

4. Αποτελέσματα Αριθμητικών Αναλύσεων

Κατηγορία I: Διάνοιξη κύριων σηράγγων και συνδετήριας σήραγγας με κυκλική διατομή.

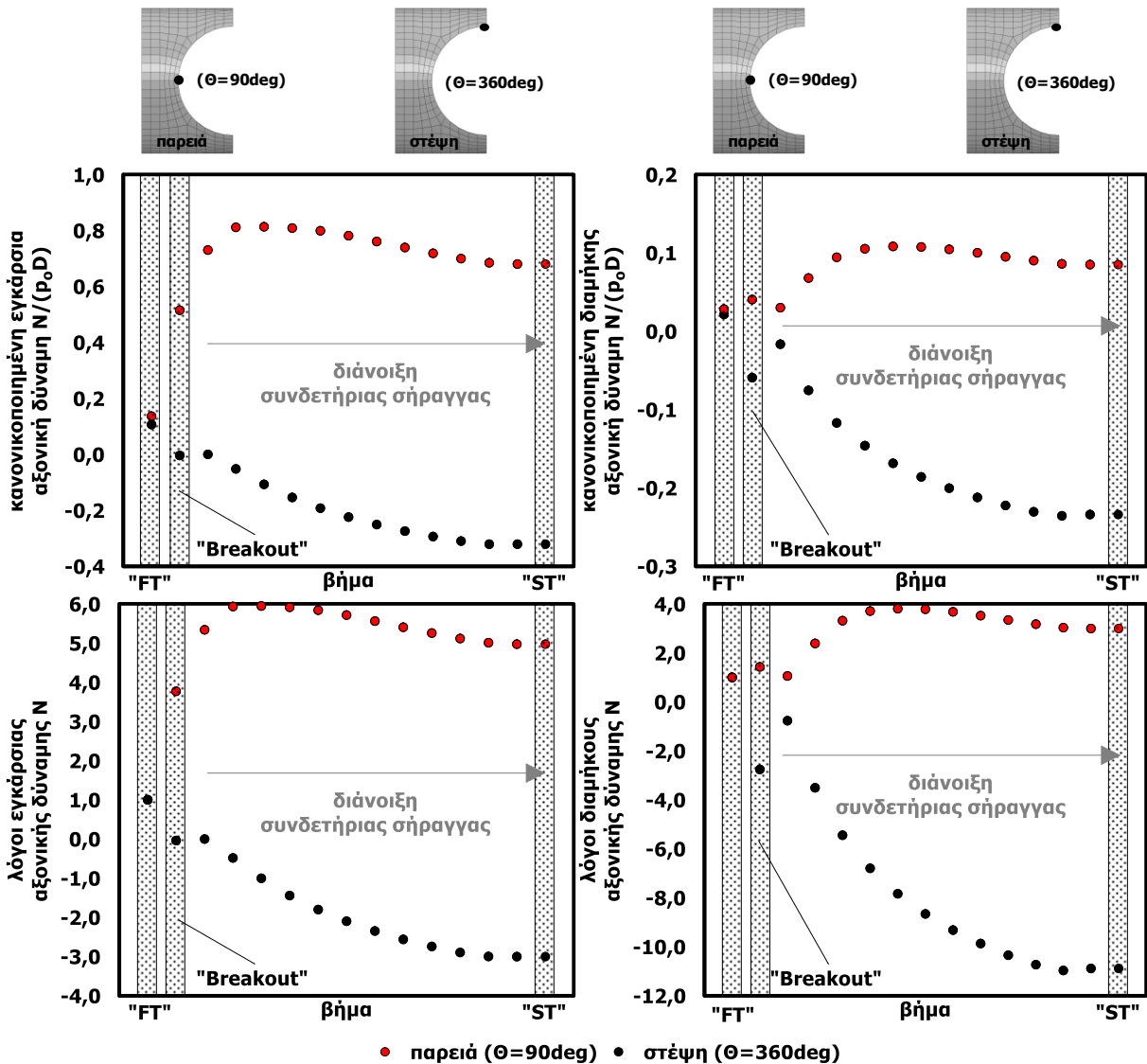
Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_0 = 0.5$, $\lambda = 0.7$).

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης εγκάρσιας και διαμήκουσ αξονικής δύναμης στην στέψη ($\Theta = 360^\circ$) και την παρειά ($\Theta = 90^\circ$) του ανοίγματος για τα τρία βασικά βήματα: (i) διάνοιξη πρώτων κύριων σηράγγων («FT» - First Tunnels), (ii) διάνοιξη ανοιγμάτων («Breakout») και (iii) ολοκλήρωση διάνοιξης δευτερής συνδετήριας σήραγγας («ST» - Second Tunnel). Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.1 και η συγκεκριμένη περίπτωση που παρουσιάζεται αφορά σε μια ασθενή βραχομάζα με μικρό λόγο αντοχής/αρχικής επιτόπου τάσης (σ_{cm}/ρ_0). Οι λόγοι της κανονικοποιημένης εγκάρσιας και διαμήκουσ δύναμης είναι το πηλίκο των εγκάρσιων και διαμηκών δυνάμεων σε κάθε βήμα προς την αντίστοιχη εγκάρσια και διαμήκη δύναμη στο αρχικό βήμα. Όπως φαίνεται από την μελέτη του Σχήματος 4.1 οι εγκάρσιες δυνάμεις σε σχέση με τις διαμήκεισ αναπτύσσονται σε μεγαλύτερα απόλυτα μεγέθη.

Στην περίπτωση των εγκάρσιων δυνάμεων πριν την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας και στην παρειά και στην στέψη της διατομής οι δυνάμεις που ασκούνται είναι συγκριτικά μικρές σε απόλυτο μέγεθος. Κατά το σπάσιμο και τη διάνοιξη της σήραγγας παρατηρείται πως στην παρειά εντείνονται οι θλιπτικές δυνάμεις οι οποίες μεγιστοποιούνται λίγο μετά το «σπάσιμο» και στην συνέχεια καθώς ολοκληρώνεται η διάνοιξη της συνδετήριας μειώνονται σε μικρό βαθμό και σταθεροποιούνται. Το υφιστάμενο θλιπτικό εντατικό πεδίο στην συγκεκριμένη θέση ενισχύεται, λόγω της εκτροπής και μεγέθυνσης της αρχικής εγκάρσιας δύναμης κατά τη δημιουργία του ανοίγματος. Αντίστοιχα κατά την διάρκεια του σπασίματος η περιοχή της στέψης δεν φορτίζεται περαιτέρω θλιπτικά, αλλά αποφορτίζεται και κατά την διάνοιξη της σήραγγας μέχρι την ολοκλήρωσή της καταλήγει να καταπονείται από εφελκυστικό εντατικό πεδίο. Ως μέτρο της καθαρής επίδρασης της διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας και της επιβάρυνσης της παρειάς μπορεί να ληφθεί ο λόγος της εγκάρσιας αξονικής δύναμης όπου φαίνεται πως η θλίψη στην παρειά μετά το σπάσιμο και τη διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας αναπτύσσεται 6 φορές περισσότερο από την αρχική κατάσταση, που επικρατούσε.

Όσον αφορά στη διαμήκη αξονική δύναμη, στην αρχική κατάσταση πριν το «άνοιγμα» της συνδετήριας σήραγγας οι δυνάμεις στην παρειά και στην στέψη της διατομής είναι μικρές σε απόλυτο μέγεθος και συγκριτικά μικρότερες από τις αντίστοιχες εγκάρσιες δυνάμεις. Στην διάρκεια του σπασίματος και διάνοιξης της σήραγγας η περιοχή της παρειάς φορτίζεται και σταθεροποιείται σε θλίψη, ενώ η περιοχή της στέψης αποφορτίζεται και καταλήγει σε εφελκυσμό. Η θλίψη που αναπτύσσεται από την διαμήκη αξονική δύναμη δεν είναι τόσο μεγάλη σε σχέση με αυτή που προκαλεί η εγκάρσια αξονική δύναμη στην παρειά. Το εφελκυστικό εντατικό πεδίο στην διαμήκη διεύθυνση είναι σχετικά χαμηλότερο από το αντίστοιχο στην εγκάρσια. Οι τιμές των λόγων της διαμήκουσ αξονικής δύναμης παρουσιάζουν μεγάλο εύρος και λόγω των ιδιαίτερα χαμηλών τιμών της συγκεκριμένης δύναμης πριν τη διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=0.4)$

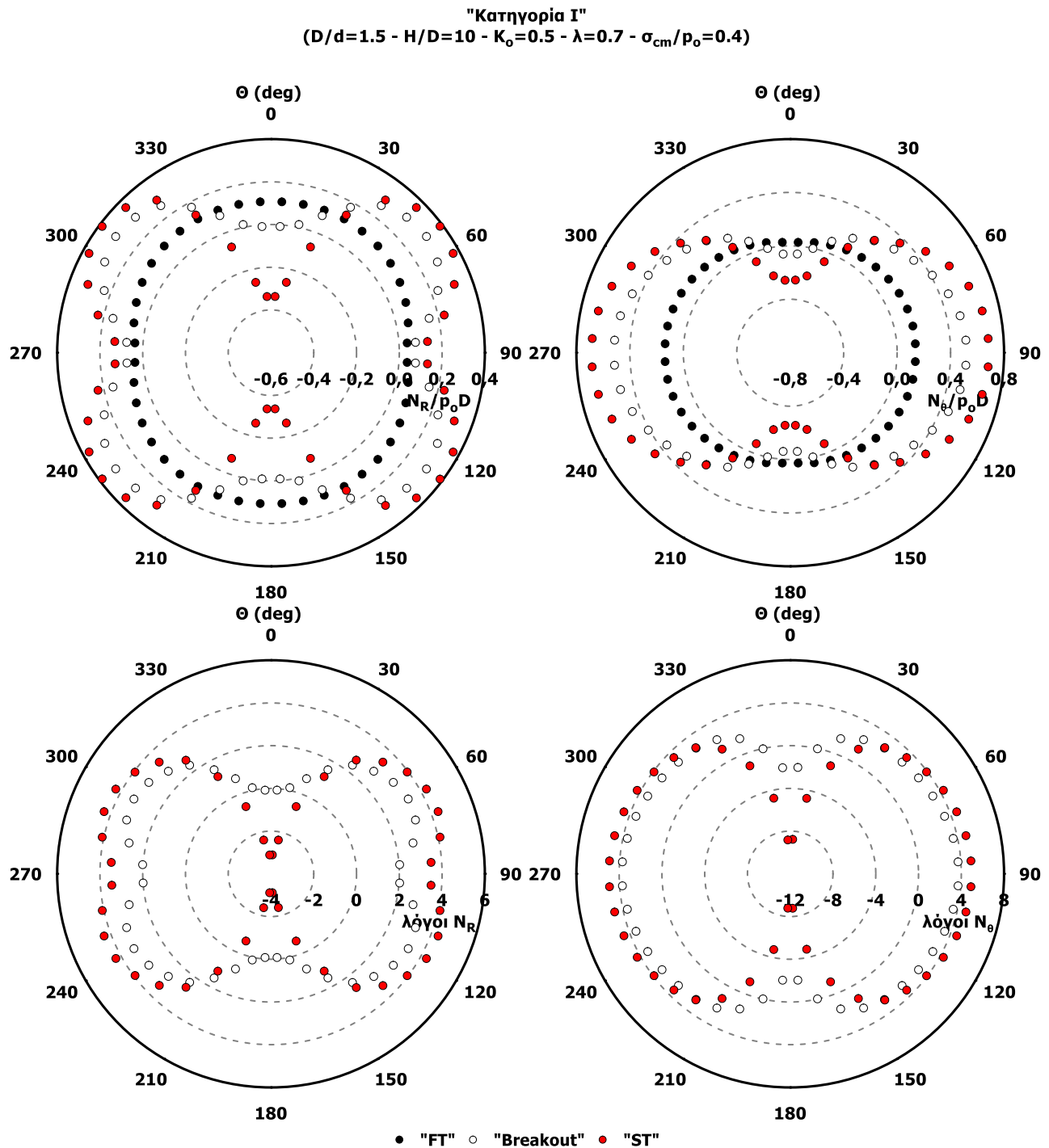


Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..1: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_o= 0.5, \lambda= 0.7$).

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος για τα τρία προαναφερθέντα βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». Με σκοπό την καλύτερη και πιο λεπτομερή μελέτη της εντατικής κατάστασης της διασταύρωσης των σηράγγων οι εγκάρσιες και διαμήκεις δυνάμεις που μελετήθηκαν στην παρειά και την στέψη της οπής αναλύθηκαν σε ακτινικές και εφαπτομενικές δυνάμεις για όλα τα στοιχεία της περιφέρειας του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Σε κάθε στοιχείο η εγκάρσια και η διαμήκης δύναμη μετατράπηκε σε ακτινική και εφαπτομενική μέσω της γωνίας θ , δηλαδή

της θέσης του στοιχείου πάνω στην οπή. Από την επαλληλία των συνιστωσών από την μετατροπή των εγκάρσιων και διαμηκών δυνάμεων υπολογίζονται οι συνιστάμενες ακτινικές και εφαπτομενικές δυνάμεις.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..2: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4$, $K_o=0.5$, $H/D=10$, $\lambda=0.7$)

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2 και η συγκεκριμένη περίπτωση που παρουσιάζεται αφορά σε μια ασθενή βραχομάζα με μικρό λόγο αντοχής/αρχικής επιτόπου τάσης (σ_{cm}/ρ_o). Οι λόγοι της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής δύναμης

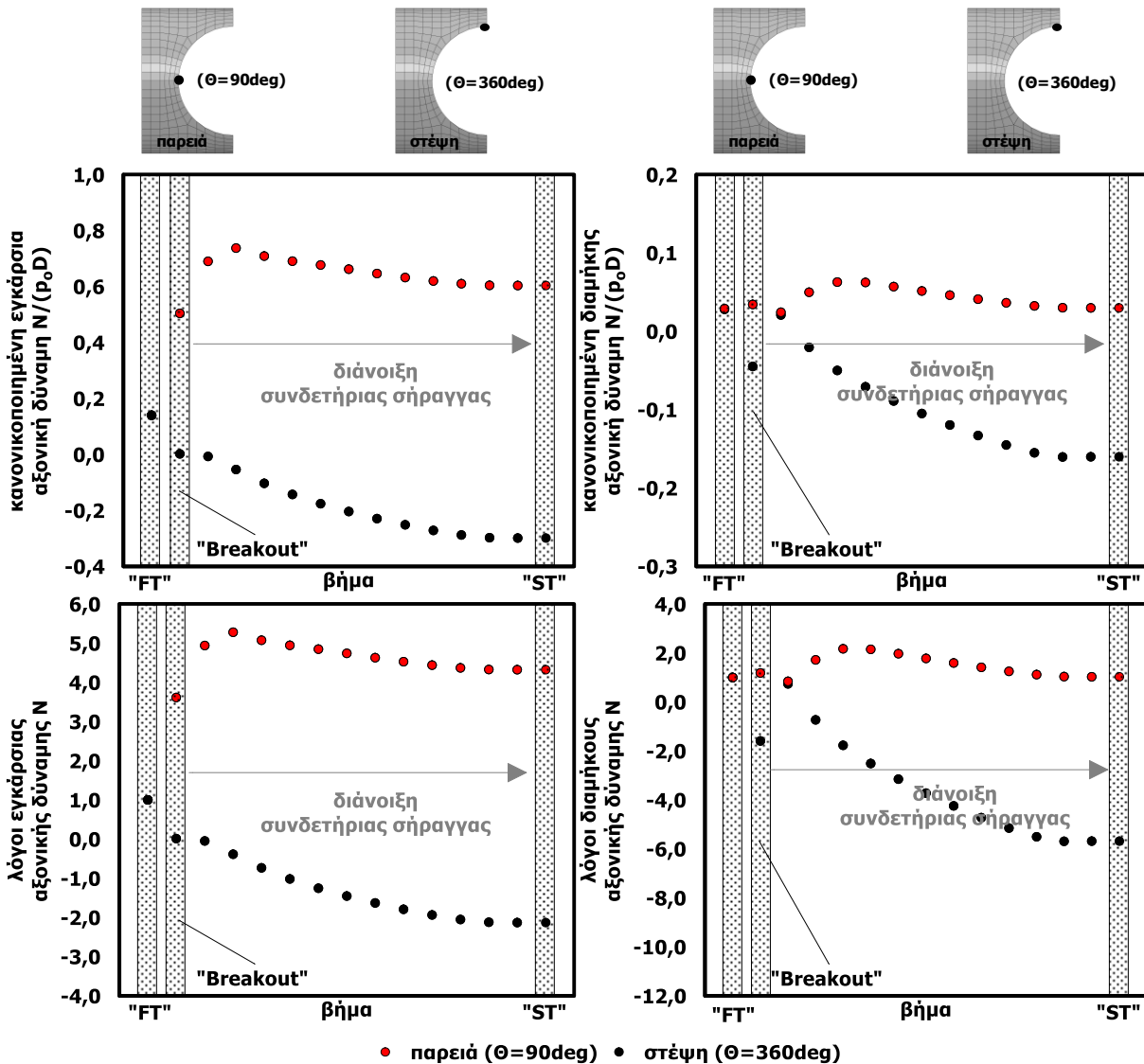
είναι το πηλίκιο των ακτινικών και εφαπτομενικών δυνάμεων σε κάθε βήμα αντίστοιχα προς την αντίστοιχη ακτινική και εφαπτομενική δύναμη στο αρχικό βήμα. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2 οι εφαπτομενικές δυνάμεις, που αναπτύσσονται, είναι μεγαλύτερες από τις ακτινικές.

Για το πρώτο βήμα πριν την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας οι ακτινικές και οι εφαπτομενικές δυνάμεις στην οπή είναι θλιπτικές. Κατά την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας από τη δημιουργία του ανοίγματος έως το τέλος της κατασκευής της, μεταβάλλεται το εντατικό πεδίο. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των ακτινικών δυνάμεων δημιουργείται μια περιοχή υψηλότερης φόρτισης, δηλαδή θλιπτικό πεδίο δυνάμεων, με εύρος σε γωνία $\Theta=30-150$ μοίρες και $\Theta=210-330$ μοίρες, ενώ στις περιοχές με εύρος γωνίας $\Theta=330-0-30$ μοίρες και $\Theta=150-210$ μοίρες γίνεται αποφόρτιση και μεταβολή του πεδίου, αφού οι θλιπτικές δυνάμεις καταλήγουν σε εφελκυστικές. Αντίστοιχα, οι εφαπτομενικές δυνάμεις εντείνονται και δημιουργούν ένα θλιπτικό πεδίο στις περιοχές με εύρος $\Theta=30-150$ μοίρες και $\Theta=210-330$ μοίρες και στις υπόλοιπες περιοχές αναπτύσσεται εφελκυσμός λόγω της αποφόρτισης που συμβαίνει. Από τα γραφήματα των λόγων της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος γίνεται κατανοητό πως το μεγαλύτερο μέρος της διατομής του ανοίγματος φορτίζεται περισσότερο και θλίβεται λόγω της διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας, ενώ μικρότερο μέρος αποφορτίζεται και εφελκύεται.

