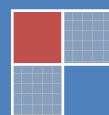


ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΓΕΝΙΚΩΝ ΑΡΧΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΓΕΡΑΝΩΝ



ΜΑΡΙΟΥΣ ΜΑΛΟ
Φεβρουάριος 2010





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ
ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΓΕΝΙΚΩΝ ΑΡΧΩΝ
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΓΕΡΑΝΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : ΜΑΡΙΟΥΣ ΜΑΛΟ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Σ.ΔΙΠΛΑΡΗΣ , Επίκουρος Καθηγητής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Ι.ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ , Επίκουρος Καθηγητής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Θ.ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ , Επίκουρος Καθηγητής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατ'αρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Φώτη Μάλο και Αφροδίτη Μάλο καθώς και τις αδερφές μου για την συνεχή τους συμπαράσταση και ψυχολογική τους υποστήριξη καθ'όλη την διάρκεια της μαθητικής και πανεπιστημιακής μου εκπαίδευσης .

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα της διπλωματική εργασίας μου ,καθηγητή Μηχανολόγων Μηχανικών κύριο Στέφανο Διπλάρη που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο σημαντικό και ενδιαφέρον θέμα που αποτέλεσε για μένα ιδιαίτερο κίνητρο .Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις πολύτιμες οδηγίες του και υποδείξεις για την διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας καθώς και για τις πολύ σημαντικές συμβουλές και την εμπειριστατωμένη καθοδήγηση του για το ευρύ αντικείμενο εργασίας του Μηχανολόγου Μηχανικού .

Θέλω να ευχαριστήσω τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης ΕΛΟΤ για την παραχώρηση των δύο προτύπων ISO 2394 και ISO 8686 , τα οποία αποτέλεσαν πολύτιμη βιβλιογραφία για την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας .Τέλος θέλω να εκφράσω την εκτίμηση μου στους καθηγητές Μηχανολόγων Μηχανικών και μέλη της εξεταστικής επιτροπής , κ. Ιωάννη Αντωνιάδη και κ. Θεόδωρο Κωστόπουλο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην διπλωματική αυτή εργασία γίνεται κατ'αρχήν μια επισκόπηση της μεθοδολογίας που εφαρμόζεται σήμερα για τον σχεδιασμό των γερανών και ειδικότερα στον συνδυασμό των φορτίων και στον έλεγχο της επάρκειας της κατασκευής σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO 8686-Part 1-5 " Design principles for loads and load combinations " .

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι γενικές αρχές αξιοπιστίας των κατασκευών σύμφωνα με το πρότυπο ISO 2394 " General principles on reliability for structures " και γίνεται μια προσπάθεια προσαρμογής των αρχών αυτών στον σχεδιασμό των γερανών .Τέλος γίνεται μια ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των δύο αυτών γενικών μεθόδων στον σχεδιασμό των γερανών .

ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Κατ'αρχήν γίνεται μια εισαγωγή **στο κεφάλαιο ένα** στον σχεδιασμό των κατασκευών , πάνω στην παραδοσιακή μέθοδο της αντοχής των κατασκευών και στην συνέχεια στον σχεδιασμό με βάση την πιθανολογική θεώρηση της αξιοπιστίας των κατασκευών .

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναφερόμαστε στους γερανούς και στις κατηγορίες των γερανών που διακρίνονται , και παρουσιάζουμε τα διάφορα φορτία που εμφανίζονται κατά την διάρκεια λειτουργίας τους .

Στο **τρίτο κεφάλαιο** διακρίνονται οι αρχές και οι μέθοδοι σχεδιασμού με βάση τα ISO 8686 και στην συνέχεια γίνονται ενδεικτικές εφαρμογές σε τέσσερις κατηγορίες γερανών πάνω σε αυτήν την μέθοδο σχεδιασμού.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** εισάγονται οι γενικές αρχές επί της αξιοπιστίας των κατασκευών και οι μέθοδοι εφαρμογής τους .

Το **πέμπτο κεφάλαιο** διαπραγματεύεται τον σχεδιασμό των γερανών με βάση τις αρχές επί της αξιοπιστίας των κατασκευών , στην συνέχεια γίνονται αντίστοιχες εφαρμογές για τις τέσσερις κατηγορίες γερανών με την συγκεκριμένη μέθοδο όπως και στο κεφάλαιο 3.

Στο **έκτο κεφάλαιο** γίνεται μια ποιοτική σύγκριση μεταξύ των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 3 και 5 αντίστοιχα παρατηρώντας σημεία σύγκλισης ή διαφορών και διεξάγονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα .

Τέλος δίδονται σε έντυπη μορφή τα δύο πρότυπα ISO 2394 και ISO 8686 ως παραρτήματα (**Παράρτημα 1** και **2** αντίστοιχα) όπου παρατίθενται περαιτέρω πληροφορίες πάνω στην εφαρμογή τους , για την λεπτομερή μελέτη και ανάλυση κάθε ενδιαφερόμενου .

1. Εισαγωγή	1
1. 1 Δείκτης αξιοπιστίας των κατασκευών – Reliability index	2
2. Γερανοί	3
2. 1 Είδη γερανών	3
2. 2 Τμήματα γερανών	8
2. 3 Φορτία γερανών	12
3. Σχεδιασμός των γερανών με βάση τα πρότυπα ISO 8686	13
3.1 Γενικά	13
3.2 Κατηγορίες φορτίων	13
3.2.1 Κανονικά φορτία	15
3.2.2 Τυχαία φορτία	21
3.2.3 Κατ'εξάιρεση φορτία	22
3.2.4 Ειδικά φορτία	27
3.3 Συνδυασμός φορτίων	28
3.3.1 Συνδυασμοί φορτίων	30
3.3.2 Ειδικές εφαρμογές φορτίων	31
3.4 Μέθοδοι υπολογισμού τάσεων	33
3.4.1 Γενικά	33
3.4.2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης	33
3.4.3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης	35
3.5 Εφαρμογές	38
3.5.1 Επιλογή φορτίων για κινητούς γεραμούς	44
3.5.2 Επιλογή φορτίων για πυργωτούς γεραμούς	48
3.5.3 Επιλογή φορτίων για γεραμούς κεραίας	54
3.5.4 Επιλογή φορτίων για γεραμούς εναέριου τύπου –γερανογέφυρες	58
4 Γενικές αρχές επί της αξιοπιστίας των κατασκευών	58
4.1 Εισαγωγή	58
4.1.1 Απόλυτη οριακή κατάσταση	59
4.1.2 Οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας	64
4.2 Δράσεις	66
4.2.1 Δράσεις σε συνάρτηση με το χρόνο	66
4.2.2 Δράσεις σε συνάρτηση με το χώρο	70
4.2.3 Δράσεις ανάλογα με την κατασκευαστική τους συμπεριφορά	70
4.2.4 Περιορισμένες και απεριόριστες δράσεις	71
4.2.5 Επιδράσεις από το περιβάλλον	71
4.2.6 Δράσεις εξαρτώμενες από τις ιδιότητες του υλικού	71
4.3 Υπολογιστικά μοντέλα σχεδιασμού	72
4.3.1 Υπολογιστικά μοντέλα δράσεων	72

4.3.2 Υπολογιστικά μοντέλα για τις ιδιότητες των υλικών	74
4.3.3 Υπολογιστικά μοντέλα δυναμικής αντίδρασης	75
4.3.4 Υπολογιστικά μοντέλα για τις αβεβαιότητες	76
4.3.5 Υπολογιστικά μοντέλα καταπόνησης σε κόπωση	77
4.4 Αρχές στον πιθανολογικό σχεδιασμό	81
4.4.1 Εισαγωγή	81
4.4.2 Εκτέλεση του σχεδιασμού	85
4.4.3 Μέθοδος σχεδιασμού των χαρακτηριστικών τιμών	86
4.4.4 Μέθοδος σχεδιασμού των μερικών συντελεστών	89
4.4.5 Συνθήκες ελέγχου	92
5 Σχεδιασμός των γερανών με βάση τις αρχές αξιοπιστίας των κατασκευών	94
5.1 Εισαγωγή	94
5.2 Κατηγορίες φορτίων	94
5.3 Εκτίμηση συνδυασμού δράσεων	95
5.3.1 Εισαγωγή	95
5.3.2 Εκτίμηση του συνδυασμού δράσεων σύμφωνα με το μοντέλο Ferry-Borges –Castanheta	96
5.3.3 Εκτίμηση των συντελεστών συνδυασμού Ψ σύμφωνα με το κανόνα Turksta (Turksta's rule)	100
5.3.4 Εκτίμηση των συντελεστών συνδυασμού Ψ σύμφωνα με την μέθοδο των τιμών σχεδιασμού	101
5.4 Εφαρμογές συνδυασμού δράσεων	102
5.4.1 Συνδυασμός δράσεων για την απόλυτη οριακή κατάσταση	103
5.4.2 Συνδυασμός δράσεων για την απόλυτη οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας	104
5.5 Εφαρμογές	105
5.5.1 Κινητοί Γερανοί	105
5.5.2 Πυργωτοί-Οικοδομικοί Γερανοί	107
5.5.3 Γερανοί κεραίας	109
5.5.4 Γερανοί εναέριου τύπου και Γερανογέφυρες	110
6 Συμπεράσματα	112
6.1 Συμπεράσματα ανάλυσης των δύο μεθόδων σχεδιασμού	113
6.2 Κριτήρια επιλογής μεθόδου	113

Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Είναι γεγονός ότι όλες οι κατασκευές πρέπει να εξασφαλίζονται έναντι αστοχιών και πως σε πολλές από αυτές θα πρέπει να είναι γνωστά τα όρια αντοχής τους στις αντίστοιχες φορτίσεις (κατασκευές με μεγάλες πιθανότητες υπερφόρτισης).

Η παραδοσιακή πρακτική για να εξασφαλίσει τις κατασκευές έναντι αστοχιών χρησιμοποιεί τον συντελεστή ασφάλειας και για την εκτίμηση της οριακής αντοχής των κατασκευών βασίζεται στην θεώρηση των ανεξάρτητων μελών και όχι του συνόλου της κατασκευής. Κατά αυτό τον τρόπο τα κριτήρια αποδοχής διαμορφώνονται με όρους επιτρεπόμενων τάσεων σε ένα στοιχείο – μέλος της κατασκευής. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι η ικανότητα φόρτισης μιας πολυμελούς κατασκευής είναι συχνά πολύ πιο μεγάλη από ότι έχει προσδιοριστεί κατά τον σχεδιασμό των μελών.

Αντίθετα ο πιθανολογικός δείκτης αξιοπιστίας μιας κατασκευής ενσωματώνει την αβεβαιότητα των φορτίσεων ενός μέλους ή ενός συστήματος και την ικανότητα του μέλους ή του συστήματος σε φορτίσεις σε ένα περιεκτικό μοντέλο; ενώ ο συντελεστής ασφαλείας ορίζεται ως ο λόγος των δύο παραπάνω (ικανότητα φόρτισης προς την φόρτιση). Κατά αυτόν τον τρόπο η εφαρμογή του συντελεστή ασφαλείας καλύπτει τις πιθανότητες αστοχίας ανεξάρτητα από τα κριτήρια σχεδιασμού.

Η πιθανολογική μέθοδος (μέθοδος βασισμένη στον δείκτη αξιοπιστίας β της κατασκευής) είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον προσδιορισμό της αξιοπιστίας των κατασκευών σε περιπτώσεις συνθηκών υπερφόρτισης.

Οι γερανοί με τις διάφορες παραλλαγές τους αποτελούν μια κατηγορία μηχανολογικών κατασκευών που έχουν συνήθως υψηλές τάσεις και ευρύτατη χρήση.

1. 1 Δείκτης αξιοπιστίας των κατασκευών – Reliability index

Ο δείκτης αξιοπιστίας που αναφέραμε παραπάνω προσδιορίζει την αξιοπιστία στις κατασκευές για τις αντίστοιχες συνθήκες φόρτισης και υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης κατανομής του συντελεστή ασφάλειας . Άρα ανάλογα με την συνάρτηση κατανομής υπολογίζεται ο αντίστοιχος δείκτης αξιοπιστίας β , πιο συγκεκριμένα για κανονική κατανομή και λογαριθμική κανονική κατανομή διεξάγονται οι παρακάτω δύο τύποι.

1) Για κανονική κατανομή του συντελεστή ασφάλειας

Ο δείκτης αξιοπιστίας δίνεται από την σχέση :

$$\beta = \frac{\mu - 1}{\sigma}$$

Όπου μ η μέση τιμή του συντελεστή ασφάλειας της κατασκευής και σ η τυπική απόκλιση . Δηλαδή ο δείκτης αξιοπιστίας β εκφράζει πόσες φορές της τυπικής απόκλισης σ απέχει η μέση τιμή μ του συντελεστή ασφάλειας από τον οριακό συντελεστή ασφάλειας όποιος είναι ίσος με 1 .

2) Για λογαριθμική κανονική κατανομή του συντελεστή ασφάλειας

Αντίστοιχα για λογαριθμική κατανομή ο δείκτης υπολογίζεται από την σχέση :

$$\beta_{LN} = \frac{\ln \left[\frac{\mu}{\sqrt{\ln(1+V^2)}} \right]}{\sqrt{\ln(1+V^2)}}$$

Όπου μ η μέση τιμή του συντελεστή ασφάλειας της κατασκευής , V ο συντελεστής μεταβλητότητας του συντελεστή ασφάλειας $V = \frac{\sigma}{\mu}$, και σ η τυπική απόκλιση . Στην πραγματικότητα όμως η συνάρτηση κατανομής του συντελεστή ασφάλειας είναι συνήθως λογαριθμικής κατανομής και όχι κανονικής κατανομής .

Κεφάλαιο 2. Γερανοί

Όπως γνωρίζουμε οι γερανοί αποτελούν μηχανολογικές κατασκευές ανύψωσης και μετακίνησης μεγάλων φορτίων , εάν θέλαμε να κάνουμε μια ταξινόμηση ως προς την κατασκευαστική τους μορφή οι δύο κατηγορίες θα ήταν Γερανοί και Γερανογέφυρες .

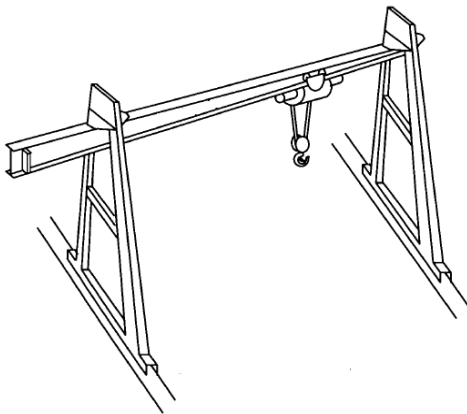
2.1 Είδη γερανών

- Γερανοί

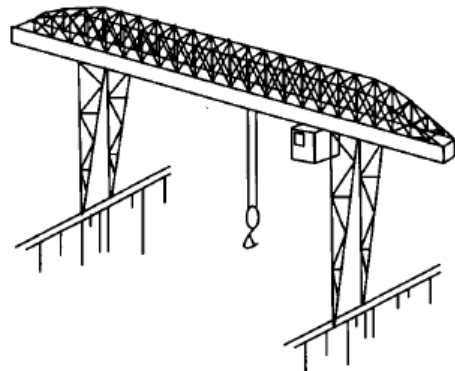
Οι γερανοί λοιπόν διακρίνονται σε γερανούς εναέριου τύπου και τους γερανούς κεραίας .

Οι γερανοί εναέριου τύπου χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

1. Απλοί γερανοί εναέριου τύπου
2. Γερανοί εναέριου τύπου με πυλώνες



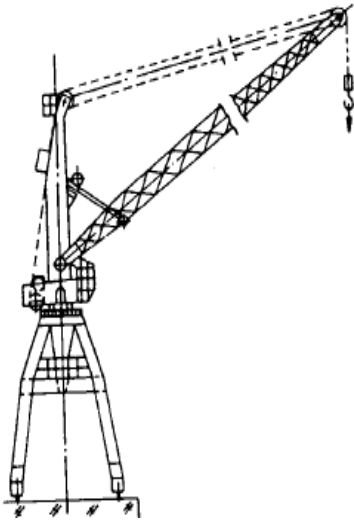
Εικόνα 2.1.1
Γερανός εναέριου τύπου



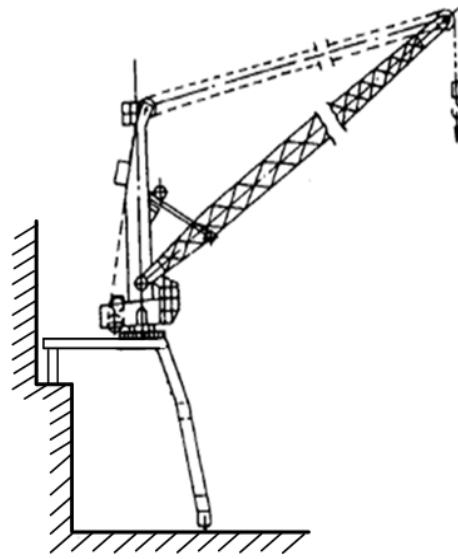
Εικόνα 2.1.2
Γερανός εναέριου τύπου με πυλώνες

Με την σειρά τους οι γερανοί κεραίας διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

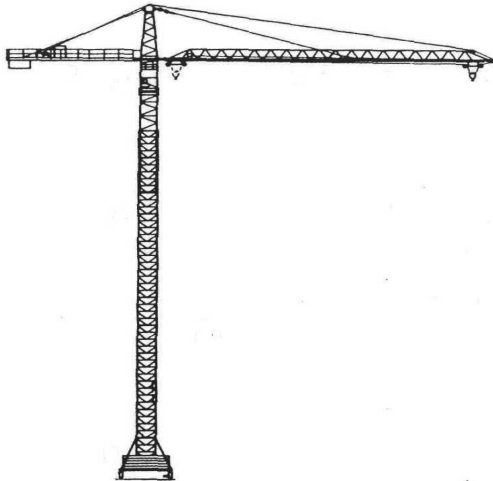
3. Περιστρεφόμενοι γερανοί πυλώνας και ημιπυλώνας
4. Οικοδομικοί –Πυργωτοί γερανοί
5. Σιδηροδρομικοί – Κινητοί γερανοί
6. Πλωτοί γερανοί
7. Γερανοί πλοίου
8. Πτυσσόμενοι γερανοί τύπου Derrick
9. Γερανοί προβόλου



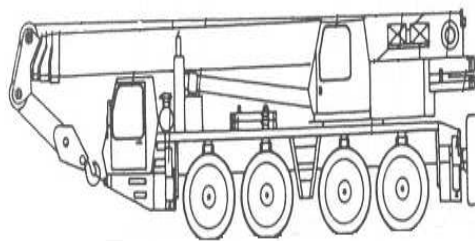
Εικόνα 2.1.3
Περιστρεφόμενος γερανός πυλώνας



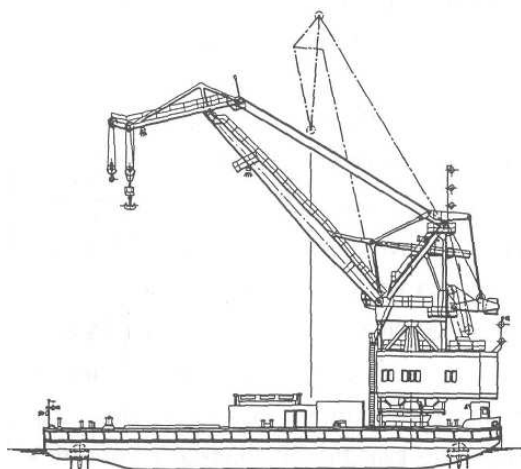
Εικόνα 2.1.4
Περιστρεφόμενος γερανός ημιπυλώνας



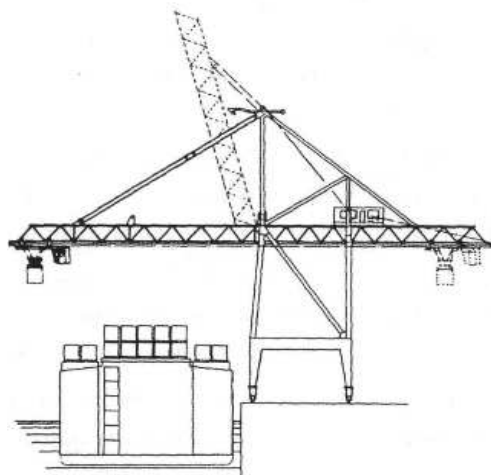
Εικόνα 2.1.5
Οικοδομικός γερανός



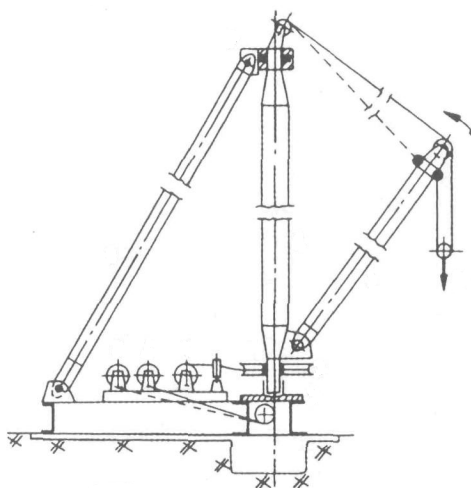
Εικόνα 2.1.6
Κινητός γερανός



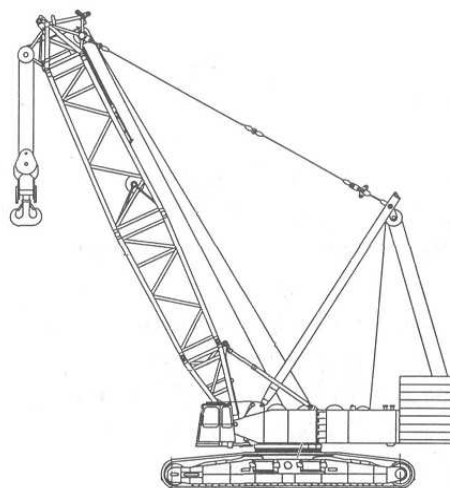
*Εικόνα 2.1.7
Πλωτός γερανός*



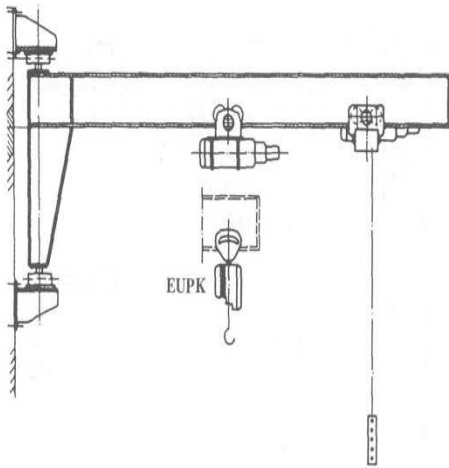
*Εικόνα 2.1.8
Γερανός πλοίου*



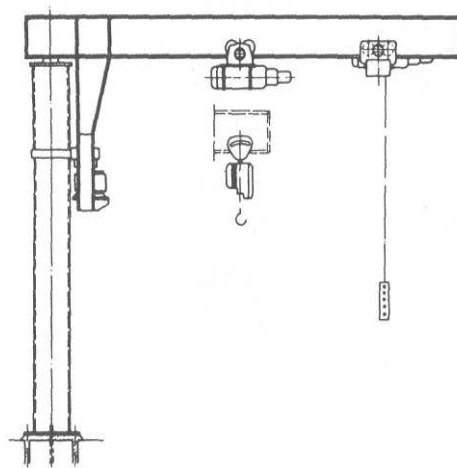
*Εικόνα 2.1.9
Πτυσσόμενος γερανός Derrick*



