

Αξιολόγηση της σεισμικής καταγραφής του σεισμού στο Δυρράχιο της Αλβανίας το 2019 (M_w=6.4), μέσω της αποτίμησης σεισμικής συμπεριφοράς κτηρίου Ο/Σ

Στεφανίδου Σωτηρία¹, Σωτηριάδης Δημήτρης², Σέξτος Αναστάσιος³, Κλήμης Νικόλαος⁴, Μάργαρης Βασίλειος⁵, Θεοδουλίδης Νικόλαος⁵

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μετά από το σεισμό μεγέθους Mw6.4 στην Αλβανία, τον Νοέμβριο του 2019, καταγράφησαν βλάβες και καταρρεύσεις σε κτήρια καθώς στη σεισμόπληκτη περιοχή του Δυρραχίου. Κλιμάκιο του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας και του Ελληνικού Τμήματος Αντισεισμικής Μηχανικής μετέβη στην περιοχή για την καταγραφή των βλαβών και τα αναλυτικά συμπεράσματα παρουσιάστηκαν σε σχετικές τεχνικές εκθέσεις. Η ισχυρή σεισμική κίνηση καταγράφηκε από τον σεισμολογικό σταθμό του Δυρραχίου, ωστόσο η καταγραφή δεν ήταν συνεχής λόγω διακοπής ρεύματος. Το τμήμα της καταγραφής, το οποίο φαίνεται να περιλαμβάνει την ισχυρή σεισμική κίνηση, είναι τα πρώτα 15sec, παραταύτα, υπάρχουν αμφιβολίες σχετικά με το βαθμό αξιοπιστίας της. Καθώς η διακοπτόμενη καταγραφή είναι η μοναδική από σταθμό κοντά στο επίκεντρ, και με δεδομένο ότι υπάρχουν διαθέσιμα τα αποτελέσματα ταχέως οπτικού ελέγχου (TOE) από τυπικές κατασκευές στη σεισμόπληκτη περιοχή, προτείνεται στην παρούσα εργασία μια μεθοδολογική προσέγγιση για τον έλεγχο αξιοπιστίας της καταγραφής, ο οποίος βασίζεται τόσο στο συχνοτικό της περιεγόμενο της όσο και στην απόκριση των κατασκευών. Η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόζεται γρησιμοποιώντας δεδομένα από μία γαρακτηριστική κατασκευή η οποία αποτυπώθηκε και ελέγχθηκε επί τόπου, ωστόσο είναι δυνατή και η εφαρμογή σε άλλες κατασκευές με διαφορετικό στατικό σύστημα.

Λέξεις Κλειδιά: Σεισμός Αλβανίας, Ταχύς Οπτικός Έλεγχος, σεισμική αποτίμηση, σεισμικές βλάβες

1 ΓΕΝΙΚΑ

Στις 26 Νοεμβρίου 2019 και ώρα 02:54 GMT, καταγράφηκε ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους M_w6.4 στην Αδριατική θάλασσα, κοντά στο Δυρράχιο της Αλβανίας. Το εστιακό βάθος ήταν περίπου 10 χιλιόμετρα, ενώ οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο ήταν το Δυρράχιο, τα Τίρανα και το Θουμάνι μεταξύ άλλων. Ο σεισμός έγινε αισθητός και στην Ελλάδα, τη Σερβία και την Ιταλία. Ακολούθως του σεισμού, κλιμάκιο του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού

¹ Μεταδιδακτορική Ερευνητρια, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ssotiria@civil.auth.gr

² Μεταδιδακτορικός Ερευητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, dsotiria@civil.duth.gr

³ Καθηγητής, University of Bristol, <u>a.sextos@bristol.ac.uk</u>

⁴ Καθηγητής Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, <u>nklimis@civil.duth.gr</u>

⁵ Διευθυντής Ερευνών, Ινστιντούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών, <u>margaris@itsak.gr</u>, <u>ntheo@itsak.gr</u>



και Προστασίας καθώς και του Ελληνικού Τμήματος Αντισεισμικής Μηχανικής μετέβη στην περιοχή, πραγματοποιώντας ταχείς οπτικούς ελέγχους σε 75 κτήρια, στην πλειονότητά τους με βλάβες.

Η ισχυρή σεισμική κίνηση που καταγράφηκε στο σεισμολογικό σταθμό του Δυρραχίου δεν ήταν συνεχής, λόγω της διακοπής ρεύματος που έλαβε χώρα στην περιοχή τη στιγμή του σεισμού. Από τη διακοπτόμενη καταγραφή προτείνεται η χρήση του πρώτου τμήματος (~15sec), ενώ είναι απαραίτητο να διαπιστωθεί αν το τμήμα αυτό περιέχει την ισχυρή σεισμική κίνηση και πώς η χρήση του μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιείται αρχικά επιλογή καταγραφών από διεθνείς βάσεις με συγκεκριμένα κριτήρια (μέγεθος, επικεντρική απόσταση), με στόχο τη σύγκριση σε όρους φασματικών τιμών και συχνοτικού περιεχομένου με το πρώτο τμήμα της διακοπτόμενης καταγραφής (15sec). Επιπρόσθετα, με δεδομένο ότι υπάρχουν καταγεγραμμένες βλάβες κτηρίων στο πλαίσιο των ταχέων οπτικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μετά το σεισμό, προτείνεται ο έλεγχος της αξιοπιστίας του πρώτου τμήματος της διακοπτόμενης καταγραφής μέσω της σύγκρισης των καταγεγραμμένων βλαβών με τα αποτελέσματα αποτίμησης σεισμικής συμπεριφοράς κατασκευών. Η τελευταία πραγματοποιείται με τη χρήση ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης (χρονοϊστορίας) και τη διαθέσιμη καταγραφή. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης αποτίμησης με τις καταγεγραμμένες βλάβες του ΤΟΕ βοηθά στην ερμηνεία των βλαβών και επιβεβαιώνει την αξιοπιστία της καταγραφής μέσω της ταυτοποίησης της απόκρισης των κατασκευών σε αυτή. Για την πραγματοποίηση της σύγκρισης προτείνεται η εξέταση διαφορετικών αριθμητικών προσομοιωμάτων, με διαφορετικές παραδοχές προσομοίωσης (με και χωρίς την επιρροή τοιχοπληρώσεων, την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής, την κρούση με γειτονικά κτήρια, κτλ) ώστε να διερευνηθεί η επιρροή των παραδοχών προσομοίωσης στο αποτέλεσμα της σύγκρισης και να μειωθεί η επιστημική αβεβαιότητα που συναρτάται με την προσομοίωση της κατασκευής. Τα παραπάνω εφαρμόζονται σε ένα τυπικό 5όροφο κτήριο οπλισμένου σκυροδέματος (Ο/Σ) του Δυρραχίου, το οποίο αποτελεί προσθήκη κατ' επέκταση κτηρίων από τοιχοποιία (σειρά κτηρίων από τοιχοποιία κατά μήκος ενός τετραγώνου). Το κτίριο βρίσκεται σε κοντινή απόσταση (<500m) από το σταθμό καταγραφής. Δημιουργούνται αριθμητικά προσομοιώματα διαφορετικής ακρίβειας και παραδοχών προσομοίωσης για την αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς του κτηρίου, το οποίο έχει σχεδιαστεί με βάση τους ισχύοντες κατά την περίοδο κατασκευής κανονισμούς της Αλβανίας. Παράλληλα, πραγματοποιείται αποτίμηση του ίδιου κτηρίου, σχεδιασμένου με βάση τους Ευρωκώδικες. Οι αναπτυσσόμενες βλάβες στα επιμέρους δομικά στοιχεία, όπως αυτές προκύπτουν από την ανάλυση και οι καταγεγραμμένες βλάβες από τον ΤΟΕ συγκρίνονται, αξιολογώντας την αξιοπιστία χρησιμοποίησης του πρώτου τμήματος της διακοπτόμενης καταγραφής και την προτεινόμενη προσέγγιση.

