



D5.1

Socioeconomic impact model

Μοντέλο κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων

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	WP5 – Business & community impact assessment
Deliverable number	D5.1 Socioeconomic impact model
Status - version, date	Final – V1.0
Deliverable leader	N. Karaferis
Contractual date of delivery	30/04/2024

Ποιοτικός έλεγχος

	Name	Organisation	Date
Peer review 1	Δ. Βαμβάτσικος	ΕΜΠ	18/02/2024
Peer review 2	Β. Μελισσιανός	ΕΜΠ	12/03/2024

Ιστορικό παραδοτέου

Version	Date	Author	Summary of changes
0.1	28/01/2024	N. Καραφέρης	Πρώτο προσχέδιο εγγράφου
1.0	29/04/2024	N. Καραφέρης	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, 2023.

Περιεχόμενα

Ποιοτικός έλεγχος	2
Ιστορικό παραδοτέου.....	2
Νομική διακήρυξη.....	2
Κατάλογος σχημάτων.....	4
Κατάλογος πινάκων	4
Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμιων	5
Σύνοψη	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Σκοπός του παραδοτέου	7
1.2 Στοχευόμενο κοινό	7
2 Παρουσίαση προτεινόμενου Κοινωνικό-Οικονομικού μοντέλου	8
2.1 Εισαγωγή στην αναταξινόμηση	8
2.2 Απλοποιημένη επιχειρηματική ταξινόμηση	10
2.3 Κρίσιμες Υποδομές και υπηρεσίες ζωτικής σημασίας	13
2.4 Διαγράμματα χρόνου μη λειτουργίας και αποκατάστασης	15
2.4.1 Δείκτης υποδομών (InfraIdx).....	16
2.4.2 Δείκτης Εισροών (InputIdx)	19
2.4.3 Δείκτης Εκροών (OutputIdx).....	21
2.5 Ευθεία και αντίστροφη εξάπλωση αστοχιών.....	21
3 Παραδείγματα εφαρμογής	23
3.1 Παράδειγμα 1: Απλό οικονομικό σύστημα τεσσάρων κόμβων	23
3.2 Παράδειγμα 2: Κοινωνικό-οικονομικό μοντέλο για τη πόλη της Ρόδου.	25
4 Συμπεράσματα	30
5 Βιβλιογραφία	31

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Ορισμός του δείκτη αναταξινόμησης κατά Cimellaro et al. (2016).	10
Σχήμα 2: Διαδικασία παραγωγής του επιχειρηματικού τομέα «Καταλύματα» για την πόλη της Ρόδου, συνδυάζοντας τα GVA και τις δυνατότητες διαφορετικών ξενοδοχειακών επιχειρήσεων.	12
Σχήμα 3: Σχηματική διάταξη των δικτύων υποδομών ζωτικής σημασίας για την πόλη της Ρόδου: (α) το δίκτυο παραγωγής, μεταφοράς & διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, (β) το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, (γ) το δίκτυο ύδρευσης & αποχέτευσης και (δ) το δίκτυο μεταφορών.	15
Σχήμα 4: Εξέλιξη του δείκτη Infraldx με τον χρόνο αποκατάστασης για έναν επιχειρηματικό τομέα που περιλαμβάνει 10 επιχειρηματικές μονάδες που αντιμετωπίσαν διακοπές υδροδότησης -ηλεκτροδότησης ή/και υπέστησαν μικρές ζημιές στις υποδομές λόγω κάποιου καταστροφικού συμβάντος.	18
Σχήμα 5: Διάδοση αστοχίας σε οικονομία τεσσάρων κόμβων χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές συνδέσεις προσφοράς/ζήτησης.	24
Σχήμα 6: Υποθετικά σενάρια καταστροφών για την πόλη της Ρόδου για ένα γεγονός που (α) συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα και επηρεάζει το «Λιανικό εμπόριο», (β) συμβαίνει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και επηρεάζει το «Λιανικό εμπόριο», και (γ) συμβαίνει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και επηρεάζει τη «Μεταποίηση». Οι διακεκομμένες γκρι καμπύλες αντιστοιχούν στην ωριαία και συνολική GVA της πόλης υπό κανονικές συνθήκες (δηλαδή, δεν συνέβη κανένα γεγονός), ενώ το συμπαγές μπλε στο εξεταζόμενο σενάριο ζημιάς (δηλαδή, το συμβάν συνέβη).	27
Σχήμα 7: Το κοινωνικοοικονομικό μοντέλο της Ρόδου για το καταστροφικό Σενάριο Α που πλήττει τον κλάδο του «Λιανικού Εμπορίου». Οι άκρες του γραφήματος αντιπροσωπεύουν τη συνδεσιμότητα εφοδιασμού των επιχειρηματικών τομέων, όπως ορίζεται από τα VDT (γκρι χρώμα αντιστοιχεί στη Κατάσταση 1, κόκκινο στη Κατάσταση 5 κ.λπ.)	29

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Προτεινόμενη ταξινόμηση επιχειρήσεων για την πόλη της Ρόδου (23 επιχειρηματικοί τομείς).	12
Πίνακας 2: Παράδειγμα VDT για τον επιχειρηματικό τομέα «λιανικού εμπορίου».	20
Πίνακας 3: Απόσπασμα από τον κανονικοποιημένο Πίνακα Εισροών-Εκροών (IOT) που χρησιμοποιείται για την πόλη της Ρόδου.	21

Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμων

Συντομογραφία	Ολογράφως
ΠΚ	Πολιτιστική Κληρονομιά
GVA	Gross Value Added
VDT	Vendor Dependence Tables
BC	Business Continuity
IOT	Input Output Table
KA	Κλιματική Αλλαγή
ARIO	Adaptive Regional Input-Output
FDN	Final Demand Nodes

Σύνοψη

Για το παραδοτέο D5.1, με τίτλο “Socioeconomic impact model” του WP5 δημιουργήθηκε ένα κοινωνικοοικονομικό μοντέλο των κατοίκων και επισκεπτών, της τοπικής οικονομίας (δηλαδή, παραγωγής και κατανάλωσης αγαθών, υπηρεσιών και μικρών επιχειρήσεων) και της τοπικής διακυβέρνησης μιας περιοχής, προσφέροντας ένα ιεραρχικό μοντέλο για τις λειτουργίες μιας κοινότητας. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση σχετικά με πτυχές που είναι σημαντικές για την αναταξιμότητα ενός συστήματος, καθώς και για τις υπάρχουσες μεθοδολογίες τελευταίας τεχνολογίας για τη προσομοίωση της διαδικασίας ανάπτυξης της κοινότητας μετά από καταστροφικά κλιματικά γεγονότα ή μη καταστροφικά γεγονότα που επιδεινώνονται όμως από την κλιματική αλλαγή. Λόγω των παραπάνω, το προτεινόμενο μοντέλο χρησιμοποιεί μια συνδυασμένη προσέγγιση μακροοικονομικών και μικροοικονομικών προσεγγίσεων για να προσδιορίσει τις έμμεσες απώλειες ενός καταστροφικού γεγονότος λαμβάνοντας υπόψη διακυμάνσεις στην αλυσίδα προσφοράς και ζήτησης. Συγκεκριμένα, οι μεμονωμένες τοπικές επιχειρήσεις που λειτουργούν σε μια περιοχή σχετιζόμενη με μια τοποθεσία ΠΚ αποτελούνται από αρκετούς συμπυκνωμένους τομείς επιχειρηματικότητας. Η ετήσια καθαρή προστιθέμενη αξία (annual Gross Value Added - GVA) κάθε τομέα προέρχεται από την εκμετάλλευση ήδη διαθέσιμων εθνικών/περιφερειακών οικονομικών δεδομένων. Η απόδοση κάθε τομέα σε ένα δεδομένο χρονικό σημείο μετά την εμφάνιση ενός καταστροφικού γεγονότος αξιολογείται με τη χρήση τριών δεικτών: (α) ο δείκτης υποδομής, (β) ο δείκτης εισόδου και (γ) ο δείκτης εξόδου. Ο δείκτης υποδομής μετρά τη μειωμένη παραγωγική ικανότητα ενός τομέα λόγω διακοπών στις εγκαταστάσεις και στις εφοδιαστικές γραμμές, ενώ ο δείκτης εισόδου χρησιμοποιείται για να λάβει υπόψη τις διακοπές στην προσφορά. Τέλος, ο δείκτης εξόδου εισήχθη για να λάβει υπόψη τη μεταδοτική μείωση της ζήτησης κατά τη φάση ανάκαμψης μετά το γεγονός, μια κατάσταση που είναι πιθανό να οδηγήσει σε σοβαρές οικονομικές απώλειες ακόμη και για επιχειρήσεις που παραμένουν πλήρως λειτουργικές όσον αφορά στους δείκτες (α) και (β). Για να διαδοθούν οι αστοχίες στην αλυσίδα εφοδιασμού, η αναπτυγμένη μεθοδολογία εισάγει τους πίνακες εξάρτησης από τον προμηθευτή (Vendor Dependence Tables - VDTs) που χρησιμοποιούνται κανονικά στην πράξη για την αξιολόγηση της δυνατότητας της επιχείρησης να συνεχίσει τη λειτουργία της απρόσκοπτα (Business Continuity - BC), ενώ οι διαδοχικές διακοπές στη ζήτηση αντιμετωπίζονται μέσω μιας προσέγγισης πίνακα εισόδου-εξόδου (Input Output Table - IOT). Το προτεινόμενο μοντέλο είναι επίσης σχεδιασμένο για να προσαρμόζεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κοινότητας, λαμβάνοντας υπόψη την προσαρμοστική συμπεριφορά των επισκεπτών της τοποθεσίας και το γεγονός ότι μια αντίξοχη κατάσταση ενδέχεται να συμβεί κατά τη διάρκεια υψηλής ή χαμηλής περιόδου. Η μεθοδολογία επαληθεύεται βάσει αρκετών υποθετικών σεναρίων καταστροφής που είναι πιθανό να επηρεάσουν απλά οικονομικά συστήματα. Τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών επικύρωσης στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του κοινωνικοοικονομικού μοντέλου μιας πολύπλοκης κοινότητας.

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός του παραδοτέου

Το έγγραφο του παραδοτέου D5.1 "Socioeconomic impact model" συνοψίζει το έργο που διενεργήθηκε για την καθιέρωση μιας μεθοδολογίας που επιτρέπει την αξιολόγηση της κοινωνικοοικονομικής, κοινοτικής και οργανωτικής αναταξιμότητας αστικών περιοχών όταν αυτές υπόκεινται σε ένα φάσμα κινδύνων που ενισχύονται από την Κλιματική Αλλαγή (ΚΑ) ή από μη-κλιματικούς κινδύνους. Οι μεθοδολογίες αυτές είναι που θα χρησιμοποιηθούν κατά βάση στις εφαρμογές του προγράμματος TwinCity, στοχεύοντας στην αξιολόγηση της οικονομικής αναταξιμότητας στις περιοχές ενδιαφέροντος.

1.2 Στοχευόμενο κοινό

Ο συνολικός στόχος του παραδοτέου 5.1, είναι να δημιουργηθεί ένα κοινωνικοοικονομικό μοντέλο για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των καταστροφικών γεγονότων στο επίπεδο της κοινότητας των περιοχών της Πολιτιστικής Κληρονομιάς καθώς και για την προσομοίωση της διαδικασίας αποκατάστασής τους μετά το γεγονός. Το προτεινόμενο μοντέλο σχεδιάστηκε να είναι ολιστικό αλλά και επεκτάσιμο, επιτρέποντας εύκολες τροποποιήσεις για την προσαρμογή στις συγκεκριμένες συνθήκες της κάθε περιοχής που εξετάζεται ή την εισαγωγή νέων πληροφοριών που έχουν ληφθεί για τη περιοχή αυτή. Μόλις συλλεχθούν τα αρχικά δεδομένα για την τροφοδότηση του εργαλείου, η αναπτυγμένη μεθοδολογία επιτρέπει σχεδόν άμεσα και χωρίς σημαντικές τροποποιήσεις να εκτελεστούν προδιαγεγραμμένα "what-if" σενάρια για την ανάλυση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων των επικίνδυνων φαινομένων που εξετάζονται για τη περιοχή αυτή. Η αξιολόγηση μπορεί να ενημερώνεται συνεχώς με νέα δεδομένα που λαμβάνονται μαζί με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για να παρέχει πάντα ακριβή και ενημερωμένα αποτελέσματα. Τελικά, το προτεινόμενο εργαλείο προβλέπεται να βοηθήσει τους φορείς λειτουργίας και διαχείρισης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, τις πολιτιστικές αρχές, τους κατασκευαστές πολιτικής κλπ. προς την αξιολόγηση της συνολικής αναταξιμότητας μιας ολόκληρης αστικής περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις κατασκευές όσο και τους χρήστες/κατοίκους του συστήματος.