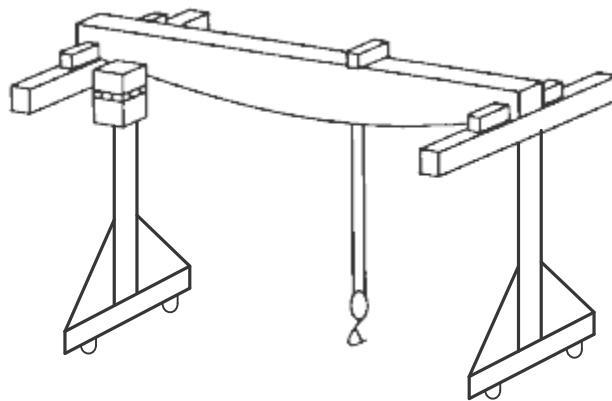
*Εικόνα 2.1.10
Γερανός προβόλου*



*Εικόνα 2.1.11
Γερανός τοίχου*



*Εικόνα 2.1.12
Γερανός στήλης*



*Εικόνα 2.1.13
Γερανός κυλιόμενος*

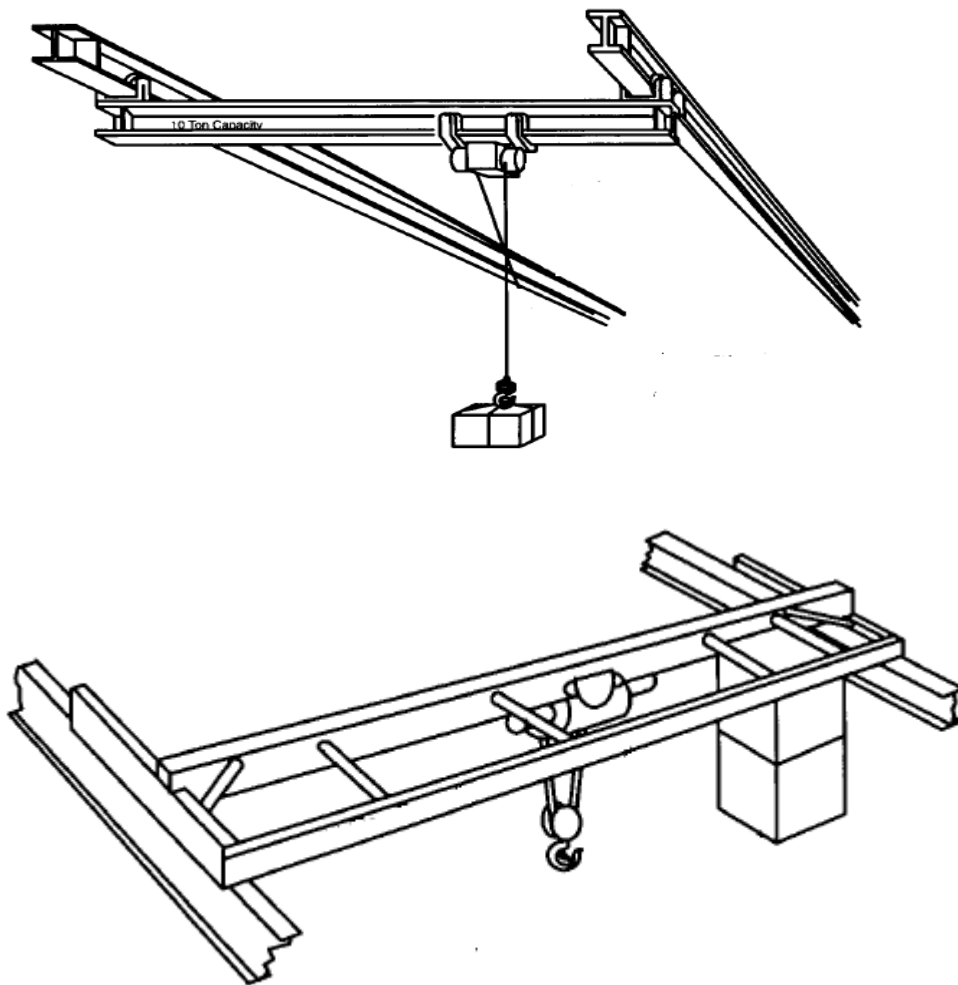
Η σύνδεση του γερανού με το φορτίο που θα ανυψωθεί γίνεται μέσω του άκρου του συστήματος ανάρτησης του φορτίου με άγκιστρο ή μηχανική αρπάγη ή μέσω ηλεκτρομαγνητικής αρπάγης ή κάποιο άλλο ειδικό εξάρτημα (π.χ κάδος , ειδική λαβή , τσιμπίδα κ.α).

Οι γερανοί μπορούν να έχουν χειροκίνητο ή ηλεκτροκίνητο ή κινούμενο με υδραυλικό τρόπο μηχανισμό .

- Γερανογέφυρες

Οι γερανογέφυρες είναι οι γερανοί των οποίων το σύστημα ανάρτησης του φορτίου κρέμεται από βαρούλκο , κεραία ή βαρουλκοφορείο που μπορεί να κινηθεί κατά μήκος μιας κατάλληλης μεταλλικής γέφυρας υποστηριζόμενη συνήθως σε δύο σιδηροδοκούς .

Διακρίνονται στις απλές γερανογέφυρες , όπου οι σιδηροδοκοί φέρονται αμέσως από συστήματα τροχών κινούμενων επί των σιδηροτροχιών και στις γερανογέφυρες τύπου πυλώνος ή τύπου ημιπυλώνος ανάλογα με το εάν τα δύο άκρα των δοκών συνδέονται με χαλύβδινες κολώνες με τα συστήματα των τροχιών .



*Εικόνα 2.1.14
Γερανογέφυρες*

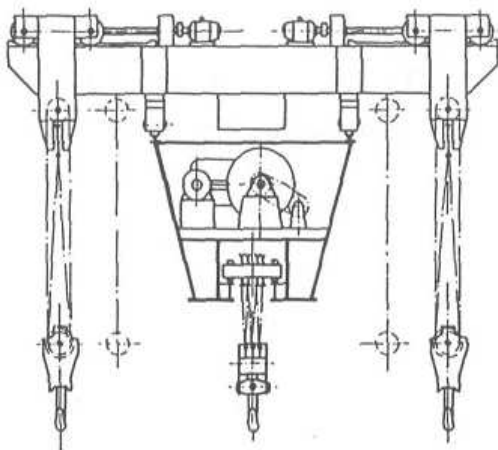
2. 2 Τμήματα γερανών

Τα συνιστώσα τμήματα των γερανών χωρίζονται σε περαιτέρω κατηγορίες οι οποίες είναι :

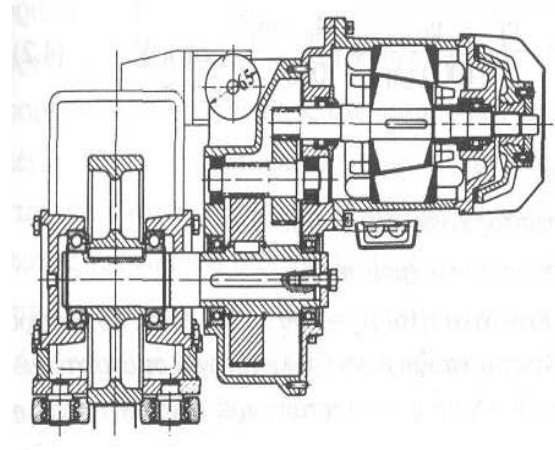
1. Μηχανισμοί κινήσεων
2. Βαρούλκο-βαρουλκοφορείο
3. Πυλώνας
4. Φορείο
5. Γέφυρα
6. Δακτύλιος στροφής
7. Πύργος
8. Κεραία
9. Σύστημα συγκράτησης του φορτίου
10. Πολύσπαστο

1) Έχουμε τέσσερις μηχανισμούς κινήσεων:

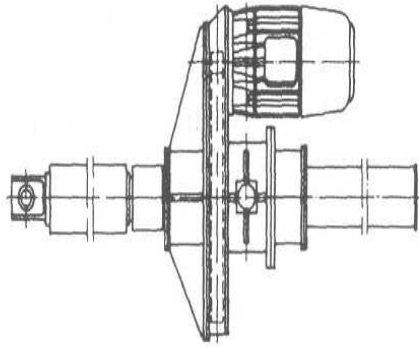
- Τον μηχανισμό ανύψωσης του φορτίου για την άνοδο και την κάθοδο του φορτίου αντίστοιχα ,Εικόνα 2.2.1 .
- Τον μηχανισμό κίνησης ολόκληρου του γερανού Εικόνα 2.2.2 .
- Τον μηχανισμό προσέγγισης παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2.3 που χρησιμοποιείται για την αλλαγή κλίσης της κεραίας ή του βραχίονα της κεραίας .
- Τον μηχανισμό περιστροφής , που περιστρέφει στο οριζόντιο επίπεδο το στρεφόμενο μέρος , Εικόνα 2.2.4.



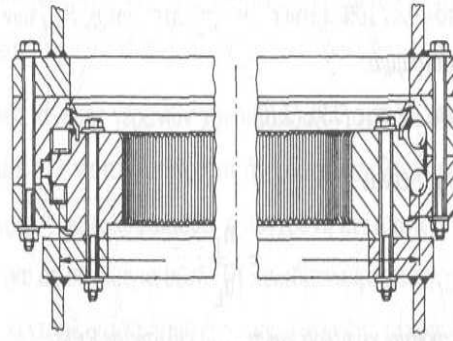
Εικόνα 2.2.1



Εικόνα 2.2.2



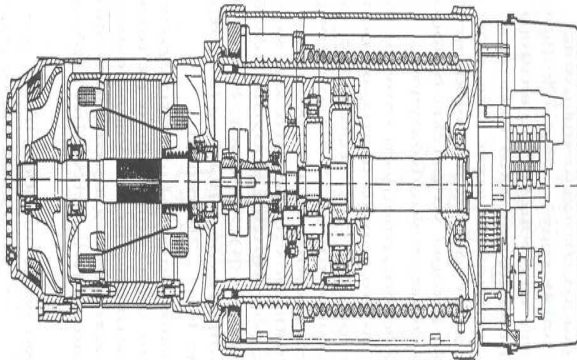
Εικόνα 2.2.3



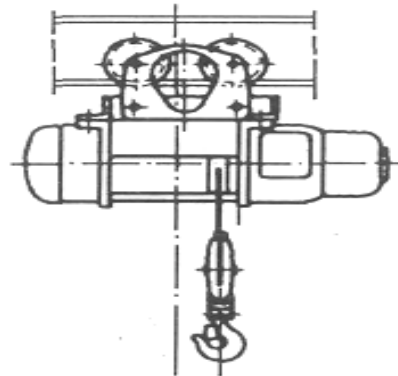
Εικόνα 2.2.4

2) Βαρούλκο-βαρουλκοφορείο

Το βαρούλκο (Εικόνα 2.2.5) λοιπόν είναι το μηχάνημα που μεταφέρει τη δύναμη έλξης από ένα ηλεκτροκίνητο τύμπανο σε ένα εύκαμπτο φορέα (συρματόσχοινο, αλυσίδα).Το βαρουλκοφορείο (Εικόνα 2.2.6) είναι το μηχάνημα που μεταφέρει το βαρούλκο εγκάρσια προς την κίνηση του γερανού

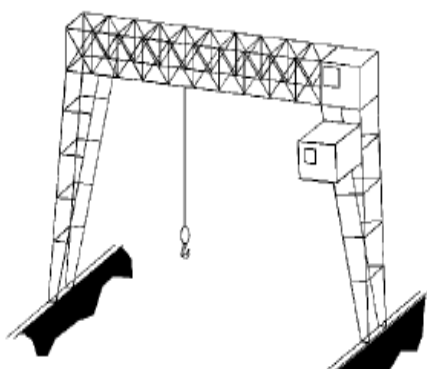


Εικόνα 2.2.5

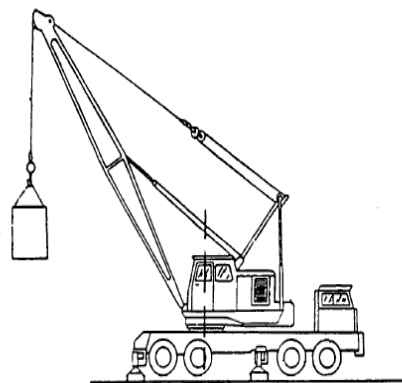


Εικόνα 2.2.6

- 3) Πυλώνας (Εικόνα 2.2.7) λέγεται η μεταλλική κατασκευή που έχει σκοπό την υπερύψωση του γερανού ή της γερανογέφυρας για τους λειτουργικούς του σκοπούς .
- 4) Φορείο (Εικόνα 2.2.8) ονομάζεται η κατασκευή υποστήριξης του γερανού , η οποία φέρει τροχούς ή ράουλα με σκοπό την ίση κατανομή φορτίου στους τροχούς ή στα ράουλα αντίστοιχα .

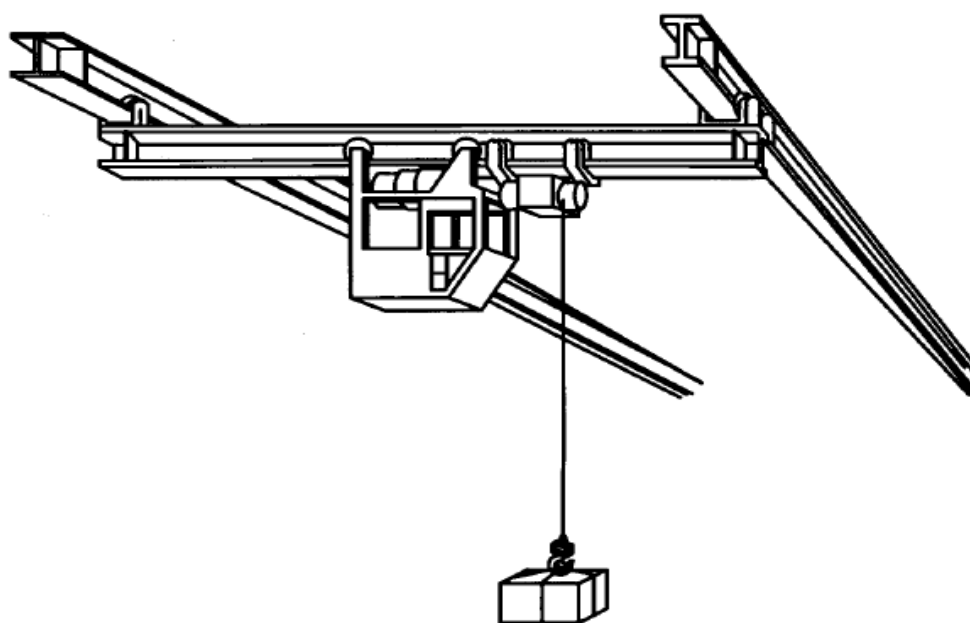


Εικόνα 2.2.7



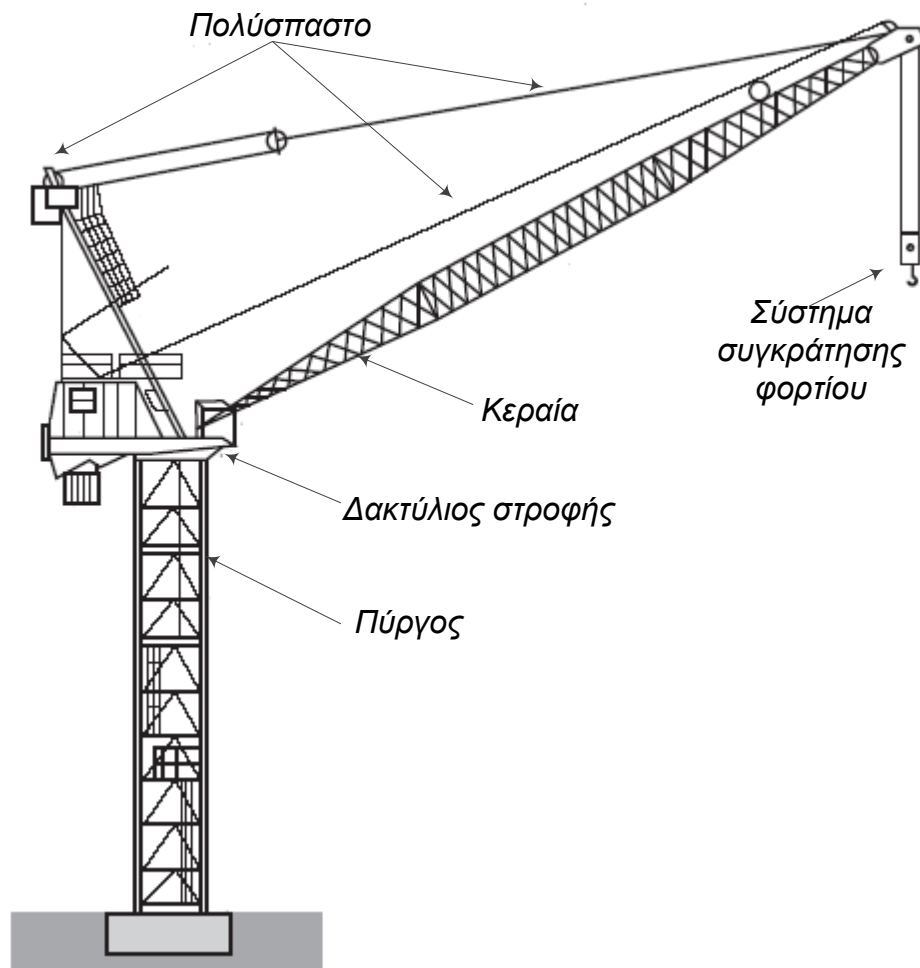
Εικόνα 2.2.8

- 5) Γέφυρα (Εικόνα 2.2.9) είναι η κύρια υποστήριξη γερανού τύπου γερανογέφυρας, επί της οποίας κινείται το βαρουλκοφορείο



Εικόνα 2.2.9

- 6) Δακτύλιος στροφής είναι το στοιχείο που συμβάλλει στην μεταφορά του φορτίου από τα κινούμενα στα ακίνητα μέρη του γερανού (Εικόνα 2.2.10).
- 7) Πύργος είναι η κατακόρυφη κατασκευή που φέρει την κεραία ή και την περιστρεφόμενη πλατφόρμα και προσδίδει το απαραίτητο ύψος λειτουργίας σχετικά με την θέση της βάσης της κεραίας (Εικόνα 2.2.10).
- 8) Κεραία , είναι το στοιχείο που προσδίδει την απαραίτητη ακτίνα λειτουργίας ή το ύψος στο σύστημα ανάρτησης του φορτίου (Εικόνα 2.2.10).
- 9) Σύστημα συγκράτησης του φορτίου , είναι η διάταξη (αρπάγη, άγκιστρο , ηλεκτρομαγνήτης) για την σύλληψη , συγκράτηση και μεταφορά του φορτίου (Εικόνα 2.2.10).
- 10) Πολύσπαστο είναι το σύστημα που αποτελείται από τροχαλίες και συρματόσχοινα κατάλληλο για τις μετατροπές δυνάμεων και ταχυτήτων (Εικόνα 2.2.10).



Εικόνα 2.2.10

2.3 Φορτία γερανών

Στην παράγραφο αυτή αναφέρονται τα φορτία που εμφανίζονται κατά την διάρκεια λειτουργίας των γερανών και είναι τα εξής :

- Δυνάμεις στο σύστημα ανύψωσης
- Δυνάμεις αδράνειας και βαρύτητας
- Δυνάμεις από αιφνίδια ελάττωση του φορτίου
- Φορτία κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια
- Δυνάμεις από επιταχύνσεις
- Φορτία λόγω μετατοπίσεων
- Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας
- Φορτία χιονιού και πάγου
- Φορτία λόγω κλιματικών επιδράσεων
- Φορτία λόγω στρεβλώσεων
- Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας
- Δυνάμεις πρόσκρουσης στον τερματικό προσκρουστήρα
- Φορτία λόγω κλίσης
- Φορτία λόγω διακοπής της λειτουργίας
- Φορτία αστοχίας
- Φορτία διέγερσης της συσκευής ανύψωσης
- Φορτία συναρμολόγησης , διάλυσης και μεταφοράς
- Φορτία σε μέσα πρόσβασης

Η κατάταξη των φορτίων σε ειδικές κατηγορίες γίνεται στα κεφάλαια 3 και 5 αντίστοιχα σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα .

Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός των γερανών με βάση τα πρότυπα ISO 8686

3.1 Γενικά

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο εισάγει τις γενικές μεθόδους για τον υπολογισμό φορτίων , και προδιαγραφές που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των συνδυασμών φορτίων για την απόδειξη της φέρουσας ικανότητας των γερανών και των κατασκευαστικών μελών της .Αυτό γίνεται για τέσσερις κατηγορίες γερανών πιο συγκεκριμένα :

1. Για κινητούς γερανούς
2. Για πυργωτούς γερανούς
3. Για γερανούς κεραίας
4. Για γερανούς εναέριου τύπου και γερανογέφυρες

Βασίζεται στην κινηματική ανάλυση στερεού σώματος και στην ελαστοστατική ανάλυση και μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε πιο προχωρημένες μεθόδους (υπολογισμούς και δοκιμές) για την εκτίμηση των επιδράσεων των φορτίων και των συνδυασμό φορτίων, καθώς και τις τιμές των επιμέρους συντελεστών των φορτίων, με τα οποία αποδεικνύεται μια ισοδύναμη προσέγγιση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.

Πιο συγκεκριμένα παρέχει δύο είδη εφαρμογών :

- a. Παρέχει μια γενική μέθοδο , στο εύρος και το περιεχόμενο των τιμών των παραμέτρων για την χρήση συγκεκριμένων κανόνων που αναπτύσσονται σε μεμονωμένες εφαρμογές ανύψωσης .
- b. Παρέχει ένα πλαίσιο για την συμφωνία των φορτίων και των συνδυασμό φορτίων ανάμεσα στον σχεδιαστή και στον κατασκευαστή για εκείνες τις εφαρμογές ανύψωσης όπου δεν υπάρχουν καθορισμένοι κανόνες .

Όταν εφαρμόζονται αυτοί οι κανόνες σε διαφορετικές εφαρμογές ανύψωσης , με την ίδια λειτουργία και τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες , θα πρέπει να αναζητείται η ισοδύναμη αντίσταση στην αστοχία των υλικών .

3.2 Κατηγορίες φορτίων

Αυτή η παράγραφος παρουσιάζει τα φορτία και το εύρος των τιμών για τους δυναμικούς συντελεστές φορτίων που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της αντοχής όταν οι επιδράσεις των φορτίων είναι καθορισμένες .

Ξεχωριστές τιμές για ειδικές μορφές ανύψωσης δίνονται στα επιμέρους κεφάλαια των τεσσάρων κατηγοριών γερανών στο **Παράρτημα 2** .

Τα φορτία που επιδρούν κατά την λειτουργία της ανύψωσης , χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες . Και οι κατηγορίες αυτές είναι **κανονικά φορτία** (regular),**τυχαία** (occasional) , **κατ'εξαιρεση φορτία**(exceptional) και **ειδικά φορτία** (miscellaneous). Μεμονωμένα φορτία θεωρούνται εκείνα τα φορτία που σχετίζονται με την μορφή της ανύψωσης και την χρήση της .

- a) **Τα κανονικά φορτία** εμφανίζονται κατά την κανονική λειτουργία , και θα πρέπει να μελετώνται κατά τους υπολογισμούς έναντι της αστοχίας της κατασκευής , από διαρροή υλικού , ελαστική αστάθεια και , όταν αυτό είναι δυνατόν έναντι σε κόπωση.

