

Υποθετική θραύση φράγματος: Εκτίμηση απωλειών ζωής για την αποτίμηση της διακινδύνευσης πλημμύρας

Αμ. Πιστρίκα

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., MSc Imperial College, Υ.Δ. ΕΜΠ.

Γ. Τσακίρης

Καθηγητής, Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού, ΕΜΠ.

Λέξεις κλειδιά: Διακινδύνευση πλημμύρας, Τρωτότητα συστήματος, Υποθετική θραύση φράγματος, Θνησιμότητα, Αριθμός απωλειών ανθρώπινης ζωής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και διαχείριση της διακινδύνευσης πλημμύρας προτείνει στα κράτη μέλη μια ολοκληρωμένη προσέγγιση σε επίπεδο λεκάνης απορροής σε τρία υποχρεωτικά στάδια: α) την προκαταρκτική αξιολόγηση της διακινδύνευσης πλημμύρας, β) την παραγωγή χαρτών κινδύνου και διακινδύνευσης πλημμύρας και γ) την εκπόνηση σχεδίων διαχείρισης της πλημμυρικής διακινδύνευσης. Η συγκεκριμένη εργασία επιχειρεί να αποσαφηνίσει τους όρους κίνδυνος και διακινδύνευση πλημμύρας και να εφαρμόσει την Οδηγία στην κατάντη περιοχή στην περίπτωση πλημμύρας μετά από υποθετική θραύση φράγματος. Συγκεκριμένα, επιλέγεται ως περιοχή εφαρμογής, η περιοχή κατάντη του λιθόριπτου φράγματος Σμοκόβου, στην οποία εξετάζεται η διόδευση του πλημμυρικού κύματος υπό συγκεκριμένες συνθήκες θραύσης και εκτιμάται αντίστοιχα η τρωτότητα του υπό απειλή συστήματος. Ως δείκτης της τρωτότητας του συστήματος λαμβάνεται η θνησιμότητα δηλαδή ο λόγος του αριθμού των εκτιμώμενων απωλειών ανθρώπινης ζωής προς τον εκτεθειμένο πληθυσμό. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εκτίμηση των απωλειών ζωής στην κατάντη περιοχή, επιτυγχάνεται η προκαταρκτική αξιολόγηση της διακινδύνευσης της πλημμύρας και θεμελιώνεται επίσης το δεύτερο στάδιο της Οδηγίας, δηλαδή η παραγωγή χαρτών κινδύνου και διακινδύνευσης της πλημμύρας.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να εφαρμόσει το πρώτο στάδιο της Οδηγίας, αυτό της προκαταρκτικής αξιολόγησης, στην περίπτωση πλημμύρας μετά από υποθετική θραύση φράγματος. Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ δεν αναφέρει ρητά το συγκεκριμένο τύπο πλημμύρας, ωστόσο ξεκάθαρα επισημαίνει ότι το πρώτο στάδιο της προκαταρκτικής αξιολόγησης στοχεύει στην αναγνώριση εκείνων των περιοχών, όπου η διακινδύνευση από πλημμύρα κρίνεται σημαντική είτε σήμερα είτε στο άμεσο μέλλον και ότι τα κράτη μέλη της ΕΕ οφείλουν να ολοκληρώσουν το πρώτο στάδιο έως το τέλος του 2011 {16}.

Συγκεκριμένα το δεύτερο κεφάλαιο της Οδηγίας αναφέρεται στο περιεχόμενο της προκαταρκτικής αξιολόγησης του κινδύνου πλημμύρας σε επίπεδο λεκάνης απορροής και μεταξύ των άλλων αναφέρεται στην «αξιολόγηση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών των μελλοντικών πλημμυρών στην υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα...». Ακόμη στο τρίτο κεφάλαιο της Οδηγίας, που περιγράφει το στάδιο παραγωγής χαρτών πλημμυρικού κινδύνου και διακινδύνευσης, αναφέρει ότι «οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας περιγράφουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τις πλημμύρες ...και εκφράζονται ως εξής: α) ενδεικτικός αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν'...»{16}.

Με βάση τις παραπάνω αναφορές η νέα Οδηγία για τις πλημμύρες υπογραμμίζει την αναγκαιότητα για την εκτίμηση όχι μόνο των υλικών ζημιών αλλά και των απωλειών ανθρώπινης ζωής που ενδέχεται να προκληθούν υπό συγκεκριμένα σενάρια ακραίας πλημμύρας.

Σε ότι αφορά τους όρους «κίνδυνος πλημμύρας» και «διακινδύνευση πλημμύρας», η συγκεκριμένη εργασία δεν υιοθετεί την προτεινόμενη ορολογία της ελληνικής έκδοσης της Οδηγίας {16} αλλά τις επιταγές της Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων {8} και τη διεθνή βιβλιογραφία {1, 12, 13, 14}, σύμφωνα με τις οποίες ο όρος «κίνδυνος πλημμύρας» αναφέρεται στην πιθανότητα εμφάνισης ενός πλημμυρικού γεγονότος υπό συγκεκριμένες χωροχρονικές συνθήκες ενώ ο όρος «διακινδύνευση πλημμύρας» αναφέρεται στις δυσμενείς επιπτώσεις αμέσως μετά το πέρας του πλημμυρικού γεγονότος στην πληγείσα περιοχή. Ο ορισμός αυτός της διακινδύνευσης πλημμύρας τονίζει τη σημαντικότητα της εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς. Με βάση αυτό το σκεπτικό η παρούσα εργασία επικεντρώνει το ενδιαφέρον της στην εφαρμογή μιας εμπειρικής μεθόδου εκτίμησης απωλειών ανθρώπινης ζωής υπό συγκεκριμένες συνθήκες υποθετικής θραύσης φράγματος. Με αυτό τον τρόπο η εργασία καταλήγει στην αποτίμηση της διακινδύνευσης στη πληγείσα περιοχή κατάντη του φράγματος.

Στην επόμενη παράγραφο δίνεται μια σύντομη περιγραφή του φράγματος Σμοκόβου και της εν δυνάμει πληγείσας περιοχής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της ανάλυσης διόδευσης πλημμυρικού κύματος υπό συγκεκριμένες συνθήκες υποθετικής θραύσης φράγματος σε επιλεγμένες θέσεις διατομών κατάντη του φράγματος και αναφέρονται οι παραδοχές της ανάλυσης. Ακολουθεί η παρουσίαση της εμπειρικής μεθόδου εκτίμησης αριθμού απωλειών ανθρώπινης ζωής και η εφαρμογή της στην κατάντη του φράγματος πληγείσα περιοχή. Η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα την εκτίμηση της θνησιμότητας στις θέσεις των κατάντη πληγέντων οικισμών και την εκτίμηση ενδεικτικού αριθμού απωλειών ζωής στους πληγέντες οικισμούς. Τέλος, συνοψίζονται οι κρίσιμες παραδοχές και τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΦΡΑΓΜΑ ΣΜΟΚΟΒΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ

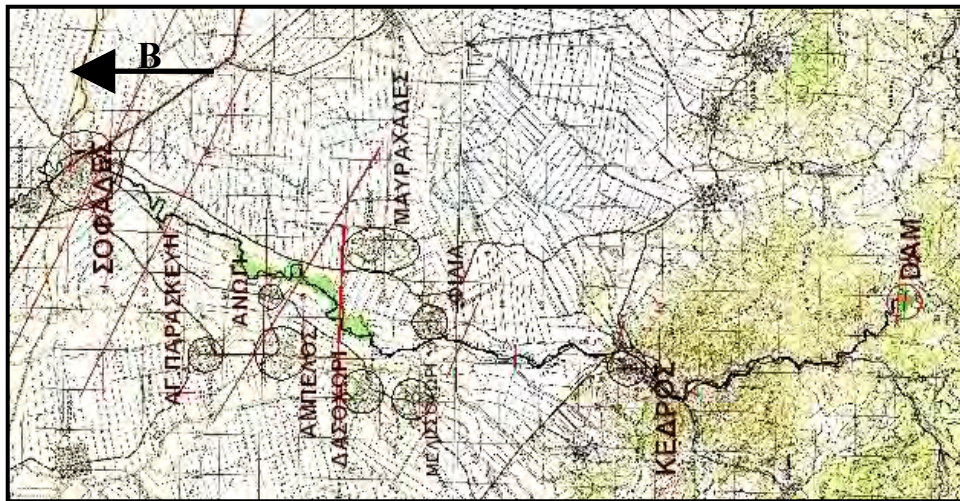
Τα στοιχεία που είχαμε στη διάθεσή μας για την ανάλυση της διόδευσης πλημμυρικού κύματος ήταν η έκθεση (εισαγωγικό μέρος) της μελέτης "Οριστική μελέτη συμπληρωματικών αντιπλημμυρικών έργων πεδιάδων ν. Καρδίτσας" {17} και η "Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του φράγματος Σμοκόβου" {15} που αφορά την περιγραφή των τεχνικών έργων του φράγματος. Επίσης ήταν γνωστά τα διαγράμματα στάθμης – επιφάνειας και στάθμης – όγκου του ταμιευτήρα καθώς και η οριζοντιογραφία της ευρύτερης περιοχής από τη θέση του φράγματος μέχρι τη κωμόπολη των Σοφάδων σε κλίμακα 1:5000.

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά της εν δυνάμει πληγείσας περιοχής κατάντη του φράγματος

Το αρδευτικό φράγμα Σμοκόβου βρίσκεται πάνω από το ποταμό Σοφαδίτη (π. Ονόχωνος) στην ορεινή ζώνη και σε απόσταση 28 km περίπου από την κωμόπολη των Σοφάδων και 32 km περίπου από την πόλη της Καρδίτσας, στη Θεσσαλία. Ο ποταμός Σοφαδίτης είναι ένας από τους πολυάριθμους παραπόταμους του Πηνειού, ο οποίος αποτελεί τον κεντρικό συλλεκτήρα των νερών της περιοχής Θεσσαλίας. Ο Σοφαδίτης κατευθύνεται προς το βορρά και εκβάλλει στο ποταμό Φαρσαλίτη και κατόπιν στον Ενιπέα, παραπόταμο του Πηνειού {15}.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, στην έξοδο της στενής κοίτης του Σοφαδίτη και σε απόσταση μόλις 10 km κατάντη της θέσης του φράγματος, βρίσκεται ο οικισμός Κέδρος. Ακολουθούν κατά μήκος του ποταμού και σε απόσταση ενός - δύο χιλιομέτρων ο ένας από τον άλλο, οι οικισμοί Φίλια, Μαυραχάδες, Μελισσοχώρι, Δασοχώρι, Άμπελος, Ανώγιο και Αγία Παρασκευή, και τέλος η κωμόπολη των Σοφάδων σε απόσταση περίπου 28 km από τη θέση του φράγματος. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία {5, 11} οι μελέτες εκτίμησης απωλειών ζωής λόγω ενδεχόμενης αστοχίας φράγματος θα πρέπει να επεκτείνονται στην κατάντη περιοχή περίπου 25-30 km για την κατηγορία χωμάτινο φράγμα ύψους περίπου 100 m.

Στις θέσεις των προαναφερόμενων οικισμών θα εξεταστεί στη συνέχεια το ενδεχόμενο να υποστούν ανθρώπινες απώλειες ανάλογα με τη δίοδο και τις ζώνες επιρροής του πλημμυρικού κύματος υπό συγκεκριμένες συνθήκες αστοχίας του φράγματος.



Εικόνα 1: Θέσεις οικισμών σε τοπογραφικό χάρτη της περιοχής κλίμακας 1:50,000

Τα πληθυσμιακά και κοινωνικής φύσεως στοιχεία των οικισμών φαίνονται στον Πίνακα 1 λαμβάνοντας υπόψη την απογραφή του 2001 και εκτιμήσεις σχετικά με την εργασιακή απασχόληση των μόνιμων κατοίκων.

Πίνακας 1. Πληθυσμιακά στοιχεία των οικισμών κατάντη του φράγματος σε απόσταση περίπου 30 km

Οικισμοί	Μόνιμος Πληθυσμός (απογραφή 2001)	Ομάδα Ηλικιών*	Ενεργός πληθυσμός	Απασχόληση εντός οικισμού εκτός οικισμού	
Κέδρος	808	131	364	146	218
Φίλια	560	102	280	56	224
Μελισσοχώρι	326	61	163	33	130
Δασοχώρι	379	67	190	38	152
Μαυραχάδες	547	80	274	55	219
Άμπελος	469	67	235	47	188
Ανώγειο	120	12	60	12	48
Αγία Παρασκευή	393	84	197	39	158
Σοφάδες	6416	1851	2887	1443	1444

*παιδιά 0-14 ετών και ηλικιωμένοι 80 ετών και άνω

Τα κτήρια στους υπό απειλή οικισμούς είναι στην πλειοψηφία τους μόνιμες κατοικίες, ισόγεια ή διώροφα σπίτια θεμελιωμένα σε πλάκα με σκελετό από σκυρόδεμα και απλή τοιχοποιία. Η παραπάνω κατανομή πληθυσμού σε ενεργό καθώς επίσης και σε πληθυσμό εντός και εκτός οικισμού χρησιμοποιήθηκε στην εκτίμηση του μεγέθους του εκτεθειμένου πληθυσμού. Συγκεκριμένα θεωρήθηκε ως εκτεθειμένος πληθυσμός για την περίπτωση της ημέρας ο πληθυσμός εντός οικισμού (περίπου 10-20% μόνιμου πληθυσμού) μαζί με τον πληθυσμό ευπαθών ομάδων ηλικιών και για την περίπτωση της νύχτας ο μη ενεργός πληθυσμός (μόνιμος - ενεργός) πάλι μαζί με τον πληθυσμό ευπαθών ομάδων ηλικιών. Να σημειωθεί ότι δεν λήφθηκε υπόψη η εποχιακή διακύμανση του ενεργού πληθυσμού στις εκτιμήσεις του εκτεθειμένου πληθυσμού.

