

ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ
ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ
ΓΙΑ ΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σ' όλες τις εύχρηστες κοινωνίες, είτε αφορούν τη βιολογική και φυσική εργασία και ιδιαίτερα εκπόδευση είτε αφορούν ειδικώς τον κοινωνικό σχεδιασμό, περιλαμβανομένης πρό-
βλεψης ειδικών διατάξεων για τα χρηματιστικά των γυναικών (εκπόδευση και -κυρίως- χάρου), ως ένα πρώτο βήμα προς εξαεργασία των κοινωνικών και οικονομικών αναγκών (δηλ. ικανότητας παραγωγής ενέργειας).

Επειδή, όμως οι διατάξεις για την ευρωπαϊκή κοινωνία (π.χ. ΜΕ 90, ΕΚ 2 και ΕΚ 8) είναι και οι νέοι εργαζόμενοι (και οι μηδενικοί) κοινωνικοί πρόβλεψαν για τον χάρου και την εργασία της κοινωνίας πρόβλεψαν ειδικών και νέων όπως συνολικώς παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Εν προοίμιο, λοιπόν, να σημειωθεί ότι η εύχρηστη (και ιδιαίτερα διαδεχόμενη) εργασία είναι η διακρίση των χάρων όχι με βάση την "βιολογική" ποιότητα τους (π.χ. παραδο-
σικούς με βάση την εργασία διακρίσεις) αλλά με βάση δια-
~~κριτικές~~ χρηματιστικών, όπως:

- Η παραδοσιακή και η ενεργή με κινήσεις (Εκ) και με το βιολογικό γένος (Εκ), και όχι με την εργασία (Εκ)
- Ο λόγος με τους διακρίσεις (Εκ) όπως με την δια-
κριτική (Εκ)
- Ο λόγος με διακρίσεις ως προς την οικονομική εργασία διακρίσεις, και
- Η διακρίσεις των κινήτων των χρημάτων/χρημάτων.

Επίσης, πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι από τεχνολογική άποψη (παράγωγος) έχουν παρατηρηθεί γ παρατηρούμεν διευκολύνσεις στο έδαφος των χαλύβων, σε σχέση με παλαιότερες μεθόδους, ότι το έδαφος των επιδιωκόμενων χαρακτηριστικών (π.χ. από άποψη συμπεριφοράς ή μηχανισμού, από άποψη επιμερίσεων από σφύζες ή χημικής διεργασίας κ.λπ.) διερευνάται καλύτερα γ σε ευρωπαϊκό γ σε διεθνές επίπεδο.

Έχοντας, είναι χαρακτηριστικό γ να εγείρει ερωτήματα:

- EuroCode 8 (EC8), Aseismic Structures, December 1993

"... Developments are expected in the technology of steel reinforcement production in Europe, which may result in possible changes of the additional requirements for seismic structures..."

- Imperial College, EC8/Prenormative Research, September 1994

"... It is essential for steel manufacturers to effectively monitor production and produce reliable data on the mechanical characteristics of steels, and essentially on actual to nominal values, hardening, etc..."

- με μεγάλη ικανότητα παρατεταμένης και το μέγιστο φορτίο ($\epsilon_u > 0.01$) &

- με μεγάλο γόγγο τάσης θραύσεως ως προς την τάση διαρροής ($f_t/f_y > \dots$).

Για να ~~παρα~~^{υπάρχει} αντιστάση (οικονομικώς & «φιλόδοξος» υλός σχεδιασμός, π.χ. με γ_{Rd} & α_{CD}) απαιτείται

- Περιερισφύζον γόγγο τάσης θραύσεως ως προς την τάση διαρροής ($f_t/f_y < \dots$) &

- Περιερισφύζον με διαφοράς μεταξύ της πλαστικότητας ως προς την οπλισμένη τάση διαρροής ($f_{y,act}/f_{y,nom} < \dots$)

Έτσι, έχουν διαφορική οι σύγχρονες αντιστάσεις, όπως επηρεάστηκαν χρέως μεταξύ με βάση τους ελληνικούς κανονισμούς ΚΣΕ 2000 & ΚΤΧ 2000 αλλά τον διεθνή πρότυπο κανονισμό ΜΣΟΟ (οι ευρωπαϊκοί EC2 & EC8 αναπτύχθηκαν εν νομοίς όπως ελληνικοί ελληνικοί κανονισμοί

3. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η κομμή γ' ενδεία ενδέσται τω επιέρου, χαρακτηρι-
κόν τω χαίβαν' με τω επιέρου σλαμύβου τω
αποβασφινώ ερεχχαί είναι - προχμής - δ' ενωμ.

Is τωμ παραίρτος αχέρβου η εχμής τρέβου
τω κωκισφιν γα τω ιωκώμτα πωβωμής εφωφίς
πρωφίμής εφωφίμ τω αχέρβου εφωφίμ:

Εχμής, τωμ με βάμ τω εχμής (γ τω εφωφίμ)
κωκισφιν δ' εν γ με βάμ τω δ' εν τωμ τωμ
κωκισφιν MC 90, η δ' εν ^(β. εφωφίμ) είναι εφωφίς εφωφίμ
τω ~~αχέρβου~~ τω χαρακτηριμής αχέρβου τω χ' εν
δ' εν τω γωφίμ $E_u \cdot (f_t/f_y)$ τω γωφίμ
Αχέρβου αχέρβου

$E_u \cdot [1 - (f_y/f_t)]$, όπως αποδεικνύεται για εφωφίμ.

Επει, γα τω μεγαλώμης τω δ' εν αποβόμ
ιωκώμ τωμ τωμ γα τω E_u δ' εν γ γα τω
δ' εν f_t/f_y .

Αφω, τωμ δ' εν τω εφωφίμ αποβόμ με
εφωφίμ γα τω ιωκώμτα πωβωμής εφωφίς γ
τω επιέρου τω χαρακτηριμής τω χαίβαν.

Όπως αποδεικνύεται (δ' εν τωμ αχέρβου γ λερχίμ)

όπως κα χαρακτηριστική πρακτική των χαζών
έχουν επιφανής επιρροή ενώ διαδέχεται χαρακτηρισ-
τικών των μαζικών φαινομένων, δηλ. οι φίλοι
5 στη βάση.

Κείμενο

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Χάλυβες υψηλής πλαστιμότητας (H), όταν:

$$\varepsilon_{uk} > 5.0\% \dots\dots\dots (3.1\alpha)$$

και

$$(f_t / f_y)_k > 1.08 \dots\dots\dots (3.1\beta)$$

- Χάλυβες συνήθους πλαστιμότητας (N), όταν:

$$\varepsilon_{uk} > 2.5\% \dots\dots\dots (3.2\alpha)$$

και

$$(f_t / f_y)_k > 1.05 \dots\dots\dots (3.2\beta)$$

όπου:

ε_{uk} χαρακτηριστική τιμή της ανηγμένης παραμόρφωσης υπό το μέγιστο φορτίο, που ειδικώς για αυτήν την παράμετρο εκτιμάται με πιθανότητα υπέρβασης 10% αντί της συνήθους 5%,

f_{tk} χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής.

Η μελέτη πρέπει να βασίζεται σε κατηγορία χάλυβα που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή χαρακτηριστικής αντοχής f_{yk} .

Σχόλια

Οι υψηλής πλαστιμότητας χάλυβες που τοποθετούνται στις κρίσιμες περιοχές δομικών στοιχείων, με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει να ικανοποιούν και τις πρόσθετες απαιτήσεις του πίνακα Σ 3.1.

Πίνακας Σ 3.1: Πρόσθετες ιδιότητες χαλύβων για οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
Χαρακτηριστικές τιμές σε ποσοστημόριο 90%		ΜΕ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ		ΧΩΡΙΣ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ	
		ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΛΟΠΙΠΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΛΟΠΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
I	Ομοιόμορφη ϵ_{uk}	$\geq 7\%$	Χάλυβας	Χάλυβας	Χάλυβας
II	$(f_t / f_y)_k$	≥ 1.1			
III		≤ 1.35	H	H	H (ή N)
IV	$(f_{y,act} / f_{y,nom})_k$	≤ 1.3			
Οι απαιτήσεις (I) και (II) εξασφαλίζουν μεγαλύτερα μήκη και στροφές πλαστικών αρθρώσεων και μεγαλύτερη αντοχή μετά την αποφλοιώση, και κατά συνέπεια μεγαλύτερη τοπική (και γενική) πλαστιμότητα των στοιχείων (και των φορέων).					
Οι απαιτήσεις (III) και (IV) εξασφαλίζουν αξιόπιστο και οικονομικό έλεγχο / περιορισμό των κατά τα άλλα επιθυμητών και επιδιωκόμενων μετελαστικών παραμορφώσεων και μηχανισμών.					

Τα πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και 971 ορίζουν τις εξής κατηγορίες χάλυβα:

S220, S400, S500, S400s, S500s

όπου οι αριθμοί αντιστοιχούν στην χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής μετρούμενη σε MPa.

Ο προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών, περιλαμβανομένης και της επιμήκυνσης στο μέγιστο φορτίο θα γίνεται με βάση τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1045, EN 10002 (μέρη 1 έως 5) και ISO/CD 15630-1.

1/3

Η επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο $\epsilon_{u,k}$ μετριέται μακριά από το λαιμό/εν γένει είναι πολύ μικρότερη από την επιμήκυνση μετά τη θραύση ϵ_s η οποία μετριέται επί μήκους $5d$ εκατέρωθεν του λαιμού θραύσης.

Οι τιμές που δίνονται στον Πίνακα 3.2-1 δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις αυξημένης πλαστιμότητας που θέτουν οι σύγχρονοι Κανονισμοί. Στον Πίνακα Σ3.2.-1 δίνονται τέτοιες απαιτήσεις, υπό τις σύγχρονες αντιλήψεις. Από τη σύγκριση των Πινάκων 3.2.-1 και Σ3.2.-1 είναι εμφανής η ασυμφωνία που υπάρχει μεταξύ των σύγχρονων Κανονισμών και των Προτύπων ΕΛΟΤ959 και ΕΛΟΤ 971 στα οποία εκ των πραγμάτων βασίζεται ο Κανονισμός αυτός. Μέχρι να ενσωματωθούν οι σύγχρονες αυτές αντιλήψεις στο κείμενο του Κανονισμού (βλ και Σχόλιο της Παραγρ. 2.1.3) ο χρήστης μπορεί να απαιτεί από τους προμηθευτές, χάλυβες που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της μελέτης για αυξημένη πλαστιμότητα (τελευταία στήλη του Πίνακα Σ3.2-1).

3.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος δίνονται στον Πίνακα 3.2-1.

Για το όριο διαρροής f_y , την εφελκυστική αντοχή f_t και την ανηγμένη παραμόρφωση μετά την θραύση ϵ_s οι αναφερόμενες τιμές είναι χαρακτηριστικές με ποσοστημόριο $p=95\%$, ενώ για τον λόγο f_t/f_y οι τιμές είναι οι ελάχιστες.

Οι τιμές των f_y και f_t υπολογίζονται με βάση την πραγματική διατομή.

Όταν δεν υπάρχει διακεκριμένο όριο διαρροής, θα προσδιορίζεται το συμβατικό όριο διαρροής $f_{0,2}$.

Πίνακας 3.2-1 Μηχανικά χαρακτηριστικά χάλυβων κατά ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971

Μέγεθος	Κατηγορία				
	S220	S400	S500	S400s	S500s
Όριο διαρροής, f_y (MPa)	220	400	500	400	500
Εφελκυστική αντοχή, f_t (MPa)	340	500	550	440	550
Λόγος της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής, f_t/f_y	-	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$
Επιμήκυνση μετά τη θραύση, ϵ_s (%)	24	14	12	14	12

Πίνακας Σ3.2-1 Ειδικές απαιτήσεις χάλυβων για λόγους αυξημένης πλαστιμότητας, κατά τους σύγχρονους Κανονισμούς

Μέγεθος	ENV 1998: 1994 (Ευρωκώδικας 8)		prEN 10080 (έκδοση 1999) ⁽¹⁾	ΝΕΚΩΣ-95 ⁽²⁾ (υπό αναθεώρηση 2000)
	Κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας M (μέση)	Κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας Y (υψηλή)	Χάλυβας κατηγορίας C ($f_{yk}=450 \text{ N/mm}^2$ ⁽⁵⁾)	
f_t/f_y	$\geq 1,15$ ⁽³⁾ $\leq 1,35$ ⁽³⁾	$\geq 1,20$ ⁽³⁾ $\leq 1,35$ ⁽³⁾	$\geq 1,15$ ^{(4), (6)} $\leq 1,35$ ^{(4), (6)}	$\geq 1,10$ ⁽⁴⁾ $\leq 1,35$ ⁽⁴⁾
$\epsilon_{u,k}$ (%)	$\geq 6,0$	$\geq 9,0$	$\geq 7,5$ ⁽⁴⁾	$\geq 7,0$ ⁽⁴⁾
$f_{y,act}/f_{y,nom}$	$\leq 1,25$	$\leq 1,20$	$\leq 1,20$ ^{(4), (6)}	$\leq 1,30$ ⁽⁴⁾

(1) Επί των τιμών αυτών υπάρχει η σύμφωνη γνώμη της Επιτροπής του Ευρωκώδικα 8

(2) Οι τιμές αυτές θα μπορούσαν να θεωρηθούν απαιτητές στη μεταβατική περίοδο, μέχρι τη μετατροπή του ENV 1998 (Ευρωκώδικας 8) ή του prEN10080 σε Πρότυπα EN (βλ. και Σχόλιο της Παραγρ. 2.1.3)

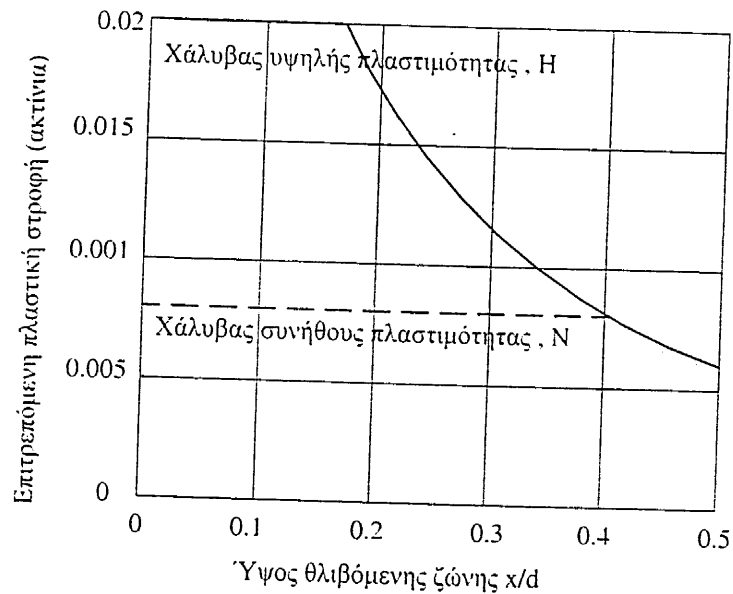
(3) Μέσες τιμές

(4) Χαρακτηριστικές τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστημόριο $p=90\%$ εκτιμώμενο με πιθανότητα $\alpha=90\%$

(5) Χαρακτηριστική τιμή που αντιστοιχεί σε ποσοστημόριο $p=95\%$ εκτιμώμενο με πιθανότητα $\alpha=90\%$

(6) Οι τιμές των f_y , $f_{y,act}$, f_t υπολογίζονται με βάση την ονομαστική διατομή.

§ 8.3 Πλαστική ανάλυση



Σχήμα 8.1: Επιτρεπόμενη πλαστική στροφή

- Έλεγχος ΟΚΑ υφισταμένων κατασκευών
- Διηλές πλαστικές αρθρώσεις στο μέσο δοκών με $L/h \approx 6$
- Μεγαλύτερες τιμές για ελκάρσιο οριακό κ περιφερειών

2.2.4.4 Ductility

Adequate ductility is necessary whether or not moment redistribution is taken into account in the calculations.

The characteristic value of the ratio (f_t/f_y) corresponds to the 5% fractile of the relation between actual tensile strength and actual yield stress.

Three ductility classes are defined for design purposes.

These classes are defined by minimum specified values for the characteristic value of the ratio (f_t/f_y) and the characteristic elongation at maximum load ϵ_{yk} , as follows:

$$\text{Class A: } \left(\frac{f_t}{f_y} \right)_k \geq 1.08 \quad \text{and} \quad \epsilon_{yk} \geq 5\%$$

$$\text{Class B: } \left(\frac{f_t}{f_y} \right)_k \geq 1.05 \quad \text{and} \quad \epsilon_{yk} \geq 2.5\%$$

$$\text{Class S: } \left(\frac{f_t}{f_y} \right)_k \geq 1.15 \quad \text{and} \quad \epsilon_{yk} \geq 6\%$$

Class S should be used where high ductility of the structure is required (e.g. in seismic regions).

In seismic design an additional requirement for Class S can be introduced

$$\text{Class S: } \frac{f_{y,act}}{f_{y,nom}} \leq 1.3.$$

3.7 Rotation capacity

In order to facilitate practical applications, the abscissas of Fig. 3.7.2 represent the design values of the normalised neutral axis depth (conventionally calculated for $f_{cd}, f_{sd}, \epsilon_c \leq 0.010, \epsilon_s \leq 0.0035$ in the critical section).

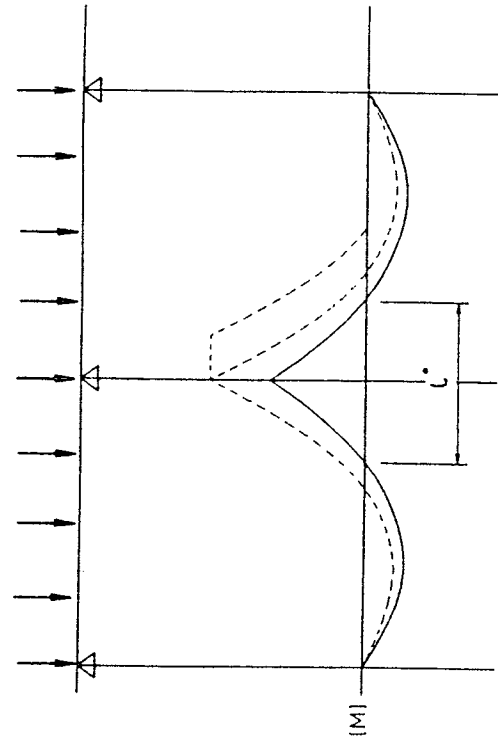
The maximum plastic rotation capacity occurs at a value x/d , when the concrete strain reaches the value ϵ_{cs} and the reinforcement is strained to the uniform elongation ϵ_s . For smaller values of x/d , failure is caused by rupture of the reinforcement; for higher values of x/d by crushing of the concrete in the compressive zone.

For high values of x/d , failure may occur before yielding of the reinforcement. Therefore, the influence of the type of reinforcement on the plastic rotation capacity decreases with increasing values of x/d .

Fig. 3.7.2 has been calculated applying the 5%-fractile of the material parameters for reinforcement and concrete, these values are sufficiently conservative.

