



D7.3

Extreme event scenario studies

Μελέτη Σεναρίων Ακραίων Γεγονότων

Project name

TwinCity: Climate-Aware Risk and Resilience Assessment of Urban Areas under Multiple Environmental Stressors via Multi-Tiered Digital City Twinning.

Hellenic Foundation for Research and Innovation (H.F.R.I.) | Grant Agreement 2515
2nd Call for H.F.R.I. Research Projects to support Faculty Members & Researchers

Dissemination level	Public (PU) - Fully open
Type of deliverable	R - Document, report
Work package	WP7 – On-site integration, calibration & scenario studies
Deliverable number	D7.3 Extreme event scenario studies
Status - version, date	Final – V1.0
Deliverable leader	E. Karaferi
Contractual date of delivery	31/07/2025

Ποιοτικός έλεγχος

	Name	Organisation	Date
Peer review 1	Δ. Βαμβάτσικος	ΕΜΠ	16/06/2025
Peer review 2	Β. Μελισσιανός	ΕΜΠ	12/07/2025

Ιστορικό παραδοτέου

Version	Date	Author	Summary of changes
0.1	15/06/2025	Ε. Καραφέρη	Πρώτο προσχέδιο εγγράφου
1.0	26/06/2025	Ε. Καραφέρη	Τελική έκδοση (V1.0) εγγράφου

Νομική διακήρυξη

Η παρούσα εργασία είναι χρηματοδοτούμενη από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ, Grant Agreement 2515). Οι απόψεις και οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στο παρόν έγγραφο δεν αντικατοπτρίζουν τις απόψεις του ΕΛΙΔΕΚ και εκφράζουν μόνο τους συγγραφείς. Το ΕΛΙΔΕΚ δεν φέρει καμία νομική ή άλλη ευθύνη για τα περιεχόμενα του παρόντος εγγράφου. Οι πληροφορίες σε αυτό το έγγραφο παρέχονται "ως έχουν", και η ερμηνεία τους επαφίεται στον αναγνώστη. Οι συμπράττοντες τω έργω δεν φέρουν καμία ευθύνη για ζημίες οποιουδήποτε είδους, συμπεριλαμβανομένων έμμεσων ή άλλων ζημιών που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση του υλικού που παρουσιάζεται.

Copyright © TwinCity Consortium, 2025.

Περιεχόμενα

Ποιοτικός έλεγχος	2
Ιστορικό παραδοτέου.....	2
Νομική διακήρυξη.....	2
Κατάλογος σχημάτων.....	3
Κατάλογος πινάκων	4
Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμιων	4
Σύνοψη	5
1 Εισαγωγή	6
1.1 Γενικές πληροφορίες.....	6
1.2 Σκοπός	6
1.3 Στοχευόμενο κοινό	6
1.4 Χρήσιμοι ορισμοί	6
2 Ακραία σεισμικά σενάρια	7
2.1 Παράδειγμα ισχυρού σεισμού στην Ρόδο	7
3 Ακραία καιρικά φαινόμενα	14
3.1 Έμμεσες απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας του αεροδρομίου	15
3.2 Έμμεσες απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας του λιμανιού	17
4 Συμπεράσματα	20
5 Βιβλιογραφία	21

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Επίκεντρο σεισμικού συμβάντος	9
Σχήμα 2: Πεδία εδαφικής κίνησης για τα εντατικά μεγέθη: (α) μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration, PGA), (β) Μέγιστη εδαφική ταχύτητα (Peak Ground Velocity, PGV)	10
Σχήμα 3: Πεδία εδαφικής κίνησης για τα εντατικά μεγέθη: (α) Φασματική επιτάχυνση για περίοδο 0.5s (Spectral Acceleration at 0.5 seconds, SA(0.5s)), (β) Φασματική επιτάχυνση για περίοδο 1.0s (Spectral Acceleration at 1.0 seconds, SA(1.0s)).	10
Σχήμα 4: Αριθμός κτιρίων ανά κατάσταση ζημίας και τυπολογία- είδος κτηρίου. WRF: Ξύλινο Κτήριο, SRF: Κτήριο από Χάλυβα, RM: Ενισχυμένη Τοιχοποιία, URM: Άοπλη Τοιχοποιία, RCW: Τοιχώματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, RCF: Πλαίσια Οπλισμένου Σκυροδέματος	11
Σχήμα 5: Ποσοστό κτιρίων ανά κατάσταση ζημίας και τυπολογία- είδος κτηρίου. WRF: Ξύλινο Κτήριο, SRF: Κτήριο από Χάλυβα, RM: Ενισχυμένη Τοιχοποιία, URM: Άοπλη Τοιχοποιία, RCW: Τοιχώματα	

Οπλισμένου Σκυροδέματος, RCF: Πλαίσια Οπλισμένου Σκυροδέματος. Με κόκκινο κύκλο σημειώνονται τα πιο ευάλωτα κτήρια.	11
Σχήμα 6: Άμεσες οικονομικές απώλειες ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για το σενάριο M7.3.	11
Σχήμα 7: Έμμεσες οικονομικές απώλειες ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για για το σενάριο M7.3.	12
Σχήμα 8: Μεσο-οικονομικό μοντέλο Ρόδου αμέσως μετά το σεισμό M7.3.....	12
Σχήμα 9: Μεσο-οικονομικό μοντέλο Ρόδου αφού επανήλθαν όλοι οι επιχειρηματικοί τομείς.	13
Σχήμα 10: Γραφήματα (α) πτώσης παραγωγικότητας και (β) πτώσης μικτού παραγόμενου προϊόντος (GVA).....	13
Σχήμα 11: Ημέρα 1η, πλήρη λειτουργικότητα αεροδρομίου.....	15
Σχήμα 12: Ημέρα 6η, ενδιάμεση μέρα με μη λειτουργικότητα αεροδρομίου.	16
Σχήμα 13: Ημέρα 12 ^η , ημέρα πλήρους επαναφοράς λειτουργικότητας.	16
Σχήμα 14: Ημέρα 21 ^η , ημέρα σταθεροποίησης έμμεσων απωλειών.	17
Σχήμα 15: Ημέρα 1η, πλήρη λειτουργικότητα λιμανιού.	18
Σχήμα 16: Ημέρα 6η, ενδιάμεση μέρα με μη λειτουργικότητα λιμανιού	18
Σχήμα 17: Ημέρα 12 ^η , ημέρα πλήρους επαναφοράς λειτουργικότητας.	19
Σχήμα 18: Ημέρα 21 ^η , ημέρα σταθεροποίησης έμμεσων απωλειών.	19

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Επιλεγμένο σεισμικό συμβάν.	9
---	---

Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμιων

Συντομογραφία	Ολογράφως
PGA	Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration)
PGV	Μέγιστη εδαφική ταχύτητα (Peak Ground Velocity)
SA(0.5s)	Φασματική επιτάχυνση για περίοδο 0.5s (Spectral Acceleration at 0.5 seconds)
SA(1.0s)	Φασματική επιτάχυνση για περίοδο 1.0s (Spectral Acceleration at 1.0 seconds)
DS	Damage state
GVA	Μικτό Παραγόμενο Προϊόν (Gross Value Added)

Σύνοψη

Το παραδοτέο D7.3 «Extreme event scenario studies» περιλαμβάνει τη διερεύνηση ακραίων φυσικών φαινομένων. Συγκεκριμένα, εξετάζεται πώς τα εν λόγω φαινόμενα επηρεάζουν την πόλη, όσον αφορά τις οικονομικές επιπτώσεις που θα υπάρξουν μετά το γεγονός και τον τρόπο με τον οποίο θα μπορέσει αυτή να ανακάμψει. Τα ακραία φαινόμενα που εξετάζονται είναι σεισμικά και καιρικά.

Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται πώς ένας πολύ μεγάλος σεισμός θα επηρεάσει το σύνολο της πόλης. Οι επιπτώσεις ενός μεγάλου σεισμικού γεγονότος περιλαμβάνουν, πρωτογενώς, τις υλικές ζημιές που προκαλούνται από τη δόνηση, είτε στα κτήρια είτε στα δίκτυα υποδομών και, δευτερογενώς, τις απώλειες εισοδήματος λόγω της διακοπής της επιχειρηματικής δραστηριότητας, μέχρι τα κτήρια να ξαναγίνουν λειτουργικά. Η περίοδος που απαιτείται για να επανέλθουν τα κτήρια σε πλήρη λειτουργικότητα κοστίζει σημαντικά στην πόλη, καθώς καταστήματα και υπηρεσίες παραμένουν κλειστά, προκαλώντας ελλείψεις που επηρεάζουν όλες τις επιχειρηματικές δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτά. Οι απώλειες αυτές αποτελούν τις έμμεσες απώλειες λόγω σεισμού και είναι εξίσου σημαντικές με τις δομικές.

Εκτός από τον σεισμό, ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, αν και συνήθως δεν προκαλούν καταρρεύσεις κτηρίων, οδηγούν επίσης σε σημαντικές έμμεσες απώλειες, εξαιτίας της προσωρινής διακοπή της επιχειρηματικής δραστηριότητας και των ζημιών στα πλημμυρισμένα κτήρια. Πέρα από τις ζημιές στα ίδια τα κτήρια, μετά από ισχυρές βροχοπτώσεις μπορεί να πλημμυρίσουν δρόμοι ή να υπάρξουν καθιζήσεις σε εδαφικά ευαίσθητες περιοχές, οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν επιπλέον βλάβες και διακοπές στην επιχειρηματική δραστηριότητα.