2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος και ταμιευτήρα

Η λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη, ορθογωνίου περίπου σχήματος, έχει επιφάνεια περίπου 380 km² έως τη θέση του φράγματος, με μέσο υψόμετρο 621 m. Η μέση βροχόπτωση, στη λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη, είναι της τάξης των 1000 mm και η μέση ετήσια παροχή του, στη θέση του φράγματος ανέρχεται περίπου σε 7 m³/sec, όπως προέκυψε από μετρήσεις κατά το διάστημα 1961-1980

{15}. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι στη στάθμη +375 m και η κατώτατη στάθμη λειτουργίας του στο υψόμετρο +331 m. Η ολική χωρητικότητα είναι $240 \times 10^6 \text{ m}^3$ με ωφέλιμο όγκο $200 \times 10^6 \text{ m}^3$. Σύμφωνα με την "Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του φράγματος Σμοκόβου" {15}, το φράγμα Σμοκόβου είναι λιθόρριπτο με κεκλιμένο, προς τα ανάντη, κεντρικό αργιλικό πυρήνα. Έχει ύψος περίπου 100 m πάνω από την κοίτη του ποταμού, υψόμετρο στέψης στο +382 m και μήκος στέψης περίπου 450 m, και πλάτος στέψης 11 m. Στο αριστερό αντέρεισμα έχει τοποθετηθεί ανοικτός υπερχειλιστής πλάτους 8 m, μήκους περίπου 250 m και υψόμετρο στέψης στο +375 m. Για το σχεδιασμό του υπερχειλιστή, έχει ληφθεί υπόψη πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς $T=5000$ έτη και αιχμή παροχής $2071 \text{ m}^3/\text{sec}$. Τέλος, το στόμιο υδροληψίας του εκκενωτή πυθμένα βρίσκεται σε υψόμετρο +322 m και συνδέεται με τη σήραγγα εκτροπής, η οποία σχεδιάστηκε με μέγιστη παροχετευτικότητα $335 \text{ m}^3/\text{sec}$.

3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Το φράγμα Σμοκόβου είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, λιθόρριπτο φράγμα με κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα και κατά συνέπεια ανήκει στην κατηγορία των εύκαμπτων φραγμάτων. Δύο σημαντικά μειονεκτήματα των εύκαμπτων φραγμάτων έναντι των άκαμπτων φραγμάτων είναι α) η ευπάθειά τους και μεγάλη πιθανότητα καταστροφής τους σε περίπτωση υπερπήδησης και β) η πιθανότητα καταστροφής τους λόγω της «διασωλήνωσης» (ripping).

Γενικά, ο συνηθέστερος μηχανισμός αστοχίας που συναντάται στα εύκαμπτα φράγματα άνω των 15 m, είναι η περίπτωση της υπερπήδησης πλημμύρας πάνω από τη στέψη του φράγματος. Στην περίπτωση αυτή, η θραύση δεν γίνεται στιγμιαία αλλά διαρκεί κάποιο χρόνο (συνήθως πάνω από μία ώρα) ο οποίος εξαρτάται από το ύψος του φράγματος, τον τύπο των χρησιμοποιηθέντων υλικών, το βαθμό συμπύκνωσής τους και την ποσότητα του νερού που υπερπήδησε το φράγμα {1, 8}. Η αστοχία αρχίζει με τη δημιουργία ενός ρήγματος, το οποίο διευρύνεται προοδευτικά προς τη βάση του φράγματος. Το πλάτος του ρήγματος είναι συνήθως μικρότερο από το συνολικό πλάτος του φράγματος. Η μορφή του ρήγματος εξαρτάται από τα υλικά και τη διαδικασία κατασκευής του φράγματος και είναι γενικά τραπεζοειδούς μορφής και σε ορισμένες περιπτώσεις ορθογωνικής ή τριγωνικής μορφής. Σημαντικό για την ανάλυση είναι το γεγονός ότι ο όγκος και η αιχμή του υδρογραφήματος εκροής εξαρτώνται σημαντικά από το χρόνο σχηματισμού του ρήγματος και τη μορφή του ανοίγματος {1, 8}.

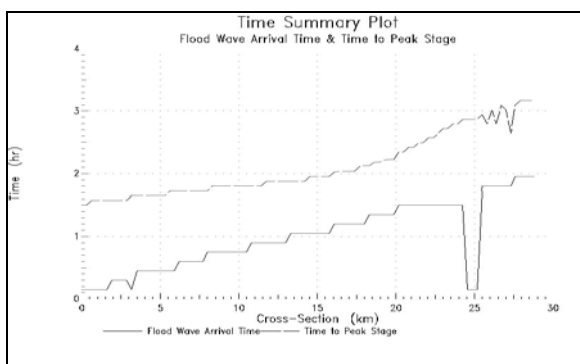
Στην προκειμένη περίπτωση για την ανάλυση των συνεπειών ενδεχόμενης αστοχίας του φράγματος χρησιμοποιήθηκε υπολογιστικό πρόγραμμα BOSS DAMBRK version 3.0, το οποίο αποτελεί εμπλουτισμένη έκδοση του προγράμματος, του καθηγητή D.L.Fread, 1991 NWS DAMBRK program {2}. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από την NWS (National Weather Service) των ΗΠΑ συνίσταται στη χρήση αριθμητικών μοντέλων για την ανάλυση του φαινομένου και συγκεκριμένα του μοντέλου FLDWAV του οποίου εξέλιξη αποτελεί το DAMBRK {4}. Στο πρόγραμμα γίνεται δεκτό ότι η καταστροφή του φράγματος γίνεται βαθμιαία και το άνοιγμα έχει γενικά τραπεζοειδή μορφή και οριακά ορθογωνική. Η ροή του νερού μέσα από το συνεχώς διευρυνόμενο άνοιγμα υπολογίζεται σύμφωνα με τις θεωρίες ροής πάνω από εκχειλιστές πλατιάς στέψης {2}.

3.1.1 Σχόλιο για την ακρίβεια των υπολογισμών του προγράμματος DAMBRK

Το πρόγραμμα του DAMBRK απαιτεί από το χρήστη την εισαγωγή πολλών παραμέτρων και μεταβλητών, πολλές από τις οποίες υπολογίζονται όχι αναλυτικά αλλά εμπειρικά από μετρήσεις σε πραγματικές περιπτώσεις αστοχιών όπως είναι η μορφή και ο χρόνος σχηματισμού του ρήγματος, το σχήμα του καναλιού κατάντη της θέσης του φράγματος, ο συντελεστής τραχύτητας Manning για τις θέσεις των διατομών κατάντη, μια εκτίμηση σε κάθε θέση διατομής για το εάν κάθε κομμάτι της εκάστοτε διατομής αποθηκεύει ή διοδεύει νερό κατάντη και εάν υπάρχουν άλλες απώλειες νερού

από το σύστημα. Κατά την εφαρμογή του προγράμματος υπάρχει επομένως μεγάλο περιθώριο για λανθασμένες εκτιμήσεις, οι οποίες συσσωρευτικά να καταλήξουν σε ανακριβή αποτελέσματα.

