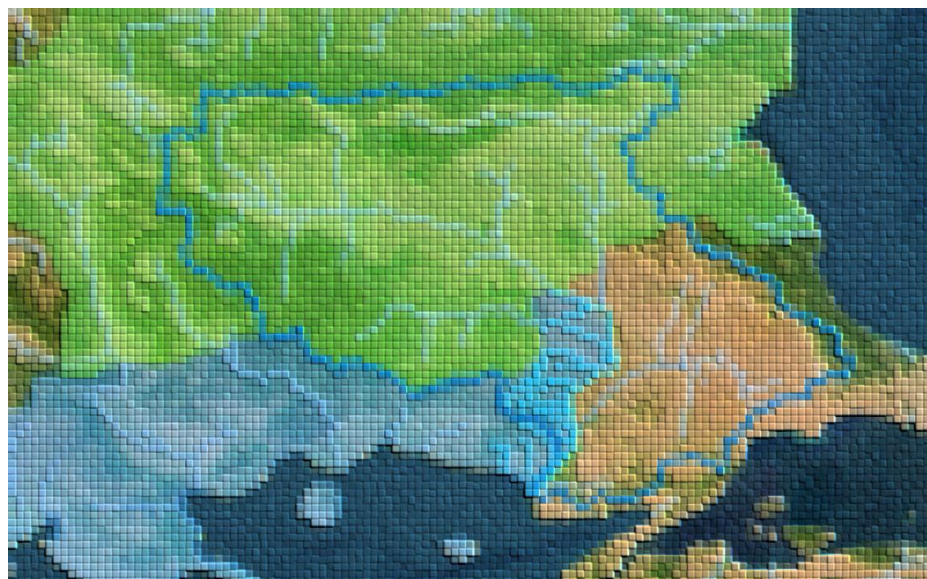




HELLENIC REPUBLIC



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



# Interreg Greece-Bulgaria FLOODGUARD



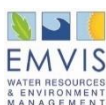
European Regional Development Fund

## FLOODGUARD

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

### DELIVERABLE 4.6.1.A - CLIMATE CHANGE ASSESSMENT

#### ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ (EL)



EMVIS Consultants SA

December 2022

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	5 Δεκέμβριος, 2022	1 <sup>η</sup> έκδοση
1.1	13 Φεβρουαρίου, 2023	1 <sup>η</sup> έκδοση, αλλαγή logo Floodguard σύμφωνα με τις οδηγίες της Αναθέτουσας Αρχής

This report was compiled by EMVIS Consultants SA on behalf of General Secretariat for Natural Environment and Water, Directorate General for Water, under the frame of the INTERREG Project “Integrated actions for joint coordination and responsiveness to flood risks in the Cross Border area – FLOODGUARD”

**Disclaimer:** The contents of this report are sole responsibility of *General Secretariat for Natural Environment and Water, Directorate General for Water* and can in no way be taken to reflect the views of the European Union, the participating countries the Managing Authority and the Joint Secretariat

## ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η συλλογή, επεξεργασία και αξιολόγηση ποιοτικών και ποσοτικών κλιματολογικών παραμέτρων από δευτερογενείς πηγές, ώστε να αποτυπωθεί με ακρίβεια η υφιστάμενη κλιματολογική κατάσταση στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου και να διερευνηθούν οι πιθανές μελλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή. Η κλιματολογική αυτή μελέτη είναι αναγκαία ώστε να προσδιοριστούν και να αποτυπωθούν οι κλιματικοί παράγοντες που επιδρούν στον υδρολογικό κύκλο και στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, καθώς οι διαθέσιμοι πόροι είναι ένας από τους κυρίαρχους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Παράλληλα, τα συμπεράσματα της μελέτης συμπληρώνονται και από εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση καλών πρακτικών αντιμετώπισης αντίστοιχων φαινομένων.

Η μελέτη χωρίστηκε σε τέσσερα στάδια. Στο πρώτο στάδιο συλλέχθηκαν τα μετεωρολογικά/κλιματολογικά δεδομένα τριών διαφορετικών πηγών. Η πρώτη πηγή είναι τα επίγεια δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας από 6 επιφανειακούς μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ (1 σταθμός) και του Αστεροσκοπείου Αθηνών (5 σταθμοί). Η δεύτερη πηγή είναι τα δορυφορικά δεδομένα βροχόπτωσης από δύο βάσεις δεδομένων (GPCP και IMERG) που παρέχουν καλύτερη χωρική κάλυψη της περιοχής απορροής του Έβρου από τους σημειακούς επιφανειακούς σταθμούς. Η τρίτη πηγή είναι δεδομένα reanalysis από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμης Πρόγνωσης Καιρού (ECMWF). Καθώς η τελευταία πηγή παρέχει την καλύτερη χωρική κάλυψη της περιοχής, τη μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και το μεγαλύτερο αριθμό μετεωρολογικών παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκε αυτή ως βάση για την εξαγωγή της κλιματολογίας.

Πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση/επαλήθευση των στοιχείων με βάση τα δεδομένα των σταθμών και σύγκριση με τα δορυφορικά δεδομένα. Από τη σύγκριση και σε ό,τι αφορά στη βροχόπτωση, βρέθηκε ότι και τα δορυφορικά δεδομένα και τα δεδομένα reanalysis είναι αρκετά αξιόπιστα, καθώς η συνδιακύμανση της βροχόπτωσης με τα επίγεια δεδομένα είναι υψηλή (με συντελεστές διακύμανσης/συσχέτισης άνω του 0.8) ενώ και ο εποχικός κύκλος, η ετήσια διακύμανση και οι μακροχρόνιες τάσεις μεταβολής της βροχόπτωσης αναπαράγονται ικανοποιητικά. Η κύρια διαφορά είναι ότι υπάρχει συστηματική υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης, της τάξης του 20%, με μέγιστες διαφορές 20 mm την υγρή περίοδο (Οκτώβριο με Απρίλιο). Σε ό,τι αφορά στη θερμοκρασία, η αξιοπιστία των δεδομένων reanalysis είναι ακόμη καλύτερη, καθώς οι συντελεστές συνδιακύμανσης είναι άνω του 0.91. Η κύρια διαφορά είναι μια συστηματική υπερεκτίμηση της μέσης και της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, της τάξης του 5-6% και μια μεγαλύτερη υπερεκτίμηση της τάξης του 35% για τις ελάχιστες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας.

Για την κλιματολογική ανάλυση εξετάστηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές για τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και την εξάτμιση κατά τη διάρκεια 63 ετών (από το 1959 έως το 2021). Εξετάστηκαν επίσης οι αντίστοιχες μέσες τιμές για την ελάχιστη, τη μέγιστη και τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας έχει δύο αντικρουόμενα αποτελέσματα: μπορεί να οδηγεί σε αύξηση των υδατοπτώσεων αλλά ταυτόχρονα και σε εντονότερα φαινόμενα εξάτμισης. Εξετάστηκαν τέλος και οι μέσες μηνιαίες τιμές για την εδαφική υγρασία σε τέσσερα στρώματα, καθώς αυτή επηρεάζει τη διήθηση νερού στα υπόγεια υδάτινα σώματα. Βρέθηκαν τα εξής:

A) Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή είναι μεταξύ των 565 και 925 mm, με τις μέγιστες τιμές να καταγράφονται στις περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο στα νότια και δυτικά μέρη της λεκάνης απορροής. Επίσης, στις νότιες περιοχές της λεκάνης παρατηρείται ισχυρή εποχική κύμανση, με μέγιστη κατακρήμνιση τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο με Φεβρουάριο) και ελάχιστη τους θερινούς (Ιούλιο-Αύγουστο). Στις βόρειες περιοχές, η βροχόπτωση τους θερινούς μήνες είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, λόγω της συνεισφοράς των θερμικών καταιγίδων αυτήν την εποχή. Τέλος, βρέθηκε μια ασθενής αρνητική μακροχρόνια τάση (μείωσης) για τη βροχόπτωση, η οποία όμως δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Β) Η μέση τιμή για την ελάχιστη/μέση/μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 7-13 °C / 11-16 °C / 19-20 °C, με αρνητική μεσημβρινή θερμοβαθμίδα. Έτσι, το ελάχιστο θερμοκρασιακό εύρος παρατηρείται στις νότιες παραθαλάσσιες περιοχές, ενώ το μέγιστο στις βόρειες και στις ορεινές περιοχές. Η εποχική διακύμανση είναι μεγάλη, με μέγιστες θερμοκρασίες 16-23 °C / 21-26 °C / 26-32 °C το θέρος και ελάχιστες -1 °C / 2 °C / 5 °C το χειμώνα. Τέλος, βρέθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας για την περίοδο 1959-2021, της τάξης των 0.2-0.29 °C ανά δεκαετία. Η τάση εμφανίζεται κυρίως στη μέγιστη θερμοκρασία, στο θέρος και στις κεντρικές περιοχές της λεκάνης.