Προέρχονται από την βαρύτητα και από τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις που παράγονται από το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και τα φρένα που ενεργούν πάνω στο βάρος της μάζας που ανυψώνεται και στο φορτίο ανύψωσης , καθώς και από διάφορες μετατοπίσεις .

- b) **Τυχαία φορτία** και οι επιδράσεις τους είναι εκείνα τα φορτία που εμφανίζονται σπάνια και συνήθως αμελούνται στους υπολογισμούς για την εκτίμηση της αντοχής . Συμπεριλαμβάνουν φορτία που προκαλούνται από άνεμο , χιόνι και πάγο στη κατάσταση λειτουργίας θερμοκρασίες και απο στρεβλώσεις .

- c) **Τα κατ'εξαιρεση φορτία** και οι επιδράσεις τους εμφανίζονται σπάνια και μπορούν επίσης να μην συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς της αντοχής . Συμπεριλαμβάνουν φορτία που προέρχονται από τις δοκιμές στην κατασκευή , φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας , δυνάμεις πρόσκρουσης στους τερματικούς προσκρουστήρες και κλίσης , όπως επίσης και από έκτακτη διακοπή της λειτουργίας , αστοχία του συστήματος μετάδοσης της κίνησης , και υπερβολικές τιμές στο φορτίο ανύψωσης .

- d) **Τα ειδικά φορτία** περιλαμβάνουν φορτία ανέγερσης και φορτία θραύσης και επίσης φορτία σε πλατφόρμες και σε μέσα πρόσβασης .

Η κατηγορία στη οποία κατατάσσεται ένα φορτίο δεν είναι μια σημαντική ένδειξη ή κρίσιμη για το συγκεκριμένο φορτίο. Για παράδειγμα φορτία ανέγερσης και θραύσης , παρόλο που ανήκουν στην τελευταία κατηγορία θα πρέπει να δίνεται σημαντική προσοχή όταν ένα σημαντικό μέρος των ατυχημάτων εμφανίζεται κατά την διάρκεια τέτοιων καταστάσεων λειτουργίας.

3.2.1 Κανονικά φορτία

Δυνάμεις που εμφανίζονται στο σύστημα ανύψωσης λόγω της ανύψωσης και της βαρύτητας

Η μάζα ανύψωσης συμπεριλαμβάνει εκείνα τα στοιχεία που είναι πάντοτε στην θέση τους κατά την λειτουργία, εκτός από το ωφέλιμο φορτίο. Για κάποιες εφαρμογές μπορεί να είναι απαραίτητο να προσθέσουμε μάζα για τον υπολογισμό συγκράτησης των υλικών που μεταφέρεται, όπως είναι το κάρβουνο, η σκόνη κ.α.

Οι δυνάμεις βαρύτητας που προκαλούνται από την μάζα της εφαρμογής θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται από έναν συντελεστή φ_1 όπου δίνεται από την σχέση $\varphi_1 = 1 \pm a$ με $0 \leq a \leq 0,1$.

Κατά αυτόν τον τρόπο λαμβάνονται υπόψη οι ταλαντώσεις που προκύπτουν από την διαδικασία της ανύψωσης, όταν ανυψώνεται το μεικτό βάρος από το έδαφος. Υπάρχουν πάντα δύο τιμές του συντελεστή έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει τις χαμηλές και υψηλές τιμές των ταλαντώσεων.

Ο συντελεστής φ_1 θα πρέπει να χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό της ανυψωτικής κατασκευής, σε μερικές περιπτώσεις εφαρμόζονται και οι δύο τιμές του συντελεστή για να βρούμε τις πιο κρίσιμες τιμές των φορτίων σε στοιχεία και τους συνδέσμους της κατασκευής.

Φορτία αδράνειας και βαρύτητας κατά την κατακόρυφη ανύψωση φορτίου

Η μάζα του μεικτού βάρους περιλαμβάνει τις μάζες του ωφέλιμου βάρους συνδέσμους ανύψωσης και ένα τμήμα της μάζας των συρματόσχοινων ανύψωσης.

Κατηγορίες ανύψωσης

Οι εφαρμογές ανύψωσης κατατάσσονται στις κατηγορίες HC₁ έως και HC₄ ανάλογα με τα δυναμικά τους χαρακτηριστικά. Οι κατηγορίες ανύψωσης δίνονται από τον Πίνακα 1 και η επιλογή τους πρέπει να γίνεται σύμφωνα πάντα με την εμπειρία. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των β_2 και του φ_2 δίνονται στον Πίνακα 1 και απεικονίζονται στην Εικόνα 3.2.1.

Η επιλογή της κατηγορίας ανύψωσης εξαρτάται την μορφή ανύψωσης και αντιμετωπίζεται σε συνεργασία με άλλα Διεθνή Πρότυπα. Ισοδύναμα οι τιμές του φ_2 μπορούν να καθοριστούν από πειραματική ανάλυση χωρίς να γίνει αναφορά στις κατηγορίες ανύψωσης.

Πίνακας 1-Τιμές για τους συντελεστές β_2 και φ_2

Κατηγορία ανύψωσης	β_2	φ_2	
		$\varphi_{2,\min}$	$\varphi_{2,\max}$
HC ₁	0,2	1,0	1,3
HC ₂	0,4	1,05	1,6
HC ₃	0,6	1,1	1,9
HC ₄	0,8	1,15	2,2

Στην περίπτωση ανύψωσης ενός φορτίου που γίνεται με χαλαρό συρματόσχοινο όταν εδράζεται στο έδαφος, οι δυναμικές επιδράσεις κατά την μεταφορά του φορτίου από το έδαφος στην συσκευή ανύψωσης θα πρέπει να γίνεται ως εξής πολλαπλασιάζοντας τις δυνάμεις βαρύτητας με τον συντελεστή φ_2 (βλ. Εικόνα 3.2.1).

Ο συντελεστής θα πρέπει να υπολογίζεται από τις εξής σχέσεις :

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} \quad \text{για} \quad v_h \leq 0,2 \text{ m/s}$$

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2(v_h - 0,2) \quad \text{για} \quad v_h > 0,2 \text{ m/s}$$

Όπου

v_h είναι η σταθερή ταχύτητα ανύψωσης, σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, η οποία σχετίζεται με την συσκευή συγκράτησης της μάζας, και προκύπτει από την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα χωρίς φορτίο.

β_2 συντελεστής που συνδέεται με την κατηγορία ανύψωσης (βλ. Πίνακα 1)

$\varphi_{2,\min}$ συντελεστής που δίνεται στον Πίνακα 1 σύμφωνα με την κατηγορία ανύψωσης.

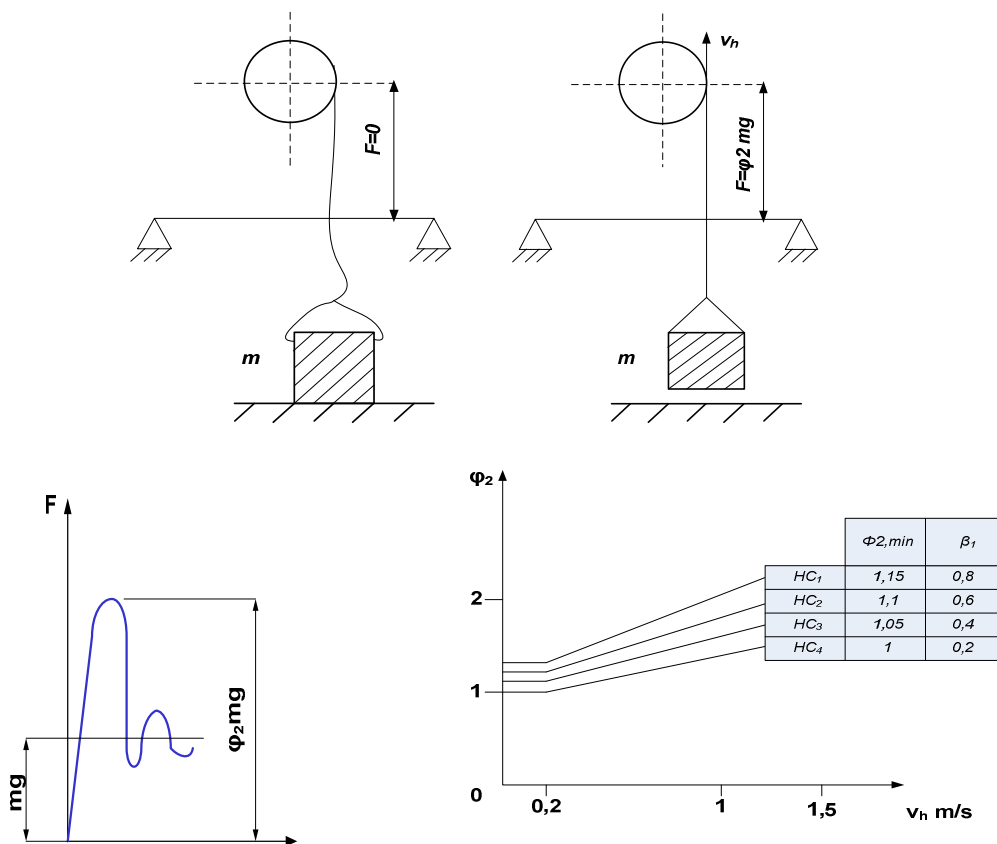
Όπου το σύστημα ελέγχου της ανύψωσης εξασφαλίζει μια σταθερή χαμηλή ταχύτητα (creep speed), αυτή η ταχύτητα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν η κατασκευή εργάζεται σε κανονική λειτουργία για την εκλογή του συντελεστή φ_2 .

Όπου αυτό δεν συμβαίνει τότε έχουμε δύο περιπτώσεις, με την εκλογή του συντελεστή φ_2 για συνθήκες κανονικής λειτουργίας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, και μια τιμή για τον συντελεστή $\varphi_{2,\max}$, για να καλύψουμε ειδικές περιπτώσεις λειτουργίας.

Κανονική λειτουργία

- a) Όπου εκλέγεται πολύ χαμηλή σταθερή ταχύτητα από το σύστημα μετάδοσης του γερανού , αυτή η ταχύτητα θα χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του συντελεστή φ_2 .
- b) Όπου μια σταδιακά μεταβλητή ταχύτητα ελέγχου παρέχεται ή ένας τέτοιος έλεγχος μπορεί να διεξάγεται από το σύστημα μετάδοσης του γερανού , η τιμή του συντελεστή $\varphi_{2,min}$ για την κατάλληλη κατηγορία ανύψωσης θα εκλέγεται μέσω της Εικόνας 3.2.1 .

Για εφαρμογές με τύπο ελέγχου a) όπως παρουσιάζεται παραπάνω η τιμή του συντελεστή $\varphi_{2,max}$ θα πρέπει να βασίζεται στην τιμή της ταχύτητας v_h η οποία προκύπτει από την μέγιστη ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα χωρίς φορτίο. Για εφαρμογές με τύπο ελέγχου b) η τιμή του $\varphi_{2,max}$ για την κλάση ανύψωσης θα πρέπει να βασίζεται στη τιμή της v_h παραγόμενη από μια τιμή η οποία δεν είναι μικρότερη από 0,5 φορές της μέγιστης ονομαστικής ταχύτητας του κινητήρα ή της μηχανής σε λειτουργία χωρίς φορτίο. Στο **Παράρτημα 2** δίνονται περισσότερες πληροφορίες για την διεξαγωγή των επιμέρους δυναμικών συντελεστών φ_i .



Εικόνα 3.2.1 – Συντελεστής φ_2

Φορτία κατά την περίπτωση αιφνίδιας ελάττωσης φορτίου

Για εφαρμογές ανύψωσης που απελευθερώνουν τμήμα του ωφέλιμου φορτίου τους ως μια κανονική λειτουργία εργασίας, όπως είναι οι αρπάγες ή μαγνήτες που χρησιμοποιούνται, η μεγαλύτερη δυναμική επίδραση στην εφαρμογή μπορεί να προσομοιωθεί πολλαπλασιάζοντας το ωφέλιμο φορτίο από έναν συντελεστή φ_3 (βλ. Εικόνα 3.2.2).

Η τιμή του συντελεστή φ_3 δίνεται από την παρακάτω σχέση :

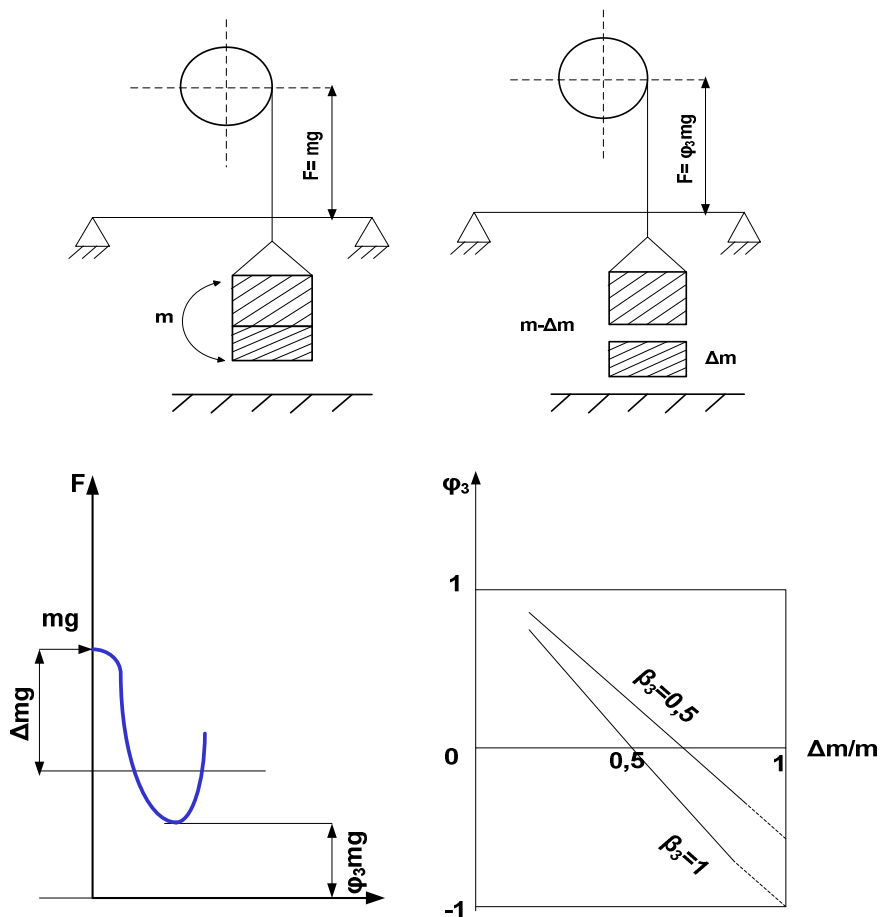
$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m}(1 + \beta_3)$$

Όπου

Δm είναι το μέρος της μάζας που αποσπάται από ωφέλιμο φορτίο

m είναι ολόκληρη η μάζα του φορτίου

β_3 είναι ίσος με 0,5 για εφαρμογές με αρπάγες ή άλλες συσκευές βραδείας λειτουργίας, ενώ 1 όταν σε εφαρμογές ανύψωσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνητική ή κάποια άλλη παρόμοια συσκευή ταχείας λειτουργίας.



Εικόνα 3.2.2 – Συντελεστής φ_3

Φορτία που προκαλούνται κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια

α) Περίπτωση κίνησης πάνω σε οδόστρωμα

Οι επιδράσεις σε κίνηση πάνω σε οδόστρωμα με ή χωρίς φορτίο, εξαρτώνται από την διαμόρφωση της εφαρμογής (κατανομή μάζας), την ελαστική συμπεριφορά της εφαρμογής, την ταχύτητα κίνησης και στις ιδιότητες και τις συνθήκες πάνω στην επιφάνεια κίνησης. Οι δυναμικές επιδράσεις θα πρέπει να εκτιμώνται σύμφωνα με την εμπειρία, τις δοκιμές, ή από τους υπολογισμούς με την χρήση ενός κατάλληλου μοντέλου για την εφαρμογή και την επιφάνεια κίνησης.

β) Περίπτωση κίνησης πάνω σε σιδηροτροχιές

Οι επιδράσεις από την κίνηση πάνω σε σιδηροτροχιές, με ή χωρίς φορτίο έχουν γεωμετρικά χαρακτηριστικά ελαστικής συμπεριφοράς που προκαλούν επιταχύνσεις στους τροχούς οι οποίες εξαρτώνται από την διαμόρφωση της εφαρμογής (κατανομή μάζας, ελαστικότητα), ταχύτητα κίνησης και την διάμετρο των τροχών. Θα πρέπει να εκτιμώνται σύμφωνα με την εμπειρία, τις δοκιμές, ή με υπολογισμούς με ένα κατάλληλο μοντέλο για την εφαρμογή.

Οι επιταχύνσεις που δημιουργούνται μπορεί να λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, πολλαπλασιάζοντας τις δυνάμεις βαρύτητας που εμφανίζονται από την μάζα ανύψωσης και το ωφέλιμο φορτίο από έναν συντελεστή φ_4 . Για μεμονωμένες εφαρμογές η συγκεκριμένη παράγραφος καθορίζει ανοχές για τις σιδηροτροχιές και εκτιμήσεις για τις συνθήκες για τις οποίες η τιμή του συντελεστή φ_4 να λαμβάνεται ίση με 1.

Στο **Παράρτημα 2** παρουσιάζεται παράδειγμα ενός μοντέλου για την διεξαγωγή της τιμής του συντελεστή φ_4 λαμβάνοντας υπόψη τις κατακόρυφες επιταχύνσεις που προκαλούνται στους τροχούς κατά την περίπτωση κίνησης πάνω σε σιδηροτροχιές.

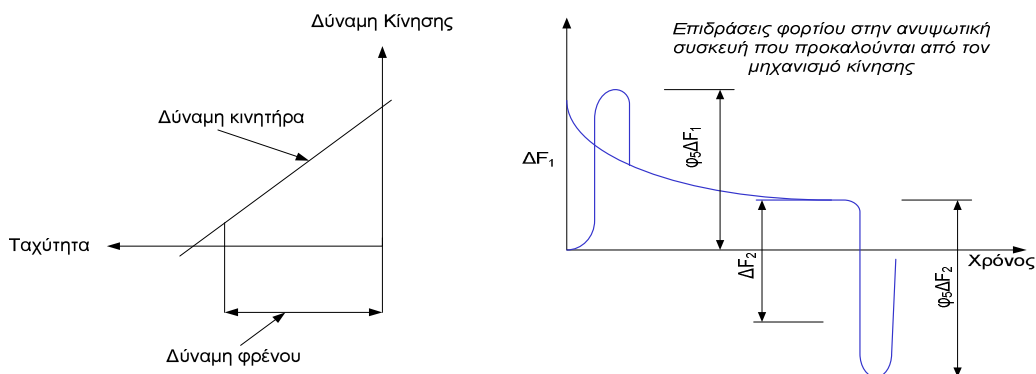
Φορτία που προκαλούνται επιταχύνσεις για όλους τους μηχανισμούς κίνησης στους γερανούς συμπεριλαμβάνοντας και τον μηχανισμό ανύψωσης

Φορτία που δημιουργούνται από επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις, οι οποίες προκαλούνται από τον μηχανισμό κίνησης μπορούν να υπολογιστούν με την χρήση μοντέλων που βασίζονται στην κινηματική ανάλυση στερεού σώματος, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους τις ιδιότητες των υλικών, την κατανομή της μάζας της ανυψωτικής λειτουργίας, και όπου αυτό είναι δυνατόν να δίνουν αποτελέσματα για τις εσωτερικές απώλειες λόγω τριβής. Για αυτό τον λόγο, το μεικτό φορτίο λαμβάνεται στην κορυφή του ιστού του γερανού ή κάτω από το βαρούλκο.

Μια ανάλυση στερεού σώματος δεν αντικατοπτρίζει άμεσα ελαστικές επιδράσεις. Για να γίνει αυτό, οι αλλαγές στην δύναμη κίνησης (ΔF), οι οποίες δημιουργείται από επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις, μπορούν να πολλαπλασιαστούν από έναν συντελεστή φ_5 και να προστεθούν αλγεβρικά στις δυνάμεις που υπήρχαν προτού την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση. Αυτή η ενισχυμένη δύναμη εφαρμόζεται μετά στις συνιστώσες που εμφανίζονται στο σύστημα κίνησης και όπου αυτό είναι δυνατόν στην συσκευή και στο μεικτό φορτίο επίσης. (Βλ. Εικόνα 3.2.3)

Το εύρος των τιμών του συντελεστή φ_5 είναι $1 \leq \varphi_5 \leq 2$. Η τιμή που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τον βαθμό αλλαγής της ταχύτητας στο σύστημα κίνησης ή την δύναμη κατά το φρενάρισμα και την κατανομή της μάζας καθώς και την ελαστική συμπεριφορά του συστήματος. Γενικά, οι χαμηλές τιμές είναι αντιπροσωπευτικές σε συστήματα όπου οι δυνάμεις μεταβάλλονται ομαλά και οι υψηλές τιμές σε εκείνα τα συστήματα όπου εμφανίζονται παρουσιάζουν απότομες αλλαγές.

Σε φυγοκεντρικές δυνάμεις, ο συντελεστής μπορεί να λαμβάνεται ίσος με την μονάδα. Όταν μια δύναμη μπορεί να μεταδίδεται σε ένα σύστημα, να περιορίζεται από τις τριβές ή από την φύση του μηχανισμού κίνησης, θα πρέπει να χρησιμοποιείται η περιορισμένη αυτή δύναμη και ένας κατάλληλος συντελεστής φ_5 .



Εικόνα 3.2.3 – Συντελεστής φ_5

Φορτία που προκαλούνται λόγω μετατοπίσεων

Θα πρέπει να γίνονται υπολογισμοί για τα φορτία που αυξάνονται λόγω των μετατοπίσεων συμπεριλαμβάνοντας και αυτά που προκύπτουν κατά τον σχεδιασμό όπως είναι από προεντάσεις και αυτά που είναι ικανά να προκαλέσουν στρεβλώσεις .

Άλλα φορτία που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι εκείνα τα οποία μπορούν να δημιουργηθούν από αύξηση των μετατοπίσεων , που πρέπει να είναι σε περιορισμένες οριακές τιμές όπως είναι στις μεταβολές των φορτίων ανάμεσα των σιδηροτροχιών και στις στηρίξεις .

3.2.2 Τυχαία φορτία

Φορτία ανέμου στην κατάσταση λειτουργίας

Τα φορτία ανέμου στην κατάσταση λειτουργίας θα πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 4302 .

Φορτία χιονιού και πάγου

Όπου είναι αναγκαίο τα φορτία χιονιού και πάγου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Θα πρέπει να μελετάται η επιφάνεια που εκτίθεται στα φορτία αυτά και αυξάνεται με την επίδραση του ανέμου.

Φορτία που προκαλούνται από μεταβολές της θερμοκρασίας

Φορτία που προκαλούνται από την συστολή ή την διαστολή εξαρτημάτων της κατασκευής λόγω της μεταβολής στην θερμοκρασία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό.

Φορτία που δημιουργούνται από στρεβλώσεις

Αυτή η παράγραφος ασχολείται με τα φορτία που δημιουργούνται από τις στρεβλώσεις ,οι οποίες εμφανίζονται στους οδηγούς (όπως είναι οι τροχίσκοι και οι φλάντζες των τροχών) σε συσκευές ανύψωσης που είναι εφοδιασμένες με τροχούς , για την κίνηση ή την μεταφορά με σταθερή κατάσταση λειτουργίας . Αυτά τα φορτία προκαλούνται από αντιδράσεις των μέσων οδήγησης τα οποία αναγκάζουν τους τροχούς να αποκλίνουν από την κανονική τους διεύθυνση . Όμοια φορτία προκαλούνται και από επιταχύνσεις οι οποίες δρουν σε αδρανειακές μάζες και μπορούν επίσης να προκαλέσουν στρεβλώσεις στην συσκευή ανύψωσης .