2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

Η πόλη του Δυρραχίου βρίσκεται θεμελιωμένη σε έδαφος ρευστοποιήσιμο, κατηγορίας C ή D σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του Ευρωκώδικα 8. Όπως αναφέρθηκε, η διαθέσιμη καταγραφή (επιταχυνσιογραφήματα σε 3 συνιστώσες) προέρχονταν από το σταθμό του Δυρραχίου και δεν ήταν συνεχής καθώς μετά τα πρώτα 15sec υπήρξε διακοπή ρεύματος (Σχήμα 1). Οι καταγεγραμμένες τιμές PGA στις 3 συνιστώσες ήταν 0.192g (NS), 0.122 (EW) & 0.114g (Ζ). Όπως τεκμηριώθηκε σε προγενέστερη ερευνητική εργασία [1], η μέγιστη τιμή της



καταγεγραμμένης επιτάχυνσης (PGA) ήταν σε πολύ καλή σύμπτωση με την αντίστοιχη που προέκυψε από την εφαρμογή εμπειρικών προσομοιωμάτων πρόβλεψης.

Καθώς η σύγκριση σε όρους PGA δεν αποτελεί σύγκριση του συχνοτικού περιεχομένου, προτείνεται η σύγκριση του πρώτου τμήματος της καταγραφής σε όρους φασματικής επιτάχυνσης, με πραγματικές καταγραφές επιλεγμένες με συμβατά κριτήρια. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν 19 σεισμοί από διεθνείς βάσεις δεδομένων (ESM (https://esm.mi.ingv.it/)&ITACA (http://itaca.mi.ingv.it/)), με βάση κριτήρια σχετικά με το μέγεθος ροπής (M_w), την επικεντρική απόσταση (R_{epi}) και την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση PGA, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 1: Διακοπτόμενη καταγραφή του σεισμού του Δυρραχίου, σύμφωνα με την [1]

| A/A | Date | Origin Time | Lat | Lon | м | Dep | Repi | Rjb | Rrup | Azim | Stn-Code | ITACA-ID | pga_E | pga_N | pga-Z |
|-----|----------|-------------|---------|---------|-----|------|------|-------|-------|-------|----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 15-09-76 | 3:15:18 | 46.285 | 13.203 | 6 | 6.8 | 11.2 | 6.3 | 6.56 | 51 | BUI | IT-1976-0027 | -91.341 | 108.4962 | 68.2487 |
| 2 | 15-09-76 | 9:21:18 | 46.3 | 13.174 | 6 | 11.3 | 10.8 | 5.08 | 8.25 | 36.5 | BUI | IT-1976-0030 | -86.7344 | -79.4974 | -78.8255 |
| 3 | 20-05-12 | 2:03:50 | 44.8955 | 11.2635 | 6.1 | 9.5 | 16.1 | 4.34 | 8.97 | 83.1 | MRN | IT-2012-0008 | -257.2346 | -258.7973 | 297.3042 |
| 4 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 16.8 | 7.64 | 13.58 | 66.8 | CRP | IT-2012-0011 | 117.1082 | 172.7792 | -83.2411 |
| 5 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 17.5 | 8.15 | 9.99 | 274.4 | FINO | IT-2012-0011 | 207.7426 | -234.2827 | 189.0658 |
| 6 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 15.8 | 3.56 | 5.13 | 129.5 | MOG0 | IT-2012-0011 | 235.6158 | 167.0749 | 124.1752 |
| 7 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 16.9 | 7.16 | 8.06 | 232.6 | SMS0 | IT-2012-0011 | 174.1668 | -175.3305 | -101.5088 |
| 8 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 14.4 | 4.86 | 6.68 | 267 | T0800 | IT-2012-0011 | -330.6002 | -248.9307 | -313.8456 |
| 9 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 14.3 | 5.69 | 11.29 | 296.9 | T0811 | IT-2012-0011 | -189.3182 | -201.9668 | 124.2583 |
| 10 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 15.5 | 8.4 | 9.18 | 216 | T0812 | IT-2012-0011 | -138.725 | -184.6639 | -108.8539 |
| 11 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 10.7 | 4.86 | 6.11 | 164.9 | T0818 | IT-2012-0011 | 238.4351 | 274.0546 | -205.413 |
| 12 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 14.2 | 9.4 | 15.19 | 0.005 | T0824 | IT-2012-0011 | 223.9723 | 141.7775 | 92.2776 |
| 13 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 11.2 | 5.92 | 6.98 | 195.9 | MIR03 | IT-2012-0011 | -204.0962 | 320.9977 | -398.2905 |
| 14 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 13 | 5.37 | 6.52 | 223.1 | MIR04 | IT-2012-0011 | 392.1106 | -301.1975 | 258.2568 |
| 15 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 15.8 | 10.62 | 11.25 | 192 | MIR05 | IT-2012-0011 | 173.8671 | 269.3132 | -148.8766 |
| 16 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 8.6 | 3.41 | 5.03 | 192.7 | MIR08 | IT-2012-0011 | 218.9704 | -242.97 | -306.6741 |
| 17 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 9.9 | 0 | 3.72 | 206 | T0802 | IT-2012-0011 | -258.796 | 290.708 | 170.588 |
| 18 | 29-05-12 | 7:00:02 | 44.8417 | 11.0657 | 6 | 8.1 | 6.1 | 0 | 6.08 | 136 | SANO | IT-2012-0011 | -170.893 | -216.652 | -306.162 |
| 19 | 22-12-03 | 11:15:56 | 35.71 | 121.1 | 6.5 | 4.7 | 12.7 | 0 | 0 | 0 | Cambria | San Simeon | 179 | 0 | 0 |

| Πίνακα | c 1: | Επιταγυνσι | ονοαφήματα | που επιλέ | θηκαν αι | πό τις βάσ | εις δεδομένω | v ESM & | ITACA |
|----------|------|------------|-------------|-------------|----------|------------|--------------|----------|---------|
| LTU WILL | 5 | Linnaloron | o pagipata. | 1000 011100 | | no ng pao | οις σσσσμονω | v Loni a | 1111011 |







Σχήμα 2: Ελαστικό φάσμα των δύο συνιστωσών της καταγραφής του Δυρραχίου και σύγκριση με τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης των 19 καταγραφών εντός εύρους μ±1σ (1α). Σύγκριση με το γεωμετρικά μέσο φάσμα (GMRotI50) [2] (1β).