2 Παρουσίαση προτεινόμενου Κοινωνικό-Οικονομικού μοντέλου

2.1 Εισαγωγή στην αναταξιμότητα

Φυσικοί (π.χ., σεισμοί, πλημμύρες) και ανθρωπογενείς (π.χ., μόλυνση των υδάτων, εκρήξεις, πυρκαγιές) κίνδυνοι που έχουν συμβεί πρόσφατα παγκοσμίως έχουν δείξει ότι ακόμα και οι σύγχρονες κοινωνίες παραμένουν ευάλωτες σε ακραία γεγονότα κινδύνου, και συνεπώς είναι επιρρεπείς σε άμεσες και/ή έμμεσες απώλειες που επηρεάζουν τις κοινότητες και τα συστήματα υποστήριξής τους. Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν ζημιές σε κτίρια, εξοπλισμό, οχήματα, αποθέματα ακόμα και τραυματισμούς ανθρώπων ή ακόμα και θανάτους. Από οικονομική άποψη, το άμεσο κόστος ενός γεγονότος είναι το κόστος επισκευής ή αντικατάστασης των ζημιωθέντων ή καταστραμμένων περιουσιακών στοιχείων, αντίστοιχα, και συνήθως εκτιμάται από ασφαλιστικές εταιρείες μετά την εμφάνιση μιας καταστροφής (Hallegatte, 2008). Από την άλλη πλευρά, το έμμεσο κόστος περιλαμβάνει τη διακοπή εργασιών των επιχειρήσεων των περιοχών αυτών, τη μείωση της αξίας των ακινήτων και τις επιπτώσεις στις αγορές μετοχών (Kaushalya et al., 2014). Όσον αφορά στις περιοχές πολιτιστικού ενδιαφέροντος, τα έμμεσα κόστη μπορούν να ενισχυθούν σημαντικά εάν το καταστροφικό γεγονός συμβεί κατά την "υψηλή περίοδο ζήτησης", καθώς το ετήσιο εισόδημα της πλειονότητας των τοπικών επιχειρήσεων ή των επιχειρήσεων που συνδέονται με το πολιτιστικό αγαθό, βασίζεται περισσότερο στον τουρισμό παρά στην τοπική κατανάλωση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι δεν μπορούν όλες οι απειλές να αποφευχθούν (Cimellaro et al., 2016), η ενίσχυση της αναταξιμότητας μιας κοινότητας μέσω μέτρων προετοιμασίας και προσαρμογής αποτελεί την βέλτιστη προσέγγιση για την ελαχιστοποίηση των άμεσων και έμμεσων απωλειών στα πλαίσια ενός καταστροφικού γεγονότος. Λόγω της πολυδιάστατης φύσης της, η αναταξιμότητα έχει γίνει ένας όρος που χρησιμοποιείται από πολλά επιστημονικά πεδία, και συνεπώς μπορεί να βρεθούν ποικίλοι ορισμοί στη σχετική βιβλιογραφία. Σύμφωνα με το Cimellaro et al. (2016), η αναταξιμότητα της κοινότητας μπορεί να αναλυθεί σε επτά διαστάσεις: (i) πληθυσμός και δημογραφία, (ii) περιβάλλον και οικοσύστημα, (iii) οργανωμένες υπηρεσίες της κυβέρνησης, (iv) φυσική υποδομή, (v) τρόπος ζωής και ικανότητα της κοινότητας, (vi) οικονομική ανάπτυξη και (vii) κοινωνικο-πολιτισμικό κεφάλαιο. Οι ίδιοι συγγραφείς χρησιμοποιούν τον ακόλουθο απλό μαθηματικό ορισμό του δείκτη αναταξιμότητας, ο οποίος επίσης εικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 2:

$$R(\vec{r}) = \int_{t_{OE}}^{t_{OE}+T_{LC}} Q_{TOT}(\vec{r}, t)/T_{LC} dt \quad (1)$$

όπου ο $Q_{TOT}(t)$ αποτελεί μια συνάρτηση γενικής λειτουργικότητας και επίδοσης για την εξεταζόμενη περιοχή (π.χ., τοπικά, ή περιφερειακά), t_{OE} είναι η χρονική στιγμή όπου συμβαίνει το γεγονός, T_{LC} είναι ο χρόνος ελέγχου για την περίοδο ενδιαφέροντος, και $\vec{r}$ είναι ένα χωρικό διάνυσμα που ορίζει τη θέση στην περιοχή στην οποία αξιολογείται η αναταξιμότητα.

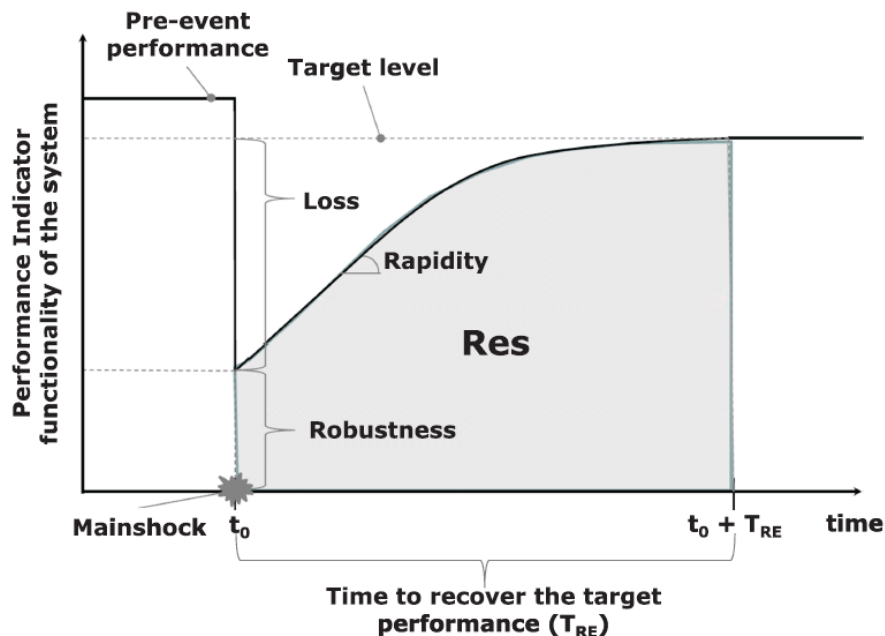
Η αναταξιμότητα μπορεί να οριστεί γενικότερα ως η ικανότητα ενός συστήματος να απορροφήσει τον αρχικό σοκ, να ανταποκριθεί και να προσαρμοστεί προκειμένου να διατηρήσει τη λειτουργικότητά του και να επιταχύνει την ανάκαμψή του (Franchin και Cavalieri, 2014). Με αναφορά στο Σχήμα 1, ένας τρόπος ποσοτικοποίησης της αναταξιμότητας αντιστοιχεί στη γκρι σκιασμένη περιοχή. Με αυτήν την έννοια, η αναταξιμότητα μπορεί να διακριθεί σε δύο κύρια συστατικά: την ενσωματωμένη και την προσαρμοστική αναταξιμότητα (Rose, 2009; Graveline και Grémont, 2017). Η ενσωματωμένη αναταξιμότητα αποτελεί ένα ενσωματωμένο χαρακτηριστικό του συστήματος και σχετίζεται με

μηχανισμούς προστασίας που υπάρχουν πριν από την καταστροφή (π.χ., αποτελεσματική αποθήκευση των απαραίτητων εφοδίων σε περίπτωση διακοπής προμηθειών από τους προμηθευτές). Η προσαρμοστική αναταξιμότητα σχετίζεται με την ικανότητα σχεδιασμού, ανάλυσης και λήψης αποφάσεων κάτω από άγχος, για να αντιμετωπιστούν καλύτερα τις έκτακτες καταστάσεις κατά τη διάρκεια και μετά την εμφάνιση ενός κινδύνου (π.χ., η ικανότητα αντικατάστασης προμηθευτών με άλλους εκτός των επηρεασμένων περιοχών σε περίπτωση διακοπών προμηθειών).

Έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις για την ποσοτικοποίηση της αναταξιμότητας μιας κοινότητας, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε ποιοτικές και ποσοτικές (Liu et al, 2021b). Στις ποιοτικές μεθοδολογίες αναταξιμότητας, για να αξιολογηθούν οι κοινωνικοοικονομικές συνέπειες μιας καταστροφής, συνήθως τίθεται ένα συνεκτικό πλαίσιο για την αναγνώριση των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν τη διαδικασία ανάκαμψης της κοινότητας μετά από καταστροφή, τα οποία στη συνέχεια εκφράζονται σε εκφράσεις δεικτών αναταξιμότητας της κοινότητας (π.χ., Rose και Krausmann, 2013; Cutter, 2012). Από την άλλη πλευρά, οι ποσοτικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούν εμπειρικά (Chang και Rose, 2012; Liu et al., 2021a), βασισμένα σε προσομοίωση (Miles και Chang, 2013; Inoue και Todo, 2019) ή βασισμένα σε αποφάσεις (Dhulipala και Flint, 2020; Burton et al., 2018) μοντέλα για να αξιολογήσουν τον κοινωνικοοικονομικό αντίκτυπο μιας καταστροφής, λαμβάνοντας υπόψη τις αλυσιδωτές επιπτώσεις των διαταραχών στην κρίσιμη υποδομή και τα απαραίτητα εφόδια. Ωστόσο, τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα μελετούν τον αντίκτυπο μετά την καταστροφή από οικονομική σκοπιά, και επικεντρώνονται κυρίως στη διαδικασία ανάκαμψης των υπηρεσιών ζωτικής σημασίας. Ως εκ τούτου, αγνοούν σημαντικούς παράγοντες που χαρακτηρίζουν τον αντίκτυπο μετά την καταστροφή στις μικρές επιχειρήσεις, ειδικά εκείνων που λειτουργούν σε τοποθεσίες Πολιτιστικής Κληρονομιάς (ΠΚ). Για παράδειγμα, η ετήσια Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία (Gross Value Added - GVA) ενός τέτοιου χώρου ΠΚ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την άφιξη τουριστών και, συνεπώς, η εμφάνιση μιας καταστροφικής κατάστασης κατά τη διάρκεια της υψηλής τουριστικής περιόδου (δηλαδή η περίοδος του έτους όπου οι περισσότεροι τουρίστες επισκέπτονται τον εν λόγω χώρο ενδιαφέροντος) μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε πιο σοβαρές επιπτώσεις, οδηγώντας σε καταστροφικές οικονομικές απώλειες και σπίλωση της φήμης των περιοχών αυτών εάν δεν ληφθούν επαρκείς προφυλάξεις για τη μείωση του κινδύνου, σε σύγκριση με εκείνες που αναμένονται εάν το ίδιο γεγονός συμβεί κατά τη διάρκεια της χαμηλής περιόδου ζήτησης.

Για να αντιμετωπίσουμε αποτελεσματικά τις προαναφερθείσες αρνητικές συνέπειες, αναπτύσσεται εδώ μια επιχειρησιακή, πλήρως ποσοτική μεθοδολογία, η οποία βασίζεται στο μοντέλο Προσαρμοστικής Περιοχής Εισόδου-Εξόδου (Adaptive Regional Input-Output - ARIO), που προτάθηκε αρχικά από τον Hallegatte (2008) για την προσομοίωση της εξάπλωσης των επιπτώσεων μιας καταστροφής λόγω διακοπών προσφοράς και ζήτησης. Ωστόσο, το προτεινόμενο κοινωνικοοικονομικό μοντέλο προχωρά ένα βήμα πέρα από την τρέχουσα κατάσταση της τεχνικής αυτής με (α) την εισαγωγή μιας απλούστερης επιχειρηματικής ταξινόμιας (χρησιμοποιώντας ένα σύνολο διακριτών επιχειρηματικών κλάδων) για να κατηγοριοποιήσει τις μεμονωμένες επιχειρήσεις που λειτουργούν σε μια τοποθεσία ΠΚ, (β) με το να ορίσει τρεις δείκτες απόδοσης για να ποσοτικοποιήσει τις έμμεσες οικονομικές απώλειες λόγω διακοπών υποδομής, προσφοράς και ζήτησης, (γ) να χρησιμοποιήσει για πρώτη φορά τους πίνακες Εξάρτησης από Προμηθευτές (VDTs) που χρησιμοποιούνται συνήθως στις ασκήσεις Επιχειρησιακής Συνέχειας (Business Continuity - BC) για να λάβει υπόψη τις διακοπές διαθεσιμότητας προμηθευτών και την προσαρμοστική καταναλωτική συμπεριφορά τουριστών/κατοίκων, και (δ) να λάβει υπόψη τον αντίκτυπο της εμφάνισης του γεγονότος κατά την υψηλή ή χαμηλή περίοδο ζήτησης. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα εφαρμογής διαφορετικής πολυπλοκότητας, προκειμένου να αναδείξουν τα διάφορα χαρακτηριστικά καθώς και την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης

μεθοδολογίας. Αυτές οι εφαρμογές αρχικά λαμβάνουν υπόψη απλά οικονομικά συστήματα, για να αναδείξουν τα ενσωματωμένα χαρακτηριστικά του προτεινόμενου κοινωνικοοικονομικού μοντέλου, και τελικά προχωρούν σε μια εφαρμογή της μελέτης για την πόλη της Ρόδου, όπου εξετάζονται αρκετά υποθετικά σενάρια καταστροφής για τα οποία αξιολογούμε τον κοινωνικοοικονομικό αντίκτυπο.



Σχήμα 1: Ορισμός του δείκτη αναταξιμότητας κατά Cimellaro et al. (2016).

2.2 Απλοποιημένη επιχειρηματική ταξινόμηση

Το προτεινόμενο κοινωνικοοικονομικό μοντέλο χρησιμοποιεί μια στοχευμένη μεθοδολογία για τον υπολογισμό των αστοχιών και των διακοπών επιχειρηματικής λειτουργίας που είναι πιθανό να συμβούν μετά την εμφάνιση ενός επικίνδυνου συμβάντος, με τον καθορισμό και την εκμετάλλευση μιας διαδικασίας ταξινόμησης των επιμέρους επιχειρήσεων που λειτουργούν σε μια περιοχή που συνδέεται με μια τοποθεσία ΠΚ. Ως εκ τούτου, η προτεινόμενη προσέγγιση παραβλέπει τη χωρική κατανομή των εταιρειών/επιχειρήσεων που λειτουργούν στην τοποθεσία ενδιαφέροντος και αντ' αυτού τις συνδυάζει σε διακριτούς κόμβους, όπου κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο κλάδο επιχειρήσεων. Κάθε κλάδος επιχειρήσεων πιθανόν να περιλαμβάνει οργανισμούς διαφορετικού μεγέθους, ετήσια τζίρο, εύρος δραστηριοτήτων, κλπ. Για παράδειγμα, ο κλάδος επιχειρήσεων "Καταλύματα" μπορεί να αναφέρεται σε όλες τις μορφές υπηρεσιών διαμονής, από μεγάλα ξενοδοχεία με πολλά δωμάτια ως και μικρά οικονομικά καταλύματα (BnBs), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 για την πόλη της Ρόδου.

