

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΒΑΣΕΩΝ
ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΑΤΜ ΤΥΠΟΥ NCR**

Βασίλης Κάρλος

Υποψήφιος Διδάκτωρ, Πολιτικός Μηχανικός
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα, Ελλάδα
E-mail: carlosva@mail.ntua.gr

Ξενοφών Λιγνός

Δρ. Μηχανικός, μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π.
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα, Ελλάδα
E-mail: lignosx@central.ntua.gr

Ιωάννης Βάγιας

Καθηγητής Πολιτικών Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα, Ελλάδα
E-mail: vastahl@central.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την βελτίωση της συμπεριφοράς μεταλλικών βάσεων στις οποίες εδράζονται μηχανήματα ΑΤΜ τύπου NCR. Ερέθισμα για τη διερεύνηση αυτή υπήρξε η αυξανόμενη προσπάθεια κλοπής μηχανημάτων ΑΤΜ με τη βοήθεια οχημάτων τα οποία μέσω έλξης οδηγούσαν την βάση σε αστοχία.

Διενεργήθηκαν πειράματα πραγματικής κλίμακας με χρήση μηχανήματος ΑΤΜ σε δύο τύπους βάσεων οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στην ελληνική επικράτεια. Οι πειραματικές διερευνήσεις οδήγησαν στην αποτύπωση των ευαίσθητων περιοχών της κάθε βάσης και τον επανασχεδιασμό της με σκοπό την βελτίωση της αντοχής και ακαμψίας της. Η αποτίμηση και ο σχεδιασμός των νέων βάσεων υποβοηθήθηκε με τη χρήση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων το οποίο μελετήθηκε διαφορετικές επιλογές λύσεων που οδήγησαν στο βέλτιστο σχεδιασμό. Οι νέες αυτές βάσεις εξετάστηκαν με παρόμοια πειράματα φόρτισης προκειμένου να γίνει η αντιπαραβολή αναλυτικών και πραγματικών αποτελεσμάτων.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

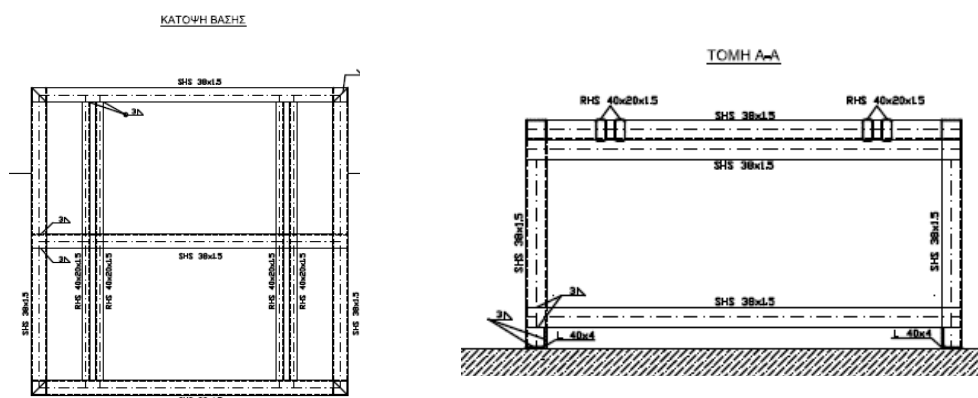
Τα μηχανήματα ΑΤΜ των τραπεζών τα οποία βρίσκονται σε εξωτερικούς οικίσκους έχουν αποτελέσει στόχο κλοπών, τα οποία έλκονται από οχήματα με αποτέλεσμα την αστοχία της βάσης τους. Η βάση αποτελείται από πλαίσια χαλύβδινων δοκών πάνω στην οποία εδράζεται κοχλιωτά το μηχάνημα και στη συνέχεια αγκυρώνεται με χημικά αγκύρια σε θεμέλιο οπλισμένου σκυροδέματος.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην πειραματική και αναλυτική διερεύνηση της συμπεριφοράς των υπάρχουσών μεταλλικών βάσεων της ελληνικής επικράτειας και τη διατύπωση προτάσεων για την ενίσχυσή τους και το σχεδιασμό νέων μεγαλύτερης αντοχής. Διενεργήθηκαν πειράματα στο εργαστήριο μεταλλικών κατασκευών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με σκοπό την αποτίμηση της αντοχής και των ευπαθών σημείων διαφόρων διατάξεων μεταλλικών βάσεων, ενώ στη συνέχεια τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν ως μέσο βαθμονόμησης ανάλογων αναλυτικών διερευνήσεων με τη βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων με απώτερο στόχο την δημιουργία βέλτιστων λύσεων για την ενίσχυση των βάσεων. Οι αναλύσεις αφορούν μηχανήματα ΑΤΜ τύπου NCR.