Τα φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων (με τη θεώρηση 5% απόσβεσης) των επιλεγμένων επιταχυνσιογραφημάτων παρουσιάζονται στο Σχήμα 2α με γκρι χρώμα, με τη μέση τιμή τους $(\mu) \pm \mu$ ία τυπική απόκλιση (σ). Παρατηρείται ότι εντός του εύρους $(\mu \pm 1\sigma)$ των 19 καταγραφών, το μέσο φάσμα συγκρίνεται ικανοποιητικά με τα αντίστοιχα φάσματα των δύο οριζόντιων συνιστωσών της καταγεγραμμένης κίνησης (του πρώτου τμήματός της) στις δύο διευθύνσεις (NS και EW), κυρίως στην περιοχή του πλατώ των επιταχύνσεων η οποία είναι και πλέον σημαντική για την απόκριση των περισσοτέρων κατασκευών περιλαμβανομένης και αυτής που μελετάται στην παρούσα εργασία. Η σύγκριση βελτιώνεται περισσότερο, όταν χρησιμοποιείται το γεωμετρικά μέσο φάσμα (GMRotI50) [2] το οποίο είναι ανεξάρτητο της διεύθυνσης του επιταχυνσιογραφήματος (Σχήμα 2β). Με βάση τη σύγκριση αυτή προκύπτει το συμπέρασμα πως το φάσμα της (μη συνεχούς) καταγραφής είναι σε καλή σύμπτωση με το μέσο φάσμα σεισμών επιλεγμένων με συμβατά κριτήρια και πως το συχνοτικό περιεχόμενο του πρώτου τμήματος της διακοπτόμενης καταγραφής είναι το αναμενόμενο. Συνεπώς, μπορεί σε πρώτο επίπεδο να ειπωθεί πως η ισχυρή σεισμική κίνηση καταγράφηκε στα πρώτα 15sec και πως είναι ορθή και αξιόπιστη η χρήση του πρώτου τμήματος της καταγραφής για την αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς. Ωστόσο, το τελευταίο συμπέρασμα απαιτεί επιπλέον και σύγκριση των αποτελεσμάτων αποτίμησης με τις καταγεγραμμένες βλάβες μετά το σεισμικό γεγονός.

3 ΑΛΒΑΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΤΡ-Ν.2-89

Ο πρώτος αντισεισμικός κανονισμός στην Αλβανία χρονολογείται 6 περίπου δεκαετίες πριν, ενώ οι ισχύουσες αντισεισμικές διατάξεις είναι σε ισχύ από το 1989 (KTP-N.2-89). Σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό (όπως περιγράφεται και στις αναφορές [3] και [4]) η φασματική τιμή της επιτάχυνσης υπολογίζεται απο τη Σχέση 1:

$$S_a = k_E \cdot k_r \cdot \psi \cdot \beta_i \cdot g \tag{1}$$

,όπου kE είναι ο σεισμικός συντελεστής, kr είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας (ίσος με 1 για τυπικές κατασκευές) και ψ είναι δομικός συντελεστής, ο οποίος δίνεται από τον πίνακα 4 του κανονισμού. Ο συντελεστής βi κυμαίνεται από 0.65 έως 2.3 για έδαφος κατηγορίας Ι, από 0.65 έως 2.0 για έδαφος κατηγορίας ΙΙ και από 0.65 έως 1.7 για έδαφος κατηγορίας ΙΙΙ. Οι κατηγορίες Ι,ΙΙ,ΙΙΙ των εδαφών αντιστοιχίζονται στις κατηγορίες Α,Β & C του Ευρωκώδικα 8 [5]. Στον Αλβανικό κανονισμό ορίζονται οι τιμές του σεισμικού συντελεστή με βάση το έδαφος και τη σεισμική ένταση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

| | Σεισμικός Συνελεστής | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------|-----------|--|--|--|--|--|--|
| Κατηγορια Εδαφους | Ένταση VII | Ένταση VIII | Ένταση ΙΧ | | | | | | |
| Ι | 0.08 | 0.16 | 0.27 | | | | | | |
| II | 0.11 | 0.22 | 0.36 | | | | | | |
| III | 0.14 | 0.26 | 0.42 | | | | | | |

Πίνακας 2: Σεισμικός συντελεστής σύμφωνα με τον Αλβανικό κανονισμό KTP-N.2-89

Στο Σχήμα 3, παρουσιάζεται ενδεικτικά η σύγκριση του φάσματος του Ευρωκώδικα και του Αλβανικού κανονισμού KTP-89 [4] για έδαφος κατηγορίας B, PGA 0.32g, συντελεστή



σπουδαιότητας 1.0 και συντελεστή συμπεριφοράς q=3. Είναι εμφανές πως οι επιταχύνσεις σχεδιασμού με βάση τον ισχύοντα Αλβανικό κανονισμό, είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του Ευρωκώδικα. Σημειώνεται πως η επιτάχυνση 0.192g η οποία καταγράφηκε (σε μαλακό έδαφος) στο σταθμό του Δυρραχίου, είναι μικρότερη από την επιτάχυνση 0.27g στο βράχο που προδιαγράφεται για την περιοχή του Δυρραχίου (ΙΧ ένταση), η οποία είναι εν γένει μεγαλύτερη λόγω του εδαφικού προφίλ. Συνοψίζοντας, με βάση τα παραπάνω, διαπιστώνεται πως τα κτίρια σχεδιάστηκαν για μικρότερη σεισμική τέμνουσα σε σύγκριση με τον Ευρωκώδικα 8, ωστόσο η PGA ήταν χαμηλότερη από την αναμενόμενη με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια σύμφωνα με τον ισχύων κανονισμό.



Σχήμα 3 : Φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΚΤΡ-89 και τον ΕC8 [6].

4 ΤΑΧΥΣ ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΟ ΔΥΡΡΑΧΙΟ

Λίγες ημέρες μετά το σεισμό, επιθεωρήθηκαν 75 κτήρια στις πληγείσες περιοχές και ειδικότερα στην πόλη του Δυρραχίου και στο Θουμάνι. Η πλειονότητα των κτηρίων που επιθεωρήθηκε ήταν κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος (Ο/Σ) και το πιο συχνό στατικό σύστημα ήταν το πλαισιακό. Από τα κτήρια αυτά μόλις το 24% ήταν σχεδιασμένο με σύγχρονους κανονισμούς, ενώ η δεύτερη σε συχνότητα εμφάνισης κατηγορία ήταν η άοπλη τοιχοποιία με πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος (URM2-19%) [2]. Πρέπει να αναφερθεί ότι το δείγμα κτηρίων που μελετήθηκε δεν είναι αντιπροσωπευτικό ως προς τη σύνθεση του δομικού αποθέματος διότι ήταν αρκετά περιορισμένο ενώ, δεδομένου του εκπαιδευτικού χαρακτήρα της επίσκεψης, οι δειγματοληπτικοί έλεγχοι εστίασαν κυρίως σε κτήρια με σημαντικές βλάβες. Για τον λόγο αυτόν, τα παρακάτω αποτελέσματα έχουν αποκλειστικά ενδεικτικό χαρακτήρα και είναι στατιστικά συγκρίσιμα μόνο με αναλυτικότερες αναφορές διεθνών αποστολών για τον ίδιο σεισμό [4].