Fig. 3.7.2 neglects the favourable influence of transverse reinforcement and of longitudinal reinforcement in the compression zone. The favourable effect of well developed shear cracks is taken into account.

Fig. 3.7.2 is valid for a slenderness $l^*/d = 6$. For other values of l^*/d , the rotation capacity may be multiplied by the factor $\sqrt{\frac{1}{6} l^*/d}$



In general, in the region of a plastic hinge, a constant height x of the compression zone may be assumed.

In the absence of a more rigorous analysis, the plastic rotation capacity may be estimated by Fig. 3.7.2 instead of eq. [3.7-2].

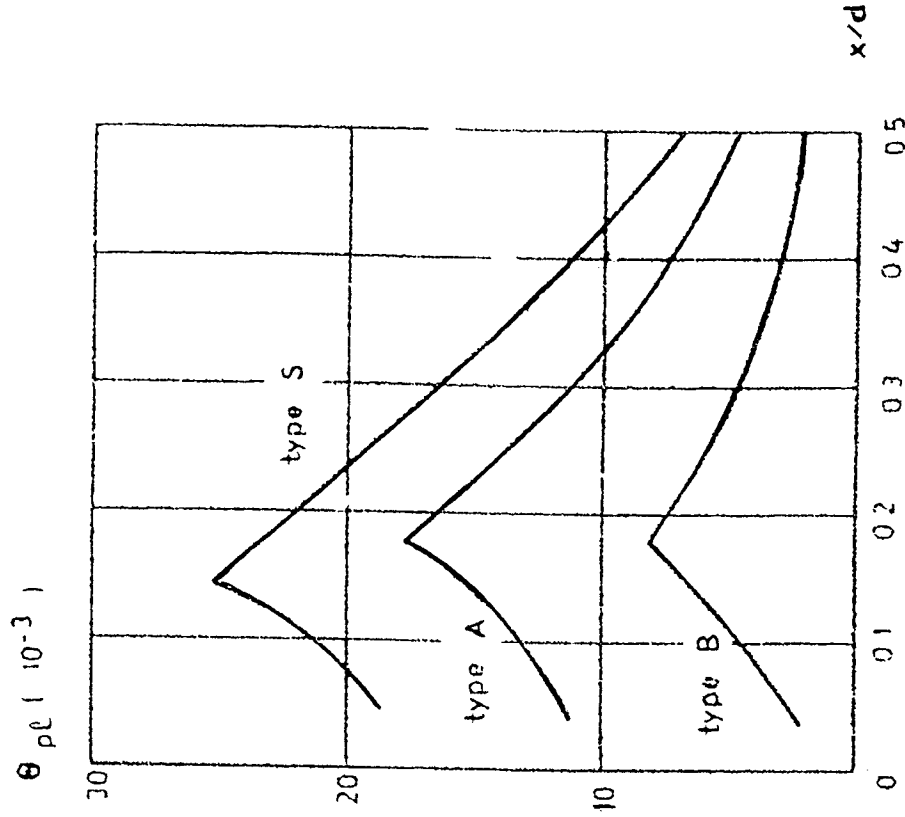
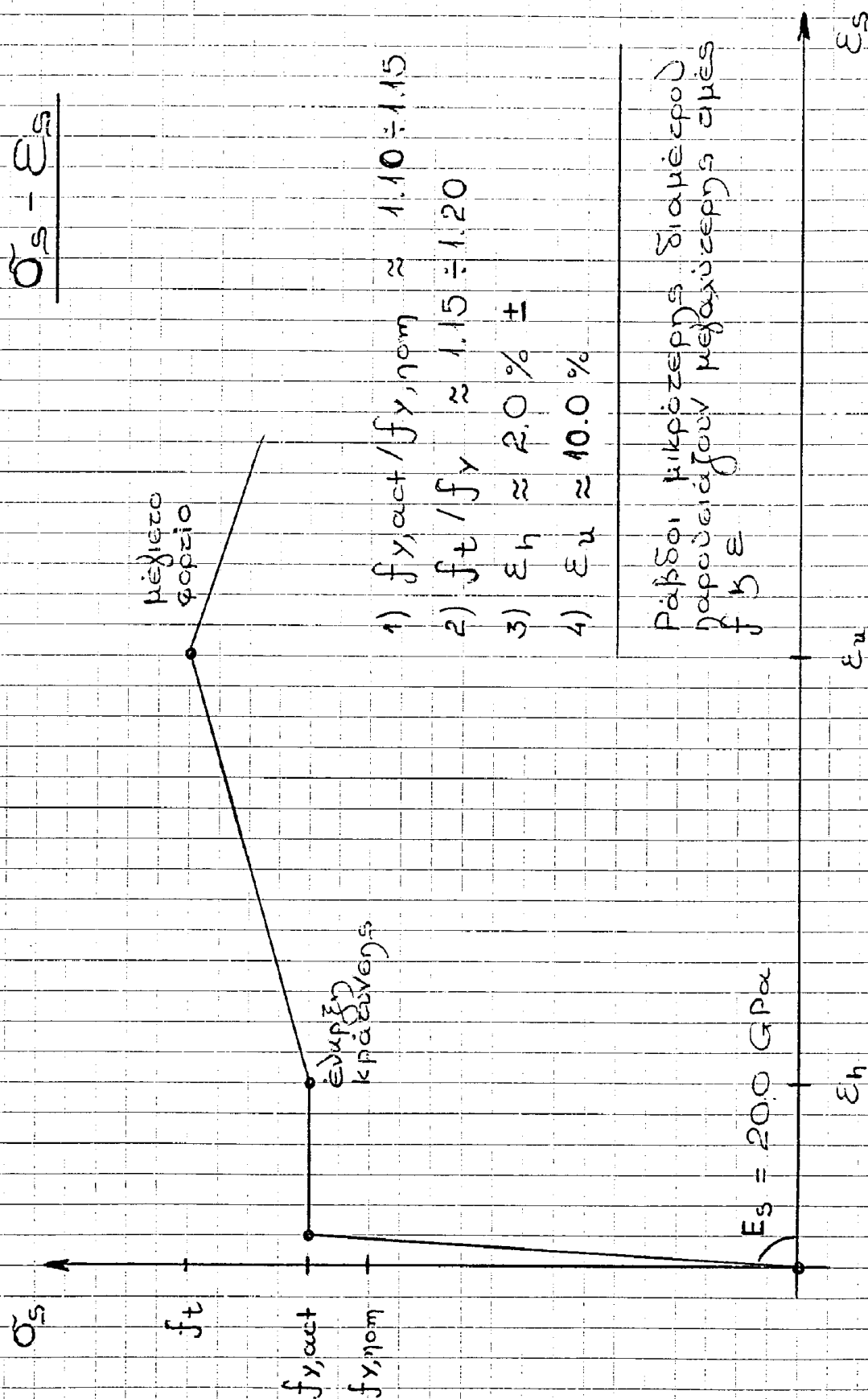


Fig. 3.7.2 Plastic rotation capacity as a function of the relative depth of the compression zone for deformed non-prestressed bars

(Thus, it gives conservative values for plain bars.)

$$\frac{\sigma_s - \varepsilon_s}{}$$

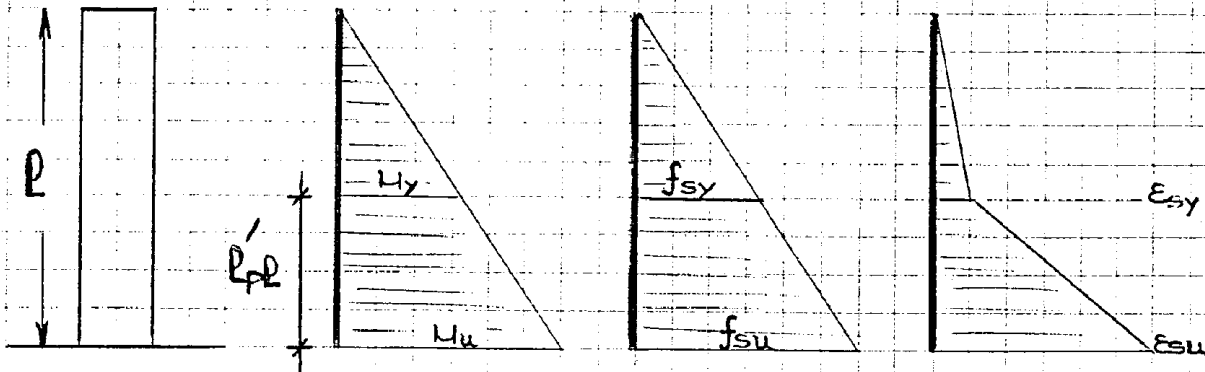


- 1) $f_{y,act} / f_{y,nom} \approx 1.10 \div 1.15$
- 2) $f_t / f_y \approx 1.15 \div 1.20$
- 3) $\varepsilon_h \approx 2.0\% \pm$
- 4) $\varepsilon_u \approx 10.0\%$

Ραβδοί μικρότερης διαμέτρου
παρουσιάζουν μεγαλύτερης τιμής
 f_y & ε

Διαγράμματα $\sigma - \varepsilon$ ενταξιμένων χαλύβων S500s
Tempcore / ast (quenched soft tempered)

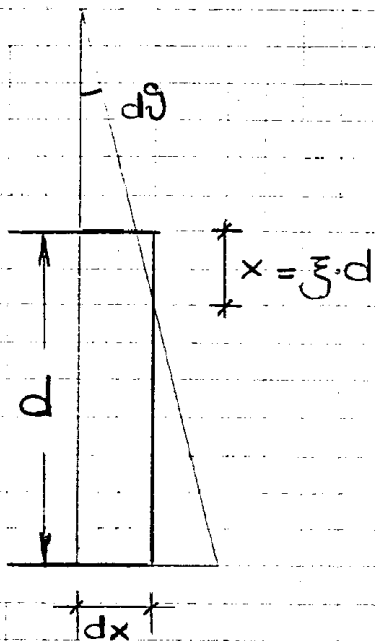
4. Η επιρροή του διαγράμματος ($\sigma - \epsilon$) του χαλύβδα
 στα χαρακτηριστικά των ηχαστικών αρθρώσεων



[M]

[σ_s]

[ϵ_s]



$$l'_{pl} \approx \left(1 - \frac{M_y}{M_u}\right) \cdot l \approx \left(1 - \frac{f_{sy}}{f_{su}}\right) \cdot l$$

για μικρά ν_d

$$d\xi = \frac{\epsilon_s}{(1-\xi)d} \cdot dx$$

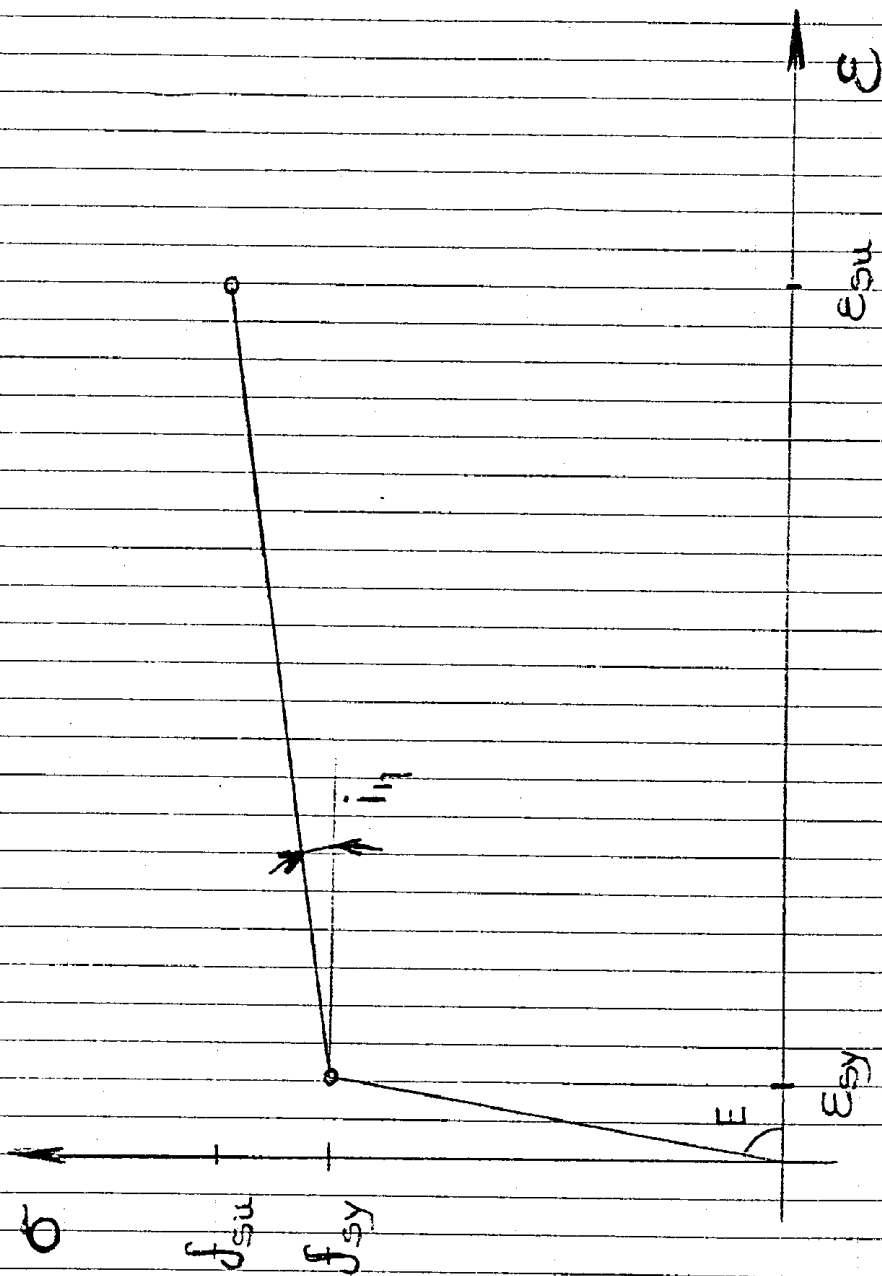
$$\vartheta_{pl} = \frac{1}{d} \cdot \int_0^{l'_{pl}} \frac{\epsilon_s}{1-\xi} \cdot dx$$

Αλλά $\vartheta_{pl} = l_{pl} \cdot (1/r)_{pl}$

$$= l_{pl} \cdot \frac{\epsilon_{su}}{(1-\xi_u)d}, \quad l_{pl} \approx \frac{1}{2} l'_{pl}$$

Άρα $l_{pl} = \int_0^{l'_{pl}} \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{su}} \cdot dx,$

για $\xi_y \approx \xi_u$



$$i\eta = \frac{f_{su} - f_{sy}}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sy}} \approx 620. \approx 1000 \text{ MPa}$$

(σ-ε) χαλυβα, αχ λογινη κίδα

$$\text{Έτσι} \quad \underline{P_{pl} \approx \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{E_{sy}}{E_{su}}\right) \cdot \left(1 - \frac{f_{sy}}{f_{su}}\right) \cdot L}$$

- Για χαλύβα υψηλής αντοχής, μέσης κατεργασίας:

$$E_{sy} \approx 2\%, \quad E_{su} \approx 120\%, \quad f_{su}/f_{sy} \approx 1,2$$

$$\rightarrow P_{pl} \approx 0,085 \cdot L$$

- Για χαλύβα υψηλής αντοχής, υψηλής κατεργασίας:

$$E_{sy} \approx 2\%, \quad E_{su} \approx 60\%, \quad f_{su}/f_{sy} \approx 1,1$$

$$\rightarrow P_{pl} \approx 0,045 \cdot L$$

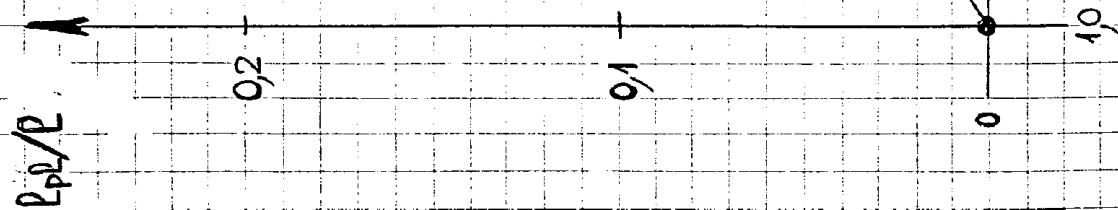
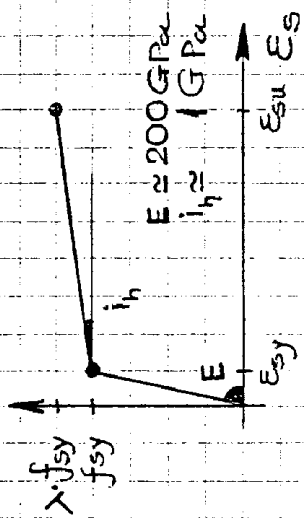
ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗ

$$\text{Για } f_{su}/f_{sy} = \lambda, \quad E_{sy} = f_{sy}/E$$

$$\rightarrow \underline{P_{pl} \approx \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{E}{f_h}(\lambda - 1)}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \cdot L}$$

(βλ. διάγραμμα)

$$P_{PL}/P \approx \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{E}{i_h^2} (\lambda - 1)} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda} \right)$$



Εξίσωση γαλίας και χαλβας σε χαρακτηριστικά
των διαστικων αρδρωσεων

Εκτιμήσεις καύουσας διατομής σε ποσότητες ρ_{PL}

(θεωρητικές αλλά και γεωμετρικές, για κυρίως καμνηζόμενα στοιχεία - υπό μικρή αξονική δύναμη)

$$1. \rho_{PL} \approx \frac{\rho_{PL}}{d} \left(\frac{d}{r} \right)_{PL} \approx \lambda_{PL} \cdot \left(\frac{d}{r} \right)_{PL}$$

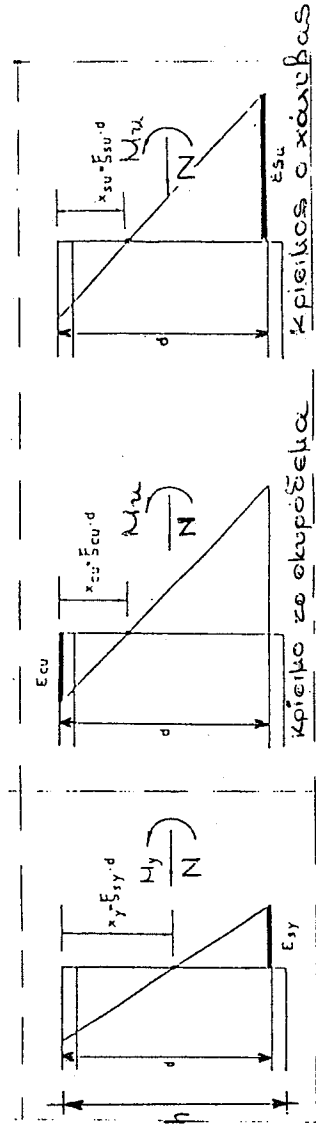
$$\text{όπου: } \lambda_{PL} = \rho_{PL} / d \approx \rho_{PL} / h$$

$$\left(\frac{d}{r} \right)_{PL} = \left(\frac{d}{r} \right)_u - \left(\frac{d}{r} \right)_y$$

$$\left(\frac{d}{r} \right)_y = \varepsilon_{sy} / (1 - \xi_{sy}) \quad (\text{για μικρές τιμές } \nu_d)$$