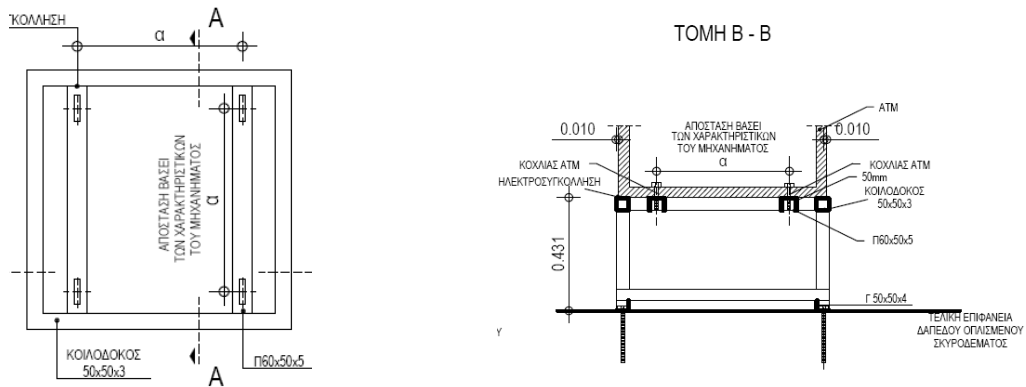
3. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΒΑΣΕΙΣ

3.1 Δοκίμια-Πειραματική διάταξη

Οι βάσεις που χρησιμοποιούνται στη συνήθη πρακτική διακρίνονται σε ελαφρού και βαρέως τύπου, οι οποίες συμβολίζονται με L (light) και H (heavy) και δίνονται στα Σχ. 1 και Σχ. 2. Οι βάσεις τύπου L αποτελούνται από διατομές με στραντζαριστά ελάσματα πάχους 1,5 mm, ενώ οι βάσεις τύπου H από κοίλες διατομές πάχους 3 mm. Όλες οι συνδέσεις είναι συγκολλητές. Η σύνδεση με το ΑΤΜ γίνεται επί εγκαρσίων δοκών με 4 κοχλίες Μ 16. Οι εγκάρσιες δοκοί αποτελούνται στα δοκίμια τύπου L από δύο ζεύγη κοίλων διατομών και στα δοκίμια τύπου H από δύο διατομές Π.



Σχ. 1. Κάτοψη και όψη βάσεων τύπου L



Σχ. 2. Κάτοψη και όψη βάσεων τύπου H

Συνολικά εξετάστηκαν πειραματικά 6 βάσεις, τρεις τύπου L (Light) και τρεις τύπου H (Heavy) με τους κοχλίες σύνδεσης και ένα μηχάνημα ATM. Τα πειράματα εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ. Η πειραματική διάταξη που κατασκευάστηκε αποτυπώνεται στο Σχ. 3 και αποτελείται από το μηχάνημα ATM που συνδέεται κοχλιωτά με τη βάση, η οποία συνδέθηκε με άκαμπτη χαλύβδινη πλάκα η οποία αντιπροσωπεύει το θεμέλιο με 8 κοχλίες. Το οριζόντιο φορτίο επιβλήθηκε μέσω εμβόλου και κατάλληλης διάταξης μάντων. Το φορτίο επιβλήθηκε σε ορισμένα δοκίμια στην άνω στάθμη της βάσης και στα υπόλοιπα σε ύψος 0,75 m απ' αυτήν. Η πρώτη διάταξη δίνει το μέγιστο δυνατό ελκτικό φορτίο, ενώ η δεύτερη αντιπροσωπεύει το ελάχιστο καθώς το ύψος αυτό θεωρήθηκε το μέγιστο από το οποίο μπορεί ένα όχημα να ασκήσει δύναμη σε ένα οικίσκο ATM.