Η απλοποιημένη επιχειρηματική ταξινόμηση που αναπτύσσεται κάθε φορά για την τοποθεσία ενδιαφέροντος πρέπει να προσαρμόζεται στα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας ΠΚ και συνεπώς, μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ διαφορετικών περιοχών που εξετάζονται. Για παράδειγμα, αν η ΠΚ βρίσκεται σε δημοφιλή τουριστικό προορισμό, επιχειρήσεις όπως μπαρ, εστιατόρια και καφετέριες έχουν κρίσιμο ρόλο για την τοπική οικονομία, και συνεπώς ο κλάδος επιχειρήσεων "Τροφίμων και ποτών" ενδέχεται να απαιτεί περαιτέρω διάκριση για να ληφθούν υπόψη οι ιδιαιτερότητες κάθε υποκλάδου επιχείρησης. Από την άλλη πλευρά, κλάδοι όπως

"Βιομηχανία" ή "Γεωργία" ενδέχεται να είναι λιγότερο σημαντικοί ως προς τη συνεισφορά τους στο συνολικό ετήσιο GVA και μπορεί να απαιτηθεί μια αντίστροφη προσέγγιση, δηλαδή συγκέντρωση κάποιων κλάδων στην ίδια κατηγορία.

Για επεξηγηματικούς σκοπούς, η προτεινόμενη μεθοδολογία ταξινόμησης/ταξινομίας των επιχειρήσεων εφαρμόστηκε για την πόλη της Ρόδου στην Ελλάδα, η οποία αποτελεί μία αρκετά σημαντική περιοχή ΠΚ. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της 1-ψηφιακής (19 κλάδοι επιχειρήσεων) και της 2-ψηφιακής ταξινόμησης επιχειρήσεων (73 κλάδοι επιχειρήσεων) της ταξινομίας NACE rev. 2 (Eurostat, 2008) για τον καθορισμό μιας απλοποιημένης ταξινομίας που αποτελείται από 23 κλάδους επιχειρήσεων. Οι καθορισμένοι κλάδοι επιχειρήσεων ήταν εκείνοι με το υψηλότερο GVA, ενώ οι υπόλοιποι συγκεντρώθηκαν για απλότητα σε έναν μόνο κλάδο, δηλαδή στο "Άλλες υπηρεσίες". Η επιχειρηματική ταξινόμηση που υιοθετήθηκε θεωρείται αντιπροσωπευτική για την πόλη της Ρόδου και παρουσιάζεται στον Πίνακα 1, μαζί με τα ετήσια GVAs για κάθε έναν από τους καθορισμένους κλάδους επιχειρήσεων, χρησιμοποιώντας τα οικονομικά δεδομένα που παρέχει η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ).

Ο επιχειρηματικός τομέας του «Χονδρικού Εμπορίου» αποτελεί τον πιο κρίσιμο (δηλαδή αυτόν με το υψηλότερο GVA) για την πόλη της Ρόδου, μια παρατήρηση που αναμένεται να ισχύει για την πλειοψηφία των ανεπτυγμένων κοινωνιών, καθώς σχεδόν όλοι οι οργανισμοί βασίζονται στους προμηθευτές τους για την προμήθεια βασικών αγαθών και υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και όχι στην άμεση αγορά τους από π.χ. στους κατασκευαστές ή στην άμεση παραγωγή τους. Ο επόμενος σημαντικότερος τομέας για την πόλη της Ρόδου είναι ο τομέας «Κτηματομεσιτικές δραστηριότητες», ο οποίος περιλαμβάνει τόσο τους κτηματομεσίτες όσο και τα έσοδα από την ενοικίαση και πώληση χώρων. Επιπλέον, καθώς η πόλη της Ρόδου είναι μια δημοφιλής τουριστική περιοχή, οι τομείς "Διαμονή" (ξενοδοχεία, ΒnBs κ.λπ.) και "Τρόφιμα και ποτά" (εστιατόρια, μπαρ κ.λπ.) αντικατοπτρίζουν ένα μεγάλο ποσοστό του συνολικού ετήσιου GVA της πόλης. Τέλος, οι επιχειρηματικοί κλάδοι με δείκτες από #15 έως #22 στον Πίνακα 1 αντιστοιχούν σε κρίσιμες υποδομές και υπηρεσίες ζωτικής σημασίας, όπως ηλεκτροδότηση, ύδρευση, αποχέτευση κ.λπ. Ενώ αυτοί οι τομείς αντιμετωπίζονται χωριστά στο προτεινόμενο κοινωνικοοικονομικό μοντέλο μέσω της εισαγωγής του λεγόμενου «δείκτη υποδομής» (ο οποίος παρουσιάζεται στις επόμενες ενότητες), εξετάζονται επίσης στο παρόν για λόγους πληρότητας.

Παράλληλα με τον προαναφερθέντα προσδιορισμό των τομέων προμήθειας, ορίστηκαν οι ακόλουθες πέντε δυνητικές κατηγορίες πελατών, οι οποίες ονομάστηκαν στην προτεινόμενη μεθοδολογία Κόμβοι Τελικής Ζήτησης (Final Demand Nodes - FDN): Κάτοικοι, Τουρίστες, Κυβέρνηση, Επενδύσεις και Εξαγωγές. Ενώ τόσο οι «Κάτοικοι» όσο και οι «Τουρίστες» αποτελούν τη κύρια συνιστώσα της τοπικής κατανάλωσης ενός οικονομικού συστήματος, στο παρόν αντιμετωπίζονται χωριστά λόγω του ουσιαστικά διαφορετικού προφίλ κατανάλωσης και, ως εκ τούτου, του αντίκτυπου στην περιοχή που εξετάζεται. Το «κυρίαρχο» FDN αναφέρεται στις κρατικές καταναλωτικές δαπάνες (π.χ. εξοπλισμός, υποδομές και μισθοδοσία) και στις ακαθάριστες επενδύσεις. Το FDN "Επενδύσεις" σχετίζεται με τις ιδιωτικές εγχώριες επενδύσεις ή τις κεφαλαιουχικές δαπάνες (π.χ. αγορά εξοπλισμού και μηχανημάτων από κατασκευαστική εταιρεία). Τέλος, οι "Εξαγωγές" αναφέρονται στις συνολικές εσωτερικές/διεθνείς εξαγωγές της οικονομίας της περιοχής. Τα τελευταία είναι ουσιαστικά τα αγαθά και οι υπηρεσίες που παράγει και εξάγει η ερευνώμενη οικονομία της περιοχής ΠΚ σε άλλες οικονομίες. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι κάθε FDN έχει μια δυναμική αντίδραση στις κοινωνικοοικονομικές αλλαγές που είναι πιθανό να προκληθούν από ένα συμβάν επιδεινούμενου ή μη επιδεινούμενου από τη κλιματική αλλαγή κινδύνου, καθώς επηρεάζονται από χαρακτηριστικά που

είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν (όπως ο φόβος, τυχόν παράλογες αποφάσεις και η πολιτική) και ως εκ τούτου μπορεί να μην προβλεφθούν επαρκώς από τα κλασικά, καθαρά οικονομικά μοντέλα.



Business	Units	GVA (mill. €)	GVA (%)
"Hotel AA"	1	10.51	4.0
"Motel BB"	1	3.22	1.2
"Motel AB"	1	1.49	0.6
"Hotel AC"	1	7.82	3.0
...	...	...	...
"BnB BC"	2	6.67	2.5
Total	58	262.96	100

Σχήμα 2: Διαδικασία παραγωγής του επιχειρηματικού τομέα «Καταλύματα» για την πόλη της Ρόδου, συνδυάζοντας τα GVA και τις δυνατότητες διαφορετικών ξενοδοχειακών επιχειρήσεων.

Πίνακας 1: Προτεινόμενη ταξινόμηση επιχειρήσεων για την πόλη της Ρόδου (23 επιχειρηματικοί τομείς).

#	Περιγραφή	GVA (€ mill.)	GVA (%)
1	Wholesale trade, except of motor vehicles and motorcycles	112.80	13.81%
2	Real estate activities	93.99	11.51%
3	Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles	64.10	7.85%
4	Accommodation	60.15	7.37%
5	Food and beverage services	50.31	6.16%
6	Education	44.65	5.47%
7	Human health and social work activities	36.22	4.43%
8	Business, scientific and technical activities	33.77	4.13%
9	Warehousing and support activities for transportation	28.41	3.48%
10	Wholesale and retail trade and repair of motor vehicles and motorcycles	24.27	2.97%
11	Financial services and insurance activities	23.27	2.85%
12	Manufacturing	23.00	2.82%
13	Creative, arts and entertainment activities	20.18	2.47%
14	Agriculture, forestry, fishing	12.44	1.52%
15	Water transport	34.30	4.20%
16	Land transport and transport via pipelines	32.33	3.96%
17	Electricity, gas, steam and air conditioning supply	31.85	3.90%
18	Public administration and defense; compulsory social security	21.52	2.63%

19	Construction	12.13	1.49%
20	Media and communication	10.54	1.29%
21	Air transport	9.48	1.16%
22	Sewerage, waste collection, treatment and disposal activities; materials recovery, remediation activities and other waste management services	7.38	0.90%
23	Other services	29.64	3.63%
Σύνολο		816.71	100%

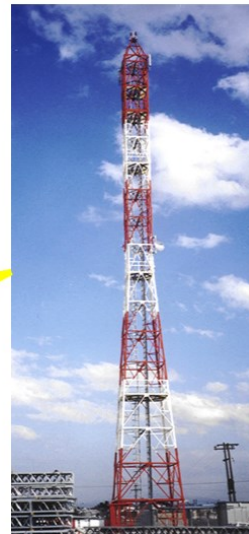
2.3 Κρίσιμες Υποδομές και υπηρεσίες ζωτικής σημασίας

Η αναταξινόηση των κρίσιμων υποδομών και των ζωτικών υπηρεσιών για μια περιοχή (μεταφορές, ηλεκτρισμός, νερό, αποχέτευση κ.λπ.) παίζει σημαντικό ρόλο στην συνολική απόδοση της κοινότητας κατά τη διάρκεια και μετά από ένα γεγονός καταστροφής. Η σημασία μιας κρίσιμης υποδομής μπορεί να ποικίλλει ανάμεσα σε κοινότητες σε διαφορετικές τοποθεσίες και με διαφορετικά δημογραφικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, η υποδομή μεταφοράς μέσω θαλάσσης ή αέρος μπορεί να είναι πιο κρίσιμη για μια τοποθεσία που βρίσκεται σε ένα νησί συγκριτικά με μια τοποθεσία στην ηπειρωτική χώρα, καθώς η τελευταία μπορεί επίσης να εξυπηρετείται από τις οδικές μεταφορές για να καλύψει τις ανάγκες εισαγωγών και εξαγωγών. Επιπλέον, οι επιχειρήσεις που λειτουργούν σε αναπτυσσόμενες χώρες συχνά χρησιμοποιούν για τις καθημερινές τους δραστηριότητες πιο παραδοσιακά μέσα που δεν εξαρτώνται τόσο από τις τεχνολογικές εξελίξεις, και επομένως είναι πιο ανεκτικές στις διακοπές, για παράδειγμα, στην παροχή ηλεκτρισμού (Asgary et al., 2012) ή στις τηλεπικοινωνίες.

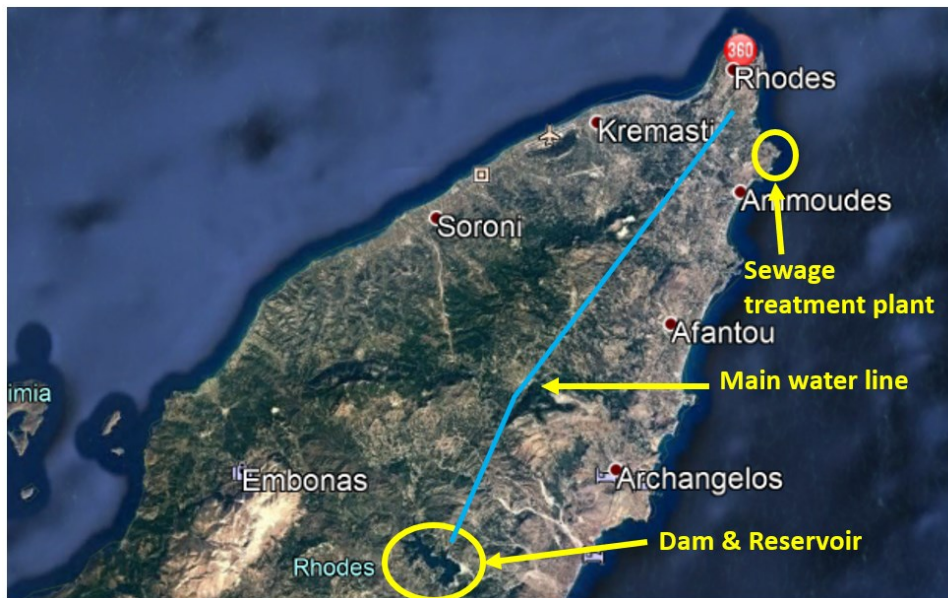
Για την περίπτωση μελέτης στην πόλη της Ρόδου, εντοπίστηκαν τέσσερις δίκτυα κρίσιμης υποδομής, αυτά είναι: (i) το δίκτυο παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, (ii) το δίκτυο τηλεπικοινωνιών, (iii) το δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης και (iv) το δίκτυο μεταφορών. Σχηματικά απεικονίζονται τα παραπάνω δίκτυα και η χωρική τους κατανομή στο νησί της Ρόδου στο Σχήμα 3. Η ηλεκτρική ενέργεια στη Ρόδο παράγεται κυρίως από δύο εργοστάσια παραγωγής, ένα παλαιότερο που βρίσκεται κοντά στην πρωτεύουσα και ένα νεότερο που βρίσκεται στο νότιο άκρο του νησιού. Επιπλέον, η ενέργεια παράγεται και από αιολικό πάρκο που βρίσκεται κοντά στο νέο εργοστάσιο. Αντίθετα, το δίκτυο τηλεπικοινωνιών περιλαμβάνει αρκετούς πύργους στη βόρεια πλευρά του νησιού. Η πόλη της Ρόδου εφοδιάζεται με πόσιμο νερό από τη λίμνη Γαδούρα μέσω ενός κύριου αγωγού και από μια σειρά γεωτρήσεων, ενώ τα απόβλητα συλλέγονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων που βρίσκονται κοντά στην πόλη της Ρόδου. Τέλος, το δίκτυο μεταφορών αποτελείται από το οδικό δίκτυο, το λιμάνι (μέσα στην πόλη) και το αεροδρόμιο (που βρίσκεται κοντά στην πόλη). Επισημαίνεται ότι για το νησί της Ρόδου δεν απαιτήθηκε διάκριση μεταξύ του λιμένα για τα φορτωτικά πλοία και αυτού για τα επιβατικά, ωστόσο αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του λιμένα σε κάθε τοποθεσία.