Τα φορτία από στρεβλώσεις όπως ορίζονται από τα παραπάνω συνήθως λαμβάνονται ως τυχαία φορτία , όμως η συχνότητα εμφάνισης τους ποικίλει ανάλογα με την διαμόρφωση και την συντήρηση της συσκευής . Σε μεμονωμένες περιπτώσεις η συχνότητα αυτή μπορεί να καθορίσει εάν έχουν ληφθεί τα φορτία ως τυχαία φορτία ή κανονικά φορτία . Για την εκτίμηση του μέτρου των φορτίων στρέβλωσης και την κατηγορία στην οποία ανήκουν δίνονται πληροφορίες στα ξεχωριστά μέρη του ISO 8686 , που αφορούν ξεχωριστές μορφές ανύψωσης .

Το **Παράρτημα 2** στο κεφάλαιο F δίδεται ένα παράδειγμα μιας μεθόδου ανάλυσης των φορτίων στρέβλωσης σε άκαμπτη ανυψωτική κατασκευή η οποία κινείται με σταθερή ταχύτητα .Για κατασκευές που δεν είναι άκαμπτες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλα μοντέλα τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη τους τις ιδιότητες του συστήματος .

3.2.3 Κατ'εξαίρεση φορτία

Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας

Όταν μελετάμε φορτία εκτός κατάσταση λειτουργίας , οι δυνάμεις βαρύτητας στο τμήμα της μάζας nm για το οποίο το σύστημα ανύψωσης παραμένει σε αναστολή , θα πρέπει να υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$nm = m - \Delta m$$

Όπου

$m - \Delta m$ είναι το τμήμα του μεικτού βάρους το οποίο παραμένει σε αναστολή
 m είναι η μάζα του μεικτού βάρους .

Φορτία ελέγχου

Οι τιμές των φορτίων σε συνθήκες ελέγχου θα λαμβάνονται σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 4310 .

Τα φορτία των δυναμικών και στατικών ελέγχων απαιτούνται να είναι στο ελάχιστο από αυτά που δίνονται από το διεθνές πρότυπο ISO 4310 , οι υπολογισμοί για την αντοχή των ελέγχων αυτών μπορεί να κριθεί απαραίτητη. Σε αυτήν την περίπτωση το δυναμικό φορτίο που προκύπτει από τις δοκιμές θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί από έναν συντελεστή ϕ_6 .

$$\phi_6 = 0,5(1 + \phi_2)$$

Το **Παράρτημα 2** - Κεφάλαιο C δίνει πληροφορίες για την εφαρμογή των συντελεστών ϕ .

Φορτία πρόσκρουσης στον τερματικό προσκρουστήρα

Οι δυνάμεις του γερανού αυξάνονται όταν συνδυάζονται με δυνάμεις πρόσκρουσης, θα πρέπει να υπολογίζονται από την κινητική ενέργεια των σχετικών στοιχείων της συσκευής που κινείται, περίπου στο 0,7 έως και 1 φορές της ονομαστικής ταχύτητας. Οι πιο χαμηλές τιμές μπορεί να χρησιμοποιηθούν όταν απαιτούνται ειδικές περιπτώσεις όπως είναι, η ύπαρξη ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου για την επιβράδυνση της κίνησης ή όπου μπορούν να εμφανιστούν οριακές συνέπειες κατά την εμφάνιση μιας σύγκρουσης.

Οι υπολογισμοί μπορούν να βασίζονται στη ανάλυση ενός μοντέλου στερεού σώματος. Η πραγματική συμπεριφορά του γερανού καθώς και του συστήματος πρόσκρουσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Όπου η συσκευή ανύψωσης ή ένα στοιχείο της περιορίζονται κατά την περιστροφή, για παράδειγμα από τους οδηγούς των σιδηροτροχιών, τις παραμορφώσεις από τις συγκρούσεις στους τερματικούς προσκρουστήρες οι οποίες μπορεί να υποτεθούν ως ισοδύναμες, σε αυτές τις περιπτώσεις τα χαρακτηριστικά των δυνάμεων πρόσκρουσης είναι όμοια, και οι δυνάμεις θα είναι ίσες μεταξύ τους. Η περίπτωση αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 3.2.4 a) όπου ισχύει

$$F_{x2} = F_{x4} = \frac{\hat{F}_x}{2}$$

Όταν δεν υπάρχουν περιορισμοί στην συσκευή ή έναν στοιχείο της ως προς την περιστροφή, οι δυνάμεις πρόσκρουσης θα πρέπει να υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή των σχετικών μαζών και των χαρακτηριστικών πρόσκρουσης. Η περίπτωση αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 3.2.4 b).

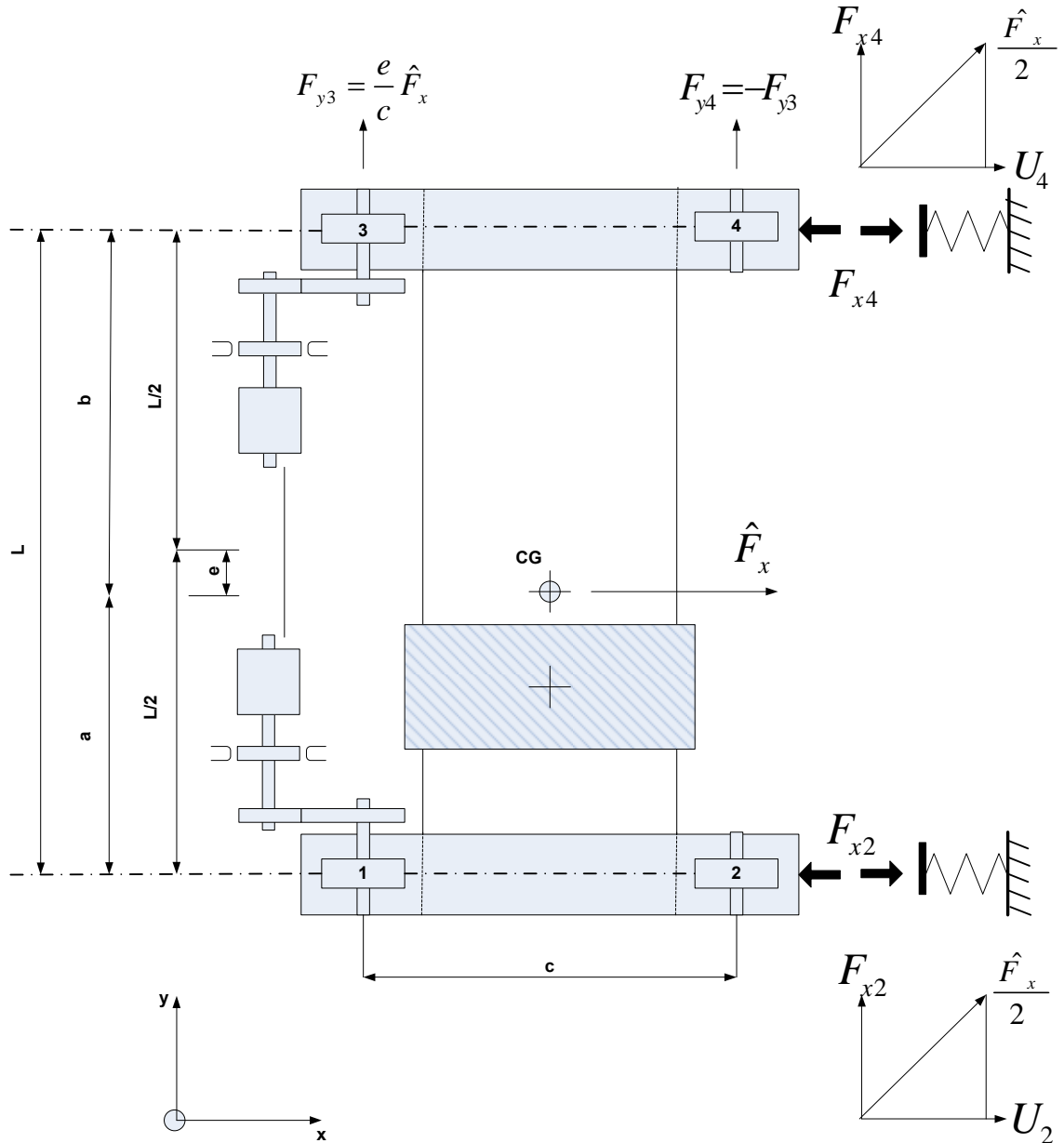
Οι δυνάμεις που προκύπτουν καθώς και οριζόντιες δυνάμεις αδράνειας σε ισορροπία με τις δυνάμεις πρόσκρουσης θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται από έναν συντελεστή φ , για τον υπολογισμό των ελαστικών επιδράσεων οι οποίες δεν μπορούν να εκτιμηθούν με την χρήση ενός μοντέλου στερεού σώματος. Ο συντελεστής φ θα είναι ίσος με 1,25 στην περίπτωση δυνάμεων πρόσκρουσης με γραμμική συμπεριφορά (π.χ ελατήρια) και ίσος με 1,6 στην περίπτωση δυνάμεων με ορθογώνια χαρακτηριστικά. Για περιπτώσεις με άλλα χαρακτηριστικά, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται άλλες τιμές από τους υπολογισμούς ή τις δοκιμές (Βλ Σημείωση 2 και Εικόνα 3.2.5)

Σημείωση 1: Κατά τον υπολογισμό των δυνάμεων πρόσκρουσης, οι επιδράσεις από το φορτίο που βρίσκεται σε κατάσταση αναστολής δεν είναι περιορισμένες στην οριζόντια διεύθυνση (δηλαδή ελεύθερες να ταλαντώνονται) δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Σημείωση 2: Οι ενδιάμεσες τιμές του συντελεστή φ_7 μπορούν να εκτιμηθούν ως εξής :

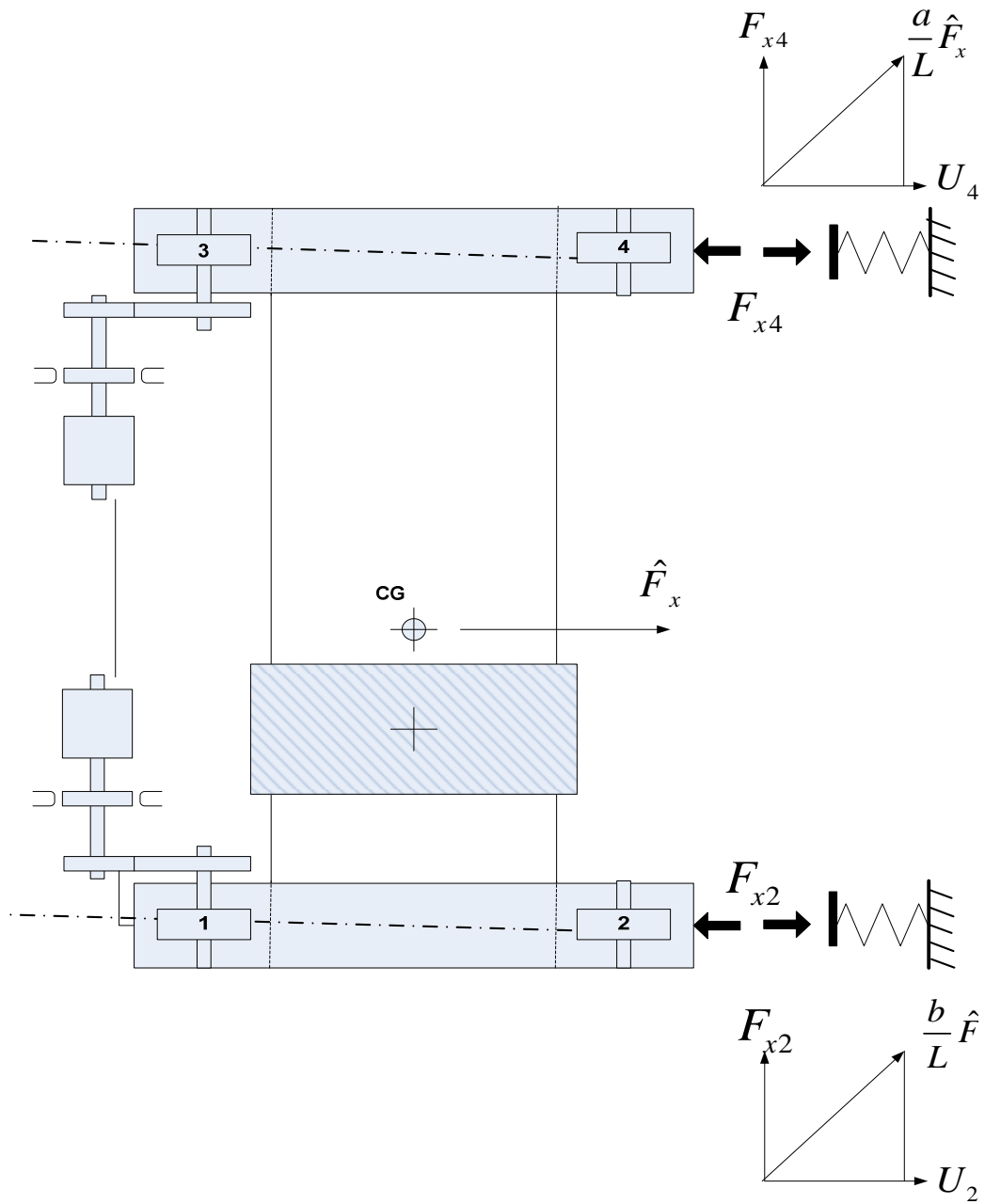
$$\varphi_7 = 1,25 \text{ για } 0 \leq \xi \leq 0,5$$

$$\varphi_7 = 1,25 + 0,7(\xi - 0,5) \text{ για } 0,5 \leq \xi \leq 1$$



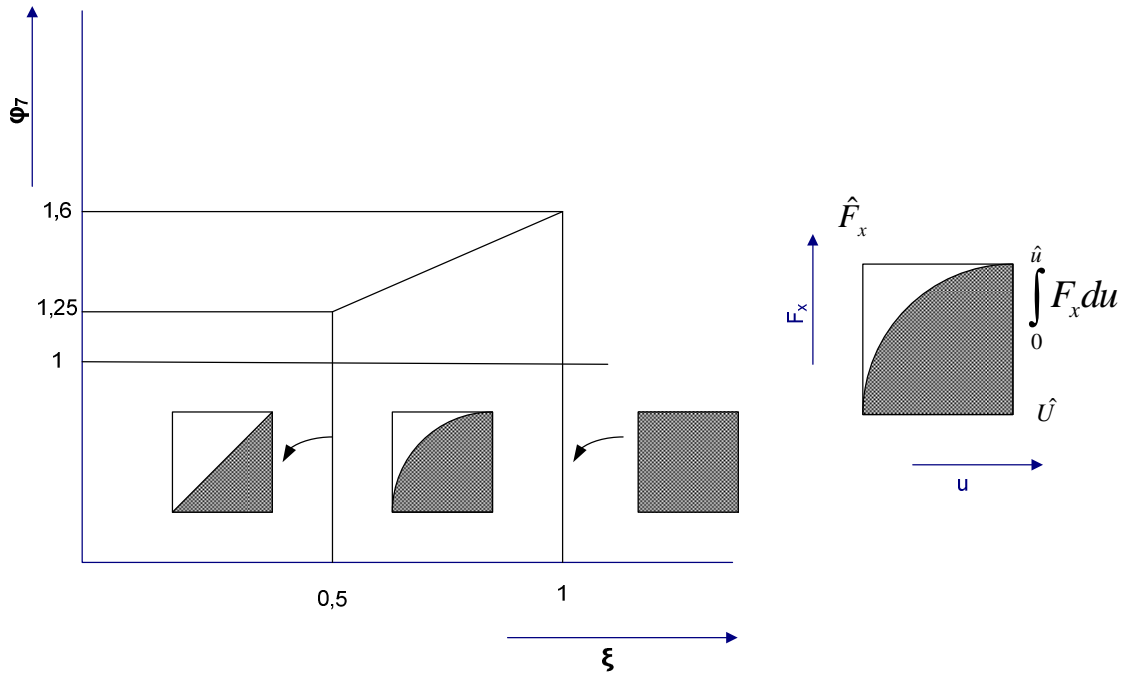
α) Οριζόντια κίνηση σε σιδηροτροχιές ($u_2 = u_4$)

Εικόνα 3.2.4 – Δυνάμεις πρόσκρουσης και παραμορφώσεις (με φορτίο σε 4 τροχούς)



b) Κίνηση χωρίς περιορισμό στις περιστροφές ($F_{y3} = F_{y4} = 0$)

Εικόνα 3.2.4 – Δυνάμεις πρόσκρουσης και παραμορφώσεις (με φορτίο σε 4 τροχούς)



$$\xi = \frac{1}{\hat{F}\hat{u}} \int_0^{\hat{u}} F_x du \text{ η σχετική ενέργεια πρόσκρουσης}$$

Για πρόσκρουση με γραμμικά χαρακτηριστικά : $\xi = 0,5$

Για πρόσκρουση με ορθογώνια χαρακτηριστικά : $\xi = 1$

Εικόνα 3.2.5 – Συντελεστής φ_7

Φορτία κλίσης

Εάν η συσκευή ανύψωσης με περιορισμό στην οριζόντια διεύθυνση του φορτίου γέρνει όταν το φορτίο ή το εξάρτημα της ανύψωσης συγκρούεται με ένα εμπόδιο, οι δυναμικές φορτίσεις που προκύπτουν θα πρέπει να καθοριστούν. Εάν μια συσκευή που γέρνει μπορεί να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση χωρίς έλεγχο, οι συνέπειες της σύγκρουσης στην κατασκευή στήριξης θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη.

Φόρτια από διακοπή της λειτουργίας λόγω κινδύνου

Τα φορτία που προκαλούνται από διακοπή της λειτουργίας λόγω κινδύνου θα πρέπει να εκτιμώνται, και να λαμβάνονται στις πιο ανεπιθύμητες καταστάσεις για τον μηχανισμό κίνησης (π.χ. δυσμενής συνδυασμός επιταχύνσεων και φορτίσεων) και κατά την διάρκεια της διακοπής. Η επιλογή του συντελεστή φ_5 θα είναι ανάμεσα στα όρια $1,5 \leq \varphi_5 \leq 2$.

Φορτία που προκαλούνται από θραύση του μηχανισμού κίνησης ή από τα μηχανικά στοιχεία του

Όπου παρέχεται ασφάλεια με φρένα έκτακτης ανάγκης αντί για φρένα ασφαλείας , αστοχία και ενεργοποίηση της πέδησης έκτακτης ανάγκης θα λαμβάνονται στις πιο δυσμενής συνθήκες φόρτισης .

Όπου υπάρχουν δυο συστήματα μηχανισμών για λόγους ασφαλείας , υποθέτουμε πως η αστοχία θα εμφανιστεί σε κάθε τμήμα των δύο συστημάτων. Και στις δύο περιπτώσεις , τα φορτία που προκύπτουν θα εκτιμώνται λαμβάνοντας υπόψη πιθανές συγκρούσεις κατά την μεταφορά των δυνάμεων .

Φορτία που προκαλούνται από διέγερση της θεμελίωσης της ανυψωτικής συσκευής

Παραδείγματα τέτοιων φαινομένων αποτελούν οι σεισμοί ή ταλαντώσεις που προκαλούνται από κύματα .Τα φορτία που προκαλούνται από τέτοιου είδους διέγερση θα λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για την ανυψωτική συσκευή

3.2.4 Ειδικά φορτία

Φορτία που προκαλούνται κατά την συναρμολόγηση , διάλυση και μεταφορά

Τα φορτία που ενεργούν σε κάθε στάδιο της συναρμολόγησης και της διάλυσης του γερανού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη , συμπεριλαμβάνοντας και εκείνα τα φορτία που εμφανίζονται για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 8,3 m/s.Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί να συμπεριλάβουμε και τα φορτία που εμφανίζονται κατά την μεταφορά .

Φορτία σε πλατφόρμες και σε άλλα μέσα που παρέχουν πρόσβαση

Τα φορτία που εμφανίζονται σε αυτήν κατηγορία θεωρούνται τοπικά , που δρουν στις εγκαταστάσεις και στα στοιχεία στήριξης τους.

Θα πρέπει να γίνετε έλεγχος στα παρακάτω φορτία :

- 3000N για τα υλικά που τοποθετούνται σε πλατφόρμες
- 1500N για τα μέσα πρόσβασης
- και όχι λιγότερο από 300 N για οριζόντια κίνηση σε σιδηροτροχιές , ανάλογα με την τοποθεσία και την χρήση .

3.3 Συνδυασμός φορτίων

Τα φορτία που εμφανίζονται σε έναν γερανό θα συνδυαστούν για καθορίσουν τις τάσεις κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας σύμφωνα με τους υπολογισμούς στην ελαστική και στατική συμπεριφορά του .

- a) Η κατασκευή θα λαμβάνεται στην πιο δυσμενή της κατάσταση και διαμόρφωση , ενώ τα φορτία θεωρούμε πως ενεργούν κατά μέτρο , θέση και διεύθυνση προκαλώντας τις πιο δυσμενής τάσεις σε κρίσιμα σημεία της κατασκευής που επιλέγονται για την εκτίμηση της μηχανολογικής μελέτης και
- b) Τα φορτία μπορούν να συνδυαστούν με τις τιμές που ορίζονται σε αυτή την παράγραφο , ή όταν αυτό είναι δυνατόν να συνδυαστούν με κάποια φορτία τα οποία θα μπορούν να προσεγγίζουν σε καλό βαθμό τις συνθήκες φόρτισης που ισχύουν στην πραγματικότητα.

Οι συνδυασμοί φορτίων για ξεχωριστά είδη ανύψωσης θα συνδυάζονται με τις προδιαγραφές που ορίζονται και παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2 .Να σημειώσουμε εδώ πως για κάθε από τις 4 κατηγορίες γερανών ο παρακάτω πίνακας είναι σχεδιασμένος και για τις δύο μεθόδους υπολογισμού φορτίων και για την Μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASD) καθώς για την Μέθοδο της οριακής τάσης (ULS) . Η διαδικασία υπολογισμού και για της δύο μεθόδους αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο .

Πίνακας 2 - Φορτία και συνδυασμός φορτίων

1	2		3					4					5								6						
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C								γραμμή						
			γ_p	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_p	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	γ_p	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6		C_7	C_8				
Κανονικά φορτία	Βαρύτητας, επιπαχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	γ_{pA1}	φ_1	φ_1	1	-	γ_{pB1}	φ_1	φ_1	1	-	-	γ_{pC1}	φ_1	1	φ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2) Μάζα του μεικτού βάρους	γ_{pA2}	φ_2	φ_3	-	-	γ_{pB2}	φ_2	φ_3	-	-	-	γ_{pC2}	φ_2	n	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε ανομοιόμορφη επιφάνεια	γ_{pA3}	-	-	-	φ_4	γ_{pB3}	-	-	-	φ_4	φ_4	γ_{pC3}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Επιπαχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	α) Με ανυψωτικό μηχανισμό	γ_{pA4}	φ_5	φ_5	-	-	γ_{pB4}	φ_5	φ_5	-	-	γ_{pC4}	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			β) Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό		-	-	φ_5	φ_5		-	-	φ_5	φ_5		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Μετατοπίσεις		γ_{pA5}	1	1	1	1	γ_{pB5}	1	1	1	1	1	γ_{pC5}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας						γ_{pB6}	1	1	1	1	1	γ_{pC6}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου						γ_{pB7}	1	1	1	1	1	γ_{pC7}	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας						γ_{pB8}	1	1	1	1	1	γ_{pC8}	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Στρεβλώσεις						γ_{pB9}	-	-	-	-	1	γ_{pC9}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Κατ'εξάφραση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος												γ_{pC10}	φ_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας													γ_{pC11}	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3) Φορτία ελέγχου													γ_{pC12}	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης													γ_{pC13}	-	-	-	φ_7	-	-	-	-	-	-	-	-	
	5) Δυνάμεις κλίσης													γ_{pC14}	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου													γ_{pC15}	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης													γ_{pC16}	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής													γ_{pC17}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
	Συντελεστής αντοχής			γ_{fA}					γ_{fB}					γ_{fC}								19					

3.3.1 Συνδυασμοί φορτίων

A₁ και B₁ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας , φορτία ανύψωσης και τοποθέτησης , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλων κλιματικών επιδράσεων (A₁) και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₁) .