$\varepsilon_{cu} / \xi_{cu}$, όταν είναι κριτικό το σκυρόδεμα

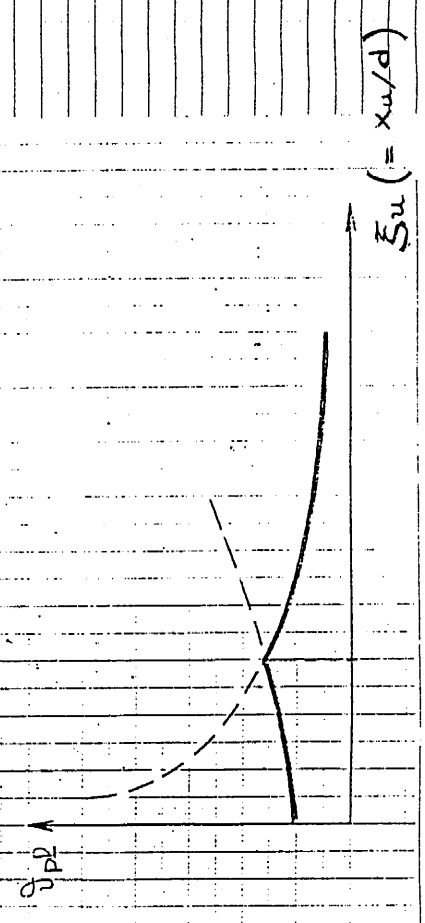
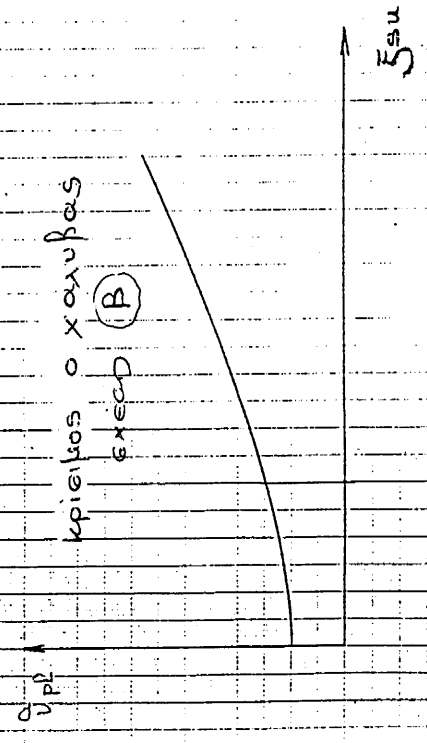
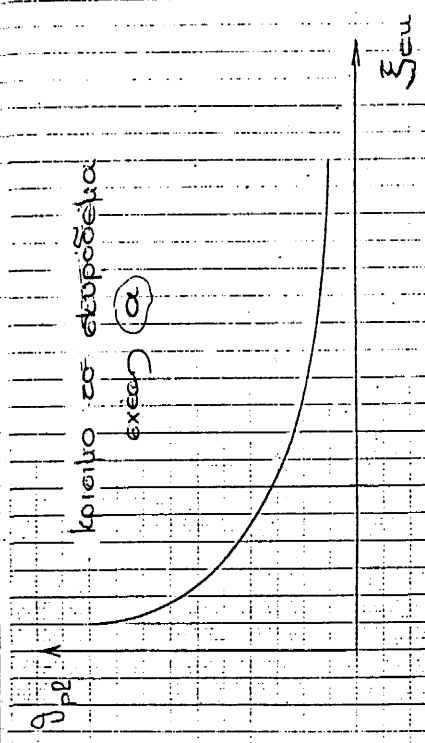
$$\left(\frac{d}{r} \right)_u = \begin{cases} \varepsilon_{cu} / \xi_{cu} & \text{όταν είναι κριτικό το σκυρόδεμα} \\ \varepsilon_{su} / (1 - \xi_{su}) & \text{όταν είναι κριτικός ο χάλυβας} \end{cases}$$



$$\xi = x/d$$

$$\varepsilon_{sy}, \rho_{PL} \approx \min \left\{ \lambda_{PL} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\xi_{cu}} - \frac{\varepsilon_{sy}}{1 - \xi_{sy}} \right), \text{ κριτικό το σκυρόδεμα (εξέση α)} \right.$$

$$\left. \lambda_{PL} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{su}}{1 - \xi_{su}} - \frac{\varepsilon_{sy}}{1 - \xi_{sy}} \right), \text{ κριτικός ο χάλυβας (εξέση β)} \right\}$$



Παρεμβ. διαγράμματα $u_{PL} - \xi_u$

2. Πρακτικές εκφράσεις "DPL"

$$(i) (d/r)_{PL} \approx (d/r)_u - (d/r)_y$$

$$\approx \frac{\varepsilon_{gu}}{\xi_u} - \frac{\varepsilon_{gy}}{\xi_y}$$

$$\text{Για } \xi_y \approx \xi_u :$$

$$(d/r)_{PL} \approx (\varepsilon_{gu} - \varepsilon_{gy}) / \xi_u$$

και

$$\vartheta_{PL} \approx \lambda_{PL} (\varepsilon_{gu} - \varepsilon_{gy}) / \xi_u$$

Σημειώνω, για $\lambda_{PL} \approx 10$ ή $(\varepsilon_{gu} - \varepsilon_{gy}) \approx 2\%$ (για μικρή αξονική δύναμη ή χμεινζία περιστροφής)

$$\vartheta_{PL} \approx 0,002 / \xi_u \quad (\text{αξία } \delta)$$

$$(ii) (d/r)_{PL} \approx (d/r)_u - (d/r)_y$$

$$\approx (d/r)_u \cdot \left[1 - \frac{(d/r)_y}{(d/r)_u} \right] = (d/r)_u \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu_{yr}} \right), \text{ όπου } \mu_{yr} = \text{δείκτης παραμόρφωσης (σε άξονα και γύρω από τον άξονα)}$$

$$\text{Έτσι, } \vartheta_{PL} \approx \lambda_{PL} \cdot (d/r)_u \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu_{yr}} \right) \approx \lambda_{PL} \cdot \frac{\varepsilon_{gu}}{\xi_u} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu_{yr}} \right)$$

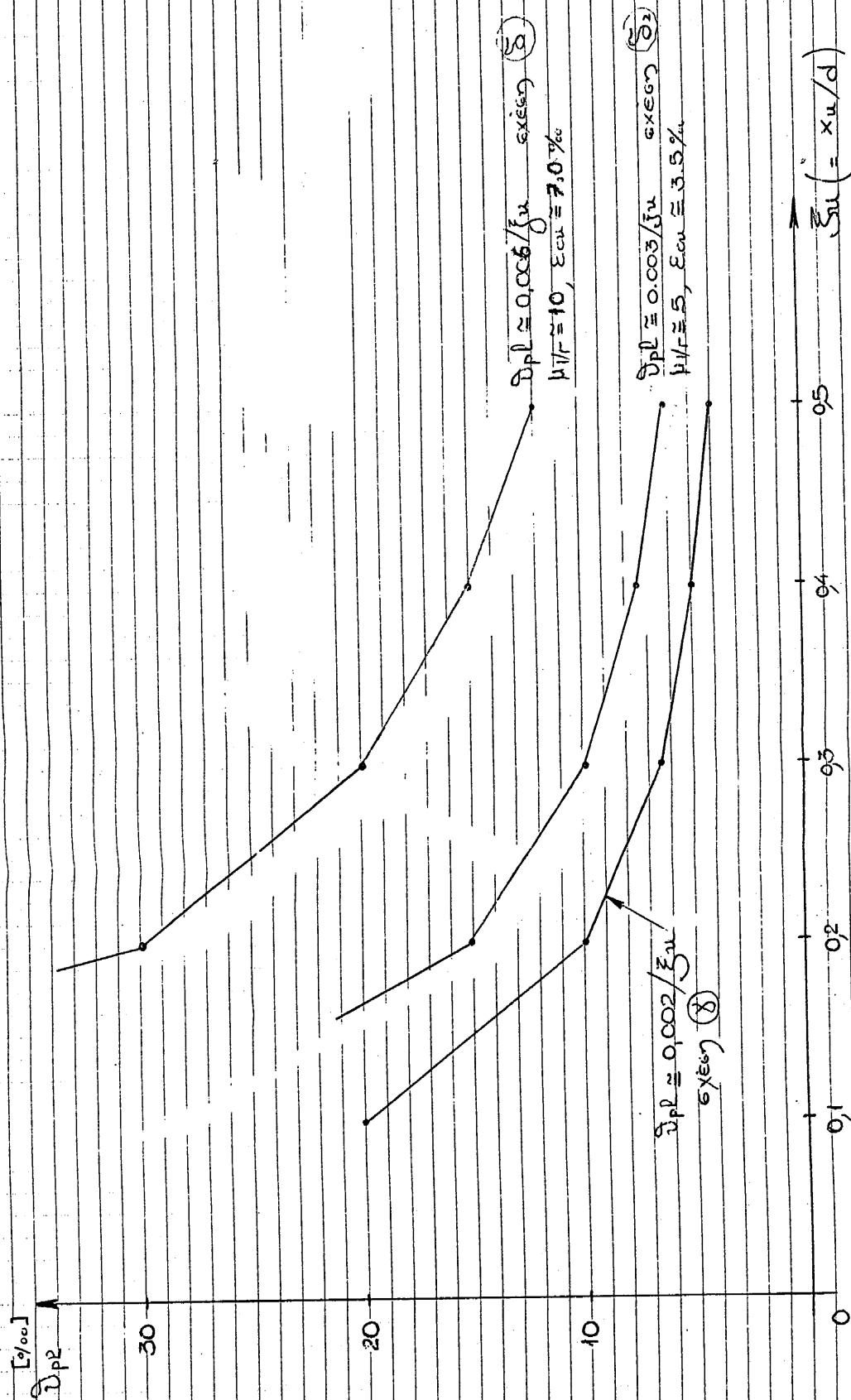
Για $\lambda_{PL} \approx 10$ ή $\mu_{yr} \approx 5$, με $\varepsilon_{gu} \approx 3,5\%$ (αξονοεπιβάρυνση κύρια)

$$\vartheta_{PL} \approx 0,8 \cdot \varepsilon_{gu} / \xi_u \approx 0,003 / \xi_u \quad (\text{αξία } \delta_1)$$

Για $\lambda_{PL} \approx 10$ ή $\mu_{yr} \approx 10$, με $\varepsilon_{gu} \approx 7,0\%$ (περιφερειακή κύρια)

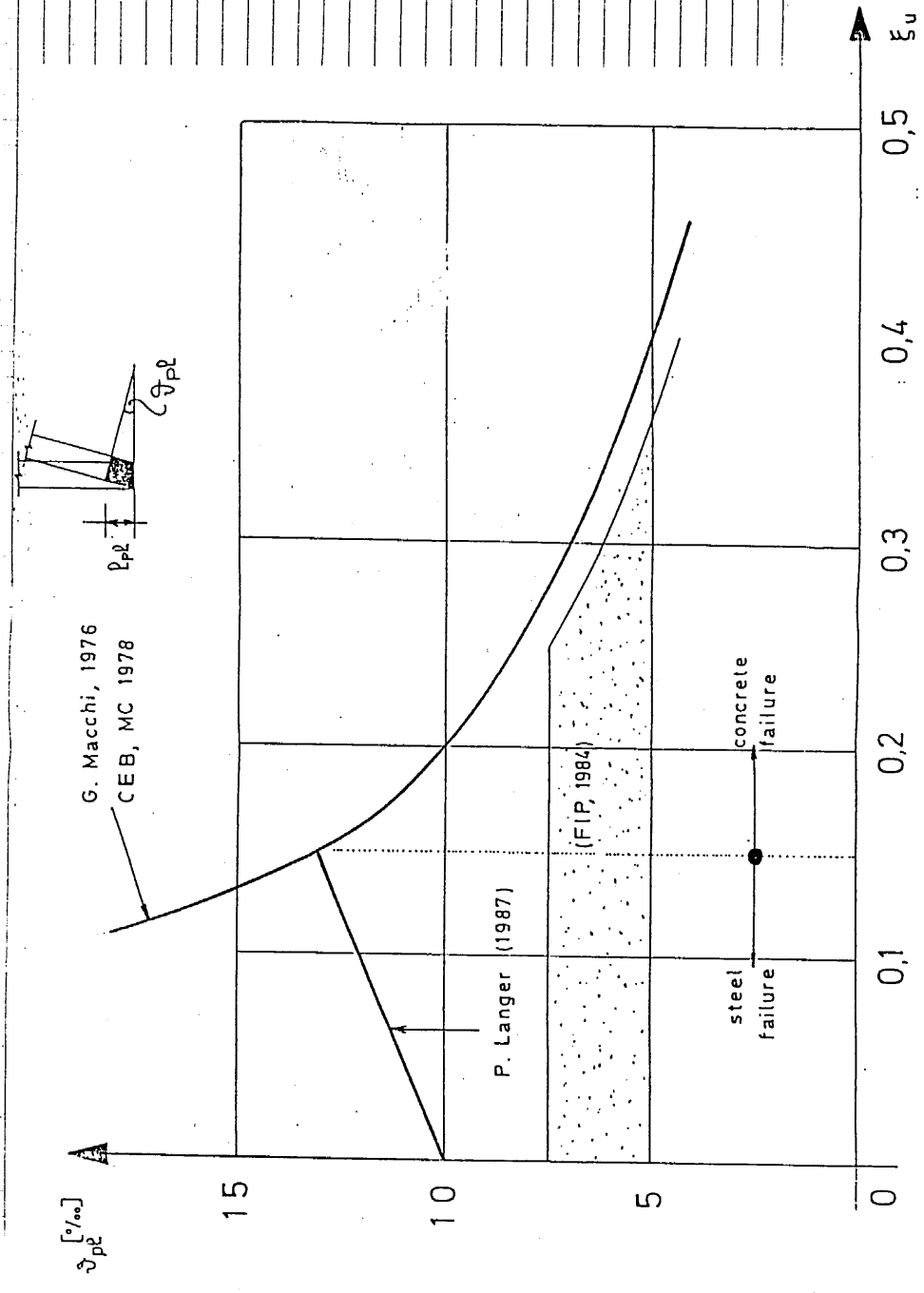
$$\vartheta_{PL} \approx 0,9 \cdot \varepsilon_{gu} / \xi_u \approx 0,006 / \xi_u \quad (\text{αξία } \delta_2)$$

Σας προσηγορεύεται εκφράσεις, οι οποίες "Εξ" ή "Εγ" εξαρτώνται, πρώτως, από τα χαρακτηριστικά (σ-ε) του εμποδίσματος ή του χείμματος, καθώς και από το ποσοστό του οξυγόνου.



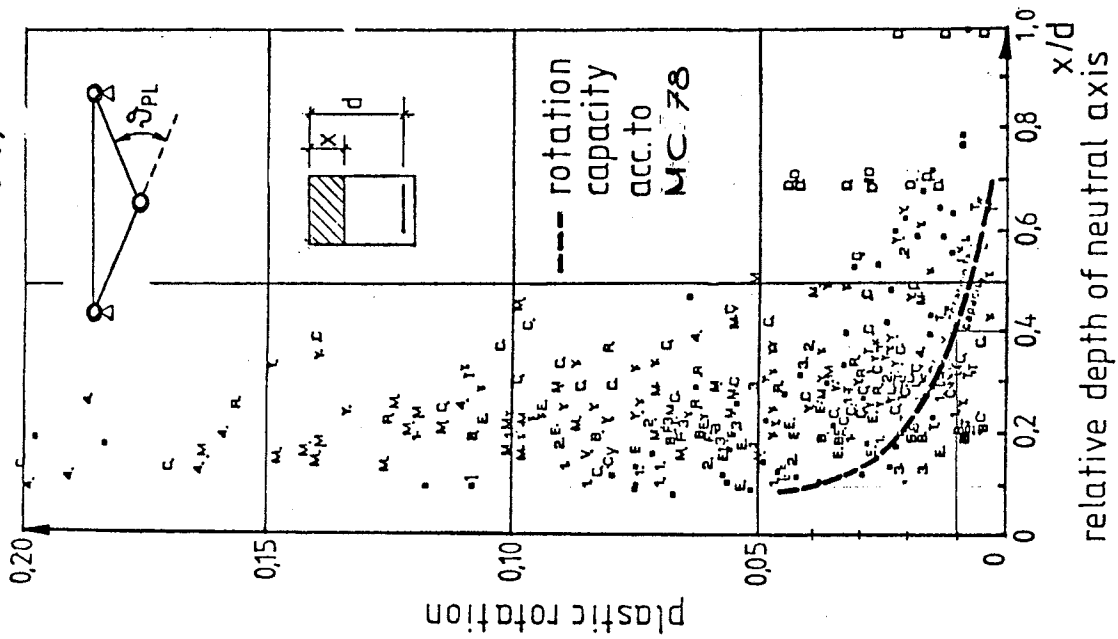
μεμβράνη

3. Απέως μετὰ δυνάμεω -οι ηροβρήγεισ διαφόρων διαφόρων επανήγριω
για την ικανότητα διατεκίγσ επόφωσ επείκειν ωΣ