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_0= 1.0$, $\lambda= 0.7$).

Στην περίπτωση, που μελετάται παρακάτω, σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα αλλάζει ο συντελεστής οριζόντιων τάσεων από $K_0= 0.5$ σε $K_0= 1.0$. Συγκρίνοντας το Σχήμα 4.1 με το 4.3 η «μορφή» της έντασης που αναπτύσσεται και για τις εγκάρσιες και για τις διαμήκεις δυνάμεις παρουσιάζει αντίστοιχο μοτίβο με κάποιες διαφορές όπως: (i) παρατηρείται και για την εγκάρσια και για τη διαμήκη αξονική δύναμη στην παρειά μια μικρή μείωση συγκριτικά της θλίψης κατά την διάνοιξη καθώς και στην ολοκλήρωση (βήμα «ST») της συνδετήριας σήραγγας, (ii) παρατηρείται και για την εγκάρσια και για την διαμήκη αξονική δύναμη στην στέψη μια μικρή μείωση συγκριτικά του εφελκυσμού που αναπτύσσεται κατά την ολοκλήρωση (βήμα «ST») της συνδετήριας σήραγγας. Από την σύγκριση των γραφημάτων των λόγων του Σχήματος 4.1 και 4.3 προκύπτει πως η αύξηση του συντελεστή οριζοντίων τάσεων K_0 συμβάλει στην μείωση της επιπρόσθετης έντασης, που αναπτύσσεται στην διατομή του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας και δημιουργεί μια πιο ευμενή εντατική κατάσταση. Η καθαρή επίδραση της συνδετήριας στην κύρια σήραγγα είναι μικρότερη για $K_0=1$ τόσο σε όρους απόλυτων μεγεθών, όσο και σε όρους καθαρής επίδρασης που εκφράζεται μέσω των λόγων.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=1.0 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=0.4)$



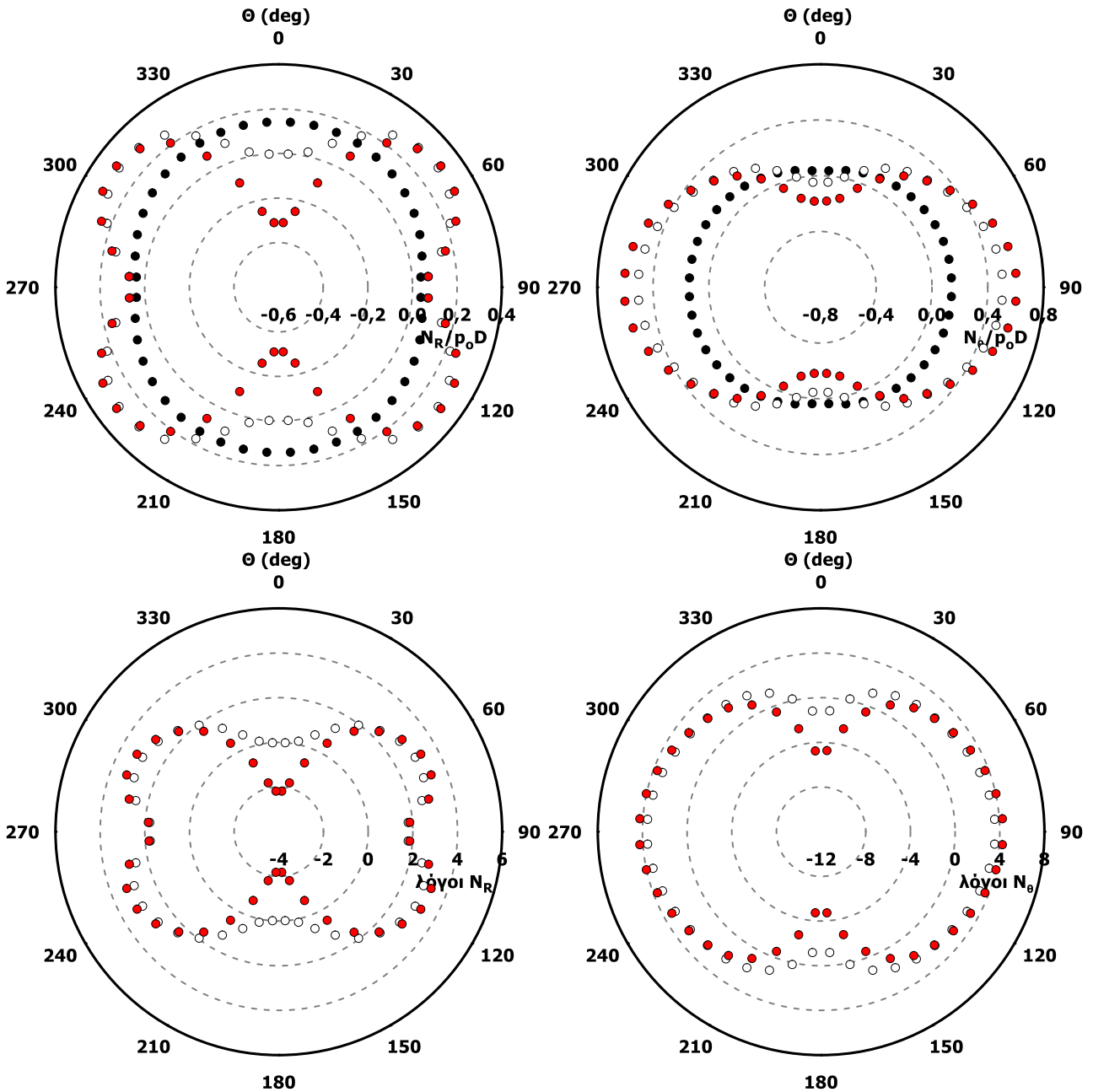
● παραιά ($\theta=90\text{deg}$) ● στέψη ($\theta=360\text{deg}$)
 Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..3: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παραιά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παραιά του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4, K_o=1.0, H/D=10, \lambda=0.7$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_o= 1.0, \lambda= 0.7$)

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 4.1.2 από τα γραφήματα εξάγεται το συμπέρασμα πως το μεγαλύτερο μέρος της διατομής του ανοίγματος φορτίζεται εντονότερα και θλίβεται λόγω της διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας, ενώ μικρότερο μέρος αποφορτίζεται και εφελκύεται. Η περιοχή φόρτισης, στην οποία εντείνονται οι θλιπτικές δυνάμεις, και η περιοχή αποφόρτισης, στην οποία αμβλύνονται οι θλιπτικές δυνάμεις και εξελίσσονται σε εφελκυστικές, είναι παρόμοιες με την περίπτωση, που η τιμή οριζοντίων τάσεων είναι ίση με $K_o= 0.5$. Οι αλλαγές που προκύπτουν στην περίπτωση για $K_o= 1.0$ είναι: (i) για την ακτινική και εφαπτομενική αξονική δύναμη η θλιπτική και η εφελκυστική ένταση, που αναπτύσσεται στις περιοχές που αναφέρθηκαν, μειώνεται σε μικρό βαθμό όσον αφορά τις τιμές τους, (ii) από του λόγους της

ακτινικής και εφαπτομενικής δύναμης γίνεται κατανοητό πως οι ακτινικές και εφελκυστικές δυνάμεις στα στοιχεία της οπής του ανοίγματος έχουν μειωθεί στην περίπτωση που ο συντελεστής K_0 αυξήθηκε και έτσι γίνεται γνωστό πως η πρώτη περίπτωση με $K_0=0.5$ είναι δυσμενέστερη από αυτή με $K_0=1.0$.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_0=1.0 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_0=0.4)$

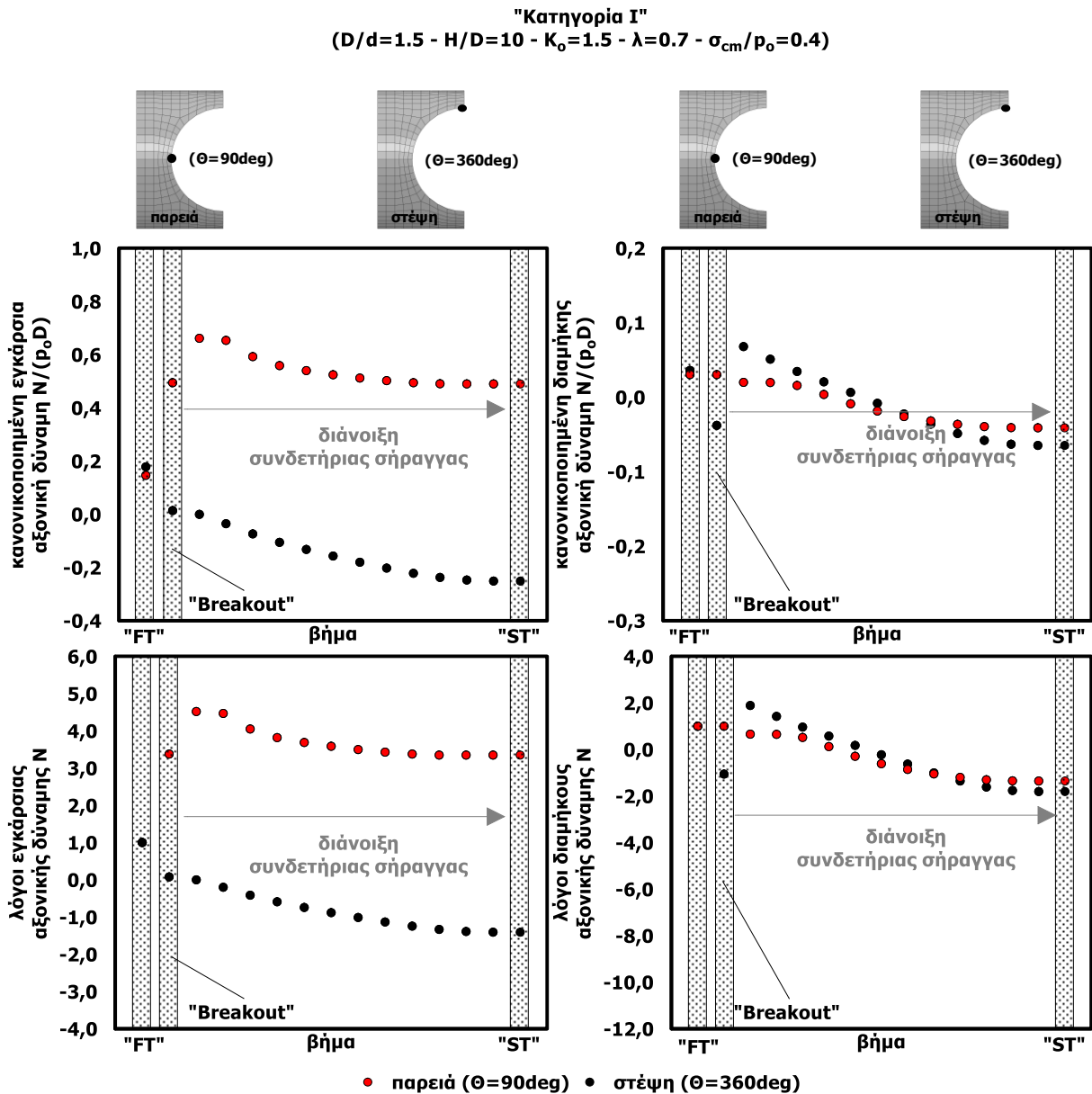


● "FT" ○ "Breakout" ● "ST"

Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..4: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_0=0.4$, $K_0=1.0$, $H/D=10$, $\lambda=0.7$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_0 = 1.5$, $\lambda = 0.7$).

Στην περίπτωση αυτή σε σχέση με τις προηγούμενες ενότητες αυξάνεται και άλλο ο συντελεστής οριζόντιων σε $K_0 = 1.5$.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..5: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκου (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκου (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_0=0.4$, $K_0=1.5$, $H/D=10$, $\lambda=0.7$)

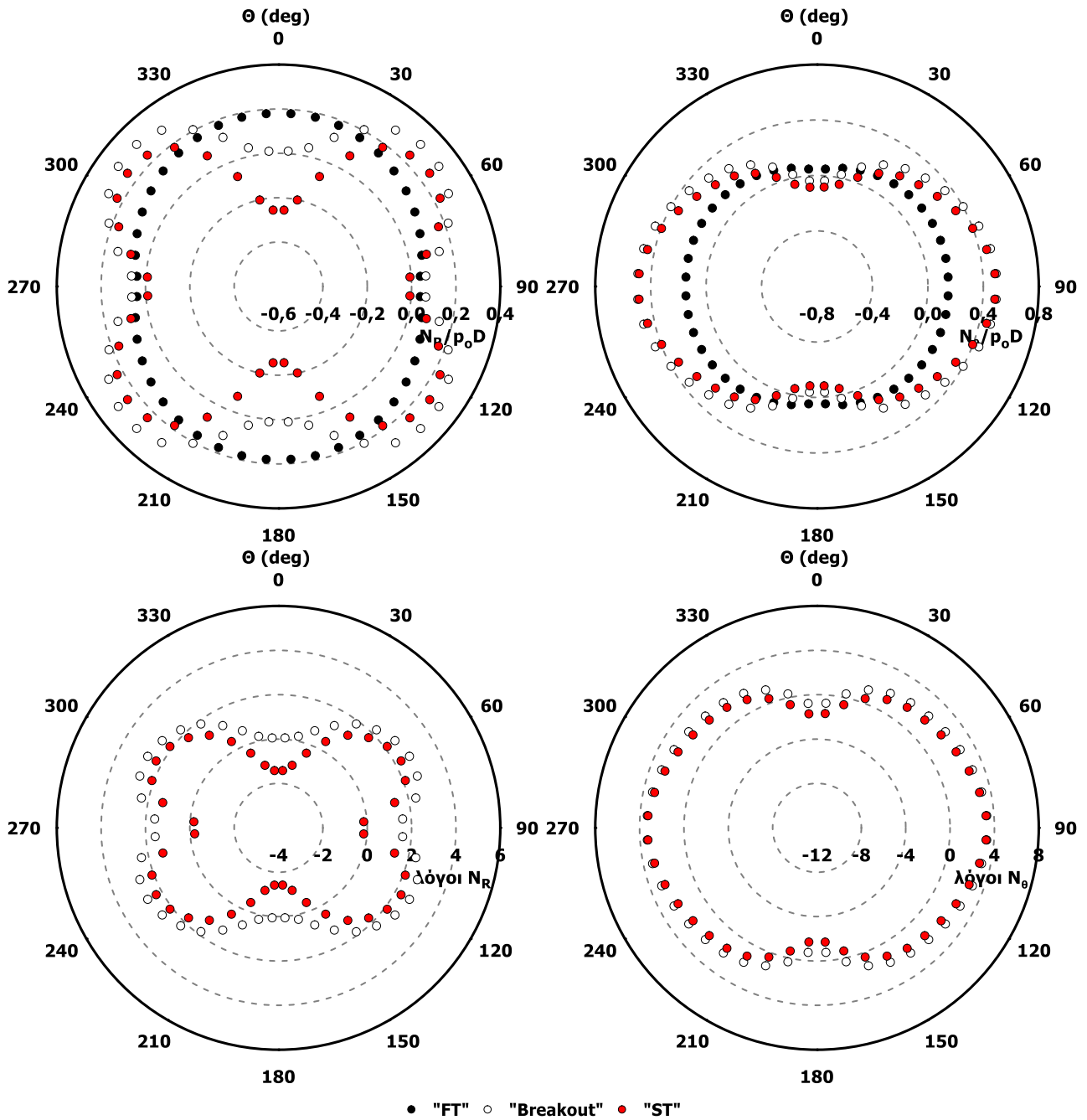
Συγκρίνοντας το Σχήμα 4.1, 4.3 και 4.5 για την εγκάρσια αξονική δύναμη παρατηρείται πως όσο αυξάνεται ο συντελεστής K_0 η θλίψη στην παρειά και ο εφελκυσμός στην στέψη συγκριτικά μειώνονται. Αντίστοιχα, από το Σχήμα 4.5 για την διαμήκη αξονική δύναμη φαίνεται πως η ένταση στην παρειά και την στέψη μειώνεται όσο αυξάνεται ο συντελεστής K_0 . Κατά συνέπεια εξάγεται το συμπέρασμα πως όσο αυξάνεται ο συντελεστής οριζοντίων τάσεων K_0 τόσο πιο

ευμενής εντατική κατάσταση δημιουργείται στην διατομή του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας.

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_0 = 1.5$, $\lambda = 0.7$).

Από την χρονοϊστορία της ακτινικής και της εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας φαίνεται πως η εντατική κατάσταση που δημιουργείται είναι παρόμοια με τις προηγούμενες δυο περιπτώσεις της ενότητας 4.1.2, 4.1.4 όμως με την διαφορά πως για τον μεγαλύτερο συντελεστή οριζοντίων τάσεων η φόρτιση μειώνεται στην διατομή του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Από τα Σχήματα 4.2, 4.4 και 4.6 φαίνεται πως η ακτινική και η εφαπτομενική δύναμη στην περιφέρεια του ανοίγματος μειώνονται όσο αυξάνεται ο συντελεστής οριζοντίων τάσεων K_0 και δημιουργείται μια πιο ευμενής εντατική κατάσταση στην διατομή του ανοίγματος.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=1.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=0.4)$



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..6: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4, K_o=1.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

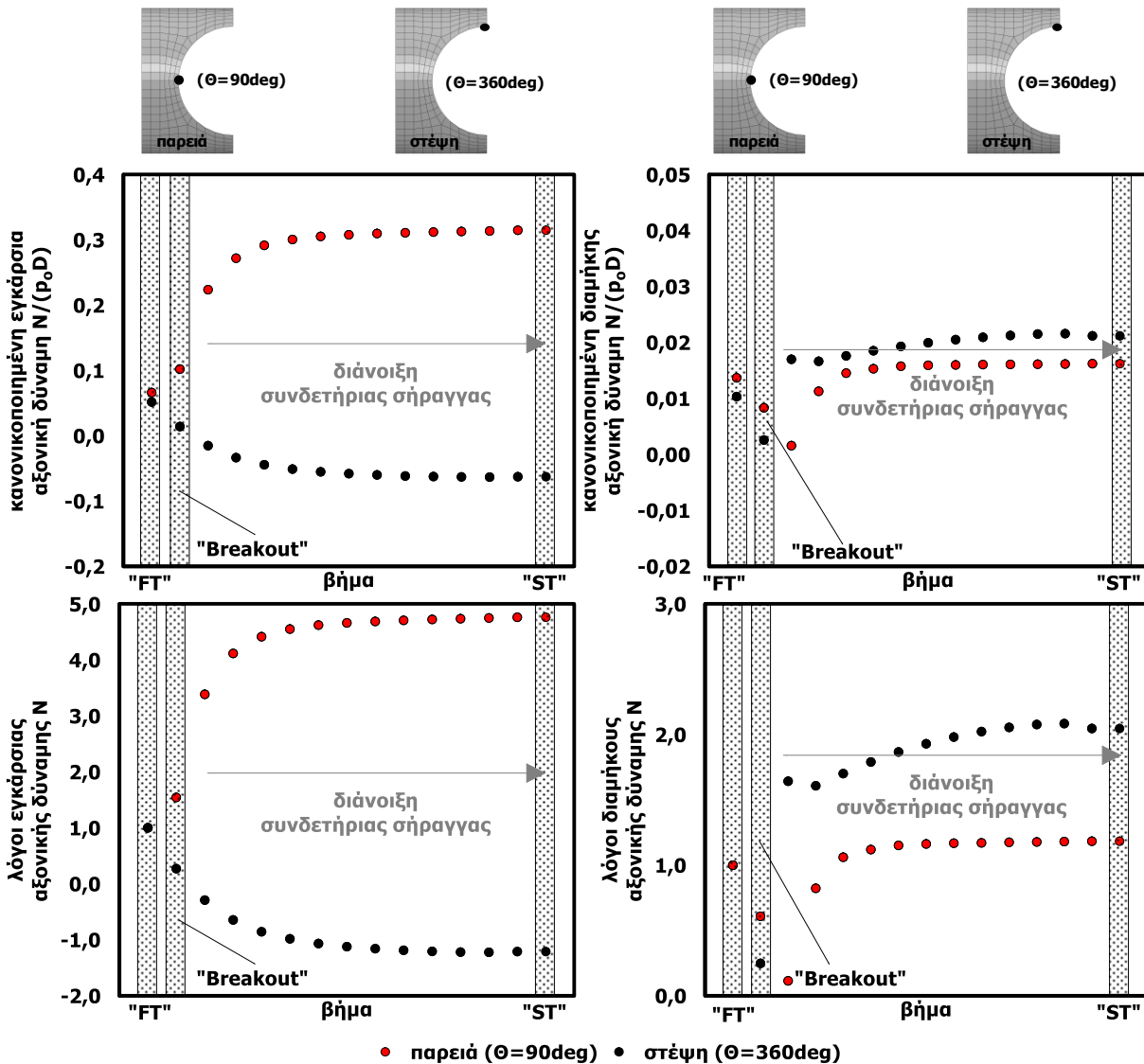
Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων (ισχυρή βραχομάζα, $K_o=0.5, \lambda=0.7$).

Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης εγκάρσιας και διαμήκους αξονικής δύναμης στην στέψη ($\Theta=360^\circ$) και την

παρειά ($\Theta=90^\circ$) του ανοίγματος για τα τρία προαναφερθέντα βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο

Σχήμα 4.7 και η περίπτωση αυτή που παρουσιάζεται αφορά μια σε μια ισχυρή βραχομάζα με μεγάλο λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_o) με τιμή $\sigma_{cm}/\rho_o= 2.8$. Όπως και για την ασθενή βραχομάζα έτσι και για την ισχυρή η στέψη κατά την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας αποφορτίζεται και δημιουργείται εφελκυσμός ενώ στην παρειά δημιουργείται περιοχή εντονότερης θλίψης με τις εξής διαφορές: (i) για την ισχυρή βραχομάζα η μορφή της έντασης που δημιουργείται για την εγκάρσια αξονική δύναμη στην παρειά αλλάζει, αφού λαμβάνει την μέγιστη θλιπτική τιμή και συνεχίζει σταθερά μέχρι το βήμα «ST» σε αντίθεση με την περίπτωση της ασθενούς βραχομάζας που η μέγιστη τιμή εμφανιζόταν σε ένα βήμα μετά το σπάσιμο και στην συνέχεια η δύναμη παρουσίαζε μια μείωση και σταθεροποιούνταν, (ii) για την ισχυρή βραχομάζα η ένταση που δημιουργείται και από την εγκάρσια και από την διαμήκη αξονική δύναμη σε παρειά και στέψη είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη της ασθενούς, (iii) η ένταση της διαμήκους αξονικής δύναμης είναι πολύ μικρή σε σχέση με την εγκάρσια. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητή η σημασία της ποιότητας και αντοχής της βραχομάζας στην ανάπτυξη της εντατικής κατάστασης του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας και φαίνεται πως όσο πιο ασθενής είναι η βραχομάζα τόσο πιο δυσμενής είναι η εντατική κατάσταση που διαμορφώνεται.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=2.8)$

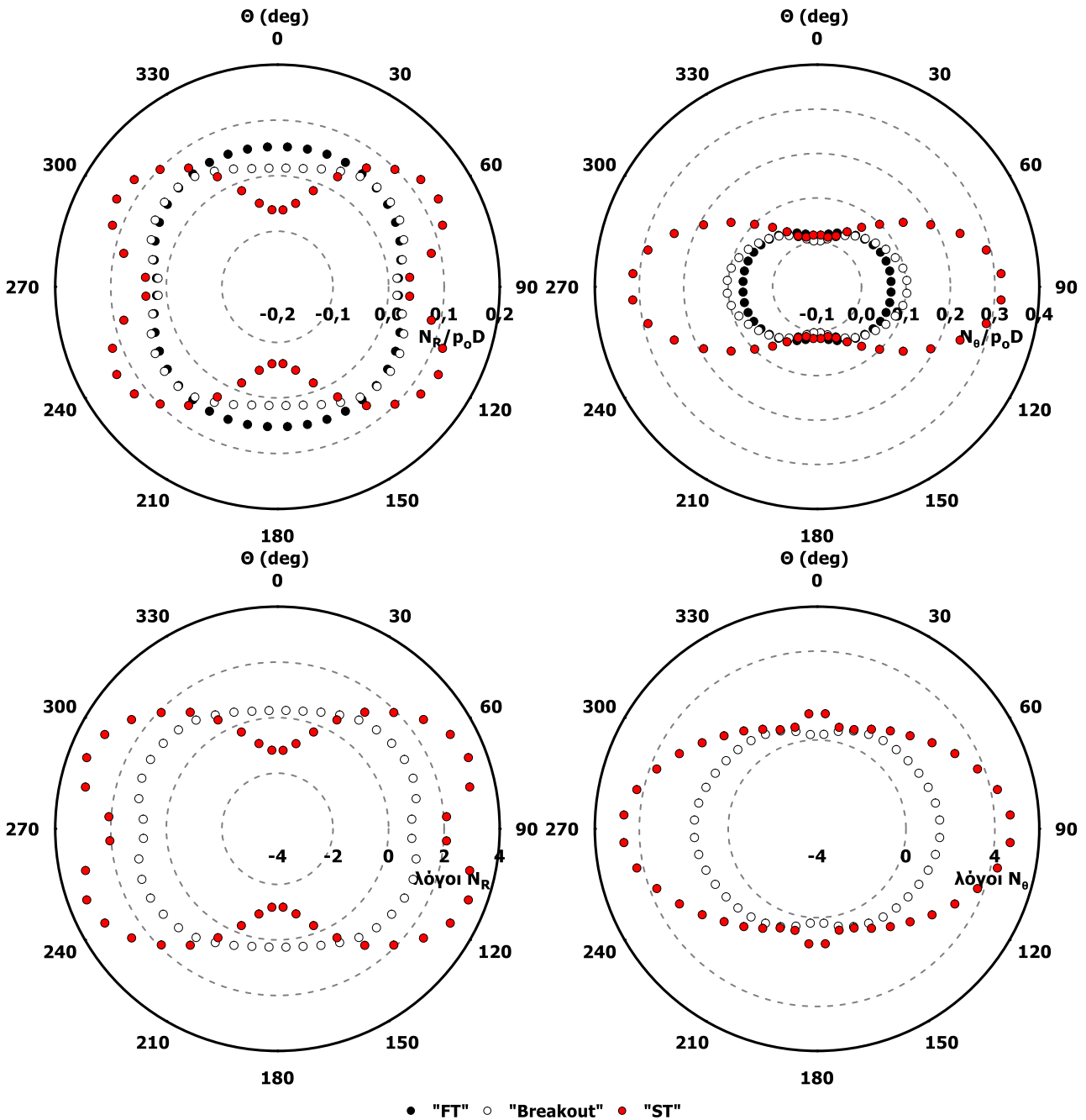


Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..7: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=2.8, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων (Ισχυρή βραχομάζα, $K_o=0.5, \lambda=0.7$).

Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος για τα τρία προαναφερθέντα βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.8 και η περίπτωση αυτή που μελετήθηκε αφορά μια ισχυρή βραχομάζα με μεγάλο λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_o) με τιμή $\sigma_{cm}/\rho_o=2.8$.

"Κατηγορία Ι"
 ($D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=2.8$)



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..8: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=2.8, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

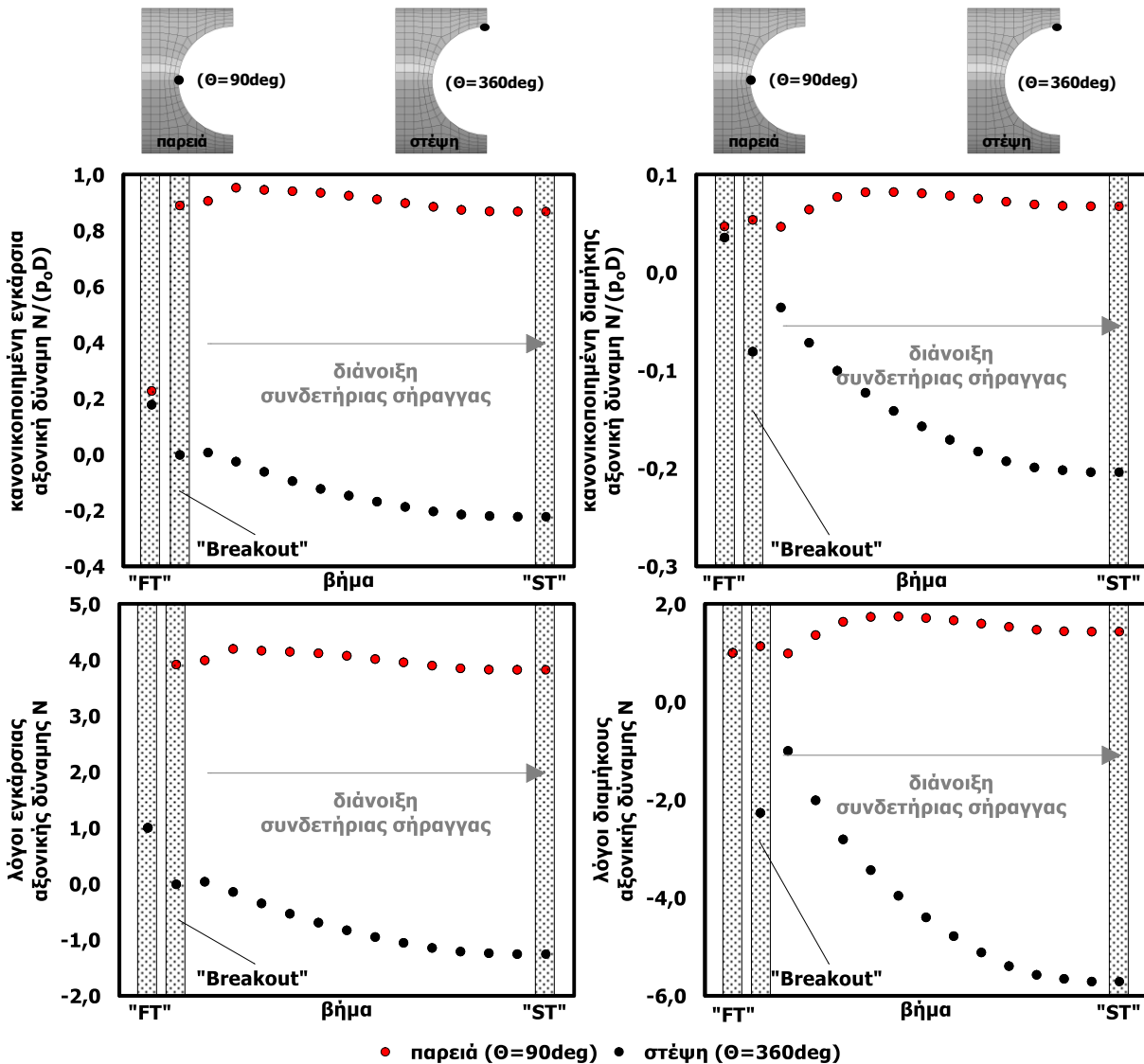
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.8 οι εφαπτομενικές δυνάμεις, που αναπτύσσονται, είναι μεγαλύτερες από τις ακτινικές. Για το πρώτο βήμα πριν την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας οι ακτινικές και οι εφαπτομενικές δυνάμεις στην οπή είναι θλιπτικές. Κατά την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας από το σπάσιμο έως το τέλος της κατασκευής της, αρχίζει να αναπτύσσεται εντατικό πεδίο με μικρότερη ένταση για την ισχυρή βραχομάζα σε σχέση με την ασθενή. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στην ισχυρή βραχομάζα είναι χαμηλότερης έντασης σε σχέση με την ασθενή και φαίνεται πως δεν επηρεάζουν σε τόσο μεγάλο βαθμό την εντατική και

κατά συνέπεια παραμορφωσιακή κατάσταση του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των ακτινικών δυνάμεων δημιουργείται μια περιοχή περαιτέρω φόρτισης, δηλαδή υψηλότερο θλιπτικό πεδίο δυνάμεων, με εύρος σε γωνία $\Theta=30-150$ μοίρες και $\Theta=210-330$ μοίρες χαμηλότερης έντασης σε σχέση με την ασθενή βραχομάζα, ενώ στις περιοχές με εύρος γωνίας $\Theta=330-0-30$ μοίρες και $\Theta=150-210$ μοίρες γίνεται μικρή αποφόρτιση του πεδίου και οι θλιπτικές δυνάμεις καταλήγουν σε εφελκυστικές. Αντίστοιχα, οι εφαπτομενικές δυνάμεις δημιουργούν ένα θλιπτικό πεδίο στις περιοχές με λίγο μικρότερο εύρος $\Theta=60-120$ μοίρες και $\Theta=240-300$ μοίρες σε σχέση με αυτό της ασθενούς βραχομάζας και στις υπόλοιπες περιοχές γίνεται αποφόρτιση του εντατικού πεδίου και αναπτύσσεται εφελκυσμός, ο οποίος είναι επίσης μικρότερος σε σχέση με αυτόν στην ασθενή βραχομάζα. Συγκρίνοντας και τους λόγους της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης για αυτά τα τρία βήματα, γίνεται κατανοητό πως η περίπτωση με την ασθενή βραχομάζα είναι η δυσμενέστερη.

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_0= 0.5$, $\lambda= 0.5$).

Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης εγκάρσιας και διαμήκους αξονικής δύναμης στην στέψη ($\Theta=360^\circ$) και την παρειά ($\Theta=90^\circ$) του ανοίγματος για τα τρία προαναφερθέντα βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.9 και η περίπτωση αυτή που παρουσιάζεται αφορά σε μια ασθενή βραχομάζα με χαμηλό λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_0). Στην περίπτωση αυτή σε σχέση με πριν αλλάζει ο συντελεστής αποτόνωσης λ και μειώνεται σε τιμή από $\lambda= 0.7$ σε $\lambda= 0.5$. Με σύγκριση που έγινε στα Σχήματα 4.1 και 4.9 φαίνεται πως η διαμήκης αξονική δύναμη έχει ανάλογη απόκριση ως προς το απόλυτο μέγεθος στην παρειά και στην στέψη και «μορφή» σαν καμπύλη αποτελεσμάτων παρόλο που αλλάζει ο συντελεστής αποτόνωσης λ . Αντίθετα, η εγκάρσια αξονική δύναμη επηρεάζεται από την μείωση του συντελεστή αποτόνωσης αφού κατά το βήμα «Breakout» η θλιπτική ένταση αυξάνεται απότομα και λαμβάνει μέγιστη τιμή στην συνέχεια διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας μεγαλύτερη σε σχέση από την περίπτωση με τον μεγαλύτερο συντελεστή αποτόνωσης και σταθεροποιείται στο βήμα «ST» σε μεγαλύτερη τιμή. Αντίστοιχα, ο εφελκυσμός της παρειάς μειώνεται λίγο με την μείωση του συντελεστή αποτόνωσης. Έτσι, προκύπτει το συμπέρασμα πως για τα απόλυτα μεγέθη ότι η μείωση του συντελεστή αποτόνωσης λ προκαλεί πιο δυσμενή κατάσταση στην ένταση του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Όσον αφορά όμως τον λόγο της εγκάρσιας αξονικής δύναμης, που αποτελεί το μέτρο της καθαρής επίδρασης, στην παρειά φαίνεται πως η δυσμενέστερη κατάσταση προκαλείται από την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας για τον μεγαλύτερο συντελεστή αποτόνωσης, αφού ο λόγος για την θλιπτική εγκάρσια αξονική δύναμη στην παρειά είναι μεγαλύτερος για $\lambda=0.7$ σε σχέση με $\lambda=0.5$.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.5 - \sigma_{cm}/\rho_o=0.4)$



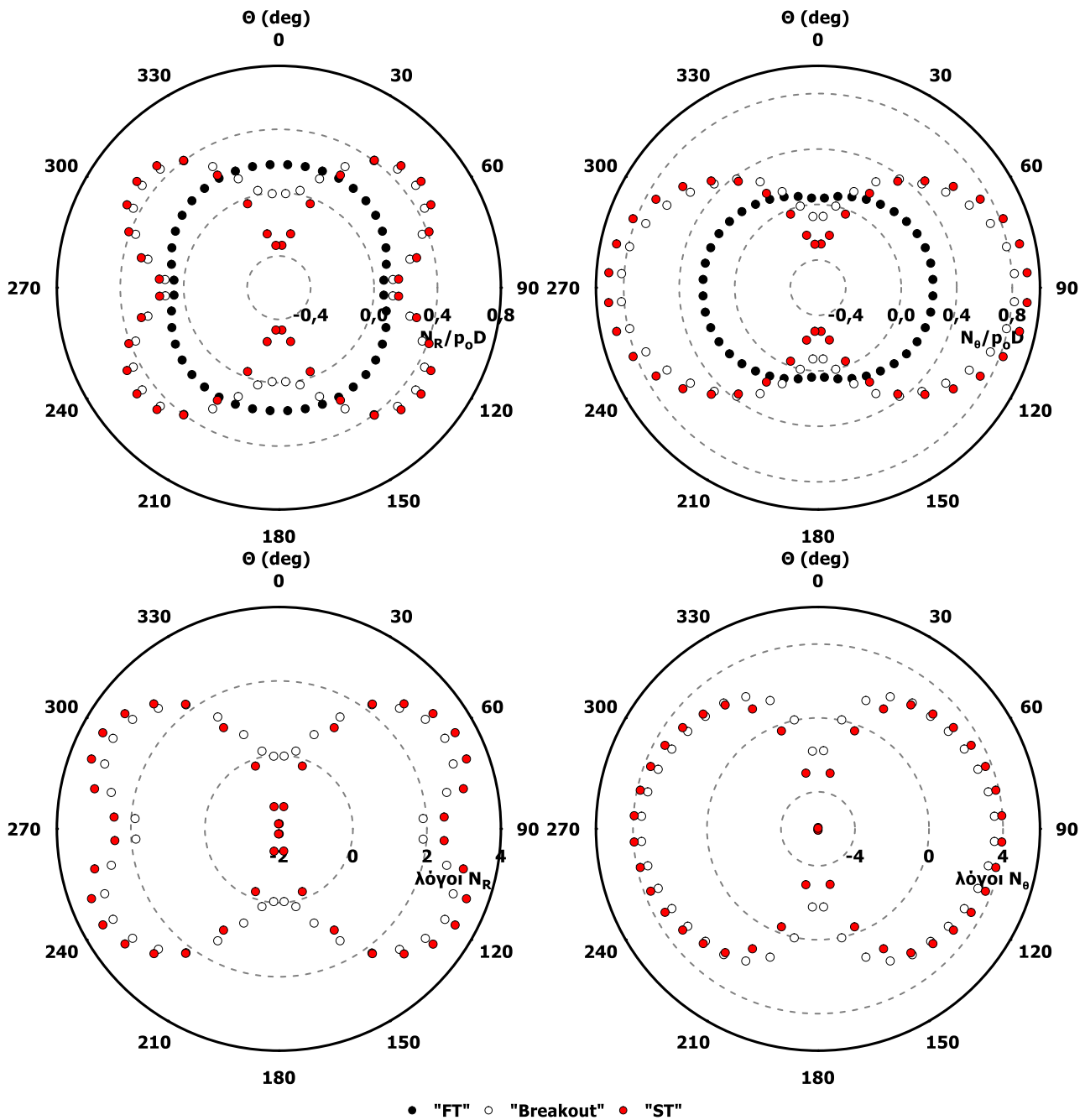
Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..9: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.5$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων (ασθενής βραχομάζα, $K_o= 0.5, \lambda= 0.5$).