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του ταχέως οπτικού ελέγχου παρουσιάζονται στο Σχήμα 4, όπου συσχετίζεται ο βαθμός βλάβης (κλιμακωτά για κτήρια που δεν παρουσίασαν βλάβες μέχρι και κτήρια τα οποία κατέρρευσαν) με το στατικό σύστημα, και τον αριθμό των ορόφων. Λεπτομερέστερη αναφορά και ερμηνεία υπάρχει στις αντίστοιχες εκθέσεις [3] και [4]. Το πιο σύνηθες δομικό σύστημα που καταγράφηκε για κτήρια χαμηλά έως μέσου ύψους (αριθμός ορόφων<5) ήταν η άοπλη τοιχοποιία (URM1) και η άοπλη τοιχοποιία με πλάκες Ο/Σ (URM2). Αντίστοιχα, τα κτήρια μέσου ύψους μέχρι πολυώροφα (αριθμός ορόφων ≥5), ήταν στην πλειονότητά τους κτήρια Ο/Σ σχεδιασμένα με παλιούς (RC2) και σύγχρονους (RC4) κανονισμούς. Πρέπει να αναφερθεί ότι τα περισσότερα κτήρια στην πόλη του Δυρραχίου, ήταν μέσου ύψους έως πολυώροφα. Η πλειονότητα των μεσαίων έως ψηλών κτηρίων Ο/Σ που



σχεδιάστηκαν με σύγχρονους κανονισμούς (RC4) παρουσίασαν μικρές έως μέσες βλάβες, ενώ αυτά που ήταν σχεδιασμένα με παλαιούς κανονισμούς (RC2) καθώς και τα κτήρια από τοιχοποιία με πλάκες Ο/Σ (URM2), όπως αναμενόταν, μέσες έως σημαντικές βλάβες. Τα κτήρια Ο/Σ χαμηλού έως μέσου ύψους τα οποία είχαν σχεδιαστεί με σύγχρονους κανονισμούς, εμφάνισαν μικρές βλάβες [4].

Σχετικά με τον βαθμό βλάβης που καταγράφηκε στον ταχύ οπτικό έλεγχο, σημειώνεται πως τόσο τα χαμηλού έως μέσου ύψους κτήρια όσο και τα μέσου ύψους έως πολυώροφα κτήρια εμφάνισαν κυρίως αστοχίες τοιχοπληρώσεων εντός και εκτός επιπέδου, ενώ η αστοχία εντός επιπέδου ήταν πιο συχνή για τα χαμηλά κτήρια. Η καμπτική αστοχία υποστυλωμάτων Ο/Σ ήταν η πιο συχνή μορφή αστοχίας που παρατηρήθηκε σε κτήρια μέσου ύψους και στα πολυώροφα κτήρια, ενώ η διατμητική αστοχία και η αστοχία κοντού υποστυλώματος καταγράφηκε συχνότερα σε χαμηλά έως μέσου ύψους κτήρια, όπως αναμενόταν (Σχήμα 5). Συνολικά, η στάθμη και η έκταση των βλαβών που αναπτύχθηκε μπορούν να χαρακτηριστούν δυσανάλογες με τη σεισμική ένταση.



Σχήμα 4 : Στατικό σύστημα και στάθμη βλάβης των κτηρίων που επιθεωρήθηκαν [2] για κτήρια με λιγότερους (αριστ.) ή περισσότερους από 5 ορόφους (δεξιά).



Σχήμα 5 : Παθολογία των κτηρίων που επιθεωρήθηκαν [2].



5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ 5ΟΡΟΦΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑΧΥ ΟΠΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ

Όπως αναφέρθηκε, ο έλεγχος αξιοπιστίας χρήσης του πρώτου τμήματος της διακοπτόμενης καταγραφής πραγματοποιείται μέσω σύγκρισης αποτελεσμάτων ΤΟΕ και αναλύσεων αποτίμησης σεισμικής συμπεριφοράς. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε κτίριο από Ο/Σ, και συγκεκριμένα μια τυπική περίπτωση επέκτασης κατά πλάτος κτηρίων από τοιγοποιία (σειρά κτηρίων από τοιχοποιία κατά μήκος ενός τετραγώνου) το οποίο βρίσκεται σε κοντινή απόσταση (<500m) από το σταθμό καταγραφής. Το 5όροφο κτήριο Ο/Σ κατασκευάστηκε στο διάστημα 1995-2000, ενώ σχεδιάστηκε με τον ισχύοντα κανονισμό της Αλβανίας, KTP.N2-89. Το στατικό σύστημα είναι εύκαμπτο καθώς αποτελείται από πλαίσια και δοκούς-προβόλους, δεν υπάρχουν τοιχώματα Ο/Σ, ενώ η τοιχοπλήρωση δεν είναι κανονικά διατεταγμένη καθ' ύψος. To μεγαλύτερο ύψος του ισογείου και ο αυξημένος αριθμός ανοιγμάτων κατά μήκος της μικρότερης πλευράς του κτιρίου, οδηγούν σε μεγαλύτερη πιθανότητα αστοχίας μαλακού ορόφου. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει αντισεισμικός αρμός μεταξύ του κτηρίου και των παρακείμενων κτηρίων. Οι φωτογραφίες του κτηρίου πριν από τον σεισμό ελήφθησαν από το Google Earth (Σχήμα 6, (α)-(β), ενώ πληροφορίες σχετικά με το στατικό σύστημα, τα υλικά, τον ποιοτικό έλεγχο, κ.α. συλλέχθηκαν επί τόπου ή/και μετά από συζήτηση με τοπικούς μηχανικούς.