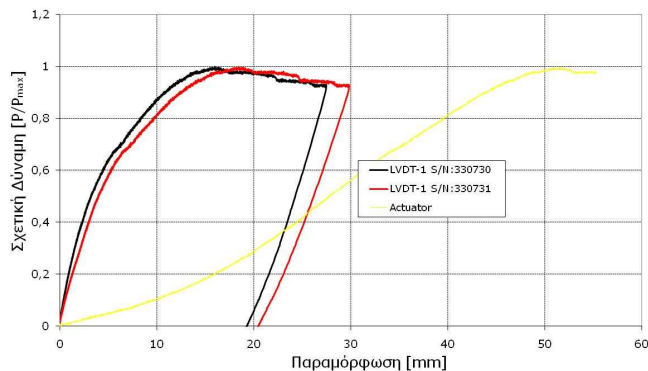
Σχ. 3. Πειραματική διάταξη για μικρό (αριστερά) και μεγάλο (δεξιά) ύψος επιβολής φορτίου

Για κάθε τύπο βάσης το πρώτο πείραμα έγινε στην άνω στάθμη αυτής ενώ τα δύο επόμενα σε ύψος 0,75 από αυτή. Το οριζόντιο φορτίο επιβλήθηκε με ελεγχόμενες παραμορφώσεις, ενώ στο έμβολο εφαρμόζεται ένα ηλεκτρονικό επιμηκυσιόμετρο τύπου Encoder. Η καταγραφή και ο έλεγχος του εμβόλου πραγματοποιούνται με την βοήθεια ενός realtime υπολογιστή – data acquisition PXI-SCXI της National Instrument με 80 κανάλια καταγραφής και έως 8 κανάλια ελέγχου επενεργητών. Εκτός των παραμορφώσεων του εμβόλου, μετρήθηκαν οι οριζόντιες μετατοπίσεις στην πίσω πλευρά των βάσεων με τη βοήθεια μηκυσιομέτρων LVDT.

3.2 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται σε καμπύλες δύναμης-μετατόπισης. Σε κάθε δοκίμιο αντιστοιχούν τρεις καμπύλες με τις πρώτες δύο να αποτελούν τις καταγραφές στην πίσω

πλευρά του δοκιμίου και την τρίτη την καταγραφή του εμβόλου. Η μετατόπιση του εμβόλου περιέχει τις μετατοπίσεις όχι μόνον του πλαισίου αλλά και την ολίσθηση του μηχανήματος ATM σε σχέση με τη βάση καθώς και τις ανοχές του συστήματος επιβολής της δύναμης (μάντες, κλειδιά). Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη μετατόπισης της πρέσας εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνει το όχημα κατά την έλξη του μηχανήματος, ενώ το αντίστοιχο εμβαδόν κάτω από τις καμπύλες μετατόπισης του πλαισίου την ενέργεια που απορροφά η ίδια η βάση. Η διαφορά των δύο ενεργειών εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνεται μέσω τριβής από τη σύνδεση του μηχανήματος με τη βάση καθώς και τα μικρά ποσά ελαστικής ενέργειας του συστήματος επιβολής του φορτίου. Στο Σχ. 4 φαίνεται η καμπύλη σχετικής δύναμης-μετατόπισης για μία από τις βάσεις τύπου L καθώς ενώ στο Σχ. 5 η αστοχία λόγω ρηγμάτων των συγκολλήσεων των κάτω κόμβων των υποστυλωμάτων.