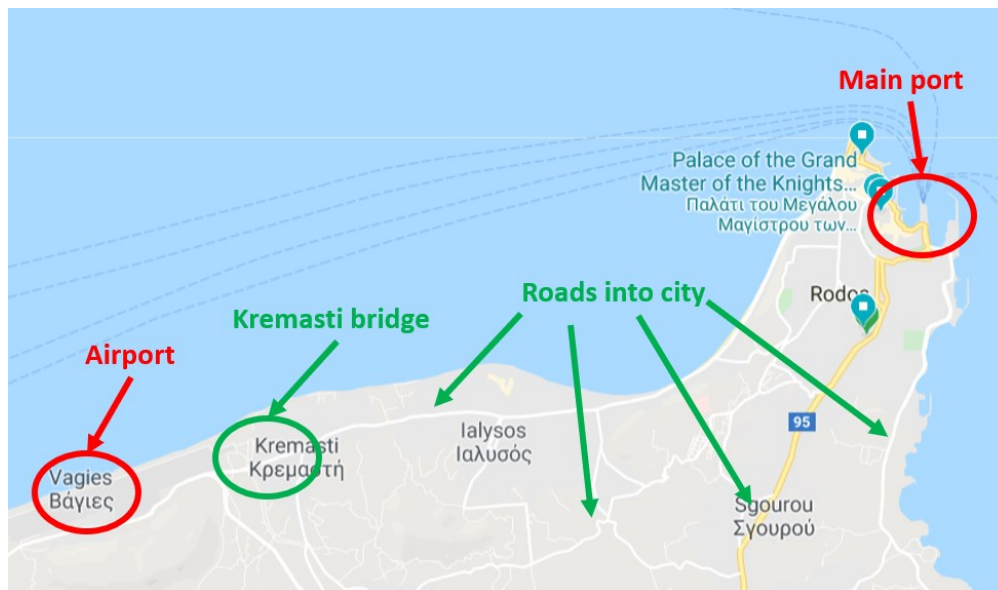
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 3: Σχηματική διάταξη των δικτύων υποδομών ζωτικής σημασίας για την πόλη της Ρόδου: (α) το δίκτυο παραγωγής, μεταφοράς & διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, (β) το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, (γ) το δίκτυο ύδρευσης & αποχέτευσης και (δ) το δίκτυο μεταφορών.

2.4 Διαγράμματα χρόνου μη λειτουργίας και αποκατάστασης

Διάφορες μέθοδοι για τη μοντελοποίηση της μακροσκοπικής διαδικασίας ανάκαμψης μιας κοινότητας υπάρχουν στη βιβλιογραφία (Burton et al., 2018; Chang και Rose, 2012). Οι μέθοδοι αυτές επικεντρώνονται κυρίως στην ανασυγκρότηση υποδομών ζωτικής σημασίας και στον ορισμό δεικτών αναταξινόμησης της κοινότητας (Cutter, 2012). Από την άλλη, η μικροσκοπική φάση ανάκαμψης μεμονωμένων επιχειρήσεων δεν έχει τύχει της ίδιας προσοχής στη διεθνή βιβλιογραφία, παρόλο που οι μικρές/μεσαίες επιχειρήσεις συχνά συμβάλλουν ουσιαστικά στην οικονομία μιας κοινωνίας παρέχοντας πολλές θέσεις εργασίας, αγαθά και υπηρεσίες, καθώς και χρήματα από φόρους. Οι Asgary et al. (2012) εντόπισαν διάφορους παράγοντες που είναι πιθανό να επηρεάσουν τη διαδικασία

αποκατάστασης των μικρών επιχειρήσεων, όπως (α) οι ζημιές στις εγκαταστάσεις και τα αποθέματα, (β) οι διαταραχές της ζωτικών δικτύων, (γ) οι διακοπές εφοδιασμού, (δ) η εμπειρία που αποκτήθηκε από προηγούμενες καταστροφές, (ε) η κυβερνητική και οικογενειακή υποστήριξη κ.λπ. Οι επιχειρήσεις που διαθέτουν αποτελεσματικό σχέδιο ανάκαμψης, το οποίο αποτελεί βασικό συστατικό της προσαρμοστικής αναταξιμότητας, μπορούν όχι μόνο να επιβιώσουν από μια καταστροφή, αλλά θα μπορούσαν επίσης να επωφεληθούν από αυτήν και να προωθηθούν σε υψηλότερα επίπεδα απόδοσης (de Vries and Hamilton, 2021). Γενικά, οι μεγαλύτεροι οργανισμοί υιοθετούν πιο ενεργητικές και παθητικές στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου από τις μικρές επιχειρήσεις (Sadiq, 2011), καθώς οι τελευταίες συνήθως δεν χρησιμοποιούν ένα σαφές σχέδιο επιχειρησιακής συνέχειας (Zhang et al., 2009). Επιπλέον, οι μικρές επιχειρήσεις συχνά λειτουργούν σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και, ως εκ τούτου, είναι πιο ευάλωτες στη μείωση της ζήτησης, καθώς δεν μπορούν να αμβλύνουν τις συνέπειες της διακινδύνευσής τους. Το πρόσφατο παράδειγμα της παγκόσμιας πανδημίας Covid-19 έδειξε πώς αρκετές μικρές επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε χώρους της Ελβετίας αναγκάστηκαν να σταματήσουν οριστικά τη λειτουργία τους, καθώς ο φόβος και τα μέτρα δημόσιας υγείας μείωσαν σημαντικά τις αφίξεις τουριστών (Donthu and Gustafsson, 2020). Για να ποσοτικοποιηθούν οι έμμεσες απώλειες ενός καταστροφικού γεγονότος στην οικονομία μιας περιοχής ΠΚ, ένας δείκτης απόδοσης (PerfIdx) μπορεί να υιοθετηθεί σε κάθε επιχειρηματικό τομέα. Γενικά, ορίζουμε το PerfIdx ως την αναλογία μεταξύ του μειωμένης GVA του επιχειρηματικού τομέα μετά την εμφάνιση ενός συμβάντος κινδύνου και του GVA υπό κανονικές συνθήκες (υποθέτοντας στατικό οικονομικό μοντέλο, δηλαδή οι διαρθρωτικές αλλαγές για μεγάλες χρονικές περιόδους αγνοούνται). Για λόγους απλότητας, το PerfIdx οριοθετείται μεταξύ 0% (συνολική απώλεια απόδοσης) και 100% (πλήρης απόδοση), πράγμα που σημαίνει ότι ένας επιχειρηματικός τομέας δεν μπορεί να αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια της φάσης ανάκαμψης (δηλαδή, το $\text{PerfIdx} \leq 100\%$). Προφανώς, το PerfIdx είναι μια συνάρτηση χρόνου πολλαπλών μεταβλητών που εξαρτάται όχι μόνο από τη λειτουργικότητα του εξεταζόμενου επιχειρηματικού τομέα, αλλά και από τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της καταστροφής στην περιοχή ΠΚ. Για παράδειγμα, μια φυσική καταστροφή που δεν προκαλεί άμεσες δομικές ζημιές στις εγκαταστάσεις ενός επιχειρηματικού τομέα μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή απώλεια επιδόσεων (δηλ. απώλεια GVA) λόγω διακοπών εφοδιασμού ή μείωσης των αφίξεων τουριστών κατά τη φάση ανάκαμψης.

Για να συμπεριλάβει τους μεμονωμένους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός επιχειρηματικού τομέα, το PerfIdx χωρίζεται σε τρεις βασικές συνιστώσες: (α) τον δείκτη υποδομής (InfraIdx) (β) τον δείκτη εισροών (InputIdx) και (γ) τον δείκτη εξόδου (OutputIdx). Μια λεπτομερής περιγραφή καθενός από αυτά τα στοιχεία παρέχεται στις επόμενες ενότητες. Σε κάθε χρονικό βήμα, υπολογίζεται ένα ξεχωριστό σύνολο (InfraIdx, InputIdx, OutputIdx) για κάθε επιχειρηματικό τομέα, ακολουθώντας μια υβριδική (μακροσκοπική/μικροσκοπική) μεθοδολογία για να ληφθούν υπόψη οι διαδοχικές αστοχίες και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Τελικά, ο συνολικός δείκτης απόδοσης PerfIdx υπολογίζεται ως η ελάχιστη τιμή των τριών βασικών υποδεικτών του:

$$\text{PerfIdx} = \min(\text{InfraIdx}, \text{InputIdx}, \text{OutputIdx}) \quad (2)$$

2.4.1 Δείκτης υποδομών (InfraIdx)

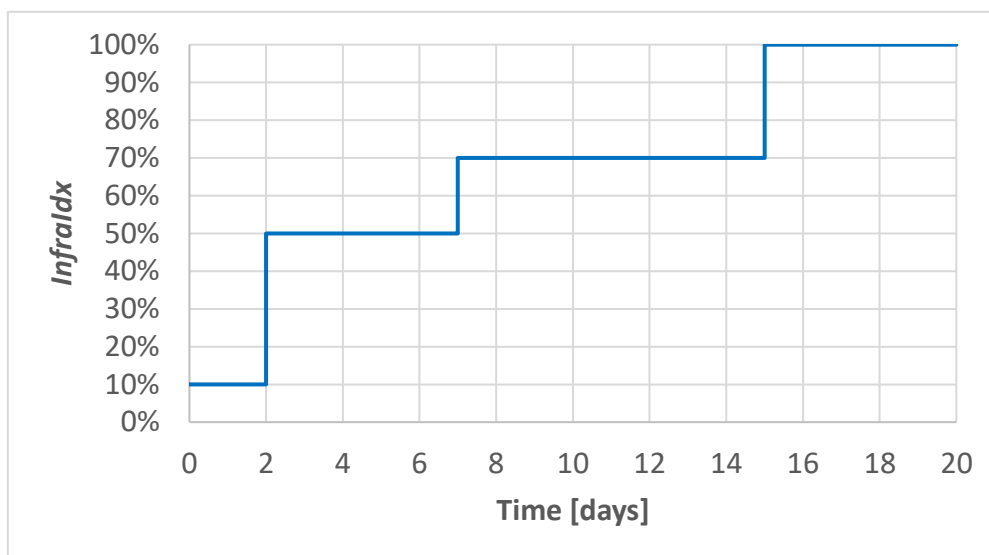
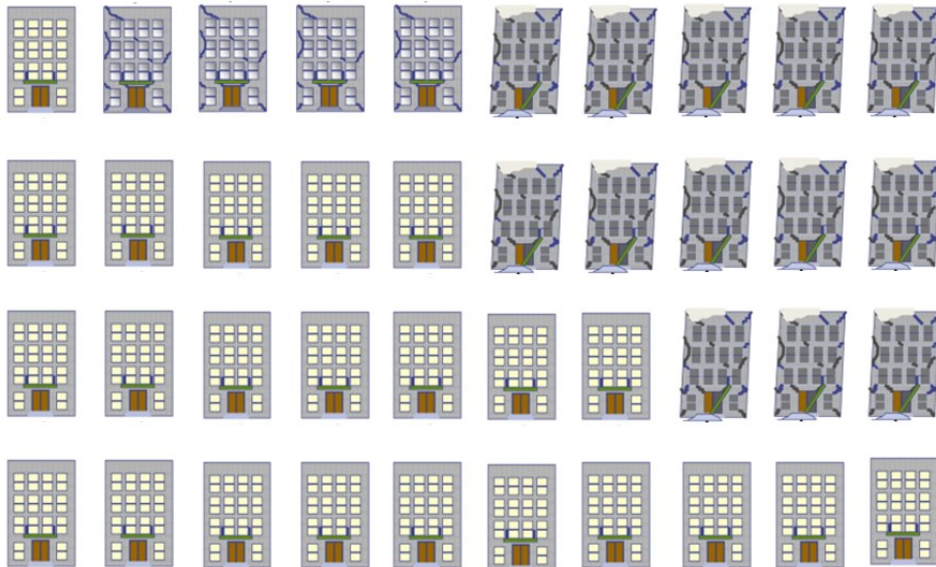
Ο δείκτης υποδομών (InfraIdx) μετρά τη μειωμένη παραγωγική ικανότητα / ικανότητα παροχής υπηρεσιών ενός επιχειρηματικού τομέα λόγω «αστοχιών στις υποδομές». Ως αστοχίες υποδομής ορίζουμε στο παρόν όλους τους παράγοντες που εμποδίζουν τη λειτουργικότητα μιας επιχειρηματικής μονάδας εκτός από τις διακοπές εφοδιασμού, καθώς αυτές αντιμετωπίζονται ξεχωριστά από το InputIdx. Για παράδειγμα, οι ζημιές στις υποδομές θα μπορούσαν να σχετίζονται

