

Ειδικές Εφαρμογές: Κατεδάφιση δεξαμενών με την μέθοδο της «υδροαντιναξης»

Στο 2^ο Συνέδριο Explosives and Blasting Technique της EFEE το 2003 παρουσιάστηκε μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση για ειδικές εφαρμογές σε εργασίες κατεδάφισης από τους G Berta και G Ottelli, ενώ σημαντική βιβλιογραφική πηγή αποτέλεσε και το άρθρο του T. Nielsen από το 2000 στο προηγούμενο συνέδριο.

Στη Σαρδηνία η Cantina Sociale S. Antioco (συνεταιριστική ένωση αμπελουργών Saint Antioco) μέσα σε κτήρια που βρίσκονταν σε βιομηχανική περιοχή, είχε 212 δεξαμενές ενισχυμένες με σκυρόδεμα για την αποθήκευση του κρασιού.

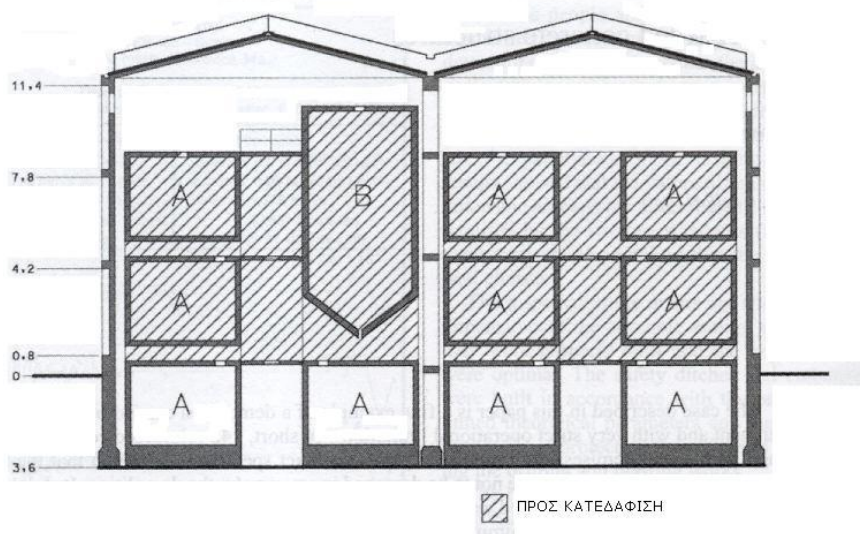
Οι δεξαμενές ήταν δυο διαφορετικών τύπων οι διαστάσεις των οποίων δίνονται στον πίνακα 1.

Τύπος	Διαστάσεις (mxm)	Ύψος (m)	Πάχος (m)
A	2.00 X 4.40	3.10	0.20
B	2.00 X 4.20	7.50	0.30

Πίνακας 1 Οι τύποι των δεξαμενών

Οι δεξαμενές ήταν τοποθετημένες σε τρία επίπεδα (εικ. 1), και η χωροθέτηση τους ήταν ως εξής:

- Πρώτος όροφος 67 δεξαμενές τύπου A
- Ισόγειο 67 δεξαμενές τύπου A
- Υπόγειο 78 δεξαμενές τύπου A
- Από το ισόγειο ως την οροφή 8 δεξαμενές τύπου B