Το κτήριο επιθεωρήθηκε εξωτερικά, καθώς δεν ήταν δυνατή η είσοδος στο εσωτερικό. Παρατηρήθηκαν μέσες έως σημαντικές βλάβες με εμφανή και εκτεταμένη αποφλοίωση σκυροδέματος επικάλυψης στη βάση του υποστυλώματος (Σχήμα 6-(e),(f)), λυγισμός του διαμήκους οπλισμού και διατμητική αστοχία στα υποστυλώματα του ισογείου, και μόνιμες μετατοπίσεις (Σχήμα 6-(e)). Η αποκόλληση των τοιχοπληρώσεων είναι εμφανής σε αρκετές περιπτώσεις (Σχήμα 6-(c), (d), (e), (f)) καθώς και οι ρωγμές εντός επιπέδου (Σχήμα 6-(c), (e)). Επιπλέον, παρατηρείται διάβρωση του διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού (Σχήμα 6-(e), (f)), γεγονός που υποβάθμισε τη σεισμική ικανότητα των υποστυλωμάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι κόμβοι δοκών και υποστυλωμάτων είχαν γενικώς καλή απόκριση με μικρές καμπτικές ρωγμές και παραμορφώσεις κυρίως στο ισόγειο (Σχήμα 6-(f)). Η πλάκα οροφής κατέρρευσε μερικώς λόγω της επαφής και κρούσης του κτηρίου με το παρακείμενο κτήριο.







Σχήμα 6 : Φωτογραφίες του 5όροφου κτηρίου που επιθεωρήθηκε

6 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ 5ΟΡΟΦΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Για το 5όροφο κτήριο που επιθεωρήθηκε, συλλέχθηκαν γεωμετρικά στοιχεία και στοιχεία ποιότητας υλικών και όπλισης δομικών στοιχείων για τη διαμόρφωση των αριθμητικών προσομοιωμάτων και τη διενέργεια αναλύσεων για την καταγραφή του σταθμού του Δυρραχίου. Καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα τα σχέδια και η μελέτη του κτιρίου, ο οπλισμός των δομικών στοιχείων που θεωρήθηκε ήταν κατά προσέγγιση, σύμφωνα με συστάσεις μηχανικών της περιοχής σχετικά με την όπλιση δομικών στοιχείων σχεδιασμένων με τον KTP.N2-89 (Σχήμα 7- περίπτωση 1). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση της ίδιας (γεωμετρικά) κατασκευής με βάση τις -πιο αυστηρές σε σχέση με τον KTP.N2-89- διατάξεις των Ευρωκωδίκων (θεωρώντας a_g=0.27g) και ακολούθησε αποτίμηση της συμπεριφοράς για την καταγραφή του Δυρραχίου (Σχήμα 7- περίπτωση 2) για την ανάδειξη της διαφοράς της συμπεριφοράς των δύο κατασκευών στο συγκεκριμένο σεισμό και της ανάγκης αναθεώρησης των ισχυόντων κανονισμών στην περιοχή.





| Δα | οκοί | | | | | | |
|-----------|-------------|-------------|-------|-----------|----------|-------------|-------|
| Δοκοί 1οι | Δ1-Δ2-Δ3-Δ4 | 8Ф16П-6Ф16К | Φ8/10 | Δοκοί 4ου | Δ1-Δ2 | 6Ф16П-6Ф14К | Φ8/10 |
| | Δ6-Δ10 | 8Ф16П-6Ф16К | Φ8/10 | | ∆3-∆4 | 6Ф14П-4Ф14К | Φ8/10 |
| | Δ8 | 8Ф16П-6Ф14К | Φ8/10 | | Δ6-Δ10 | 6Ф14П-4Ф14К | Φ8/10 |
| | Προβολοι | 2Ф14П-2Ф14К | Φ8/10 | | Δ8 | 4Ф14П-3Ф14К | Φ8/10 |
| Δοκοί 2οι | Δ1-Δ2 | 8Ф16П-6Ф16К | Φ8/10 | | Προβολοι | 2Ф14П-2Ф14К | Φ8/10 |
| | Δ3-Δ4 | 8Ф16П-6Ф14К | Φ8/10 | Δοκοί 5ου | Δ1-Δ2 | 6Ф14П-4Ф14К | Φ8/10 |
| | Δ6-Δ10 | 8Ф16П-6Ф16К | Φ8/10 | | ∆3-∆4 | 4Ф14П-3Ф14К | Φ8/10 |
| | Δ8 | 6Ф16П-6Ф14К | Φ8/10 | | Δ6-Δ10 | 2Ф14П-2Ф14К | Φ8/10 |
| | Προβολοι | 2Ф14П-2Ф14К | Φ8/10 | | Δ8 | 2Ф14П-2Ф14К | Φ8/10 |
| Δοκοί 3οι | Δ1-Δ2 | 8Ф16П-6Ф14К | Φ8/10 | | Προβολοι | 2Ф14П-2Ф14К | Φ8/10 |
| | Δ3-Δ4 | 8Ф14П-6Ф14К | Φ8/10 | | | | |
| | Δ6-Δ10 | 6Ф14П-6Ф14К | Φ8/10 | | | | |
| | Δ8 | 6Ф14П-4Ф14К | Φ8/10 | | | | |
| | Ποοβολοι | 2Ф14П-2Ф14К | Φ8/10 | | | | |

Σχήμα 7 : Ιδιότητες υλικών και οπλισμού του 5όροφου κτηρίου

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις των δύο φορέων που περιεγράφηκαν παραπάνω τόσο για το πρώτο τμήμα της διακοπτόμενης καταγραφής όσο και για τους 19 σεισμούς που επιλέχθηκαν στην ενότητα 2. Επίσης διερευνήθηκε η επιρροή των παραδοχών προσομοίωσης στα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα. Οι διαφορετικές παραδοχές προσομοίωσης που εξετάστηκαν ήταν οι εξής:

(a) Η θεώρηση της αλληλεπίδρασης εδάφους – κατασκευής (SSI)

Το κτήριο είναι θεμελιωμένο σε μαλακό έδαφος και η θεμελίωση είναι επιφανειακή. Η επιρροή της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής στο υπολογιστικό προσομοίωμα λήφθηκε υπόψη με οριζόντια, κατακόρυφα και στροφικά ελατήρια, τα οποία έχουν μεγάλες τιμές (×10⁶ και ×10⁵ αντίστοιχα) λόγω της ποιότητας του εδάφους θεμελίωσης.

(β) Η θεώρηση επιρροής των τοιχοπληρώσεων στο ανελαστικό προσομοίωμα.

Δημιουργήθηκε ανελαστικό προσομοίωμα με θεώρηση κατανεμημένης πλαστικότητας στις δοκούς και στα υποστυλώματα και αλληλεπίδραση ροπής-τέμνουσας (aggregator) χρησιμοποιώντας το λογισμικό GiD+OpenSees Interface [5]. Σημειώνεται πως για την τέμνουσα θεωρήθηκε ο τριγραμμικός νόμος συμπεριφοράς που προτείνεται στην [6]. Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων λήφθηκε υπόψη με την υιοθέτηση της θλιβόμενης διαγωνίου κατά την (μονοτονική) ανελαστική στατική ανάλυση και της θλιβόμενης-εφελκυόμενης διαγωνίου στην ανάλυση χρονοϊστορίας. Η χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής του υλικού της τοιχοποιίας ελήφθη σύμφωνα με τη σχέση (2).

$$f_{wc,s} = \lambda_m \cdot \lambda_s \cdot \lambda_c \cdot k \cdot f_{bc}^{0.7} \cdot f_{mc}^{0.3} \approx 1.25 \cdot k \cdot f_{bc}^{0.7} \cdot f_{mc}^{0.3}$$
(2)

όπου $k \approx 0.45$ μια εμπειρική τιμή, $f_{bc} = 2.2MPa$ η θλιπτική αντοχή του πλίνθου και $f_{mc} = 5MPa$ η εφελκυστική αντοχή του κονιάματος. Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίστηκε από τη σχέση (3) ενώ η παραμόρφωση διαρροής ε_y ορίστηκε σύμφωνα με το Σχήμα 8 (εδώ λαμβάνεται ε_u=0.002).



