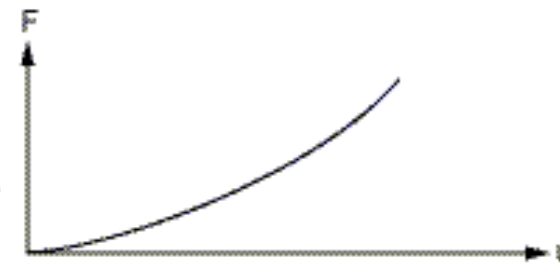
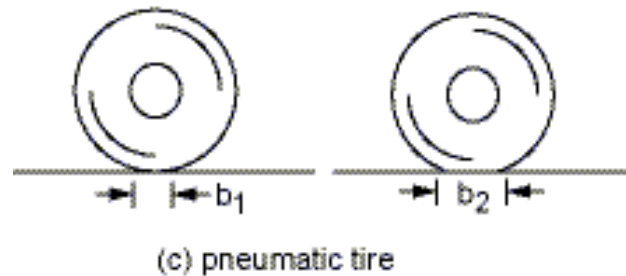
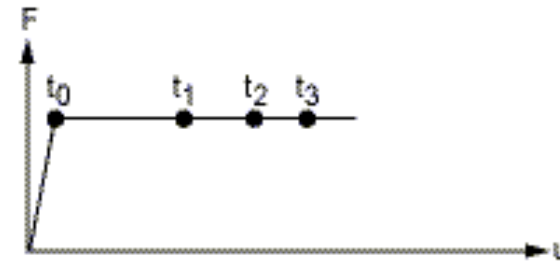
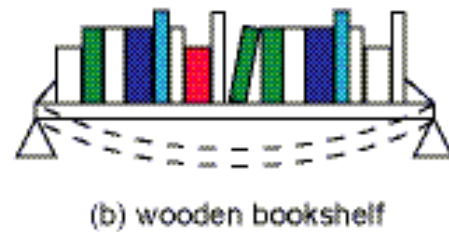
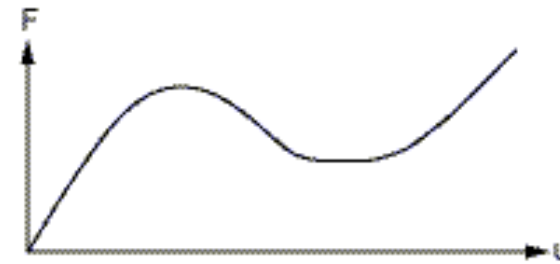
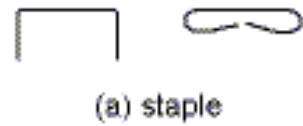


ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗ

ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Α. Θεοδουλίδης

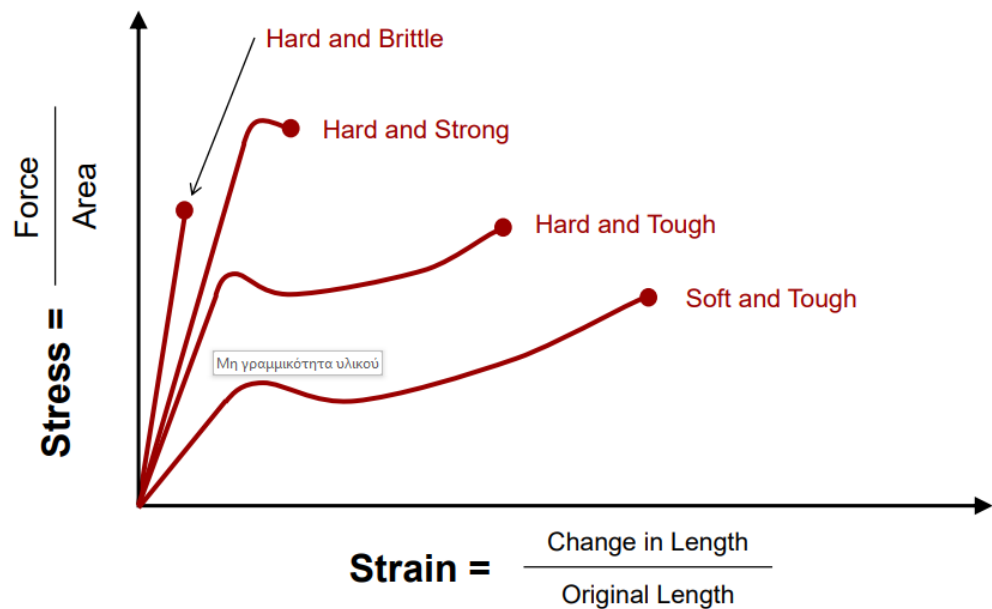
Μη γραμμική ανάλυση - Παραδείγματα



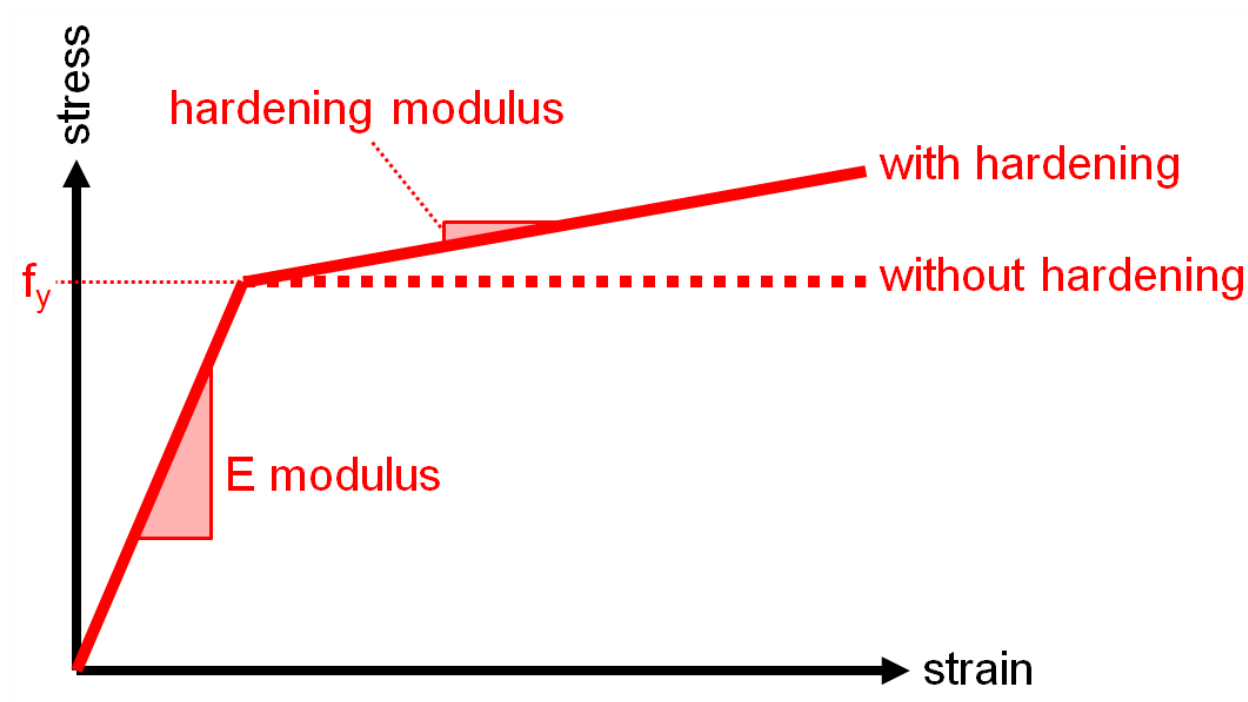
Μη γραμμική ανάλυση - Αιτίες

- Μη γραμμικότητα λόγω του υλικού
- Μη γραμμικότητα λόγω μεγάλων παραμορφώσεων
- Μη γραμμικότητα λόγω οριακών συνθηκών