Χωροθέτηση των δεξαμενών στο κτήριο

Όλες οι δεξαμενές του ισογείου και του πρώτου ορόφου έπρεπε να αφαιρεθούν (142 δεξαμενές στο σύνολο), ενώ οι 78 δεξαμενές στο υπόγειο επρόκειτο να παραμείνουν. Το έργο που έπρεπε να υλοποιηθεί ήταν η κατεδάφιση των 142 δεξαμενών. Αυτό το εγχείρημα ήταν όμως αρκετά δύσκολο και πολύπλοκο μιας και οι απαιτήσεις που υπήρχαν πολλές φορές ήταν αντικρουόμενες. Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις ήταν ότι η φέρουσα δομή και οι υπόλοιποι τοίχοι του κτηρίου δεν έπρεπε να πειραχθούν με κανένα τρόπο από την κατεδάφιση των δεξαμενών. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι τα στοιχεία που θα κατεδαφίζονταν ήταν ουσιαστικά σε επαφή με εκείνα που θα παρέμεναν. Επομένως, δεν έχουμε την περίπτωση μιας παραδοσιακής κατεδάφισης με στόχο την ολοκληρωτική κατεδάφιση του κτηρίου αλλά ήταν μια περίπτωση ανακατασκευής μέσα σε εγκαταστάσεις που λειτουργούσαν κανονικά. Προφανώς αυτό συνεπάγεται και τη συνεχή παρουσία ανθρώπων που δεν έπρεπε ούτε να ενοχληθούν ούτε να τεθούν σε κίνδυνο, κάτι που έκανε το έργο ακόμα πιο δύσκολο. Με βάση όλα αυτά, το έργο θα πραγματοποιούταν καλύτερα με την χρήση αργού μηχανικού εξοπλισμού κατεδάφισης χαμηλού θορύβου. Όμως αυτό δεν αποτελούσε επιλογή για την εκτέλεση του έργου μιας και η σημαντικότερη απαίτηση ήταν να εκτελεστεί το έργο σε όσο το δυνατόν συντομότερο χρονικό διάστημα. Η επιτυχία λοιπόν της όποιας λύσης εξαρτάται από την ικανότητα να ελεγχθούν και να μειωθούν ανάλογα με τις ανάγκες, τα καταστρεπτικά αποτελέσματα της όποιας διεργασίας.

Έχουμε λοιπόν συνοπτικά τους εξής περιορισμούς:

1. να μην διαταραχθούν φέροντα στοιχεία της κατασκευής (κολώνες, δοκάρια, πλάκες, και οροφή) ούτε τα εσωτερικά δωμάτια (συμπεριλαμβανομένων των γραφείων) και να μην υποβληθούν σε καταπόνηση, επισημαίνεται ότι η απόσταση μεταξύ των δεξαμενών και των υπόλοιπων στοιχείων που πρέπει να προστατευθούν ήταν μόνο 20 εκατοστά.
2. να μην παραχθεί δόνηση, θόρυβος ή σκόνη
3. να ολοκληρωθεί η εργασία σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

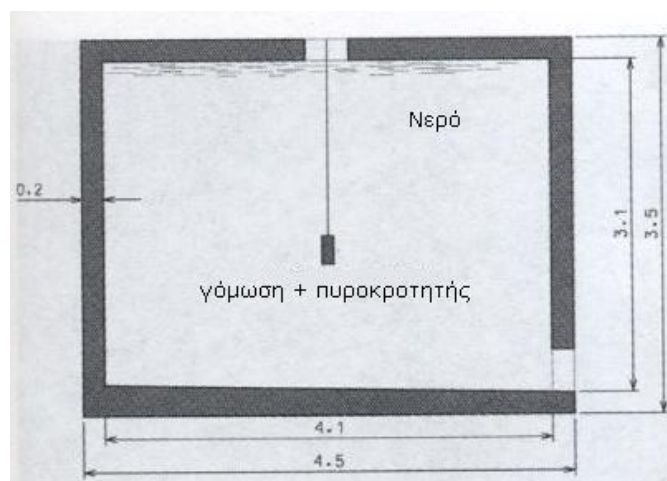
Οι συνέπειες των ανωτέρω περιορισμών ήταν να καταστεί αδύνατον να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία οποιαδήποτε από τις γνωστές παραδοσιακές λύσεις που υπάρχουν. Ήταν αδύνατο να χρησιμοποιηθούν εκρηκτικές ύλες με βάση τη συνηθισμένη διαδικασία διάτρησης γόμωσης πυροδότησης. Υπήρχε πολύ μεγάλη δυσκολία στη διάτρηση των λεπτών τοίχων των δεξαμενών, καθώς και στο διαχωρισμό των στοιχείων που κατεδαφίζονται από εκείνα που διατηρούνται. Η λύση των μηχανικών μέσων κατεδάφισης επίσης δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μιας και