Σχήμα 8 : Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με βάση τον κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ, 2017).



(γ) Η επιρροή της κρούσης γειτονικών κτηρίων

Δεδομένης της απουσίας αντισεισμικού αρμού και του ενδεχομένως σημαντικού παράγοντα της κρούσης των εν επαφή κτηρίων, χρησιμοποιήθηκε το προσομοίωμα Hertz όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 9. Σημειώνεται ότι το διπλανό κτήριο είναι ουσιαστικά ένα ολόκληρο οικοδομικό τετράγωνο, συνεπώς τόσο για τη δυσκαμψία (K_b) όσο και για τη μάζα (M) πρέπει να ληφθούν υπόψη μεγάλες τιμές ελατηριακών σταθερών (ελήφθησαν τιμές ×10⁷ και ×10⁶ αντίστοιχα). Η κρούση προσομοιώνεται σε κάθε στάθμη ορόφου ξεχωριστά υποθέτοντας ισοσταθμία των εν κρούση γειτονικών πλακών [7], με παραμέτρους που προσδιορίστηκαν μετά από δοκιμές, ώστε να ελαχιστοποιείται (σχεδόν να μηδενίζεται) η διείσδυση (penetration effect).



Σχήμα 9 : Προσομοίωση της κρούσης μεταξύ γειτονικών κτηρίων [6]

6.1 Αποτελέσματα ανελαστικών αναλύσεων αποτίμησης

Με βάση τα παραπάνω, δημιουργήθηκαν τα 4 προσομοιώματα όπως συνοψίζονται στον Πίνακα 3, στον οποίο αναφέρονται και οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι. Στα τρία πρώτα προσομοιώματα δε λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των τοιχοπληρώσεων. Στο τρίτο προσομοίωμα θεωρείται όπλιση με βάση τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 8, ενώ στο δεύτερο προσομοίωμα λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής.

| Περιγραφή ε | T_1 | T_2 | T_3 | |
|----------------------------|--|-------|-------|------|
| | (sec) | (sec) | (sec) | |
| Προσομοίωμα 1 (AB.F.NoI) | ΚΤΡ.Ν2-89 (Πάκτωση– Χωρίς τοιχοπλήρωση) | 1.58 | 0.44 | 0.28 |
| Προσομοίωμα 2 (AB.SSI.NoI) | 1.62 | 0.45 | 0.22 | |
| Προσομοίωμα 3 (EC8.F.NoI) | EC8 (0.27g) (Πάκτωση – Χωρίς τοιχοπλήρωση) | 1.29 | 0.33 | 0.19 |
| Προσομοίωμα 4 (AB.F.I) | 0.70 | 0.21 | 0.12 | |

Πίνακας 3 : Παραλλαγές του προσομοιώματος που μελετήθηκαν κατά την αποτίμηση

Αρχικά διενεργείται ανελαστική στατική (pushover) ανάλυση και χαράσσονται οι καμπύλες ικανότητας (pushover curves) στις δύο διευθύνσεις. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 η επιρροή των τοιχοπληρώσεων, είναι σημαντική (όπως ήταν αναμενόμενο) και στις δύο διευθύνσεις, τόσο στην αντοχή όσο και στη δυσκαμψία του συστήματος, ενώ μειώνεται με τη διαδοχική αστοχία των τοιχοπληρώσεων. Είναι επίσης εμφανής η διαφορετική μορφή της καμπύλης, η οποία οφείλεται στη διαδοχική αστοχία και τις βλάβες στις τοιχοπληρώσεις του πλαισίου. Οι πλαστικές αρθρώσεις αναπτύσσονται πρώτα στις δοκούς και στη βάση των υποστυλωμάτων ισογείου, για μετακινήσεις μεγαλύτερες από 0.1m ενώ η αστοχία των τοιχοπληρώσεων ξεκινά από





τοιχοπληρώσεις

Με βάση τα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης, τα οποία εκφράζονται σε όρους φασματικής επιτάχυνσης (S_a) – φασματικής μετακίνησης (S_d), δημιουργείται το φάσμα απαίτησης-ικανότητας (ADRS). Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται σύγκριση του φάσματος απαίτησης-ικανότητας με τα αντίστοιχα του Ευρωκώδικα 8 [8], του ισχύοντος Αλβανικού κανονισμού, της καταγραφής του σεισμού στο σταθμό του Δυρραχίου και των καταγραφών που επιλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων (+/- 1σ). Σημειώνεται πως για την παρουσίαση των συγκριτικών διαγραμμάτων ανά διεύθυνση, λήφθηκε υπόψη και ο προσανατολισμός του κτηρίου.



Σχήμα 11 : Φάσμα απαίτησης-ικανότητας (ADRS) για την EW(x) διεύθυνση (αριστερά) και την NS(y) διεύθυνση (δεξιά)

Σε ό,τι αφορά στη σεισμική απαίτηση, είναι εμφανές ότι το φάσμα ADRS της συνιστώσας EW του σεισμού έχει χαμηλότερες τιμές από το αντίστοιχο του Ευρωκώδικα και του Αλβανικού κανονισμού, εκτός από το εύρος περιόδων 0.15~0.3sec στο οποίο παρατηρείται υπέρβαση. Σημειώνεται ότι το ADRS φάσμα της συνιστώσας EW της καταγραφής του σταθμού του Δυρραχίου, είναι συμβατό με το μέσο φάσμα των καταγραφών που επιλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων. Ωστόσο, από το Σχήμα 11-δεξιά, προκύπτει πως το ADRS φάσμα της συνιστώσας NS της καταγραφής του σταθμού του Δυρραχίου υπερβαίνει το αντίστοιχο των κανονισμών καθώς και το μέσο φάσμα των καταγραφών που επιλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων. Η



υπέρβαση είναι εμφανής σε όλο το εύρος ιδιοπεριόδων και περισσότερο για T>0.7sec. Με βάση τη συγκρίσεις των ADRS φασμάτων των δύο συνιστωσών των καταγραφών προκύπτει το συμπέρασμα πως η καταγραφή, παρά το γεγονός ότι δεν είναι πλήρης λόγω της διακοπής ρεύματος κατά την καταγραφή, περιλαμβάνει το κομμάτι της ισχυρής σεισμικής κίνησης.