Μη γραμμικότητα υλικού

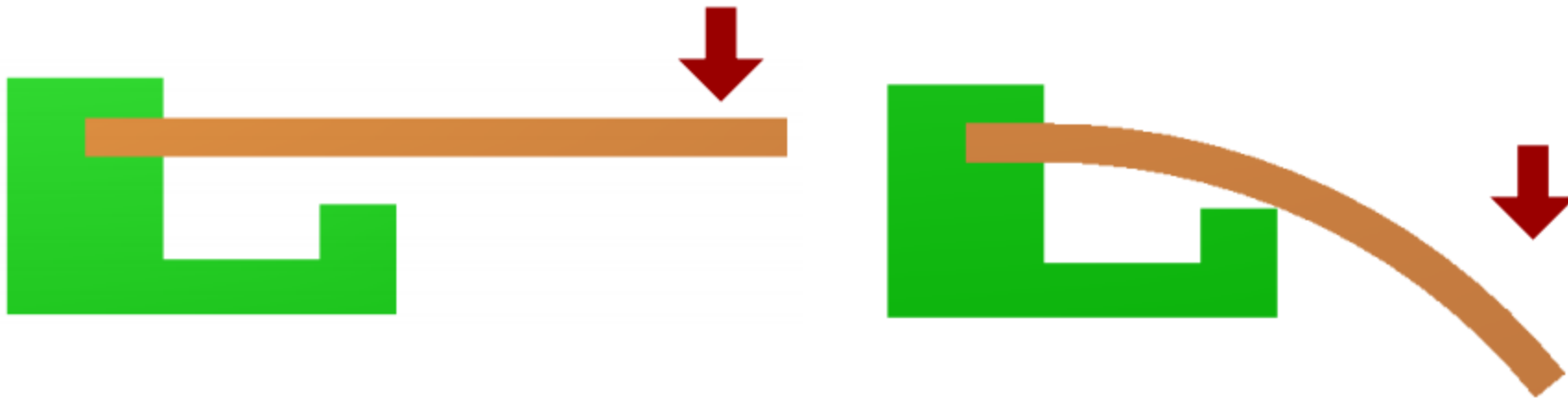


Πραγματική συμπεριφορά



Προσέγγιση

Μη γραμμικότητα οριακή συνθήκη



Η συμπεριφορά της στήριξης μπορεί να αλλάξει χρονικά

Σύγκριση γραμμικής και μη γραμμικής ανάλυσης

- Γραμμική ανάλυση

- Η κατασκευή επιστρέφει στην αρχική της μορφή μετά την απομάκρυνση των φορτίσεων.
- Κατά την επίλυση δεν αλλάζει η φορά των ασκούμενων δυνάμεων
- Η μηχανικές ιδιότητες των υλικών δεν μεταβάλλονται
- Παρατηρούνται μικρές παραμορφώσεις

- Μη Γραμμική ανάλυση

- Η γεωμετρία της κατασκευής αλλάζει κατά την διαδικασία επίλυσης (και κατά συνέπεια και το μητρώο ακαμψίας)
- Η κατασκευή αποκτά μόνιμες παραμορφώσεις και μετά την απομάκρυνση των φορτίσεων
- Οι οριακές συνθήκες μπορεί να μεταβληθούν
- Η άσκηση του φορτίου μπορεί να γίνει μη-γραμμικά

Αναγκαιότητα μη-γραμμικής ανάλυσης

- Σήμερα η ανάγκη για μη γραμμική ανάλυση γίνεται επιτακτική ιδιαίτερα λόγω:
 - Της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού των κατασκευών
 - Της χρήσης νέων υλικών
 - Απαιτήσεις ασφαλούς αστοχίας (π.χ Κανονισμοί CSR)