με αυτό τον τρόπο θα προκαλούνταν συνεχής δόνηση, θόρυβος και σκόνη, με αποτέλεσμα τη μη εύρυθμη συνέχιση της λειτουργίας του υπόλοιπου χώρου αλλά και την όχληση των ανθρώπων. Τέλος η χρήση μεθόδων αδιατάρακτης κοπής μπετόν με αδαμαντοφόρα μηχανήματα ή κοπή με crushers απορρίφτηκε. Ίσως αποτελούσε την πιο ενδεδειγμένη λύση, αφού εξάλειφε όλα τα προηγούμενα προβλήματα, όμως η ολοκλήρωση ωστόσο του έργου με την διαδικασία αυτή ήταν πολύ χρονοβόρα.

Για να μπορέσουν να ταιριάξουν τόσο αντίθετες και πολύπλοκες απαιτήσεις που συμπεριλαμβάνουν την ακρίβεια της εργασίας, τον απόλυτο έλεγχο αλλά και την ταχύτητα, έπρεπε να γίνει μια λεπτομερής διαλογή όλων των διαθέσιμων σχεδίων κατεδάφισης. Βάση της εμπειρίας που υπήρχε και των στοιχείων που λήφθηκαν από τη εξειδικευμένη τεχνική βιβλιογραφία, και επιστρατεύοντας και την φαντασία, επινοήθηκε μια μέθοδος όπου συνδυάζε την χρήση εκρηκτικών υλών, το νερό, και τη χρήση μηχανικών μεθόδων κοπής με crushers.

Για την εξεύρεση της ενδεδειγμένης συνδυαστικής μεθόδου, σημαντικό ρόλο έπαιξε η παρατήρηση ότι η κοπή με crushers θα μπορούσε να είχε ένα καλό αποτέλεσμα σε εύλογο χρονικό διάστημα, με την προϋπόθεση ότι θα λειτουργούσε σε καταπονημένο υλικό, και όχι στο καλής ποιότητα ενισχυμένο σκυρόδεμα όπως αυτό των τοιχωμάτων των δεξαμενών.

Μια σύνθετη μέθοδος που χρησιμοποιείται, η «υδροανατίναξη», έχει σαν στόχο τη μεταφορά στους τοίχους της δεξαμενής της υπερπίεσης που προκύπτει ως αποτέλεσμα της έκρηξης μέσα στο νερό μιας κατάλληλου μεγέθους ποσότητας εκρηκτικής ύλης. Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή στην βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα της είναι αρκετά θετικά όταν είναι απαραίτητος ο πλήρης διαχωρισμός (η ολοκληρωτική κατεδάφιση) κούφια κατασκευών με λεπτά τοιχώματα από ενισχυμένο σκυρόδεμα (όπως οι δεξαμενές), όπου η συνηθισμένη διαδικασία διάτρησης γόμωσης πυροδότησης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αλλά για μια εργασία σαν αυτή που εξετάζεται εδώ, δεν είναι απόλυτα αποδεκτή, εφόσον χρειάζεται να διατηρηθούν οι βασικές δομές των κτηρίων και να κατεδαφιστούν μερικές από τις εσωτερικές δεξαμενές.



Δεξαμενή γεμάτη με νερό και γόμωση

Η ιδέα της κατανομής της ενέργειας στους τοίχους της δεξαμενής της ενέργειας, που προκύπτει από τη ανατίναξη, είναι αρκετά εποικοδομητική.

Η βασική ιδέα που προκύπτει είναι να υποβληθεί το σκυρόδεμα των δεξαμενών σε ένα έντονο δυναμικό φορτίο έτσι ώστε η κοπή με crushers θα μπορούσε να το κατεδαφίσει γρήγορα. Εύκολα γίνεται κατανοητό ότι με τη μείωση του βάρους της εκρηκτικής ύλης της γόμωσης, τα καταστρεπτικά αποτελέσματα θα μπορούσαν να μειωθούν.