με δομικές ζημιές σε εγκαταστάσεις ή με μη δομικές ζημιές στα μηχανήματα μιας επιχειρηματικής μονάδας, με διαταραχές σε υποδομές ζωτικής σημασίας, με κακή διαχείριση κρίσεων από τον ιδιοκτήτη/τις δημοτικές αρχές κ.λπ. Με βάση αυτές τις διαταραχές, αποδίδεται μια δυαδική τιμή 0 ή 1 σε κάθε επιχειρηματική μονάδα, με το 0 να δηλώνει ότι η μονάδα είναι εντελώς μη λειτουργική και το 1 ότι η μονάδα διατηρεί τη μέγιστη παραγωγική της ικανότητα (δηλαδή αγνοούμε τη μερική λειτουργικότητα, μια υπόθεση που ωστόσο θεωρείται λογική για κινδύνους που επηρεάζουν τη δομική και μη δομική ακεραιότητα μιας επιχείρησης). Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται μια μικροσκοπική προσέγγιση βασισμένη σε επιχειρηματικές μονάδες για τον υπολογισμό του μακροσκοπικού *InfraIdx* κάθε επιχειρηματικού τομέα, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Για να επεξεργαστούμε περαιτέρω αυτήν την πτυχή, μπορεί κανείς να εξετάσει ένα συμβάν κινδύνου που συμβαίνει τη στιγμή $t = 0$, το οποίο προκαλεί διαταραχές σε κρίσιμες υποδομές, ζημιές στις εγκαταστάσεις και εμποδίζει την εργασία καθώς οι εργαζόμενοι δεν μπορούν να φτάσουν στις εγκαταστάσεις εργασίας τους. Ως αποτέλεσμα αυτών των διαταραχών, κάθε $i = [1, N_j]$ επιχειρηματική μονάδα που ανήκει στον επιχειρηματικό τομέα j (N_j είναι ο συνολικός αριθμός επιχειρηματικών μονάδων του τομέα j), χρειάζεται κάποιο χρόνο για να ανακάμψει από το σοκ. Το *InfraIdx* υπολογίζεται λοιπόν ως το ποσοστό των πλήρως λειτουργικών επιχειρηματικών μονάδων που ανήκουν σε έναν συγκεκριμένο επιχειρηματικό τομέα σε ένα δεδομένο χρονικό βήμα. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε έναν τομέα «Διαμονής» που περιλαμβάνει 10 ξενοδοχεία, στα οποία αμέσως μετά την εμφάνιση του κινδύνου, 9 από τα 10 ξενοδοχεία αναγκάστηκαν να κλείσουν. Από τις 9 κλειστές μονάδες, οι 5 έκλεισαν λόγω σοβαρών διακοπών στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και νερού, ενώ οι υπόλοιπες 4 έκλεισαν κυρίως λόγω του γεγονότος ότι υπέστησαν μικρές δομικές ζημιές (ενώ είναι επίσης πιθανό να επηρεαστούν από τις διακοπές ύδρευσης/υδροδότησης). Στην περίπτωση αυτή, ο δείκτης υποδομής αυτού του τομέα σε $t = 0$ ισούται με 10%. Ας υποθέσουμε τώρα, ότι μετά από 2 ημέρες η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και νερού αποκαταστάθηκε πλήρως σε όλα τα ξενοδοχεία που αντιμετωπίζουν τέτοια προβλήματα. Ως εκ τούτου, τα 4 από τα 9 ξενοδοχεία που ήταν αρχικά κλειστά αποκλειστικά λόγω των διακοπών παροχής ηλεκτρικού ρεύματος / νερού άνοιξαν ξανά. Σε αυτή την περίπτωση, λειτουργούν συνολικά 5 ξενοδοχεία, γεγονός που οδηγεί σε *InfraIdx* 50%. Οι υπόλοιπες 5 ξενοδοχειακές μονάδες που υπέστησαν μικρές δομικές ζημιές χρειάστηκαν από 7 έως 15 ημέρες για να επανέλθουν στο στις συμβατικές συνθήκες λειτουργίας τους («business as usual»). Το πλήρες διάγραμμα διακοπής λειτουργίας (δηλ. *InfraIdx*) του προαναφερθέντος τομέα «Διαμονής» σύμφωνα με το περιγραφόμενο σενάριο διακοπής και αποκατάστασης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.

Κατά την εκχώρηση της δυαδικής τιμής 0 (μη λειτουργική) ή 1 (λειτουργική) στις μεμονωμένες επιχειρηματικές μονάδες για την εξαγωγή των πλήρων διαγραμμάτων διακοπής λειτουργίας ενός επιχειρηματικού τομέα, θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η επίδραση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των δικτύων υποδομών ζωτικής σημασίας. Πρόσφατα, οι Cardoni et al. (2020) διερεύννησαν τη συσχέτιση μεταξύ των κτιρίων και του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εισάγοντας έναν νέο δείκτη αναταξινόμησης δικτύου. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στη συνέχεια σε δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια δύο σεισμικών γεγονότων στην Ιαπωνία και τη Χιλή, υπογραμμίζοντας μια ισχυρή σύζευξη μεταξύ της αποκατάστασης των συστημάτων υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών. Πράγματι, όπως ανέφεραν οι Kajitani και Sagai (2009), η απώλεια ισχύος επηρεάζει την υποδομή τεχνολογίας πληροφοριών (Information Technology - IT), οδηγώντας σε περαιτέρω καθυστερήσεις στη φάση αποκατάστασης λόγω έλλειψης ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ της κυβέρνησης και των υπεύθυνων μερών για την ανάκτηση της λειτουργικότητας των εκάστοτε δικτύων. Ο εφοδιασμός με ηλεκτρική ενέργεια έχει σημαντικό

αντίκτυπο σε όλους τους επιχειρηματικούς τομείς, καθώς ακόμη και μια βραχυπρόθεσμη έως μεσοπρόθεσμη διαταραχή μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες παραγωγικής ικανότητας από 94 % έως 98 % (Liu et al., 2020). Από την άλλη, οι περισσότερες επιχειρήσεις φαίνεται να είναι πιο ευέλικτες σε διακοπές στα δίκτυα νερού και φυσικού αερίου.



Σχήμα 4: Εξέλιξη του δείκτη *Infraldx* με τον χρόνο αποκατάστασης για έναν επιχειρηματικό τομέα που περιλαμβάνει 10 επιχειρηματικές μονάδες που αντιμετώπισαν διακοπές υδροδότησης-ηλεκτροδότησης ή/και υπέστησαν μικρές ζημιές στις υποδομές λόγω κάποιου καταστροφικού συμβάντος.

2.4.2 Δείκτης Εισροών (InputIdx)

Το InfraIdx που εξετάστηκε στο υποκεφάλαιο 2.4.1 αντιστοιχεί στη θεωρητική μέγιστη παραγωγική ικανότητα ενός επιχειρηματικού τομέα σε δεδομένη χρονική στιγμή, λόγω πιθανών διαταραχών της στη λειτουργικότητα των εκάστοτε εγκαταστάσεων. Από την άλλη, η πραγματική παραγωγικότητα μιας επιχείρησης μπορεί να μειωθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια μιας καταστροφής λόγω διακοπών εφοδιασμού, παρά το γεγονός ότι η επιχείρηση είναι πλήρως λειτουργική / άθικτη όσον αφορά το InfraIdx. Για την αποτύπωση της πολλαπλασιαστικής επίδρασης των μειωμένων εισροών, υιοθετείται μια μεθοδολογία εισροών-εκροών, η οποία βασίζεται στο μοντέλο Adaptive Regional Input-Output (ARIO) που προτάθηκε από τον Hallegatte (2008). Από την άποψη αυτή, ορίζεται ένας δεύτερος δείκτης, δηλαδή ο δείκτης εισροών (InputIdx), ο οποίος πρέπει να υπολογίζεται για κάθε κόμβο επιχειρηματικού τομέα σύμφωνα με τους λεγόμενους πίνακες συσχέτισης προμηθευτών (Vendor Dependence Tables - VDT).

Τα VDT είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται συχνά στην αλυσίδα συσχετίσεων για την αξιολόγηση της εξάρτησης ενός οργανισμού από τους προμηθευτές του. Ένα παράδειγμα VDT για τον επιχειρηματικό τομέα «λιανικού εμπορίου» παρέχεται στον Πίνακα 2. Κάθε γραμμή του VDT περιέχει μια σειρά δεικτών, που αποτυπώνουν την προοδευτική (με την πάροδο του χρόνου) απώλεια παραγωγικότητας του ερευνητικού επιχειρηματικού τομέα λόγω πλήρους διακοπής της προσφοράς από έναν συγκεκριμένο προμηθευτή, που κυμαίνεται από 1 (για να δηλώσει πλήρη παραγωγικότητα) έως 5 (για να δηλώσει ότι δεν υπάρχει παραγωγικότητα). Για παράδειγμα, τα σούπερ μάρκετ συνήθως παραλαμβάνουν τα προϊόντα τους από το «Χονδρικό εμπόριο». Ανάλογα με το μέγεθος του δικού του αποθέματος και τη ζήτηση κατανάλωσης, ένα σούπερ μάρκετ μικρής κλίμακας μπορεί να παραμείνει πλήρως λειτουργικό σε περίπτωση πλήρους διακοπής του πωλητή για έως και μία ημέρα. Αυτό χαρακτηρίζεται ως Κατάσταση 1, όπου η επιχείρηση δεν αντιμετωπίζει λειτουργικά προβλήματα λόγω των διακοπών τροφοδοσίας και αντιστοιχεί σε απώλεια παραγωγικότητας 0%. Ωστόσο, εάν οι διαταραχές του εφοδιασμού συνεχιστούν με την πάροδο του χρόνου, η επιχείρηση θα επηρεαστεί αναπόφευκτα και θα υποβαθμιστεί από την Κατάσταση 1 στις Καταστάσεις 2, 3 και 4 που αντικατοπτρίζουν απώλεια παραγωγικότητας 25%, 50% και 75%, αντίστοιχα, ενώ η Συνθήκη 5 (βλ. Πίνακα 2) που αντικατοπτρίζει την πλήρη απώλεια της δυναμικότητας εξυπηρέτησης (100% απώλεια παραγωγικότητας που τελικά οδηγεί στο κλείσιμό της) θα επιτευχθεί δύο εβδομάδες μετά από τις διαταραχές που σχετίζονται με το «Χονδρικό εμπόριο».

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον Πίνακα 2, δεν είναι όλοι οι πωλητές εξίσου σημαντικοί για έναν συγκεκριμένο επιχειρηματικό τομέα. Η σημασία κάθε προμηθευτή για τον εξεταζόμενο επιχειρηματικό τομέα αντικατοπτρίζεται στο πόσο γρήγορα η λειτουργικότητα του τομέα υποβαθμίζεται από την Κατάσταση 1 στην Κατάσταση 5 σε περίπτωση σοβαρών μειώσεων της προσφοράς που σχετίζεται με τον εν λόγω προμηθευτή. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι επιχειρηματικοί τομείς που αντιστοιχούν σε υποδομές ζωτικής σημασίας (π.χ. θαλάσσιος λιμένας, ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο) δεν επηρεάζουν το InputIdx μέσω του VDT (δηλαδή προκύπτει μια σταθερή Κατάσταση 1 μέσα στο χρόνο), καθώς η επίδρασή τους έχει ήδη ληφθεί υπόψη από το InfraIdx. Δεδομένου ότι οι VDT αφορούν συγκεκριμένες τοποθεσίες και επιχειρήσεις, μπορεί να εξαχθεί αξιόπιστη εκτίμηση μέσω εκτιμήσεων εμπειρογνομόνων, αποτελεσματικής συλλογής δεδομένων (π.χ. ερωτηματολογίων) και στατιστικών διαδικασιών. Επιπλέον, εάν περισσότεροι από ένας προμηθευτές αντιμετωπίζουν διαταραχές, η πιο κρίσιμη (σύμφωνα με το VDT, δηλαδή η ταχύτερη επίτευξη της δυσμενέστερης Κατάστασης) θα ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό του InputIdx, μια κατάσταση που χαρακτηρίζεται ως "συμφόρηση εφοδιασμού".

Πίνακας 2: Παράδειγμα VDT για τον επιχειρηματικό τομέα «λιανικού εμπορίου».

#	Retail trade	0h	1h	2h	4h	8h	12h	1d	2d	4d	1w	2w	1m o	2m o	∞
3	Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8	Business, scientific and technical activities	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	5	5
11	Financial services and insurance activities	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5
1	Wholesale trade, except of motor vehicles and motorcycles	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	5	5	5
12	Manufacturing	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
14	Agriculture, forestry, fishing	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
2	Real estate activities	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
10	Trade and repair of motor vehicles and motorcycles	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
19	Construction	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
4	Accommodation	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3
5	Food and beverage services	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	Education	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Warehousing and support activities for transportation	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	Creative, arts and entertainment activities	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	Water transport	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	Air transport	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	Other services	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Human health and social work activities	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	Land transport and transport via pipelines	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	Electricity, gas, steam and air conditioning supply	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	Public administration and defense; compulsory social security	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	Media and communication	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	Sewerage, waste collection, treatment, etc.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2.4.3 Δείκτης Εκροών (OutputIdx)

Ο τελευταίος δείκτης που απαιτείται για την εκτίμηση του δείκτη απόδοσης PerfIdx σύμφωνα με την εξίσωση (2), είναι ο δείκτης εκροών (OutputIdx). Αυτός ο δείκτης χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διαδιδόμενης μείωσης της ζήτησης κατά τη φάση ανάκαμψης. Στην πραγματικότητα, είναι πιθανό ένας επιχειρηματικός τομέας να υποστεί σοβαρές οικονομικές απώλειες λόγω της μειωμένης κατανάλωσης, χωρίς ο τομέας να υποστεί άμεσες ζημιές στις εγκαταστάσεις/υποδομές (δηλ. μείωση του InfraIdx) ή να αντιμετωπίσει διακοπές εφοδιασμού (δηλ. μείωση του InputIdx). Το OutputIdx σχετίζεται κυρίως με (α) την ενδιάμεση κατανάλωση μεταξύ επιχειρήσεων και (β) τη ζήτηση FDN (π.χ. τουρίστες, κάτοικοι κ.λπ.).