Στην περίπτωση αυτή όπως και στην προηγούμενη ενότητα μελετάται η επιρροή της μείωσης του συντελεστή αποτόνωσης στην εντατική κατάσταση του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα από τα γραφήματα εξάγεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της διατομής του ανοίγματος φορτίζεται επιπρόσθετα θλιπτικά λόγω της διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας, ενώ μικρότερο μέρος αποφορτίζεται και φορτίζεται εφελκυστικά. Η περιοχή στην οποία εντείνονται οι θλιπτικές δυνάμεις, οριοθετείται στα εύρη της γωνίας $\theta=30-150$ μοίρες και $\theta=210-330$ μοίρες. Η περιοχή στην οποία αμβλύνονται οι θλιπτικές δυνάμεις και εξελίσσονται σε εφελκυστικές, οριοθετείται στα εύρη της γωνίας $\theta=330-0-30$ μοίρες και $\theta=150-180$ μοίρες. Παρατηρώντας και συγκρίνοντας τα Σχήματα 4.2 και 4.10 φαίνεται πως η μείωση του

συντελεστή αποτόνωσης λ επηρεάζει την θλίψη λόγω της ακτινικής αξονικής δύναμης, που δημιουργείται στις περιοχές που αναφέρθηκαν, αφού η ένταση σε απόλυτο μέγεθος έχει αυξηθεί και δημιουργείται μια δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης όσο μειώνεται ο συντελεστής αποτόνωσης λ . Παρόλα αυτά από τη σύγκριση των λόγων των Σχημάτων 4.2 και 4.10 φαίνεται πως το φαινόμενο της διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας έχει σημαντικότερη επίδραση για την περίπτωση με τον μεγαλύτερο συντελεστή αποτόνωσης λ . Σημαντική είναι η επιρροή του συντελεστή αποτόνωσης λ για την εντατική κατάσταση της διατομής της συνδετήριας σήραγγας.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.5 - \sigma_{cm}/p_o=0.4)$



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..10: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/p_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.5$)

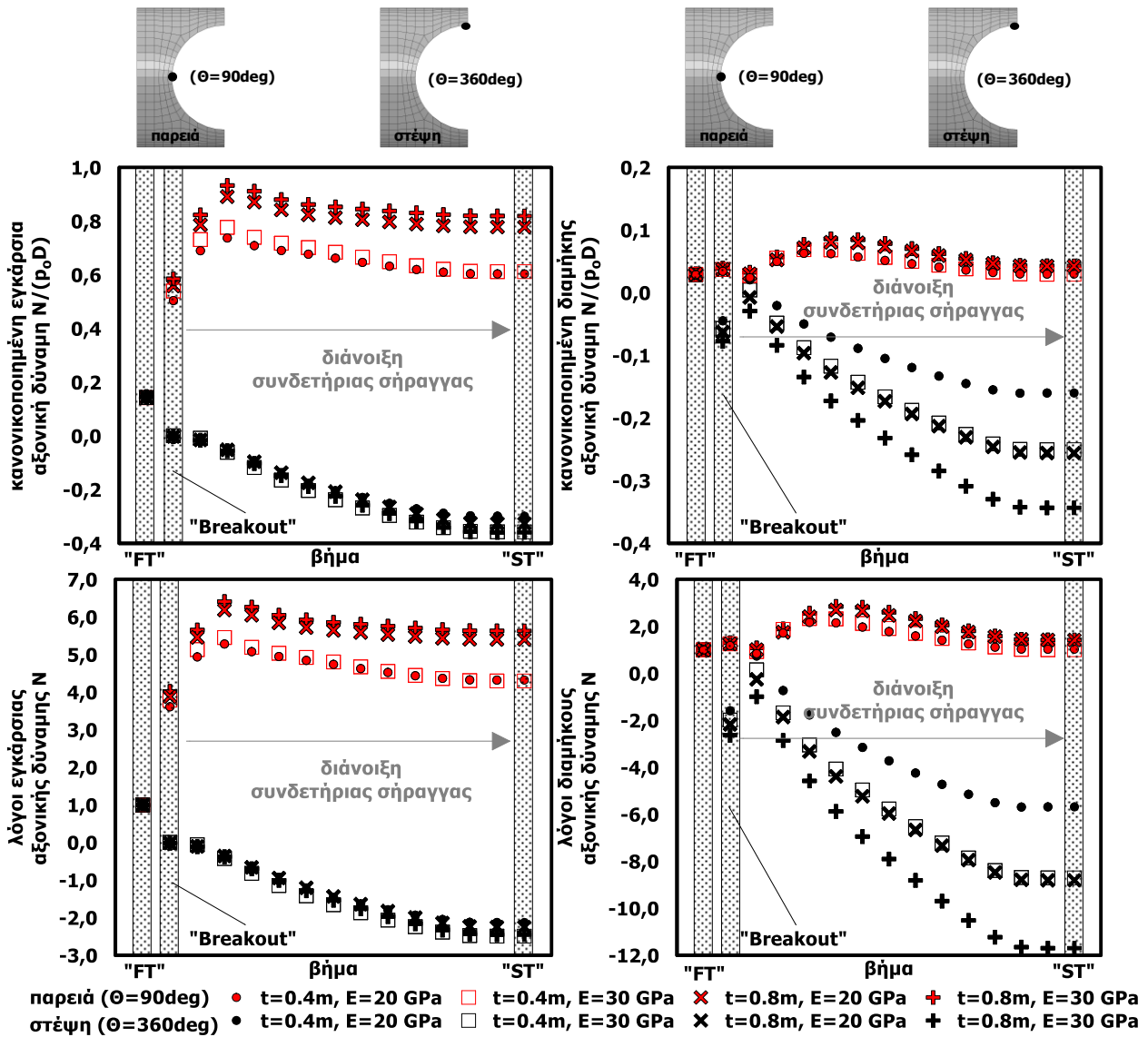
Κατηγορία Ι: Διάνοιξη κύριων σηράγγων και συνδετήριας με κυκλική διατομή και με διαφορετικές παραμέτρους αντοχής για την άμεση υποστήριξη.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω αφορούν μια ασθενή βραχομάζα και συντελεστή αποτόνωσης $\lambda=0.7$ με ύψος υπερκείμενων $H/D= 10$ και συντελεστή οριζοντίων τάσεων $K_0=1$ και προκύπτουν από την μελέτη τριών διαφορετικών περιπτώσεων: α) πάχος σκυροδέματος ίσο με $t=0.8$ m και μέτρο ελαστικότητας του $E=20000$ MPa β) πάχος σκυροδέματος ίσο με $t=0.4$ m και μέτρο ελαστικότητας του $E=30000$ MPa και γ) πάχος σκυροδέματος ίσο με $t=0.8$ m και μέτρο ελαστικότητας του $E=30000$ MPa.

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων. (ασθενής βραχομάζα, $K_0= 1.0$, $\lambda= 0.7$)

Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης εγκάρσιας και διαμήκους αξονικής δύναμης στην στέψη ($\Theta=360^\circ$) και την παρειά ($\Theta=90^\circ$) του ανοίγματος με βάση τα τρία προαναφερθέντα βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST» για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις ενίσχυσης της υποστήριξης και για την αρχική τυπική περίπτωση, που έχει ήδη αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.11 και η περίπτωση αυτή που παρουσιάζεται αφορά μια ασθενή βραχομάζα με χαμηλό λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_0). Η «μορφή» των γραφημάτων των αποτελεσμάτων δεν διαφέρει από την αρχική περίπτωση που έχει ήδη μελετηθεί. Για την κανονικοποιημένη εγκάρσια αξονική δύναμη η ένταση στην παρειά διαφέρει ανάλογα την κάθε περίπτωση υποστήριξης, ενώ στην στέψη η ένταση είναι παρόμοια για όλες τις περιπτώσεις. Από το Σχήμα 4.11 εξάγεται το συμπέρασμα πως η αλλαγή του μέτρου ελαστικότητας E δεν επηρεάζει τόσο την αύξηση της θλιπτικής έντασης στην παρειά λόγω της εγκάρσιας αξονικής δύναμης, σε αντίθεση με την αύξηση του πάχους t που προκαλεί αύξηση της θλιπτικής έντασης, γεγονός λογικό αφού αυξάνεται η δυσκαμψία της στρώσης της άμεσης υποστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα). Για τη διαμήκη αξονική δύναμη η ενίσχυση δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την ένταση της παρειάς αφού η δύναμη είναι παρόμοια μεταξύ των περιπτώσεων που μελετώνται, ενώ η ένταση του εφελκυσμού στην στέψη αλλάζει λόγω της διαφορετικής ενίσχυσης. Παρόλα αυτά όμως η διαμήκης αξονική δύναμη είναι πολύ μικρή σε σχέση με την εγκάρσια και δεν δίνεται τόσο σημασία στην διαφορά της εφελκυστικής έντασης. Από τους λόγους προκύπτει πως η διαφορά στην αύξηση της θλίψης για την εγκάρσια αξονική δύναμη μεταξύ των περιπτώσεων, που αναλύθηκαν, δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να θεωρηθεί ακατάλληλη η αύξηση του πάχους του σκυροδέματος σε περίπτωση που είναι αναγκαία για τυχόν αποτροπή αστοχίας της άμεσης υποστήριξης.

"Κατηγορία Ι"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_0=1.0 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_0=0.4)$



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..11: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκους (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγιοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκους (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας για περιπτώσεις ενίσχυσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. ($\sigma_{cm}/\rho_0=0.4, K_0=1.0, H/D=10, \lambda=0.5$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων. (ασθενής βραχομάζα, $K_0= 1.0, \lambda= 0.7$).

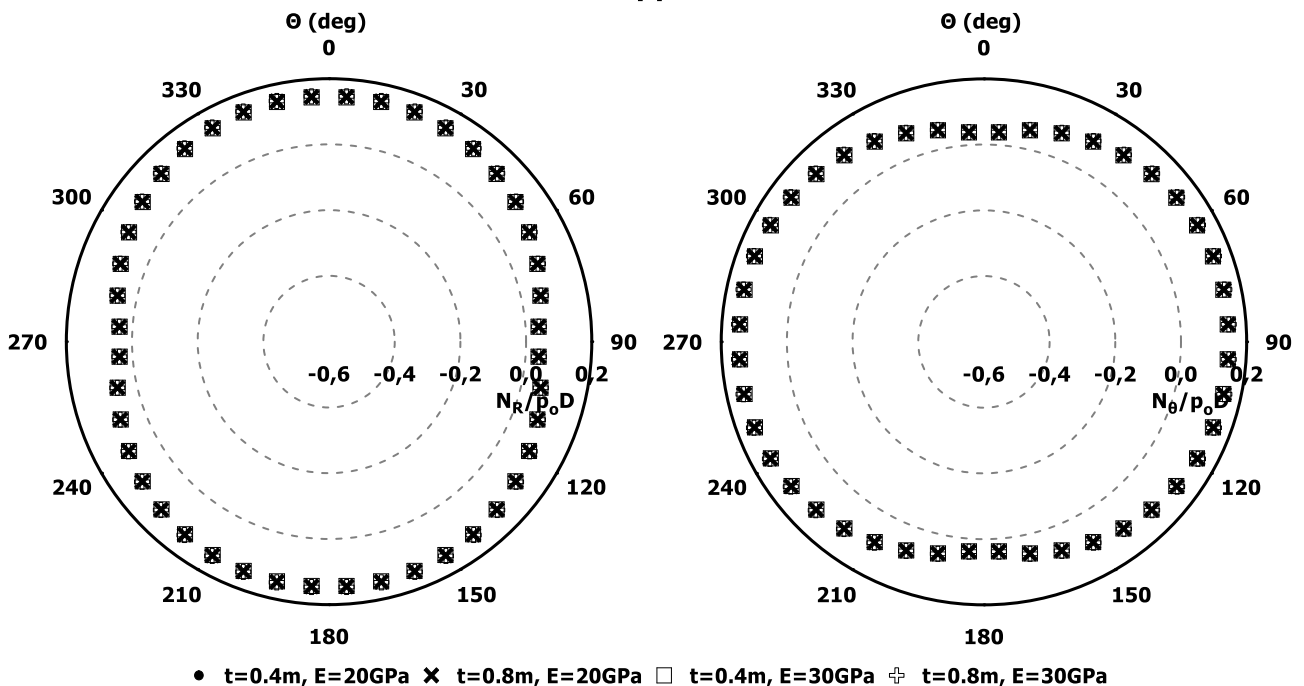
Η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.12 και 4.13 έχουν χωριστεί σε τρία σχήματα, δηλαδή κάθε βήμα που εκτελείται είναι σε διαφορετικό σχήμα και σε κάθε σχήμα αναφέρονται και όλες οι περιπτώσεις ενίσχυσης. Από το Σχήμα 4.12 φαίνεται πως η ακτινική αξονική δύναμη δεν επηρεάζεται τόσο από την αύξηση είτε του πάχους του σκυροδέματος είτε του μέτρου ελαστικότητας ή και των δυο ταυτόχρονα, αφού η ένταση που δημιουργείται είναι παρόμοια για όλες τις περιπτώσεις σε κάθε βήμα. Αντίθετα, η εφαπτομενική

αξονική δύναμη επηρεάζεται από τις αλλαγές των παραμέτρων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Στο βήμα «Breakout» η θλίψη στην παρειά διαφοροποιείται με τις αλλαγές των

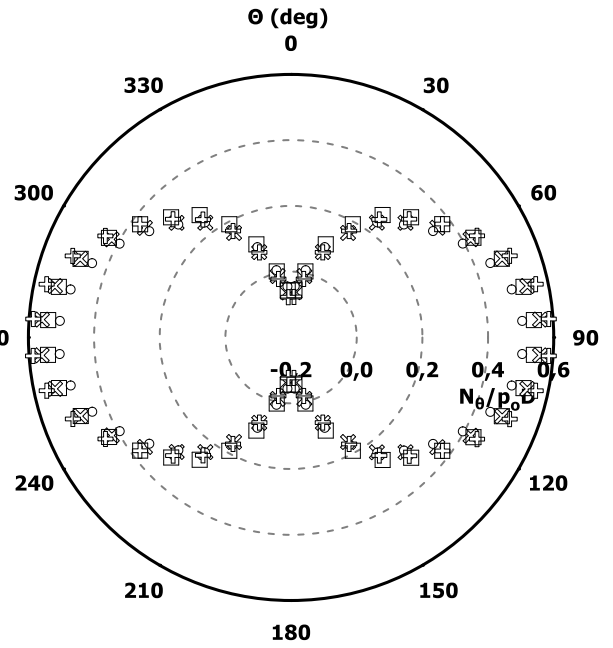
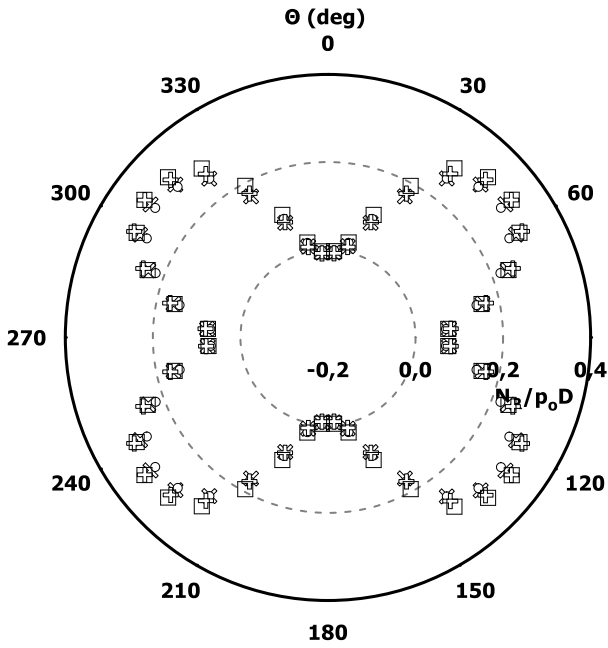
παραμέτρων της κάθε περίπτωσης ενίσχυσης και για την περίπτωση της ταυτόχρονης αύξησης του πάχους και του μέτρου ελαστικότητας E δημιουργείται η μέγιστη θλίψη. Στο τελικό βήμα αφού έχει γίνει η διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας η θλίψη στην παρειά έχει αυξηθεί και άλλο και είναι μεγαλύτερη για τις περιπτώσεις στις οποίες αυξάνεται το πάχος t, ενώ για την περίπτωση αύξησης του μέτρου ελαστικότητας E η θλίψη είναι παρόμοια με την αρχική κατάσταση πριν την ενίσχυση. Γίνεται κατανοητή λοιπόν η επίδραση της αλλαγής των παραμέτρων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην εντατική κατάσταση του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας και πως η μεγαλύτερη επίδραση οφείλεται στην αύξηση του πάχους t λόγω της αύξησης της δυσκαμψίας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος της άμεσης υποστήριξης. Παρόλα αυτά από τους λόγους φαίνεται πως η αύξηση της έντασης που δημιουργείται λόγω της αύξησης του πάχους t του σκυροδέματος είναι μικρή.