Στο παρόν παραδοτέο παρουσιάζονται ενδεικτικά σενάρια ακραίων φυσικών φαινομένων, μαζί με τις αντίστοιχες επιπτώσεις, κυρίως σε οικονομικό επίπεδο.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικές πληροφορίες

Το ερευνητικό πρόγραμμα TwinCity έχει ως στόχο να αξιοποιήσει υπάρχοντα εργαλεία και υπηρεσίες (π.χ. κλιματικά μοντέλα, μοντελοποίηση ακραίων γεγονότων και των επιπτώσεών τους κ.λπ.) και να αναπτύξει νέες τεχνολογίες (Layered-Block Models, City Digital Twins) για να προσφέρει μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα για την αξιολόγηση της κοινωνικοοικονομικής ανθεκτικότητας, που λαμβάνει υπόψη πολλαπλούς κινδύνους, την καλύτερη προετοιμασία, την ταχύτερη και αποτελεσματικότερη απόκριση και τη βιώσιμη ανασυγκρότηση αστικών περιοχών. Το TwinCity προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο που προσδιορίζει τα τοπικά κοινωνικοοικονομικά και επιχειρηματικά συστήματα για την προσομοίωση πολλαπλών πιθανών σεναρίων διακοπής λειτουργίας των επιχειρήσεων, αξιοποιώντας τις πληροφορίες που προσέφερε η καραντίνα εξαιτίας του COVID-19 ως προς τη διακοπή λειτουργίας και της ανάκαμψης των επιχειρήσεων. Ο τελικός στόχος είναι να προσφερθεί μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα βάσει του οποίου οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αξιολογήσουν την συμπεριφορά, τον κίνδυνο και την ανθεκτικότητα μια μεγάλης κλίμακας πιλοτικής μελέτης μιας νησιωτικής ελληνικής πόλης που υπόκειται σε σεισμούς και καιρικούς/κλιματικούς κινδύνους.

1.2 Σκοπός

Το παραδοτέο D7.3 «Extreme Event Scenario Studies» έχει σκοπό να εξετάσει πώς ακραία σεισμικά και καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν την πόλη. Η μελέτη αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό των χειρότερων δυνατών σεναρίων επιπτώσεων και συμβάλλει στη δημιουργία πλάνων για να μετριαστούν, κατά το δυνατόν, οι καταστροφές στην πόλη. Οι επιπτώσεις αυτές δεν είναι πάντα δομικές (όπως καταρρεύσεις κτηρίων ή διακοπές υδροδότησης), αλλά μπορεί να αφορούν και τη διακοπή της ομαλής λειτουργίας επιχειρήσεων και δικτύων υποδομής.

1.3 Στοχευόμενο κοινό

Το έγγραφο D7.3 είναι ένα δημόσιο έγγραφο και θα είναι προσβάσιμο από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς, και συμμετέχοντες στο πρόγραμμα TwinCity. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για ερευνητές και υπηρεσίες που εμπλέκονται στην εκτίμηση διακινδύνευσης κατασκευών ή και ολόκληρων περιοχών. Οι μεθοδολογίες που παρουσιάζονται μπορούν μάλιστα να βοηθήσουν και σε τυχόν εκπαιδευτικούς σκοπούς που αφορούν σε νέους επιστήμονες που ενδιαφέρονται για τις εν λόγω θεματικές.

1.4 Χρήσιμοι ορισμοί

Κίνδυνος: Απειλή που μπορεί να επηρεάσει τις δραστηριότητες των ανθρώπων καθώς και την ακεραιότητα/λειτουργικότητα των κατασκευών, όπως για παράδειγμα μια σεισμική δόνηση ή η δράση του ανέμου εξαιτίας μιας καταιγίδας.

Μέτρο έντασης: Μεταβλητή διεπαφής που συνδέει την ανάλυση επικινδυνότητας και τη δομική ανάλυση.

2 Ακραία σεισμικά σενάρια

Η Ρόδος βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του ελληνικού τόξου, μια περιοχή που χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμική και τεκτονική δραστηριότητα. Περιβάλλεται από πλήθος ενεργών ρηγμάτων, τα οποία είναι υπεύθυνα για τους πολλούς σεισμούς μικρής και μεγάλης κλίμακας.

Η μακρά ιστορία της πόλης περιλαμβάνει αξιοσημείωτα παραδείγματα σεισμών και καταστροφών, όπως η κατάρρευση του Κολοσσού της Ρόδου το 226 π.Χ. και το μικρό τσουνάμι που προκάλεσε πλημμύρες στην πόλη, συνέπεια του σεισμού του 1481 μ.Χ., καθώς και πολλά ακόμη παραδείγματα. Μεταξύ των νεότερων σεισμών, περιλαμβάνεται ο σεισμός του 1926, ο οποίος εκτιμάται ότι είχε μέγεθος 8 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ και αποτελεί τον ισχυρότερο σεισμό που έχει καταγραφεί στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια του 20ού και 21ου αιώνα. Ο σεισμός αυτός σημειώθηκε κοντά στην κοινότητα Αρχάγγελος του νησιού της Ρόδου, την οποία κατέστρεψε. Κατέρρευσαν περίπου 600 σπίτια και υπήρξαν τέσσερις θάνατοι, ενώ συνολικά γκρεμίστηκαν περίπου 3.000 σπίτια στο νησί. Επίσης, το 1957 σημειώθηκε και πάλι ισχυρός σεισμός μεγέθους 7,2 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, κοντά στην πόλη της Ρόδου, ο οποίος συγκαταλέγεται στους δέκα μεγαλύτερους σεισμούς που έχουν καταγραφεί στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια του 20ού και 21ου αιώνα. Οι σημαντικότερες ζημιές καταγράφηκαν στις απέναντι τουρκικές ακτές, όμως και στη Ρόδο κατέρρευσαν πλήρως 16 σπίτια, ενώ χιλιάδες ακόμη υπέστησαν σοβαρές ζημιές.

Όπως είναι κατανοητό, η περιοχή της Ρόδου βρίσκεται σε ιδιαίτερα σεισμογενή ζώνη και συχνά αντιμετωπίζει τις επιπτώσεις καταστροφικών σεισμών.

2.1 Παράδειγμα ισχυρού σεισμού στην Ρόδο

Για τη μελέτη των επιπτώσεων των ακραίων σεισμικών γεγονότων στη Ρόδο, επιλέχθηκε ένα συμβάν μεγάλου μεγέθους, αλλά με επίκεντρο μακριά από το κέντρο της πόλης (Σχήμα 1). Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα στοιχεία του επιλεγμένου ακραίου σεισμικού γεγονότος. Για το σεισμικό αυτό γεγονός παρουσιάζονται τα πεδία εδαφικής κίνησης (ground motion field, GMF) για διάφορα εντατικά μεγέθη (Σχήμα 2, Σχήμα 3). Με αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκαν οι βλάβες και οι αντίστοιχες οικονομικές απώλειες.

Τα κτήρια χωρίζονται με βάση την κατάστασή τους σε πέντε στάθμες βλάβης: (α) DS0: Καμία ζημιά, (β) DS1: ελαφρά ζημιά, (γ) DS2: Μέτρια ζημιά, (δ) DS3: Εκτεταμένες ζημιές, (ε) DS4: Κατάρρευση. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται ο αριθμός κτηρίων ανά τύπο (WRF: Ξύλινο Κτήριο, SRF: Κτήριο από Χάλυβα, RM: Ενισχυμένη Τοιχοποιία, URM: Άοπλη Τοιχοποιία, RCW: Τοιχώματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, RCF: Πλαίσια Οπλισμένου Σκυροδέματος) και η στάθμη βλάβης στην οποία ανήκει. Καθώς, μόνο από τον αριθμό τους, δεν είναι απόλυτα ξεκάθαρο ποια κτήρια είναι τα πιο ευάλωτα, στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται και το ποσοστό επί του συνόλου που βρίσκεται σε κάθε στάθμη βλάβης. Από τα σχήματα αυτά συμπεραίνεται ότι, παρότι τα περισσότερα κτήρια που θα υποστούν βλάβες είναι τα RCF, καθώς είναι τα περισσότερα σε αριθμό, τα πιο ευάλωτα φαίνεται να είναι τα URM, RCW.

Η πληροφορία αυτή είναι σημαντική καθώς ειδικά στα URM πρέπει να γίνουν στατικές επεμβάσεις και επισκευές, ώστε να βελτιωθεί η σεισμική τους συμπεριφορά και συνεπώς να μειωθούν οι επιπτώσεις. Πρόκειται για παλαιότερα κτίρια, αρκετά από αυτά σημαντικής πολιτισμικής αξίας, με ιδιαίτερα μεγάλο κόστος και χρόνο ενίσχυσης καθώς, συνήθως, εμπλέκεται είτε η Εφορεία Αρχαιοτήτων είτε η Διεύθυνση Βυζαντινών και Νεωτέρων Μνημείων, και απαιτούνται ειδικές μελέτες και άδειες. Έχει ιδιαίτερη αξία να διερευνηθούν ενέργειες καθοδηγούμενες από την πολιτεία που θα

μπορούσαν να δώσουν τα κατάλληλα κίνητρα για την ενίσχυση των συγκεκριμένων κατασκευών, αξιοποιώντας τα ευρήματα προσεισμικών ελέγχων για την καλύτερη στόχευση και προτεραιοποίηση. Δευτερευόντως, το ίδιο ισχύει και για τα RCF, που είναι τα περισσότερα κτήρια και συνεπώς ευθύνονται για την πλειοψηφία των βλαβών. Πρόκειται κυρίως για κτίρια που έχουν σχεδιαστεί είτε χωρίς αντισεισμικό κανονισμό, είτε με την πρώτη έκδοσή του, και δεν επαρκούν με βάση τα σύγχρονα δεδομένα. Επισημαίνεται ότι αυτά τα κτίρια στεγάζουν τη μεγαλύτερη πλειονότητα του πληθυσμού της πόλης και αποτελούν τη βάση της οικονομικής δραστηριότητας. Αντιστοίχως και εδώ η χρήση των προσεισμικών ελέγχων θα βοηθήσει στην καλύτερη προτεραιοποίηση των κινήτρων και ενεργειών.