Σύμφωνα με μελέτη του Graham, η οποία δημοσιεύτηκε το 2000 και βασίστηκε σε περιστατικά πραγματικών αστοχιών 40 περίπου χωμάτινων φραγμάτων, φαίνεται ότι τα όρια κατάκλυσης της κατάντη του φράγματος περιοχής που προκύπτουν από ανάλογες αναλύσεις υποθετικής θραύσης φράγματος μπορούν άνετα να χρησιμοποιηθούν σε σχέδια έκτακτης ανάγκης {6, 7}. Τα όρια κατάκλυσης προκύπτουν συνήθως υπερεκτιμημένα με τη χρήση του DAMBRK αλλά αρκετά κοντά στην πραγματικότητα και έτσι η συνέπεια π.χ. της εκκένωσης υπερβολικά πολλών ανθρώπων θεωρείται ασήμαντη. Στην περίπτωση, ωστόσο, εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς, οι συνέπειες της υπερεκτίμησης των ορίων κατάκλυσης είναι πιο σημαντικές, εντούτοις γίνονται συνήθως δεκτές υπέρ της ασφαλείας. Σημαντικό πρόβλημα ανακρίβειας εντοπίζεται στους χρόνους άφιξης του μετώπου πλημμυρικού κύματος, όπου ως χρόνος άφιξης ορίζεται ο χρόνος που περνά μέχρι να ανέβει η στάθμη του νερού κατά 0,304 m σε κάθε επιλεγμένη θέση. Είναι αρκετά πιθανό οι χρόνοι αυτοί να βρεθούν ακόμα πιο αναξιόπιστοι, όσο το πλημμυρικό κύμα απομακρύνεται από τη θέση του φράγματος. Το παρακάτω γράφημα δείχνει, για παράδειγμα, τον λανθασμένο υπολογισμό του προγράμματος στη θέση διατομής που βρίσκεται 25 km απόσταση από το φράγμα Σμοκόβου. Ωστόσο, λόγω έλλειψης εμπειρικού υπόβαθρου στην περιοχή, οι χρόνοι αυτοί χρησιμοποιούνται ως δεδομένα κατά την εφαρμογή της μεθόδου εκτίμησης απωλειών ζωής.



Εικόνα 2: Γράφημα χρόνου άφιξης πλημμυρικού κύματος και χρόνου άφιξης αντίστοιχης αιχμής υπό σενάριο υποθετικής θραύσης

3.2 Εφαρμογή: Διόδευση πλημμυρικού κύματος στην περιοχή κατάντη του φράγματος Σμοκόβου

Το σενάριο υποθετικής θραύσης του φράγματος Σμοκόβου αναπτύχθηκε με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος, τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής και τα συμπεράσματα στατιστικών αναλύσεων της επιτροπής της ICOLD και της ANCOLD αντίστοιχα, βάσει πραγματικών περιστατικών αστοχίας.

Πίνακας 2. Συνθήκες υποθετικής θραύσης φράγματος

Αιχμή υδρογραφικού εκροής (*10 ³ m ³ /s)	Χρόνος σχηματισμού ρήγματος (h)	Σχήμα Ρήγματος		Κλίση πρανών
		ύψος (m)	πλάτος(m)	
40	1,5	50	50	1:1

Για τους παραπάνω υπολογισμούς, θεωρήθηκε επίσης ότι ισχύουν οι παρακάτω παραδοχές:

- Μηχανισμός αστοχίας; υπερπήδηση πλημμύρας πάνω από τη στεψη φράγματος
- Σχήμα ρήγματος; ορθογωνικό

- Ταμιευτήρας πλήρης μέχρι τη στέψη του εκχειλιστή κατά τη στιγμή έναρξης σχηματισμού του ρήγματος με σύγχρονη εισροή πλημμυρικού υδρογραφήματος περιόδου επαναφοράς $T=5000$ έτη και συγχρονη ολική εκροή ίση με $300 \text{ m}^3/\text{sec}$

Οι θέσεις διατομών στην κατάντη περιοχή που φαίνονται σε οριζοντιογραφία στον τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1: 50,000 (Εικ. 1), επιλέχθηκαν έτσι ώστε να φτάνουν οριζοντιογραφικά μέχρι και τα όρια των οικισμών. Η περιγραφή τους δίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Οι επιλεγμένες θέσεις διατομών στην κατάντη του φράγματος περιοχή

	Χ.Θ. (km)	Συντελεστής Manning	μεγ. Πλάτος διατομής (km)		Περιγραφή
			διόδευση	αποθήκευση	
Διατομή 1	0,0	0,05	0,5	-	Φράγμα
Διατομή 2	3,5	0,05	0,45	-	-
Διατομή 3	8,0	0,05	0,5	-	-
Διατομή 4	13,0	0,05	0,4	-	Κέδρος
Διατομή 5	14,5	0,04	0,8	1,2	Φίλια / Μελισσο- χώρι
Διατομή 6	18,3	0,04	1,6	4,4	Δασοχώρι / Μαυ- ραχάδες
Διατομή 7	20,5	0,04	3,0	5,0	Ανώγι / Άμπελος/ Αγία Παρασκευή
Διατομή 8	25,5	0,035	6,0	4,0	-
Διατομή 9	28,8	0,035	12	-	Σοφάδες

Σε καθεμία από τις διατομές υπολογίστηκαν με τη χρήση του προγράμματος DAMBRK η μέγιστη παροχή σε m^3/s , το μέγιστο ύψος κατάκλυσης σε m, ο χρόνος άφιξης του μετώπου πλημμυρικού κύματος σε hrs και ο χρόνος άφιξης της αιχμής του πλημμυρικού κύματος σε h. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το φράγμα Σμοκοβου δίνονται στον Πίνακα 4 για τις χαρακτηριστικές θέσεις του φράγματος και των κατάντη οικισμών.