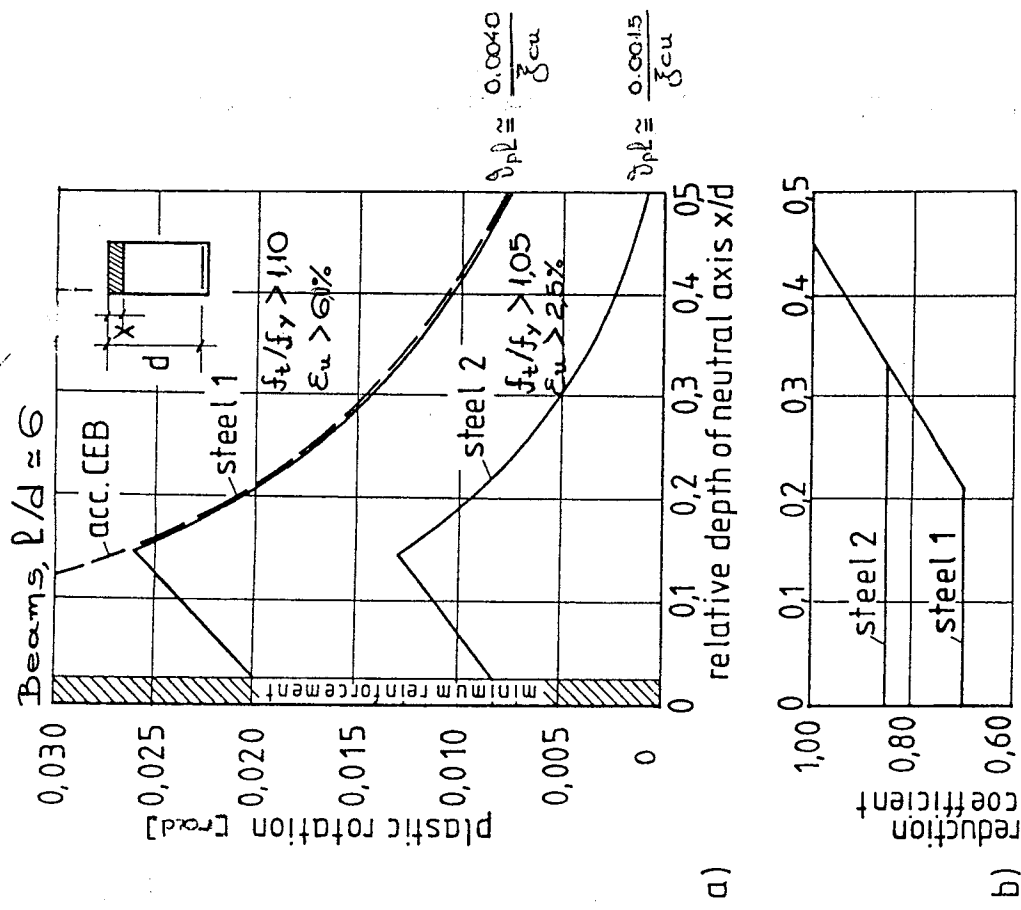
E. Siviero, CEB Bull. 105, 1976

$\vartheta_{PL} \text{ [Rad]}$ $f_t/f_y \approx 1.4 - 1.8$, $\epsilon_u > 10\%$



Plastic rotation capacity of reinforced concrete hinges

R. Eligehausen, P. Langer
CEB Bull. 175, 1987



Proposal for the allowable plastic rotation capacity and the allowable degree of moment redistribution

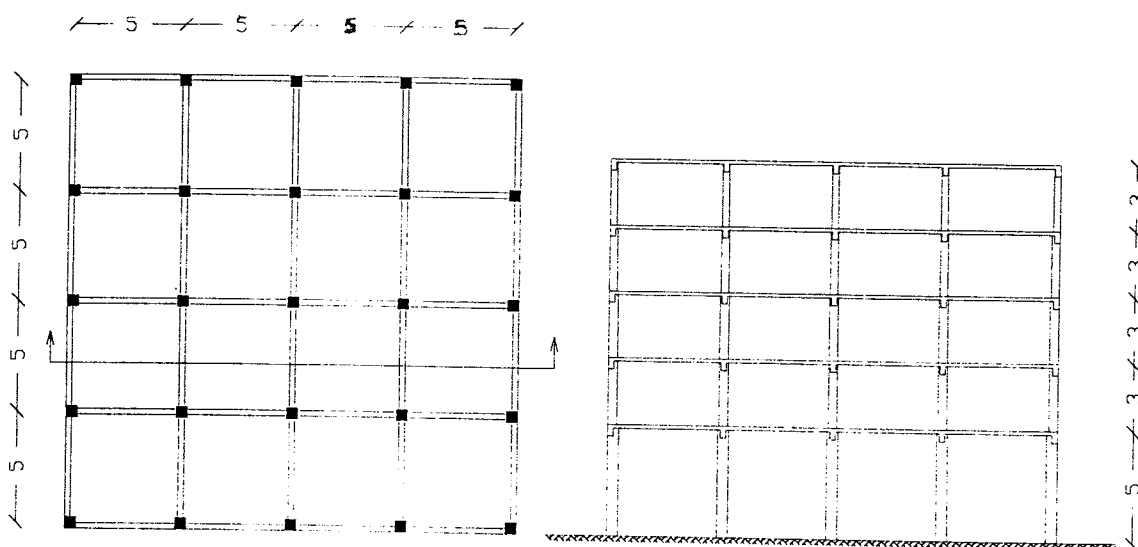
A. L. L. Baker, A. M. N. Amarakone - 1964

$$\vartheta_{PL} \cdot \xi_{cu} \approx 0.002 \div 0.003$$

Επίδραση Κράτυνσης Χάλυβα Οπλισμού Στη Συμπεριφορά Φορέων Από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

1. Εισαγωγή

Προκειμένου να αναζητηθεί η επίδραση της κράτυνσης του χάλυβα εξετάστηκε ένα πενταόροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα διαστασιολογημένο με τους νέους Κανονισμούς (ΕΑΚ2000 & ΝΕΚΩΣ, $\alpha=0.16, q=3.5, \gamma=1, \theta=1$, έδαφος Β, C16/200, S400). Η κάτοψη και η τομή του κτιρίου φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα ενώ οι διαστάσεις και ο οπλισμός των μελών του κτιρίου στους πίνακες 1 και 2. Για τα κατακόρυφα φορτία του κτιρίου θεωρήθηκε $q=2 \text{ kPa}$, $g'=1.5 \text{ kPa}$



Σχήμα 1.1 Κάτοψη-τομή εξεταζόμενου κτιρίου.

Εξετάστηκε η συμπεριφορά του κτιρίου, θεωρώντας διάφορα διαγράμματα τάσεων παραμόρφωσης για τον χάλυβα, κάνοντας χρήση της μεθόδου των επιβαλλόμενων μετακινήσεων (βλ. κεφ.4). Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά προγράμματα για την εφαρμογή της μεθόδου, το SAP2000 και το Drain2dx.

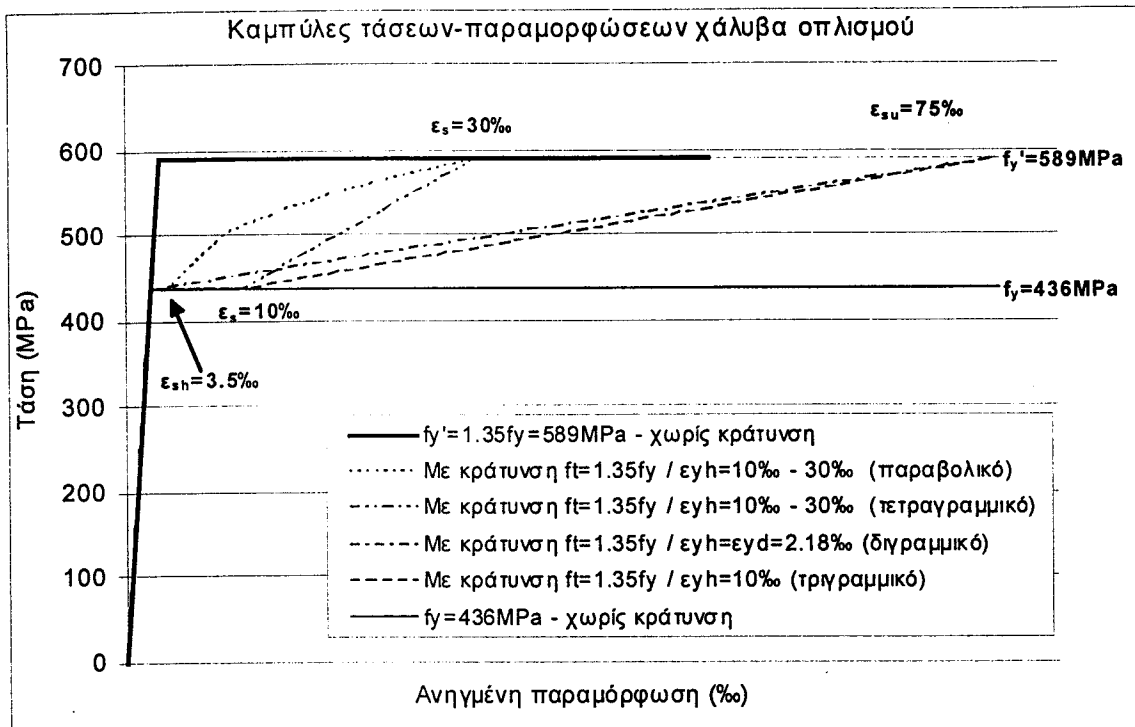
2. Ανάλυση του κτιρίου με το πρόγραμμα SAP2000

Τα διαγράμματα κράτυνσης που χρησιμοποιήθηκαν στην διερεύνηση αυτή απεικονίζονται στο σχήμα 2 και αφορούν τα εξής:

- χωρίς κράτυνση - $f_t/f_y=1.00$ (οριζόντιος κλάδος μετά την διαρροή)
- με κράτυνση διγραμμικού τύπου - $f_t/f_y=1.35$ (κλάδος σταθερής κλίσης μετά την διαρροή)
- με κράτυνση τριγραμμικού τύπου - $f_t/f_y=1.35$ (οριζόντιος κλάδος μέχρι $\epsilon_s=10\%$ και σταθερής κλίσης μετέπειτα)

δ) με κράτυνση τετραγαμμικού τύπου - $f_t/f_y=1.35$ (οριζόντιος κλάδος μέχρι $\epsilon_s=10\%$, σταθερής κλίσης μέχρι $\epsilon_s=30\%$ και στην συνέχεια οριζόντιος μέχρι την αστοχία)
 ε) με κράτυνση παραβολικού τύπου - $f_t/f_y=1.35$ (οριζόντιος κλάδος μέχρι $\epsilon_s=10\%$, παραβολή μέχρι $\epsilon_s=30\%$ και στην συνέχεια οριζόντιος μέχρι την αστοχία)

Επίσης, εξετάστηκε και η περίπτωση της χρήσης χάλυβα με $f_y'=1.35f_y=589\text{MPa}$ και χωρίς κράτυνση, που ισοδυναμεί ουσιαστικά με χάλυβα υψηλότερης αντοχής.



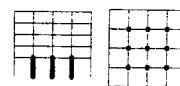
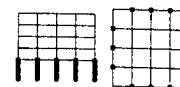
Σχήμα 2.1 Εξεταζόμενα διαγράμματα τάσεων-παραμόρφωσης του χάλυβα

Για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκαν μέσες τιμές αντοχών και λήφθηκε υπόψη η περίσφιξη [T.P.Tasios et al.1994]. Για τις δοκούς, θεωρήθηκε (συντηρητικά) ως παραμόρφωση αστοχίας του σκυροδέματος το -3.5% (απερίσφιγκτο σκυρόδεμα) χωρίς να συνυπολογιστεί η αύξηση στην τιμή αυτή λόγω του εγκάρσιου οπλισμού στις κρίσιμες περιοχές.

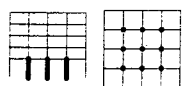
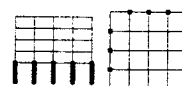
Η πλαστιμότητα των μελών του κτιρίου αρχικά περιγράφηκε μέσω απλοποιημένων διαγραμμάτων ροπών - καμπυλοτήτων. Αυτά ενσωματώθηκαν στο μοντέλο του κτιρίου χρησιμοποιώντας τα στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας του προγράμματος SAP (PMM για τα υποστυλώματα και τα M3 για τις δοκούς). Οι απαραίτητοι υπολογισμοί φαίνονται στους πίνακες 1 και 2.

Πίνακας1.Υπολογισμός απλοποιημένων διαγραμμάτων M-1/r υποστυλωμάτων

ΑΝΑΜΟΝΕΣ (ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ)	1	Στόλος 55x55, αναμονή θεμελίωσης, h=5.00μ , 4Φ25 + 8Φ25, Φ8/10 κρισ. περιοχές									
		N=-800 KN		I _p = 0,275		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				d= 0,51		m (στατικό ύψος)					
				ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
		Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,64	2,18	602	0,0075	0,0000	0,0021		
		Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,6	27,4	692	0,0803	0,0200	0,0221	10,7	1,15
	2	Τριγραμμικό	"	-13,6	26,6	720	0,0788	0,0196	0,0217	10,5	1,20
		Διγγραμμικό	"	-13,6	26,5	735	0,0787	0,0196	0,0216	10,5	1,22
		Τετραγραμμικό	"	-13,6	25,1	775	0,0759	0,0188	0,0209	10,1	1,29
		Παραβολικό	"	-13,6	25,2	806	0,0762	0,0189	0,0209	10,2	1,34
	3	Στόλος 55x55, αναμονή θεμελίωσης, h=5.00μ , 4Φ25 + 8Φ25, Φ8/10 κρισ. περιοχές									
		N=-500 KN		I _p = 0,275		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				d= 0,51		m (στατικό ύψος)					
				ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
		Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,44	2,18	554	0,0071	0,0000	0,0020		
		Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,6	30,2	662	0,0858	0,0216	0,0236	12,1	1,19
	4	Τριγραμμικό	"	-13,6	29,2	695	0,0839	0,0211	0,0231	11,8	1,25
		Διγγραμμικό	"	-13,6	29,1	709	0,0838	0,0211	0,0230	11,8	1,28
		Τετραγραμμικό	"	-13,6	27,4	758	0,0803	0,0201	0,0221	11,3	1,37
		Παραβολικό	"	-13,6	27,7	782	0,0811	0,0203	0,0223	11,4	1,41
	5	Στόλος 55x55, αναμονή θεμελίωσης, h=5.00μ , 4Φ25 + 8Φ25, Φ8/10 κρισ. περιοχές									
		N=-1200 KN		I _p = 0,275		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				d= 0,51		m (στατικό ύψος)					
				ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
		Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,92	2,18	662	0,0080	0,0000	0,0022		
		Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,6	23,8		0,0734	0,0180	0,0202	9,1	0,00
	6	Τριγραμμικό	"	-13,6	23,3	753	0,0723	0,0177	0,0199	9,0	1,14
		Διγγραμμικό	"	-13,6	23,2	768	0,0722	0,0176	0,0198	9,0	1,16
		Τετραγραμμικό	"	-13,6	22,2	796	0,0703	0,0171	0,0193	8,7	1,20
		Παραβολικό	"	-13,6	22,1	835	0,0700	0,0170	0,0192	8,7	1,26



1ος ΟΡΟΦΟΣ	1	Στόλος 55x55, 1ου ορόφου, h=5.00μ , 4Φ25 + 8Φ18, Φ10/10 κρισ. περιοχές									
		N=-800 KN		I _p = 0,275		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				d= 0,51		m (στατικό ύψος)					
				ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
		Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,52	2,18	486	0,0073	0,0000	0,0020		
		Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-19,3	48,3	551	0,1326	0,0346	0,0365	18,3	1,13
	2	Τριγραμμικό	"	-19,3	43,0	598	0,1221	0,0316	0,0336	16,8	1,23
		Διγγραμμικό	"	-19,3	43,1	607	0,1224	0,0317	0,0337	16,9	1,25
		Τετραγραμμικό	"	-19,3	39,8	649	0,1158	0,0299	0,0318	16,0	1,33
		Παραβολικό	"	-19,3	40,5	651	0,1173	0,0303	0,0323	16,2	1,34
	3	Στόλος 55x55, 1ου ορόφου, h=5.00μ , 4Φ20 + 8Φ18, Φ8/10 κρισ. περιοχές									
		N=-500 KN		I _p = 0,275		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				d= 0,51		m (στατικό ύψος)					
				ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
		Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,24	2,18	368	0,0067	0,0000	0,0018		
		Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,6	46,3	433	0,1174	0,0304	0,0323	17,6	1,18
	4	Τριγραμμικό	"	-13,6	41,1	471	0,1074	0,0277	0,0295	16,0	1,28
		Διγγραμμικό	"	-13,0	42,0	479	0,1079	0,0278	0,0297	16,1	1,30
		Τετραγραμμικό	"	-13,6	36,2	512	0,0976	0,0260	0,0269	14,6	1,39
		Παραβολικό	"	-13,6	38,0	516	0,1012	0,0260	0,0278	15,1	1,40
	5	Στόλος 55x55, 1ου ορόφου, h=5.00μ , 4Φ20 + 8Φ18, Φ8/10 κρισ. περιοχές									
		N=-1200 KN		I _p = 0,275		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				d= 0,51		m (στατικό ύψος)					
				ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
		Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,79	2,18	481	0,0078	0,0000	0,0021		
		Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,6	26,2	522	0,0781	0,0193	0,0215	10,0	1,09
	6	Τριγραμμικό	"	-13,6	25,6	538	0,0769	0,0190	0,0212	9,9	1,12
		Διγγραμμικό	"	-13,6	25,6	546	0,0768	0,0190	0,0211	9,9	1,14
		Τετραγραμμικό	"	-13,6	24,5	568	0,0747	0,0184	0,0206	9,6	1,18
		Παραβολικό	"	-13,6	24,6	587	0,0749	0,0184	0,0206	9,6	1,22

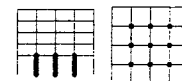
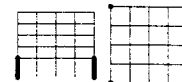
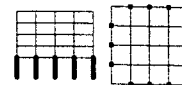


2ος ΟΡΟΦΟΣ

Στόλος 45x45, 2ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ25 + 4Φ25, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-600 KN		I _p = 0,225		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,41		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{p1} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
1	Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,75	2,18	338	0,0096	0,0000	0,0022	
	Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-15,4	27,3	388	0,1042	0,0213	0,0234	10,9
	Τριγωνμικό	"	-15,4	25,5	403	0,1000	0,0203	0,0225	10,4
	Διγραμμικό	"	-15,4	25,4	411	0,0996	0,0203	0,0224	10,4
	Τετραγραμμικό	"	-15,4	23,0	428	0,0938	0,0189	0,0211	9,8
	Παραβολικό	"	-15,4	22,6	448	0,0928	0,0187	0,0209	9,7

Στόλος 45x45, 2ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ20 + 4Φ20, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-400 KN		I _p = 0,225		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,41		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{p1} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
2	Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,38	2,18	228	0,0087	0,0000	0,0020	
	Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-15,4	46,3	266	0,1506	0,0319	0,0339	17,3
	Τριγωνμικό	"	-15,4	40,9	287	0,1374	0,0290	0,0309	15,8
	Διγραμμικό	"	-15,4	40,8	292	0,1371	0,0289	0,0308	15,8
	Τετραγραμμικό	"	-15,4	36,2	311	0,1260	0,0264	0,0284	14,5
	Παραβολικό	"	-15,4	37,3	316	0,1286	0,0270	0,0289	14,8

Στόλος 45x45, 2ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ25 + 4Φ25, Φ8/10 κρις. περιοχές									
N=-1000 KN		I _p = 0,225		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,41		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{p1} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
3	Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-2,20	2,18	385	0,0107	0,0000	0,0024	
	Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-11,1	12,5	409	0,0575	0,0105	0,0129	5,4
	Τριγωνμικό	"	-11,1	12,4	410	0,0574	0,0105	0,0129	5,4
	Διγραμμικό	"	-11,1	12,4	418	0,0574	0,0105	0,0129	5,4
	Τετραγραμμικό	"	-11,1	12,3	414	0,0572	0,0105	0,0129	5,4
	Παραβολικό	"	-11,1	12,4	434	0,0573	0,0105	0,0129	5,4

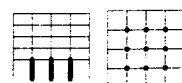
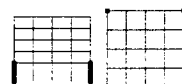