Σε σχέση με τα εναλλακτικά υπολογιστικά προσομοιώματα που χρησιμοποιήθηκαν σημειώνεται πως η επιρροή της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής προέκυψε αμελητέα, ενώ το προσομοίωμα με τις τοιχοπληρώσεις είναι πρακτικά το προσομοίωμα με τη μεγαλύτερη ακρίβεια στην προσομοίωση δυσκαμψίας και αντοχής, δίνοντας τη δυνατότητα να ληφθεί υπόψη η ανελαστική συμπεριφορά και οι αστοχίες δομικών και μη δομικών μελών. Σε ό,τι αφορά στη διαθέσιμη αντίσταση, σημειώνεται πως με βάση το λόγο απαίτησης/διαθέσιμης αντίστασης, οι βλάβες που αναπτύσσονται είναι μέσες έως σημαντικές και αφορούν κυρίως στις τοιχοπληρώσεις, ενώ καμπτικές και διατμητικές βλάβες εντοπίζονται στις δοκούς και στη βάση των υποστυλωμάτων ισογείου. Συνεπώς οι βλάβες είναι σε καλή συσχέτιση με αυτές που καταγράφηκαν από τον ταχύ οπτικό έλεγχο, ήτοι αποφλοίωση, διαγώνιες διατμητικές ρωγμές, καμπτική βλάβη και αποδιοργάνωση πυρήνα γωνιακών υποστυλωμάτων, κ.α.

Πίνακας 4 : Σχετικές μετακινήσεις για όλα τα προσομοιώματα που μελετήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τις δύο συνιστώσες της καταγραφής του Δυρραχίου και των σεισμών που επιλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων

| | Earth | quake X (14. | 3m - EW) | | | | Earthquake Y (6.45m - NS) | | | | | | |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|--|
| Earthquakes | Drift_1 (%) | Drift_2 (%) | Drift_3 (%) | Drift_4 (%) | Drift_5 (%) | Earthquakes | Drift_1 (%) | Drift_2 (%) | Drift_3 (%) | Drift_4 (%) | Drift_5 (%) | | |
| BUI0027NS | 0.27% | 0.38% | 0.36% | 0.30% | 0.21% | BUI0027WE | 0.33% | 0.28% | 0.28% | 0.22% | 0.19% | | |
| BUI0030NS | 0.21% | 0.30% | 0.28% | 0.24% | 0.17% | BUI0030WE | 0.18% | 0.25% | 0.24% | 0.19% | 0.13% | | |
| CRP_NS | 0.27% | 0.37% | 0.36% | 0.31% | 0.22% | CRP_WE | 0.22% | 0.21% | 0.21% | 0.19% | 0.15% | | |
| FIN0_NS | 0.35% | 0.36% | 0.37% | 0.43% | 0.35% | FIN0_WE | 0.35% | 0.45% | 0.40% | 0.30% | 0.28% | | |
| MIR03_NS | 0.36% | 0.41% | 0.37% | 0.35% | 0.28% | MIR03_WE | 2.23% | 1.79% | 1.10% | 0.74% | 0.55% | | |
| MIR05_NS | 0.22% | 0.26% | 0.34% | 0.38% | 0.32% | MIR05_WE | 0.47% | 0.45% | 0.42% | 0.38% | 0.29% | | |
| MIR08_NS | 0.43% | 0.49% | 0.42% | 0.53% | 0.45% | MIR08_WE | 1.12% | 1.12% | 0.89% | 0.64% | 0.46% | | |
| MOG0_NS | 0.56% | 0.54% | 0.71% | 0.67% | 0.46% | MOG0_WE | 0.45% | 0.46% | 0.42% | 0.38% | 0.35% | | |
| MRN_NS | 1.20% | 1.23% | 1.06% | 0.85% | 0.56% | MRN_WE | 1.31% | 1.64% | 1.32% | 0.66% | 0.40% | | |
| SAN0_NS | 0.64% | 0.72% | 0.62% | 0.52% | 0.37% | SAN0_WE | 0.51% | 0.60% | 0.49% | 0.46% | 0.35% | | |
| SMS0_NS | 0.29% | 0.37% | 0.37% | 0.44% | 0.41% | SMS0_WE | 0.52% | 0.59% | 0.57% | 0.50% | 0.35% | | |
| T0800_NS | 0.72% | 1.00% | 0.98% | 1.16% | 0.78% | T0800_WE | 0.80% | 0.83% | 0.75% | 0.63% | 0.42% | | |
| T0802_NS | 0.49% | 0.58% | 0.49% | 0.39% | 0.30% | T0802_WE | 0.36% | 0.41% | 0.39% | 0.39% | 0.32% | | |
| T0811_NS | 0.30% | 0.36% | 0.31% | 0.27% | 0.24% | T0811_WE | 0.37% | 0.41% | 0.41% | 0.35% | 0.29% | | |
| T0812_NS | 0.16% | 0.21% | 0.24% | 0.27% | 0.27% | T0812_WE | 0.81% | 0.85% | 0.77% | 0.64% | 0.41% | | |
| T0818_NS | 0.41% | 0.53% | 0.51% | 0.38% | 0.34% | T0818_WE | 1.43% | 1.46% | 1.12% | 0.64% | 0.42% | | |
| T0824_NS | 0.27% | 0.33% | 0.35% | 0.37% | 0.34% | T0824_WE | 0.28% | 0.26% | 0.26% | 0.25% | 0.18% | | |
| Max | 1.20% | 1.23% | 1.06% | 1.16% | 0.78% | Max | 2.23% | 1.79% | 1.32% | 0.74% | 0.55% | | |
| Min | 0.16% | 0.21% | 0.24% | 0.24% | 0.17% | Min | 0.18% | 0.21% | 0.21% | 0.19% | 0.13% | | |
| Model1 | | | | | | Model1 | | | | | | | |
| (AB.F.NoI)_17Equa | 0.42% | 0.50% | 0.48% | 0.46% | 0.36% | (AB.F.NoI)_17Equa | 0.69% | 0.71% | 0.59% | 0.44% | 0.32% | | |
| kes Mean | | | | | | kes Mean | | | | | | | |
| Model1(AB.F.NoI)_ | 0.64% | 0.85% | 0.75% | 0.52% | 0.32% | Model1(AB.F.NoI)_ | | | | | | | |
| DURR (EW) | 010170 | 010070 | 011070 | 010270 | 010270 | DURR (NS) | 0.65% | 0.80% | 0.74% | 0.59% | 0.38% | | |
| Model2(AB.SSI.NoI) | 0.67% | 0.86% | 0.76% | 0.53% | 0.33% | Model2(AB.SSI.NoI) | 0 530/ | 0.0707 | 0.740/ | 0.550/ | 0.000 | | |
| DURR (EW) | | | | | | DURR (NS) | 0.73% | 0.86% | 0.71% | 0.55% | 0.36% | | |
| Model3(EC8.F.NoI) | 0.58% | 0.78% | 0.76% | 0.57% | 0.38% | Model3(EC8.F.NoI) | | | | | | | |
| _ DURR (EW) | 0.0070 | | | 0.0170 | 0.0070 | _ DURR (NS) | 0.45% | 0.59% | 0.57% | 0.52% | 0.42% | | |
| Model4(AB.F.I)_ | 0.42% | 0.50% | 0.30% | 0.25% | 0.10% | Model4(AB.F.I)_ | | | | | | | |
| DURR (EW) | 0.4270 | 0.3970 | 0.3970 | 0.2570 | 0.1970 | DURR (NS) | 0.70% | 0.80% | 0.62% | 0.35% | 0.23% | | |

Αντίστοιχα αποτελέσματα σε σχέση με το βαθμό βλάβης προέκυψαν και από τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας όπως φαίνεται στον πίνακα 4. Τα σχετικά βέλη ορόφων (interstorey drifts) της τάξης του 0.35~0.85% στη διαμήκη διεύθυνση και 0.4~0.80% στην εγκάρσια διεύθυνση συσχετίζονται με μέσες ως σημαντικές βλάβες, όπως αυτές που παρατηρήθηκαν κατά τον ταχύ οπτικό έλεγχο και την ανελαστική στατική ανάλυση.