Για καλύτερη κατανόηση των προβλημάτων που προκύπτουν, παρουσιάζονται οι συνέπειες των βλαβών οι οποίες προκαλούν οικονομικές απώλειες στην πόλη σε δύο επίπεδα:

- (α) άμεσες απώλειες που σχετίζονται με τις για επισκευές των κτηρίων, και
- (β) έμμεσες απώλειες που σχετίζονται με τη διακοπή της επιχειρηματικής δραστηριότητας.

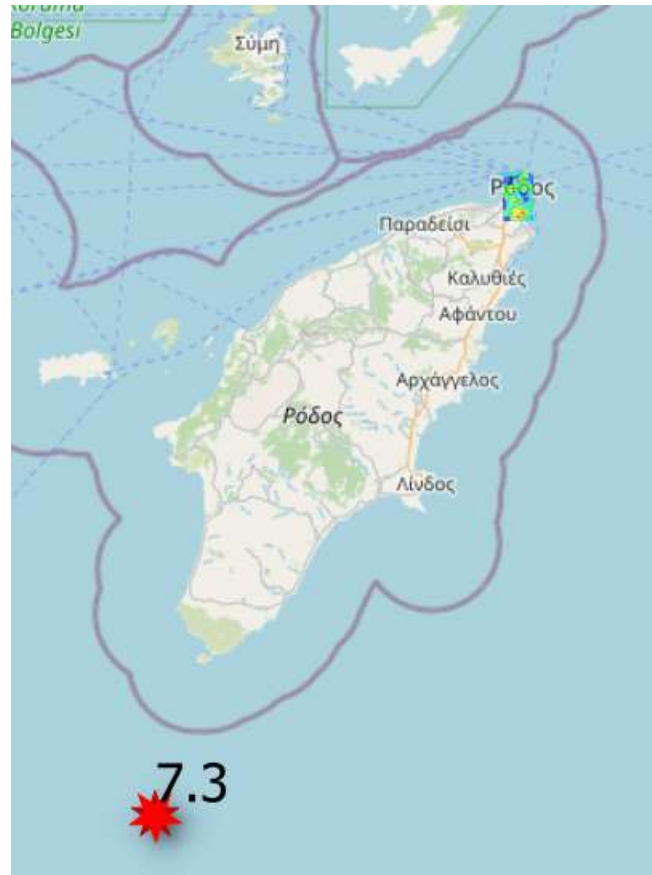
Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται οι άμεσες οικονομικές απώλειες που προκύπτουν από το σεισμικό συμβάν. Στο σχήμα αυτό φαίνεται ξεκάθαρα ότι ο τομέας που επηρεάζεται περισσότερο στην πόλη είναι οι κατοικίες, οι οποίες συνεπώς θα χρειαστούν την μεγαλύτερη οικονομική στήριξη από το κράτος σε περίπτωση σεισμού. Αν και η παρατήρηση ίσως φαίνεται αναμενόμενη λόγω του μεγάλου αριθμού κατοικιών (καθώς είναι η πλειοψηφία), είναι σημαντικό να σημειωθεί σε σχέση με την δεύτερη πιο ευάλωτη κατηγορία. Η διαφορά αυτή αναδεικνύει την σημασία του οικιστικού ιστού για την πόλη. Η δεύτερη πιο ευάλωτη κατηγορία είναι τα καταστήματα λιανικής, που επίσης εμφανίζουν απώλειες άνω του μέσου όρου του συνόλου των απωλειών της πόλης. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι άμεσες αυτές απώλειες αντιπροσωπεύουν περίπου το 20% του ποσού πλήρους αντικατάστασης όλων των κτηρίων της πόλης. Από αυτό γίνεται κατανοητό, πόσο μεγάλο και καταστροφικό είναι το επιλεγμένο συμβάν.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι έμμεσες απώλειες για την πόλη, όπου παρατηρείται μια πιο ομοιόμορφη κατανομή των απωλειών στους διάφορους επιχειρηματικούς τομείς. Αυτό καταδεικνύει τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, που οδηγούν στα παραπάνω αποτελέσματα για τις απώλειες. Οι πιο ευάλωτοι επιχειρηματικοί τομείς, που θα χρειαστούν την μεγαλύτερη οικονομική στήριξη από τους φορείς της πολιτείας, μετά το συμβάν, είναι οι δραστηριότητες ακινήτων (πχ. ενοικίαση), το χονδρεμπόριο και τα καταστήματα λιανικής πώλησης.

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται η οπτικοποίηση του μεσο-οικονομικού μοντέλου που απεικονίζει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών επιχειρησιακών τομέων αμέσως μετά το σεισμό. Πολλοί τομείς πλήττονται άμεσα σε μεγάλο βαθμό, με τη λειτουργικότητα του χονδρεμπορίου να μειώνεται στο 39%, και των καταστημάτων εστίασης στο 38%. Παρότι τα καταστήματα εστίασης δεν είναι στους τρεις πρώτους τομείς από άποψη έμμεσων απωλειών, είναι ο τρίτος πιο επηρεαζόμενος τομέας λόγω μείωσης της κατανάλωσης από τους τουρίστες. Η πτώση αυτή του τομέα αυτού διαχέεται σε πολλούς ακόμα τομείς, οδηγώντας στα τελικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Η μελέτη του μοντέλου προσφέρει, συνεπώς, όχι μόνο τις τελικές έμμεσες απώλειες αλλά επιτρέπει στον ενδιαφερόμενο να κατανοήσει σε βάθος τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιχειρηματικών τομέων. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές φαίνονται πιο καθαρά στο Σχήμα 9. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το συγκεκριμένο συμβάν η πόλη χρειάζεται 938 μέρες για να ανακάμψει στην πρότερη κατάσταση.

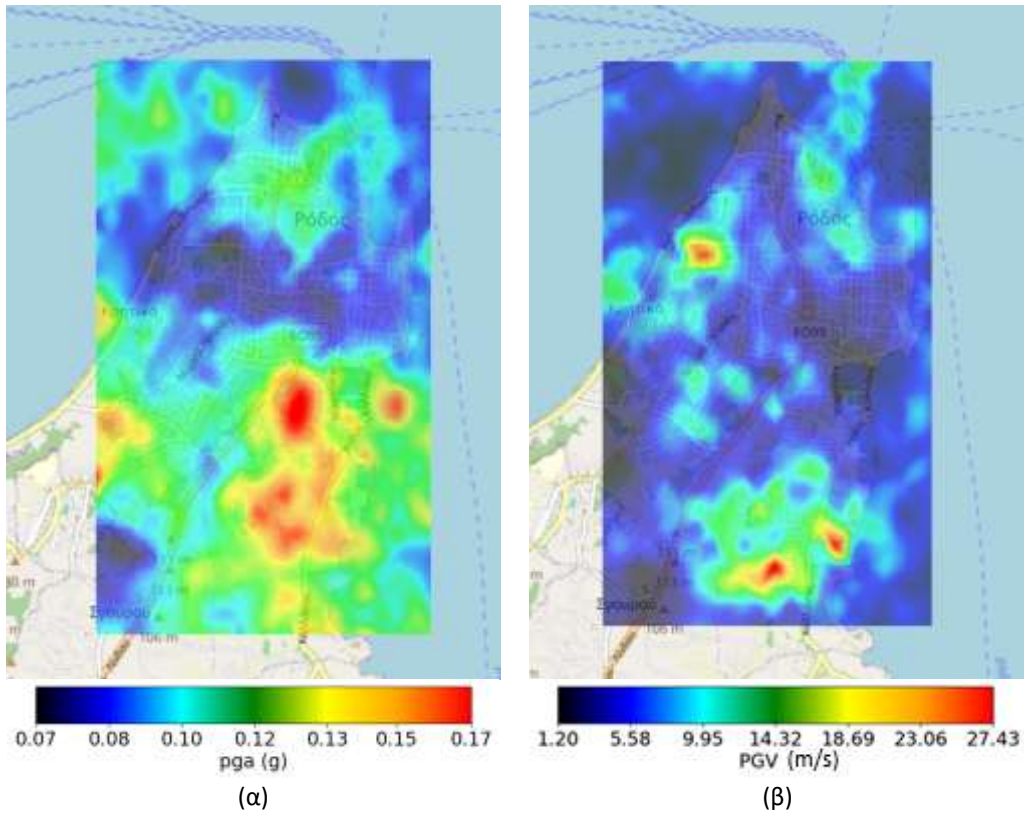
Τέλος, στο Σχήμα 10 φαίνεται η μεταβολή της λειτουργικότητας του χονδρικού και λιανικού εμπορίου συναρτήσει του χρόνου, καθώς και η μείωση στο Μικτό Παραγόμενο Προϊόν (Gross Value Added, GVA) για το σύνολο της πόλης.