Γενικά ανύψωση , μεταφορά και κίνηση γερανού προς την κατεύθυνση του ανέμου και περιστροφή είναι πιθανό να εμφανιστούν ταυτόχρονα. Ως αποτέλεσμα τα φορτία που προκύπτουν από αυτές τις κινήσεις θα συνδυάζονται έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας του γερανού .

A₂ και B₂ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, με αιφνίδια απελευθέρωση τμήματος του φορτίου ανύψωσης , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (A₂) , και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₂) .

Οι δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

A₃ και B₃ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, επιταχύνοντας το φορτίο που βρίσκεται σε αναστολή , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (A₃) , και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₃) .

Διάφορες δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

A₄ και B₄ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, κίνηση πάνω σε ανομοιόμορφη επιφάνεια ή τροχιά , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (A₄) , και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₄) .

Οι δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

B₅ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, κίνηση με σταθερή ταχύτητα πάνω σε ανομοιόμορφη επιφάνεια με κλίση, με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις .

C₁ : Ανυψωτικές εφαρμογές σε κατάσταση λειτουργίας για την ανύψωση φορτίου που εδράζεται στο έδαφος με την εξαίρεση της εφαρμογής του συντελεστή φ_2 .

C₂ : Ανυψωτικές εφαρμογές εκτός κατάστασης λειτουργίας συμπεριλαμβάνοντας , φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις.

C₃ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από συνθήκες ελέγχου .

Οι δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

C₄ έως και **C₈** : Ανυψωτικές εφαρμογές με μεικτό φορτίο σε συνδυασμό με φορτία όπως είναι , οι δυνάμεις πρόσκρουσης (C₄) , δυνάμεις κλίσης (C₅), έκτακτης διακοπής της λειτουργίας (C₆), αστοχίας του μηχανισμού κίνησης (C₇), και φορτία λόγω διέγερσης της θεμελίωσης της κατασκευής (C₈).

3.3.2 Ειδικές εφαρμογές φορτίων

Γενικά ο συνδυασμός **A** περιλαμβάνει τα κανονικά φορτία , ο συνδυασμός **B** περιλαμβάνει κανονικά φορτία τα οποία συνδυάζονται με τυχαία φορτία , και τέλος ο συνδυασμός **C** περιλαμβάνει κανονικά φορτία που συνδυάζονται με κατ'έξαιρεση φορτία και ειδικά φορτία. Εκτός όμως από τα παραπάνω είναι πιθανόν να λαμβάνονται υπόψη περισσότερα φορτία όπως γίνεται στις εξής περιπτώσεις :

- Κατά το στάδιο συναρμολόγησης , ανέγερσης και αποσυναρμολόγησης του γερανού
- Κατά τις την εμφάνιση μετατοπίσεων λόγω ελαστικής συμπεριφοράς του γερανού ή φορέα του
- Κατά την απόδειξη της φέρουσας ικανότητας του γερανού για αντοχή σε κόπωση
- Και για ανυψωτικές εφαρμογές για μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας

Συναρμολόγηση -Ανέγερση-Αποσυναρμολόγηση

Κάθε στάδιο της συναρμολόγησης ανέγερσης και της αποσυναρμολόγησης του θα πρέπει να μελετάται , λαμβάνοντας υπόψη το κατάλληλο φορτίο και τον συνδυασμό φορτίων , που θα καθορίζονται για κάθε είδους γερανό. Ο υπολογισμός της αντοχής θα γίνεται σε κάθε περίπτωση για κάθε σημαντικό φορτίο σε κάθε στοιχείο ή φορέα της κατασκευής .Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να κριθεί απαραίτητο να συμπεριλάβουμε φορτία που εμφανίζονται κατά την διαδικασία της μεταφοράς.

Μετατοπίσεις λόγω ελαστικής συμπεριφοράς

Σε μερικές περιπτώσεις , οι μετατοπίσεις καθιστούν την εφαρμογή ακατάλληλη να εκτελέσει τις λειτουργίες της , και μπορούν να επιδράσουν στην ευστάθεια της κατασκευής , ή ακόμη να επεμβαίνουν στην σωστή λειτουργία του μηχανισμού της .

Σε αυτές περιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εμφάνιση των μετατοπίσεων στους υπολογισμούς της αντοχής και όπου είναι δυνατόν οι μετρούμενες μετατοπίσεις θα πρέπει να συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια

Αντοχή σε κόπωση

Όπου είναι απαραίτητο θα πρέπει να γίνεται έλεγχος στην κατασκευή για αντοχή σε κόπωση και θα διεξάγεται πάντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές . Γενικά , οι συνδυασμοί φορτίων A_1 , A_2 , A_3 και A_4 (Κανονικά φορτία) θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον έλεγχο .

Σε μερικές περιπτώσει μπορεί να κριθεί απαραίτητο να συμπεριλάβουμε τυχαία φορτία όπως είναι τα φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας , ειδικά φορτία όπως τα φορτία ελέγχου και φορτία που προκαλούν διέγερση στην θεμελίωση της κατασκευής(π.χ σεισμός) .

Εφαρμογές με μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας

Σε κάποιες περιπτώσεις όπου εμφανίζεται αστοχία λόγω ανθρώπινης παρέμβασης ή διάφορων οικονομικών επιπτώσεων , θα πρέπει να αυξηθεί η επάρκεια της κατασκευής με την χρήση του συντελεστή κινδύνου $\gamma_n > 1$, η τιμή του θα εκλέγεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης κατασκευής .

Με την χρήση της μεθόδου της επιτρεπόμενης τάσης , οι τάσεις θα διαιρούνται από τον συντελεστή γ_n . Ενώ με την μέθοδο της οριακής κατάστασης , τα φορτία θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται από τον συντελεστή ρίσκου γ_n .

3.4 Μέθοδοι υπολογισμού τάσεων

3.4.1 Γενικά

Ο αντικείμενος σκοπός των κατάλληλων υπολογισμών που διεξάγονται είναι να καθορίσει με μαθηματικό τρόπο πως η λειτουργία της ανύψωσης είναι επαρκής σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή .

Η βάση αυτής της απόδειξης έναντι αστοχίας είναι η σύγκριση ανάμεσα στις υπολογίσιμες τάσεις που προκαλούνται από τα φορτία και τις αντίστοιχες δυνάμεις της κατασκευής και των μηχανικών στοιχείων της που δημιουργούνται κατά την λειτουργία της ανύψωσης .

Εδώ η σύγκριση γίνεται μεταξύ των μετρήσιμων ροπών ανατροπής που προκαλούν τα φορτία και στην καθορισμένη αντίσταση ανατροπής που υπολογίζεται από την λειτουργία της ανύψωσης .

Συνεπώς μπορεί να υπάρξουν περιορισμοί στις δυνάμεις οι οποίοι είναι απαραίτητοι να παρέχουν την κατάλληλη ευστάθεια για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες μετατοπίσεις των τμημάτων της ανύψωσης ή μελών της , για παράδειγμα η στήριξη των συρματόσχοινων να γίνεται χωρίς φορτίο , με αποτέλεσμα η κατασκευή να ολισθαίνει .

Οι συνέπειες στις διαφορές μεταξύ της υπαρκτής γεωμετρίας από μια ιδανική γεωμετρία των μηχανικών και κατασκευαστικών στοιχείων (π.χ οι επιδράσεις των ανοχών κ.α) θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη .Συνεπώς θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται συγκεκριμένα στην επίλυση της αντοχής σε συνδυασμό με τα φορτία που εφαρμόζονται , όπου μπορούν να προκαλέσουν τάσεις οι οποίες θα υπερβαίνουν τις οριακές τιμές.

Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό των τάσεων κατά τον κατασκευαστικό σχεδιασμό των γερανών :

- 1. Η μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης (ASD).**
- 2. Η μέθοδος της οριακής κατάστασης(ULS) .**

3.4.2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης

Η μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης (ASD) , όπου οι τάσεις σχεδιασμού προκαλούνται από συνδυασμό φορτίων συγκρίνονται με την επιτρεπόμενη τάση στο στοιχείο το οποίο εξετάζεται με τις ανάλογες συνθήκες και τον τύπο του. Ο προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τάσης γίνεται βασισμένος με την ασφάλεια σύμφωνα με την ασφάλεια αυτή έναντι της αστοχίας , όπως είναι για παράδειγμα η τάση διαρροής υλικού στην κατασκευή , ελαστική αστάθεια και αντοχή σε κόπωση .

Τα μεμονωμένα φορτία f_i , υπολογίζονται και ενισχύονται από τους κατάλληλους συντελεστές φ . Συνδυάζονται στην συνέχεια σύμφωνα με τους κατάλληλους συνδυασμούς φορτίων που δίνονται στον Πίνακα 3. Το φορτίο που προκύπτει \bar{F}_j , χρησιμοποιείται για να καθοριστεί τις επιδράσεις του φορτίου \bar{S}_k , π.χ εσωτερικές δυνάμεις και ροπές σε στοιχεία της κατασκευής ή δυνάμεις στις στηρίξεις της.

Οι τάσεις που προκύπτουν $\bar{\sigma}_{1l}$, λόγω της επίδρασης των δυνάμεων σε κάποιο στοιχείο ή σύνδεσμο υπολογίζονται σε συνδυασμό με άλλες τάσεις $\bar{\sigma}_{2l}$, που δημιουργούνται από τις τοπικές επιδράσεις στην κατασκευή(π.χ τάσεις εγκοπών).

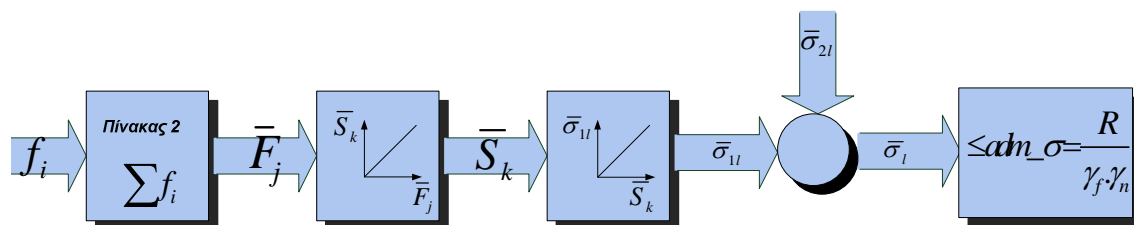
Το αποτέλεσμα της τάσης σχεδιασμού, θα πρέπει να συγκριθεί με την κατάλληλη επιτρεπόμενη τάση adm_σ .

Οι επιτρεπόμενες τάσεις διεξάγονται από την καθορισμένη αντοχή των υλικών, όπως είναι οι τάσεις που αντιπροσωπεύουν το όριο διαρροής ενός υλικού, οριακή ευστάθεια ή τάση κόπωσης, μέσω του συντελεστή γ_f , που καθορίζεται στον Πίνακα 3 σύμφωνα με τον βασικό συνδυασμό φορτίων (βλ. βασικοί συνδυασμοί) και όπου είναι δυνατόν από έναν συντελεστή ρίσκου γ_n .

Ειδική προσοχή απαιτείται για την διασφάλιση μιας αποδεκτής απόδειξης για την ικανότητα του φορτίου, όταν εφαρμόζεται η μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης και οι εσωτερικές δυνάμεις οι οποίες δεν είναι γραμμικά ανάλογες με τα φορτία που τις δημιουργούν ή για κρίσιμες τιμές των τάσεων που προκύπτουν από τον συνδυασμό ανεξάρτητων μεταβλητών φορτίων που δίνουν τάσεις αντίθετης φοράς.

Παρουσιάζεται παρακάτω το διάγραμμα που απεικονίζει τον σχεδιασμό με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης.

Εικόνα 3.4.2.1 –Λογικό διάγραμμα για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης



f_i είναι το i φορτίο για τον σύνδεσμο ή το στοιχείο

\bar{F}_j είναι το φορτίο για συνδυασμό φορτίων j

\bar{S}_k είναι οι επιδράσεις του φορτίου για το τμήμα k του στοιχείου ή των στηρίξεων, όπως είναι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές που δημιουργούνται από τον συνδυασμό φορτίων \bar{F}_j

$\bar{\sigma}_{1l}$ είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο στοιχείο l που δημιουργούνται από τις επιδράσεις \bar{S}_k

$\bar{\sigma}_{2l}$ είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο συγκεκριμένο στοιχείο l που αυξάνονται λόγω τοπικών τάσεων

$\bar{\sigma}_l$ είναι η τάση σχεδιασμού που προκύπτει στο συγκεκριμένο στοιχείο l

R είναι η καθορισμένη αντοχή ή χαρακτηριστική αντίσταση του υλικού, για συγκεκριμένο στοιχείο ή σύνδεσμο, όπως είναι η τάση διαρροής, οριακή τάση της ευστάθειας της κατασκευής, η τάση κόπωσης

adm_{σ} είναι οι επιτρεπόμενες τάσεις

γ_f είναι οι συντελεστές που εφαρμόζονται στην καθορισμένη αντοχή σύμφωνα με τον συνδυασμό φορτίων

γ_n είναι ο συντελεστής κινδύνου, όπου είναι δυνατόν να εφαρμοστεί

3.4.3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης

Στην μέθοδο της οριακής κατάστασης (ULS), εισάγονται μερικοί συντελεστές φορτίων για να εφαρμοστούν στα φορτία προτού αυτά συνδυαστούν και στην συνέχεια να συγκριθούν με την οριακή κατάσταση που επιβάλλεται στην κατασκευή. Κάθε επιμέρους συντελεστής για κάθε φορτίο καθορίζεται από τον βαθμό ακρίβειας της κατασκευής μέσω του οποίου καθορίζεται και στην συνέχεια και το συνολικό φορτίο. Οι τιμές των οριακών καταστάσεων περιλαμβάνουν χαρακτηριστικές τάσεις των μελών μειωμένες έτσι ώστε να αντικατοπτρίζουν τις στατιστικές αποκλίσεις στην αντοχή τους και στις γεωμετρικές παραμέτρους.

Ξεχωριστά καθορισμένα ή χαρακτηριστικά φορτία, f_i , που έχουν υπολογιστεί και ενισχύονται με του συντελεστές φ , και πολλαπλασιάζονται με τον κατάλληλο μερικό συντελεστή γ_p . Συνδυάζονται στην συνέχεια με τους

κατάλληλους συνδυασμούς φορτίων για να δώσουν το συνδυαστικό φορτίο \bar{F}_j . Οι συντελεστές φ και γ_p για ξεχωριστά φορτία δίνονται από τον Πίνακα 3.

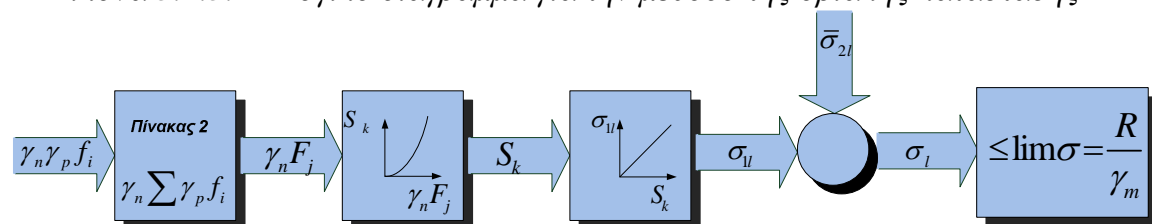
Όπου είναι απαραίτητο εισάγεται ο συντελεστής κινδύνου γ_n , και εφαρμόζεται στο συνδυαστικό φορτίο \bar{F}_j για να δώσει το φορτίο σχεδιασμού $\gamma_n \bar{F}_j$. Ο σχεδιασμός των επιδράσεων \bar{S}_k καθορίζεται από το φορτίο σχεδιασμού.

Οι τάσεις $\bar{\sigma}_{1l}$, λόγω της επίδρασης των δυνάμεων σε κάποιο στοιχείο ή σύνδεσμο υπολογίζονται σε συνδυασμό με άλλες τάσεις $\bar{\sigma}_{2l}$, που δημιουργούνται από τις τοπικές επιδράσεις στην κατασκευή οι οποίες έχουν επίσης υπολογισθεί χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους επιμέρους συντελεστές.

Οι τάσεις σχεδιασμού που προκύπτουν $\bar{\sigma}_l$ θα συγκριθούν με μια οριακή τιμή της τάσης $\lim \bar{\sigma}$.

Ακολουθεί παρακάτω το λογικό διάγραμμα που περιγράφει την μέθοδο της οριακής τάσης στην Εικόνα 3.4.3.1.

Εικόνα 3.4.3.1 – Λογικό διάγραμμα για την μέθοδο της οριακής κατάστασης



f_i είναι το i φορτίο για τον σύνδεσμο ή το στοιχείο

\bar{F}_j είναι το φορτίο για συνδυασμό φορτίων j , από τα φορτία f_i , πολλαπλασιασμένο από τους μερικούς συντελεστές των φορτίων γ_p και με τον συντελεστή κινδύνου όπου αυτό είναι δυνατόν

S_k είναι οι επιδράσεις του φορτίου για το τμήμα k του στοιχείου ή των στηρίξεων, όπως είναι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές που δημιουργούνται από τον συνδυασμό φορτίων \bar{F}_j

σ_{1l} είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο στοιχείο l που δημιουργούνται από τις επιδράσεις S_k

σ_{2l} είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο συγκεκριμένο στοιχείο l που αυξάνονται λόγω τοπικών τάσεων

σ_l είναι η τάση σχεδιασμού που προκύπτει στο συγκεκριμένο στοιχείο l

R είναι η καθορισμένη αντοχή ή χαρακτηριστική αντίσταση του υλικού, για το συγκεκριμένο στοιχείο ή σύνδεσμο, όπως είναι η τάση διαρροής, οριακή τάση της ευστάθειας της κατασκευής, η τάση κόπωσης

\lim_{σ} είναι η οριακή τάση σχεδιασμού

γ_p είναι οι μερικοί συντελεστές φορτίων που εφαρμόζονται σε ξεχωριστά φορτία σύμφωνα με τον συνδυασμό φορτίων

γ_n είναι ο συντελεστής κινδύνου, όπου είναι δυνατόν να εφαρμοστεί

γ_m είναι ο συντελεστής αντίστασης

Σημείωση 1 : Αντί για σύγκριση μεταξύ τάσεων, όπως αναφέραμε παραπάνω μπορεί να γίνει μια σύγκριση μεταξύ δυνάμεων, ροπών κ.α.

Στον Πίνακα 3 δίνονται οι τιμές για του συντελεστές $\gamma_p, \gamma_m, \gamma_f$ που χρησιμοποιούνται στο υπολογισμούς της αντοχής για συνδυασμούς φορτίων **A, B** και **C**.

Πίνακας 3 – Τιμές για του συντελεστές¹⁾ $\gamma_p, \gamma_m, \gamma_f$

Συνδυασμό φορτίων	Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης	Μέθοδος της οριακής κατάστασης										
	Συντελεστής γ_f	Συντελεστή αντίστασης γ_m	Επιμέρους συντελεστής φορτίου γ_p									
A	1,48	1,1	1,16	1,22	1,28	1,34 ₂₎	1,41	1,48	1,55	1,63	1,71	1,80
B	1,34	1,05	1,1	1,16	1,22	1,28 ₂₎	1,34	1,41	1,48	1,55	1,63	1,71
C	1,22	1	1,05	1,1	1,16	1,22 ₂₎	1,28	1,34	1,41	1,48	1,55	1,63

1) Οι συντελεστές έχουν υπολογιστεί από την σχέση $\gamma = 1,05^v$ όπου $0 \leq v \leq 12$

2) Οι τιμές αυτές εφαρμόζονται στην μάζα του ωφέλιμου βάρους

Για ξεχωριστές μορφές ανύψωσης, οι τιμές των επιμέρους συντελεστών για κάθε φορτίο εκλέγονται από τον Πίνακα 3 και αναφέρονται στα ξεχωριστά τμήματα (Μέρος 1-5) στο **Παράρτημα 2** για κάθε κατηγορία γερανού που χρησιμοποιείται.

Όταν εμφανίζεται το ίδιο φορτίο σε παραπάνω από έναν συνδυασμό , οι τιμές του γ_p που εφαρμόζεται στο συγκεκριμένο φορτίο θα λαμβάνονται από την ίδια στήλη .

Η τιμή του γ_p εκλέγεται σύμφωνα με την ακρίβεια που καθορίζεται το σχετικό φορτίο. Μπορεί να υπάρχουν ειδικές τιμές όπου η επίδραση ενός φορτίο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των τάσεων και τιμές για $\gamma_p \leq 1$ μπορεί να αποδειχθούν ως κατάλληλες

3.5 Εφαρμογές

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιάσουμε ενδεικτικά εφαρμογές για τους διάφορους συνδυασμούς φορτίων και για τις 4 κατηγορίες γερανών τις αντίστοιχες μεθόδους σχεδιασμού , την **Μέθοδο της Επιτρεπόμενης Τάσης (ASD)** και την **Μέθοδο της Οριακής Κατάστασης(ULS)** όπως παρουσιάζονται στις δύο παραπάνω παραγράφους αντίστοιχα .

3.5.1 Επιλογή φορτίων για κινητούς γερανούς

Οι συνδυασμοί φορτίων για κινητούς γερανούς φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4 .

Πίνακα 4-Συνδυασμοί φορτίων για κινητούς γερανούς

<i>Συνδυασμοί</i>	<i>Περιγραφή</i>
A_1 και B_1	Για κινητούς γερανούς που υποβάλλονται στα κανονικά φορτία με ανύψωση χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας για την A_1 και για φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας για την B_1
A_2 και B_2	Για κινητούς γερανούς που λειτουργούν σε κανονικούς κύκλους εργασίας που ελευθερώνουν το φορτίο κατά την κίνηση χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας για την A_2 και με φορτία ανέμου για την B_2 σε κανονική λειτουργία .
A_3 και B_3	Για γερανούς που ανυψώνουν ή χαμηλώνουν το φορτίο , χωρίς φορτία ανέμου κατάστασης λειτουργίας για την A_3 και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας για την B_3
A_4 και B_4	Κινητοί γερανοί που κινούνται σε ανώμαλη επιφάνεια , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας για την A_4 και με φορτία ανέμου σε κανονική κατάσταση λειτουργίας για την B_4
C_1	Κινητοί γερανοί που ανυψώνουν φορτίο από το έδαφος
C_2	Κινητοί γερανοί για φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας , όπως καθορίζονται από τον κατασκευαστή
C_3	Κινητοί γερανοί που λειτουργούν με το φορτίο ελέγχου
C_4	Κινητοί γερανοί που λειτουργούν με αυτόματα συστήματα εκκίνησης

Έστω λοιπόν θεωρήσουμε τους εξής συμβολισμούς :

m_C είναι το αντίστοιχο βάρος του γερανού

m_R είναι το αντίστοιχο βάρος ονομαστικού φορτίου ανύψωσης

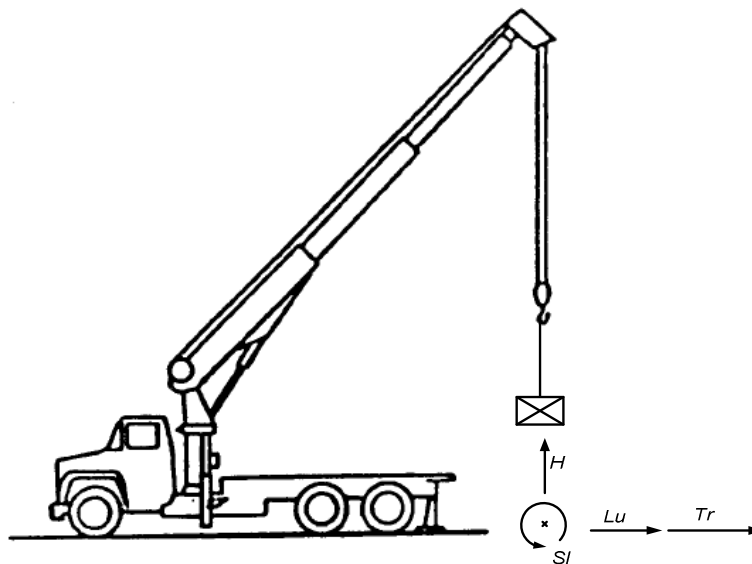
ΔF_L είναι το φορτίο που προκύπτει από την επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου .

ΔF_T είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση του τηλεσκοπικού μηχανισμού .

ΔF_S είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση περιστροφής .

ΔF_H είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού ανύψωσης .

Οι ταυτόχρονες επιταχύνσεις εμφανίζονται στην Εικόνα 3.5.1.1. Για τις επιδράσεις των ταυτόχρονων επιταχύνσεων κατά την λειτουργία ενός κινητού γερανού δίδονται περαιτέρω πληροφορίες στο **Παράρτημα 2 ,Μέρος 1-Κινητοί Γερανοί.**



Εικόνα 3.5.1.1 –Ταυτόχρονες επιταχύνσεις στους κινητούς γεραμούς

Δίδονται παρακάτω οι Πίνακες 5 και 6 των φορτίων και των συνδυασμό φορτίων για την συγκεκριμένη κατηγορία συμπεριλαμβάνοντας και τους δυναμικούς συντελεστές φορτίων φ για την Μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και την Μέθοδο της οριακής κατάστασης .

Εάν εκλέξουμε συνδυασμό φορτίων A_3 δηλαδή κινητοί γερανοί που ανυψώνουν ή χαμηλώνουν το φορτίο , χωρίς φορτία ανέμου κατάστασης λειτουργίας, σύμφωνα με την παράγραφο **3.4.2** και **3.4.3** μπορούμε να διεξάγουμε τους σχεδιασμούς φορτίων για τις δύο μεθόδους .

1. Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης (ASD)

Πίνακας 5 - Φορτία και συνδυασμός φορτίων - Κινητοί γερανοί - Μέθοδος επιτρεπόμενης τάσης

Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β				Συνδυασμός φορτίων C				στήλη			
			γ_f	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_f	B_1	B_2	B_3	B_4	γ_f	C_1	C_2		C_3	C_4	
Κανονικά φορτία	Βαρύτητας, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	φ_1	φ_1	1	-	φ_1	φ_1	1	-	φ_1	1	φ_1	1	1	1	1	1	
		2) Μάζα του ονομαστικού φορτίου	φ_2	φ_3	1	-	φ_2	φ_3	1	-	-	η	-	1	-	-	-	2	
		3) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου κατά την κίνηση σε ανώμαλη επιφάνεια	-	-	-	φ_4	-	-	-	φ_4	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου	Άλλος μηχανισμός	φ_5	φ_5	1	-	φ_5	φ_5	1	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	4
			Ανυψωτικός μηχανισμός	1,48	-	-	φ_5	-	1,34	-	-	φ_5	-	1,22	-	-	-	-	-
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1	-	-	-	-	6	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	7
Κατ' εξαίρεση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-	-	-	-	-	φ_2	-	-	-	-	-	-	8	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	9
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	10
	4) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	11

Για τον συνδυασμό φορτίων A_3 με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και σύμφωνα με τον πίνακα φορτίων, τα μεμονωμένα φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i .

Πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$f_1 = 1 \cdot m_C$ για το βάρος του γερανού

$f_2 = 1 \cdot m_R$ για το βάρος του ονομαστικού φορτίου

$f_3 = \varphi_5 \Delta F_H$ για το φορτίο που προκαλείται από τις επιταχύνσεις του ανυψωτικού μηχανισμού

$f_4 = 1 \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} \Delta F_S \\ \Delta F_L \\ \Delta F_T \end{array} \right\}$ για το φορτίο που προκαλείται από τις ταυτόχρονες

επιταχύνσεις κατά την λειτουργία του γερανού ,εκλέγεται εκείνο το φορτίο που σε συνδυασμό με τα φορτία παρουσιάζεται με την μεγαλύτερη τιμή .

Σύμφωνα λοιπόν με το λογικό διάγραμμα της παραγράφου **3.4.2** τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται και προκύπτει ένα φορτίο $F_{A3} = \gamma_{fA3} \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4)$

Όπου ο συντελεστής ασφάλειας γ_{fA3} εκλέγεται από τον Πίνακα 3 της παραγράφου **3.4.3** για συνδυασμό φορτίων A είναι ίσος με $\gamma_{fA3} = 1,48$.

Μέσω του φορτίου $F_{A3} = 1,48 \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4)$ θα καθοριστούν οι αντίστοιχες επιδράσεις \bar{S}_{A3} του φορτίου F_{A3} δηλαδή εσωτερικές δυνάμεις , ροπές σε συγκεκριμένο φορέα – μέλος του γερανού .

Οι τάσεις που προκύπτουν $\bar{\sigma}_{1IA3}$ από τις επιδράσεις \bar{S}_{A3} θα συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{2IA3}$ που προκύπτουν στον αντίστοιχο φορέα π.χ. τάσεις εγκοπών και θα προκύψει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{IA3}$ τέλος θα συγκριθεί με μια επιτρεπόμενη τάση ίση με $adm_ \sigma = \frac{R}{\gamma_{fA3} \cdot \gamma_n}$.

Άρα θα εκτελείται ο παρακάτω έλεγχος όπως παρουσιάζεται και στην παράγραφο **3.4.2** :

$$\bar{\sigma}_{IA3} \leq \frac{R}{1,48 \cdot \gamma_n}$$

Όπου γ_n ο επιμέρους συντελεστής για εφαρμογές ανύψωσης με μεγάλο κίνδυνο , θα εισάγεται όπου κρίνεται δυνατόν με $\gamma_n \geq 1$, και ανάλογα με την εφαρμογή πάντα .

2. Μέθοδος της οριακής κατάστασης

Για την μέθοδο της οριακής κατάστασης, ο πίνακας φορτίων και συνδυασμό φορτίων παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 6 - Φορτία και συνδυασμός φορτίων - Κινητοί γερανοί - Μέθοδος της οριακής καταστάσης

Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C				στήλη		
			γ_p	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_p	B_1	B_2	B_3	B_4	γ_p	C_1	C_2	C_3		C_4	
Κανονικά φορτία	Βαρύτητας, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	1,22	φ_1	φ_1	1	-	1,16	φ_1	φ_1	1	-	1,1	φ_1	1	φ_1	1	1	
		2) Μάζα του ονομαστικού φορτίου	1,34	φ_2	φ_3	1	-	1,22	φ_2	φ_3	1	-	1,1	-	n	-	1	2	
		3) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου κατά την κίνηση σε ανώμαλη επιφάνεια	1,22	-	-	-	φ_4	1,16	-	-	-	φ_4	-	-	-	-	-	-	3
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου	Άλλος μηχανισμός	1,34	φ_5	φ_5	1	-	1,22	φ_5	φ_5	1	-	1,1	-	-	φ_5	-	4
			Ανυψωτικός μηχανισμός	1,34	-	-	φ_5	-	1,22	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	-	-	-	-	-	1,16	1	1	1	1	1,1	-	-	1	-	6	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1,1	-	-	1	-	7	
Κατ'εξίρεση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	φ_2	-	-	-	8	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	1	-	-	9	
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	φ_6	-	10	
	4) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	φ_5	11	

Τα αντίστοιχα μεμονωμένα φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i και πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές φορτίων γ_p πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$f_1 = \gamma_{p1} \cdot m_C = 1,22 \cdot m_C$ για το βάρος του γερανού

$f_2 = \gamma_{p2} \cdot m_R = 1,34 \cdot m_R$ για το βάρος του ονομαστικού φορτίου

$f_3 = \gamma_{p3} \cdot \varphi_3 \cdot \Delta F_H = 1,34 \cdot \varphi_3 \cdot \Delta F_H$ για το φορτίο που προκαλείται από τις επιταχύνσεις του ανυψωτικού μηχανισμού

$f_4 = \max \left\{ \begin{matrix} \gamma_{p4} \Delta F_S \\ \gamma_{p4} \Delta F_L \\ \gamma_{p4} \Delta F_T \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,34 \Delta F_S \\ 1,34 \Delta F_L \\ 1,34 \Delta F_T \end{matrix} \right\}$ για το φορτίο που προκαλείται από τις

ταυτόχρονες επιταχύνσεις κατά την λειτουργία του γερανού ,εκλέγεται εκείνο το φορτίο που σε συνδυασμό μεταξύ τους παρουσιάζεται με την μεγαλύτερη τιμή .

Σύμφωνα λοιπόν με το λογικό διάγραμμα της παραγράφου **3.4.3** τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται και προκύπτει ένα φορτίο $F_{A3} = \gamma_n \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4)$ όπου κρίνεται απαραίτητο εισάγεται ο συντελεστής κινδύνου γ_n ενισχύοντας έτσι το φορτίο F_{A3} για να προκύψει το φορτίο σχεδιασμού $\gamma_n F_{A3}$. Το φορτίο σχεδιασμού καθώς επιβάλλεται σε ένα μέλος του γερανού θα δημιουργήσει τις αντίστοιχες εσωτερικές επιδράσεις (εσωτερικές δυνάμεις , ροπές) \bar{S}_{A3} . Από τις επιδράσεις αυτές υπολογίζονται οι αντίστοιχες τάσεις στον αντίστοιχο φορέα $\bar{\sigma}_{1IA3}$ και συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{2IA3}$ και προκύπτει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{IA3}$ η οποία θα συγκριθεί με μια οριακή τιμή τάσης ίση με $\lim_{\sigma} = \frac{R}{\gamma_m}$.

Ο συντελεστής αντίστασης γ_m εκλέγεται από τον Πίνακα 3 για τον συνδυασμό Α και είναι ίσος με $\gamma_m = 1,1$.

Άρα εκτελείται ο έλεγχος :

$$\bar{\sigma}_{IA3} \leq \frac{R}{1,1}$$

Παρατηρούμε πως ο επιμέρους συντελεστής γ_n εισάγεται στην μέθοδο της οριακή τάσης ενισχύοντας το σχεδιαστικό φορτίο , ενώ στην μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης υποβιβάζοντας την αντίστοιχη αντίσταση του γερανού .

3.5.2 Επιλογή φορτίων για πυργωτούς γερανούς

Οι συνδυασμοί φορτίων για τους πυργωτούς γερανούς παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα καθώς και οι επιμέρους δυναμικοί συντελεστές ϕ .

Εάν εκλέξουμε συνδυασμό φορτίων B_3 για ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, επιταχύνοντας το φορτίο που βρίσκεται σε αναστολή, και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις.

Έστω λοιπόν θεωρήσουμε τους εξής συμβολισμούς :

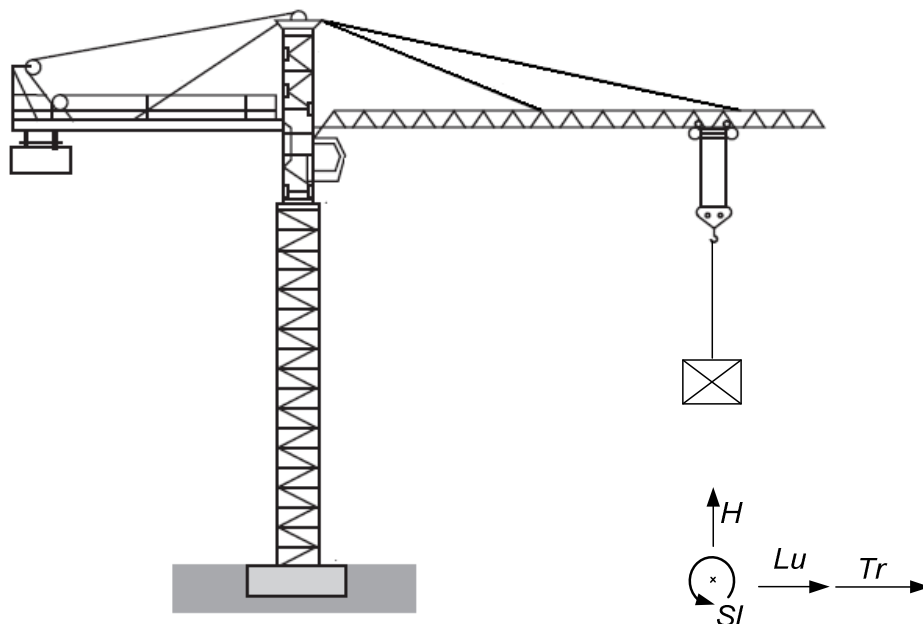
m_C είναι το αντίστοιχο βάρος του γερανού

m_G είναι το αντίστοιχο βάρος του μεικτού φορτίου ανύψωσης

ΔF_L είναι το φορτίο που προκύπτει από την επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου.

ΔF_{Tr} είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση κίνησης του γερανού.

ΔF_S είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση περιστροφής. Οι ταυτόχρονες επιταχύνσεις φαίνονται στην Εικόνα 3.5.2.1. Περαιτέρω πληροφορίες για τις επιταχύνσεις των πυργωτών γερανών δίδονται στο Παράρτημα 2 –Μέρος 3.



Εικόνα 3.5.2.1-Ταυτόχρονες επιταχύνσεις στους πυργωτούς γερανούς

F_D είναι το φορτίο που προκύπτει λόγω μετατοπίσεων στον γερανό

F_w είναι το φορτίο ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας

F_I είναι το φορτίο χιονιού ή πάγου

F_C είναι το φορτίο που προκύπτει από μεταβολές της θερμοκρασίας

1. Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης (ASD)

Ο Πίνακας 7 που ακολουθεί παρακάτω δίνει τα φορτία και τους συνδυασμούς φορτίων καθώς και τους επιμέρους δυναμικούς συντελεστές ϕ για τους πυργωτούς γερανούς και για τις δύο μεθόδους σχεδιασμού.

Πίνακας 7 -Φορτία και συνδυασμός φορτίων-Πυργωτοί Γερανοί

1	2		3					4					5								6		
			Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C										
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F _i		γ _p	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	γ _p	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	γ _p	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	Αριθμός γραμμής
Κανονικά φορτία	Βαρύτητας, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	1.1)*	1,22					1,16					1,1									1
		1.2.1)*	1,16	Φ ₁	Φ ₁	1			1,1	Φ ₁	Φ ₁	1		1,05	Φ ₁	1	Φ ₁	1		1	1		
		1.2.2)*	1,1						1,05						1,0								
	2) Μάζα του μεικτού βάρους		1,34	Φ ₂	Φ ₃	1		1,22	Φ ₂	Φ ₃	1			1,1	Φ ₂	η		1		1		1	2
	3)* Σε κίνηση με ανομοιόμορφη επιφάνεια		1,22				Φ ₄	1,16				Φ ₄	Φ ₄										3
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	α) Με ανυψωτικό μηχανισμό		1,34	Φ ₅	Φ ₅		1,22	Φ ₅	Φ ₅			1,1			Φ ₅						
		β) Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό				Φ ₅	Φ ₅				Φ ₅	Φ ₅											5
	Μετατοπίσεις		1,16	1	1	1	1	1,1	1	1	1	1	1	1,05	1	1	1	1	1	1	1	1	6
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας						1,16	1	1	1	1	1										7
		2) Φορτία χιονιού και πάγου						1,22	1	1	1	1	1	1,1	1								8
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας						1,16	1	1	1	1	1	1,05	1								9
	Στρεβλώσεις						1,16					1											10
Κατ'εξάφραση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος												1,1	Φ ₂									11
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας												1,1	1									12
	3) Φορτία ελέγχου												1,1		Φ ₆								13
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης												1,1			Φ ₇							14
	5) Δυνάμεις κλίσης												1,1										15
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου												1,1					Φ ₅					16
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης												1,1										17
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής												1,1									1	18
	Συντελεστής αντοχής για την επιτρεπόμενη τάση γ _p			1,48					1,34						1,22								19
	Συντελεστής αντίστασης γ _m	1,1					1,1						1,1										20

1.1) *Ανεπιθύμητες επιδράσεις

1.2.1) *, 1.2.2)*Επιθυμητές επιδράσεις

3)* Μάζες του γερανού και της ανυψωτικής συσκευής κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια.

Για τον συνδυασμό B_3 με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και σύμφωνα με τον πίνακα φορτίων , τα μεμονωμένα φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i .

Πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$$f_1 = 1 \cdot m_C \text{ για το βάρος του γερανού}$$

$$f_2 = 1 \cdot m_G \text{ για το βάρος του μεικτού φορτίου}$$

$$f_3 = \varphi_5 \cdot \max \begin{bmatrix} \Delta F_S \\ \Delta F_{Tr} \\ \Delta F_L \end{bmatrix} \text{ για το φορτίο που δημιουργείται από τις επιταχύνσεις ,}$$

κατά την περιστροφή , μεταφορά και κίνηση με την κατεύθυνση του ανέμου , εκλέγεται το φορτίο με την μέγιστη τιμή .

$$f_4 = 1 \cdot F_D \text{ φορτίο λόγω των μετατοπίσεων}$$

$$f_5 = 1 \cdot F_W \text{ φορτίο ανέμου}$$

$$f_6 = 1 \cdot F_I \text{ φορτίο από χιόνι ή πάγο}$$

$$f_7 = 1 \cdot F_C \text{ φορτίο λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας}$$

Τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται μεταξύ τους και προκύπτει ένα φορτίο $F_{B3} = \gamma_{fB3} \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7)$

Όπου ο συντελεστής ασφάλειας γ_{fB3} εκλέγεται από τον Πίνακα 3 της παραγράφου **3.4.3** για συνδυασμό φορτίων B είναι ίσος με $\gamma_{fB3} = 1,34$.

Μέσω του φορτίου F_{B3} θα καθοριστούν οι αντίστοιχες επιδράσεις \bar{S}_{B3} του φορτίου F_{B3} δηλαδή εσωτερικές δυνάμεις , ροπές σε συγκεκριμένο φορέα – μέλος του γερανού .

Οι τάσεις που προκύπτουν $\bar{\sigma}_{1|B3}$ από τις επιδράσεις \bar{S}_{B3} θα συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{2|B3}$ που προκύπτουν στον αντίστοιχο φορέα π.χ. τάσεις εγκοπών και θα προκύψει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{IB3}$ τέλος θα συγκριθεί με

$$\text{μια επιτρεπόμενη τάση ίση με } adm_ \sigma = \frac{R}{\gamma_{fB3} \cdot \gamma_n}$$

Άρα θα εκτελείται ο παρακάτω έλεγχος της επιτρεπόμενης τάσης :

$$\bar{\sigma}_{IB3} \leq \frac{R}{1,34 \cdot \gamma_n}$$

2. Μέθοδος της οριακής κατάστασης

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7 λοιπόν αντίστοιχα μεμονωμένα φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i και πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές φορτίων γ_p πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$$f_1 = \gamma_{p1} \cdot m_C = 1,16 \cdot m_C \quad \text{για το βάρος του γερανού}$$

$$f_2 = \gamma_{p2} \cdot m_G = 1,22 \cdot m_R \quad \text{για το βάρος του σχετικού φορτίου}$$

$$f_3 = \gamma_{p3} \varphi_5 \Delta F_H = 1,34 \cdot \varphi_5 \cdot \Delta F_H \quad \text{για το φορτίο που δημιουργείται από τις επιταχύνσεις του ανυψωτικού μηχανισμού .}$$

$$f_3 = \varphi_5 \cdot \max \begin{bmatrix} \gamma_{p3} \Delta F_S \\ \gamma_{p3} \Delta F_{Tr} \\ \gamma_{p3} \Delta F_L \end{bmatrix} = \varphi_5 \cdot \max \begin{bmatrix} 1,22 \Delta F_S \\ 1,22 \Delta F_{Tr} \\ 1,22 \Delta F_L \end{bmatrix} \quad \text{για τα φορτία που δημιουργείται από}$$

τις ταυτόχρονες επιταχύνσεις κατά την λειτουργία του γερανού ,εκλέγεται εκείνο το φορτίο που παρουσιάζεται με την μεγαλύτερη τιμή .

$$f_4 = \gamma_{p4} \cdot F_D = 1,1 F_D \quad \text{φορτίο λόγω των μετατοπίσεων}$$

$$f_5 = \gamma_{p5} \cdot F_W = 1,16 F_W \quad \text{φορτίο ανέμου}$$

$$f_6 = \gamma_{p6} \cdot F_I = 1,22 F_I \quad \text{φορτίο από χιόνι ή πάγο}$$

$$f_7 = \gamma_{p7} \cdot F_C = 1,16 F_C \quad \text{φορτίο λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας}$$

Σύμφωνα λοιπόν με το λογικό διάγραμμα της παραγράφου **3.4.3** τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται μεταξύ τους και προκύπτει ένα φορτίο $F_{B3} = \gamma_n \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7)$ όπου κρίνεται απαραίτητο εισάγεται ο συντελεστής κινδύνου γ_n ενισχύοντας έτσι το φορτίο F_{B3} για να προκύψει το φορτίο σχεδιασμού $\gamma_n F_{B3}$. Το φορτίο σχεδιασμού καθώς επιβάλλεται σε ένα μέλος του γερανού θα δημιουργήσει τις αντίστοιχες εσωτερικές επιδράσεις (εσωτερικές δυνάμεις , ροπές) \bar{S}_{B3} .

Από τις επιδράσεις αυτές υπολογίζονται οι αντίστοιχες τάσεις στον αντίστοιχο φορέα $\bar{\sigma}_{1B3}$ και συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{21B3}$ και προκύπτει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{1B3}$ η οποία θα συγκριθεί με μια οριακή τιμή τάσης ίση με $\lim \sigma = \frac{R}{\gamma_m}$.

Ο συντελεστής αντίστασης γ_m εκλέγεται από τον Πίνακα 7 για τον συνδυασμό B3 και είναι ίσος με $\gamma_m = 1,1$.

$$\text{Άρα εκτελείται ο έλεγχος : } \bar{\sigma}_{1B3} \leq \frac{R}{1,1}$$

3.5.3 Επιλογή φορτίων για γερανούς κεραίας

Οι συνδυασμοί φορτίων για τους γερανούς κεραίας παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 8.

Εάν εκλέξουμε συνδυασμό φορτίων C_3 γερανοί κεραίας που λειτουργούν με το φορτίο ελέγχου. Η ανύψωση θα συνδυάζεται με άλλες δύο κινήσεις έτσι ώστε να επιφέρουν την μέγιστη φόρτιση στο γερανό.

Έστω λοιπόν θεωρήσουμε τους εξής συμβολισμούς :

m_c είναι το αντίστοιχο βάρος του γερανού

m_T είναι το αντίστοιχο βάρος του φορτίου ελέγχου

ΔF_L είναι το φορτίο που προκύπτει από επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου.