Γ) Η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 64% (στα κεντρικά της λεκάνης) έως 78% (στα νότια). Είναι, επίσης, υψηλότερη το χειμώνα (έως και 90%) λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και των ενισχυμένων βροχοπτώσεων και χαμηλότερη το καλοκαίρι (έως 40%). Τέλος, βρέθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση της υγρασίας (για την περίοδο 1959-2021) της τάξης του 0.8%, που είναι συνεπής με τις παρατηρούμενες τάσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης.

Δ) Η εξάτμιση βρέθηκε στο εύρος των 500-900 mm ισοδύναμου υετίσμου ύδατος το χρόνο, με μεγαλύτερες τιμές στις παραθαλάσσιες περιοχές (έως και 1400 mm) και μικρότερες στα κεντρικά της λεκάνης. Παρουσιάζει επίσης εποχική διακύμανση, με υψηλές τιμές το θέρος και χαμηλές το χειμώνα, με τις διαφορές να φτάνουν τα 120 mm. Τέλος, βρέθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση της εξάτμισης, της τάξης των 1.5 mm/μήνα/δεκαετία στα ανατολικά και δυτικά της λεκάνης και μείωση της ίδιας τάξης στα κεντρικά και νότια.

Ε) Η υγρασία του εδάφους είναι στο εύρος 0.10-0.40 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> στο επιφανειακό στρώμα (0 – 7 cm) και αυξάνει ελαφρά για μεγαλύτερα βάθη, ενώ είναι γενικά υψηλότερη στα βόρεια της λεκάνης απορροής. Στο επιφανειακό στρώμα η υγρασία παίρνει τις μέγιστες τιμές της τους χειμερινούς μήνες, καθώς επηρεάζεται από την εποχική κύμανση της βροχόπτωσης και της εξάτμισης. Το εύρος της εποχικής κύμανσης μειώνεται με το βάθος, ενώ οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται αργότερα, τον Απρίλιο και το Νοέμβριο, αντίστοιχα. Τέλος, η υγρασία του εδάφους βρέθηκε ότι έχει υποστεί στατιστικά σημαντική μείωση, με τη μεγαλύτερη μείωση της τάξης των 0.012 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>/ δεκαετία να παρατηρείται σε μεγαλύτερα βάθη και στα κεντρικά και νότια της λεκάνης.

Στο δεύτερο στάδιο, καθορίστηκαν δείκτες της κλιματικής αλλαγής της περιοχής, με βάση υπάρχοντες κλιματικούς δείκτες όπως αυτοί που ορίζονται στη βάση δεδομένων European Climate Assessment and Dataset (ECAD). Από τους 76 διαθέσιμους δείκτες ταυτοποιήθηκαν 9 δείκτες οι οποίοι επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα πλημμυρικά φαινόμενα και συγκεκριμένα δείκτες που αφορούν τη μέση ένταση και τη μέγιστη διάρκεια των φαινομένων, όπως επίσης και τα φαινόμενα πολύ μεγάλης και ακραίας έντασης. Οι δείκτες αυτοί υπολογίζονται με βάση μετρήσεις τριών επίγειων σταθμών στα νότια, τα κεντρικά και τα βόρεια της περιοχής μελέτης. Βρέθηκαν τα εξής:

Α) Στα επεισόδια βροχόπτωσης έχουμε κατά μέσο όρο 8 mm βροχής/ημέρα, με μια εποχική διακύμανση της τάξης των 3-4 mm/ημέρα στα νότια και μικρή εποχική κύμανση στα κεντρικά και βόρεια της λεκάνης. Οι μέγιστες τιμές όμως είναι πολύ μεγαλύτερες, της τάξης των 25 mm/ημέρα.

Β) Δεν υπάρχουν εν γένει επεισόδια με πολύ μεγάλη διάρκεια, καθώς ο μέγιστος αριθμός συνεχόμενων ημερών βροχής κατ' έτος βρέθηκε να είναι 5 κατά μέσον όρο. Όμως, τουλάχιστον μια φορά τη δεκαετία έχουμε την εμφάνιση μακρόχρονων επεισοδίων με έως και 9 συνεχόμενες ημέρες βροχής, ενώ τα τελευταία έτη παρατηρείται στατιστικά σημαντική άνοδος των ημερών συνεχόμενης βροχόπτωσης, κατά μία περίπου ανά δεκαετία.