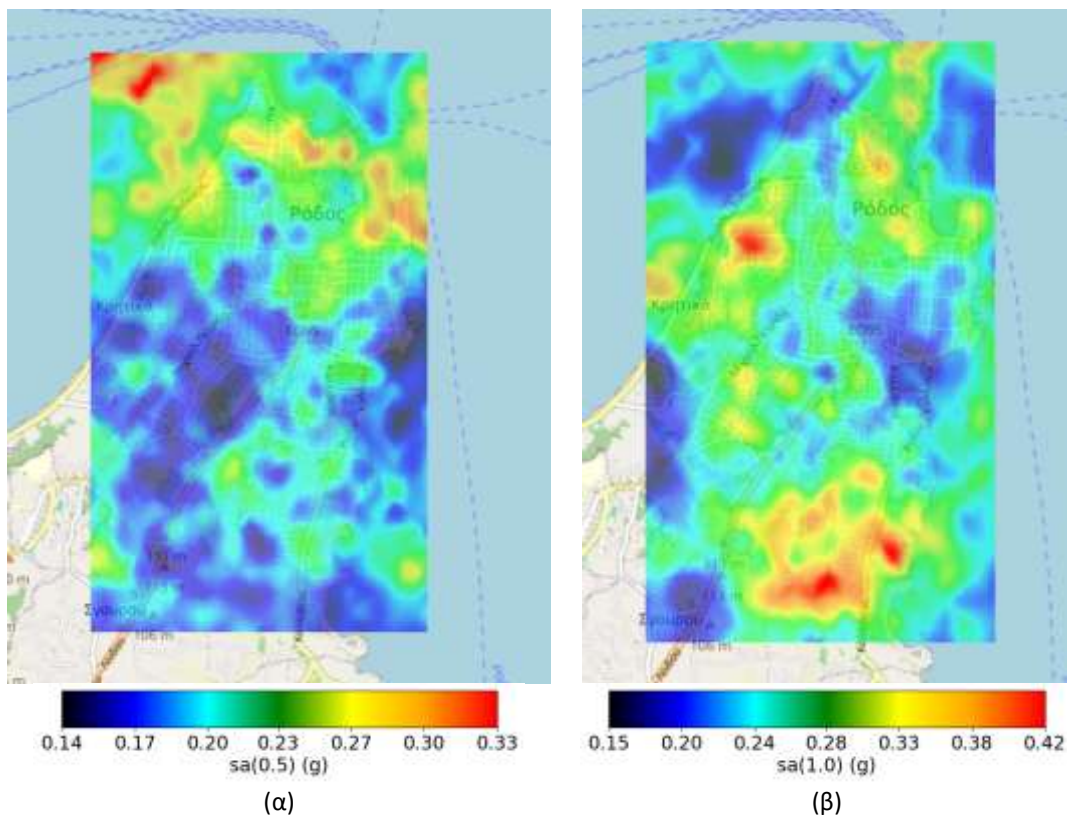
Σχήμα 1: Επίκεντρο σεισμικού συμβάντος

Πίνακας 1: Επιλεγμένο σεισμικό συμβάν.

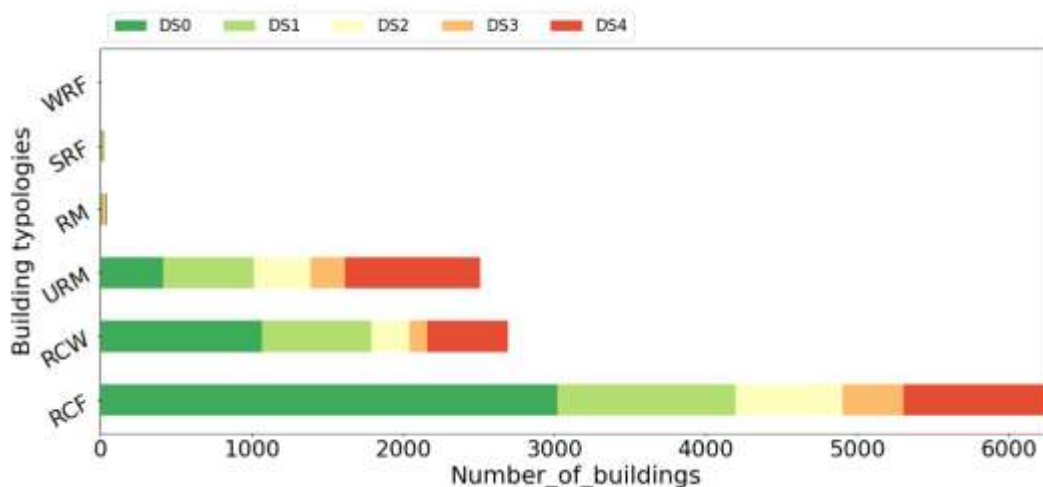
Event Σεισμικό συμβάν σε CDT	Moment Magnitude Μέγεθος Ροπής	Longitude Γεωγραφικό Μήκος	Latitude Γεωγραφικό Πλάτος	Depth Εστιακό βάθος (km)
28186	7.3	27.687777	35.69609	100



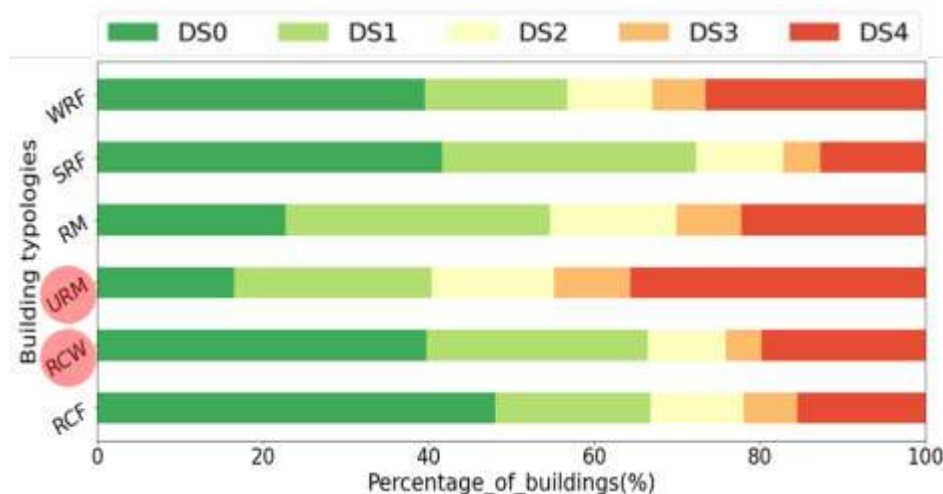
Σχήμα 2: Πεδία εδαφικής κίνησης για τα εντατικά μεγέθη: (α) μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration, PGA), (β) Μέγιστη εδαφική ταχύτητα (Peak Ground Velocity, PGV)



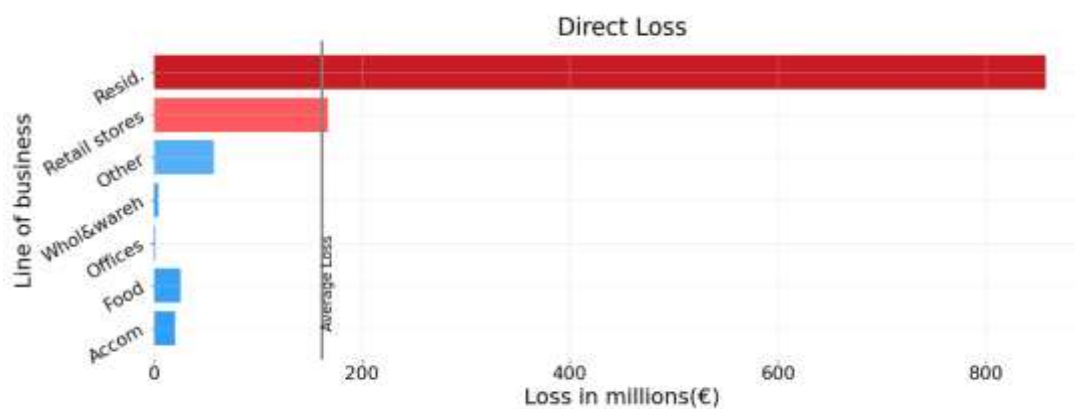
Σχήμα 3: Πεδία εδαφικής κίνησης για τα εντατικά μεγέθη: (α) Φασματική επιτάχυνση για περίοδο 0.5s (Spectral Acceleration at 0.5 seconds, SA(0.5s)), (β) Φασματική επιτάχυνση για περίοδο 1.0s (Spectral Acceleration at 1.0 seconds, SA(1.0s)).



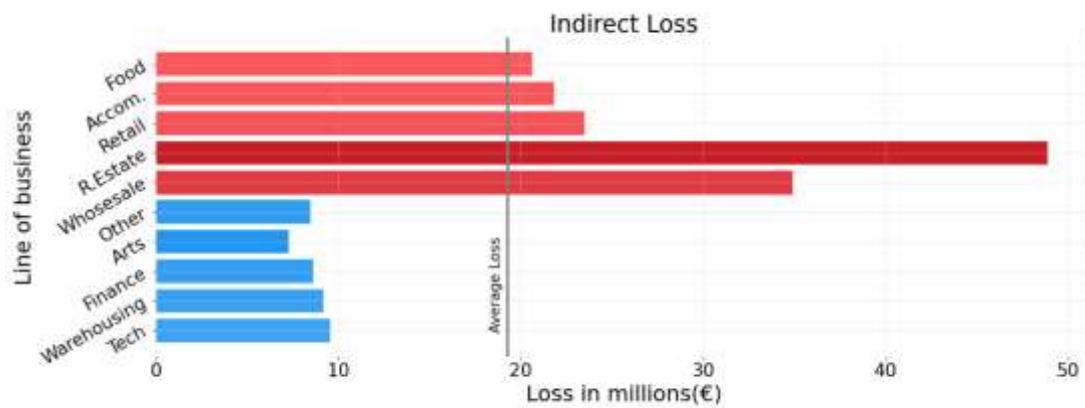
Σχήμα 4: Αριθμός κτιρίων ανά κατάσταση ζημίας και τυπολογία- είδος κτηρίου. WRF: Ξύλινο Κτήριο, SRF: Κτήριο από Χάλυβα, RM: Ενισχυμένη Τοιχοποιία, URM: Άοπλη Τοιχοποιία, RCW: Τοιχώματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, RCF: Πλαίσια Οπλισμένου Σκυροδέματος