Γενικές Οδηγίες για την εκπόνηση μη-γραμμικών αναλύσεων

- Αξιόπιστοι κώδικες πεπερασμένων στοιχείων
- Πριν τη μη-γραμμική ανάλυση πρέπει να πραγματοποιείται γραμμική ανάλυση για λόγους ελέγχου του μοντέλου και αρχικής κατανόησης της αναμενόμενης συμπεριφοράς.
- Το μοντέλο να είναι κατά το δυνατόν απλό. (Λεπτομέρειες που δεν επηρεάζουν τη λύση μπορούν να αμελούνται κατά τη μοντελοποίηση)
- Το μέγεθος του μοντέλου να είναι κατά το δυνατόν μικρό, χωρίς όμως να «αποκόπτονται» κρίσιμες περιοχές.
- Το χρησιμοποιούμενο πλέγμα να έχει την απαραίτητη πυκνότητα.

Στατική ΜΓΑ

- Ακόμη και στα στατικά προβλήματα οι φορτίσεις πρέπει να ασκούνται σταδιακά
- Ο χρόνος στην περίπτωση αυτή αποτελεί μια ψευδο-παράμετρο για την περιγραφή της σταδιακής άσκησης των φορτίσεων.
- Αντίθετα, στη δυναμική ανάλυση ο χρόνος αποτελεί μια πραγματική παράμετρο.
- Σε κάθε ενδιάμεσο στάδιο θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις:
 - Εξισώσεις ισορροπίας
 - Εξισώσεις συμβιβαστού των παραμορφώσεων.
 - Οι νόμοι συμπεριφοράς του υλικού

Επαναληπτική διαδικασία

- Η επίλυση των μη-γραμμικών εξισώσεων επιτυγχάνεται μέσω μιας επαναλυτικής διαδικασίας.

$$K(u) \cdot \Delta u = \Delta P$$

Δu : η άγνωστη τμηματική μετατόπιση

ΔP : η επιβαλλόμενη (γνωστή) τμηματική αύξηση της επιβαλλόμενης φόρτισης

Για την επαναληπτική διαδικασία επίλυσης υιοθετείται ένα αριθμητικό επαναληπτικό σχήμα, όπως Newton-Raphson, Arc Length κ.α.

Επαναληπτική διαδικασία

- Η επαναληπτική διαδικασία ξεκινά με μια αρχική πρόβλεψη:

$$u = u_i,$$

- Στη συνέχεια η τμηματική προσαύξηση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta u_i = K^{-1}(u_i) \cdot \Delta P$$

Και το προκύπτον έλλειμα ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta R_i = \Delta P - K(u_i) \cdot \Delta u_i,$$

ΔR_i : αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ των ασκούμενων δυνάμεων και των δυνάμεων που οφείλονται στη θεωρούμενη μετατόπιση. Η ποσότητα ΔR_i πρέπει σταδιακά να μηδενισθεί. Όπως σε κάθε επαναληπτικό σχήμα υιοθετείται μια ανοχή σύγκλισης που όταν επιτευχθεί σταματά η επαναληπτική διαδικασία.

Σε περίπτωση μη σύγκλισης η διαδικασία επαναλαμβάνεται θεωρώντας προσαύξηση της άγνωστης μετατόπισης:

$$u_{i+1} = u_i + \Delta u_i$$

Επαναληπτική διαδικασία

- Το επόμενο βήμα της διαδικασίας Δu_{i+1} υπολογίζεται από τη σχέση:

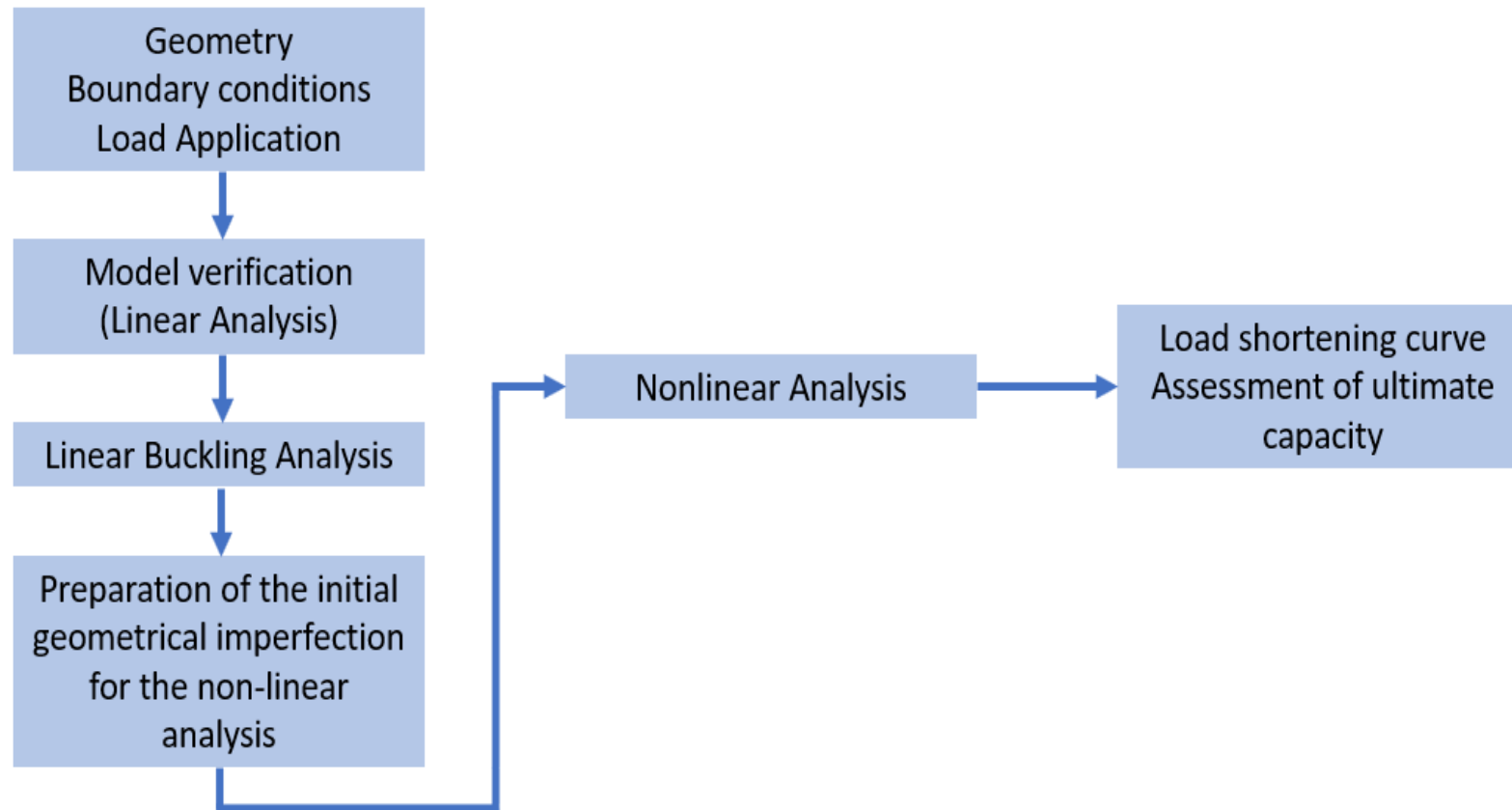
$$\Delta u_{i+1} = K^{-1}(u_{i+1}) \cdot \Delta P$$