3ος ΟΡΟΦΟΣ

Στόλος 40x40, 3ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ25 + 4Φ25, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-450 KN		I _p = 0,2		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,36		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{p1} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
1	Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,84	2,18	274	0,0112	0,0000	0,0022	
	Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-16,6	25,3	314	0,1162	0,0210	0,0232	10,4
	Τριγωνμικό	"	-16,6	23,6	325	0,1117	0,0201	0,0223	10,0
	Διγραμμικό	"	-16,6	23,5	332	0,1114	0,0200	0,0223	10,0
	Τετραγραμμικό	"	-16,6	21,4	345	0,1054	0,0188	0,0211	9,4
	Παραβολικό	"	-16,6	20,8	362	0,1037	0,0185	0,0207	9,3

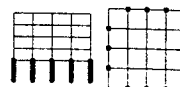
Στόλος 40x40, 3ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ25 + 4Φ25, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-270 KN		I _p = 0,2		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,36		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{p1} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
2	Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,62	2,18	254	0,0106	0,0000	0,0021	
	Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-16,6	34,6	301	0,1421	0,0263	0,0284	13,5
	Τριγωνμικό	"	-16,6	30,7	319	0,1312	0,0241	0,0262	12,4
	Διγραμμικό	"	-16,6	30,3	325	0,1302	0,0239	0,0260	12,3
	Τετραγραμμικό	"	-16,6	26,1	345	0,1185	0,0216	0,0237	11,2
	Παραβολικό	"	-16,6	25,9	358	0,1180	0,0215	0,0236	11,2

Στόλος 40x40, 3ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ25 + 4Φ25, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-700 KN		I _p = 0,2		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,36		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{p1} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
3	Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-2,17	2,18	300	0,0121	0,0000	0,0024	
	Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-16,6	17,1	325	0,0934	0,0163	0,0187	7,7
	Τριγωνμικό	"	-16,6	17,0	331	0,0932	0,0162	0,0186	7,7
	Διγραμμικό	"	-16,6	17,0	338	0,0932	0,0162	0,0186	7,7
	Τετραγραμμικό	"	-16,6	16,8	343	0,0926	0,0161	0,0185	7,7
	Παραβολικό	"	-16,6	16,5	364	0,0919	0,0160	0,0184	7,6



4ος ΟΡΟΦΟΣ

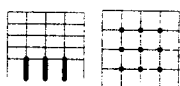
Στόλος 40x40, 4ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ25 + 4Φ25, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-260 KN		I _p = 0,2		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,36		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,61	2,18	252	0,0105	0,0000	0,0021		
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-16,6	35,2	300	0,1439	0,0267	0,0288	13,7	1,19
Τριγραμμικό	"	-16,6	31,1	318	0,1325	0,0244	0,0265	12,6	1,26
Διγρμμικό	"	-16,6	30,8	325	0,1314	0,0242	0,0263	12,5	1,29
Τετραγρμμικό	"	-16,6	26,4	345	0,1193	0,0218	0,0239	11,3	1,37
Παραβολικό	"	-16,6	26,3	358	0,1189	0,0217	0,0238	11,3	1,42



Στόλος 40x40, 4ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ20 + 4Φ16, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-160 KN		I _p = 0,2		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,36		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,20	2,18	148	0,0094	0,0000	0,0019		
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-16,6	75,0	171	0,2543	0,0490	0,0509	27,1	1,16
Τριγραμμικό	"	-16,6	58,2	199	0,2077	0,0397	0,0415	22,2	1,35
Διγρμμικό	"	-16,6	58,4	201	0,2083	0,0398	0,0417	22,2	1,36
Τετραγρμμικό	"	-16,6	51,6	211	0,1894	0,0360	0,0379	20,2	1,43
Παραβολικό	"	-16,6	55,9	212	0,2013	0,0384	0,0403	21,5	1,43

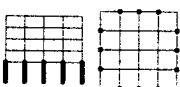


Στόλος 40x40, 4ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ25 + 4Φ18, Φ10/10 κρις. περιοχές									
N=-450 KN		I _p = 0,2		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,36		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,74	2,18	238	0,0109	0,0000	0,0022		
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-16,6	36,3	265	0,1469	0,0272	0,0294	13,5	1,11
Τριγραμμικό	"	-16,6	32,4	282	0,1360	0,0250	0,0272	12,5	1,18
Διγρμμικό	"	-16,6	32,3	287	0,1358	0,0250	0,0272	12,5	1,21
Τετραγρμμικό	"	-16,6	27,7	307	0,1230	0,0224	0,0246	11,3	1,29
Παραβολικό	"	-16,6	28,2	316	0,1245	0,0227	0,0249	11,4	1,33



5ος ΟΡΟΦΟΣ

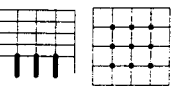
Στόλος 30x30, 5ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ20 + 4Φ14, Φ8/10 κρις. περιοχές									
N=-100 KN		I _p = 0,15		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,26		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,53	2,18	91	0,0143	0,0000	0,0021		
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,7	44,3	102	0,2229	0,0313	0,0334	15,6	1,12
Τριγραμμικό	"	-13,7	36,1	111	0,1915	0,0266	0,0287	13,4	1,23
Διγρμμικό	"	-13,7	35,5	113	0,1891	0,0262	0,0284	13,3	1,25
Τετραγρμμικό	"	-13,7	28,8	123	0,1635	0,0224	0,0245	11,5	1,36
Παραβολικό	"	-13,7	29,5	126	0,1662	0,0228	0,0249	11,7	1,39



Στόλος 30x30, 5ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ18 + 4Φ14, Φ8/10 κρις. περιοχές									
N=-50 KN		I _p = 0,15		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,26		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,33	2,18	75	0,0135	0,0000	0,0020		
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,7	55,2	85	0,2649	0,0377	0,0397	19,6	1,14
Τριγραμμικό	"	-13,7	42,9	96	0,2176	0,0306	0,0326	16,1	1,28
Διγρμμικό	"	-13,7	42,2	98	0,2147	0,0302	0,0322	15,9	1,30
Τετραγρμμικό	"	-13,7	34,9	107	0,1866	0,0260	0,0280	13,8	1,42
Παραβολικό	"	-13,7	36,2	108	0,1918	0,0267	0,0288	14,2	1,43



Στόλος 30x30, 5ου ορόφου, h=3.00μ, 4Φ14 + 4Φ14, Φ8/10 κρις. περιοχές									
N=-180 KN		I _p = 0,15		m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
		d= 0,26		m (στατικό ύψος)					
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	Mu/My
Διάρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,53	2,18	69	0,0143	0,0000	0,0021		
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c *0,85)	-13,7	32,6	78	0,1778	0,0245	0,0267	12,5	1,13
Τριγραμμικό	"	-13,7	30,0	82	0,1681	0,0231	0,0252	11,8	1,19
Διγρμμικό	"	-13,7	29,5	83	0,1662	0,0228	0,0249	11,6	1,21
Τετραγρμμικό	"	-13,7	26,6	88	0,1549	0,0211	0,0232	10,9	1,28
Παραβολικό	"	-13,7	26,3	91	0,1536	0,0209	0,0230	10,8	1,33



Πίνακας 2. Υπολογισμός απλοποιημένων διαγραμμάτων M-1/r δοκών

1ος ΟΡΟΦΟΣ

ΘΕΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ		Δοκός 25x50, 1ου ορόφου, 5Φ20άνω + 5Φ16κάτω, παντού στον όροφο								
				I _p F 0,25		m (μήκος πλ. αρθρωσης)				
				d= 0,46		m (στατικό ύψος)				
				εc2	εs1	M	1/r	θpl (rads)	θολικ	μ1/r
Διαρροή	(εs1=2.18%)	-0,91	2,18	182	0,0067	0,0000	0,0017			
Χωρίς κράτυνση	(εc2=εc*0.85)	-3,5	27,6	188	0,0676	0,0152	0,0169	10,1	1,03	
Τριγωνικό	"	-3,5	26,5	204	0,0651	0,0146	0,0163	9,7	1,12	
Διγωνικό	"	-3,5	26,1	209	0,0644	0,0144	0,0161	9,6	1,14	
Τετραγωνικό	"	-3,5	24,4	234	0,0606	0,0135	0,0152	9,0	1,28	
Παραβολικό	"	-3,5	23,7	244	0,0591	0,0131	0,0148	8,8	1,34	

ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ										
		εc2	εs1	M	1/r	θpl (rads)	θολικ	μ1/r	Mu/My	
Διαρροή	(εs1=2.18%)	-1.45	2,18	276	0,0079	0,0000	0,0020			
Χωρίς κράτυνση	(εc2=εc*0.85)	-3,5	15,4	289	0,0410	0,0083	0,0103	5,2	1,05	
Τριγωνικό	"	-3,5	14,9	296	0,0399	0,0080	0,0100	5,1	1,07	
Διγωνικό	"	-3,5	14,2	305	0,0386	0,0077	0,0096	4,9	1,11	
Τετραγωνικό	"	-3,5	14,0	308	0,0381	0,0075	0,0095	4,8	1,12	
Παραβολικό	"	-3,5	11,8	343	0,0333	0,0064	0,0083	4,2	1,24	

2ος ΟΡΟΦΟΣ

ΘΕΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ		Δοκός 25x50, 1ου ορόφου, 5Φ20άνω + 5Φ16κάτω, παντού στον όροφο												
				$I_p F$ 0,25		m (μήκος πλ. αρθρωσης)								
				$d =$ 0,46		m (στατικό ύψος)								
				ϵc_2	ϵs_1	M	1/r				$\theta_{pl}(rads)$	$\theta_{ολικ}$	μ/r	M u/My
Διαρροή	($\epsilon s_1=2.18\%$)	-0,83	2,18	146	0,0065	0,0000	0,0016							
Χωρίς κράτυνση	($\epsilon c_2=\epsilon c \cdot 0.85$)	-3,5	29,1	151	0,0708	0,0161	0,0177	10,8	1,03					
Τριγωνικό	"	-3,5	27,8	165	0,0681	0,0154	0,0170	10,4	1,13					
Διγγραμμικό	"	-3,5	27,5	169	0,0674	0,0152	0,0169	10,3	1,15					
Τετραγγραμμικό	"	-3,5	25,7	191	0,0634	0,0142	0,0158	9,7	1,30					
Παραβολικό	"	-3,5	25,2	197	0,0623	0,0139	0,0156	9,5	1,35					
ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ														
				ϵc_2	ϵs_1	M	1/r	$\theta_{pl}(rads)$	$\theta_{ολικ}$	μ/r	M u/My			
				Διαρροή	($\epsilon s_1=2.18\%$)	-1,30	2,18	225	0,0076	0,0000	0,0019			
				Χωρίς κράτυνση	($\epsilon c_2=\epsilon c \cdot 0.85$)	-3,5	17,3	235	0,0452	0,0094	0,0113	6,0	1,05	
		Τριγωνικό	"	-3,5	16,6	243	0,0437	0,0090	0,0109	5,8	1,08			
		Διγγραμμικό	"	-3,5	16,0	250	0,0424	0,0087	0,0106	5,6	1,11			
		Τετραγγραμμικό	"	-3,5	15,5	257	0,0412	0,0084	0,0103	5,4	1,14			
		Παραβολικό	"	-3,5	13,4	283	0,0368	0,0073	0,0092	4,9	1,26			

3ος ΟΡΟΦΟΣ

ΘΕΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ		Δοκός 25x50, 1ου ορόφου, 5 Φ 20άνω + 5 Φ 16κάτω, παντού στον όροφο								
				I _p F		m (μήκος πλ. αρθρωσης)				
				d =		m (στατικό ύψος)				
				ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r			
Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-0,74	2,18	113	0,0063	0,0000	0,0016			
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c ·0,85)	-3,5	31,1	116	0,0752	0,0172	0,0188	11,8	1,03	
Τριγωνικό	"	-3,5	29,8	128	0,0725	0,0165	0,0181	11,4	1,14	
Διγγραμμικό	"	-3,5	29,5	131	0,0718	0,0164	0,0180	11,3	1,16	
Τετραγγραμμικό	"	-3,5	27,5	151	0,0674	0,0153	0,0169	10,6	1,34	
Παραβολικό	"	-3,5	27,2	154	0,0668	0,0151	0,0167	10,5	1,36	

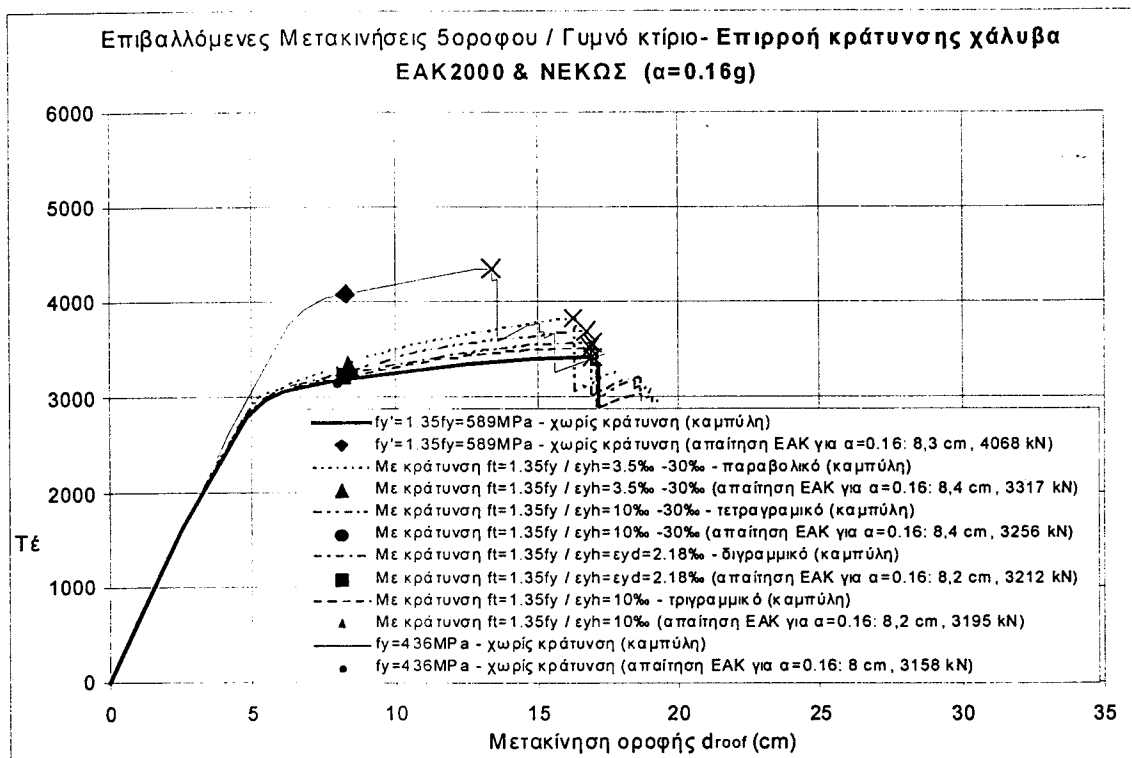
ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ										
		ε _{c2}	ε _{s1}	M	1/r	θ _{pl} (rads)	θ _{ολικ}	μ _{1/r}	M _u /My	
Διαρροή	(ε _{s1} =2,18‰)	-1,15	2,18	179	0,0072	0,0000	0,0018			
Χωρίς κράτυνση	(ε _{c2} =ε _c ·0,85)	-3,5	19,6	187	0,0502	0,0107	0,0125	6,9	1,05	
Τριγωνικό	"	-3,5	18,7	195	0,0482	0,0102	0,0120	6,7	1,09	
Διγγραμμικό	"	-3,5	18,1	201	0,0469	0,0099	0,0117	6,5	1,12	
Τετραγγραμμικό	"	-3,5	17,2	209	0,0450	0,0094	0,0112	6,2	1,17	
Παραβολικό	"	-3,5	15,3	229	0,0410	0,0084	0,0102	5,7	1,28	

4ος ΟΡΟΦΟΣ	ΘΕΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ	Δοκός 25x50, 1ου ορόφου , 5 Φ 20άνω + 5 Φ 16κάτω , παντού στον όροφο									
				$I_p =$	0,25	m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				$d =$	0,46	m (στατικό ύψος)					
				$\epsilon c2$	$\epsilon s1$	M	1/r	$\theta_{pl}(rads)$	$\theta_{ολικ}$	$\mu 1/r$	Mu/My
	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ	Διαρροή	($\epsilon s1=2,18\%$)	-0,68	2,18	85	0,0062	0,0000	0,0016		
		Χωρίς κράτυνση	($\epsilon c2=\epsilon c \cdot 0,85$)	-3,5	33,0	88	0,0793	0,0183	0,0198	12,8	1,04
		Τριγωνομικό	"	-3,5	31,5	98	0,0760	0,0174	0,0190	12,2	1,15
		Διγωνομικό	"	-3,5	31,2	100	0,0753	0,0173	0,0188	12,1	1,18
		Τετραγωνομικό	"	-3,5	28,8	116	0,0701	0,0160	0,0175	11,3	1,36
		Παραβολικό	"	-3,5	28,6	117	0,0698	0,0159	0,0175	11,2	1,38
				$\epsilon c2$	$\epsilon s1$	M	1/r	$\theta_{pl}(rads)$	$\theta_{ολικ}$	$\mu 1/r$	Mu/My
		Διαρροή	($\epsilon s1=2,18\%$)	-0,85	2,18	112	0,0066	0,0000	0,0016		
		Χωρίς κράτυνση	($\epsilon c2=\epsilon c \cdot 0,85$)	-3,5	27,2	116	0,0667	0,0150	0,0167	10,1	1,04
		Τριγωνομικό	"	-3,5	25,6	126	0,0633	0,0142	0,0158	9,6	1,13
		Διγωνομικό	"	-3,5	25,1	129	0,0623	0,0139	0,0156	9,4	1,15
		Τετραγωνομικό	"	-3,5	23,1	142	0,0579	0,0128	0,0145	8,8	1,27
		Παραβολικό	"	-3,5	22,1	149	0,0556	0,0123	0,0139	8,4	1,33

5ος ΟΡΟΦΟΣ	ΘΕΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ	Δοκός 25x50, 1ου ορόφου , 5 Φ 20άνω + 5 Φ 16κάτω , παντού στον όροφο									
				$I_p =$	0,25	m (μήκος πλ. αρθρωσης)					
				$d =$	0,46	m (στατικό ύψος)					
				$\epsilon c2$	$\epsilon s1$	M	1/r	$\theta_{pl}(rads)$	$\theta_{ολικ}$	$\mu 1/r$	Mu/My
	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ	Διαρροή	($\epsilon s1=2,18\%$)	-0,53	2,18	57	0,0059	0,0000	0,0015		
		Χωρίς κράτυνση	($\epsilon c2=\epsilon c \cdot 0,85$)	-3,5	37,6	60	0,0893	0,0208	0,0223	15,2	1,04
		Τριγωνομικό	"	-3,5	36,2	68	0,0864	0,0201	0,0216	14,7	1,18
		Διγωνομικό	"	-3,5	36,0	69	0,0860	0,0200	0,0215	14,6	1,20
		Τετραγωνομικό	"	-3,5	34,3	80	0,0822	0,0191	0,0206	14,0	1,39
		Παραβολικό	"	-3,5	34,3	80	0,0822	0,0191	0,0206	14,0	1,39
				$\epsilon c2$	$\epsilon s1$	M	1/r	$\theta_{pl}(rads)$	$\theta_{ολικ}$	$\mu 1/r$	Mu/My
		Διαρροή	($\epsilon s1=2,18\%$)	-0,90	2,18	111	0,0067	0,0000	0,0017		
		Χωρίς κράτυνση	($\epsilon c2=\epsilon c \cdot 0,85$)	-3,5	25,0	116	0,0620	0,0138	0,0155	9,3	1,04
		Τριγωνομικό	"	-3,5	23,5	124	0,0588	0,0130	0,0147	8,8	1,12
		Διγωνομικό	"	-3,5	23,0	127	0,0576	0,0127	0,0144	8,6	1,14
		Τετραγωνομικό	"	-3,5	21,2	138	0,0537	0,0117	0,0134	8,0	1,24
		Παραβολικό	"	-3,5	19,8	147	0,0507	0,0110	0,0127	7,6	1,32

Αποτελέσματα:

Στο πιο κάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες επιβαλλόμενων μετακινήσεων που αντιστοιχούν στα διαγράμματα τάσεων παραμόρφωσης του χάλυβα του σχήματος 2. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η συμπεριφορά του φορέα σε περίπτωση που εφαρμοστεί σε αυτόν ο σεισμός ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας II, όπως καθορίζεται από το αντίστοιχο φάσμα του ΕΑΚ.