Σχ. 4. Καμπύλη σχετικής δύναμης-μετατόπισης

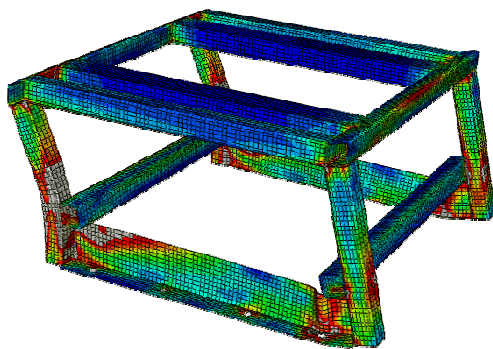


Σχ. 5. Αστοχία συγκολλήσεων

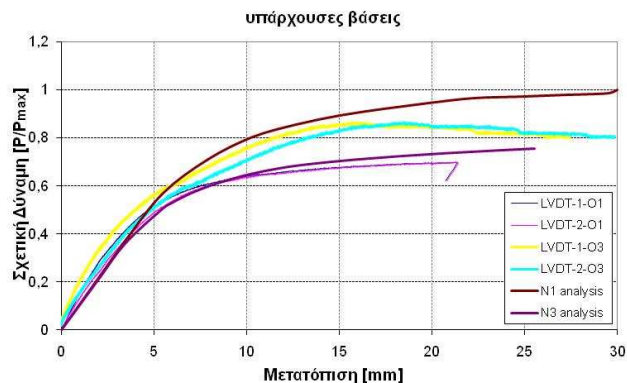
Στα δοκίμια τύπου Η τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια μιας και η γεωμετρία και οι συνθήκες φόρτισης δεν διαφέρουν. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι στα πειράματα με αυξημένο ύψος εφαρμογής του φορτίου αναπτύσσεται ροπή ανατροπής στη άνω στάθμη της βάσης, η οποία δημιουργεί εφελκυσμό στους πίσω κοχλίες σύνδεσης ATM – βάσης και θλίψη στους εμπρός. Η εφελκυστική δύναμη των κοχλίων μεταφέρεται ως δύναμη διάτρησης στο λεπτότοιχο κορμό των εγκάρσιων δοκών διατομής Π, η οποία οδηγεί τελικά σε αστοχία της βάσης.

3.3 Αναλυτικές διερευνήσεις

Η αναλυτική προσομοίωση έγινε με τη βοήθεια οκτακομβικών, εξαεδρικών στοιχείων με το πρόγραμμα ABAQUS 6.7 [1]. Το κριτήριο διαρροής von Mises [2] χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή της μοντέλου του υλικού, ενώ η αντοχή διαρροής και θραύσης του υλικού προήλθαν από πειραματικές εφελκυστικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο μεταλλικών κατασκευών του ΕΜΠ σε υλικό που προήλθε από τις υπό εξέταση βάσεις. Στο Σχ. 6 φαίνονται τα προσομοιώματα πεπερασμένων στοιχείων, ενώ στο Σχ. 7 παρουσιάζονται οι καμπύλες δύναμης-παραμόρφωσης της ανάλυσης και των πειραμάτων.



Σχ. 6. Προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων



Σχ. 7. Σύγκριση καμπύλων δύναμης-μετατόπισης

4. ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΕΣ ΒΑΣΕΙΣ

4.1 Σχεδίαση νέων βάσεων

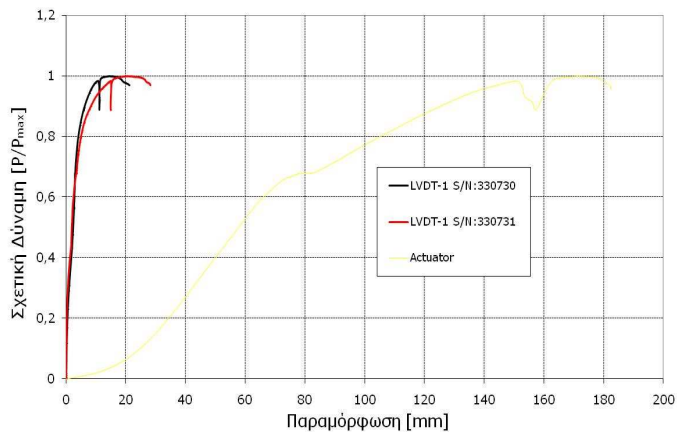
Μετά τη βαθμονόμηση των αποτελεσμάτων στις υφιστάμενες βάσεις ακολούθησαν διαδοχικές αναλύσεις όπου μεταβλήθηκαν τα γεωμετρικά δεδομένα και η διάταξη των βάσεων με στόχο την αναζήτηση βέλτιστων λύσεων ενίσχυσης των βάσεων.

Η αστοχία των βάσεων τύπου L προήλθε από ρηγματώσεις των συγκολλήσεων στους κύριους κόμβους του πλαισίου. Αποφασίστηκε η βελτίωση της ποιότητας των συγκολλήσεων, αν και το μικρό πάχος των διατομών (1,5 mm) καθιστά δύσκολη την εφαρμογή ποιοτικών συγκολλήσεων σε αυτές. Επιπλέον οι βάσεις αυτές βρίσκονται ήδη τοποθετημένες σε μεγάλο αριθμό μηχανημάτων με αποτέλεσμα να απαιτείται η ενίσχυση των υφιστάμενων βάσεων και όχι ο σχεδιασμός νέου τύπου. Από τις αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία, προέκυψε ότι η βέλτιστη λύση αποτελεί η ενίσχυση με συγκόλληση χιαστί συνδέσμων και στις δύο πλευρές. Με τον τρόπο αυτό το πλαίσιο πλέον καταπονείται κυρίως από αξονικές δυνάμεις, ενώ απομακρύνονται οι ροπές από τους κόμβους στους οποίους προκλήθηκε η ρηγμάτωση των συγκολλήσεων.