Στην βιβλιογραφία βρέθηκαν αντίστοιχες περιπτώσεις όπου επισημαίνεται η δυνατότητα να καθοριστεί ο επιθυμητός βαθμός κατεδάφισης με τη μείωση της ποσότητας της εκρηκτικής ύλης της γόμωσης, συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο κάτωθι τύπος:

$$Q = 0,1 V \quad (1)$$

όπου Q = το βάρος της εκρηκτικής ύλης (kg) και το V = ο όγκος του νερού στη δεξαμενή προσθέτοντας 0,5 m από την επιφάνεια του εδάφους (m^3). Ο τύπος έχει εφαρμογή σε κοίλες κατασκευές, όπως οι δεξαμενές, με πάχος μέχρι 1,5 m.

Μερικά βασικά συμπεράσματα είναι:

1. όταν η γόμωση υπολογίζεται από την εξίσωση (1), θα γίνεται πλήρης κατεδάφιση του τοίχου
2. μειώνοντας σταδιακά το βάρος της γόμωσης, τα καταστρεπτικά αποτελέσματα στους τοίχους της δομής μειώνονται
3. με μια μείωση μεγαλύτερη από 80% το σκυρόδεμα παρουσιάζει μόνο επιφανειακές ρωγμές

Αυτό που τελικά προείχε ήταν να βρεθεί η ποσότητα της εκρηκτικής ύλης της γόμωσης που θα δημιουργούσε καταπονήσεις στα τοιχώματα ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει η κοπή με crushers.

Αρχικά όμως έπρεπε να πραγματοποιηθούν κάποιοι επιτόπου έλεγχοι για να φάνει κατά πόσο ήταν δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου. Από τους ελέγχους φάνηκε ότι η διαθεσιμότητα της απαραίτητης ποσότητας νερού δεν αποτελούσε πρόβλημα και ότι οι δεξαμενές ήταν σε άριστη κατάσταση και πολύ καλά συντηρημένες ενώ ήταν και απόλυτα υδατοστεγές. Υπήρξε όμως κάποια αμφιβολία ως προς την ικανότητα του εδάφους να απορροφήσει τις πολύ μεγάλες ποσότητες νερού που θα προέκυπταν μετά τις ανατινάξεις. Συνεπώς κάθε δεξαμενή τύπου Β (68 m³) κατεδαφίστηκε ξεχωριστά, και οι δεξαμενές τύπου Α (26 m³) κατεδαφίστηκαν ανά δύο, προκειμένου να περιοριστεί η ποσότητα του νερού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αποφασίστηκε να γίνει αρχικά μια δοκιμαστική εφαρμογή της μεθόδου ανατίναξης μέσα στο νερό έχοντας ως στόχο την χαλάρωση του σκυροδέματος των δεξαμενών ώστε να διευκολυνθεί στη συνέχεια η κοπή με crushers.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε δεξαμενή τύπου Α ξεκινώντας με γόμωση μερικών γραμμαρίων και έπειτα βαθμιαία αυξανόταν το βάρος της εκρηκτικής ύλης.

Οι γομώσεις ήταν από νιτογλυκερινούχα εκρηκτική ύλη με άριστη αντοχή στο νερό, ταχύτητα έκρηξης = 6500m/s και πυκνότητα 1.45. Η γόμωση τοποθετήθηκε στο κέντρο της γεμάτης με νερό δεξαμενής. Η απόσταση από τα τοιχώματα ήταν το ελάχιστο 1.0 μ και το μέγιστο. 2.8 μ. Η έναυση πραγματοποιήθηκε με μη ηλεκτρικό πυροκροτητή (εικ. 2).

Τα πρώτα αποτελέσματα (οι μικρές επιφανειακές ζημιές στους τοίχους της δεξαμενής) παρατηρήθηκαν με γόμωση περίπου 100 gr. Τα εμφανέστερα αποτελέσματα (πυκνές ρωγμές του σκυροδέματος που διευκολύνει στη συνέχεια τη κοπή με crushers) παρατηρήθηκαν με γομώσεις που περιέχουν 175-200 gr εκρηκτικής ύλης.