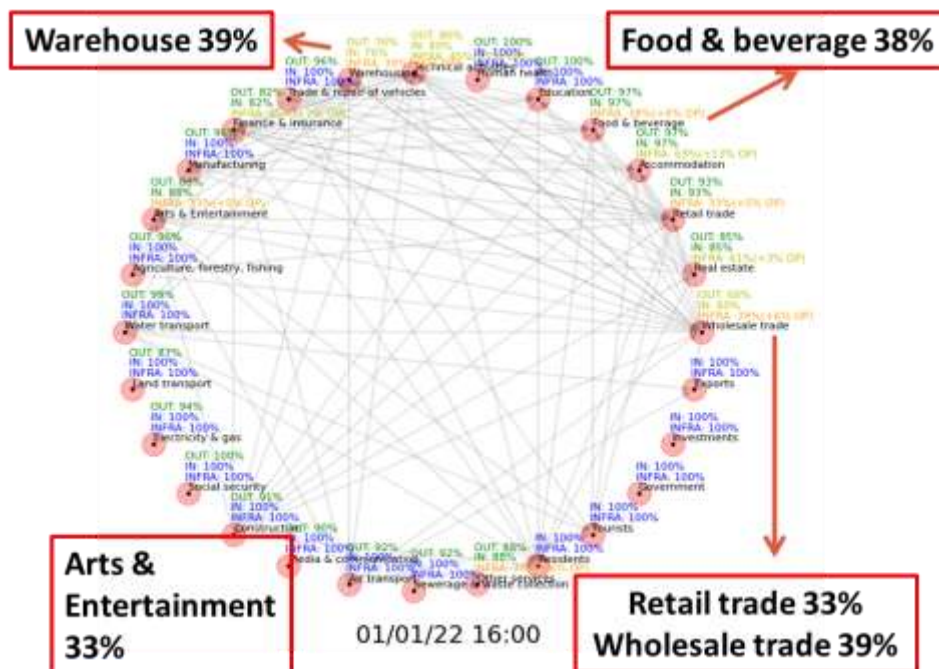
Σχήμα 5: Ποσοστό κτιρίων ανά κατάσταση ζημίας και τυπολογία- είδος κτηρίου. WRF: Ξύλινο Κτήριο, SRF: Κτήριο από Χάλυβα, RM: Ενισχυμένη Τοιχοποιία, URM: Άοπλη Τοιχοποιία, RCW: Τοιχώματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, RCF: Πλαίσια Οπλισμένου Σκυροδέματος. Με κόκκινο κύκλο σημειώνονται τα πιο ευάλωτα κτήρια.



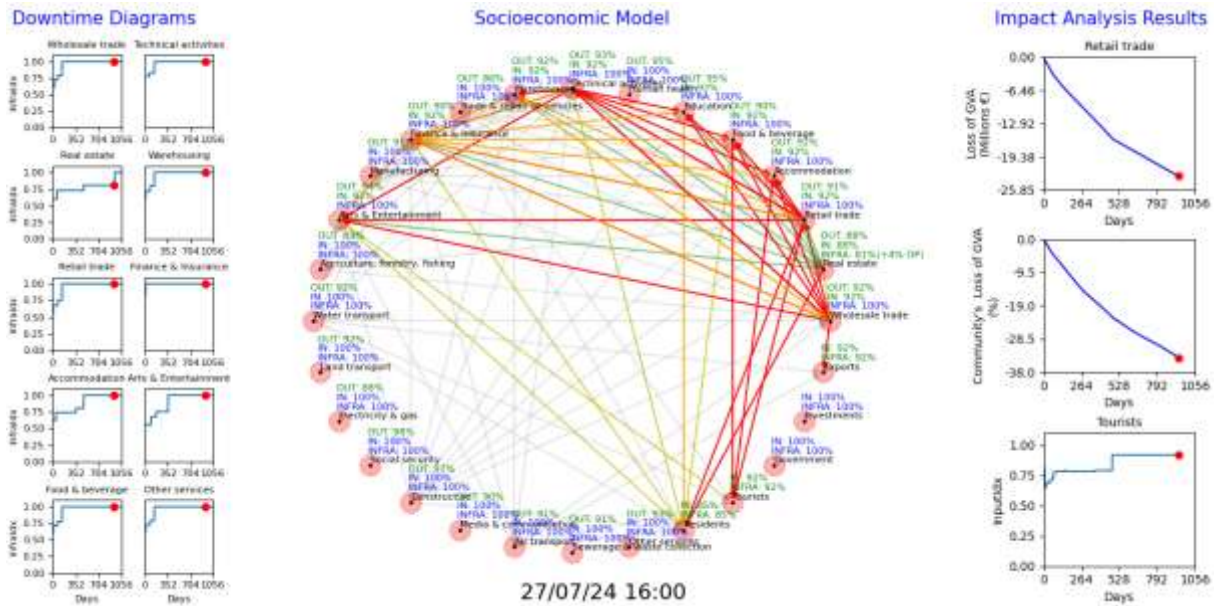
Σχήμα 6: Άμεσες οικονομικές απώλειες ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για το σενάριο M7.3.



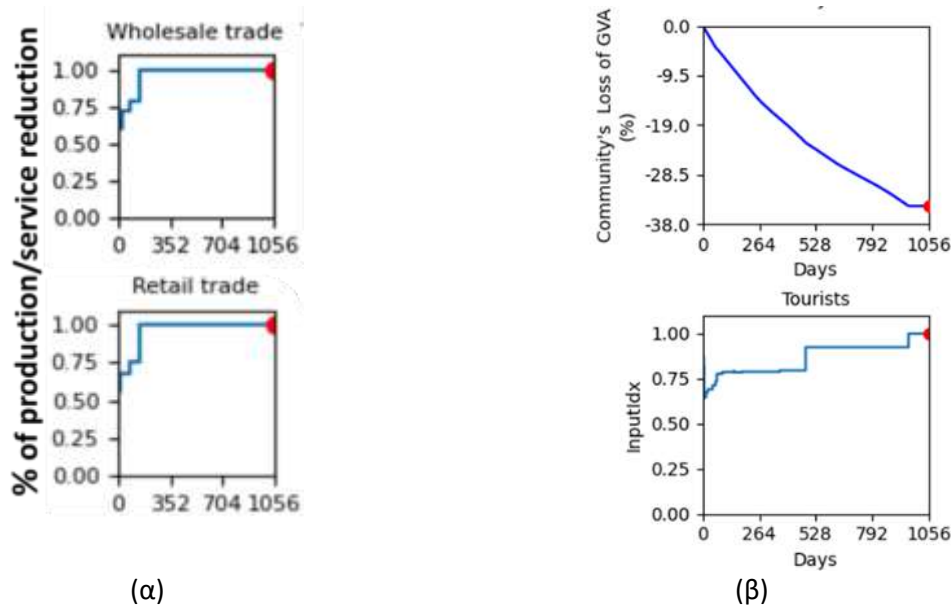
Σχήμα 7: Έμμεσες οικονομικές απώλειες ανά επιχειρηματική δραστηριότητα για για το σενάριο M7.3.



Σχήμα 8: Μεσο-οικονομικό μοντέλο Ρόδου αμέσως μετά το σεισμό M7.3.



Σχήμα 9: Μεσο-οικονομικό μοντέλο Ρόδου αφού επανήλθαν όλοι οι επιχειρηματικοί τομείς.



Σχήμα 10: Γραφήματα (α) πτώσης παραγωγικότητας και (β) πτώσης μικτού παραγόμενου προϊόντος (GVA).

3 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, οι καύσωνες, οι πλημμύρες και οι ακραίες ταχύτητες ανέμου, γίνονται ολοένα και πιο συνηθισμένα. Ο λόγος για την αυξημένη συχνότητα τέτοιων φαινομένων συνδέεται άμεσα με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Francis & Hengeveld, 1998; Seneviratne et al., 2012). Η κλιματική αλλαγή εντείνει όλα αυτά τα φαινόμενα, τα οποία είτε άμεσα είτε έμμεσα επηρεάζουν την πόλη. Μερικοί από τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να επηρεαστεί η πόλη από τις αλλαγές των καιρικών φαινομένων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Η παρατεταμένη ξηρασία, η οποία ακολουθείται από έντονες βροχές, δημιουργεί πιο έντονα πλημμυρικά φαινόμενα. Οι υπερχειλίσσεις ποταμών και ρεμάτων γίνονται πιο συχνές, με αποτέλεσμα να υπάρχουν βλάβες σε κτήρια, ιδιαίτερα σε υπόγεια, καταστήματα και δημόσιες υπηρεσίες. Συχνά, ως επακόλουθο των πλημμυρών, κλείνουν οι δρόμοι της πόλης. Λόγω της συσσώρευσης του νερού σε σημεία των δρόμων, ακινητοποιούνται ή και παρασύρονται οχήματα ή/και φερτά υλικά, με αποτέλεσμα να υπάρχουν καθυστερήσεις ή πλήρης αδυναμία μετακίνησης. Το γεγονός αυτό επηρεάζει τις μετακινήσεις τόσο μέσα στην πόλη όσο και τις μεταφορές προς σημαντικές υποδομές, όπως το αεροδρόμιο ή το λιμάνι, αλλά και από και προς τα νοσοκομεία.

Ο κορεσμός του εδάφους με νερό μπορεί να οδηγήσει σε καθιζήσεις ή κατολισθήσεις, που επηρεάζουν έντονα ιδιαίτερα τα υπόγεια δίκτυα, όπως το δίκτυο ύδρευσης ή και αποχέτευσης. Παράλληλα, τέτοιες κατολισθήσεις μπορούν να επηρεάσουν τις προβλήτες στο λιμάνι και να προκαλέσουν διακοπή των εργασιών.

Το αεροδρόμιο, επιπλέον, μπορεί να επηρεαστεί και από τους έντονους ανέμους, καθώς σε μεγάλες ταχύτητες απαγορεύονται η απογείωση και η προσγείωση αεροπλάνων. Λόγω του παρακείμενου όρους και της συνεπαγόμενου στροβίλου υπό ανατολικούς και νοτιοανατολικούς ανέμους, το αεροδρόμιο της Ρόδου είναι ήδη ευάλωτο, με όχι σπάνιες απαγορεύσεις σε απογείωση και προσγείωση. Η ενδεχόμενη αυξημένη συχνότητα των φαινομένων αυτών μπορεί να επιδεινώσει την κατάσταση, προκαλώντας μεγάλες οικονομικές απώλειες.