"Κατηγορία Ι"
 ($D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=1.0 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/p_o=0.4$)

"FT"

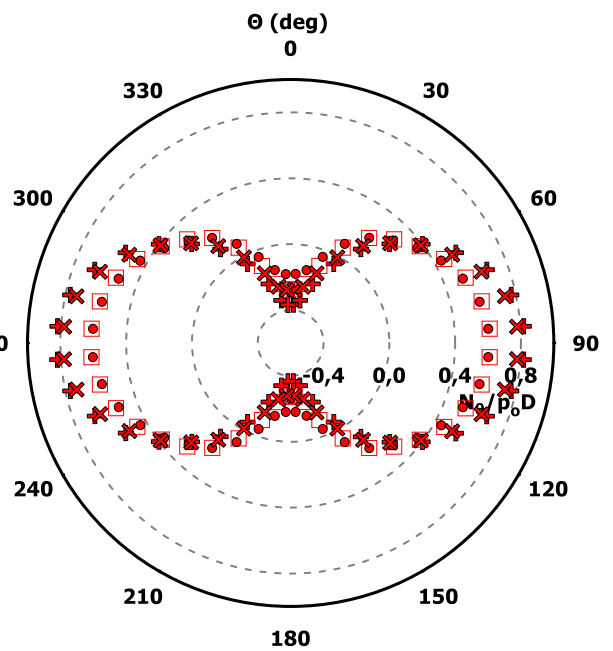
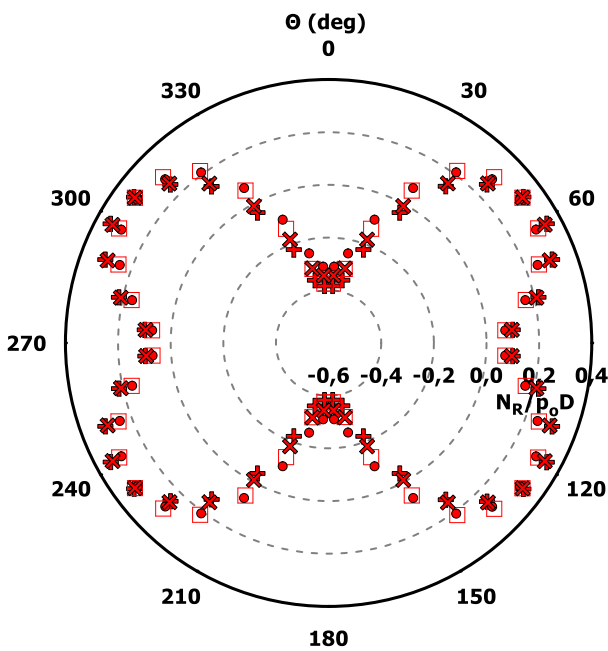


"Breakout"



○ $t=0.4m, E=20GPa$ × $t=0.8m, E=20GPa$ □ $t=0.4m, E=30GPa$ + $t=0.8m, E=30GPa$

"ST"

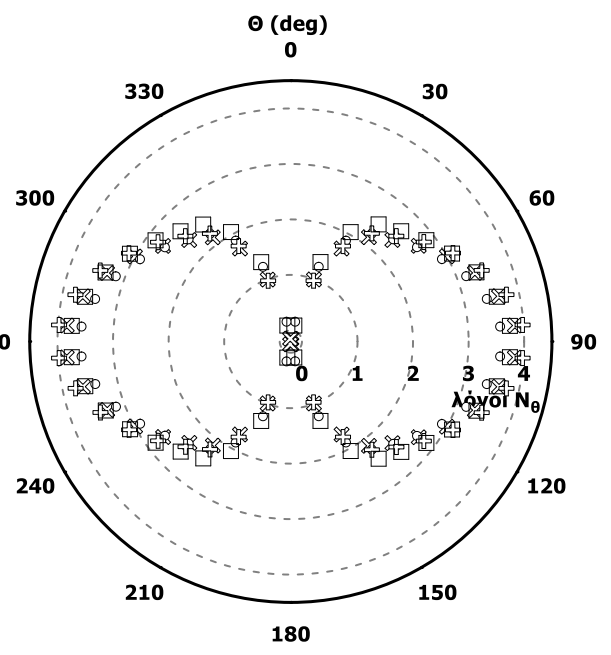
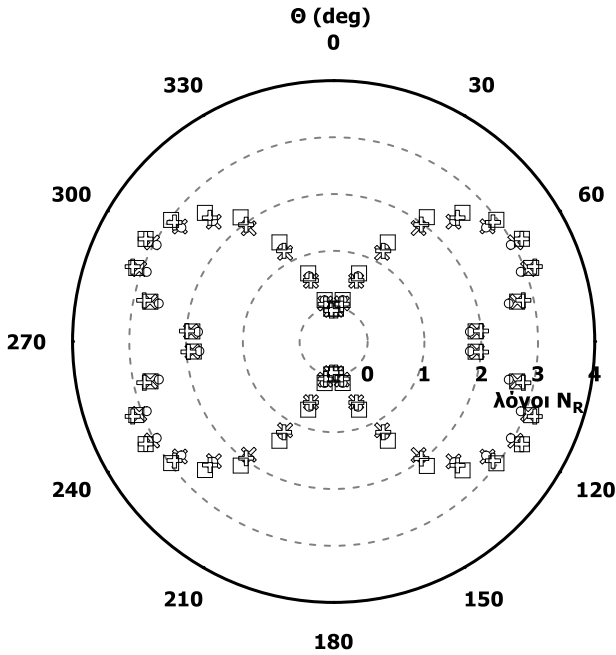


● $t=0.4m, E=20GPa$ × $t=0.8m, E=20GPa$ □ $t=0.4m, E=30GPa$ + $t=0.8m, E=30GPa$

Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..12: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά) και εφαπτομενικής (δεξιά) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας για τα τρία βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». ($\sigma_{cm}/p_0=0.4, K_0=1.0, H/D=10, \lambda=0.7$)

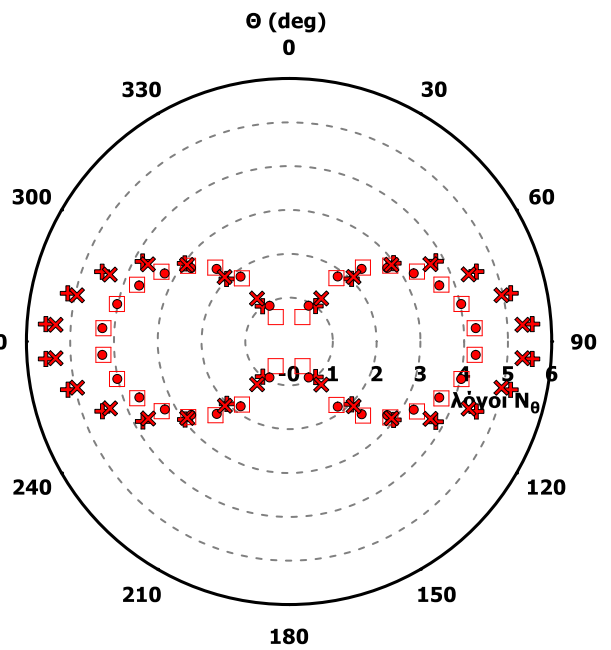
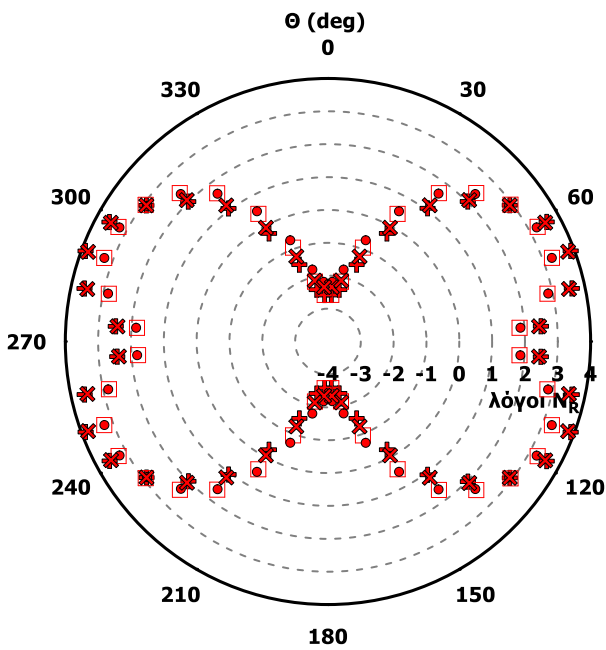
"Κατηγορία Ι"
 ($D/d=1.5 - H/D=10 - K_0=1.0 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_0=0.4$)

"Breakout"



○ $t=0.4m, E=20GPa$ × $t=0.8m, E=20GPa$ □ $t=0.4m, E=30GPa$ + $t=0.8m, E=30GPa$

"ST"



● $t=0.4m, E=20GPa$ × $t=0.8m, E=20GPa$ □ $t=0.4m, E=30GPa$ + $t=0.8m, E=30GPa$

Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..13: Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά) και εφαπτομενικής (δεξιά) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας για τα τρία βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». ($\sigma_{cm}/\rho_0=0.4, K_0=1.0, H/D=10, \lambda=0.7$)

Κατηγορία II: Διάνοιξη κύριων σηράγγων με κυκλική διατομή και συνδετήρια σήραγγας με πεταλοειδή διατομή.

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3 είναι πολύ σημαντική η ανάλυση εναλλακτικών μοντέλων για την αποτελεσματικότερη μελέτη της εντατικής κατάστασης του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Για αυτό τον λόγο παρακάτω αναλύονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από ένα μοντέλο με διαφορετική γεωμετρία διατομής στην συνδετήρια σήραγγα και για δυο διαφορετικούς τρόπους εκσκαφής της συνδετήριας. Η συνδετήρια σήραγγα στην Κατηγορία II έχει πεταλοειδή διατομή και σκάβεται είτε με ολομέτωπη εκσκαφή είτε με τμηματική εκσκαφή σε δυο φάσεις, ενώ οι κύριες σήραγγες είναι κυκλικής διατομής.

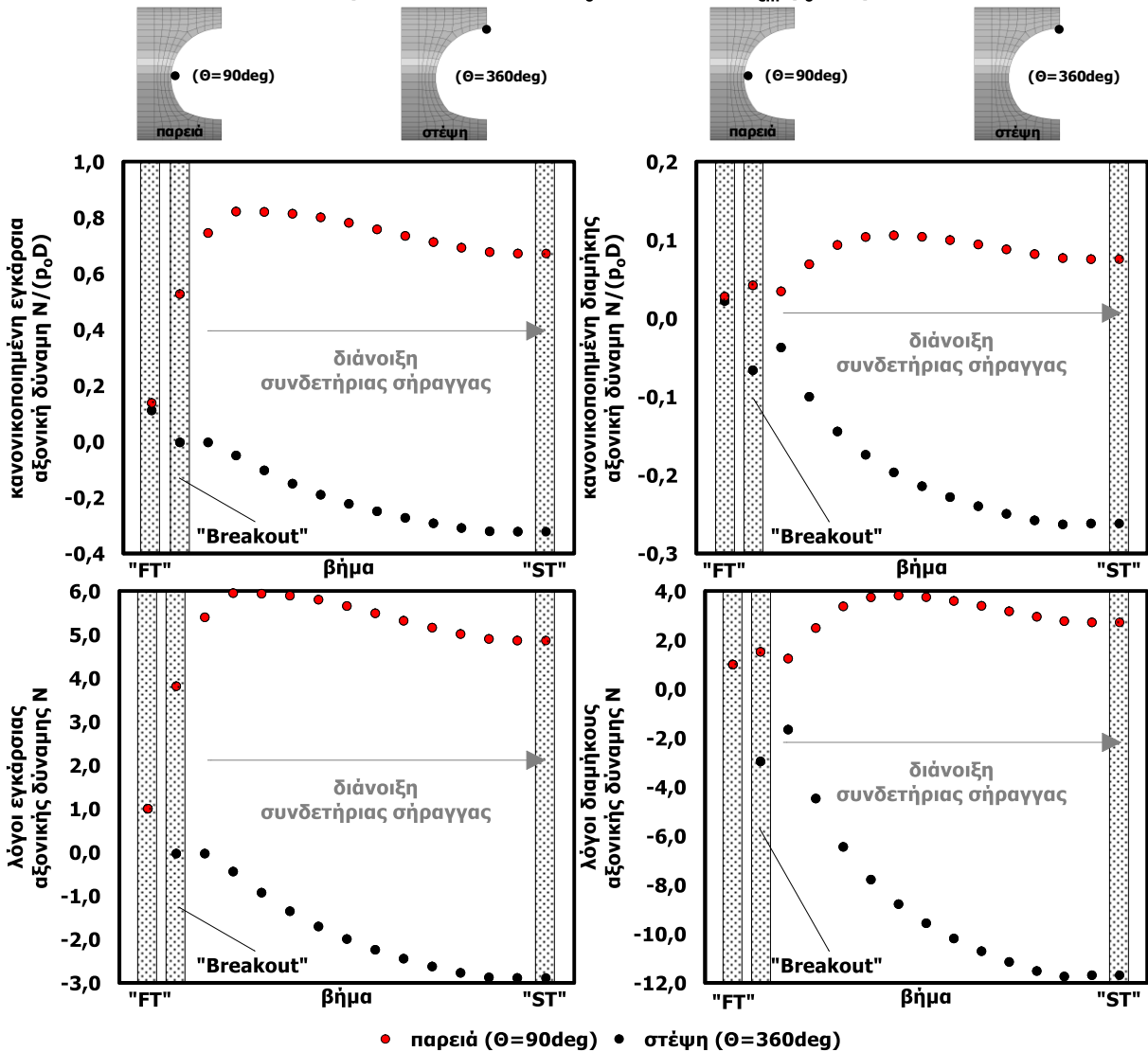
Ολομέτωπη εκσκαφή συνδετήριας σήραγγας με πεταλοειδή διατομή.

Η εκσκαφή της πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας γίνεται ολομέτωπα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων.

Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης εγκάρσιας και διαμήκους αξονικής δύναμης στην στέψη ($\Theta=360^\circ$) και την παρειά ($\Theta=90^\circ$) του ανοίγματος με βάση τα τρία βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST» για την συνδετήρια σήραγγα που σκάβεται ολομέτωπα και με πεταλοειδή διατομή. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.14 και η περίπτωση αυτή αφορά μια ασθενή βραχομάζα με μικρό λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_o). Όπως και στις άλλες περιπτώσεις μελέτης της Κατηγορίας I η στέψη κατά την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας αποφορτίζεται και δημιουργείται εφελκυσμός ενώ στην παρειά δημιουργείται περιοχή επιπρόσθετης θλίψης. Με σύγκριση των Σχημάτων 4.1 και 4.14, που έγινε, φαίνεται πως τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εντατική κατάσταση της παρειάς και της στέψης είναι αντίστοιχα μεταξύ τους και όσον αφορά την «μορφή» της καμπύλης της εγκάρσιας και διαμήκους αξονικής δύναμης που είναι ίδια και για την ένταση που αναπτύσσεται. Έτσι εξάγεται το συμπέρασμα πως η αλλαγή της διατομής από κυκλική σε πεταλοειδή δεν συμβάλει τόσο στην αλλαγή και τη μείωση της εντατικής κατάστασης του ανοίγματος. Επίσης, συνάγεται ότι η κυκλική διατομή στην συνδετήρια σήραγγα επαρκεί σε επίπεδο μελέτης και σχεδιασμού του κόμβου μεταξύ των διασταυρούμενων σηράγγων.

"Κατηγορία ΙΙ"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=0.4)$



● παρειά ($\theta=90\text{deg}$) ● στέψη ($\theta=360\text{deg}$)

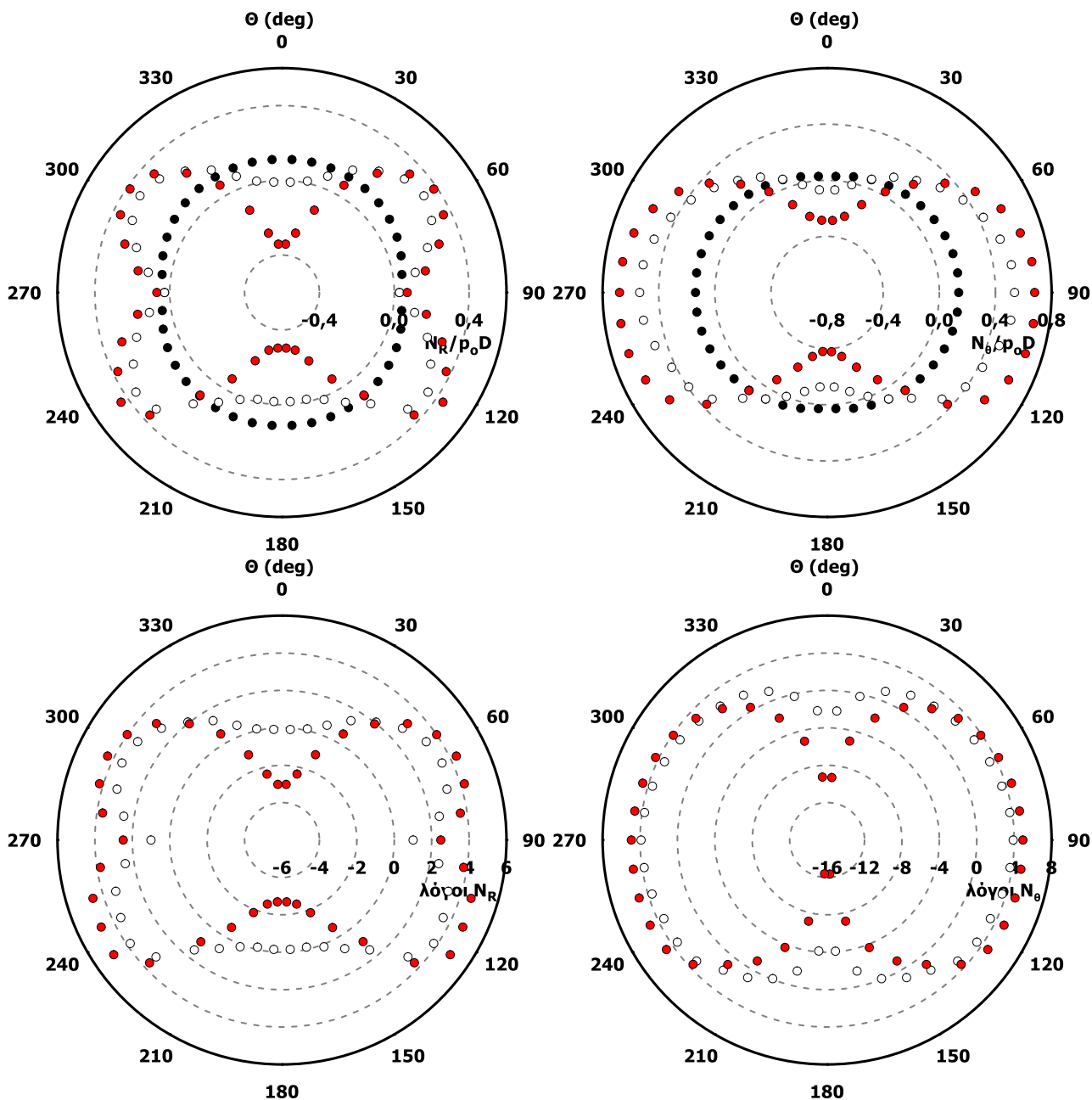
Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..14: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.15 οι επαπτομενικές δυνάμεις, που αναπτύσσονται, είναι μεγαλύτερες από τις ακτινικές και επηρεάζουν περισσότερο το άνοιγμα της συνδετήριας σήραγγας. Όπως και στην Κατηγορία Ι έτσι και σε αυτήν την περίπτωση εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο μέρος της διατομής του ανοίγματος φορτίζεται περαιτέρω λόγω της διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας, ενώ μικρότερο μέρος αποφορτίζεται. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των ακτινικών δυνάμεων δημιουργείται μια περιοχή φόρτισης, δηλαδή θλιπτικό πεδίο δυνάμεων, με εύρος σε γωνία $\theta=30-150$ μοίρες και $\theta=210-330$ μοίρες με τις μέγιστες τιμές να είναι στις θέσεις των 30, 120, 240 και 300 μοιρών, ενώ στις περιοχές με εύρος γωνίας $\theta=330-0-30$ μοίρες και $\theta=150-210$ μοίρες γίνεται αποφόρτιση κι εναλλαγή του πεδίου, αφού οι θλιπτικές δυνάμεις καταλήγουν σε εφελκυστικές. Αντίστοιχα, οι επαπτομενικές δυνάμεις δημιουργούν ένα θλιπτικό πεδίο στις περιοχές με εύρος $\theta=30-150$ μοίρες και $\theta=210-330$ μοίρες με τις μέγιστες τιμές του φορτίου να ασκούνται στις παρειές του ανοίγματος και στις υπόλοιπες περιοχές αναπτύσσεται

εφελκυσμός λόγω της αποφόρτισης που συμβαίνει. Φαίνεται λοιπόν συγκρίνοντας και τους λόγους των Σχημάτων 4.2 και 4.15 πως η αλλαγή της διατομής από κυκλική σε πεταλοειδή δεν προκαλεί ιδιαίτερες αλλαγές στην εντατική κατάσταση του ανοίγματος.