Αυτός ο τύπος δεξαμενής αποτελείται από 4 τοίχους με οπλισμένο σκυρόδεμα (δύο τοίχοι 2.00m X 3.10m και δύο τοίχοι 4.20m X 3.10m). Οι τοίχοι έχουν πάχος 20 cm και οπλισμό 2 Φ10/20 (2 ράβδοι διαμέτρου 10 mm. κάθε 20 cm).

Για να υπολογίσουμε την αντοχή της κάθε δεξαμενής, κάθε τοίχος θεωρείται ως πλάκα στερεωμένη στις τέσσερις πλευρές της. Με βάση υπολογισμούς η υποχώρηση αρχίζει στο κέντρο των τοίχων με διαστάσεις 4.20m X 3.10m (τοίχος C) υπό την πίεση υδροστατικού φορτίου 5,8 MPA.

Οι τοίχοι με διαστάσεις 2.00m X 3.10m (τοίχος D) παρουσιάζουν αντοχή σε υδροστατικό φορτίο μέχρι 14 MPA.

Ο πίνακας 2 παρουσιάζει τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στους τοίχους από το δυναμικό φορτίο που προκλήθηκε από την έκρηξη των διαφορετικού βάρους γομώσεων που βυθίζονταν στο νερό.

Ποσότητα εκρηκτικής ύλης (kg)	Τοίχος (mxm)	Μέγιστη Πίεση (Mpa)	Αποτελέσματα
0,050	4.20 x 3.10 (C)	17	Καμία φθορά
0,100	4.20 x 3.10 (C)	22	Αρχικές φθορές
0,250	4.20 x 3.10 (C)	31	Εκτεταμένες φθορές
0,050	2.00 x 3.10 (D)	7	Καμία φθορά
0,100	2.00 x 3.10 (D)	10	Καμία φθορά
0,250	2.00 x 3.10 (D)	14	Αρχικές φθορές

Πίνακας 2 Παρατηρούμενα αποτελέσματα των φθορών στους τοίχους

Η υποχώρηση στον τοίχο C εμφανίστηκε μετά από πίεση 22 MPA, σχεδόν 4 φορές περισσότερο απ' την πίεση που αναμενόταν (5,8 MPA).

Επομένως, υποθέτουμε ότι η αντοχή σε εφελκυσμό του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη σε δυναμικό φορτίο από ότι σε στατικό φορτίο. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η υποχώρηση των τοίχων D αρχίζει σε μια πίεση 14 MPA, δηλαδή στην υπολογισμένη τιμή πίεσης. Εδώ όμως μπαίνει ένα ερώτημα για αυτή την διαφορετική ένδειξη αντοχής σε δυναμικά φορτία από τους διαφορετικούς τοίχους της δεξαμενής. Η υπόθεση που υιοθετήθηκε για την απάντηση του ερωτήματος είναι ότι η υποχώρηση των τοίχων C, που έρχεται πρώτα, αλλάζει το πως κατανέμονται οι πιέσεις λόγω του περιορισμού μέσα στη δεξαμενή, μειώνοντας κατά συνέπεια την αντίσταση των τοίχων D που βρίσκονται μακρύτερα από τη γόμωση.