Η υστερητική συμπεριφορά στη βάση ενός υποστυλώματος φαίνεται ενδεικτικά στο Σχήμα 12 (a,b). Από τα αποτελέσματα ανελαστικής ανάλυσης, προκύπτει πως έχουμε ανάπτυξη ανελαστικής συμπεριφοράς, ενώ η απαιτούμενη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων είναι μεγαλύτερη από τη διαθέσιμη, συνεπώς η αποφλοίωση, ο λυγισμός διαμήκων ράβδων, κτλ που



παρατηρήθηκαν κατά τον ταχύ οπτικό έλεγχο ήταν αναμενόμενα. Η υστερητική συμπεριφορά στην εγκάρσια διεύθυνση (Σχήμα 12,b) είναι διαφορετική λόγω και της κρούσης μεταξύ γειτονικών κτηρίων και της σημαντικής αλλαγής της δυσκαμψίας. Επιπλέον ο λόγος απαιτούμενης προς διαθέσιμη αντοχής σε τέμνουσα (Vu) είναι περίπου 70%, ωστόσο η απαιτούμενη τιμή είναι μεγαλύτερη από την Ver όπως περιγράφεται στην [6], συνεπώς κάποιες διατμητικές ρωγμές, οι οποίες παρατηρήθηκαν και κατά τον ταχύ οπτικό έλεγχο είναι αναμενόμενες.



Σχήμα 12 : Υστερητική συμπεριφορά στη βάση υποστυλώματος (a,b) και τοιχοπλήρωσης (c) για το προσομοίωμα 1 και την καταγραφή Δυρραχίου

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία προτάθηκε προσέγγιση αξιολόγησης της καταγραφής του σεισμού στο Δυρράχιο της Αλβανίας, η οποία ήταν διακοπτόμενη, λόγω της διακοπής ρεύματος τη στιγμή του σεισμού. Προτείνεται η χρήση των πρώτων 15sec (από την αρχή της καταγραφής μέχρι τη διακοπή ρεύματος), χωρίς ωστόσο να είναι προφανές πως η χρήση της διακοπτόμενης καταγραφής είναι συνεπής. Τα βασικότερα συμπεράσματα ήταν τα εξής:

- Διαπιστώθηκε πως η καταγραφή του Δυρραχίου, αν και δεν ήταν συνεχής, περιέχει όλο το κομμάτι της ισχυρής σεισμικής κίνησης. Αυτό διαπιστώθηκε από (α) σύγκριση σε όρους φασματικών τιμών και συχνοτικού περιεχομένου με το μέσο φάσμα 19 καταγραφών επιλεγμένων από διεθνείς βάσεις δεδομένων με βάση κριτήρια σχετικά με το μέγεθος ροπής (M_w), την επικεντρική απόσταση (R_{epi}) και την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση PGA και (β) από την αποτίμηση κατασκευής για την καταγραφή του σταθμού Δυρραχίου και σύγκριση των αποτελεσμάτων με αποτελέσματα TOE για την επιβεβαίωση των αστοχιών.
- Για τη ρεαλιστική αποτίμηση της αντισεισμικής συμπεριφοράς και των βλαβών είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη κρίσιμες παράμετροι κατά την προσομοίωση και την ανάλυση (πχ. προσομοίωση, τοιχοπληρώσεων, κρούσης με γειτονικά κτήρια, κτλ). Αυτό διαπιστώνεται από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων ΤΟΕ και αποτίμησης για το σεισμό του Δυρραχίου τα οποία βρίσκονται σε πολύ καλή σύμπτωση σε ό,τι αφορά στις αναμενόμενες βλάβες και αυτές που τελικά αναπτύχθηκαν.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Duni, L., Theodoulidis, N. (2019). Short Note on the November 26, 2019, Durres (Albania) M6.4 Earthquake: Strong ground motion with emphasis in Durres city. In Institute of Engineering Seismology & Earthquake Engineering (ITSAK-EPPO). <u>https://doi.org/10.1541/ieejpes.139.nl12_1</u>
- [2] Boore D.M. (2010). Orientation-Independent, Non-geometric-Mean Measures of Seismic Intensity from Two Horizontal Components of Motion. Bulletin of the Seismological Society of America. 100(4):1830– 1835



- [3] Andonov, A., Baballëku, M., Baltzopoulos, G., Blagojević, N., Bothara, J., Brzev, S., Freddi, F., Isufi, B., Gentile, R., Giarlelis, C., Greco, F., Guri, M., Marinkovicć, M., Markogiannaki, O., Milicćevicć, I., Novelli, V., Sextos, A., Sim, C., Skoulidou, D., Stefanidou, S., Veliu, E. (2021) "M6.4 Albania Earthquake on November 26, 2019. Volume 4: Building Performance", EERI Earthquake Reconnaissance Report.
- [4] Sextos, A, Lekkas, E., Stefanidou, S., Baltzopoulos, G., Fragiadakis, M., Lombardi, L., Giarlelis, C., Markogiannaki, O., Mavroulis, S., Plaka, A., Pnevmatikos, N., Skoulidou, D., Tsopelas, P., & Tsiatas, G. (2020). ETAM Report on the Albania earthquake of November 26, 2019. Structural and Geotechnical Damage. <u>https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16153.24167</u>.
- [5] Papanikolaou, V.K., Kartalis-Kaounis, T., Protopapadakis, V.K. and Papadopoulos, T. (2017) "GiD+OpenSees Interface :An Integrated Finite Element Analysis Platform", Lab of R/C and Masonry Structures, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
- [6] Priestley, N., Verma, R., & Xiao, Y. (1994). Seismic Shear Strength of RC Columns. Journal of Structural Engineering, 120(8), 2310–2329.
- [7] Muthukumar, S., & DesRoches, R. (2006). A Hertz contact model with non-linear damping for pounding simulation. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35(7), 811–828.
- [8] CEN. (2004). European Standard EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings", Committee for Standardization. In Design (Vol. 3). European Committee for Standardization