Γ) Υπάρχουν περίπου 3-4 επεισόδια μεγάλης έντασης κατ' έτος που συνεισφέρουν περίπου το 25% του ετήσιου υετού. Υπάρχει επίσης περίπου ένα ακραίο επεισόδιο κάθε δύο χρόνια, το οποίο παρά τη μικρή του συχνότητα έχει πολύ μεγάλη ένταση, καθώς συνεισφέρει περίπου το 15% του ετήσιου υετού, με κάποια να

φτάνουν και το 25-30%. Σε απόλυτους αριθμούς, στα επεισόδια μεγάλης και ακραίας έντασης έχουμε περίπου 40 mm υετού για μια ημέρα, με μέγιστη τιμή για τη χρονική περίοδο μελέτης τα 140 mm. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι στα κεντρικά και βόρεια της λεκάνης έχουμε στατιστικά σημαντική αύξηση των φαινομένων αυτών μετά το 1985 και σε ό,τι αφορά στη συχνότητά τους και σε ό,τι αφορά στην έντασή τους.

Στο τρίτο στάδιο, μελετήθηκαν υπάρχουσες αριθμητικές προσομοιώσεις 7 κλιματικών μοντέλων σε περιοχική κλίμακα από τη βάση δεδομένων CORDEX για δύο διαδεδομένα σενάρια εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, το RCP4.5 που αντιστοιχεί σε αύξηση στα 4.5 W/m<sup>2</sup> της κλιματικής διατάραξης της ακτινοβολίας και το ακραίο RCP8.5 που αντιστοιχεί σε αύξηση στα 8.5 W/m<sup>2</sup>. Από τις μελλοντικές προβολές των μοντέλων υπολογίστηκαν οι τάσεις μεταβολής για τις αποχές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας. Οι τάσεις υπολογίστηκαν για την περίοδο 2022-2100, ενώ από τις αποχές αφαιρέθηκε ο εποχικός κύκλος.

Στο πρώτο σενάριο υπήρξαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές μόνο για τη θερμοκρασία με μια μέση αύξηση της τάξης των 0.2 –0.3 °C/δεκαετία, η οποία βρέθηκε να είναι παρόμοια για όλη τη λεκάνη και να μην έχει εν γένει σημαντικές εποχικές διαφορές. Για τη βροχόπτωση προέκυψαν μεικτές τάσεις ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα, οι οποίες ήταν εν γένει ασθενείς και στατιστικά μη σημαντικές. Για το ακραίο σενάριο, η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν ακόμη μεγαλύτερη (της τάξης των 0.5 – 0.7 °C/δεκαετία). Βρέθηκε δε να είναι μεγαλύτερη κατά το θέρος παρά κατά τους χειμερινούς μήνες. Για τη βροχόπτωση, έχουμε μείωση στα περισσότερα μοντέλα (5/7), με τη μείωση σε δύο από αυτά να είναι της τάξης των 2 mm/μήνα/δεκαετία και να είναι στατιστικά σημαντική. Τα άλλα δύο μοντέλα δίνουν μια αύξηση της τάξης του 1 mm/μήνα/δεκαετία ή και μικρότερη. Επομένως, με εξαίρεση τα δύο αυτά μοντέλα, η πρόβλεψη είναι ότι η λεκάνη του Έβρου θα γίνει ξηρότερη. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι η μείωση των βροχοπτώσεων συνεπάγεται και μείωση των πλημμυρικών κινδύνων. Όπως παρουσιάστηκε και στην περίπτωση της κλιματολογίας των τελευταίων ετών, που συζητήθηκε παραπάνω, η μεν συνολική ποσότητα του υετού μειώθηκε οριακά, αλλά οι βροχοπτώσεις μεγαλύτερης έντασης που δημιουργούν πολύ μεγάλους όγκους απορροής αυξήθηκαν και σε αριθμό και σε ένταση. Σαν αποτέλεσμα, η πιθανότητα να αυξηθούν οι αιφνίδιες πλημμύρες στο μέλλον παραμένει.