Εδώ, και οι δύο συνιστώσες (α) και (β) εξετάζονται με τη διάδοση της μειωμένης ζήτησης μέσω ενός λεγόμενου πίνακα εισροών-εκροών (Input Output Table - IOT). Το IOT είναι ένας πίνακας $N \times N$ (N είναι ο συνολικός αριθμός επιχειρηματικών τομέων συν τον αριθμό των FDN), στον οποίο κάθε κελί o_{ij} αντιπροσωπεύει την κανονικοποιημένη κατανάλωση αγαθών του επιχειρηματικού τομέα i ανά επιχειρηματικό τομέα (ή FDN) j . Έτσι, κάθε γραμμή του IOT αθροίζεται σε 1, δηλαδή, $\sum_{j=1}^N o_{ij}$ for $i = [1, N]$. Οι τιμές o_{ij} μπορούν να προκύψουν με την ομαλοποίηση του πλήρους εθνικού IOT όπως δίνεται από τους Timmer et al. (2015), υποθέτοντας ότι η περιοχή ΠΚ ακολουθεί παρόμοιο οικονομικό προφίλ μεταξύ επιχειρήσεων και επιχειρήσεων προς καταναλωτές. Ένα τμήμα του κανονικοποιημένου IOT που χρησιμοποιήθηκε για την πόλη της Ρόδου δίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Απόσπασμα από τον κανονικοποιημένο Πίνακα Εισροών-Εκροών (IOT) που χρησιμοποιείται για την πόλη της Ρόδου.

	Wholesale trade	Real estate activities	Retail trade	Accommodation	Restaurants	...
Wholesale trade	0.004497	0.000212	0.002431	0.012018	0.012018	
Real estate activities	0.062648	0.000158	0.051271	0.003257	0.003257	
Retail trade	0.011383	0.000056	0.005590	0.043901	0.043901	...
Accommodation	0.001072	0.000358	0.000775	0.000801	0.000801	
Restaurants	0.001072	0.000358	0.000775	0.000801	0.000801	
Education	0.000147	0.000000	0.000115	0.000073	0.000073	
...			...			

2.5 Ευθεία και αντίστροφη εξάπλωση αστοχιών

Ακολουθώντας τον ορισμό των τριών δεικτών απόδοσης, αυτή η ενότητα περιγράφει εν συντομία τη διαδικασία διάδοσης αστοχίας στο προτεινόμενο κοινωνικοοικονομικό μοντέλο. Η ανάλυση επιπτώσεων ξεκινά από $t = 0$ h, όταν δηλαδή συμβαίνει το καταστροφικό συμβάν και οδηγεί σε αρκετές άμεσες απώλειες, όπως ζημιές σε εγκαταστάσεις και υποδομές ζωτικής σημασίας. Αυτές οι άμεσες απώλειες και η διαδικασία ανάκτησης θεωρείται ότι έχουν ήδη προεπεξεργαστεί από τον αναλυτή προκειμένου να προκύψει το διάγραμμα InfraIdx κάθε επιχειρηματικού τομέα. Ουσιαστικά, το κοινωνικοοικονομικό μοντέλο χρησιμοποιεί το InfraIdx ως είσοδο για τον υπολογισμό των διαδοχικών διαταραχών στην προσφορά (InputIdx) και τη ζήτηση (OutputIdx), όπως περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους.

Πρώτον, σε κάθε χρονικό βήμα t το μοντέλο ενημερώνει την τιμή InfraIdx κάθε επιχειρηματικού τομέα με βάση τις λειτουργίες ανάκτησης που παρέχονται από τον χρήστη. Στη συνέχεια, για κάθε επιχειρηματικό τομέα, ο αλγόριθμος ελέγχει το αντίστοιχο VDT για να προσδιορίσει ποιοι προμηθευτές αντιμετωπίζουν διαταραχές υποδομής ή εφοδιασμού (δηλαδή, $\text{InfraIdx} < 100\%$ ή

$InputIdx < 100\%$). Για καθέναν από αυτούς τους προμηθευτές, ένας μετρητής χρόνου εκχωρείται στις αντίστοιχες σειρές του VDT προκειμένου να υπολογιστεί η κατάσταση εφοδιασμού τους (δηλ. Συνθήκες 1 έως 5). Για να ληφθεί υπόψη η επίδραση των σημείων συμφόρησης στην προσφορά, ο μετρητής χρόνου με τις χειρότερες συνθήκες προσφοράς χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του $InputIdx$ του εξεταζόμενου επιχειρηματικού τομέα. Κατά συνέπεια, ο αλγόριθμος ενημερώνει το $InputIdx$ όλων των τομέων και ελέγχει ξανά τα VDT έως ότου η αποτυχία εξαπλωθεί στα FDN (π.χ. τουρίστες, κάτοικοι). Αυτή η διαδικασία ονομάζεται προς τα εμπρός διάδοση της αστοχίας. Στο επόμενο χρονικό βήμα $t+dt$, ενημερώνονται οι μετρητές χρόνου (π.χ. κινούνται οριζόντια στο VDT, βλ. Πίνακα 2) προκειμένου να υπολογιστεί η νέα κατάσταση εφοδιασμού των προμηθευτών. Εάν κάποιος από τους προμηθευτές που έχουν διακοπεί επιστρέψει σε κανονικές συνθήκες (δηλ. $InfraIdx = InputIdx = 100\%$), γίνεται επαναφορά του σχετικού μετρητή.

Αφού οι διαταραχές φτάσουν στα FDN, ο αλγόριθμος συνεχίζει αξιολογώντας τον αντίκτυπό τους στους τελικούς καταναλωτές. Η απόκριση ενός FDN σε μια επιδεινούμενη ή μη επιδεινούμενη από τη κλιματική αλλαγή ανεπιθύμητη ενέργεια είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, καθώς σχετίζεται με κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες όπως η πολιτική, ο φόβος, τα δημογραφικά στοιχεία της κοινότητας κ.λπ. Για παράδειγμα, ένα βραχυπρόθεσμο κλείσιμο των εστιατορίων και των μπαρ σε μια τοποθεσία μπορεί να επιδεινώσει τη συνολική φήμη της, γεγονός που θα οδηγήσει κατά συνέπεια σε ακυρώσεις κρατήσεων από μεμονωμένους τουρίστες ή ομάδες τουριστών. Ως πρώτο βήμα, το προτεινόμενο μοντέλο υποθέτει ότι η ζήτηση ενός FDN σχετίζεται γραμμικά με το συνολικό $InputIdx$ (σύμφωνα με το αντίστοιχο VDT) που λαμβάνει από τις επιχειρήσεις του χώρου ΠΚ, ενώ στο μέλλον μπορεί να αναβαθμιστεί για να λάβει υπόψη πιο σύνθετες κοινωνικοοικονομικές σχέσεις. Ουσιαστικά, ένα VDT χρησιμοποιείται για κάθε FDN και ενημερώνεται με τον ίδιο τρόπο όπως αυτά των επιχειρηματικών τομέων, ενώ η ζήτηση του FDN θεωρείται ότι είναι ίση με το υπολογισμένο $InputIdx$. Με βάση αυτές τις τελικές απαιτήσεις, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται σε όλους τους επιχειρηματικούς τομείς για να ενημερώσει το $OutputIdx$, μια διαδικασία που ονομάζεται προς τα πίσω διάδοση της αστοχίας.

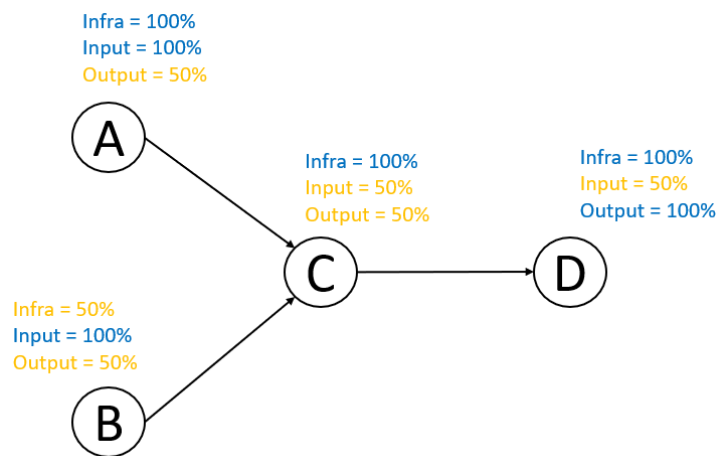
Τέλος, το προτεινόμενο μοντέλο λαμβάνει υπόψη την ικανότητα ενός επιχειρηματικού τομέα να υπερπαραγάγει εάν αυτό είναι απαραίτητο. Οι επιχειρήσεις, πράγματι, σπάνια λειτουργούν με την πλήρη παραγωγική τους ικανότητα και εργασία και ως εκ τούτου είναι συχνά σε θέση να αυξήσουν την παραγωγή τους κατά τη διάρκεια της κρίσης (Hallegatte, 2008). Για παράδειγμα, εάν 5 στα 10 ξενοδοχεία αναγκαστούν να κλείσουν ως αποτέλεσμα ζημιών στις υποδομές που προκλήθηκαν από ένα καταστροφικό γεγονός, η πραγματική λειτουργικότητα του τομέα "Διαμονή" μπορεί να είναι μεγαλύτερη από $5/10 = 50\%$, καθώς τα υπόλοιπα 5 ξενοδοχεία μπορεί να έχουν επιπλέον διαθέσιμα δωμάτια για να εξυπηρετήσουν ένα ορισμένο μέρος της επιπλέον ζήτησης που δημιουργήθηκε λόγω της απώλειας λειτουργικότητας των ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων που υπέστησαν ζημιές. Ωστόσο, εάν η καταστροφή συμβεί κατά τη διάρκεια της υψηλής τουριστικής περιόδου, τα ξενοδοχεία που δεν θα διαταραχθούν θα είναι πιθανώς εντελώς γεμάτα και δεν θα είναι σε θέση να ικανοποιήσουν την αυξημένη ζήτηση. Ως εκ τούτου, το προτεινόμενο μοντέλο προσφέρει δύο προσεγγίσεις υπερπαραγωγής: (α) μια χρονικά ανεξάρτητη αύξηση του επηρεαζόμενου $InfraIdx$ (π.χ., εάν ο τομέας "Λιανικό εμπόριο" έχει $InfraIdx = 50\%$, μπορεί πάντα να ενεργοποιηθεί υπερπαραγωγή +10%) και (β) μια χρονικά εξαρτώμενη υπερπαραγωγή (π.χ., εάν ο τομέας "Καταλύματα" έχει $InfraIdx = 50\%$, μια υπερπαραγωγή +10% μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο κατά τους μήνες χαμηλής περιόδου).

3 Παραδείγματα εφαρμογής

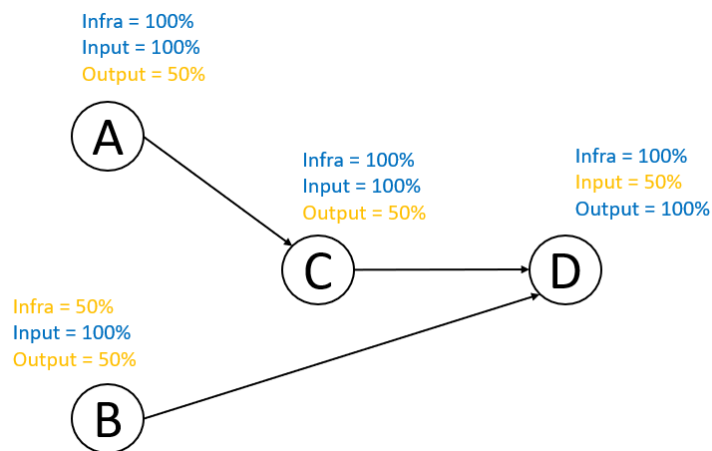
3.1 Παράδειγμα 1: Απλό οικονομικό σύστημα τεσσάρων κόμβων

Προκειμένου να εξηγηθεί καλύτερα η αναπτυγμένη μεθοδολογία προώθησης της αποτυχίας, ως εξετάσουμε αρχικά ένα απλοποιημένο οικονομικό σύστημα και να το αναλύσουμε στη συνέχεια. Το απλοποιημένο οικονομικό σύστημα αποτελείται από τέσσερις κόμβους (Α έως Δ που αντιστοιχούν σε τέσσερις τομείς επιχειρήσεων) που είναι διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους υποθέτοντας τρεις διαφορετικές συνδέσεις προσφοράς/ζήτησης. Στο πρώτο παράδειγμα (όπως φαίνεται στο Σχήμα 5(a)), οι κόμβοι/τομείς Α και Β είναι προμηθευτές για τον κόμβο/τομέα C, ενώ ο κόμβος/τομέας C είναι προμηθευτής για τον κόμβο/τομέα D. Για λόγους απλότητας, υποθέτουμε ότι η $Input_{idx}$ ενός κόμβου επηρεάζεται άμεσα σε περίπτωση διακοπών στους προμηθευτές του, δηλαδή μειώνεται στην Κατάσταση 5 από το πρώτο χρονικό βήμα ($t = 0$ ή στον VDT του Πίνακα 2). Η ίδια υπόθεση διαμόρφωσης γίνεται και για το IOT: οι κόμβοι Α και Β παρέχουν αγαθά/υπηρεσίες στον κόμβο C, ο οποίος, στη συνέχεια, παρέχει αγαθά/υπηρεσίες στον κόμβο D. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5(a), μια διακοπή λειτουργίας στον κόμβο Β ($InfraB = 50\%$, δηλαδή το μισό των επιχειρήσεων σε αυτόν τον τομέα γίνονται ανενεργές λόγω "δομικών ζημιών" όπως αυτές ορίστηκαν στην ενότητα 2.4.1) οδηγεί σε αντίστοιχες διακοπές στην προμήθεια του κόμβου C ($InputC = 50\%$), και αυτή η αποτυχία επηρεάζει περαιτέρω τον κόμβο D ($InputD = 50\%$). Ως αποτέλεσμα της μείωσης στο $InputD$, η κατανάλωση του κόμβου D επηρεάζεται (π.χ., οι τουρίστες θα φύγουν από την περιοχή ΠΚ αν τα ξενοδοχεία κλείσουν λόγω μιας καταστροφής), που συνεπάγεται μείωση της ζήτησης του κόμβου C ($OutputC = 50\%$), και η αποτυχία μεταφέρεται τελικά και προς τα πίσω στους κόμβους Α ($OutputA = 50\%$) και Β ($OutputB = 50\%$).