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπολογισμών με τη χρήση του DAMBRK

Περιγραφή	μεγ. παρο- χή (* $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$)	μεγ. βάθος ροής (m)	χρόνος άφιξης πλημ. μετώπου (h)	χρόνος αιχμής (h)
Φράγμα	40,0	46,0	0,15	1,50
Κέδρος	32,0	20,0	0,90	1,80
Φίλια / Μελισσο- χώρι	31,5	12,0	1,05	1,95
Δασοχώρι / Μαυ- ραχάδες	28,5	10,0	1,35	2,20
Ανώγι / Άμπελος/ Αγία Παρασκευή	27,0	8,0	1,50	2,35
Σοφάδες	20,5	5,0	1,90	3,20

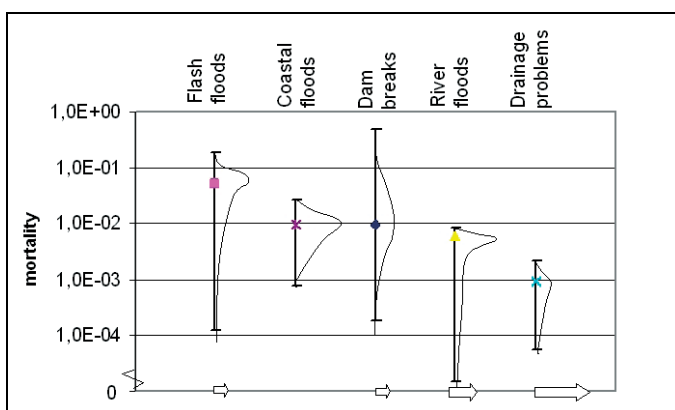
4 ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΖΩΗΣ

4.1 Εισαγωγικό σχόλιο

Ένας από τους πιο αξιόπιστους ορισμούς της τρωτότητας (vulnerability) ενός συστήματος έχει δοθεί από την Διεθνή Στρατηγική για τη Μείωση της Διακινδύνευσης (ISDR) {9} και αναφέρει ότι

ως «τρωτότητα» μπορεί να θεωρηθούν « οι συνθήκες και διαδικασίες που απορρέουν από φυσικούς, κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και οικονομικούς παράγοντες και οι οποίες αυξάνουν την ευπάθεια μιας κοινότητας στην επίδραση φυσικών κινδύνων». Η ανάλυση της τρωτότητας ενός συστήματος επιχειρείται συνήθως μέσω οικονομικών και κοινωνικών δεικτών {13} που ποσοτικοποιούν τις επιπτώσεις που έχει ένα συγκεκριμένο π.χ. πλημμυρικό γεγονός σε ένα πληγέντα οικισμό. Με βάση αυτό το σκεπτικό ως δείκτης της τρωτότητας ενός συστήματος μπορεί να θεωρηθεί η θνησιμότητα που ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού εκτιμώμενων απωλειών ανθρώπινης ζωής προς τον εκτεθειμένο πληθυσμό του υπό απειλή οικισμού.

Η Εικόνα 3 δίνει μια σχηματική παρουσίαση των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας θνησιμότητας για διαφορετικούς τύπους πλημμύρας {10}. Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν με δεδομένα από τη Διεθνή Τράπεζα Καταστροφών - OFDA / CRED International Disaster Database (EM-DAT) {3}, η οποία καταγράφει παγκοσμίως όλα τα πλημμυρικά γεγονότα μείζονος σημασίας και τον αντίστοιχο αριθμό θυμάτων και πληγέντων ανθρώπων. Η μέση τιμή θνησιμότητας (mortality) φαίνεται με μια κουκκίδα και τα όρια εμπιστοσύνης 10% και 90% φαίνονται με οριζόντιες γραμμές.



Εικόνα 3: Συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας θνησιμότητας για διάφορους τύπους πλημμύρας {10}

Η μέση τιμή θνησιμότητας σχετίζεται με α) την δυνατότητα έγκαιρης προειδοποίησης και εκκενώσης του πληθυσμού και β) με την ένταση των πλημμυρικών φαινομένων (π.χ. ταχύτητα, βάθος ροής, ρυθμός ανύψωσης νερού). Η ποιοτική σύγκριση των διαφορετικών τύπων πλημμύρας στο γράφημα δείχνει ότι οι συνηθέστερες περιπτώσεις εξαιρετικών συνθηκών πλημμύρας και περιορισμένου χρόνου εκκένωσης είναι οι πλημμύρες από θραύσεις φραγμάτων και οι ραγδαίες πλημμύρες (flash floods), οι οποίες δίνουν μεγάλες τιμές θνησιμότητας {10}. Ένας γενικός κανόνας εκτίμησης απωλειών ζωής είναι ότι οι απώλειες ισούνται με το 1% του εκτεθειμένου πληθυσμού ιδιαίτερα για παράκτιες πλημμύρες εάν και στην περίπτωση πλημμύρων από θραύση φράγματος παρουσιάζεται μεγάλο εύρος και μεγάλη διακύμανση στις εκτιμήσεις απωλειών ζωής {7}.

4.2 Μέθοδος εκτίμησης απωλειών ανθρώπινης ζωής

Τα περισσότερα εμπειρικά μοντέλα εκτίμησης απωλειών ζωής στη διεθνή βιβλιογραφία στηρίζονται σε στατιστικές αναλύσεις ιστορικών περιστατικών θραύσης φράγματος και περιλαμβάνουν τις μεταβλητές «εκτεθειμένος πληθυσμός», «διαθέσιμος χρόνος για εκκένωση» {11} και κάποιες φορές παραμέτρους της πλημμύρας όπως είναι το ύψος κατάκλυσης και το γινόμενο ύψους νερού x ταχύτητα ροής {5}.

Πιο πρόσφατες έρευνες οδήγησαν στην ανάπτυξη προγραμμάτων όπως είναι το πρόγραμμα «LifeSim», το οποίο αναπτύχθηκε το 2002 στον Καναδά και περιλαμβάνει διάφορες κατηγορίες μεταβλητών για να περιγράψει την πλημμύρα και την υπό απειλή περιοχή, το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και εκκένωσης και τέλος τον εκτεθειμένο πληθυσμό. Το πρόγραμμα «LifeSim» διακρίνει ζώνες διαφορετικών συνθηκών πλημμύρας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ντετερμινιστι-

κούς και για πιθανοτικούς υπολογισμούς. Ωστόσο, το σημαντικό μειονέκτημα του προγράμματος είναι η εισαγωγή μεγάλου αριθμού μεταβλητών για τις οποίες υπάρχει συνήθως πολύ λίγη εμπειρική πληροφορία διαθέσιμη [11].

Σε αντίθεση με την παραπάνω αναλυτική μέθοδο, ο Graham παρουσίασε το 1999 μια εμπειρική μέθοδο εκτίμησης απωλειών ανθρώπινης ζωής από πλημμύρες λόγω θραύσης φράγματος [5]. Με τη μέθοδο αυτή προτείνονται συγκεκριμένες τιμές και εύρη τιμών θνησιμότητας ανάλογα με την ένταση των πλημμυρικών συνθηκών, τον χρόνο έγκαιρης ειδοποίησης και εκκένωσης και την κατανόηση της έντασης της πλημμύρας από τον πληθυσμό. Χρησιμοποιούνται ποσοτικά κριτήρια για τον καθορισμό ζωνών έντασης πλημμύρας (υψηλής, μέτριας και χαμηλής) που βασίζονται στο μέγιστο ύψος κατάκλυσης και στην παράμετρο $DV = (\text{ύψους νερού}) \times (\text{ταχύτητα ροής})$ και μπορεί να υπολογιστεί με βάση την παρακάτω εξίσωση.