Στο τέταρτο στάδιο της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε μία συστηματική διερεύνηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας όσον αφορά τις καλές πρακτικές και τα μέτρα μετριασμού και αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ιδιαιτέρως υπό το πρίσμα του πλημμυρικού κινδύνου και του διασυννοριακού χαρακτήρα των στρατηγικών. Ένα από τα σημαντικότερα γνωρίσματα των επιφανειακών υδατικών πόρων είναι η εγγενής διασυννοριακή φύση τους, με σημαντικό αριθμό ποταμών να βρίσκονται στα σύνορα μεταξύ δύο ή και περισσότερων χωρών. Όπως είναι φυσικό, αυτό δημιουργεί την ανάγκη ανάπτυξης συνεργασίας μεταξύ όλων των παραποτάμιων χωρών, για την χάραξη μιας κοινής στρατηγικής, με στόχο την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και στις επιπτώσεις αυτής. Η διασυννοριακή συνεργασία έχει την δυνατότητα να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές συνέπειες από την εφαρμογή μονομερών μέτρων από την εκάστοτε χώρα, ενώ παράλληλα είναι βέβαιο ότι θα συμβάλλει στην ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικότερων λύσεων και στρατηγικών με πολλαπλά οφέλη για όλες τις παρόχθιες χώρες.

Στην παρούσα μελέτη, παρουσιάστηκαν οι θεμελιώδεις αρχές για την ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισης των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται: η επιλογή πολλαπλών σεναρίων για τις κλιματικές προβολές με στόχο την καλύτερη διαχείριση των λεκανών απορροής και την πληρέστερη κατανόηση όλων των παραδοχών των κλιματικών μοντέλων και συνεπώς των αβεβαιοτήτων που προκύπτουν από αυτές. Επιπλέον, η εξασφάλιση όσο το δυνατόν περισσότερων δεδομένων και μεγαλύτερης κάλυψης της περιοχής, συμβάλλει στην κατανόηση όλων των πιθανών επιπτώσεων του φαινομένου. Εξίσου σημαντική είναι και η ανάπτυξη κοινής στρατηγικής μεταξύ των παραποτάμιων χωρών, στην βάση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για τις Πλημμύρες (FD 2007/60), με στόχο την κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας και πλημμυρών, οι οποίοι θα λαμβάνουν υπόψιν τους την κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με τη διερεύνηση, τα βασικότερα μέτρα που περιλαμβάνονται σε μια τυπική στρατηγική αντιμετώπισης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής πρέπει να καλύπτουν όλα τα στάδια της αλυσίδας της προσαρμογής, όπως η πρόληψη, η βελτίωση της ανθεκτικότητας, η προετοιμασία, η αντίδραση και η ανάκαμψη, καθώς και να καλύπτουν όλα τα πιθανά χρονικά πλαίσια των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (μακροπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα, βραχυπρόθεσμα). Όσον αφορά την αντιμετώπιση της εγγενούς αβεβαιότητας του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, προτείνεται η επιλογή μέτρων που χαρακτηρίζονται από υψηλή προσαρμοστικότητα, με στόχο την αύξηση της ικανότητας της στρατηγικής αντιμετώπισης. Σε αυτά περιλαμβάνονται μέτρα τα οποία: μειώνουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ενώ έχουν και κοινωνικοοικονομικά οφέλη, έχουν ισχύ τόσο στα τωρινά κλιματικά καθεστώτα όσο και στις μελλοντικές κλιματικές προβολές, έχουν χαμηλό κόστος και πολλαπλά οφέλη μόνο στα μελλοντικά καθεστώτα της κλιματικής αλλαγής και τέλος μέτρα τα οποία σχεδιάζονται με τροποποιήσιμη μελλοντικά ικανότητα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Η βιβλιογραφική διερεύνηση αναδεικνύει τις δυνατότητες που προκύπτουν μέσω της διασυνοριακής συνεργασίας μεταξύ των παραποτάμιων χωρών με συγκεκριμένα παραδείγματα εφαρμογών σε όλη την έκταση του πλανήτη. Μέσα από αυτές τις εφαρμογές, παρατηρούνται τα δυνητικά οφέλη στην από κοινού διαχείριση των υδατικών πόρων, στην από κοινού λήψη σχετικών αποφάσεων, καθώς και στην τελική υιοθέτηση και εφαρμογή των στρατηγικών αντιμετώπισης. Τέλος, τονίζεται η αναγκαιότητα για κοινή ανάπτυξη των βασικών Σχεδίων Διαχείρισης Πλημμυρών και Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής της κάθε χώρας, και παράλληλα η δημιουργία κοινής Ομάδας Εργασίας (Επιτροπή), που θα αποτελείται από τους κατάλληλους συμμετέχοντες από όλες τις χώρες, όλα τα επίπεδα και όλους τους επηρεαζόμενους τομείς, και θα έχει ως σκοπό την ανάλυση, την επικοινωνία και την επίλυση οποιαδήποτε προβλημάτων και θεμάτων που προκύπτουν στο σύνολο της έκτασης της λεκάνης απορροής.