"Κατηγορία II"
($D/d=1.5$ - $H/D=10$ - $K_o=0.5$ - $\lambda=0.7$ - $\sigma_{cm}/\rho_o=0.4$)



● "FT" ○ "Breakout" ● "ST"

Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο. 15: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4$, $K_o=0.5$, $H/D=10$, $\lambda=0.7$)

Εκσκαφή σε δυο φάσεις συνδετήριας σήραγγας με πεταλοειδή διατομή.

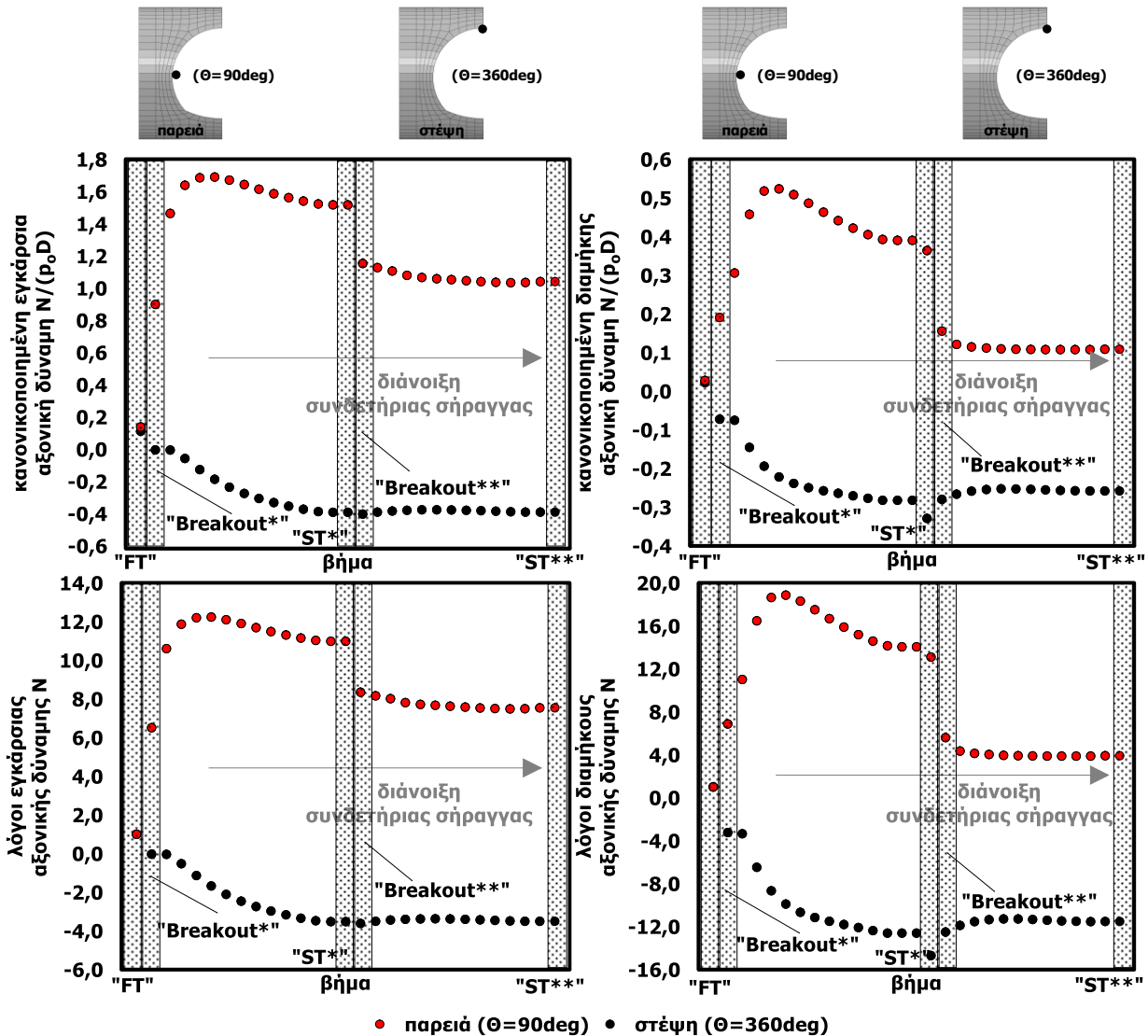
Η εκσκαφή της πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας γίνεται σε δυο φάσεις, δηλαδή εκσκαφή και μελέτη των αποτελεσμάτων του άνω τμήματος «up» και εκσκαφή του κάτω τμήματος «down» για τα τρία βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». Είναι πολύ σημαντική η μελέτη της εκσκαφής των δυο φάσεων με σκοπό να ληφθεί η ευμενέστερη μέθοδος εκσκαφής της συνδετήριας σήραγγας.

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων.

Στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζεται η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης εγκάρσιας και διαμήκουσ αξονικής δύναμης στην στέψη ($\Theta=360^\circ$) και την παρειά ($\Theta=90^\circ$) της διατομής του άνω και του κάτω τμήματος εκσκαφής «up» & «down». Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.16 και η περίπτωση αυτή που μελετήθηκε αφορά μια ασθενή βραχομάζα με μικρό λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_0). Στο Σχήμα 4.16 από το βήμα «FT» έως «ST*» παρουσιάζεται η εγκάρσια και η διαμήκουσ αξονική δύναμη και οι λόγοι τους για την εκσκαφή του άνω τμήματος «up» του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας, ενώ από το βήμα «Breakout**» έως «ST**» η εκσκαφή του κατώτερου τμήματος και η ολοκλήρωση της συνδετήριας σήραγγας.

Όσον αφορά την εγκάρσια αξονική δύναμη φαίνεται από το Σχήμα 4.16 πως κατά την εκσκαφή του άνω τμήματος δημιουργείται στην παρειά μεγάλη θλιπτική δύναμη σε σχέση με την δύναμη της ολομέτωπης εκσκαφής και αντίστοιχα στην στέψη εφελκυσμός μεγαλύτερος από την προηγούμενη περίπτωση μελέτης. Κατά την ολοκλήρωση του άνω τμήματος εκσκαφής και την διάνοιξη του κατώτερου τμήματος «down» φαίνεται από το Σχήμα 4.16 ένα σπάσιμο στο διάγραμμα και ξαφνική μείωση της θλιπτικής δύναμης της παρειάς, η τιμή της οποίας σταθεροποιείται στην συνέχεια. Σε σύγκριση με τους λόγους του Σχήματος 4.14, δηλαδή την περίπτωση ολομέτωπης εκσκαφής, φαίνεται πως η αρχική εκσκαφή του άνω τμήματος δημιουργεί μεγάλη επιρροή στην παρειά με την ένταση να καταλήγει στην ίδια σχεδόν τάξη μεγέθους με αυτή της περίπτωσης της ολομέτωπης εκσκαφής. Η αποφόρτιση της στέψης γίνεται ομαλά και σταθερά κατά τις δυο φάσεις με παρόμοιες τιμές της εφελκυστικής δύναμης όπως της περίπτωσης ολομέτωπης εκσκαφής. Όσον αφορά την διαμήκουσ αξονική δύναμη στην παρειά η θλιπτική δύναμη που δημιουργείται είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την εκσκαφή του άνω τμήματος σε σχέση με αυτήν της περίπτωσης της ολομέτωπης εκσκαφής και στην συνέχεια «πέφτει» και σταθεροποιείται κατά την εκτέλεση του βήματος «Breakout**» έως «ST**». Ο εφελκυσμός που δημιουργείται στην στέψη λόγω της αποφόρτισης είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν αντίστοιχα στην περίπτωση της ολομέτωπης εκσκαφής. Παρόλα αυτά οι τιμές της διαμήκουσ αξονικής δύναμης είναι πολύ μικρότερες από της εγκάρσιας και δεν έχουν τόσο μεγάλη επιρροή στην φόρτιση του ανοίγματος. Από τα παραπάνω προκύπτει πως η εκσκαφή του ανοίγματος της σήραγγας σε δυο φάσεις είναι δυσμενέστερη μέθοδος σε σχέση με την ολομέτωπη εκσκαφή αφού το εντατικό πεδίο που αναπτύσσεται είναι μεγαλύτερο. Η διάνοιξη του άνω τμήματος επηρεάζει πολύ την ανάπτυξη της έντασης του ανοίγματος λόγω της μεγάλης φόρτισης της παρειάς κατά την κατασκευή του.

"Κατηγορία ΙΙ*"
 (D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - λ=0.7 - σ_{cm}/ρ_o=0.4)



● pariá (Θ=90deg) ● stépsi (Θ=360deg)

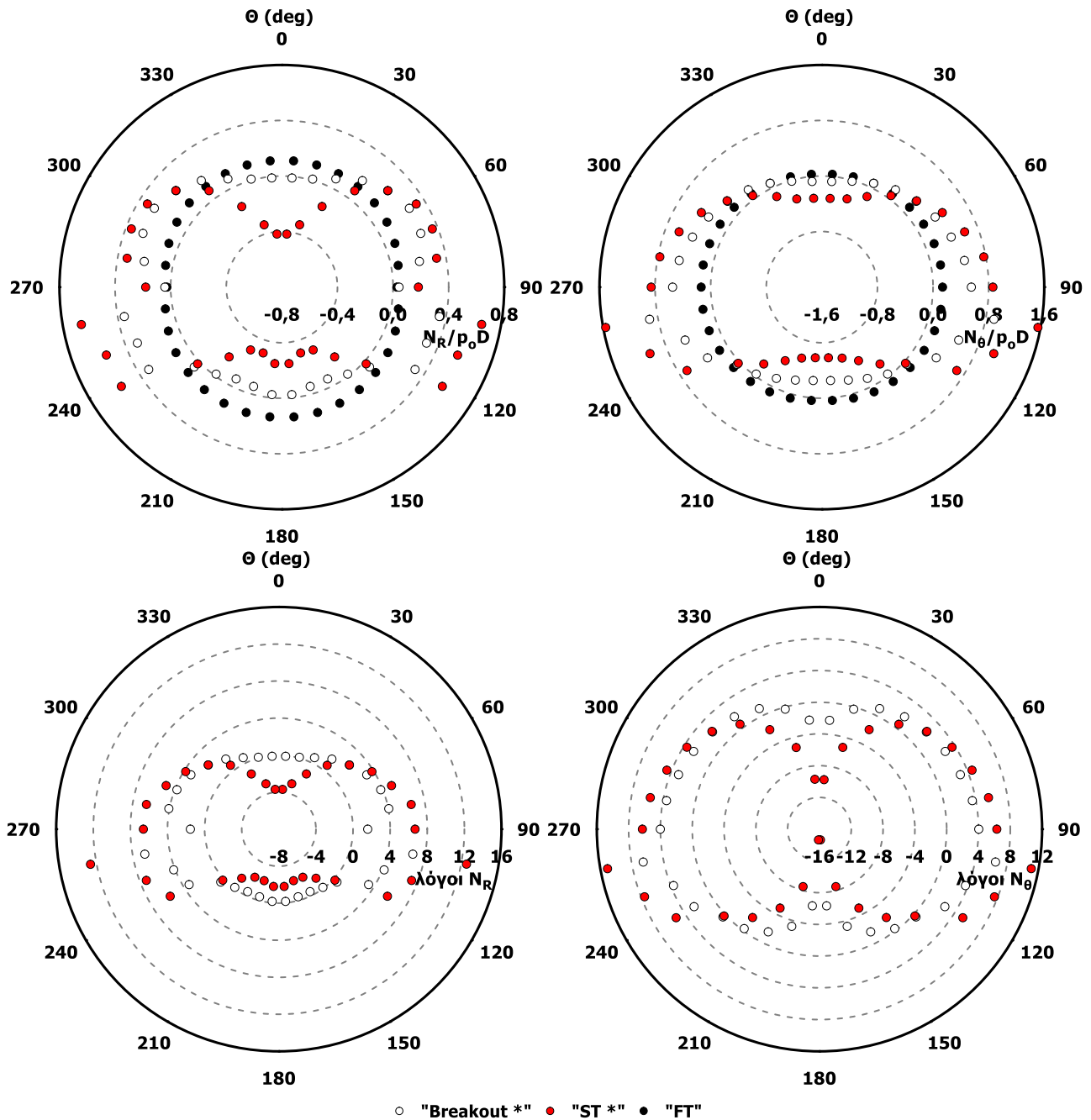
Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..16: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην stépsi και την pariá του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην stépsi και την pariá του ανοίγματος της σήραγγας. (σ_{cm}/ρ_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, λ=0.7)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων.

Όπως αναφέρθηκε στην περίπτωση αυτή μελετάται η κατασκευή της πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας σε δυο φάσεις. Αρχικά παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.17 η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην διατομή του άνω τμήματος εκσκαφής «υρ» για τα τρία βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST». Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.17 και η περίπτωση αυτή που παρουσιάζεται αφορά σε μια ασθενή βραχομάζα με μικρό λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_o). Οι περιοχές με θλίψη και εφελκυσμό είναι ίδιες σε γωνίες όπως και με τις άλλες περιπτώσεις που μελετήθηκαν παραπάνω με την διαφορά πως στο κάτω μέρος της διατομής αυτής υπάρχει αύξηση των θλιπτικών δυνάμεων στις πλευρικές περιοχές του προσωρινού ανάστροφου τόξου λόγω του ότι δεν σκάβεται ολόκληρη η διατομή του ανοίγματος, αλλά μόνο η διατομή του άνω τμήματος «υρ». Από τους λόγους φαίνεται πως κατά την διάνοιξη

και ολοκλήρωση της συνδετήριας σήραγγας για τις περιοχές 90-120 μοιρών και 240-270 μοιρών, δηλαδή στις πλευρικές περιοχές του προσωρινού ανάστροφου τόξου, η φόρτιση λαμβάνει μεγάλες τιμές και επηρεάζεται η εντατική κατάσταση του κατώτερου τμήματος, αφού φορτίζεται σε μεγάλο βαθμό.

"Κατηγορία II*"
 ($D/d=1.5 - H/D=10 - K_0=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_0=0.4$)

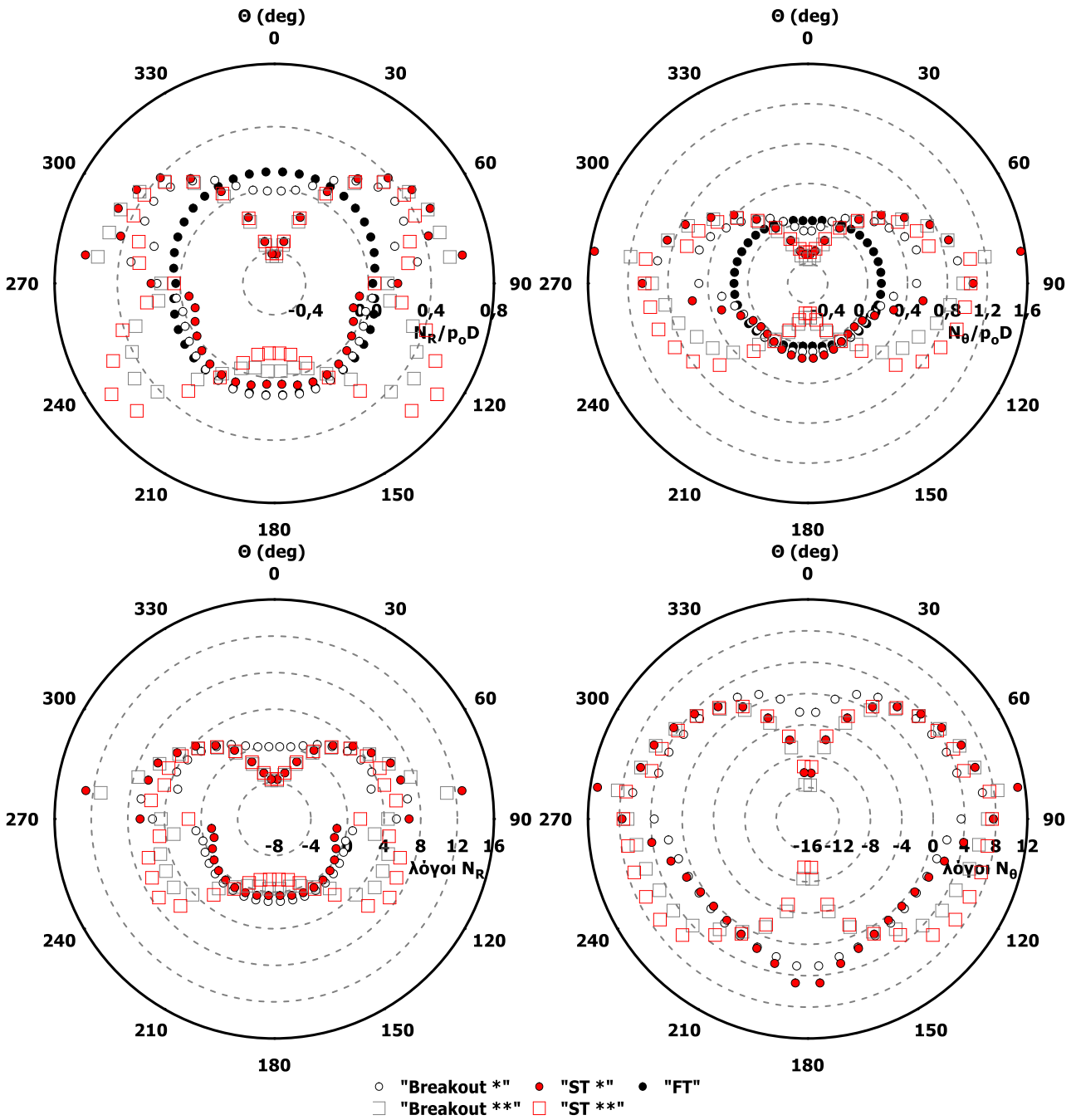


Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..17: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας για την διατομή του άνω τμήματος εκσκαφής «υρ» της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_0=0.4, K_0=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

Στην συνέχεια αναλύεται και μελετάται στο Σχήμα 4.18 η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην περιφέρεια όλου του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζεται η εντατική κατάσταση για τα τρία βασικά βήματα, που έχει προκύψει από την διάνοιξη του άνω τμήματος «up» και η εντατική κατάσταση που προκύπτει συνολικά στην διατομή του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας για τα βασικά βήματα από την διάνοιξη του κάτω τμήματός της «down». Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.18 και η περίπτωση αυτή που μελετήθηκε αφορά μια ασθενή βραχομάζα με μικρό λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/ρ_o). Από τα γραφήματα φαίνεται πως κατά την τελική διάνοιξη του κατώτερου τμήματος της συνδετήριας σήραγγας «down» και την ολοκλήρωση της, η εντατική κατάσταση του ανοίγματος αναπτύσσεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος της διατομής φορτίζεται επιπρόσθετα και επικρατεί η θλίψη, ενώ μικρότερο μέρος αποφορτίζεται.