Τα παραπάνω αποτελούν μόνο ένα μέρος των πιθανών προβλημάτων που μπορεί να δημιουργηθούν λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων. Το γεγονός αυτό καθιστά υψίστη τη σημασία λήψης αποφάσεων για τον μετριασμό των επιπτώσεων των αναπόφευκτων αλλαγών στο κλίμα.

Το ερώτημα τώρα είναι πώς μπορεί να ποσοτικοποιηθεί αυτή η επίπτωση του καιρού στην οικονομία της πόλης. Η Ρόδος είναι μια εξαιρετικά τουριστική πόλη, υποδεχόμενη κάθε χρόνο από τους μεγαλύτερους αριθμούς τουριστών ανά κάτοικο στην Ευρώπη (26.33 προς έναν κατά Holiday). Από αυτό και μόνο το γεγονός γίνεται ξεκάθαρη η μεγάλη σημασία που έχουν το αεροδρόμιο και το λιμάνι για την οικονομία της πόλης.

Στη συνέχεια λοιπόν, θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα με τις οικονομικές επιπτώσεις που θα είχαν κάποια τέτοια φαινόμενα για την πόλη της Ρόδου:

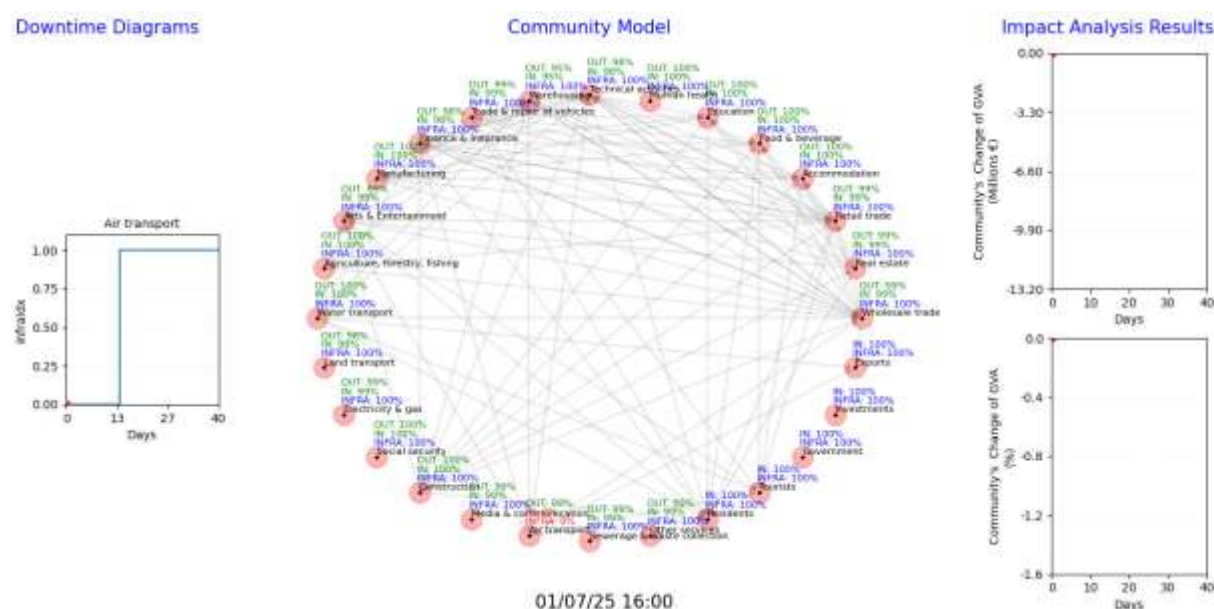
- (α) Λόγω διακοπής λειτουργίας του αεροδρομίου, και
- (β) Λόγω διακοπής λειτουργίας του λιμανιού.

3.1 Έμμεσες απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας του αεροδρομίου

Χωρίς αμφιβολία το αεροδρόμιο της πόλης είναι ύψιστης σημασίας για την οικονομία της πόλης. Το πρώτο βήμα για την κατανόηση του κινδύνου που διατρέχει, είναι η αναγνώριση των φαινομένων που το καθιστούν πιο ευάλωτο. Αρχικά, ένα μεγάλο πρόβλημα που είχε συναντήσει πολλές φορές στο παρελθόν το αεροδρόμιο είναι το κλείσιμο του δρόμου που οδηγεί σε αυτό, λόγω πλημμυρών. Μάλιστα, η γέφυρα της Κρεμαστής, που οδηγεί σε αυτό, είχε καταρρεύσει στο παρελθόν, αλλά αντικαταστάθηκε πρόσφατα, το 2022, με καινούργια. Παρόλα αυτά, ο κίνδυνος από πλημμύρες παραμένει υψηλός. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, να χρειαστεί να ακυρωθούν πτήσεις. Δεδομένου ότι συνήθως οι άνεμοι διαρκούν για μικρό χρονικό διάστημα, το παράδειγμα επικεντρώνεται σε μια πιο εκτεταμένη διακοπή λειτουργίας του αεροδρομίου. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε το μεσο-οικονομικό μοντέλο της πλατφόρμας για να καθοριστούν οι οικονομικές απώλειες για την πόλη, σε περίπτωση που το αεροδρόμιο παραμένει κλειστό 13 ημέρες λόγω πλημμύρας ή άλλων βλαβών.

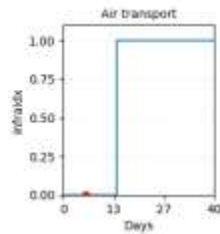
Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η αρχική κατάσταση του οικονομικού συστήματος της πόλης, με όλες τις δομές της να λειτουργούν κανονικά. Αμέσως μετά, από αυτό το στιγμιότυπο έχουμε πλήρη διακοπή των λειτουργιών του αεροδρομίου λόγω του ακραίου σεναρίου. Από τη στιγμή αυτή αρχίζουν οι επιπτώσεις στους διάφορους επιχειρηματικούς τομείς της πόλης, αρχικά με τη μείωση των τουριστών και των χώρων διασκέδασης και στη συνέχεια επεκτείνεται και στο λιανεμπόριο και άλλους τομείς (Σχήμα 12).

Στο Σχήμα 13 φαίνεται η τελευταία μέρα πριν το αεροδρόμιο επανέλθει πλήρως. Ωστόσο, ενώ το αεροδρόμιο επαναλειτουργεί, οι απώλειες στο GVA της πόλης συνεχίζουν να αυξάνονται, καθώς το σύστημα θέλει χρόνο για την πλήρη επαναφορά του στην πρότερη κατάσταση. Η πόλη φτάνει σε μείωση του GVA ύψους -1.5% (Σχήμα 14). Παρατηρείται, λοιπόν, επιπλέον μείωση της τάξεως του 0.5% GVA από τη στιγμή που επαναλειτουργεί το αεροδρόμιο μέχρι την επαναφορά όλων των επιχειρήσεων στην προ φυσικής καταστροφής λειτουργικότητα, από οικονομικής άποψης.

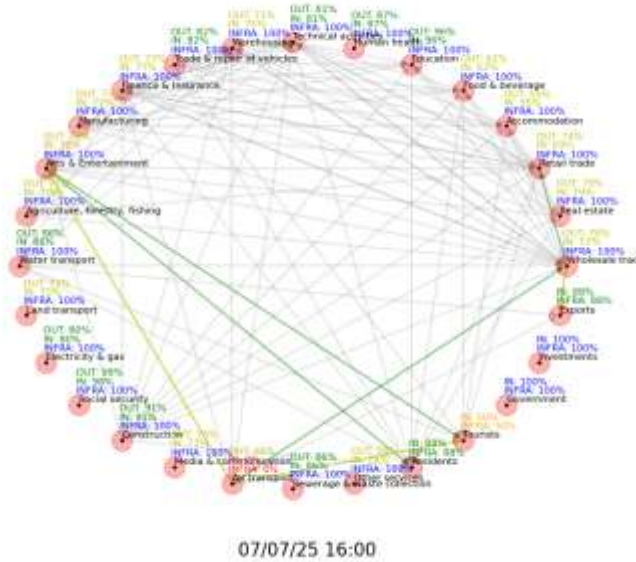


Σχήμα 11: Ημέρα 1η, πλήρη λειτουργικότητα αεροδρομίου.

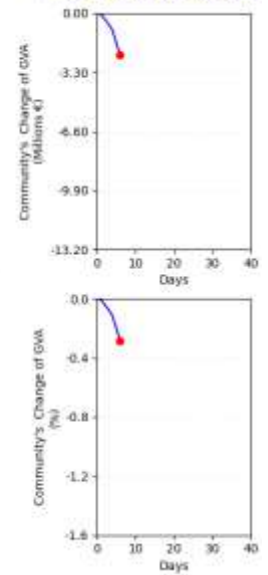
Downtime Diagrams



Community Model

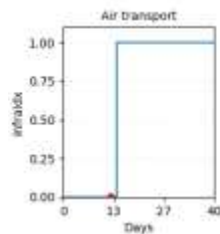


Impact Analysis Results

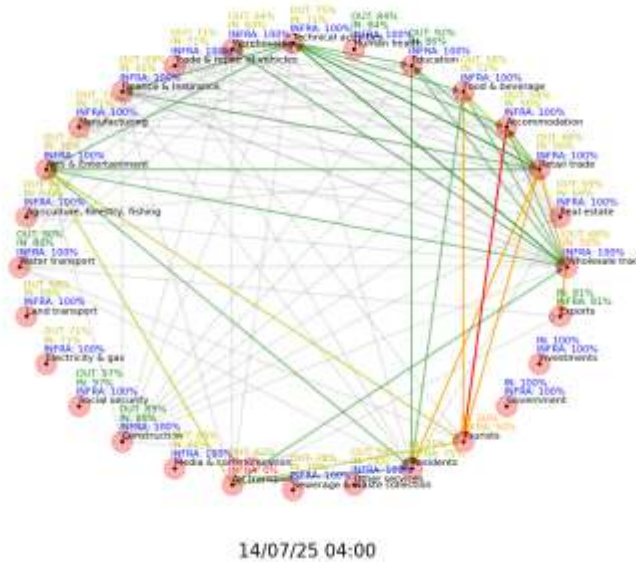


Σχήμα 12: Ημέρα 6η, ενδιάμεση μέρα με μη λειτουργικότητα αεροδρομίου.