η οποία οδηγεί σε εκ νέου υπολογισμό του ελείμματος ισορροπίας

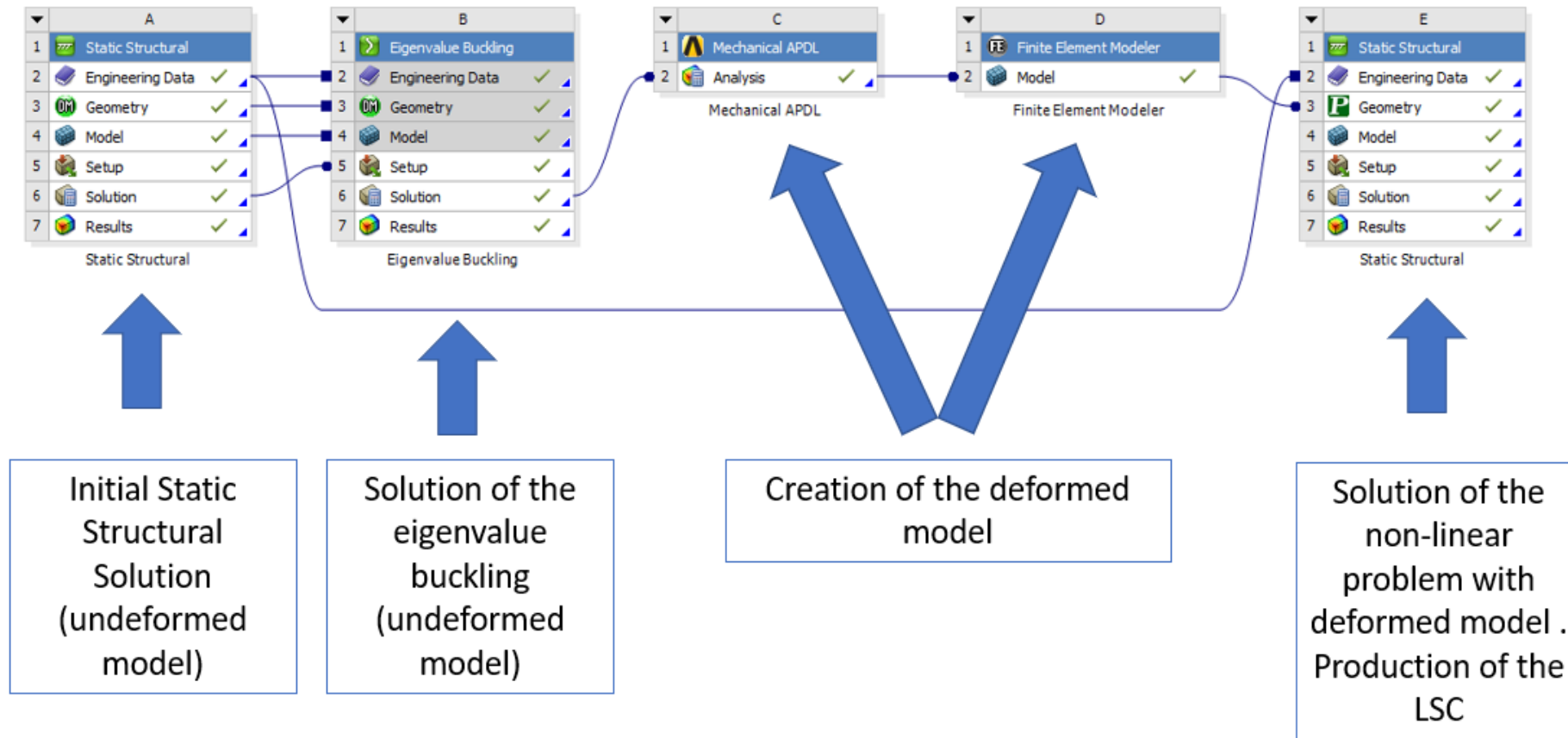
$$\Delta R_{i+1} = \Delta P - K(u_{i+1}) \cdot \Delta u_{i+1}$$

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθεί σύγκλιση.

Η διαδικασία αριθμητικής επίλυσης



Μη γραμμική ανάλυση με χρήση του ANSYS



Μη-γραμμικός λυγισμός ενισχυμένου ελάσματος