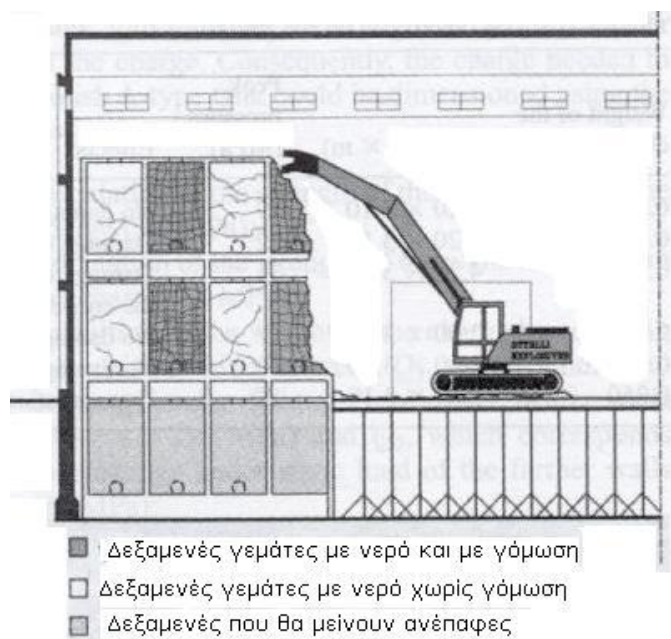
Κατά την ανατίναξη μέσα στο νερό, το μεγαλύτερο μέρος της χημικής ενέργειας της εκρηκτικής ύλης μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια από τα αέρια που επεκτείνονται σχεδόν ακαριαία, έτσι παράγεται ένα κρουστικό κύμα που μεταδίδεται μέσα στο νερό. Αυτό το αρχικό κύμα που διαρκεί μερικά μικροδευτερόλεπτα έχει την μέγιστη τιμή πίεσης που ασκείται στα τοιχώματα η οποία καθορίζεται από την ποσότητα της εκρηκτικής ύλης καθώς και από την απόσταση από το σημείο υπολογισμού.

Το πρώτο αυτό κύμα ακολουθείται από ένα δεύτερο λιγότερο έντονο, που σχετίζεται με την αδρανειακή κίνηση στη μάζα του νερού. Αυτό το κύμα, κατά το οποίο σχηματίζονται οι φυσαλίδες, επαναλαμβάνεται, και η πίεσή του είναι στο 20% από το αρχικό.

Η κατεδάφιση μιας κοίλης δομής, όπως οι δεξαμενές, με την μέθοδο της υδροανατίναξης μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά με βάση τυπολόγιο η απαιτούμενη ποσότητα εκρηκτικής ύλης που απαιτείται, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της κατασκευής αλλά και τον απαιτούμενο βαθμό της φθοράς που θέλουμε να επέλθει στα τοιχώματα. Συνεπώς, για να υπολογιστεί η ποσότητα εκρηκτικής ύλης της γόμωσης που θα χρησιμοποιηθεί για την κατεδάφιση της δεξαμενής θα πρέπει να γίνει ο υπολογισμός της αντοχής των τοίχων C και D συμπεριλαμβάνοντας και την βασική παρατήρηση για την διαφορετική αντοχή του τοίχου C από τον D όπως επισημάνθηκε προηγουμένως. Στη συνέχεια με βάση τις υπολογιζόμενες αντοχές θα γίνει ο καθορισμός του βάρους της εκρηκτικής ύλης της γόμωσης με την επιλογή της μεγαλύτερης τιμής. Η μεγαλύτερη γόμωση που υπολογίζεται αντιστοιχεί σε αυτή που χρησιμοποιείται για την κατεδάφιση.

Οι ποσότητες της εκρηκτικής ύλης των γομώνσεων που τελικά χρησιμοποιήθηκαν ήταν 175-250 gr για τις δεξαμενές τύπου A, και 750-1100 gr για τις δεξαμενές τύπου B.