Σχήμα 2.2 Καμπύλες επιβαλλόμενων μετακινήσεων.

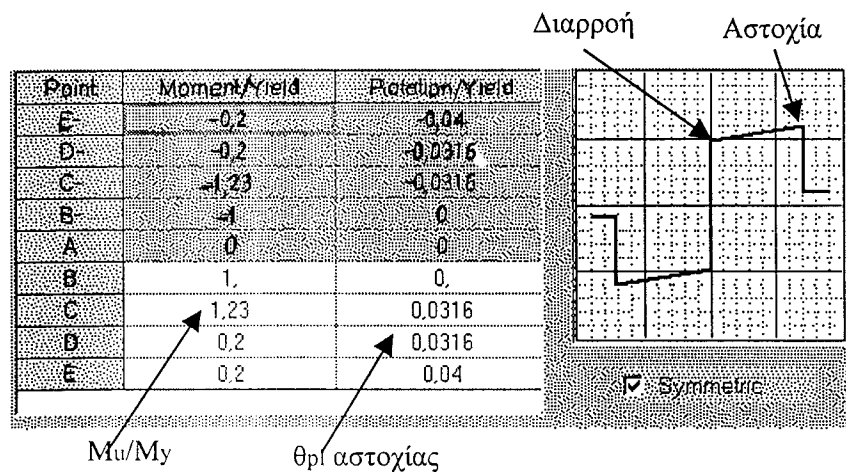
Παρατηρήσεις:

Όσο μεγαλύτερη αύξηση της τάσης του χάλυβα έχουμε σε μικρές ανηγμένες παραμορφώσεις (δηλ. εμφάνιση της κράτυνσης αρκετά νωρίς με ακραία περίπτωση την παραβολικού τύπου κράτυνση), τόσο μεγαλύτερη η τέμνουσα βάσεως που παραλαμβάνεται στην σεισμική απαίτηση. Αυτό οφείλεται στα μεγαλύτερα περιθώρια αύξησης της ροπής μετά τον σχηματισμό των πλαστικών αρθρώσεων σε στύλους και δοκούς. Αλλά και η μετακίνηση οροφής αυξάνεται, επειδή πλέον η καμπύλη τέμνουσας-μετακίνησης για το κτίριο αποκτά αυξανόμενη κλίση (σε σχέση με τη περίπτωση απουσίας κράτυνσης), και αυτό συνεπάγεται την μείωση της ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης (συντ. β_{eff}), το οποίο με την σειρά του περιορίζει την απομείωση του φάσματος ικανοτικής απαίτησης.

Επίσης, η εντονότερη εμφάνιση της κράτυνσης συνοδεύεται και από μια μικρή μείωση της πλαστιμότητας (περίπου 5-10%).

Η καμπύλη $V-d_{\text{roof}}$ του δοροφου με χάλυβα $f_y=f_t=589\text{MPa}$ (χωρίς κράτυνση), βρίσκεται αρκετά ψηλότερα από τις άλλες καμπύλες που αφορούν χάλυβες που αγγίζουν την τιμή $f_s=589\text{MPa}$ αλλά σε πολύ μεγαλύτερες τιμές της ανηγμένης παραμόρφωσης από την παρ. διαρροής.

Σαν γενική παρατήρηση, ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων είναι αρκετά απλοποιητικός (στην ουσία εισάγονται η πλαστική στροφή αστοχίας και ο λόγος της ροπής αντοχής προς την ροπή διαρροής). Στο διάγραμμα ροπών- πλαστικών στροφών, τα σημεία της διαρροής και της αστοχίας ενώνονται με ευθύγραμμο τμήμα. Αυτό όμως δεν είναι αρκετό για να εισαχθούν με ακρίβεια διαγράμματα με κράτυνση λ.χ. παραβολικού ή τετραγραμμικού τύπου. Παρακάτω απεικονίζεται η εισαγωγή των δεδομένων $M-\theta_{pl}$ στο SAP2000 για τις πλαστικές αρθρώσεις υποστυλώματος:



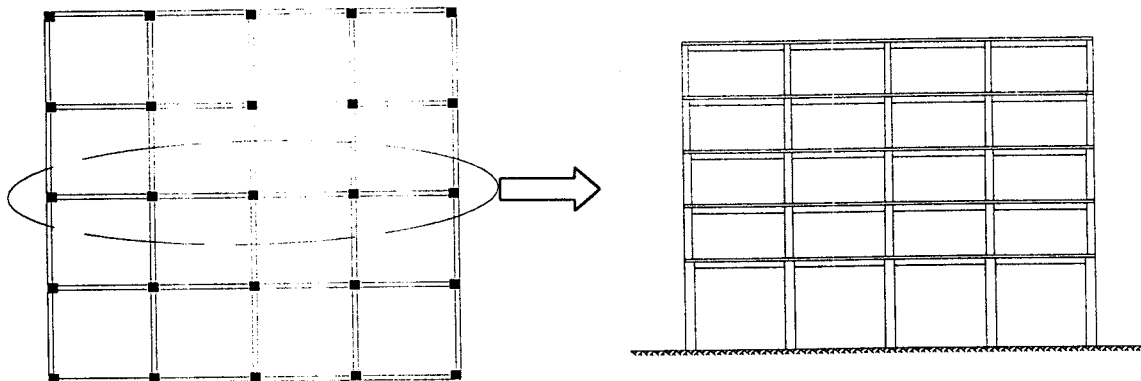
Σχήμα 2.3 Εισαγωγή ιδιοτήτων πλ. αρθρ. στύλων στο SAP2000

Το σφάλμα που εισάγεται λόγω της απλοποιημένης εισαγωγής του διαγράμματος θ_{pl} εξαρτάται:

- από την παραμόρφωση του χάλυβα όπου ξεκινά ο ανιών κλάδος (στο διάγραμμα $\sigma-\epsilon$) μετά την διαρροή
- από την μορφή που έχει το διάγραμμα $\sigma-\epsilon$
- δεν θα πρέπει να λησμονούμε και την μικρή αύξηση του μοχλοβραχίονα μετά την διαρροή του εφελκόμενου. οπλισμού, καθώς και την αποφλοιώση του απερίσφιγκτου σκυροδέματος της επικάλυψης.

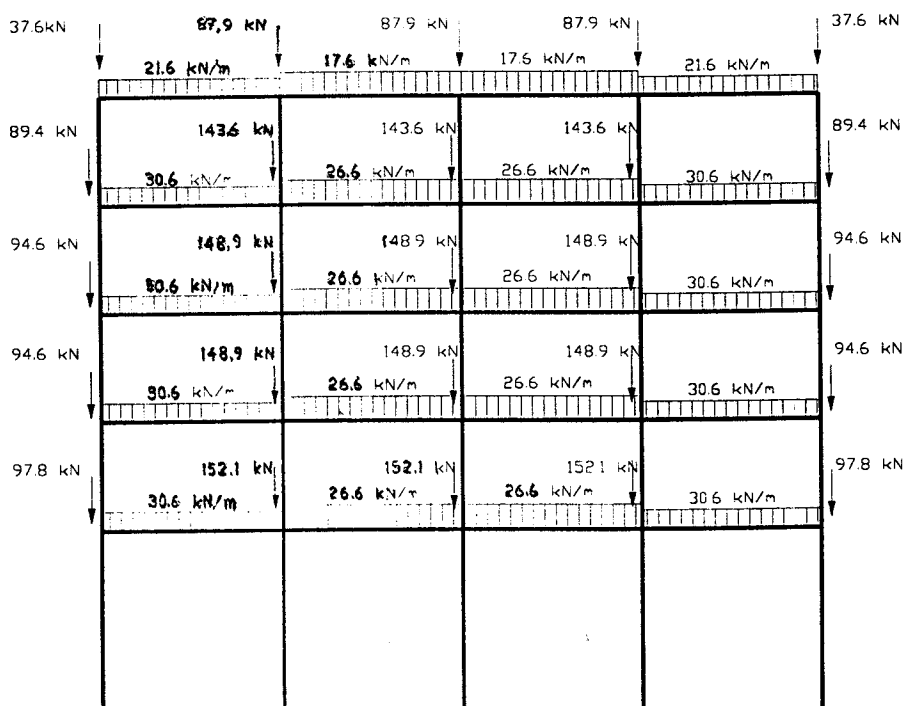
3. Ανάλυση του κτιρίου με το πρόγραμμα drain2dx

Στην ανάλυση χρησιμοποιείται το 5οροφο κτίριο το οποίο περιγράφεται πιο πάνω. Επειδή το πρόγραμμα Drain2dx είναι πρόγραμμα δύο διαστάσεων απομονώνεται το μεσαίο πλαίσιο του φορέα:



Σχήμα 3.1 Εξεταζόμενος φορέας.-Απομόνωση επίπεδου πλαισίου

Χρησιμοποιώντας στοιχεία λωρίδων(fiber elements) για την προσομοίωση των δοκών και των υποστυλωμάτων επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό των μετακινήσεων του φορέα. Ο απομονωμένος επίπεδος φορέας φορτίζεται με τα κατακόρυφα φορτία ($G+0.3Q$) που προέρχονται από τις πλάκες και τα εγκάρσια δοκάρια.

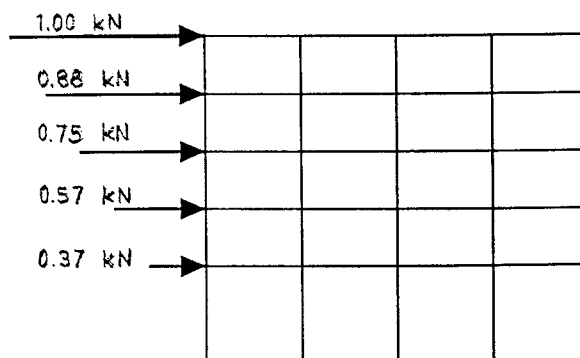


Σχήμα 3.2 Κατακόρυφη φόρτιση επίπεδου πλαισίου

Η κατανομή των οριζόντιων φορτίων που εφαρμόζονται στον φορέα για τον προσδιορισμό της ελαστοπλαστικής του συμπεριφοράς υπολογίζεται βάσει της 1^{ης}

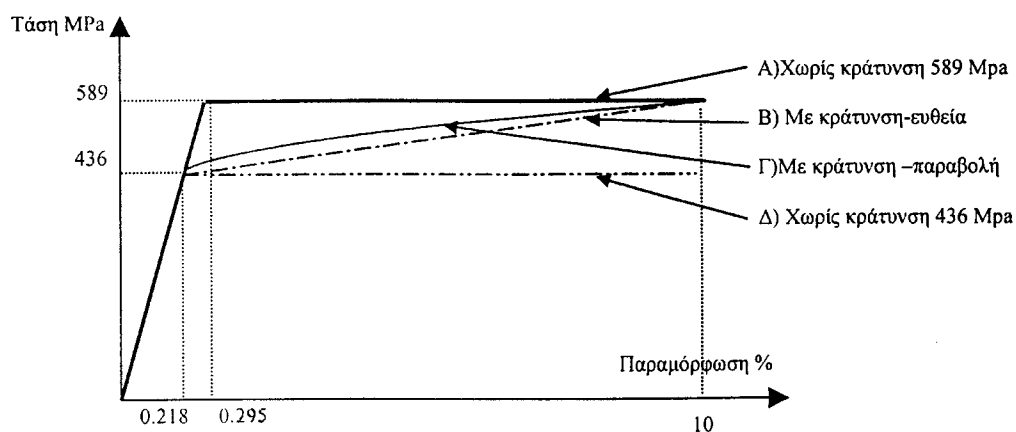
ιδιομορφής. Από τη στατική ανάλυση του φορέα προέκυψε : $\Phi^I = \begin{pmatrix} 1.00 \\ 0.88 \\ 0.75 \\ 0.57 \\ 0.37 \end{pmatrix}$.Άρα

$$F_x = \begin{pmatrix} 1.00 \\ 0.88 \\ 0.75 \\ 0.57 \\ 0.37 \end{pmatrix} \text{ (kN)}$$

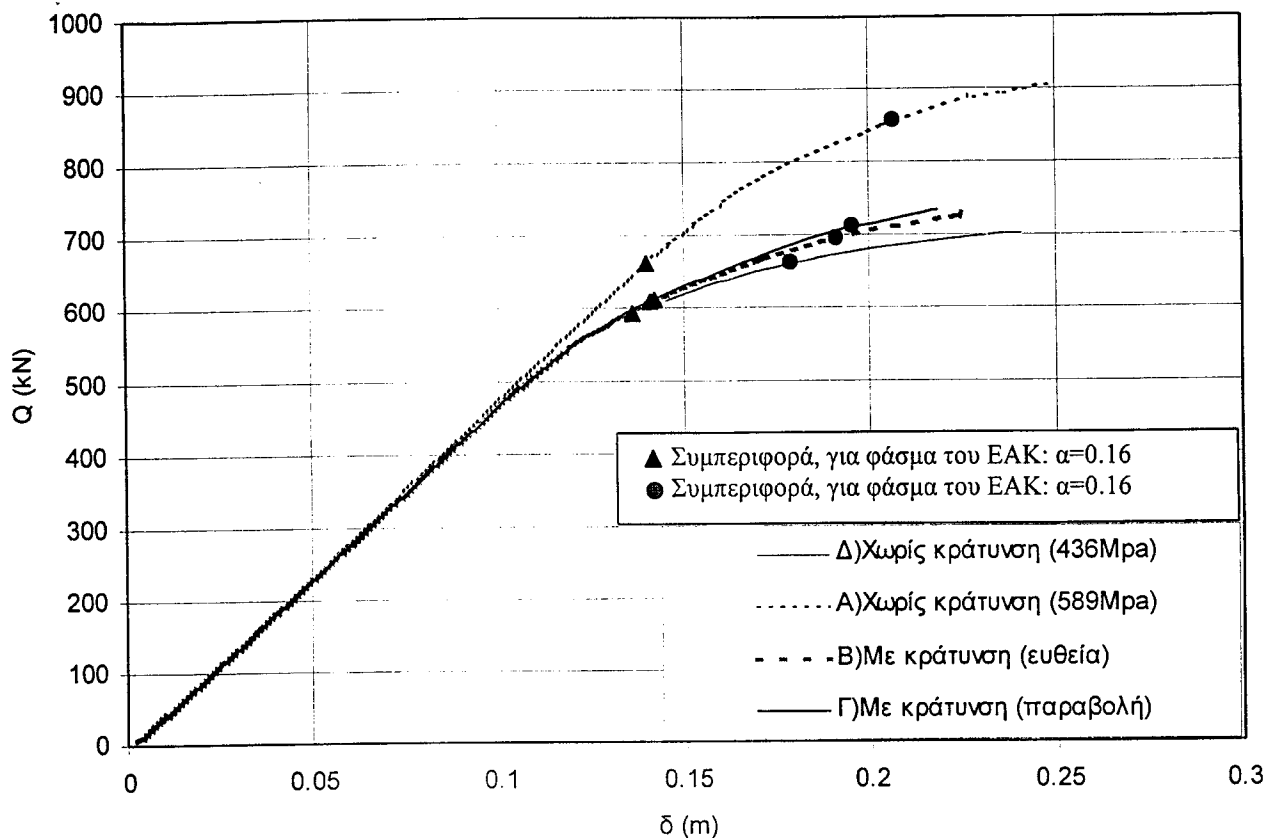


Σχήμα 3.3 Κατανομή οριζόντιας φόρτισης

Προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση της κράτυνσης του χάλυβα στην συμπεριφορά του φορέα, η μέθοδος των επιβαλλόμενων μετακινήσεων εφαρμόστηκε για τέσσερα διαφορετικά διαγράμματα τάσεων παραμόρφωσης του χάλυβα. Για το σκυρόδεμα αγνοείται η περίσφιξη και χρησιμοποιείται σκυρόδεμα C20/25.



Σχήμα 3.3 Διαγράμματα τάσεων-παραμόρφωσης του χάλυβα

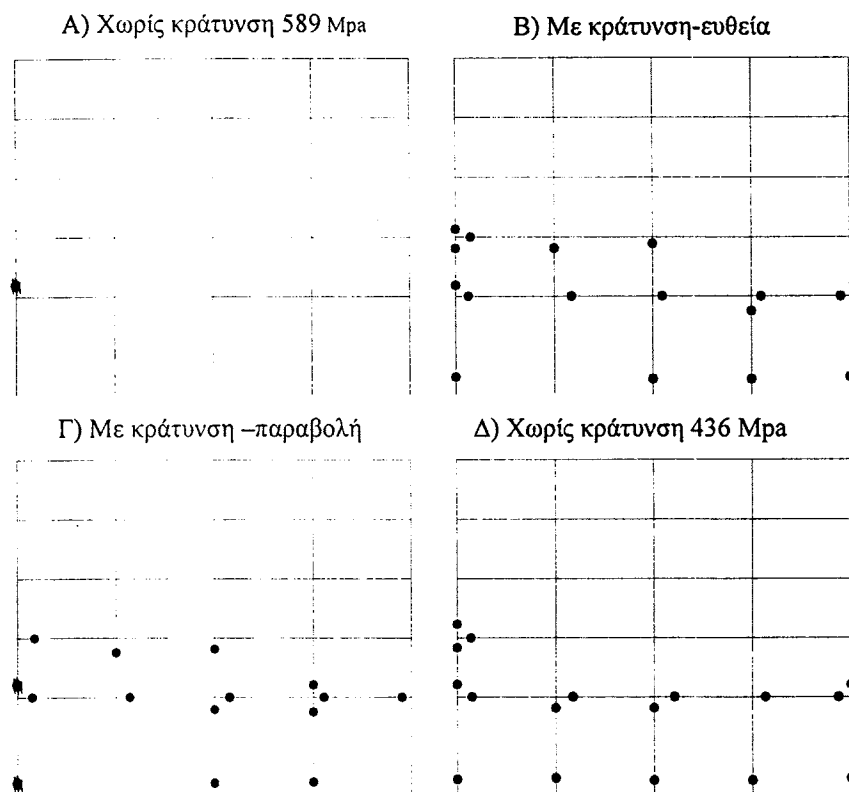


Σχήμα 3.4 Καμπύλες επιβαλλόμενων μετατοπίσεων

Πιο πάνω φαίνονται οι τέσσερις καμπύλες επιβαλλόμενων μετατοπίσεων όπως προέκυψαν από την στατική ελαστοπλαστική ανάλυση χρησιμοποιώντας αντίστοιχα τα τέσσερα διαφορετικά διαγράμματα τάσεων παραμόρφωσης που φαίνονται στο σχήμα 3.3. Η ανάλυση σταματά με την αστοχία του πρώτου μέλους του φορέα. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η συμπεριφορά του φορέα σε περίπτωση που εφαρμοστεί σε αυτόν ο σεισμός ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας II ($\alpha=0.16$) και διπλάσιος αυτού ($\alpha=0.32$), όπως καθορίζεται από το αντίστοιχο φάσμα του ΕΑΚ. Η ανάλυση έγινε κάνοντας χρήση της μεθόδου του φάσματος μετακινήσεων.