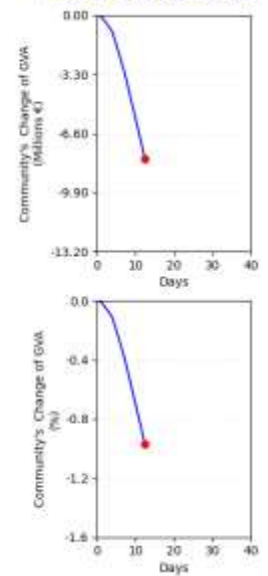
Downtime Diagrams



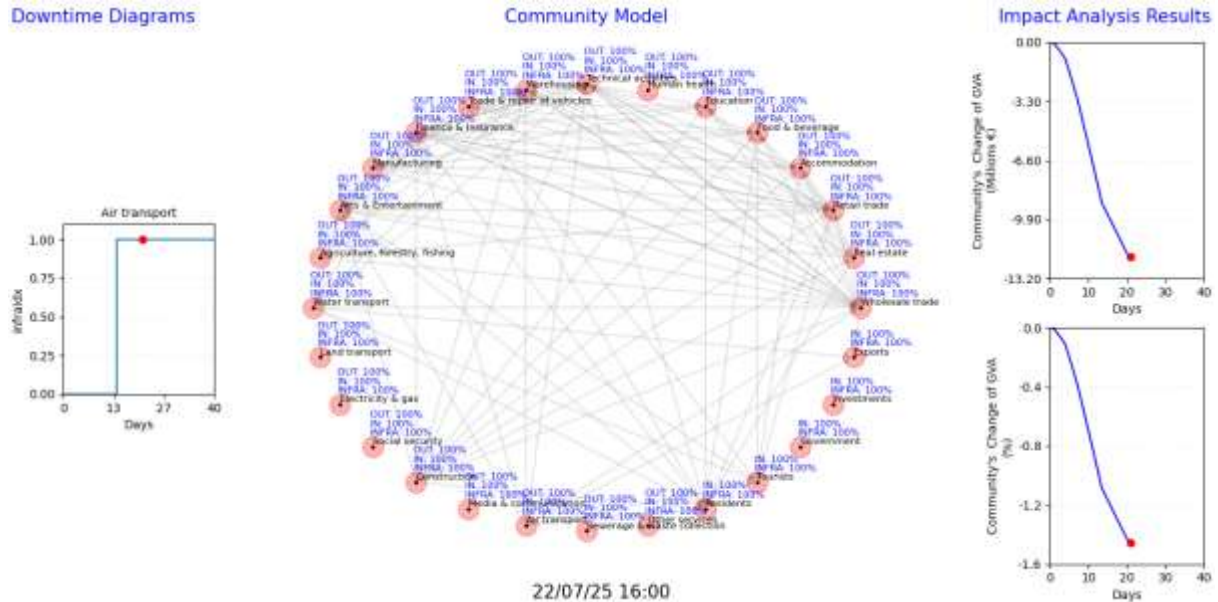
Community Model



Impact Analysis Results



Σχήμα 13: Ημέρα 12^η, ημέρα πλήρους επαναφοράς λειτουργικότητας.



Σχήμα 14: Ημέρα 21^η, ημέρα σταθεροποίησης έμμεσων απωλειών.

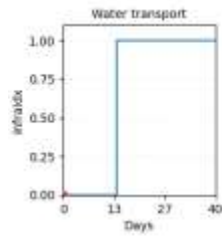
3.2 Έμμεσες απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας του λιμανιού

Αντίστοιχα με το παράδειγμα του αεροδρομίου, το λιμάνι της πόλης είναι εξίσου καθοριστικής σημασίας, καθώς δεν μεταφέρει μόνο τουρίστες, αλλά από αυτό εξαρτώνται και οι μεταφορές πολλών βασικών αγαθών προς το νησί. Η λειτουργία αυτή μπορεί συχνά να διακοπεί λόγω καθιζήσεων μετά από πλημμύρες ή βλαβών από τρικυμία. Επιπλέον, στα λιμάνια παρατηρούνται και διακοπές λειτουργίας εξαιτίας σεισμού, οπότε το συγκεκριμένο παράδειγμα λειτουργεί πολύ καλά για την εκτίμηση των οικονομικών απωλειών και σε περιπτώσεις σεισμικού κινδύνου. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το μεσο-οικονομικό μοντέλο της πλατφόρμας, για να καθοριστούν οι οικονομικές απώλειες για την πόλη σε περίπτωση που το λιμάνι παραμείνει κλειστό 13 ημέρες.

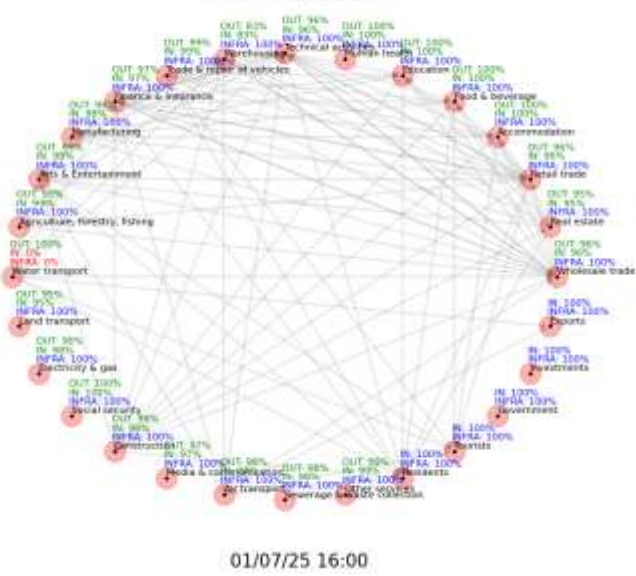
Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται η αρχική κατάσταση του οικονομικού συστήματος της πόλης, με όλες τις δομές της να λειτουργούν κανονικά. Αμέσως μετά, από αυτό το στιγμιότυπο έχουμε πλήρη διακοπή των λειτουργιών του λιμανιού λόγω ακραίου σεναρίου. Από τη στιγμή αυτή αρχίζουν οι επιπτώσεις στους διάφορους επιχειρηματικούς τομείς της πόλης, αρχικά με τη μείωση των εισαγωγών και της διανομής εμπορευμάτων, και σταδιακά επεκτείνεται και στο λιανεμπόριο και άλλους τομείς (Σχήμα 16).

Στο Σχήμα 17, φαίνεται η τελευταία μέρα πριν το λιμάνι επανέλθει πλήρως. Ωστόσο, ενώ το λιμάνι επαναλειτουργεί, οι απώλειες στο GVA της πόλης συνεχίζουν να αυξάνονται, καθώς το σύστημα απαιτεί χρόνο για την πλήρη επαναφορά του στην πρότερη κατάσταση. Η πόλη φτάνει σε μείωση του GVA ύψους -1.8% (Σχήμα 14). Παρατηρείται, λοιπόν, επιπλέον μείωση της τάξεως του 0.5% GVA από τη στιγμή που επαναλειτουργεί το λιμάνι μέχρι την επαναφορά όλων των επιχειρήσεων στην προ φυσικής καταστροφής λειτουργικότητα, από οικονομικής άποψης.

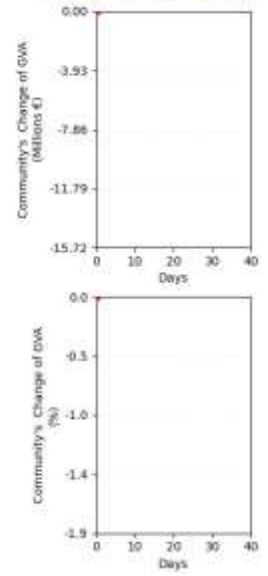
Downtime Diagrams



Community Model

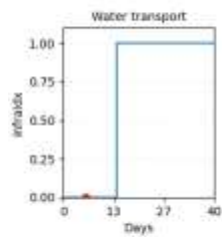


Impact Analysis Results

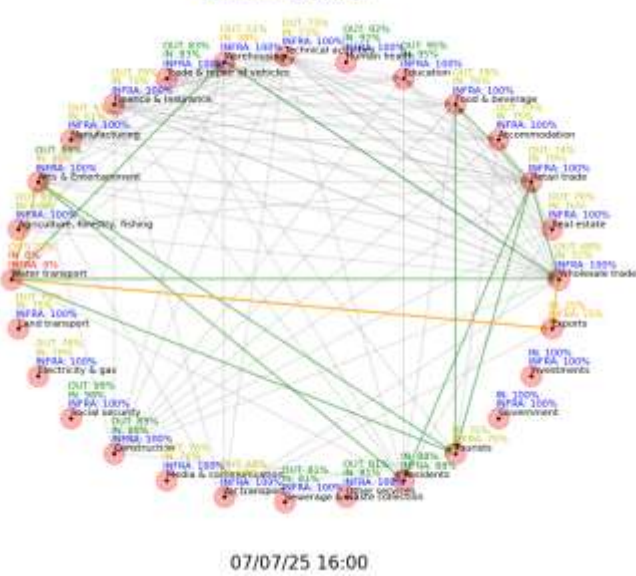


Σχήμα 15: Ημέρα 1η, πλήρη λειτουργικότητα λιμανιού.