Οι βάσεις τύπου Η είχαν γενικώς ικανοποιητική συμπεριφορά. Το ασθενές τους σημείο ήταν οι εγκάρσιες δοκοί Π σύνδεσης της βάσης με το μηχάνημα, στις οποίες παρατηρήθηκε αστοχία λόγω διάτρησης εξαιτίας των κοχλιών της σύνδεσης του μηχανήματος με τη βάση. Για το λόγο αυτό η λύση που προτάθηκε ήταν η αντικατάσταση των διατομών Π με ζεύγη δοκών από κοίλες διατομές, όπως στις βάσεις τύπου L.

4.2 Πειραματική εξακρίβωση

Η συμπεριφορά των νέων βάσεων πειραματικά μέσω εκτέλεσης δοκιμών [3]. Εκτελέστηκαν 3 δοκιμές με δοκίμια τύπου SL (strengthened light) και 3 δοκιμές με δοκίμια τύπου SH (strengthened heavy). Η πειραματική διάταξη και οι μετρήσεις ήταν ίδιες όπως στις υφιστάμενες βάσεις. Στο Σχ. 7 απεικονίζεται η καμπύλη σχετικής δύναμης-παραμόρφωσης για τα δοκίμια τύπου SL ενώ στο Σχ. 8 η αστοχία της βάσης, η οποία προήλθε από θραύση της εφελκόμενης διαγωνίου ενώ επήλθε λυγισμός της θλιβόμενης διαγωνίου.



Σχ. 7. Καμπύλη σχετικής δύναμης-μετατόπισης τύπου SL Σχ. 8. Αστοχία εφελκυσμένης διαγωνίου

Η αστοχία των βάσεων τύπου SH οφείλεται πλέον στην ρηγμάτωση των συγκολλήσεων στους κάτω κόμβους του πλαισίου της βάσης και όχι στην αστοχία των δοκών τύπου Π λόγω διάτρησης.

5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΛΑΙΩΝ-ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΒΑΣΕΩΝ

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πειραμάτων παλαιών και ενισχυμένων βάσεων εμφανίζονται στον Πίν. 1 όπου εμφανίζονται τα οριακά φορτία, οι αντίστοιχες παραμορφώσεις στην πίσω πλευρά των βάσεων καθώς και η απορροφούμενη ενέργεια μέχρι την επίτευξη του οριακού φορτίου. Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα η ενίσχυση των βάσεων τύπου L με χιαστί συνδέσμους αυξάνει σημαντικά την αντοχή και την απορροφούμενη ενέργεια της βάσης, ενώ η αντικατάσταση των δοκών Π από κοιλοδοκούς των βάσεων τύπου Η προκαλεί μικρή αύξηση του οριακού φορτίου αλλά αρκετά μεγάλη αύξηση της απορροφούμενης ενέργειας, ιδιαίτερα αν το φορτίο εφαρμοσθεί με μεγαλύτερο ύψος (0,75m). Επιπλέον για το ρεαλιστικότερο ύψος εφαρμογής της ελκτικής δύναμης από το όχημα στην άνω στάθμη της βάσης (0 m), η αντοχή και η απορροφούμενη ενέργεια των ενισχυμένων βάσεων τύπου SL και HL είναι παρεμφερείς.

Τύπος Βάσης		L	H	SL	SH
Ύψος φόρτισης (0m)	Οριακό φορτίο P_u [kN]	P_{u1}	$7,2P_{u1}$	$6,4P_{u1}$	$7,0P_{u1}$
	Παραμόρφωση δ_u [mm]	29,86	24,50	37,78	15,00
	Απορροφούμενη ενέργεια E [kNmm]	E_1	$19,8E_1$	$20,9E_1$	$20,8E_1$
Ύψος φόρτισης (0,75m)	Οριακό φορτίο P_u [kN]	$0,9P_{u1}$	$4,6P_{u1}$	$3,5P_{u1}$	$5,3P_{u1}$
	Παραμόρφωση δ_u [mm]	26,70	12,87	11,32	25,63
	Απορροφούμενη ενέργεια E [kNmm]	E_1	$10,8E_1$	$8,4E_1$	$17,4E_1$