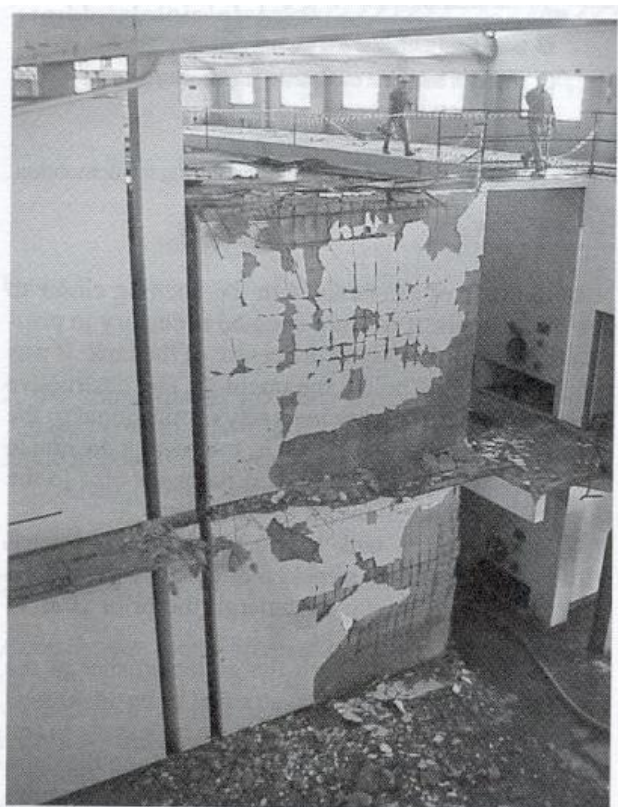
Στην περίπτωση των δεξαμενών που είχαν το άνοιγμα πιο κοντά σε έναν από τους τοίχους, δεν κρίθηκε απαραίτητο να τοποθετηθεί η γόμωση ακριβώς στο κέντρο της δεξαμενής. Βυθίστηκε απλά κάτω από το άνοιγμα. Τα καταστρεπτικά αποτελέσματα στους τοίχους ήταν αντιστρόφως ανάλογα προς την απόσταση από τη γόμωση. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί ότι οι εκρήξεις στις δεξαμενές προκαλούσαν φθορές επίσης στον πλευρικό τοίχο των παρακείμενων δεξαμενών. Συνεπώς, σε μια δεξαμενή που βρισκόταν ανάμεσα σε δυο άλλες όπου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υδροανατίναξης, μπορούσε να εφαρμοστεί κατευθείαν η κοπή με crushers.



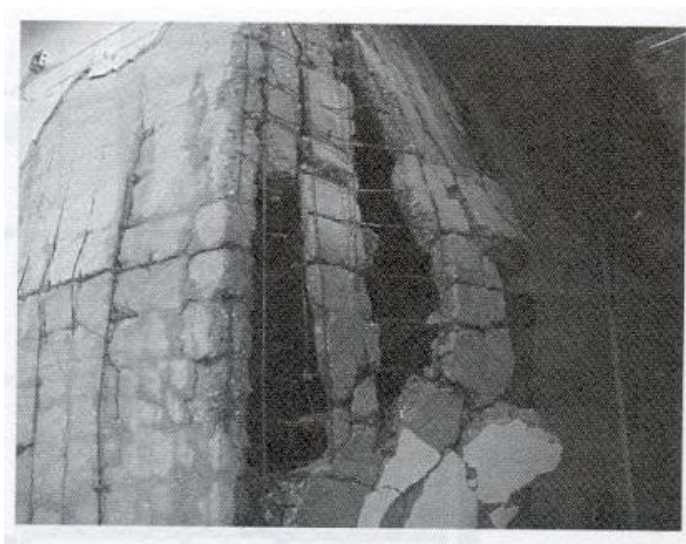
Η κατάσταση του κτηρίου κατά την διάρκεια των εργασιών

Για την ολοκλήρωση των κατεδαφίσεων των 142 δεξαμενών χρειάστηκαν 30 μέρες δουλειάς κάτι που κάλυψε την βασικότερη απαίτηση για γρήγορη εκτέλεση του έργου.

Από την συνολική παρουσίαση του εγχειρήματος και την περιγραφή της διαδικασίας εκτέλεσης αυτού του έργου και δεδομένου ότι το τελικό αποτέλεσμα ικανοποίησε όλες τις πλευρές, είναι εμφανές ότι οι συγγραφείς του άρθρου G Berta και G Ottelli θέλησαν να αντικρούσουν το στερεότυπο ότι οι εκρηκτικές ύλες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργασίες τέτοιων δύσκολων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων καθώς και να προτείνουν μια νέα μέθοδο υπολογισμού που λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της δομής που κατεδαφίζεται και όχι μόνο τον όγκο της.



Δεξαμενές μετά την εφαρμογή της μεθόδου υδροανατίναξης, οι κολώνες του κτηρίου είναι ανέπαφες



Φθορές στους τοίχους της δεξαμενής μετά την ανατίναξη