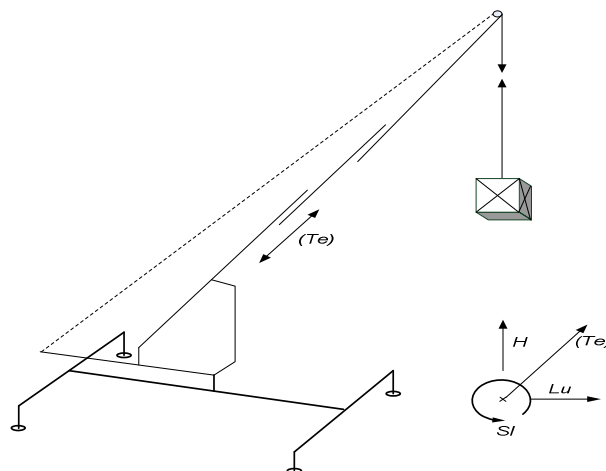
ΔF_T είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση του τηλεσκοπικού μηχανισμού του γερανού .

ΔF_S είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση περιστροφής .

ΔF_H είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού ανύψωσης .

Περαιτέρω πληροφορίες για τις ταυτόχρονες επιταχύνσεις σε κινητούς γερανούς δίδονται στο **Παράρτημα 2- Μέρος 4**

F_D είναι το φορτίο που δημιουργείται λόγω μετατοπίσεων στον γερανό κεραίας .



Εικόνα 3.5.3.1 –Ταυτόχρονες επιταχύνσεις σε γερανό με τηλεσκοπική κεραία

1. Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης (ASD)

Πίνακας 8- Περιγραφή των συνδυασμών φορτίων

Συνδυασμοί φορτίων	Περιγραφή
A_1 και B_1	Για γερανούς κεραιάς για κανονική ανύψωση σε συνδυασμό με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας για την A_1 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_1
A_2 και B_2	Για γερανούς κεραιάς για κανονικές συνθήκες λειτουργίας όταν απελευθερώνουν απότομα ένα φορτίο. Σε συνδυασμό με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας και κλιματικές επιδράσεις για την A_2 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_2
A_3 και B_3	Για γερανούς κεραιάς που λειτουργούν σε κανονικές συνθήκες επιταχύνοντας το φορτίο που βρίσκεται σε αναστολή . Σε συνδυασμό με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας και κλιματικές επιδράσεις για την A_3 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_3
A_4 και B_4	Γερανοί κεραιάς σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας που κινούνται σε ανώμαλη επιφάνεια .Το φορτίο που θα προκύψει θα συνδυαστεί με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας και κλιματικές επιδράσεις για την A_4 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_4
C_1	Γερανοί κεραιάς που ανυψώνουν φορτίο από το έδαφος σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας εκτός από τις εξαιρέσεις που παρουσιάζονται στο Παράρτημα 2 , 5.1.2.2.2
C_2	Γερανοί κεραιάς για συνθήκες κατάστασης λειτουργίας , συμπεριλαμβάνοντας φορτία ανέμου εκτός λειτουργίας και φορτία από άλλες κλιματικές επιδράσεις
C_3	Κινητοί γερανοί που λειτουργούν με το φορτίο ελέγχου σύμφωνα με το ISO 8686-1 .Το φορτίο ανύψωσης θα συνδυάζεται με άλλες δύο κινήσεις έτσι ώστε να επιφέρουν την μέγιστη φόρτιση στο γερανό
C_4 έως και C_8	Γερανοί κεραιάς όπου λειτουργούν με το μεικτό φορτίο σε συνδυασμό το φορτίο που προκύπτει από τις δυνάμεις πρόσκρουσης C_4 , δυνάμεις κλίσης C_5 , έκτακτης διακοπής της λειτουργίας C_6 ,αστοχίας του μηχανισμού κίνησης C_7 , και διέγερσης της θεμελίωσης της κατασκευής C_8

Πίνακας 9 - Φορτία και συνδυασμός φορτίων - Γερανοί κεραίας – Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης

1	2		3					4					5								6						
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C								Αριθμός γραμμής						
			γ_f	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_f	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	γ_f	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6		C_7	C_8				
Κανονικά φορτία	Βαρύτητα, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	φ_1	φ_1	1	-		φ_1	φ_1	1	-	-		φ_1	1	φ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2) Μάζα του μεικτού βάρους	φ_1	φ_3	-	-		φ_1	φ_3	-	-	-		-	η	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
		3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε ανομοιομορφη επιφάνεια	-	-	-	φ_4		-	-	-	φ_4	φ_4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό	φ_5	φ_5	-	-		φ_5	φ_5	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
			Με ανυψωτικό μηχανισμό	-	-	φ_5	φ_5		-	-	φ_5	φ_5	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	Μετατοπίσεις		1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	1,48	-	-	-		1,34	1	1	1	1	1	1,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-		1	1	1	1	1		-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας	-	-	-	-		1	1	1	1	1		-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
	Στρεβλώσεις		-	-	-	-		-	-	-	-	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Κατ'εξάιρεση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-		-	-	-	-	-	φ_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	φ_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης		-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	φ_7	-	-	-	-	-	-	-	-	14	
	5) Δυνάμεις κλίσης		-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	15	
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	16	
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης		-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-	-	-	17	
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής		-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	18	

Ο Πίνακας 9 δίνει τα φορτία και τους συνδυασμούς φορτίων καθώς και τους επιμέρους δυναμικούς συντελεστές φ για τους γερανούς κεραίας για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης .

Για τον συνδυασμό C_3 με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και σύμφωνα με τον πίνακα φορτίων , τα μεμονωμένα φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i .

Πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$f_1 = \varphi_1 \cdot m_C$ για το βάρος του γερανού

$f_2 = 1 \cdot F_D$ το φορτίο που δημιουργείται λόγω των μετατοπίσεων

$f_3 = \varphi_6 \cdot m_T$ φορτίο για συνθήκες ελέγχου

Τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται και προκύπτει ένα φορτίο $F_{C3} = \gamma_{fC3} \cdot (f_1, f_2, f_3)$.

Όπου ο συντελεστής ασφάλειας γ_{fB3} εκλέγεται από τον Πίνακα 9 για συνδυασμό φορτίων C είναι ίσος με $\gamma_{fC3} = 1,22$, $F_{C3} = 1,22(f_1, f_2, f_3)$. Μέσω του φορτίου F_{C3} θα καθοριστούν οι αντίστοιχες επιδράσεις \bar{S}_{C3} του φορτίου F_{C3} δηλαδή εσωτερικές δυνάμεις , ροπές σε συγκεκριμένο μέλος του γερανού .

Οι τάσεις που προκύπτουν $\bar{\sigma}_{1IC3}$ από τις επιδράσεις \bar{S}_{C3} θα συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{2IC3}$ που προκύπτουν στον αντίστοιχο φορέα και θα προκύψει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{IC3}$ και εκτελείται ο έλεγχος με μια επιτρεπόμενη τάση ίση με $adm_{\sigma} = \frac{R}{\gamma_{fC3} \cdot \gamma_n}$.

Άρα θα εκτελείται ο παρακάτω έλεγχος της επιτρεπόμενης τάσης :

$$\bar{\sigma}_{IC3} \leq \frac{R}{1,22 \cdot \gamma_n}$$

2.Μέθοδος της οριακής κατάστασης

Στον παρακάτω Πίνακα 10 δίδονται τα φορτία και οι συνδυασμοί φορτίων για την μέθοδο της οριακής κατάστασης καθώς και οι επιμέρους δυναμικοί συντελεστές φ για τους γερανούς κεραίας .

Πίνακας 10- Φορτία και συνδυασμός φορτίων -Γερανοί κεραιάς- Μέθοδος της οριακής κατάστασης

1	2		3					4					5								6							
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C								Αριθμός γραμμής							
			γ_p	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_p	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	γ_p	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6		C_7	C_8					
Κανονικά φορτία	Βαρύτητας, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	1,22	φ_1	φ_1	1	-	1,16	φ_1	φ_1	1	-	-	1,1	φ_1	1	φ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		2) Μάζα του μεικτού βάρους	1,34	φ_1	φ_3	1	-	1,22	φ_1	φ_3	1	-	-		-	-	η	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε τροχίες	1,22	-	-	-	φ_4	1,16	-	-	-	φ_4	φ_4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	1,34	φ_5	φ_5	-	-	1,22	φ_5	φ_5	-	-	-		-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό																										
	Μετατοπίσεις		1,22	1	1	1	1	1,16	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Τυχαιά φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	-	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1	1	1,16	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας	-	-	-	-	-	1,1	1	1	1	1	1	1	1,05	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
	Στρεβλώσεις	4) Βλέπε παρ. 5.2.2	-	-	-	-	-	1,16	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Κατ'εξαιρέση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	φ_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	-	-	-	13	
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	φ_7	-	-	-	-	-	-	-	14	
	5) Δυνάμεις κλίσης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	15	
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	16	
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	17	
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	18	
Ο συντελεστής αντίστασης γ_m θα λαμβάνεται για όλους τους συνδυασμούς ίσος με 1,1																											19	

Τα ξεχωριστά φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i και πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές φορτίων γ_p πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$$f_1 = \gamma_{p1} \cdot \varphi_1 \cdot m_C = 1,1 \cdot \varphi_1 \cdot m_C \text{ για το βάρος του γερανού}$$

$$f_2 = \gamma_{p2} \cdot F_D = 1,1 \cdot F_D \text{ για το φορτίου που προκαλείται λόγω των μετατοπίσεων}$$

$$f_3 = \gamma_{p3} \varphi_5 \Delta F_H \text{ or } \gamma_{p3} \varphi_5 \{ \Delta F_S, \Delta F_L, \Delta F_T \} = 1,1 \cdot \varphi_5 \cdot \Delta F_H \text{ or } 1,1 \varphi_5 \{ \Delta F_S, \Delta F_L, \Delta F_T \}$$

Η ανύψωση (H) θα συνδυάζεται με την μέγιστη τιμή των δυνάμεων που προκύπτουν κατά την περιστροφή (S) , κίνηση στην κατεύθυνση του ανέμου (L) και την τηλεσκοπική κίνηση (T).

$$f_4 = \gamma_{p4} \cdot \varphi_6 \cdot m_T = 1,1 \cdot \varphi_6 \cdot m_T \text{ για το φορτίο ελέγχου}$$

Σύμφωνα λοιπόν με το λογικό διάγραμμα της παραγράφου **3.4.3** τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται και προκύπτει ένα φορτίο $F_{C3} = \gamma_n \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4)$ όπου κρίνεται απαραίτητο εισάγεται ο συντελεστής κινδύνου γ_n ενισχύοντας έτσι το φορτίο F_{C3} για να προκύψει το φορτίο σχεδιασμού $\gamma_n F_{C3}$.

Το φορτίο σχεδιασμού καθώς επιβάλλεται σε ένα μέλος του γερανού θα δημιουργήσει τις αντίστοιχες εσωτερικές επιδράσεις (εσωτερικές δυνάμεις , ροπές) \bar{S}_{C3} . Από τις επιδράσεις αυτές υπολογίζονται οι αντίστοιχες τάσεις στον αντίστοιχο φορέα $\bar{\sigma}_{1C3}$ και συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{21C3}$ και προκύπτει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{1C3}$ η οποία θα συγκριθεί με μια οριακή τιμή τάσης ίση με $\lim_{\sigma} = \frac{R}{\gamma_m}$.

Ο συντελεστής αντίστασης γ_m εκλέγεται από τον Πίνακα 10 για τον συνδυασμό C3 και είναι ίσος με $\gamma_m = 1,1$.

$$\text{Άρα εκτελείται ο έλεγχος : } \bar{\sigma}_{1C3} \leq \frac{R}{1,1}$$

3.5.4 Επιλογή φορτίων για γερανούς εναέριου τύπου – γερανογέφυρες

Εάν εκλέξουμε συνδυασμό φορτίων C_4 γερανοί εναέριου τύπου και γερανογέφυρες για ανυψωτικές εφαρμογές με μεικτό φορτίο σε συνδυασμό με δυνάμεις πρόσκρουσης στους τερματικούς προσκρουστήρες .

Έστω λοιπόν θεωρήσουμε τους εξής συμβολισμούς :

m_C είναι το αντίστοιχο βάρος του γερανού

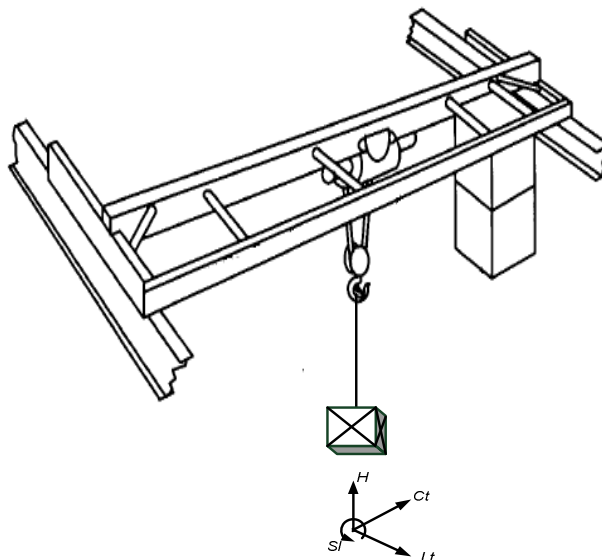
m_G είναι το αντίστοιχο βάρος του μεικτού φορτίου

ΔF_{L_t} είναι το φορτίο που προκύπτει από επιτάχυνση λόγω της κίνησης του φορείου κατά μήκος των γεφυροδοκών .

ΔF_{C_t} είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση λόγω της εγκάρσιας κίνησης του φορείου στις γεφυροδοκούς .

ΔF_S είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση περιστροφής .

ΔF_H είναι το φορτίο που προκύπτει κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού ανύψωσης . Οι επιταχύνσεις φαίνονται στη Εικόνα . Περαιτέρω πληροφορίες για τις ταυτόχρονες επιταχύνσεις σε γερανούς δίδονται στο **Παράρτημα 2-Μέρος 5**.



Εικόνα 3.5.4.1 – Ταυτόχρονες επιταχύνσεις σε γερανογέφυρα

F_W είναι το φορτίο ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας

F_B είναι το φορτίο που προκύπτει λόγω των δυνάμεων πρόσκρουσης στους τερματικούς προσκρουστήρες .

F_D είναι το φορτίο που προκύπτει λόγω των μετατοπίσεων .

1.Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης (ASD)

Ο Πίνακας 11 δίνει τα φορτία και τους συνδυασμούς φορτίων καθώς και τους επιμέρους δυναμικούς συντελεστές φ για τους γερανούς εναέριου τύπου και γερανογέφυρες για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και την μέθοδο της οριακής κατάστασης.

Πίνακας 11 -Φορτία και συνδυασμός φορτίων -Γερανοί εναέριου τύπου και γερανογέφυρες

1	2		3					4					5								6				
			Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C												
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		γ_p	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_p	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	γ_p	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	Αριθμός γραμμής		
			Κανονικά φορτία	Βαρύτητα, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	1,16	ϕ_1	ϕ_1	1	-	1,1	ϕ_1	ϕ_1	1	-	-	1,05	ϕ_1	1	ϕ_1	1	1		1	1
2) Μάζα του μεικτού βάρους	1,34	ϕ_2			ϕ_3	1	-	1,28	ϕ_1	ϕ_3	1	-	-	-	1,22	-	η	-	1	1	1	1	1	1	2
3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε τροχιές	1,16	-			-	-	ϕ_4	1,1	-	-	-	ϕ_4	ϕ_4	1,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό		1,55	ϕ_5	ϕ_5	-	-	1,48	ϕ_5	ϕ_5	-	-	-	1,41	-	-	ϕ_5	-	-	-	-	-	-	4
		Με ανυψωτικό μηχανισμό			-	-	ϕ_5	ϕ_5		-	-	ϕ_5	ϕ_5	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μετατοπίσεις				1,16	1	1	1	1	1,1	1	1	1	1	1	1,05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας						1,16	1	1	1	1	1	1,1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	7	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου						1,34	1	1	1	1	1	1,28	-	1	-	-	-	-	-	-	-	8	
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας						1,1	1	1	1	1	1	1,05	-	1	-	-	-	-	-	-	-	9	
	Στρεβλώσεις						1,16	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Κατ'εξάφιρηση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος												1,22	$\hat{\phi}_2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας													1,22	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	12
	3) Φορτία ελέγχου													1,22	-	-	ϕ_6	-	-	-	-	-	-	-	13
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης													1,41	-	-	-	ϕ_7	-	-	-	-	-	-	14
	5) Δυνάμεις κλίσης													1,41	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	15
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου													1,41	-	-	-	-	-	ϕ_8	-	-	-	-	16
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης													1,41	-	-	-	-	-	-	-	ϕ_8	-	-	17
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής													1,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	18
Συντελεστής αντοχής γ_f						1,48						1,34					1,22							19	
Συντελεστής αντίστασης γ_m		1,1					1,05						1											20	
Συντελεστής γ_h για υψηλού κινδύνου εφαρμογές																								21	

Για τον συνδυασμό C_4 με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και σύμφωνα με τον πίνακα φορτίων , τα μεμονωμένα φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i .

Πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$$f_1 = 1 \cdot m_C \text{ για το βάρος του γερανού}$$

$$f_2 = 1 \cdot m_G \text{ για το βάρος του μεικτού φορτίου}$$

$$f_3 = 1 \cdot F_D \text{ το φορτίο που δημιουργείται λόγω μετατοπίσεων}$$

$$f_4 = 1 \cdot F_W \text{ το φορτίο ανέμου}$$

$f_5 = \varphi_7 \cdot F_B$ τα φορτία που προκύπτει από τις δυνάμεις πρόσκρουσης στους τερματικούς προσκρουστήρες .

Τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται και προκύπτει ένα φορτίο $F_{C4} = \gamma_{fC4} \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5)$

Όπου ο συντελεστής ασφάλειας γ_{fC4} εκλέγεται από τον Πίνακα 11 και είναι ίσος με $\gamma_{fC4} = 1,22$, $F_{C4} = 1,22(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5)$

Μέσω του φορτίου F_{C4} θα καθοριστούν οι αντίστοιχες επιδράσεις \bar{S}_{C4} του φορτίου F_{C4} δηλαδή εσωτερικές δυνάμεις , ροπές σε συγκεκριμένο μέλος του γερανού .

Οι τάσεις που προκύπτουν $\bar{\sigma}_{1C4}$ από τις επιδράσεις \bar{S}_{C4} θα συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{2C4}$ που προκύπτουν στον αντίστοιχο φορέα και θα προκύψει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{IC4}$ και εκτελείται ο έλεγχος με μια επιτρεπόμενη τάση ίση με $adm_{\sigma} = \frac{R}{\gamma_{fC4} \cdot \gamma_n}$

Άρα θα εκτελείται ο παρακάτω έλεγχος της επιτρεπόμενης τάσης :

$$\bar{\sigma}_{IC4} \leq \frac{R}{1,22 \cdot \gamma_n}$$

2.Μέθοδος της οριακής κατάστασης

Τα ξεχωριστά φορτία f_i υπολογίζονται και ενισχύονται από τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές φ_i σύμφωνα με τον Πίνακα 11 και πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές φορτίων γ_p πιο συγκεκριμένα έχουμε :

$$f_1 = \gamma_{p1} \cdot m_C = 1,05 \cdot m_C \quad \text{για το βάρος του γερανού}$$

$$f_2 = \gamma_{p2} \cdot m_G = 1,22 m_G \quad \text{για το βάρος του μεικτού φορτίου}$$

$$f_3 = \gamma_{p3} \cdot F_D = 1,05 \cdot F_D \quad \text{για το φορτίο που προκαλούν οι μετατοπίσεις}$$

$$f_4 = \gamma_{p4} \cdot F_W = 1,1 \cdot F_W \quad \text{το φορτίο ανέμου}$$

$$f_5 = \gamma_{p5} \cdot \varphi_7 \cdot F_B = 1,41 \cdot \varphi_7 \cdot F_B \quad \text{το φορτίο από δυνάμεις πρόσκρουσης στους τερματικούς προσκρουστήρες}$$

Σύμφωνα λοιπόν με το λογικό διάγραμμα της παραγράφου **3.4.3** τα μεμονωμένα αυτά φορτία συνδυάζονται και προκύπτει ένα φορτίο $F_{C4} = \gamma_n \cdot (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5)$ όπου κρίνεται απαραίτητο εισάγεται ο συντελεστής κινδύνου γ_n ενισχύοντας έτσι το φορτίο F_{C4} για να προκύψει το φορτίο σχεδιασμού $\gamma_n F_{C4}$.

Το φορτίο σχεδιασμού καθώς επιβάλλεται σε ένα μέλος του γερανού θα δημιουργήσει τις αντίστοιχες εσωτερικές επιδράσεις (εσωτερικές δυνάμεις , ροπές) \bar{S}_{C4} . Από τις επιδράσεις αυτές υπολογίζονται οι αντίστοιχες τάσεις στον αντίστοιχο φορέα $\bar{\sigma}_{1C4}$ και συνδυάζονται με τις τοπικές τάσεις $\bar{\sigma}_{21C4}$ και προκύπτει μια ισοδύναμη τάση $\bar{\sigma}_{1C4}$ η οποία θα συγκριθεί με μια οριακή τιμή τάσης ίση με $\lim_{\sigma} = \frac{R}{\gamma_m}$.

Ο συντελεστής αντίστασης γ_m εκλέγεται από τον Πίνακα 11 για τον συνδυασμό C_4 και είναι ίσος με $\gamma_m = 1$.

$$\text{Άρα εκτελείται ο έλεγχος : } \bar{\sigma}_{1C4} \leq \frac{R}{1}$$

Κεφάλαιο 4. Γενικές αρχές επί της αξιοπιστίας των κατασκευών

4.1 Εισαγωγή

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει αρκετές μελέτες πάνω στον σχεδιασμό αξιοπιστίας των κατασκευών , έτσι ώστε σήμερα η αξιοπιστία μιας κατασκευής να ικανοποιεί τον κατασκευαστικό της σκοπό για μια συγκεκριμένη περίοδο λειτουργίας .

Όμως λόγω της ύπαρξης πολλών αβεβαιοτήτων στον κατασκευαστικό σχεδιασμό , υπάρχει μια πιθανότητα η συμπεριφορά της κατασκευής να μην είναι η επιθυμητή, με λίγα λόγια να αστοχίσει .

Μπορούμε να πούμε ότι μια κατασκευή αστοχεί όταν δεν λειτουργεί σε ικανοποιητικό βαθμό από τον βαθμό για τον οποίο προοριζόταν , ο ορισμός αυτός είναι λίγο ασαφής καθώς δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια την συνάρτηση που εκφράζει την λειτουργία της . Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται η μέθοδος της οριακής κατάστασης με σκοπό να μας βοηθήσει να προσδιορίσουμε την αστοχία στα πλαίσια πάντα του σχεδιασμού με βάση την αξιοπιστία .

Συνήθως μια οριακή κατάσταση μπορεί να καθοριστεί από μια μαθηματική έκφραση , δηλαδή από μια οριακή συνάρτηση . Υπάρχουν δύο είδη οριακής κατάστασης σε μια κατασκευή και είναι η εξής :

1. Η απόλυτη οριακή κατάσταση-οριακή κατάσταση της φέρουσας ικανότητας (*ultimate limit states*) που αναφέρεται στην μέγιστη ικανότητα του φορτίου, σε κάποιες περιπτώσεις στην μέγιστη τάση παραμόρφωσης που εφαρμόζεται στην κατασκευή .
2. Η οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας της κατασκευής, η οποία αναφέρεται στην κανονική λειτουργία της κατασκευής (*serviceability limit states*).