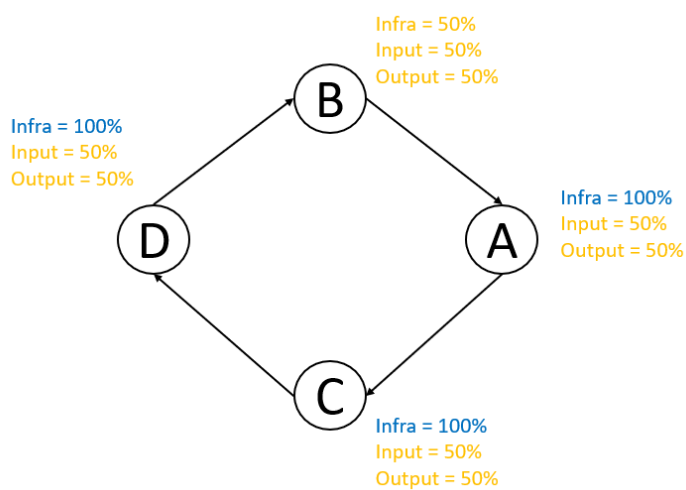
Το δεύτερο παράδειγμα είναι παρόμοιο με το πρώτο με τη μόνη διαφορά ότι ο κόμβος Β εφοδιάζει απευθείας τον κόμβο D (Σχήμα 5(b)). Ως αποτέλεσμα, η είσοδος του κόμβου C δεν επηρεάζεται από το Β (δηλαδή, η $InputC = 100\%$), ωστόσο παραμένουν μειώσεις στις απαιτήσεις των κόμβων ($OutputA = OutputB = OutputC = 50\%$). Τέλος, στο τελευταίο απλοποιημένο παράδειγμα που εξετάστηκε εδώ (Σχήμα 5(c)), υποθέτουμε έναν κυκλικό οικονομικό σύστημα (δηλαδή, δεν υπάρχουν FDNs) και μια διακοπή λόγω δομικών αστοχιών κατά 50% στον κόμβο Β οδηγεί τόσο σε διακοπές προμήθειας όσο και σε διακοπές ζήτησης σε όλους τους κόμβους. Αν και αυτά τα απλά παραδείγματα δεν έχουν όλα τα χαρακτηριστικά ενός ρεαλιστικού κοινωνικοοικονομικού μοντέλου, μπορούν να αναδείξουν τη βασική προώθηση της αστοχίας προς τα εμπρός και προς τα πίσω και να αναδείξουν τα χαρακτηριστικά της συνολικής μεθοδολογίας.



(a)



(b)



(c)

Σχήμα 5: Διάδοση αστοχίας σε οικονομία τεσσάρων κόμβων χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές συνδέσεις προσφοράς/ζήτησης.

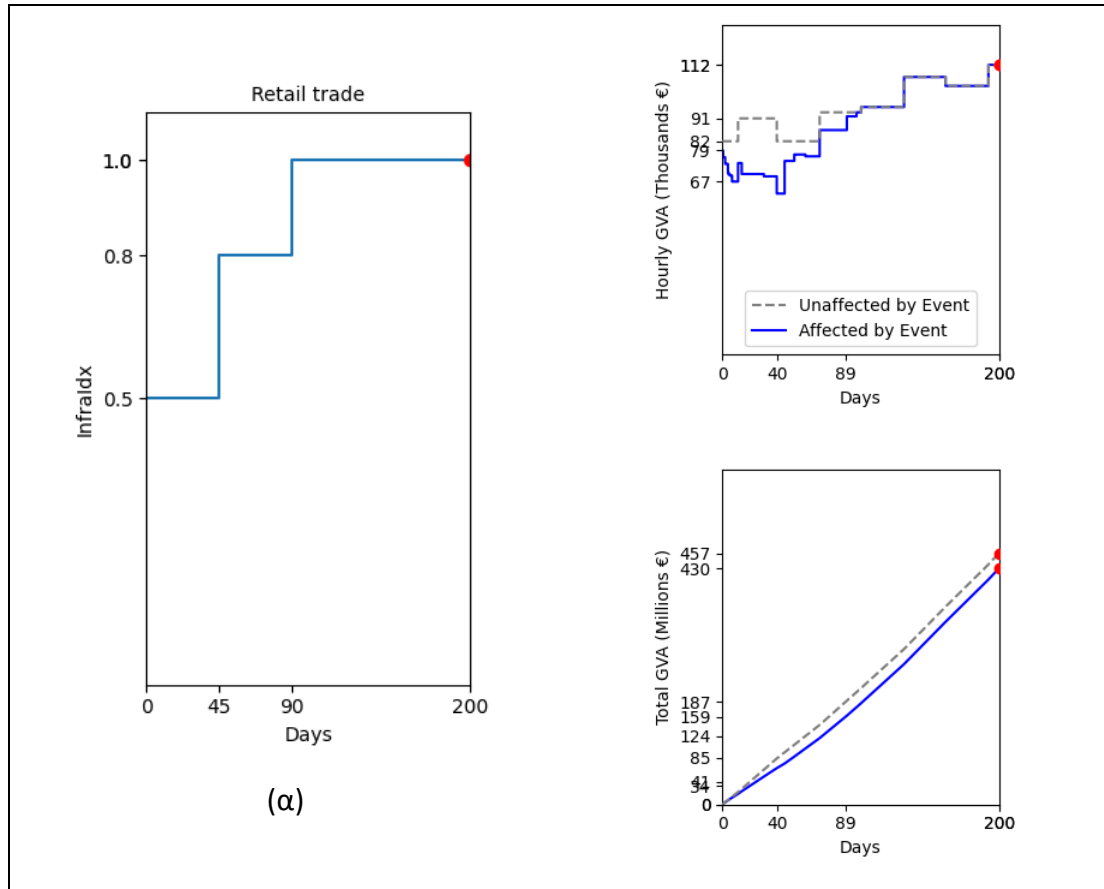
3.2 Παράδειγμα 2: Κοινωνικό-οικονομικό μοντέλο για τη πόλη της Ρόδου.

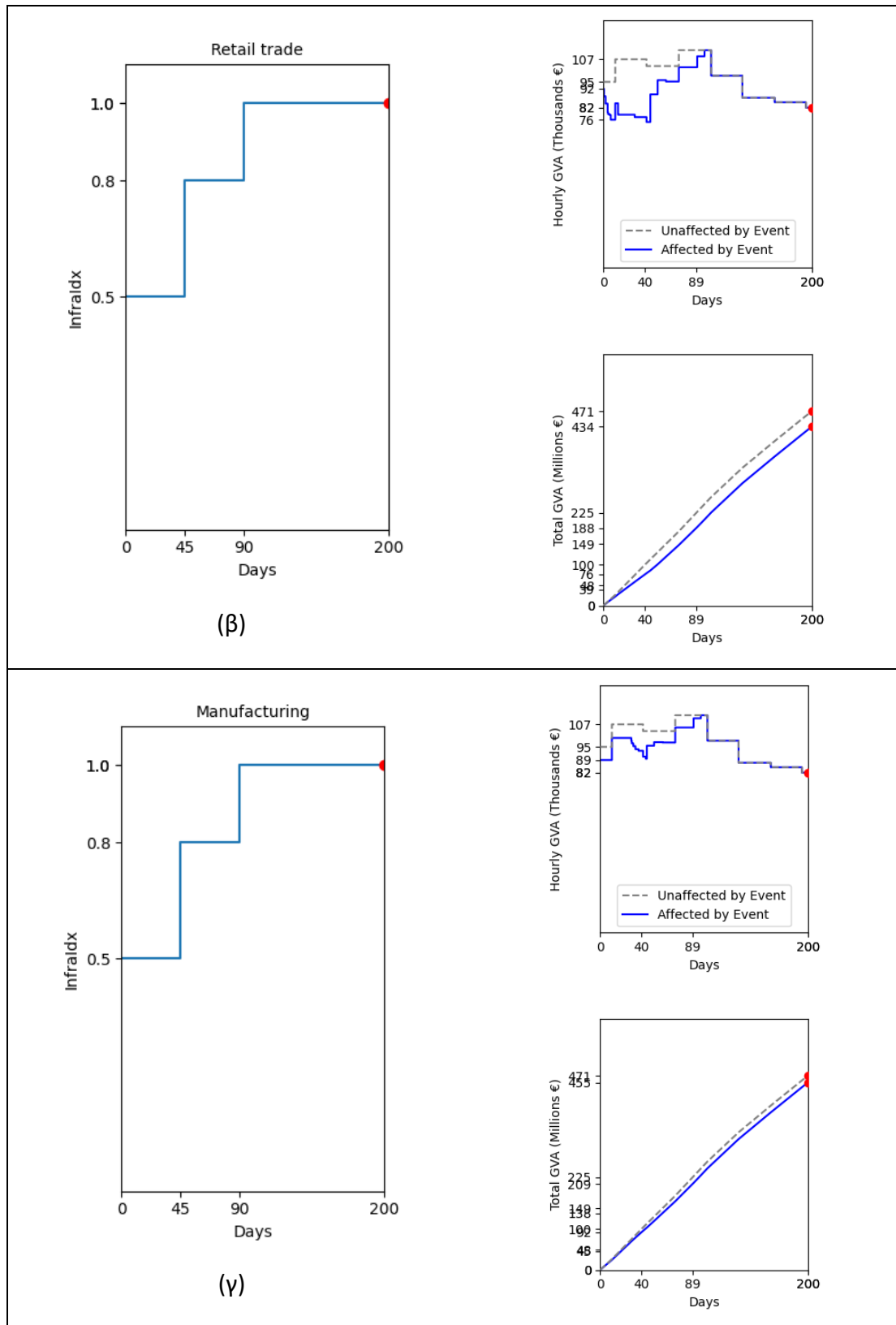
Το προτεινόμενο κοινωνικοοικονομικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις τριών σεναρίων καταστροφής που εξετάστηκαν για την ιστορική πόλη της Ρόδου. Χρησιμοποιήθηκε η επιχειρηματική ταξινόμια που παρουσιάστηκε προηγουμένως στον Πίνακα 1. Η ταξινόμια περιλαμβάνει 23 επιχειρηματικούς κλάδους με τη μεγαλύτερη Ετήσια Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία (δηλ. GVA) για το νησί της Ρόδου. Η ετήσια GVA κάθε επιχειρηματικού κλάδου διανεμήθηκε σε δώδεκα διαστήματα χρησιμοποιώντας ένα μηνιαίο διάγραμμα, για να ληφθούν υπόψη οι διακυμάνσεις μεταξύ περιόδων χαμηλής και υψηλής ζήτησης (για παράδειγμα, η μηνιαία μερίδα της GVA του κλάδου "Καταλύματα" είναι πολύ μεγαλύτερη κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο σε σύγκριση με τους Δεκέμβριο ή Ιανουάριο). Μια σειρά προκαταρκτικών VDT κατασκευάστηκαν με βάση λογικές παραδοχές, αλλά πιο εξειδικευμένες προσεγγίσεις μπορούν να αποκτηθούν στο μέλλον χρησιμοποιώντας μεθόδους απόκτησης ειδικών γνώσεων για τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Τέλος, ο κανονικοποιημένος ΙΟΤ της Ελλάδας (Timmer et al., 2015) χρησιμοποιήθηκε για να προωθήσει προς τα πίσω τις διακοπές στη ζήτηση, υποθέτοντας ότι η Ρόδος ακολουθεί ένα παρόμοιο προφίλ οικονομίας μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών με αυτό της συνολικής χώρας.

Τα Σχήματα 6α-γ δείχνουν τα διαγράμματα διακοπών (InfraIdx) και τις αντίστοιχες απώλειες της ωριαίας και της συνολικής GVA της πόλης για τρία υποθετικά σενάρια. Στο πρώτο εξεταζόμενο σενάριο καταστροφής (Σενάριο Α), το γεγονός κινδύνου, που υποτίθεται ότι συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα (χαμηλή περίοδος), καταστρέφει μόνο τον τομέα εμπορίου λιανικής (σούπερ μάρκετ, καταστήματα ένδυσης, καταστήματα δώρων κλπ.). Αυτό το σενάριο καταστροφής εξετάστηκε μόνο ως παράδειγμα, καθώς, εμφανώς, είναι πολύ απίθανο η εμφάνιση ενός γεγονότος κινδύνου να καταστρέψει άμεσα την υποδομή μόνο ενός κλάδου επιχειρήσεων. Η υποθετική καταστροφή επηρέασε το 50% των καταστημάτων λιανικής (δηλαδή InfraIdx = 50%) και χρειάστηκαν συνολικά 90 ημέρες για να επισκευαστούν όλες οι ζημιές στις εγκαταστάσεις/υποδομές και να επιστρέψουν στο InfraIdx = 100%. Επιπλέον, υποτέθηκε ότι οι επιχειρήσεις που δεν έκλεισαν είναι ικανές να υπερπαραγάγουν κατά 10%. Αυτή η συνθήκη ουσιαστικά οδηγεί σε αύξηση του αρχικού InfraIdx κατά 10%, το οποίο γίνεται ίσο με 60%. Το Σχήμα 7 δείχνει στιγμιότυπα του κοινωνικοοικονομικού μοντέλου, απεικονίζοντας τους δείκτες υποδομής, εισδών και εκρών κάθε κλάδου, καθώς και τις διαταραχές προσφοράς (οι γκρίζες/μπλε/πράσινες/κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν στις Συνθήκες 1/2/3/4/5 των VDT), οι συνολικές έμμεσες απώλειες του υποθετικού γεγονότος κινδύνου λόγω διαταραχών προσφοράς και ζήτησης ανήλθαν στα €27,47 εκατομμύρια (3,4% του ετήσιου GVA της πόλης).