Τέλος, είναι σημαντικό να μελετηθεί και να γίνει η σύγκριση μεταξύ των δυο μεθόδων εκσκαφής της πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας. Παρατηρώντας τα Σχήματα 4.15 και 4.18 φαίνεται πως κατά την ολοκλήρωση της εκσκαφής του κατώτερου τμήματος της συνδετήριας σήραγγας «down», η εντατική κατάσταση είναι παρόμοια με αυτή που έγινε με ολομέτωπη εκσκαφή όμως με κάποιες δυσμενέστερες φορτίσεις σε συγκεκριμένες θέσεις της διατομής. Συγκεκριμένα για την ακτινική αξονική δύναμη φαίνεται πως στο τέλος της εκσκαφής του κατώτερου τμήματος, η θλίψη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της ολομέτωπης εκσκαφής, καθώς επίσης η αποφόρτιση στην βάση της διατομής δεν είναι τόσο μεγάλη όσο στην πρώτη περίπτωση ολομέτωπης εκσκαφής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συνδετήρια σήραγγα έχει σκαφτεί σε δυο φάσεις και η διατομή της έχει ήδη φορτιστεί κατά την πρώτη φάση εκσκαφής και επαναφορτίζεται περισσότερο στην δεύτερη φάση της. Έτσι δημιουργείται μια πιο κρίσιμη κατάσταση στην φόρτιση του ανοίγματος κατά την εκσκαφή με δυο φάσεις από ότι στην ολομέτωπη εκσκαφή. Όσον αφορά την εφαπτομενική αξονική δύναμη παρατηρείται πως η θλίψη είναι ελάχιστα μεγαλύτερη στην περίπτωση των δυο φάσεων εκσκαφής και πως στην παρειά και την βάση η αποφόρτιση πιο μικρή. Τέλος, παρατηρώντας και τους λόγους του Σχήματος 4.18 προκύπτει πως η πρώτη φάση εκσκαφής του άνω τμήματος «up» προκαλεί μια δυσμενή κατάσταση στο άνοιγμα της συνδετήριας σήραγγας και μια αρχική φόρτιση πριν την ολοκλήρωση της συνολικής εκσκαφής της. Έτσι, προκύπτει το συμπέρασμα πως η εκσκαφή πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας σε δυο φάσεις είναι μια πιο δυσμενής μέθοδος εκσκαφής σε σχέση με την ολομέτωπη εκσκαφή και αν χρειαστεί να εφαρμοστεί πρέπει να γίνει η κατάλληλη μελέτη και σχεδιασμός.

"Κατηγορία II*"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_0=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_0=0.4)$



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..18: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος κατά την εκσκαφή του κατώτερου τμήματος «down» της σήραγγας.

$(\sigma_{cm}/\rho_0=0.4, K_0=0.5, H/D=10, \lambda=0.7)$

Κατηγορία III: Διάνοιξη κύριων σηράγγων και συνδετήριας σήραγγας με πεταλοειδή διατομή.

Στην Κατηγορία III μελετάται μια περίπτωση στην οποία και οι κύριες και η συνδετήρια σήραγγα έχουν πεταλοειδή διατομή. Όπως και στην προηγούμενη ενότητα έτσι και σε αυτήν η εκσκαφή της συνδετήριας σήραγγας μελετάται για δυο περιπτώσεις, δηλαδή για την ολομέτωπη εκσκαφή και για εκσκαφή σε δυο φάσεις «up» & «down».

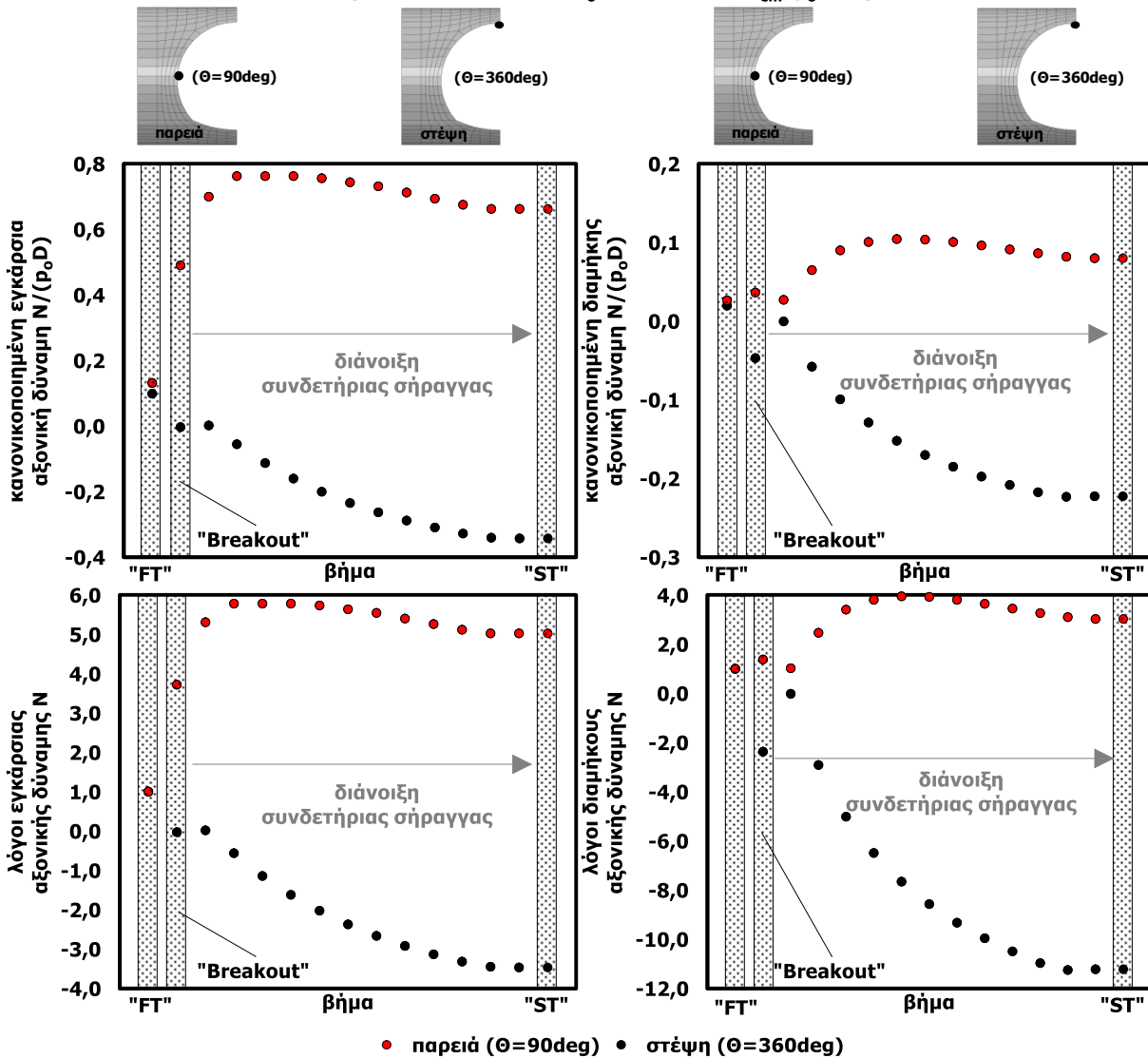
Ολομέτωπη εκσκαφή συνδετήριας σήραγγας

Η εκσκαφή της πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας γίνεται ολομέτωπα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων.

Όπως αναφέρθηκε οι κύριες σήραγγες και η συνδετήρια έχουν πεταλοειδή διατομή. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.19 και η περίπτωση αυτή που μελετήθηκε αφορά μια ασθενή βραχομάζα με μικρό λόγο αντοχής/τάσης (σ_{cm}/p_o). Η συνδετήρια σήραγγα κατασκευάζεται με ολομέτωπη εκσκαφή. Όπως και στις άλλες περιπτώσεις η στέψη κατά την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας αποφορτίζεται και δημιουργείται εφελκυσμός ενώ στην παρειά δημιουργείται περιοχή θλίψης. Με σύγκριση των Σχημάτων 4.1 και 4.19, που έγινε, φαίνεται πως η «μορφή» της καμπύλης των δυνάμεων είναι παρόμοια και τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εντατική κατάσταση της παρειάς και της στέψης μοιάζουν μεταξύ τους με κάποιες μικρές διαφορές στην τάξη των μεγεθών. Έτσι, παρατηρώντας και τους λόγους των Σχημάτων προκύπτει το συμπέρασμα πως η αλλαγή της διατομής των κύριων σηράγγων και της συνδετήριας από κυκλική σε πεταλοειδή δεν συμβάλει τόσο στην μείωση του εντατικού πεδίου και συνάγεται ότι η κυκλική διατομή επαρκεί σε επίπεδο μελέτης και σχεδιασμού δίδυμων σηράγγων με διασταύρωση συνδετήριας σήραγγας.

"Κατηγορία III"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=0.4)$

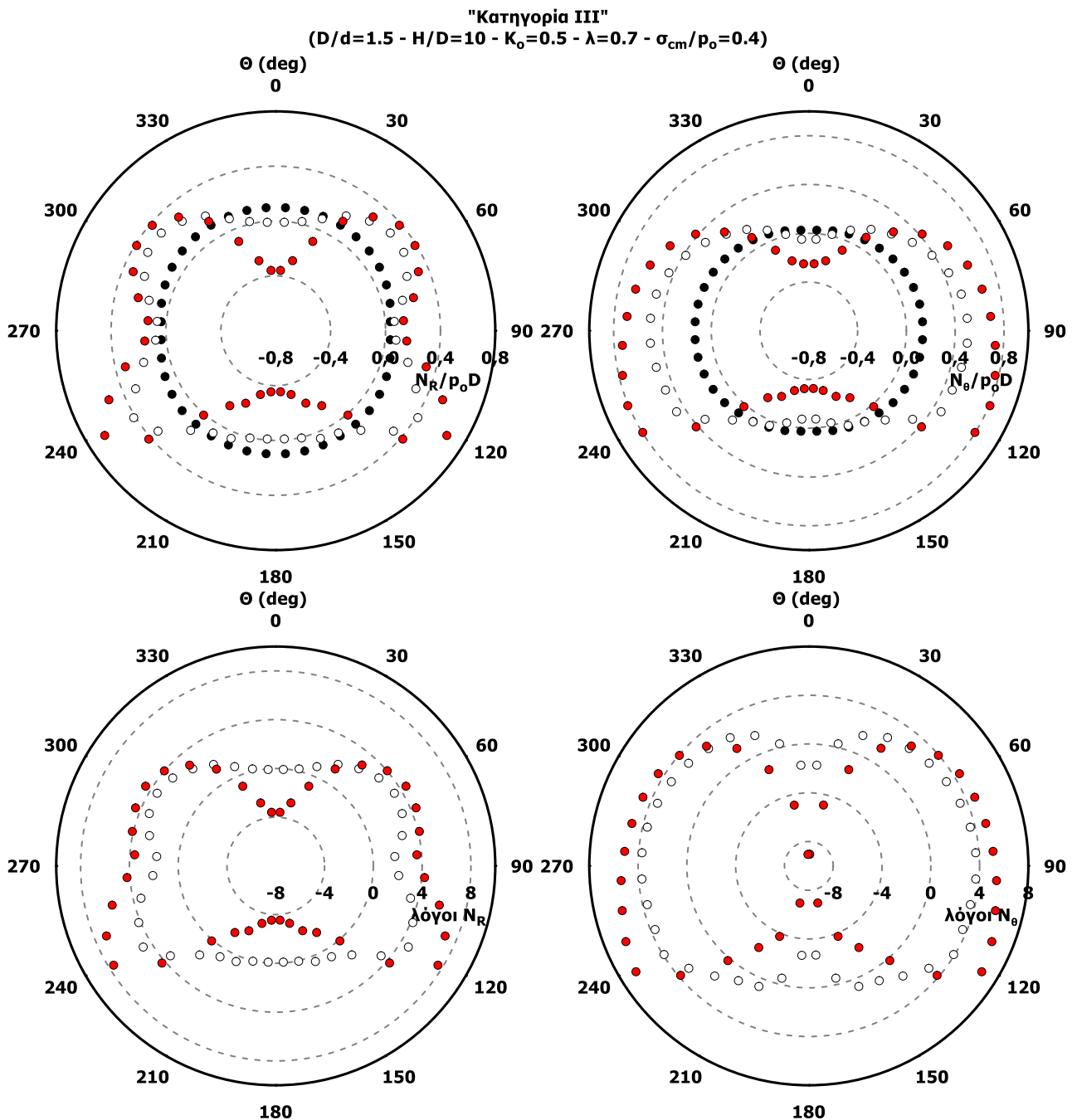


Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..19: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων.

Όπως και στην Κατηγορία I έτσι και σε αυτήν την περίπτωση εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο μέρος της διατομής του ανοίγματος φορτίζεται λόγω της διάνοιξης της συνδετήριας σήραγγας, ενώ μικρότερο μέρος αποφορτίζεται. Παρόλα αυτά παρατηρείται στο κάτω μέρος του ανοίγματος στην θέση $\theta=120$ & 240 μοίρες ότι η ακτινική αξονική δύναμη κατά την διάνοιξη της συνδετήριας σήραγγας λαμβάνει υψηλή θλιπτική ένταση και στο τελευταίο βήμα ολοκλήρωσης της συνδετήριας γίνεται μέγιστη. Από τους λόγους παρατηρείται και για την ακτινική και την εφαπτομενική αξονική δύναμη πως η τάξη τιμών τους είναι λίγο μεγαλύτερη από την περίπτωση των κυκλικών σηράγγων και πως στο κάτω τμήμα της διατομής αναπτύσσεται τασικό πεδίο με διαφορετική «μορφή», γεγονός που οφείλεται στην διαφορετική κατασκευή και τομή της κύριας και δευτερεύουσας σήραγγας. Φαίνεται λοιπόν συγκρίνοντας πως η αλλαγή της διατομής από κυκλική σε πεταλοειδής είναι μια διαφορετική περίπτωση μελέτης αφού είναι

λογικό να διαφοροποιείται η «μορφή» ανάπτυξης της έντασης γύρω από το άνοιγμα λόγω ότι οι διατομές που τέμνονται είναι πεταλοειδείς και οι δύο. Τέλος, γίνεται κατανοητό ότι η κατασκευή διασταυρούμενων σηράγγων με κυκλικές διατομές σε επίπεδο αριθμητικής μελέτης είναι μια περίπτωση με πιο απλή γεωμετρία και είναι επαρκής.



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..20: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας. ($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4$, $K_o=0.5$, $H/D=10$, $\lambda=0.7$)

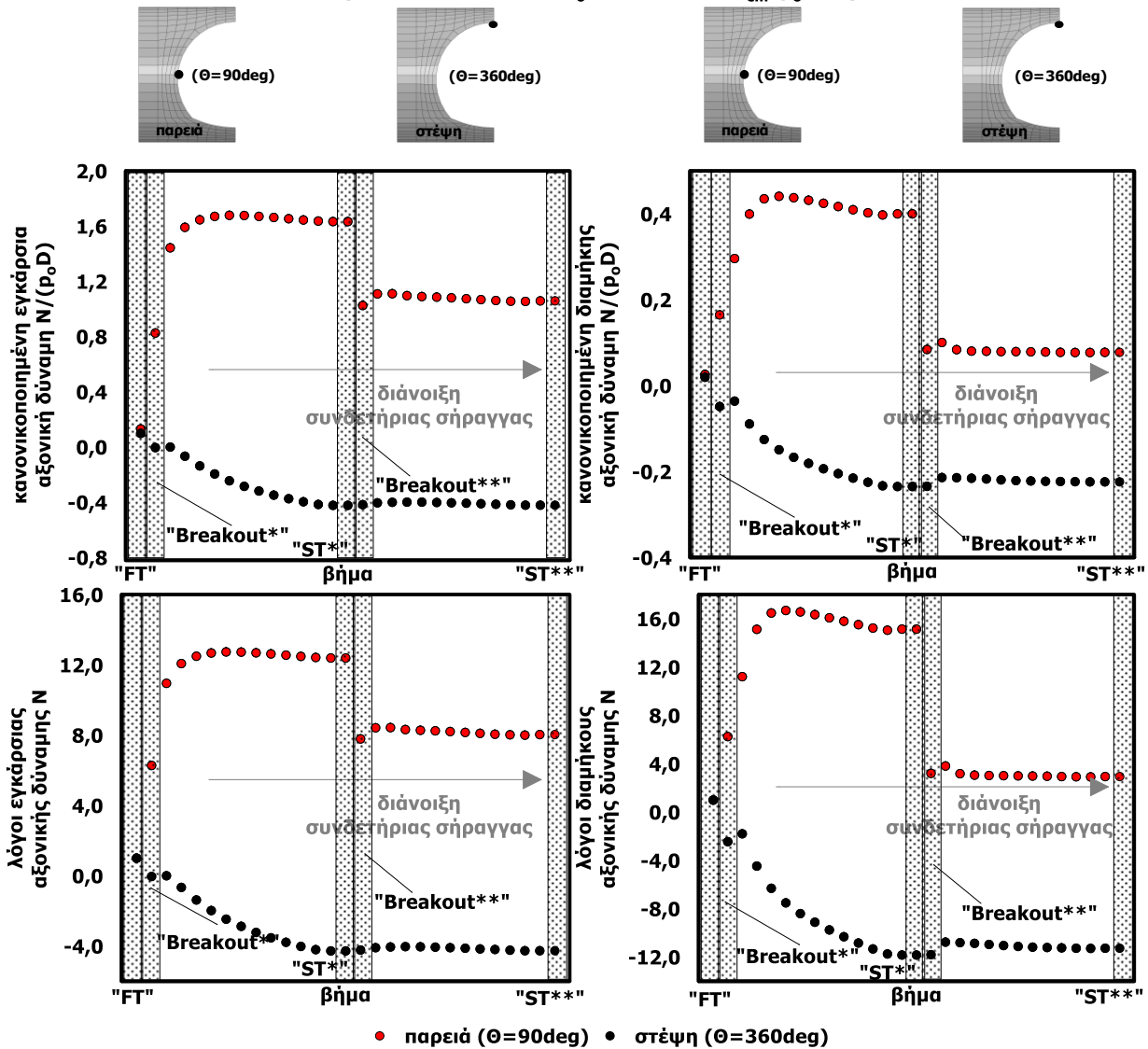
Εκσκαφή σε δυο φάσεις συνδετήριας σήραγγας με πεταλοειδή διατομή.