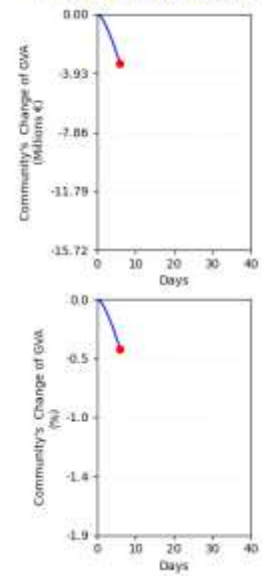
Downtime Diagrams



Community Model

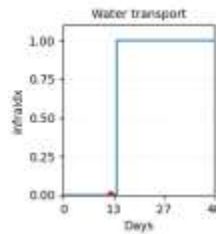


Impact Analysis Results

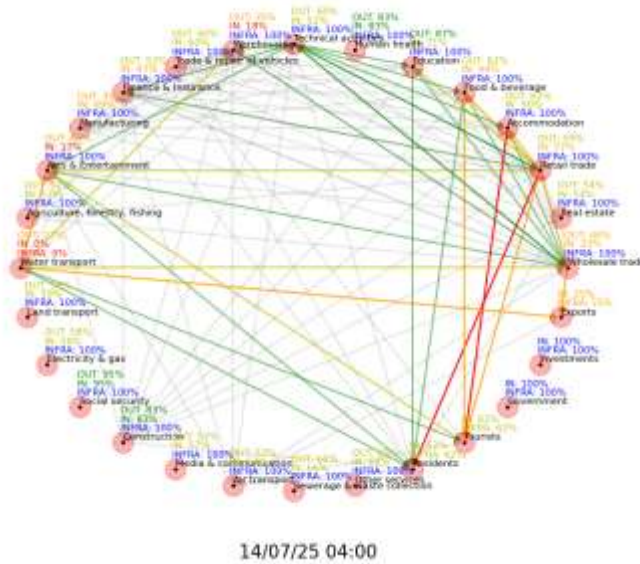


Σχήμα 16: Ημέρα 6η, ενδιάμεση μέρα με μη λειτουργικότητα λιμανιού

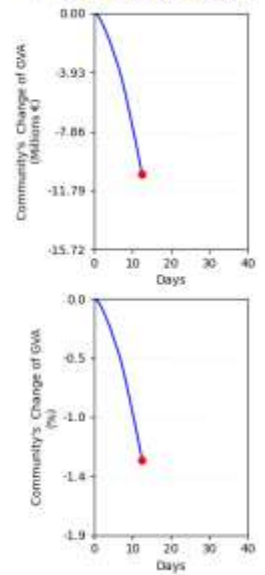
Downtime Diagrams



Community Model

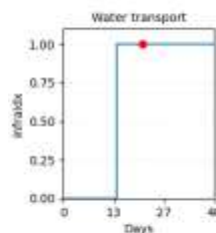


Impact Analysis Results

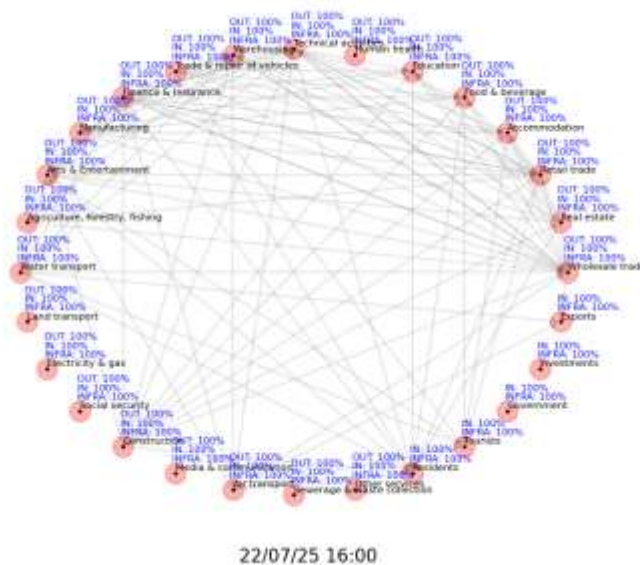


Σχήμα 17: Ημέρα 12^η, ημέρα πλήρους επαναφοράς λειτουργικότητας.

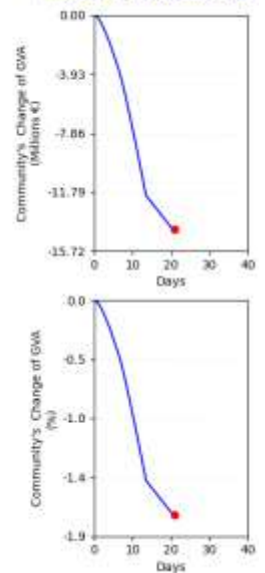
Downtime Diagrams



Community Model



Impact Analysis Results



Σχήμα 18: Ημέρα 21^η, ημέρα σταθεροποίησης έμμεσων απωλειών.

4 Συμπεράσματα

Στο παρόν έγγραφο παρουσιάστηκαν κάποια παραδείγματα ακραίων σεναρίων για σεισμό και για καιρικά φαινόμενα. Στην περίπτωση του σεισμού, ένα μεγάλο κομμάτι των απωλειών είναι άμεσα συνδεδεμένο με τις άμεσες βλάβες που προκαλεί το ίδιο το γεγονός. Οι περισσότερες απώλειες σχετίζονται με την δομική αποκατάσταση των βλαβών, ανάλογα με το πόσο έντονο ήταν το φαινόμενο. Οι έμμεσες απώλειες σχετίζονται με το πόσο χρόνο διήρκεσε η επαναφορά των κτηρίων σε λειτουργική κατάσταση. Ο σεισμός, γενικά, επηρεάζει όλα τα κτήρια και όλες τις υποδομές της πόλης, υπέργειες και υπόγειες, με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά σημαντική η μελέτη του. Οι απώλειες λόγω σεισμού σε μια πόλη σαν την Ρόδο είναι πολύ μεγάλες και, συνεπώς, η πόλη πρέπει να πάντα διαθέσιμο ένα σημαντικό πόσο (πχ μέσω ομολόγων ή/και ασφάλισης), ώστε να μπορέσει σε περίπτωση ανάγκης να το διαθέσει για την αποκατάσταση των ζημιών. Το παράδειγμα σίγουρα αντικατοπτρίζει μια πολύ ακραία περίπτωση σεισμού, παρόλα αυτά είναι σημαντικό να είναι σαφές πόσο εκτεταμένες θα ήταν οι απαιτούμενες προσπάθειες επαναφοράς της πόλης μετά από ένα τέτοιο συμβάν.

Είναι φανερό ότι οι επιπτώσεις λόγω καιρικών φαινομένων είναι πιο δύσκολο να καθοριστούν με μονοσήμαντο τρόπο. Οι υποδομές που χρησιμοποιήθηκαν ως παράδειγμα δείχνουν πως κάθε υποδομή της πόλης επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο διαφορετικούς επιχειρηματικούς τομείς. Σε αντίθεση με το σεισμό, όπου οι απώλειες συνδέονται κυρίως με τον βαθμό βλάβης των κτηρίων και τις δαπάνες για την αποκατάστασή τους. Το σημαντικό σε αυτές τις υποδομές είναι πόσο γρήγορα θα μπορέσουν οι τοπικοί φορείς να τις επαναφέρουν σε πλήρη λειτουργία.

Εφόσον κλείσει το αεροδρόμιο λόγω πλημμύρας, οι ενέργειες που πρέπει να ακολουθηθούν διαφέρουν κάθε φορά. Αν έχει κλείσει ο δρόμος, πρέπει αυτός να καθαριστεί και να επιτρέψει τις μετακινήσεις, ενώ αν έχουν δημιουργηθεί βλάβες στο ίδιο το αεροδρόμιο πρέπει και αυτές να επιδιορθωθούν. Αν το αεροδρόμιο έκλεισε λόγω κατάρρευσης γέφυρας, πρέπει πρώτα αυτή να αποκατασταθεί. Πολλές φορές, μάλιστα, πολλά από αυτά πρέπει να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα, εφόσον υπάρχουν οι διαθέσιμοι πόροι. Από την άλλη πλευρά, κλείσιμο του λιμανιού επηρεάζει την αποκατάσταση όλης της πόλης, καθότι καθυστερεί σημαντικά η μεταφορά εφοδίων, κλιμακίων πολιτικής προστασίας, μηχανημάτων, ανταλλακτικών, κλπ. Επιπλέον, παρότι στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάστηκε να κλείσει μία υποδομή τη φορά πολύ συχνά μπορεί να έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας ταυτόχρονα, θέτοντας την λειτουργικότητα της πόλης σε μεγάλη δυσχέρεια.

Και στις περιπτώσεις των ακραίων σεισμικών και καιρικών σεναρίων, οι μέρες για τις οποίες αυτές θα παραμείνουν ανενεργές οι επιχειρήσεις και οι υποδομές επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος των απωλειών. Η ταχύτητα με την οποία τα συνεργεία θα επαναφέρουν την πόλη στην πρότερη κατάσταση είναι αυτή που, εν τέλει, καθορίζει πόσο θα επηρεαστεί η πόλη από το εκάστοτε γεγονός. Σε ακραίες περιπτώσεις βλαβών, οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο τουριστικό προϊόν της πόλης, αλλά και τη βιωσιμότητά της ως ελκυστικό προορισμό (branding) είναι σημαντικές.

5 Βιβλιογραφία

Francis, D., & Hengeveld, H. (1998). Extreme weather and climate change. Ontario: Environment Canada. <https://meteor.geol.iastate.edu/gccourse/history/trends/ExtremeWxClim.pdf>

Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., & Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. <https://doi.org/10.7916/d8-6nbt-s431>

Ειδησιογραφικός ιστότοπος: <https://greekreporter.com/2025/06/23/european-cities-overloaded-tourists-greece/>, credit: Holidu