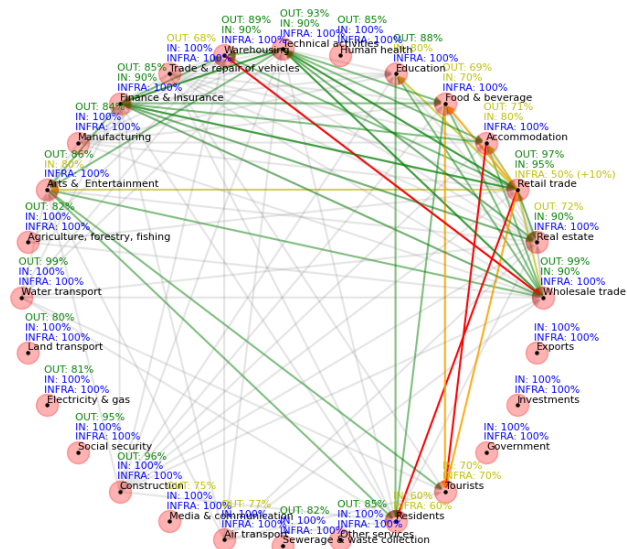
Τώρα, εάν το ίδιο γεγονός συμβεί με τις ίδιες συνέπειες στις υποδομές του τομέα "Λιανικό Εμπόριο" κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (Σενάριο Β), οι συνολικές έμμεσες δαπάνες θα ήταν €37,40 εκατομμύρια (δηλαδή 4,6% του ετήσιου GVA), όπως φαίνεται στο Σχήμα 6β. Αυτό το αποτέλεσμα υπογραμμίζει ουσιαστικά την ευπάθεια της οικονομίας της Ρόδου, και ίσως της οικονομίας και άλλων τουριστικών τοποθεσιών γενικότερα, σε περιστατικά κινδύνου κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. Εάν το Σενάριο Β επηρέαζε τον τομέα "Βιομηχανία" αντί του τομέα "Λιανικό Εμπόριο" (Σενάριο Γ), οι οικονομικές απώλειες θα ήταν πολύ χαμηλότερες (Σχήμα 6γ), περίπου €16,47 εκατομμύρια (δηλαδή 2% του ετήσιου GVA). Αυτό ήταν ένα αναμενόμενο εύρημα, καθώς οι τοποθεσίες Πολιτιστικής Κληρονομιάς συνήθως έχουν περιορισμένες βιομηχανικές

δραστηριότητες, λόγω του γεγονότος ότι η εκτεταμένη βιομηχανοποίηση συνήθως απαγορεύεται σε αυτές, για να προστατευτεί η φυσική ομορφιά τους και η σημαντική ιστορική τους αξία.

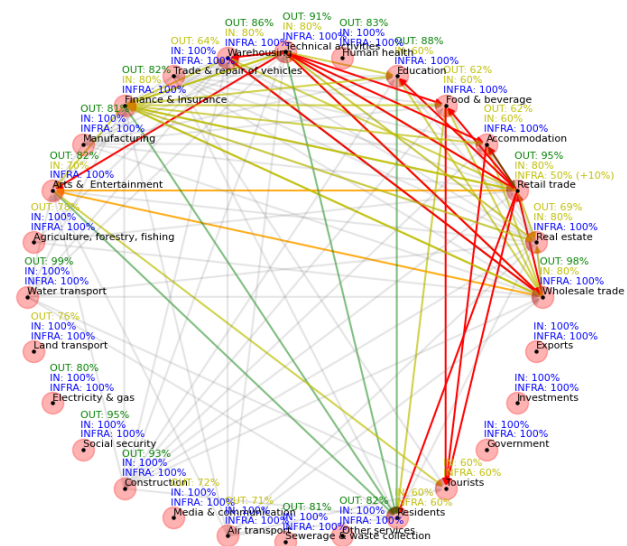




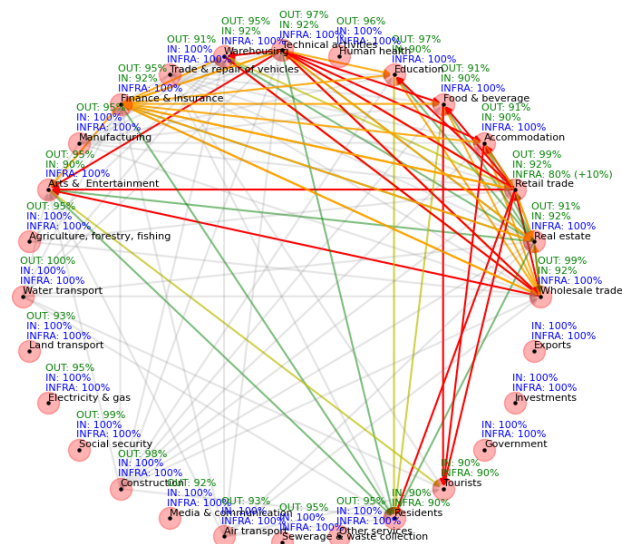
Σχήμα 6: Υποθετικά σενάρια καταστροφών για την πόλη της Ρόδου για ένα γεγονός που (α) συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα και επηρεάζει το «Λιανικό εμπόριο», (β) συμβαίνει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και επηρεάζει το «Λιανικό εμπόριο», και (γ) συμβαίνει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και επηρεάζει τη «Μεταποίηση». Οι διακεκομμένες γκρι καμπύλες αντιστοιχούν στην ωριαία και συνολική GVA της πόλης υπό κανονικές συνθήκες (δηλαδή, δεν συνέβη κανένα γεγονός), ενώ το συμπαγές μπλε στο εξεταζόμενο σενάριο ζημιάς (δηλαδή, το συμβάν συνέβη).



30/01/22 16:00



01/03/22 16:00



19/04/22 16:00

Σχήμα 7: Το κοινωνικοοικονομικό μοντέλο της Ρόδου για το καταστροφικό Σενάριο Α που πλήττει τον κλάδο του «Λιανικού Εμπορίου». Οι άκρες του γραφήματος αντιπροσωπεύουν τη συνδεσιμότητα εφοδιασμού των επιχειρηματικών τομέων, όπως ορίζεται από τα VDT (γκρι χρώμα αντιστοιχεί στη Κατάσταση 1, κόκκινο στη Κατάσταση 5 κ.λπ.)

4 Συμπεράσματα

Ένα κοινωνικοοικονομικό μοντέλο για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων των καταστροφικών γεγονότων στην κοινότητα των τοποθεσιών της Πολιτιστικής Κληρονομιάς δημιουργήθηκε για το έργο TwinCity και το παραδοτέο D5.1, με τίτλο “Socioeconomic impact model” του WP5. Η προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποίησε μια απλοποιημένη ταξινόμηση επιχειρήσεων για να κατηγοριοποιήσει τις μεμονωμένες επιχειρήσεις που λειτουργούν σε μια περιοχή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και να τις ενσωματώσει σε συμπυκνωμένους επιχειρηματικούς τομείς. Τρία δείκτες απόδοσης ορίστηκαν για να αξιολογηθεί η μετά το συμβάν απόδοση ενός επιχειρηματικού τομέα: (α) ο δείκτης υποδομής, (β) ο δείκτης εισροής και (γ) ο δείκτης εκροής. Για να καταγραφούν οι αποτυχίες στην αλυσίδα εφοδιασμού, οι δείκτες (α) και (β) διαδόθηκαν χρησιμοποιώντας τους πίνακες εξάρτησης προμηθειών της πρακτικής που αφορά στη απρόσκοπτη συνέχιση της λειτουργίας μια επιχείρησης (εκμετάλλευση προώθησης της αστοχίας), ενώ οι επεκτεινόμενες διαταραχές της ζήτησης συμπεριλήφθηκαν διαδίδοντας τον δείκτη (γ) με μια προσέγγιση IOT (αντίστροφη προώθηση της αστοχίας). Επομένως, για να παρουσιαστεί και να επιβεβαιωθεί η προτεινόμενη μεθοδολογία διάδοσης της αστοχίας, λήφθηκε υπόψη μια σειρά υποθετικών σεναρίων καταστροφής σε απλά οικονομικά συστήματα με διαφορετικές συνδεσιμότητες κόμβων. Τέλος, παρουσιάστηκαν τρία υποθετικά σενάρια καταστροφής στο πλήρες κοινωνικοοικονομικό μοντέλο της πόλης της Ρόδου, επιδεικνύοντας τα κυριότερα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, όπως η επίδραση της χαμηλής/υψηλής τουριστικής περιόδου, η ιεραρχική σημασία των επιχειρηματικών τομέων, κ.λπ. Τελικά, η αναπτυχθείσα μεθοδολογία διάδοσης της αστοχίας αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας διαφορετικών μοντέλων για την προστασία της λειτουργικότητας των επιχειρήσεων και των στρατηγικών προσαρμογής.

5 Βιβλιογραφία

- Asgary A., Anjum M.I., Azimi N., (2012). Disaster recovery and business continuity after the 2010 flood in Pakistan: Case of small businesses, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.08.001>
- Burton H.V., Miles S.B., Kang H. (2018). Integrating performance-based engineering and urban simulation to model post-earthquake housing recovery, *Earthquake Spectra*, 34(4), 1763-1785. <http://dx.doi.org/10.1193/041017EQS067M>
- Cardoni A., Cimellaro G.P., Domaneschi M., Sordo S., Mazza A. (2020). Modeling the interdependency between buildings and the electrical distribution system for seismic resilience assessment, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101315>
- Chang S., Rose A. (2012). Towards a theory of economic recovery from disasters *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 30(2), 171-181.
- Cimellaro G.P., Renschler C., Reinhorn A.M., Arendt L. (2016). PEOPLES: A framework for evaluating resilience, *Journal of Structural Engineering*, 142(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001514](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001514)
- Cutter S.L. (2012). *Hazards, vulnerability and environmental justice* (1st ed.), Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849771542>
- De Vries H.P., Hamilton R.T. (2021). Smaller businesses and the Christchurch earthquakes: A longitudinal study of individual and organizational resilience, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102125>
- Dhulipala S.L.N, Flint M.M. (2020). Series of semi-Markov processes to model infrastructure resilience under multihazards, *Reliability Engineering & System Safety*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106659>
- Donthu N., Gustafsson A. (2020). Effects of COVID-19 on business and research, *Journal of Business Research*, 117, 284-289. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.06.008>
- Eurostat (2008) NACE Rev. 2: Statistical classification of economic activities in the European Community, Luxemburg. ISSN 1977-0375
- Ελληνική Στατιστική Αρχή, ΕΛΣΤΑΤ, <https://www.statistics.gr/>
- Franchin P., Cavalieri F. (2014). Probabilistic assessment of civil infrastructure resilience to earthquakes, *Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30. <https://doi.org/10.1111/mice.12092>
- Graveline N., Grémont M. (2017). Measuring and understanding the microeconomic resilience of businesses to lifeline service interruptions due to natural disasters, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 526-538. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.05.012>
- Hallegatte S. (2008). An adaptive regional input-output model and its application to the assessment of the economic cost of Katrina, *Risk Analysis*, 28(3), 779-799. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01046.x>

- Inoue H., Todo Y. (2019). Firm-level propagation of shocks through supply-chain networks, *Nature Sustainability*, 2, 841-847. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0351-x>
- Kajitani Y., Sagai S. (2009). Modelling the interdependencies of critical infrastructures during natural disasters: a case of supply, communication and transportation infrastructures, *International Journal of Critical Infrastructures, Inderscience Enterprises Ltd*, 5(1/2), 38-50. <https://doi.org/10.1504/IJCIS.2009.022848>
- Kaushalya H., Karunasena G., Amarathunga D. (2014). Role of insurance in post disaster recovery planning in business community, *Procedia Economic and Finance*, 18, 626-634. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00984-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00984-8)
- Liu H., Tatano H., Kajitani Y. (2020). Estimating lifeline resilience factors using post-disaster business recovery data, *Earthquake Spectra*, 37(2). <https://doi.org/10.1177/8755293020952455>
- Liu H., Tatano H., Pflug G., Honchrainer-Stigler S. (2021a). Post-disaster recovery in industrial sectors: A Markov process analysis of multiple lifeline disruptions, *Reliability Engineering & System Safety*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107299>
- Liu H., Tatano H., Kajitani Y., Yang Y. (2021b). Modelling post-disaster recovery process of industrial sectors: A case study of 2016 Kumamoto earthquakes, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102385>
- Miles S.B., Chang S.E. (2011). ResilUS: A community based disaster resilience model, *Cartography and Geographic Information Science*, 38(1), 36-51. <https://doi.org/10.1559/1523040638136>
- Rose A.Z. (2009). Economic resilience to disasters, *Published Articles & Papers*, Paper 75. <https://text2fa.ir/wp-content/uploads/Text2fa.ir-Economic-Resilience-to-Disasters-1.pdf>
- Rose A., Krausmann E. (2013). An economic framework for the development of a resilience index for business recovery, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 5, 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2013.08.003>
- Sadiq A.A. (2011). Adoption of hazard adjustments by large and small organizations: Who is doing the talking and who is doing the walking?, *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 2(3), 1-17. <https://doi.org/10.2202/1944-4079.1067>
- Timmer M.P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer R., de Vries G.J. (2015). An illustrated user guide to the world input-output database: The case of global automotive production, *Review of International Economics*, 23(3), 575-605. <https://doi.org/10.1111/roie.12178>
- Zhang Y., Lindell M.K., Prater C.S. (2009). Vulnerability of community businesses to environmental disasters, 2(3), 33(1), 38-57. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2008.01061.x>