Η εκσκαφή της πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας γίνεται σε δυο φάσεις, δηλαδή εκσκαφή και μελέτη των αποτελεσμάτων του άνω τμήματος «up» και εκσκαφή του κάτω τμήματος «down» μέχρι την ολοκλήρωση της συνδετήριας σήραγγας. Είναι πολύ σημαντική η μελέτη της εκσκαφής των δυο φάσεων με σκοπό να ληφθεί η ευμενέστατη μέθοδος εκσκαφής της συνδετήριας σήραγγας με πεταλοειδή διατομή.

Ενδεικτικά αποτελέσματα χρονοϊστοριών στην στέψη και την παρειά των κύριων σηράγγων.

Όσον αφορά την εγκάρσια αξονική δύναμη φαίνεται από το Σχήμα 4.21 πως κατά την εκσκαφή του άνω τμήματος δημιουργείται στην παρειά μεγάλη θλιπτική δύναμη σε σχέση με την δύναμη της ολομέτρωτης εκσκαφής και αντίστοιχα στην στέψη εφελκυσμός μεγαλύτερος από την προηγούμενη περίπτωση μελέτης. Κατά την ολοκλήρωση του άνω τμήματος εκσκαφής και την διάνοιξη του κατώτερου τμήματος «down» φαίνεται από το Σχήμα 4.21 ένα σπάσιμο στο διάγραμμα με ξαφνική μείωση της θλιπτικής δύναμης της παρειάς, η οποία παραμένει σταθερή μέχρι την ολοκλήρωση του κατώτερου τμήματος. Σε σύγκριση με το Σχήμα 4.19, δηλαδή την περίπτωση ολομέτρωτης εκσκαφής, φαίνεται πως η αρχική εκσκαφή του άνω τμήματος δημιουργεί μεγάλη επιρροή στην ένταση της παρειάς και γενικά στην αρχική ένταση όλης της διατομής πριν την ολοκλήρωση και του κατώτερου τμήματος. Η αποφόρτιση της στέψης γίνεται ομαλά και σταθερά κατά τις δυο φάσεις με παρόμοιες τιμές της εφελκυστικής δύναμης όπως της περίπτωσης ολομέτρωτης εκσκαφής. Όσον αφορά την διαμήκη αξονική δύναμη στην παρειά η θλιπτική δύναμη που δημιουργείται είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την εκσκαφή του άνω τμήματος σε σχέση με αυτήν της περίπτωσης της ολομέτρωτης εκσκαφής και στην συνέχεια «πέφτει» και σταθεροποιείται κατά την εκτέλεση του βήματος «Breakout**» έως «ST**». Ο εφελκυσμός που δημιουργείται στην στέψη λόγω της αποφόρτισης είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν αντίστοιχα στην περίπτωση της ολομέτρωτης εκσκαφής. Παρόλα αυτά η διαμήκης αξονική δύναμη είναι πολλή μικρότερη από την εγκάρσια και δεν την επηρεάζει τόσο αυτή η αλλαγή μεταξύ των δυο περιπτώσεων εκσκαφής. Από τα παραπάνω προκύπτει πως η εκσκαφή του ανοίγματος της σήραγγας σε δυο φάσεις είναι δυσμενέστερη μέθοδος σε σχέση με την ολομέτρωτη εκσκαφή αφού το εντατικό πεδίο που αναπτύσσεται είναι μεγαλύτερο. Η διάνοιξη του άνω τμήματος επηρεάζει πολύ την ανάπτυξη της έντασης του ανοίγματος λόγω της μεγάλης φόρτισης της παρειάς κατά την κατασκευή του.

"Κατηγορία III*"
 $(D/d=1.5 - H/D=10 - K_0=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_0=0.4)$



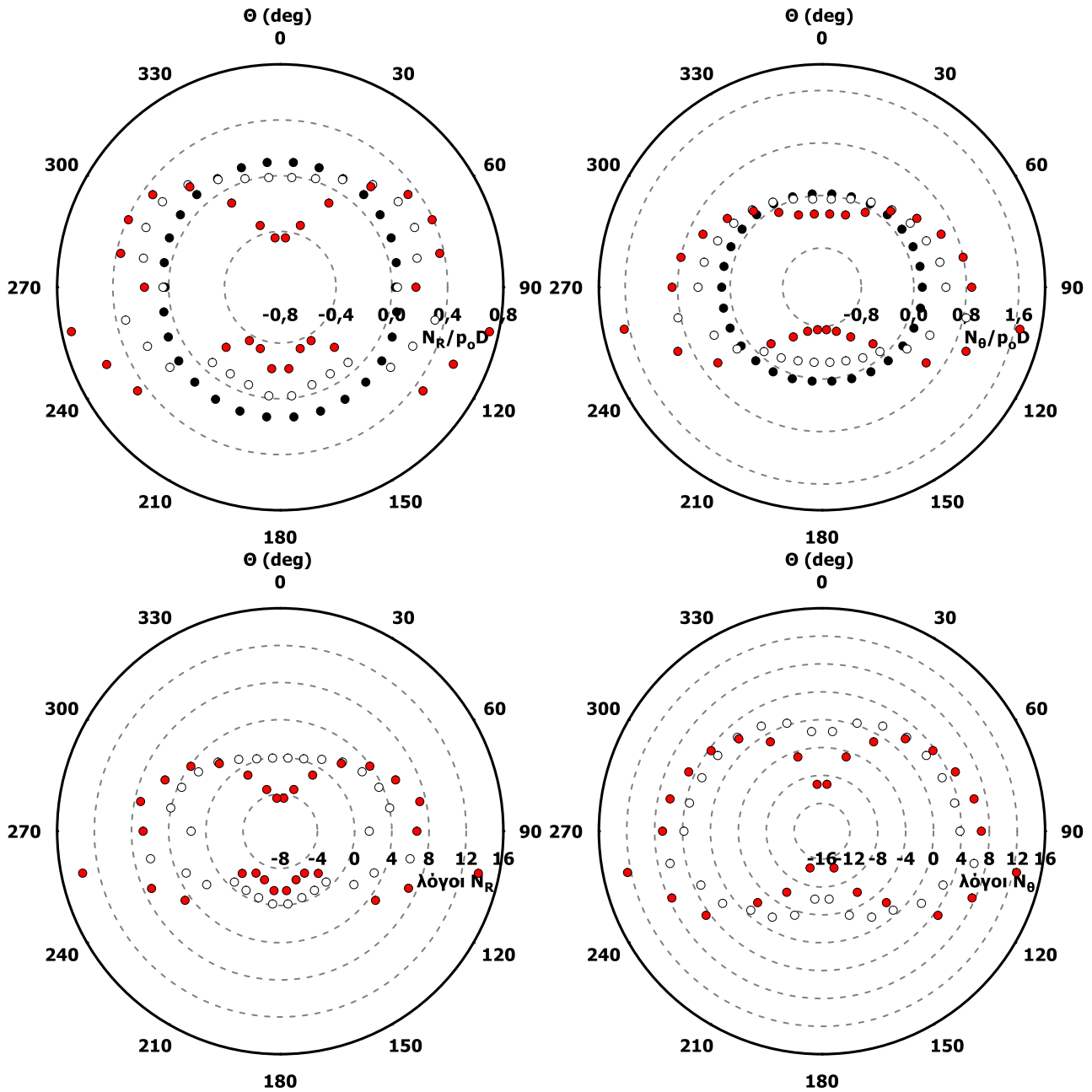
Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..21: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης εγκάρσιας (αριστερά πάνω) και διαμήκουσ (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά της σήραγγας και οι λόγοι της εγκάρσιας (αριστερά κάτω) και διαμήκουσ (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην στέψη και την παρειά για τις δυο φάσεις εκσκαφής του ανοίγματος της σήραγγας «up» & «down». ($\sigma_{cm}/\rho_0=0.4$, $K_0=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

Ενδεικτικά αποτελέσματα στην περιφέρεια του ανοίγματος των κύριων σηράγγων.

Αρχικά παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.22 η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην διατομή του άνω τμήματος εκσκαφής «up» για τα τρία βασικά βήματα, δηλαδή «FT», «Breakout» και «ST. Από το Σχήμα 4.22 φαίνεται πως το μεγαλύτερο μέρος της διατομής του άνω τμήματος που σκάβεται φορτίζεται και βρίσκεται σε θλίψη είτε από την ακτινική είτε από την εφαπτομενική αξονική δύναμη. Οι περιοχές με θλίψη και εφελκυσμό είναι ίδιες σε γωνίες όπως και με τις άλλες περιπτώσεις που μελετήθηκαν παραπάνω με διαφορά πως στο κάτω μέρος της διατομής αυτής υπάρχει κάποια αύξηση των θλιπτικών δυνάμεων στις πλευρικές περιοχές του προσωρινού ανάστροφου τόξου λόγω του ότι δεν σκάβεται ολόκληρη η διατομή του ανοίγματος, αλλά μόνο η διατομή του άνω τμήματος «up». Από τους λόγους φαίνεται πως κατά την διάνοιξη και ολοκλήρωση της συνδετήριας σήραγγας για τις περιοχές 90-120 μοιρών και 240-270 μοιρών,

δηλαδή στις πλευρικές περιοχές του προσωρινού ανάστροφου τόξου, η φόρτιση λαμβάνει μεγάλες τιμές και επηρεάζεται η εντατική κατάσταση του κατώτερου τμήματος, αφού φορτίζεται σε μεγάλο βαθμό. της συνδετήριας σήραγγας για τις περιοχές 90°-120° μοιρών

"Κατηγορία III*"
 (D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - λ=0.7 - σ_{cm}/ρ_o=0.4)



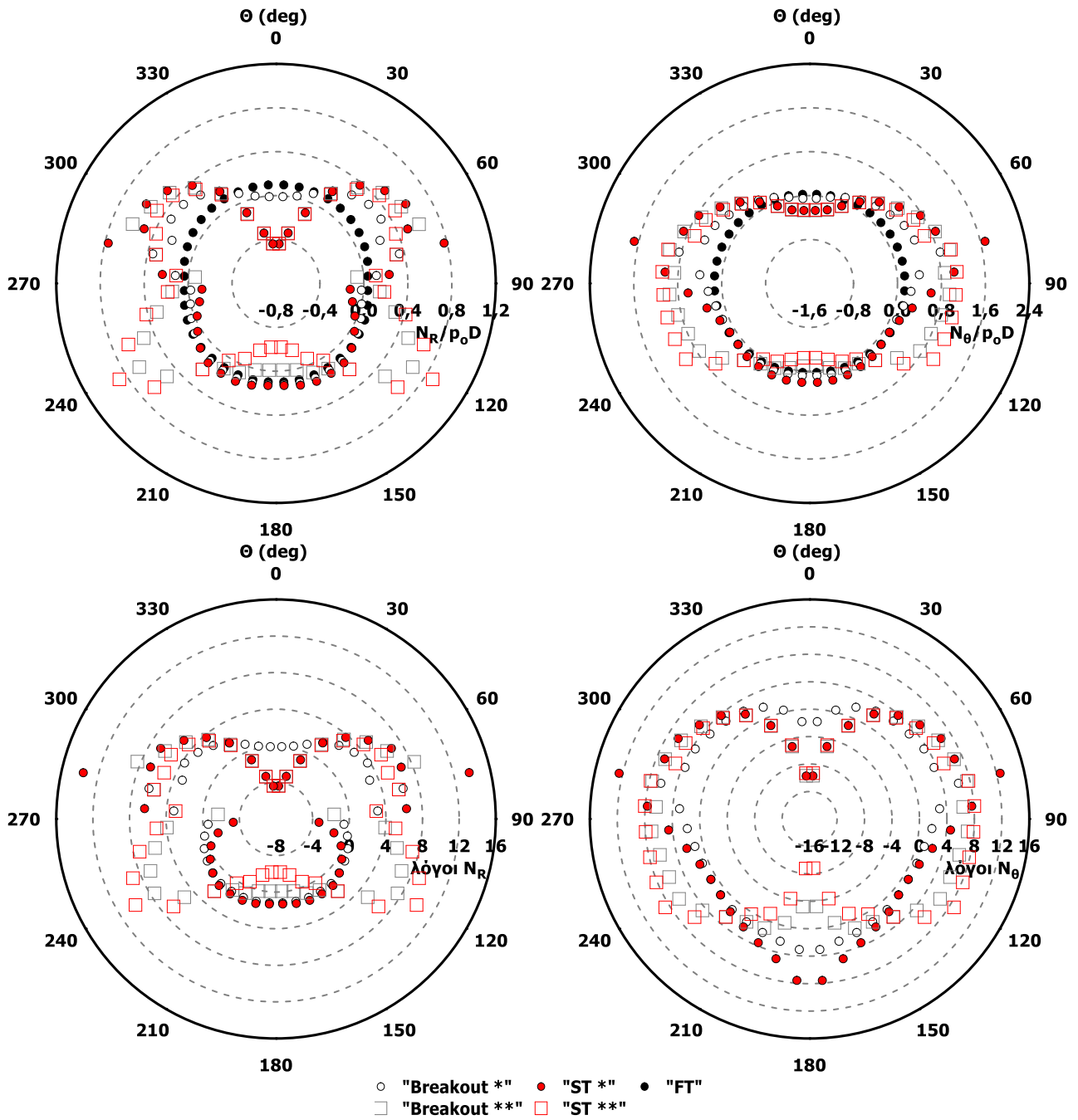
○ "Breakout *" ● "ST *" ● "FT"

Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..22: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας για την διατομή του άνω τμήματος εκκαφής «υρ» της σήραγγας. (σ_{cm}/ρ_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, λ=0.7)

Στην συνέχεια αναλύεται και μελετάται στο Σχήμα 4.23 η χρονοϊστορία και οι λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής και εφαπτομενικής αξονικής δύναμης στην περιφέρεια όλου του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας. Στο Σχήμα 4.23 παρουσιάζεται η εντατική κατάσταση για τα τρία βασικά βήματα που έχουν προκύψει από την διάνοιξη του άνω τμήματος «up» και η εντατική κατάσταση που προκύπτει συνολικά στην διατομή του ανοίγματος της συνδετήριας σήραγγας από την διάνοιξη του κατώτερου τμήματός της «down». Από τα γραφήματα φαίνεται πως κατά την τελική διάνοιξη του κατώτερου τμήματος της συνδετήριας σήραγγας «down» και την ολοκλήρωση της η εντατική κατάσταση του ανοίγματος αναπτύσσεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος της διατομής φορτίζεται και επικρατεί η θλίψη, ενώ μικρότερο μέρος αποφορτίζεται.

Τέλος, είναι σημαντικό να μελετηθεί και να γίνει η σύγκριση μεταξύ των δυο μεθόδων εκσκαφής της πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας. Παρατηρώντας τα Σχήματα 4.20 και 4.23 φαίνεται πως κατά την ολοκλήρωση της εκσκαφής του κατώτερου τμήματος της συνδετήριας σήραγγας «down», η εντατική κατάσταση είναι παρόμοια με αυτή που έγινε με ολομέτωπη εκσκαφή όμως με κάποιες δυσμενέστερες φορτίσεις σε συγκεκριμένες θέσεις της διατομής. Συγκεκριμένα για την ακτινική αξονική δύναμη φαίνεται πως στο τέλος της εκσκαφής του κατώτερου τμήματος, η θλίψη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της ολομέτωπης εκσκαφής, καθώς επίσης η αποφόρτιση στην βάση της διατομής δεν είναι τόσο μεγάλη όσο στην πρώτη περίπτωση ολομέτωπης εκσκαφής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συνδετήρια σήραγγα έχει σκαφτεί σε δυο φάσεις και η διατομή της έχει ήδη φορτιστεί κατά την πρώτη φάση εκσκαφής και επαναφορτίζεται περισσότερο στην δεύτερη φάση της. Έτσι δημιουργείται μια πιο κρίσιμη κατάσταση στην φόρτιση του ανοίγματος κατά την εκσκαφή με δυο φάσεις από ότι στην ολομέτωπη εκσκαφή. Όσον αφορά την εφαπτομενική αξονική δύναμη παρατηρείται πως η θλίψη είναι ελάχιστα μεγαλύτερη στην περίπτωση των δυο φάσεων εκσκαφής και πως στην παρειά και την βάση η αποφόρτιση πιο μικρή. Τέλος, παρατηρώντας και τους λόγους του Σχήματος 4.23 προκύπτει πως η πρώτη φάση εκσκαφής του άνω τμήματος «up» προκαλεί μια δυσμενή κατάσταση στο άνοιγμα της συνδετήριας σήραγγας και μια αρχική φόρτιση πριν την ολοκλήρωση της συνολικής εκσκαφής της. Έτσι, προκύπτει το συμπέρασμα πως η εκσκαφή πεταλοειδούς συνδετήριας σήραγγας σε δυο φάσεις είναι μια πιο δυσμενής μέθοδος εκσκαφής σε σχέση με την ολομέτωπη εκσκαφή και αν χρειαστεί να εφαρμοστεί πρέπει να γίνει η κατάλληλη μελέτη και σχεδιασμός.

"Κατηγορία III*"
 ($D/d=1.5 - H/D=10 - K_o=0.5 - \lambda=0.7 - \sigma_{cm}/\rho_o=0.4$)



Σχήμα Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο..23: Χρονοϊστορία κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά πάνω) και εφαπτομενικής (δεξιά πάνω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος της σήραγγας και Λόγοι της χρονοϊστορίας της κανονικοποιημένης ακτινικής (αριστερά κάτω) και εφαπτομενικής (δεξιά κάτω) αξονικής δύναμης στην περιφέρεια του ανοίγματος κατά την εκσκαφή του κατώτερου τμήματος «down» της σήραγγας.

($\sigma_{cm}/\rho_o=0.4, K_o=0.5, H/D=10, \lambda=0.7$)