Από ότι φαίνεται για τον συγκεκριμένο φορέα και για τις συγκεκριμένες παραδοχές η κράτυνση του χάλυβα δίνει μια επιπλέον αντοχή στον φορέα όσον αφορά τη μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να επιβληθεί σε αυτόν. Βέβαια, δεν είναι φανερό πως η συμπεριφορά του φορέα σε ένα σεισμό θα είναι και καλύτερη καθώς στην περίπτωση που θεωρείται πως ο χάλυβας δεν έχει κράτυνση (για το Δ διάγραμμα του σχήματος 3-141) η πλαστιμότητα του φορέα είναι μεγαλύτερη. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως για την περίπτωση που χρησιμοποιείται χάλυβας μεγαλύτερης αντοχής (589 MPa) χωρίς κράτυνση, παρατηρούμε μια αρκετά μικρότερη ικανότητα μετελαστικής συμπεριφοράς. Συγκρίνοντας τις περιπτώσεις Β) και Γ) του σχήματος 3-142 παρατηρούμε πως για την περίπτωση που η κράτυνση του χάλυβα προσεγγίζεται μέσω παραβολής ο φορέας εμφανίζεται με μια επιπλέον αντοχή έναντι της περίπτωσης που η κράτυνση προσεγγίζεται με μια ευθεία γραμμή.

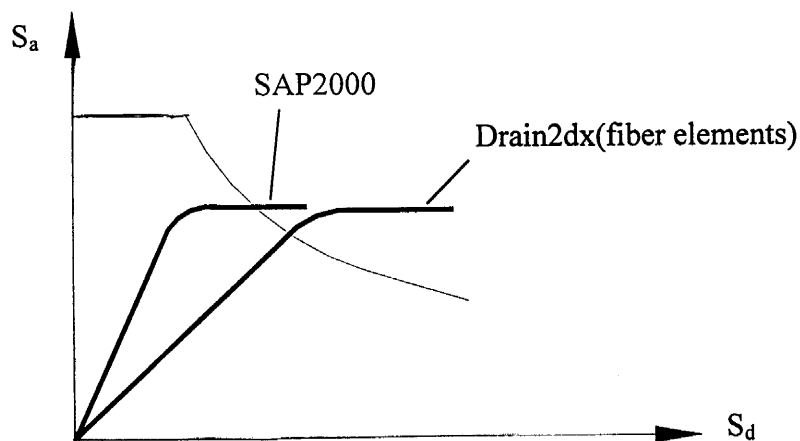
Πιο κάτω φαίνονται οι πλαστικές αρθρώσεις του φορέα οι οποίες αντιστοιχούν στη συμπεριφορά του φορέα για την περίπτωση που εφαρμοστεί σε αυτόν ο σεισμός ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας II του ΕΑΚ.



Σχήμα 3.5 Μορφή πλαστικών αρθρώσεων για $\alpha=0.16$

Για την Α) περίπτωση ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά καθώς έχει διαρρεύσει μόνο μια διατομή. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι πλαστικοποιημένες διατομές είναι περισσότερες καθώς όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-142 ο φορέας, σαν σύνολο, έχει περάσει στην πλαστική περιοχή (η καμπύλη συμπεριφοράς έχει αρχίσει να καμπυλώνεται).

Στο προηγούμενο κεφάλαιο 2 έγινε η ανάλυση του πενταόροφου φορέα χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SAP2000. Συγκρίνοντας τα σχήματα 2.2 και 3.4 παρατηρούμε πως για την περίπτωση χρήσης του Drain2dx (fiber elements) ο φορέας εμφανίζεται πιο εύκαμπτος. Αυτός είναι και ο λόγος διαφοροποίησης των μετακινήσεων που παρατηρείται στα δυο αυτά διαγράμματα. Η διαφορετική ακαμψία του φορέα προκαλεί και διαφορετική συμπεριφορά του φορέα όσον αφορά την εφαρμογή του σεισμικού φάσματος του ΕΑΚ για $\alpha=0.16$. Σχηματικά ο λόγος της παρατηρούμενης διαφοράς φαίνεται παρακάτω. Πιο λεπτομερώς οι διαφορές που εμφανίζονται χρησιμοποιώντας τα δυο προγράμματα περιγράφονται στο κεφάλαιο 5.



Σχήμα 3.6 Σύγκριση εύκαμπτης-δύσκαμπτης συμπεριφοράς (Drain2dx/fiber elements-SAP2000)

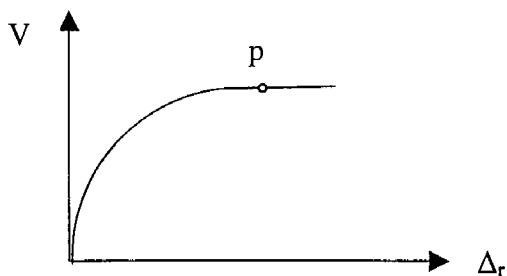
Όσον αφορά τη μέγιστη τέμνουσα βάσης των καμπυλών συμπεριφοράς υπάρχει σχετική ταύτιση. Για την περίπτωση χρήσης του Drain2dx απομονώθηκε ένα από τα πέντε πλαίσια του φορέα (βλ.σχ.3.1). Τα πέντε πλαίσια είναι περίπου όμοια οπλισμένα και έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Θεωρώντας τα ισοδύναμα, για παράδειγμα για την περίπτωση Δ του σχήματος 3-142 η αντίστοιχη μέγιστη τέμνουσα όλου του φορέα είναι ίση με $5 \cdot 700 = 3500$ kN, ίση περίπου με την αντίστοιχη μέγιστη τέμνουσα βάσης του διαγράμματος του σχήματος 2.2.

4. Ανάλυση με τη μέθοδο του φάσματος μετακινήσεων

Η μέθοδος αφορά την αναζήτηση της συμπεριφοράς ενός φορέα από ωπλισμένο σκυρόδεμα υπό την επίδραση ενός συγκεκριμένου σεισμού προσδιορισμένο μέσω ενός φάσματος επιταχύνσεων. Η μέθοδος βασίζεται στο κεφάλαιο 8 (Nonlinear static analysis procedures) του αμερικάνικου εγχειριδίου ATC40 “Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings”.

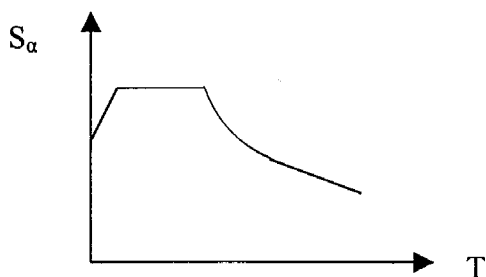
Δεδομένα στην μέθοδο αποτελούν:

- α) Η καμπύλη συμπεριφοράς του φορέα. Πρόκειται για ένα διάγραμμα που έχει προκύψει μέσω μιας μη γραμμικής ανάλυσης υπό την επίδραση στατικής σταδιακώς αυξανόμενης φόρτισης και περιγράφει τη μεταβολή της συνολικής τέμνουσας βάσης του κτιρίου συναρτήσει της μεταβολής της οριζόντιας μετακίνησης της οροφής του (βλ. σχ.4.1).



Σχήμα 4.1. Καμπύλη συμπεριφοράς

- β) Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων. Χρησιμοποιείται το φάσμα σχεδιασμού για απόσβεση $\zeta=5\%$ όπως καθορίζεται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ2000) (βλ. σχ.4. 2)



Σχήμα 4.2.Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων

Η μέθοδος έχει ως στόχο την εύρεση του σημείου p της καμπύλης συμπεριφοράς το οποίο αναφέρεται στην απόκριση της κατασκευής υπό την επίδραση του συγκεκριμένου σεισμού. Αν το σημείο p (βλ. σχ.4. 1)

βρεθεί τότε έχουμε την πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς του φορέα . Δηλαδή την μέγιστη τέμνουσα που θα ασκηθεί στο φορέα, την μετακίνηση της κορυφής του καθώς και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία η οποία προσδιορίζεται μέσω της μη γραμμικής ανάλυσης που έχει προηγηθεί.

Η μέθοδος είναι επαναληπτική και παρουσιάζεται στα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Μετατρέπουμε την καμπύλη συμπεριφοράς σε φασματική καμπύλη διατιθέμενων μετακινήσεων. Αντιστοιχούμε τα ζεύγη (V, Δ_r) σε ζεύγη (S_a, S_d) : επιτάχυνση αντίστοιχου μονοβάθμιου ταλαντωτή, S_d : μετακίνησης βάσης) (βλ. σχ.4. 3). Η μετατροπή αυτή γίνεται μέσω των πιο κάτω σχέσεων:

$$S_a = \frac{V}{W \cdot \alpha_1} \quad , \quad S_d = \frac{\Delta_r}{PF_1 \cdot \phi_{roof,1}}$$

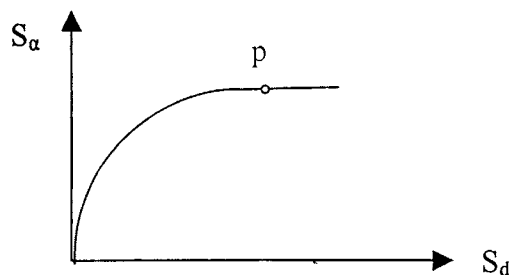
$$\text{όπου: } PF_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_{i1}) / g \right)}{\left(\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_{i1}^2) / g \right)} \quad , \quad \alpha_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_{i1}) / g \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^N w_i / g \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_{i1}^2) / g \right)}$$

W : συνολικό κατακόρυφο φορτίο του δομήματος

N : αριθμός σταθμών

w_i : κατακόρυφο φορτίο στάθμης i

ϕ_{i1} : εύρος της 1^{ης} ιδιομορφής στη στάθμη i

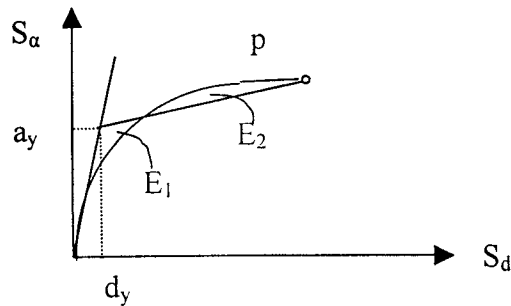


Σχήμα 4.3. Φασματική καμπύλη διατιθέμενων μετακινήσεων

Βήμα 2 : Σε αυτό το βήμα αρχίζει η επαναληπτική διαδικασία εύρεσης του σημείου p . Η φασματική καμπύλη διατιθέμενων μετακινήσεων αποτελείται από ζεύγη σημείων πλήθους έστω N . Θεωρούμε αρχικά αυθαίρετα ως το σημείο p το $N^{\text{οστό}}$ σημείο της καμπύλης.

Βήμα 3 : Διγραμμικοποίηση της φασματικής καμπύλης διατιθέμενων μετακινήσεων. Η διγραμμικοποίηση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα εμβαδά του σχήματος 4 E_1 και E_2 να είναι ίσα. Δηλαδή αναζητούμε ένα

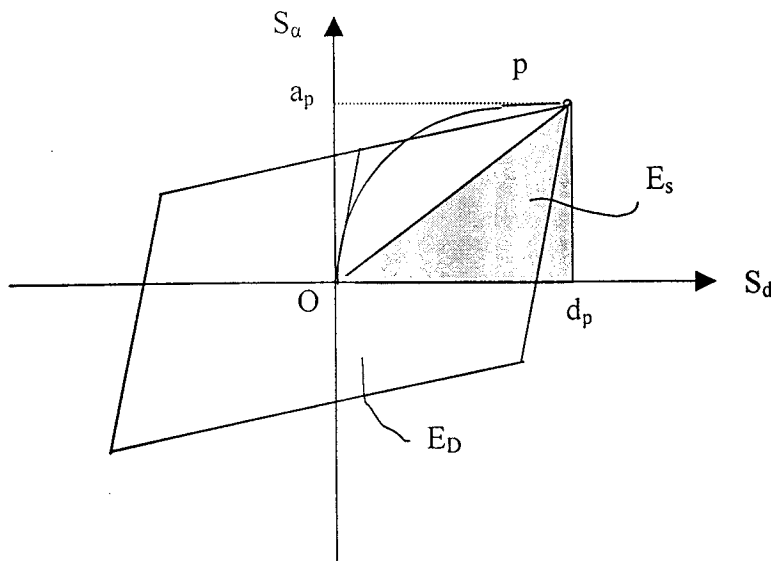
σημείο (a_y, d_y) το οποίο να κείται στην εφαπτόμενη γραμμή στην αρχή της φασματικής καμπύλης διατιθέμενων μετακινήσεων και να ικανοποιεί την πιο πάνω συνθήκη. Η εύρεση του σημείου αυτού είναι εύκολη και πραγματοποιείται μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας.



Σχήμα 4.4. Διγραμμικοποίηση της φασματικής καμπύλης διατιθέμενων μετακινήσεων

Βήμα 4 : Εύρεση της ισοδύναμης υστερητικής απόσβεσης. Υπολογίζεται μέσω του σχήματος 5 μέσω της σχέσης: $\zeta_{eq} = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{E_D}{E_{so}} \cdot \kappa$. Από τη γεωμετρία του σχήματος

$$\text{προκύπτει ότι } \zeta_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{a_y \cdot d_p - d_y \cdot a_p}{a_p \cdot d_p} \cdot \kappa.$$



Σχήμα 4.5. Εύρεση της ισοδύναμης υστερητικής απόσβεσης

Ο συντελεστής κ λαμβάνεται από τον πίνακα 8-1 του κεφαλαίου 8 του ATC40 θεωρώντας τύπο κατασκευής για τις κατασκευές που σχεδιάζονται με τον EAK2000 τον τύπο Α. Ο πίνακας έχει ως εξής:

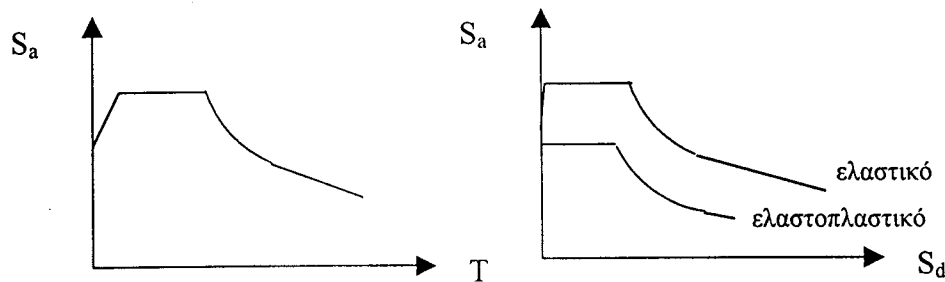
Πίνακας 1: Συντελεστής μείωσης υστερητικής απόσβεσης

Τύπος κατασκευής	$\zeta_o \left(= \frac{2}{\pi} \cdot \frac{a_y \cdot d_p - d_y \cdot a_p}{a_p \cdot d_p} \right)$	κ
Τύπος Α	<16.25	1.0
	>16.25	$1.13 - \frac{0.51 \cdot (a_y \cdot d_p - d_y \cdot a_p)}{a_p \cdot d_p}$
Τύπος Β	<25	0.67
	>25	$0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_p - d_y \cdot a_p)}{a_p \cdot d_p}$
Τύπος Γ	Για οποιαδήποτε τιμή	0.33

Η συνολική απόσβεση για το δόμημα θα είναι $\zeta_{eq} = \zeta_{eq} + 5$, (%)

Βήμα 5 : Μετατροπή του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων σε φασματική καμπύλη σεισμικώς απαιτούμενων μετακινήσεων λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική απόσβεση.

Το ελαστικό φάσμα μετατρέπεται κάνοντας χρήση της σχέσης $S_d = \frac{S_a \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2}$



Σχήμα 4.6. Μετατροπή του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων σε φασματική καμπύλη σεισμικώς απαιτούμενων μετακινήσεων

Το ελαστοπλαστικό φάσμα προκύπτει με τον ίδιο τρόπο με τη διαφορά ότι αρχικά την τιμή του οριζόντιου κλάδου του φάσματος επιταχύνσεων την έχουμε διαιρέσει με B_s ενώ στον καθοδικό έχουμε εισάγει στον λόγο $(T_2/T)^{2/3}$ τον συντελεστή B_L ως εξής: $(T_2/T/B_L)^{2/3}$

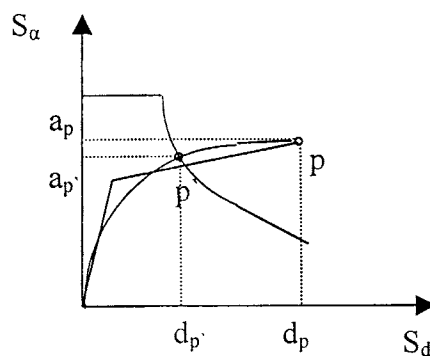
Οπου : $B_s = \frac{3.11}{4.72 - \ln \zeta_{eq}}$ και $B_L = \frac{4.02}{5.63 - \ln \zeta_{eq}}$, οι τιμές των συντελεστών

περιορίζονται βάσει του πίνακα 8-2 του κεφαλαίου 8 του ATC40 ο οποίος έχει ως εξής:

Πίνακας 2: Μέγιστες τιμές των συντελεστών B_s , B_L

Τύπος κατασκευής	$\max B_s$	$\max B_L$
Τύπος Α	3.00	2.00
Τύπος Β	2.27	1.79
Τύπος Γ	0.56	1.49

Βήμα 6 : Έλεγχος ισορροπίας. Σχεδιάζουμε στους ίδιους άξονες την ελαστοπλαστική φασματική καμπύλη σεισμικώς απαιτούμενων μετακινήσεων και την φασματική καμπύλη διατιθέμενων μετακινήσεων και βρίσκουμε το σημείο τομής τους p' (βλ. σχ.4.7).