Πίν. 1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμών

6. ΕΛΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΒΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Για κρουστική φόρτιση η ορμή ενός οχήματος προσδιορίζεται από τη σχέση $I = m \cdot v$, όπου m η μάζα και v η ταχύτητα. Επομένως για βάρος οχήματος 6,8 t και υποτιθέμενη αναπτυσσόμενη ταχύτητα $v = 20$ km/h, η ορμή είναι ίση με:

$$I = \frac{68,0}{9,81} \cdot \frac{20}{3,6} = 38,5 \text{ kNsec} \quad (1)$$

Αν υποθεθεί ότι το κρουστικό φορτίο εξασκείται στο ATM σε χρονικό διάστημα 0,5 sec, η εξασκούμενη δύναμη είναι $38,5/0,5=77,0$ kN. Το βάρος αυτό αντιστοιχεί σε ένα σκαπτικό μηχανήμα μεγάλου μεγέθους.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις πειραματικές και αναλυτικές διερευνήσεις προέκυψε ότι οι παλιές βάσεις τύπου L χαρακτηρίζονται από μικρή αντοχή (P_u) ενώ η αστοχία τους επέρχεται στους κόμβους του κυρίως πλαισίου. Για την ενίσχυσή τους προτάθηκε η τοποθέτηση χιαστί συνδέσμων ορθογωνικής διατομής, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής ($7,5P_u$) κατά πολύ μεγάλο βαθμό. Επιπλέον η τοποθέτηση των ενισχύσεων είναι εύκολη ακόμα και σε μηχανήματα τα οποία είναι ήδη σε λειτουργία, μέσω επί τόπου συγκολλήσεων.

Οι παλιές βάσεις τύπου H έχουν ικανοποιητική αντοχή ($8P_u$), αλλά αστοχούν στις δοκούς σύνδεσης διατομής Π με το μηχανήμα και συγκεκριμένα λόγω διάτρησης εξαιτίας της εφελκυστικής δύναμης των κοχλιών. Για την ενίσχυση αυτού του τύπου των βάσεων αντικαθίστανται οι δοκοί διατομής τύπου Π από ζεύγη δοκών κοίλης διατομής. Η αντοχή των νέων βάσεων δεν αυξάνει σημαντικά αλλά βελτιώνεται κατά πολύ ο τρόπος αστοχίας των δοκών.

Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι αντοχές των ενισχυμένων βάσεων (τύποι SL και SH) είναι παρόμοιες, ενώ η αντοχή τους εξαντλείται όταν η ελκτική δύναμη φτάσει την αντίστοιχη ενός βαρέως ελκτικού μηχανήματος.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] HIBBITT, KARLSSON, SORENSEN, "HKS. ABAQUS User's manual; Version 5.7.", 1997.
- [2] VON MISES R., "Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand.", Göttinger Mathematisch-Physikalische Klasse Nach-richten, Vol. 1, 1913, pp. 582-592
- [3] Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: prEN 1993-1-1 "General rules and rules for buildings", (12-2003)

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOUR OF STEEL BASES FOR AUTOMATED TELLER MACHINES

Vasilis Karlos

Phd Student, Civil Engineer
National Technical University of Athens
Athens, Greece

E-mail: carlosva@mail.ntua.gr **Ξενοφών Λιγνός**

Xenofon Lignos

Dr. Engineer, Member of Special & Lab Teaching Staff
National Technical University of Athens
Athens, Greece

E-mail: lignosx@central.ntua.gr

Ioannis Vayas

Professor, Civil Engineering Dpt.
National Technical University of Athens
Athens, Greece

E-mail: vastahl@central.ntua.gr

1. SUMMARY

The current study aims in improving the behavior of steel welded bases of automated teller machines (type NCR). The need for such a study was derived from the growing pattern that thieves use in order to steal ATM's by towing the whole structure with a vehicle, resulting in the bases' failure.

Two types of ATM bases that are commonly used in Greek practice were tested at the laboratory of steel construction of National Technical University of Athens. For the tests an actual ATM was used. Failure modes of each base were derived through the experimental procedure, which were essential data for improving the behavior and stiffness of the structure. A finite element program was used for the evaluation and redesign of the new bases. Different geometries were tested numerically in order to derive the ideal solution. These new geometries were also tested by similar experiments as the old ones, which allowed the comparison of the experimental and numerical results between old and new bases.