$$DV = \frac{Q_{df} - Q_{2.33}}{W_{df}} \quad (1)$$

όπου Q_{df} είναι η αιχμή της παροχής σε συγκεκριμένη θέση από την αστοχία του φράγματος, $Q_{2.33}$ είναι η μέση υπερειτέσια παροχή στην ίδια θέση, και W_{df} είναι το μέγιστο πλάτος κατάκλυσης στην ίδια θέση διατομής. Διακρίνονται, επίσης τρεις κατηγορίες διαθέσιμου χρόνου προειδοποίησης: καθόλου / ελάχιστος χρόνος (< 15 λεπτά), μερικός χρόνος (15 – 60 λεπτά) και επαρκής χρόνος προειδοποίησης (> 60 λεπτά). Η παράμετρος «κατανόηση πλημμύρας» εξαρτάται από το εάν η ειδοποίηση λήφθηκε και κατανοήθηκε ξεκάθαρα από τον πληθυσμό και διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: στην ασαφή κατανόηση και στην ακριβή κατανόηση [5]. Οι προτεινόμενες τιμές θνησιμότητας βασίζονται στην στατιστική ανάλυση 40 πραγματικών περιστατικών θραύσης φράγματος > 15m που συνέβησαν από το 1960 μέχρι σήμερα στις ΗΠΑ. Συνοπτικά η μέθοδος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5. Τιμές θνησιμότητας για την εκτίμηση απωλειών ζωής από θραύση φράγματος [5]

Ένταση Πλημμύρας	Χρόνος Ειδοποίησης (Min)	Κατανόηση Πλημμύρας	θνησιμότητα	
			Προτεινόμενη Τιμή	Προτεινόμενο Εύρος
ΥΨΗΛΗ	χωρίς ειδοποίηση	μη εφαρμόσιμος	0,75	0,3 έως 1,00
	15 έως 60	ασαφής	Οι παραπάνω τιμές θνησιμότητας εφαρμόζονται στον πληθυσμό που θεωρείται ότι παραμένει στην περιοχή κατάκλυσης και μετά την ειδοποίηση. Οδηγία για την εκτίμηση του πληθυσμού αυτού δεν δίνεται.	
		ακριβής		
	> 60	ασαφής		
ακριβής				
ΜΕΤΡΙΑ	χωρίς ειδοποίηση	μη εφαρμόσιμος	0,15	0,03 έως 0,35
	15 έως 60	ασαφής	0,04	0,01 έως 0,08
		ακριβής	0,02	0,005 έως 0,04
	> 60	ασαφής	0,03	0,005 έως 0,06
ακριβής		0,01	0,002 έως 0,02	
ΧΑΜΗΛΗ	χωρίς ειδοποίηση	μη εφαρμόσιμος	0,01	0,0 to 0,02
	15 έως 60	ασαφής	0,007	0,0 to 0,015
		ακριβής	0,002	0,0 to 0,004
	> 60	ασαφής	0,0003	0,0 to 0,0006
ακριβής		0,0002	0,0 to 0,0004	

4.3 Εφαρμογή της μεθόδου στους κατόντη του φράγματος υπό απειλή οικισμούς

Για την εφαρμογή της μεθόδου του Graham στην περίπτωση πλημμύρας από υποθετική θραύση του φράγματος Σμοκόβου, έγινε αρχικά η κατηγοριοποίηση κάθε διατομής σε ζώνες έντασης πλημμύρας (flood severity zones) με βάση την παράμετρο DV. Η παράμετρος DV θεωρείται αξιόπιστος δείκτης του βαθμού καταστροφής που μπορεί να προκαλέσει μια πλημμύρα σε μια κατασκευή. Όταν $DV < 4,6 \text{ m}^2/\text{s}$ τότε η ένταση της πλημμύρας στη συγκεκριμένη διατομή θεωρείται χαμηλή και αντίστοιχα όταν $DV > 4,6 \text{ m}^2/\text{s}$ τότε η ένταση της πλημμύρας θεωρείται μέτρια. Για να θεωρηθεί ότι μια διατομή ανήκει σε ζώνη υψηλής έντασης πλημμύρας θα πρέπει το βάθος ροής στη διατομή να έχει ιδιαίτερα μεγάλη τιμή, η οποία να παίρνει τη μέγιστη τιμή της σε διάστημα λίγων λεπτών. Στη ζώνη υψηλής έντασης πλημμύρας θεωρείται ότι η πλημμύρα είναι τόσο καταστροφική που μένουν ελάχιστα ή καθόλου ίχνη κατασκευής ή ανθρώπινης δραστηριότητας μετά το πέρασμα της πλημμύρας {5}.

Τέλος, τονίζεται ότι τα μέγιστα ύψη νερού και οι αιχμές παροχής που υπολογίζονται από το πρόγραμμα είναι αποτέλεσμα συσσωρευμένων απλοποιητικών παραδοχών, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τη γεωμετρία κάθε διατομής (λαμβάνεται κατά παραδοχή τραπεζοειδής) και την εκτίμηση ομοιόμορφου σε όλη τη διατομή συντελεστή Manning. Στον πίνακα 6 παρατηρούμε ότι η ζώνη υψηλής έντασης του πλημμυρικού φαινομένου εκτείνεται σε απόσταση περίπου 13 km από τη θέση του φράγματος, γεγονός που θέτει σε άμεσο κίνδυνο τους κατοίκους στον οικισμό Κέδρο.

Πίνακας 6. Καθορισμός ζωνών πλημμυρικής έντασης υπό συγκεκριμένες συνθήκες αστοχίας του φράγματος

Περιγραφή	μεγ. παροχή (*10 ³ m ³ /s)	μέση υπερετησια παροχή (m ³ /s)	DV (m ² /s)	Ένταση Πλημμύρας
Φράγμα	40,0	7,0	99,98	ΥΨΗΛΗ
Κέδρος	32,0	8,0	63,98	ΥΨΗΛΗ
Φύλια / Με- λισσοχώρι	31,5	8,0	15,75	ΜΕΤΡΙΑ
Δασοχώρι / Μαυραχάδες	28,5	9,0	5,70	ΜΕΤΡΙΑ
Ανώγι / Ά- μπελος/ Αγία Παρασκευή	27,0	9,0	3,37	ΧΑΜΗΛΗ
Σοφάδες	20,5	10,0	1,71	ΧΑΜΗΛΗ

Το επόμενο βήμα για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η εκτίμηση του χρόνου ειδοποίησης (warning time) όπου γίνεται η παραδοχή ότι ο χρόνος ειδοποίησης που απαιτείται για να εκκενωθεί ο οικισμός και ο διαθέσιμος χρόνος για εκκένωση είναι ο ίδιος, δηλαδή θεωρούμε ότι η αντίδραση του υπό απειλή πληθυσμού είναι ακαριαία. Σύμφωνα με τη μέθοδο ισχύει (χρόνος ειδοποίησης) = (χρόνος άφιξης πλημμυρικού μετώπου) – (χρόνος έναρξης ειδοποίησης θραύσης). Για την εκτίμηση του χρόνου έναρξης ειδοποίησης θραύσης χρησιμοποιείται ο Πίνακας 7. Στην περίπτωση του φράγματος Σμοκόβου επιλέγεται αστοχία λόγω υπερπήδησης και λεκάνη απορροής μέχρι τη θέση του φράγματος μεγαλύτερη σε εμβαδό από 260 km². Επίσης θεωρείται ότι υπάρχουν πολλοί παρατηρητές στο φράγμα δεδομένου ότι στη στέψη του φράγματος περνά δρόμος ο οποίος χρησιμοποιείται συχνά από τους ντόπιους για τις μετακινήσεις τους. Για την τελική εκτίμηση του διαθέσιμου χρόνου ειδοποίησης λαμβάνουμε υπόψη και τις δυο περιπτώσεις της ημέρας και της νύχτας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 7. Οδηγός για την εκτίμηση του χρόνου έναρξης προειδοποίησης θραύσης {5}

ΤΥΠΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ΑΙΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ	ειδικές παρατηρήσεις	χρονος θραυσης	ποτε η ειδοποίηση θραυσης φραγματος ενεργοποιείται ;	
				πολλοί παρατηρητές στο φράγμα	καθόλου παρατηρητές στο φράγμα
χωμάτινο	υπερπήδηση	λεκάνη απορροής έως φράγμα < 260 km ²	ημέρα	0,25 ώρες πριν την αστοχία	0,25 ώρες αφού το κύμα φτάσει στην πληγείσα περιοχή
		λεκάνη απορροής έως φράγμα < 260 km ²	νύχτα	0,25 ώρες μετά την αστοχία	1 ώρα αφού το κύμα φτάσει στην πληγείσα περιοχή
		λεκάνη απορροής έως φράγμα > 260 km ²	ημέρα	2 ώρες πριν την αστοχία	1 ώρα πριν την αστοχία
		λεκάνη απορροής έως φράγμα > 260 km ²	νύχτα	1 έως 2 ώρες πριν την αστοχία	0 έως 1 ώρες πριν την αστοχία

Πίνακας 8. Εκτίμηση του διαθέσιμου χρόνου ειδοποίησης

Περιγραφή	Χρόνος άφιξης πλημ. κύματος (hrs)	Χρόνος έναρξης ειδοποίησης θραύσης (hrs)		Διαθέσιμος χρόνος ειδοποίησης (hrs)	
		ημέρα	νύχτα	ημέρα	νύχτα
				χωρίς ειδοποίηση	χωρίς ειδοποίηση
Φράγμα	0,15	-2	-1 έως -2	χωρίς ειδοποίηση	χωρίς ειδοποίηση
Κέδρος	0,90	-2	-1 έως -2	2,90	1,90 έως 2,90
Φύλια / Μελισσοχώρι	1,05	-2	-1 έως -2	3,05	2,05 έως 3,05
Δασοχώρι / Μαυραχάδες	1,35	-2	-1 έως -2	3,35	2,35 έως 3,35
Ανώγι / Αμπελος/ Αγία Παρασκευή	1,50	-2	-1 έως -2	3,50	2,50 έως 3,50
Σοφάδες	1,90	-2	-1 έως -2	3,90	2,90 έως 3,90

Σε ότι αφορά την εκτίμηση της μεταβλητής «κατανόηση πλημμύρας» θεωρείται ότι όσο πιο κάτω βρίσκεται η διατομή από το φράγμα τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να είναι πιο ακριβής και έγκαιρη η προειδοποίηση. Έτσι, θεωρήθηκε ότι οι οικισμοί σε απόσταση μεγαλύτερη των 13 km από τη θέση του φραγματος δέχονται ακριβή και έγκαιρη ειδοποίηση. Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων των τιμών θνησιμότητας σύμφωνα με τη μέθοδο του Graham φαίνονται στον Πίνακα 10. Ήδη από τον Πίνακα 8 παρατηρούμε ότι ο διαθέσιμος χρόνος ειδοποίησης είναι πάνω από μια ώρα ανεξάρτητα από το εάν είναι ημέρα ή νύχτα. Επομένως η διαφοροποίηση σε ημέρα και νύχτα δεν δίνει διαφορετικές τιμές θνησιμότητας γι αυτό και στον Πίνακα 9 καταργείται.

Πίνακας 9. Εκτίμηση τιμών και εύρους τιμών θνησιμότητας για το σενάριο θραύσης

Περιγραφή	Ένταση Πλημμύρας	Κατανόηση Πλημμύρας	Χρόνος Ειδοποίησης (minutes)	Θνησιμότητα	
				τιμή	εύρος

Φράγμα	ΥΨΗΛΗ	μη εφαρμοσίμος	χωρίς ειδοποίηση	0,75	0,3 έως 1,0
Κέδρος	ΥΨΗΛΗ	ασαφής	> 60	0,75	0,3 έως 1,0
Φύλια / Μελισσοχώρι	ΜΕΤΡΙΑ	ακριβής	> 60	0,01	0,002 έως 0,02
Δασοχώρι / Μαυραχάδες	ΜΕΤΡΙΑ	ακριβής	> 60	0,01	0,002 έως 0,02
Ανώγι / Άμπελος/ Αγία Παρασκευή	ΧΑΜΗΛΗ	ακριβής	> 60	0,0002	0,0 έως 0,0004
Σοφάδες	ΧΑΜΗΛΗ	ακριβής	> 60	0,0002	0,0 έως 0,0004

Παρατηρούμε ότι η ζώνη μέτριας έντασης πλημμύρας έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο εύρος τιμών θνησιμότητας ενώ αντίθετα η ζώνη χαμηλής έντασης πλημμύρας δίνει μικρό εύρος τιμών θνησιμότητας ανεξάρτητο από την ποσότητα και την ποιότητα της ειδοποίησης. Σύμφωνα με την μέθοδο για την εκτίμηση του αριθμού απωλειών ζωής στη ζώνη υψηλής έντασης, θα πρέπει να εκτιμηθεί πρώτα ο εκτεθειμένος πληθυσμός στους πληγέντες οικισμούς. Ο εκτεθειμένος πληθυσμός εξαρτάται από καθημερινή εργασιακή απασχόληση των κατοίκων, αναμένεται να είναι πολύ μικρότερος του μόνιμου πληθυσμού των οικισμών (της τάξεως του 10-20 %) και θα χρησιμοποιηθεί σε όλες τις ζώνες πλημμυρικής έντασης. Οι εκτιμώμενες απώλειες ζωής στις θέσεις των οικισμών κατάντη του φράγματος Σμοκόβου φαίνονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10. Εκτίμηση απωλειών ζωής στους απειλούμενους οικισμούς κατάντη του φράγματος

Περιγραφή	εκτεθειμένος πληθυσμός (κατ.)		θνησιμότητα		απώλειες ζωής			
					ημέρα		νύχτα	
	ημέρα	νύχτα	τιμή	εύρος	τιμή	εύρος	τιμή	εύρος
Φράγμα	-	-	0,75	0,3 - 1,0	-	-	-	-
Κέδρος	277	575	0,75	0,3 - 1,0	208	83-277	431	173-575
Φύλια / Μελισσοχώρι	252	606	0,01	0,002 -0,02	3	1 - 5	6	1 - 12
Δασοχώρι / Μαυραχάδες	240	609	0,01	0,002 -0,02	2	0 - 5	6	1 - 12
Ανώγι / Άμπελος/ Αγία Παρασκευή	261	653	0,0002	0 - 0,0004	0	0	0	0
Σοφάδες	3294	5380	0,0002	0 - 0,0004	1	0 - 1	1	0 - 2
ΣΥΝΟΛΟ					214		444	

Παρατηρούμε ότι η κατηγοριοποίηση των οικισμών σε διαφορετικές ζώνες έντασης πλημμύρας επηρεάζει σημαντικά τις τιμές θνησιμότητας. Συγκεκριμένα ο οικισμός Κέδρος που θεωρήθηκε από την ανάλυση ότι θα καταστραφεί ολοκληρωτικά από το πλημμυρικό κύμα δηλαδή ανήκει στη ζώνη υψηλής έντασης πλημμύρας, δίνει για τις συγκεκριμένες συνθήκες αστοχίας του φράγματος περίπου 200-400 θύματα ανάλογα με το εάν η αστοχία γίνει ημέρα ή νύχτα. Αντίθετα οι υπόλοιποι οικισμοί που βρίσκονται κατάντη του Κέδρου και ανήκουν σε ζώνες μέτριας και χαμηλής έντασης, δίνουν συνολικά 6-13 θύματα ανάλογα με το εάν η αστοχία γίνει ημέρα ή νύχτα δηλαδή ένα αριθμό θυμάτων πολύ μικρότερης τάξεως.

5 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εμπειρική μέθοδος Graham δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για μια ενδεικτική εκτίμηση της θνησιμότητας στην κατάντη περιοχή από πλημμύρα μετά από θραύση φράγματος. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν περιλαμβάνει τρόπο εκτίμησης του εκτεθειμένου πληθυσμού στην πληγείσα περιοχή, ο

οποίος στην παρούσα εργασία εκτιμήθηκε εμπειρικά, κατά προσέγγιση και για τη συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογής. Στην πραγματικότητα η εκτίμηση του εκτεθειμένου πληθυσμού είναι αρκετά περίπλοκη διαδικασία αφού περιλαμβάνει ποιοτικές παραμέτρους όπως η προσβασιμότητα του περιβάλλοντος οδικού δικτύου, η ύπαρξη ή όχι σχεδίου εκκένωσης οικισμού, η εμπειρία του πληθυσμού από προηγούμενες πλημμύρες και άλλες που είναι ιδιαίτερα δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν.

Η εργασία αυτή στοχεύει να αναδείξει τη μέθοδο Graham ως ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων ενός πλημμυρικού γεγονότος σε ενδεχόμενη θραύση φράγματος. Έτσι, η μέθοδος μπορεί να συνεισφέρει στην υλοποίηση της προκαταρκτικής αξιολόγησης της πλημμυρικής διακινδύνευσης σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Μελλοντική ανάπτυξη της εργασίας μπορεί να περιλαμβάνει την παραγωγή χαρτών κινδύνου και διακινδύνευσης πλημμύρας, στους οποίους η αποτίμηση της διακινδύνευσης θα αναφέρεται στον αριθμό απωλειών ανθρώπινης ζωής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ANCOLD. 2003. Guidelines on Risk Assessment. Australian National Committee on Large Dams.
2. Boss Corporation. 1991. Boss DAMBRK User's Manual.
3. EM-DAT (Emergency events database). 2004. OFRA/CRED International Disaster Database from <http://www.cred.be/emdat> ,Universite Catholique de Louvain, Brussels, retrieved December 2004.
4. Fread, D. L. 1984β. DAMBRK: The NWS Dam-break flood forecasting model. Office of Hydrology. National Weather Service. Silver Spring. Maryland.
5. Graham, W. 1999. A procedure for estimating loss of life caused by dam failure. Dam Safety Office 296 report DS0-99-6.
6. Graham, W. 2000. Dam Failure Inundation Maps – Are they accurate?. US Bureau of Reclamation.
7. Graham, W. 2000. The Worst Dam Failures – Why?. US Bureau of Reclamation.
8. ICOLD. 2003. Dams and Floods. Guidelines and Case Studies. International Committee on Large Dams. Bulletin 125, pp.42-43.
9. ISDR. 2004. Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. International Strategy for Disaster Reduction.
10. Jonkman, S.N. 2007. Loss of life estimation in flood risk assessment. Theory and Applications. PhD Thesis. Delft University of Technology.
11. McClelland & Bowles. 2002. Estimating life loss for dam safety risk assessment – a review and new approach, IWR report 02-R-3.
12. Pistrika, Aim. & Tsakiris, G. 2007. Flood Risk Assessment: A Methodological Framework. Proceedings of International Conference of EWRA «Water Resources Management: New Approaches and Technologies». Chania- Crete. Greece.
13. Thywissen, K. 2006. Components of Risk. A Comparative Glossary. United Nations University–Institute for Environment and Human Security. SOURCE No. 2/2006.
14. Tsakiris, G., Nalbantis, I. & Pistrika, Aim. Comments on the EU floods directive 2007/60/EC. European Water, (submitted for publication).
15. Βαβίζος Γ., Ζαννάκη Κ., Ζαφειρόπουλος & ΣΙΑ Α.Ε., Ζαχάρωφ Ιωαν. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και Επανορθωτικών Μέτρων από την Κατασκευή και Λειτουργία του Φράγματος Σμοκόβου.
16. Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Επίσημη Εφημερίδα Ευρωπαϊκής Ένωσης.
17. ΥΔΡΕΤΜΕ Ο.Ε. 1986. Οριστική Μελέτη Συμπληρωματικών Αντιπλημμυρικών Έργων Πεδιάδων Ν. Καρδίτσας.

Hypothetical dam break: Loss of life estimation in flood risk assessment

Aim. Pistrika

Civil Engineer NTUA, MSc Imperial College, PhD candidate NTUA.

G. Tsakiris

Professor, Centre for the Assessment of Natural Hazards and Proactive Planning, NTUA.

Keywords: Flood Risk, System Vulnerability, Hypothetical dam break, Mortality, Loss of life estimation

ABSTRACT: According to the Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks, Member States should undertake, for each river basin district, an integrated three-step approach: a) a preliminary flood risk assessment, b) the preparation of flood hazard maps and flood risk maps and c) the production of flood risk management plans. The present work clarifies the terms “flood hazard” and “flood risk” and attempts to implement the first steps of the Directive in the case of a hypothetical dam-break flood. In particular, the selected case study is the downstream area of Smokovo Dam, where flood wave propagation is examined at the downstream communities under a dam failure scenario and the resulted vulnerability is estimated. Mortality, that is the ratio of flood fatalities over the exposed population, is considered as the indicator of the system vulnerability. In this respect, loss of life estimation is accomplished at the downstream area of the Dam that contributes to a preliminary flood risk assessment of the area in line with the Directive 2007/60/EC.