Σχήμα 4.7. Έλεγχος ισορροπίας

Θεωρούμε πως έχουμε σύγκλιση των σημείων p και p' όταν $0.95d_p < d_{p'} < 1.05d_p$. Αν δεν συμβαίνει αυτό πηγαίνουμε στο βήμα 2 και κάνουμε τα ίδια για το $N-1$ σημείο της φασματικής καμπύλης των διατιθέμενων μετακινήσεων. Συνεχίζουμε την ίδια διαδικασία μέχρι να επιτύχουμε σύγκλιση. Αν τελειώσει η επαναληπτική διαδικασία χωρίς να βρούμε λύση και τα ενδιάμεσα βήματα δείχνουν πως οι ελαστοπλαστικές φασματικές καμπύλες των σεισμικώς απαιτούμενων μετακινήσεων δεν τέμνονται με τις αντίστοιχες φασματικές καμπύλες των διατιθέμενων μετακινήσεων προφανώς το δόμημα καταρρέει υπό την επίδραση του συγκεκριμένου σεισμού.

5. Σύγκριση fibers elements (drain2dx)- beam elements (sap)

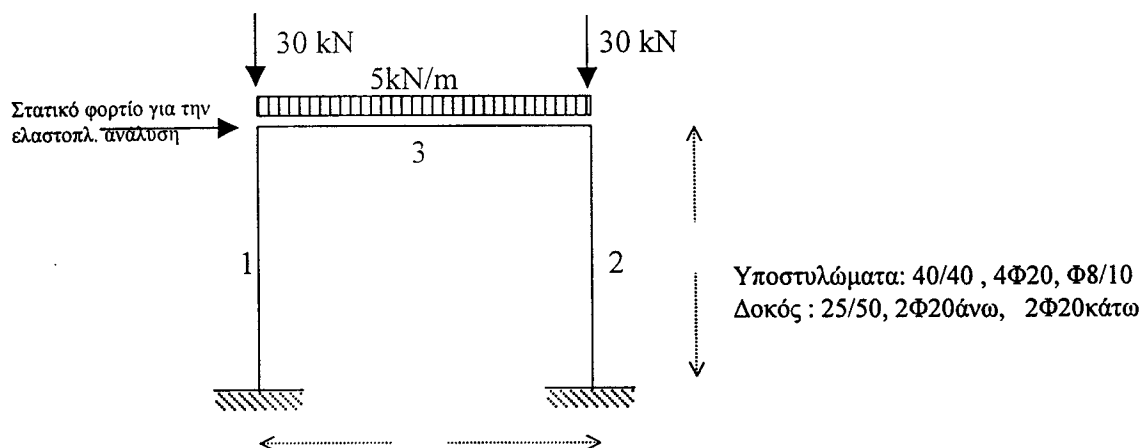
Ο πιο κάτω φορέας αναλύθηκε με 4 διαφορετικούς τρόπους προκειμένου να βρεθεί η ελαστοπλαστική συμπεριφορά του υπό σταδιακά αυξανόμενο οριζόντιο στατικό φορτίο.

Α) Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SAP2000, με μοντελοποίηση της δοκού με στοιχείο συγκεντρωμένης πλαστιμότητας στα άκρα του (M3) και των υποστυλωμάτων με στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας στα άκρα, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της αξονικής δύναμης στην μεταβολή των τιμών των ροπών στα διαγράμματα ροπών-στροφών μέσω του διαγράμματος αλληλοεπιδράσεως (PMM).

Β) Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα drain2dx, μοντελοποιώντας τα στοιχεία του φορέα όπως στην περίπτωση Α

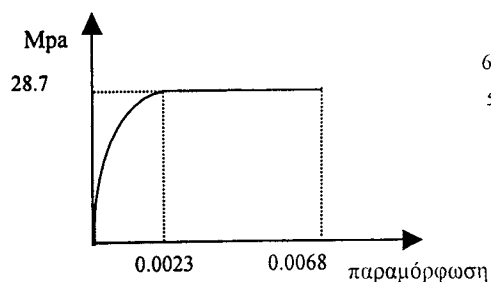
Γ) Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα drain2dx, μοντελοποιώντας την δοκό όπως στην περίπτωση Γ, ενώ τα υποστυλώματα με στοιχεία λουρίδων (Element15, fiber element)

Δ) Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα drain2dx, μοντελοποιώντας τα υποστυλώματα και τη δοκό με στοιχεία λουρίδων (Element15, fiber element)

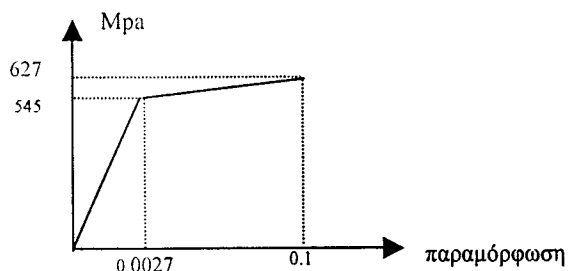


Ιδιότητες υλικών:

Σκυρόδεμα



Χάλυβας



Οι τιμές για την διαρροή και την αστοχία του διαγράμματος ροπών-καμπυλοτήτων για τις διατομές του φορέα φαίνονται πιο κάτω:

	διαρροή		αστοχία	
	M_y (kNm)	$1/r_y$ (m^{-1})	M_u (kNm)	$1/r_u$ (m^{-1})
Υποστυλώμα (N=-40kN)	120.38	0.0088	142.90	0.27611
δοκός	58.00	0.007	66.70	0.13

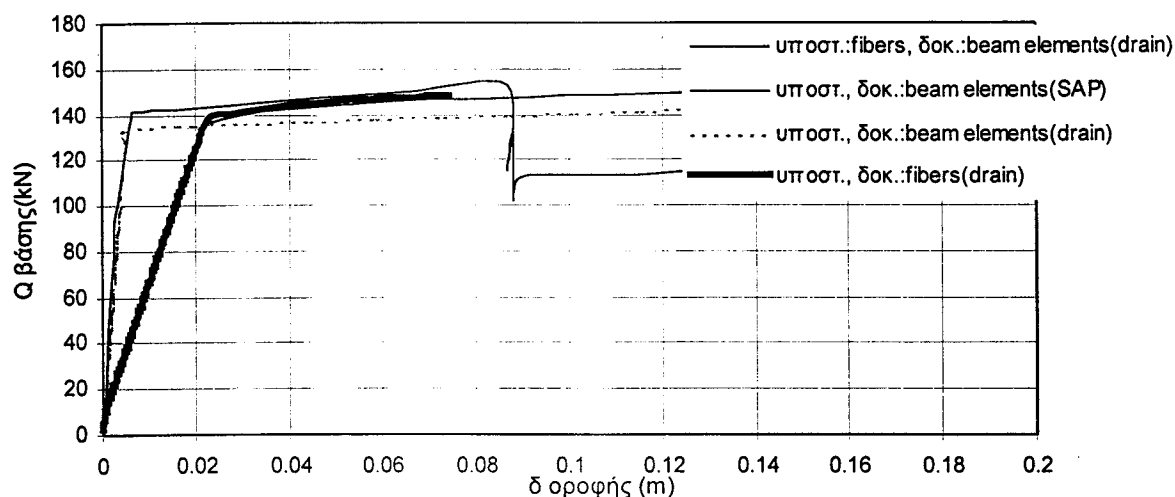
Το SAP2000 δέχεται ως δεδομένα για την περιγραφή της συμπεριφοράς των πλαστικών αρθρώσεων διάγραμμα ροπών-στροφών και όχι διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων. Οπότε χρειάζεται η μετατροπή των καμπυλοτήτων σε στροφές. Με

δεδομένη τη σχέση $\theta = \int (1/r) dx$, προκύπτει : $\theta_y = \frac{(1/r)_y \cdot l}{2}$,
 $\theta_u = \theta_y + [(1/r)_u - (1/r)_y] \cdot l_p$. Οι τιμές του πιο πάνω διαγράμματος μετατρέπεται, με την παραδοχή ότι $l_p = 0.5h$, ως εξής:

	διαρροή		αστοχία	
	M_y (kNm)	θ_y	M_u (kNm)	θ_u
Υποστυλώμα(N=-40kN)	120.38	0.0132	142.90	0.0666
δοκός	58.00	0.0140	66.70	0.0447

Πιο κάτω φαίνονται οι καμπύλες συμπεριφοράς όπως προκύπτουν από τις τέσσερις διαφορετικές αναλύσεις.

Καμπύλες Συμπεριφοράς



- Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία «fibers» του drain για τα υποστυλώματα είναι φανερό πως ο φορέας παρουσιάζεται πιο εύκαμπτος. Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει καθώς οι διατομές, για την περίπτωση που χρησιμοποιούνται στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας στα άκρα, διαθέτουν μέχρι να διαρρεύσουν ακαμψία ίση με $(EI)_0$. Αντίθετα, με τη μέθοδο των λουρίδων υπολογίζεται σε κάθε βήμα της ανάλυσης η ακαμψία που διαθέτει η κάθε διατομή η οποία μικραίνει όσο η διατομή πλησιάζει στο σημείο διαρροής της καθώς το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας του διαγράμματος τάσεων-

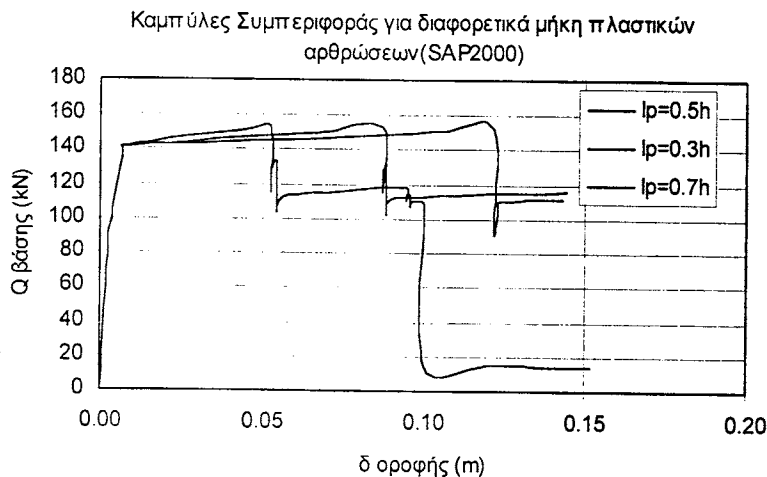
παραμόρφωσης του σκυροδέματος μικραίνει. Για να είχαμε σύμπτωση στις δυο καμπύλες θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε στην περίπτωση της συγκεντρωμένης πλαστιμότητας μια αρχική τιμή ακαμψία μικρότερη, π.χ. $(EI)=0.5(EI)_0$.

- Οι διαφορές των δύο καμπυλών που αναφέρονται στον ίδιο τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος (συγκεντρωμένες πλαστιμότητες στα άκρα) αλλά χρησιμοποιούνται τα δυο προγράμματα drain2dx και SAP2000, είναι σχετικά μικρές και οφείλονται σε πιθανώς μικρά λάθη που γίνανε κατά τη διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων από το ένα πρόγραμμα στο άλλο. Το drain2dx δεν χρησιμοποιεί κάποιο νόμο αστοχίας των διατομών, δηλαδή οι διατομές μετά τη διαρροή τους συνεχίζουν να αποκρίνονται με μια σταθερή ακαμψία. Αυτό έχει ως συνέπεια η καμπύλη συμπεριφοράς που δημιουργείται μετά τη διαρροή όλων των διατομών να συνεχίζει με σταθερή κλίση μέχρι το άπειρο. Το SAP2000 σταματά την ελαστοπλαστική ανάλυση όταν μια από τις διατομές ξεπεράσει μια συγκεκριμένη γωνία στροφής, η οποία δίνεται ως δεδομένο του προγράμματος, και στη συνέχεια δημιουργεί μια καινούρια καμπύλη συμπεριφοράς για το φορέα που προκύπτει μετά την εισαγωγή στη διατομή που αστόχησε μια πλαστική άρθρωση πολύ μικρής ακαμψίας. Με αυτό τον τρόπο δημιουργεί μια περιβάλλουσα καμπυλών συμπεριφοράς με αποτέλεσμα την ικανότητα εμφάνισης πτώσης της καμπύλης, όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα.
- Οι αναλύσεις που έγιναν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των λουρίδων για την προσομοίωση των στοιχείων του φορέα δίνουν μια εικόνα πιο εύκαμπτης συμπεριφοράς για τον φορέα. Η μοναδική διαφορά μεταξύ των δυο περιπτώσεων, στις οποίες χρησιμοποιείται η μέθοδος των λουρίδων, είναι ότι στη μία εξ' αυτών προσομοιώνονται όλα τα μέλη του φορέα με «fiber elements» και επιπλέον ότι έχει δοθεί σε αυτή την περίπτωση ως κριτήριο αστοχίας για όλες τις διατομές η μέγιστη παραμόρφωση του σκυροδέματος (για τα υποστυλώματα ελέγχεται μόνο η περιοχή της διατομής που βρίσκεται εντός των συνδετήρων καθώς η αστοχία της επικάλυψης δεν σημαίνει και αστοχία της διατομής).
- Στις δυο περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε κάποιο κριτήριο αστοχίας (Α και Δ) παρατηρούμε μια εντελώς διαφορετική συμπεριφορά όσον αφορά την πλαστιμότητα την οποία δείχνει ότι διαθέτει ο φορέας. Αυτό είναι επακόλουθο τριών λόγων:

α) Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας στα άκρα ο φορέας δείχνει πιο εύκαμπτος με αποτέλεσμα ο φορέας να διαρρέει υπό μικρότερες επιβαλλόμενες μετατοπίσεις και συνεπώς μικρότερες στροφές των διατομών (ως δεδομένο για τις διατομές είναι το εύρος της πλαστικής περιοχής του διαγράμματος ροπών-στροφών και όχι η τιμή της στροφής διαρροής). Επειδή ως πλαστιμότητα για ένα φορέα ονομάζουμε το πηλίκο της μετατόπισης αστοχίας προς τη μετατόπιση διαρροής η πλαστιμότητα σε αυτή την περίπτωση αυξάνει.

β) Το μήκος της πλαστικής αρθρώσεως το οποίο χρησιμοποιείται προκειμένου να καθοριστεί η μέγιστη επιτρεπτή στροφή (θ_u) της κάθε κρίσιμου διατομής είναι καθοριστικό για τον προσδιορισμό της πλαστιμότητας των διατομών και συνεπώς καθοριστικό για τον προσδιορισμό της πλαστιμότητας ολόκληρου του φορέα. Η πιο πάνω καμπύλη έχει προκύψει θεωρώντας $l_p=0.5h$. Πιο κάτω φαίνονται

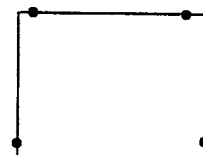
επιπλέον δύο καμπύλες οι οποίες έχουν προκύψει για τον ίδιο φορέα θεωρώντας όμως $I_p=0.3h$ και $I_p=0.7h$.



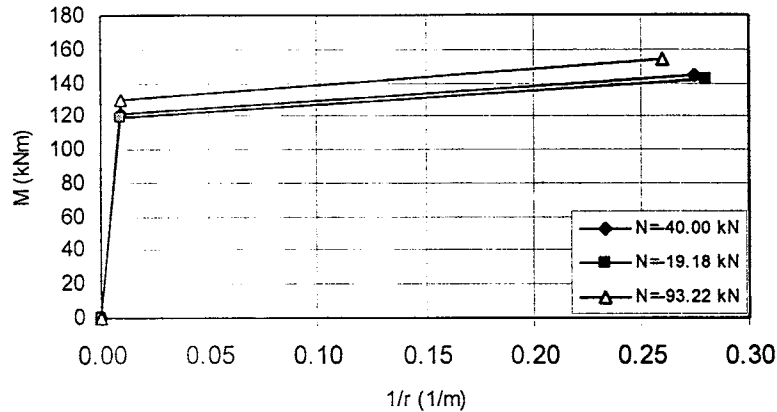
Όπως φαίνεται από το πιο πάνω διάγραμμα, η πλαστιμότητα του φορέα επηρεάζεται περίπου αναλογικά με την μεταβολή του μήκους της πλαστικής άρθρωσης.

γ) Όταν χρησιμοποιούνται στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας στα άκρα δεν είναι δυνατό να ληφθεί κατά την πορεία των υπολογισμών της ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς η επιρροή της μεταβολής της αξονικής δύναμης στην διαθέσιμη πλαστιμότητα των διατομών. Στον συγκεκριμένο φορέα οι διαθέσιμες πλαστιμότητες οι οποίες δόθηκαν ως δεδομένες στο πρόγραμμα είναι αυτές που προκύπτουν από τα αρχικά κατακόρυφα φορτία ($N=-40$ kN). Η πορεία των πλαστικών αρθρώσεων για την ανάλυση με τη μέθοδο των λουρίδων (drain2dx) και με στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας στα άκρα (SAP2000) είναι όμοια και έχει ως εξής:

Η διαφορά που παρατηρείται αφορά τον τρόπο αστοχίας του φορέα. Για την μοντελοποίηση με στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας η αστοχία του φορέα προέρχεται από την αστοχία στην βάση του υποστυλώματος 1 ενώ για την μοντελοποίηση με τη μέθοδο των λουρίδων από αστοχία στη βάση του υποστυλώματος 2. Κατά την αστοχία του υποστυλώματος 1 (SAP2000) η αξονική δύναμη του υποστυλώματος 1 είναι ίση με $N_1=19.18$ kN και του υποστυλώματος 2 ίση με $N_2=93.22$ kN. Πιο κάτω φαίνονται τα διαγράμματα ροπών καμπυλότητας για τις αξονικές αυτές σε σύγκριση με την αρχική αξονική δύναμη των υποστυλωμάτων ($N=-40$ kN). Το υποστύλωμα 2 διαθέτει μεγαλύτερη αντοχή έναντι κάμψης, αλλά μικρότερη πλαστιμότητα εφόσον η καμπυλότητα αστοχίας $(1/r)_u$ έχει μικρύνει.



Διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων



Η μείωση αυτή της πλαστιμότητας δεν λαμβάνεται υπόψη και γι' αυτό αστοχεί το υποστυλώμα 1 το οποίο διαθέτει μικρότερη αντοχή έναντι κάμψεως (μεγαλύτερη όμως πλαστιμότητα η οποία όμως δεν λαμβάνεται υπόψη). Αντιθέτως με τη μέθοδο των λουρίδων (drain2dx) η επιρροή της αξονικής δύναμης στην πλαστιμότητα των διατομών λαμβάνεται υπόψη και συνεπώς η αστοχία, όπως είναι και φυσικό, προέρχεται από αστοχία του υποστυλώματος 2. Πιο κάτω φαίνονται τα διαγράμματα των ροπών καμπυλοτήτων όπως αυτά διαμορφώνονται κατά την πορεία της ελαστοπλαστικής ανάλυσης κάνοντας χρήση τη μέθοδο των λουρίδων (drain2dx).

Διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων