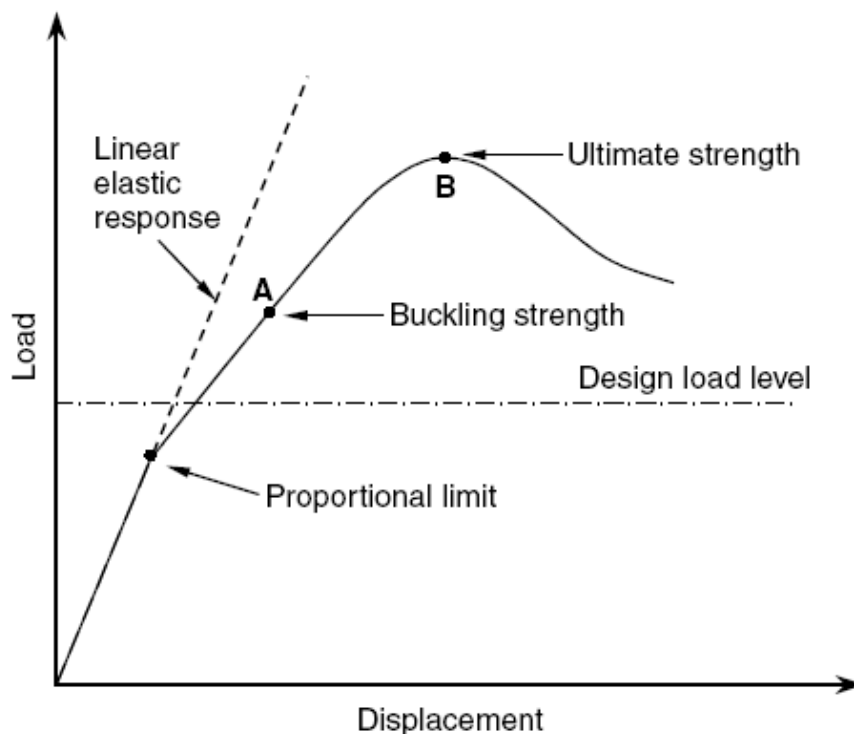
Όταν λοιπόν υπερβαίνουμε την οριακή κατάσταση οι συνέπειες που θα επέλθουν μπορεί να είναι αντιστρέψιμες ή όχι . Στην πρώτη περίπτωση η αστοχία ή η βλάβη σε συνεργασία με το ότι υπερβαίνουμε την οριακή κατάσταση θα παραμείνει έως ότου η κατασκευή επισκευαστεί .

Στην αντίθετη περίπτωση όπου οι συνέπειες δεν είναι αντιστρέψιμες η ζημία ή η βλάβη θα παραμείνει όσο παραμένει και η αιτία που προκαλεί την υπέρβαση της οριακής κατάστασης .

4.1.1 Απόλυτη οριακή κατάσταση

Η απόλυτη οριακή περιλαμβάνει :

- a. Έλλειψη της ισορροπίας της κατασκευής ή ενός μέλους της
- b. Επίτευξη της μέγιστης ικανότητας αντίστασης των τμημάτων , μελών ή συνδέσμων της κατασκευής (σε κάποιες περιπτώσεις επηρεασμένες από κόπωση , διάβρωση κ.α.) ή ακραίες παραμορφώσεις
- c. Μετατροπή της κατασκευής ή ενός τμήματος της σε έναν μηχανισμό
- d. Αστάθεια στην ίδια την κατασκευή ή σε κάποιο τμήμα της
- e. Απότομη μεταβολή του υποτιθέμενου κατασκευαστικού συστήματος σε ένα νέο σύστημα .



Εικόνα 4.1.1- Απεικόνιση της οριακής κατάστασης

Στο παρελθόν η πλέον απλουστευμένη μορφή της οριακής κατάστασης για πολλές κατασκευές εξαρτιόταν σε εκτιμήσεις πάνω στις οριακές τιμές για τις τάσεις λυγισμού βασιζόμενοι στην πλαστική θεωρία των υλικών .

Αυτό παρουσιάζεται στην παραπάνω Εικόνα 4.1.1 από το αντιπροσωπευτικό σημείο **A** , κατά τον σχεδιασμό αυτό ο μελετητής δεν χρησιμοποιεί προγενέστερες πληροφορίες για την συμπεριφορά των κατασκευαστικών στοιχείων στο φαινόμενο του λυγισμού .

Το πραγματικό σημείο της οριακής κατάστασης αντιπροσωπεύεται από το σημείο **B** ή και ακόμη ψηλότερα από το σημείο **B** ανάλογα την πραγματική οριακή κατάσταση της κατασκευής . Σε περιπτώσεις που η πραγματική οριακή κατάσταση της φέρρουσας ικανότητας αντιπροσωπεύεται από το σημείο **B** παραμένει άγνωστη (όπως γίνεται με την παραδοσιακή μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης), είναι πολύ δύσκολο να καθοριστεί το πραγματικό επίπεδο ασφάλειας της κατασκευής.

Όμως μπορεί να γίνει μια αρκετά καλή εκτίμηση του επιπέδου ασφάλειας συνδυάζοντας την οριακή κατάσταση της κατασκευής με την επίδραση ακραίων τιμών φορτίσεων .Για να επιδιώξουμε μια ασφαλή και οικονομική κατασκευή ,η οριακή κατάσταση της φέρρουσας ικανότητας και ο σχεδιασμός θα πρέπει να γίνεται με επαρκή αξιοπιστία .

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε πως οποιαδήποτε αστοχία που εμφανίζεται σε μια κατασκευή θα πρέπει να χαρακτηρίζεται μέσω ολκιμότητας του υλικού και όχι ψαθυρής αστοχίας , αυτό είναι προτιμητέο ώστε να αποφύγουμε μια πιθανή αιφνίδια κατάρρευση της κατασκευής.

Οι συνέπειες υπέρβασης της απόλυτης οριακής κατάστασης είναι σχεδόν πάντα μη αντιστρέψιμες και την πρώτη φορά που αυτό εμφανίζεται προκαλεί αστοχία.

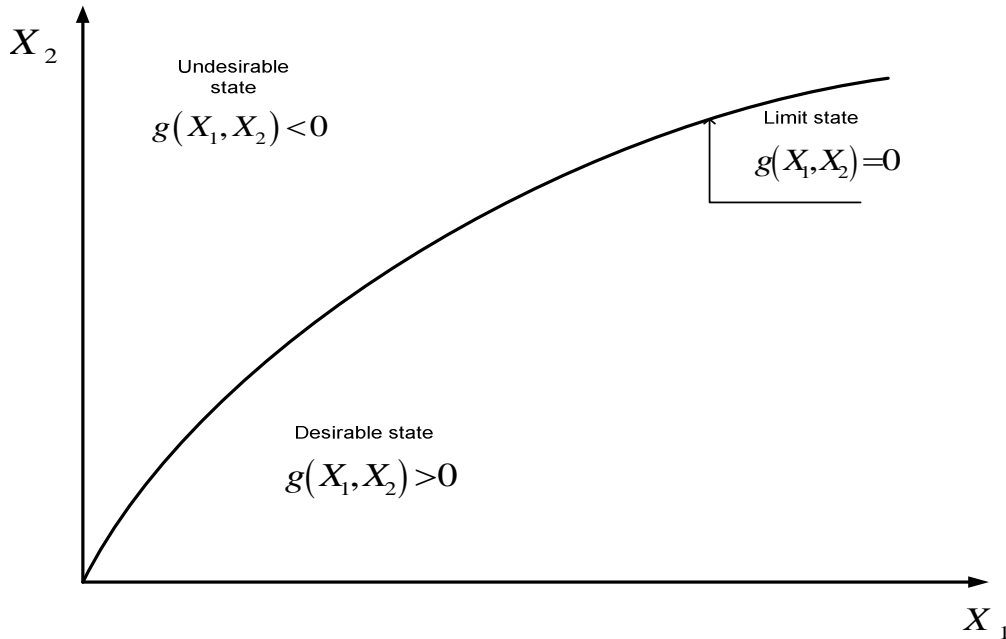
Υποθέτουμε πως το κριτήριο αστοχίας της κατασκευής διέπεται από μια εξίσωση $g(\underline{X})$ όπου \underline{X} οι κύριες μεταβλητές έτσι ώστε :

$g(\underline{X}) > 0$ είναι η επιθυμητή κατάσταση (ασφαλής περιοχή)

$g(\underline{X}) = 0$ είναι η οριακή κατάσταση

$g(\underline{X}) < 0$ είναι η ανεπιθύμητη κατάσταση (επικίνδυνη περιοχή)

Η απόλυτη οριακή κατάσταση απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1.2 με την περίπτωση ύπαρξης δύο κύριων μεταβλητών X_1 και X_2 όπου $\underline{X} = (X_1, X_2)$



Εικόνα 4.1.2 - Απεικόνιση της συνάρτησης $g(\underline{X})$

Οι κύριες μεταβλητές \underline{X} μπορεί να είναι ανεξάρτητες . Για παράδειγμα , ακραίες τιμές φορτίων από το περιβάλλον μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με τον χρόνο. Οι κατασκευαστικές ιδιότητες επιδεινώνονται σε σχέση με την διάβρωση ή με την εμφάνιση άλλων φαινομένων. Η αντίσταση μπορεί να μειωθεί σε σχέση με το χρόνο εξαιτίας της κόπωσης . Σε γενικές περιπτώσεις , κάποιες μεταβλητές του \underline{X} μπορεί να αντιπροσωπεύονται από στοχαστικές μεταβλητές . Πιο συγκεκριμένα η χρονική μεταβολή του \underline{X} δηλώνει πως μέγιστες και ελάχιστες τιμές της μεταβλητής δεν εμφανίζονται την ίδια χρονική στιγμή. Η ίδια χρονική εξάρτηση υποδηλώνει πως η πιθανότητα της αστοχίας συνδέεται με μια επιλεγμένη χρονική στιγμή αναφοράς t_0 . Η αξιοπιστία (πιθανότητα επιβίωσης ή μη αστοχίας) της κατασκευής ορίζεται ως εξής :

$$P_s = 1 - P_f$$

P_f είναι η πιθανότητα αστοχίας καθ'όλη την διάρκεια ζωής της κατασκευής

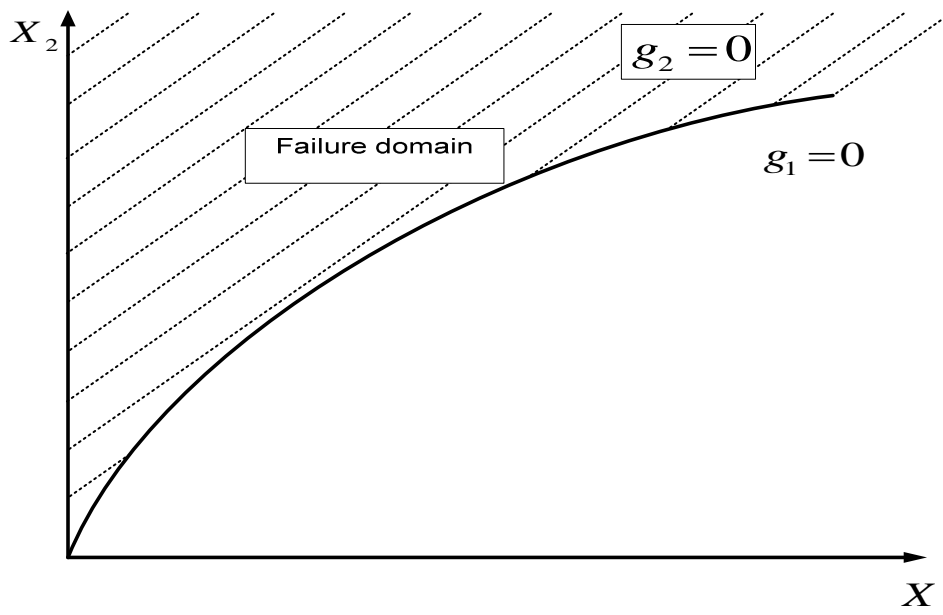
Εάν η αξιοπιστία ενός κατασκευαστικού στοιχείου , η μιας διατομής ενός στοιχείου , μελετάται σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο μηχανισμό αστοχίας και έναν συγκεκριμένο συνδυασμό φορτίων , η συναρτηση $g(\underline{X})$ μπορεί συχνά να περιγραφεί από μια μόνο έκφραση η οποία παράγεται από την μηχανική συμπεριφορά. Τότε η ανάλυση περιγράφεται ως **ανάλυση στοιχείου** .

Εάν υπάρχουν περισσότεροι μηχανισμοί αστοχίας για ένα στοιχείο ή μελετώνται περισσότερα από ένα στοιχεία ταυτόχρονα, τότε η συνάρτηση $g(\underline{X})$ απαρτίζεται από διάφορες συναρτήσεις $g_1(\underline{X}), g_2(\underline{X}), \dots, g_i(\underline{X})$. Η περίπτωση αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1.3 με ένα παράδειγμα δύο συναρτήσεων $g_1(\underline{X}_1, \underline{X}_2)$ και $g_2(\underline{X}_1, \underline{X}_2)$ για δύο κύριες μεταβλητές \underline{X}_1 και \underline{X}_2 .

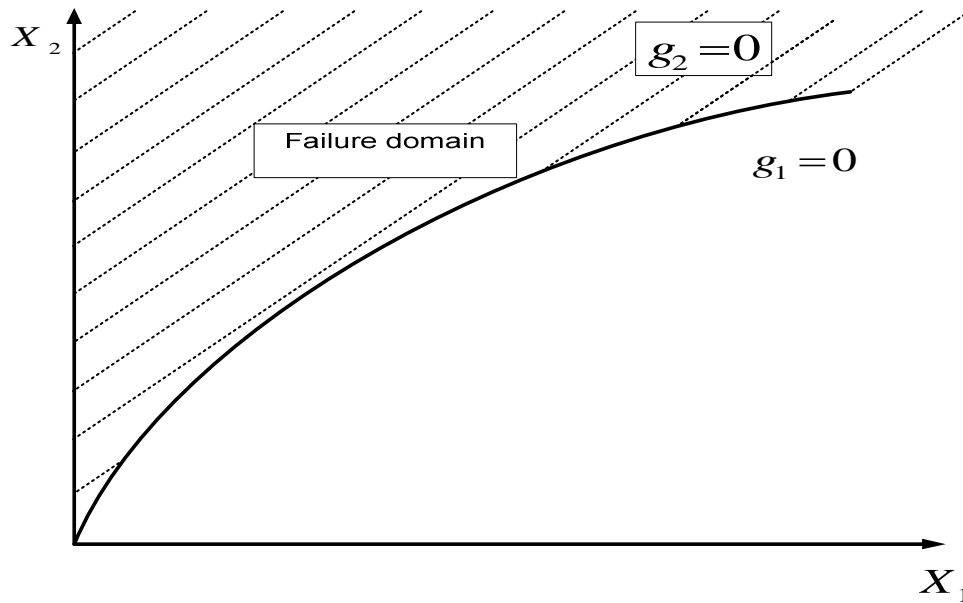
Η Εικόνα 4.1.3 δείχνει δύο ακραίες περιπτώσεις. Στην περίπτωση της Εικόνας 4.1.3α), η επικράτηση της αστοχίας (ανεπιθύμητη περιοχή) καθορίζεται από $g_1(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0$ ή $g_2(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0$

Στην περίπτωση της Εικόνας 4.1.3β), η επικράτηση της αστοχίας καθορίζεται από :

$$g_1(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0 \text{ και } g_2(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0$$



Εικόνα 4.1.3α)- Η περιοχή αστοχίας (γραμμοσκιασμένη περιοχή) σε δύο ακραίες περιπτώσεις



Εικόνα 4.1.3b)- Η περιοχή αστοχίας (γραμμοσκιασμένη περιοχή) σε δύο ακραίες περιπτώσεις

Μια ανάλυση που υπολογίζει διάφορες συνθήκες ταυτόχρονα $g_i(\underline{X}) < 0$ ονομάζεται **συστημική ανάλυση**. Ο ορισμός της συνάρτησης του συστήματος $g_1(X)$ εξαρτάται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά του συστήματος, π.χ εάν είναι "ο αδύναμος κρίκος του συστήματος" (Εικόνα 4.1.3α) ή "ένα πλεοναστικό σύστημα" (Εικόνα 4.1.3b) ή σε πολλές περιπτώσεις ο συνδυασμός αυτών των δύο.

4.1.2 Οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας

Η οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας περιλαμβάνει :

- a) Τοπική αστοχία (θραύση-ρωγμή) η οποία μπορεί να μειώσει την διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής ή να επιδράσει στην αποδοτικότητα της, τα επαναλαμβανόμενα φορτία μπορούν να έχουν επίδραση πάνω στην τοπική αστοχία (π.χ. με κόπωση).
- b) Ανεπιθύμητες παραμορφώσεις που επιδρούν στην εμφάνιση και στην απόδοση των κατασκευαστικών ή μη-κατασκευαστικών στοιχείων ή στην λειτουργία του εξοπλισμού.
- c) Ακραίες τιμές κραδασμών που επιδρούν σε μη-κατασκευαστικά στοιχεία ή στην λειτουργία του εξοπλισμού της κατασκευής .

Σε περιπτώσεις που η τοπική θραύση είναι μόνιμη , υπάρχουν ανεπιθύμητες μόνιμες παραμορφώσεις , η υπέρβαση της οριακής κατάστασης της λειτουργικότητας είναι μη-αντιστρέψιμη και την πρώτη φορά που αυτό εμφανίζεται προκαλεί αστοχία .

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις η υπέρβαση αυτή μπορεί να είναι αντιστρέψιμη και η αστοχία επέρχεται ως εξής :

- a. Τη πρώτη φορά που υπερβαίνουμε την οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας .
- b. Εάν η υπέρβαση αυτή είναι αποδεκτή αλλά ο χρόνος που η κατασκευή μας βρίσκεται στην ανεπιθύμητη κατάσταση είναι μεγαλύτερος από τον καθορισμένο χρόνο.
- c. Εάν η υπέρβαση είναι αποδεκτή αλλά η συχνότητα υπέρβαση της οριακής κατάστασης της λειτουργικότητας είναι μεγαλύτερη από την καθορισμένη .
- d. Εάν εμφανιστεί κάποιος συνδυασμός των παραπάνω κριτηρίων ή κάποια άλλα κριτήρια σχετικά με τα παραπάνω.

Αυτές οι περιπτώσεις μπορούν να περιλαμβάνουν από τοπική αστοχία (θραύσεις), ή προσωρινές μεγάλες παραμορφώσεις και κραδασμούς .

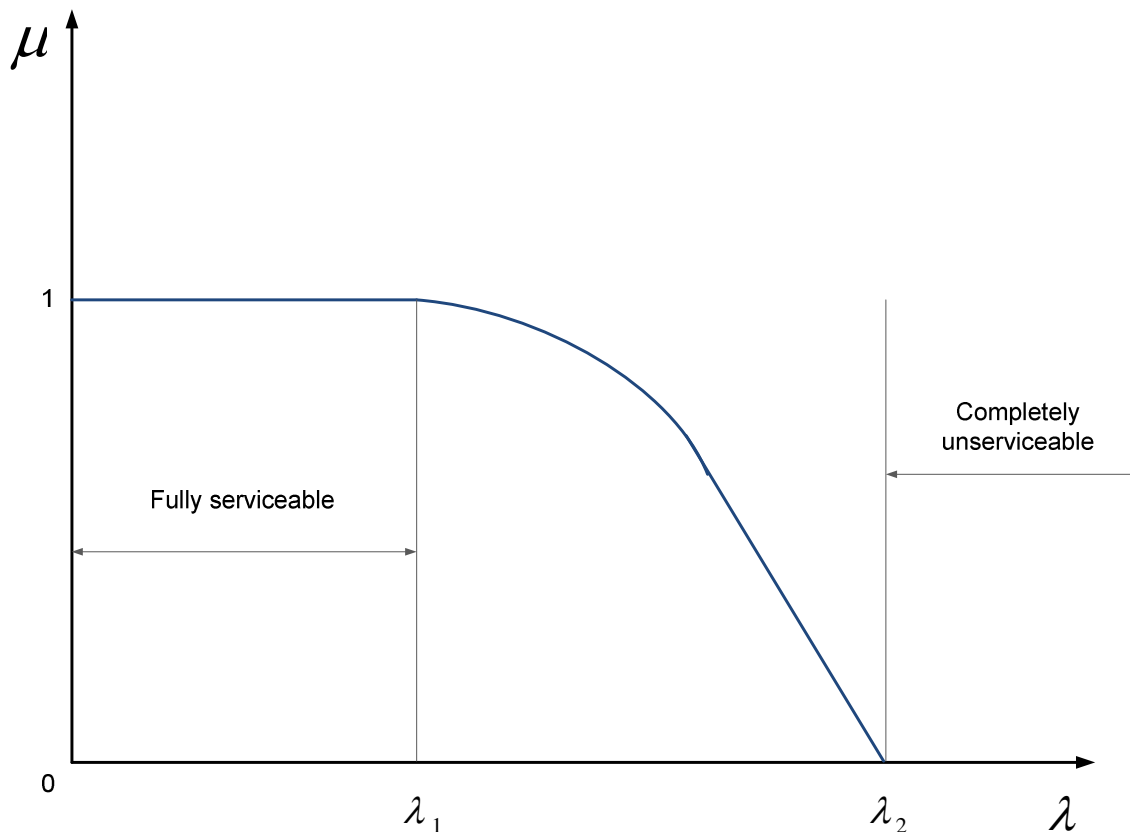
Για κάποιες οριακές συνθήκες της λειτουργικότητας , η μετάβαση της συγκεκριμένης οριακής κατάστασης από την επιθυμητή στην ανεπιθύμητη περιοχή συμβαίνει όταν εμφανίζονται αρκετά έντονες συνθήκες .

Αυτό σημαίνει πως η οριακή κατάσταση με την κατάλληλη προσέγγιση , μπορεί να μελετηθεί ως ένα μηχανικό φαινόμενο .

Ωστόσο , για πολλές οριακές καταστάσεις της λειτουργικότητας η μεταφορά από την επιθυμητή περιοχή στην ανεπιθύμητη εμφανίζεται κάτω από πιο πολύπλοκες συνθήκες .Η μεταφορά αυτή υποδηλώνει μια μεγαλύτερη ή μικρότερη αύξηση του βαθμού της λειτουργικότητας .

Συνεπώς , θα πρέπει να ορίζεται αρχικά ένας βαθμός λειτουργικότητας μ (όπου $0 \leq \mu \leq 1$) και να εισάγεται από μία συνάρτηση που αποτελείται απο παραμέτρους λειτουργικότητας λ (παραμορφώσεις σε μια δοκό , ή ταλαντώσεις μεγάλης έντασης από το έδαφος).

Η συνάρτηση αυτή απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 4.1.2.1 όπου υποθέτουμε ότι οι δύο οριακές τιμές του λ αντιπροσωπεύουν τις εξής καταστάσεις : για λ_1 όπου η κατασκευή λειτουργεί πλήρως , και για λ_2 για την οποία η κατασκευή δεν λειτουργεί με επάρκεια . Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν η έκφραση του βαθμού λειτουργικότητας σε οικονομικές περιόδους .



Εικόνα 4.1.2.1- Ο βαθμός λειτουργικότητας μ συναρτήσει της παραμέτρου λειτουργικότητας λ

4.2 Δράσεις

Ως μια **δράση** ορίζεται :

- Μια σύνθεση συγκεντρωμένων ή κατανεμημένων μηχανικών δυνάμεων που δρουν πάνω στην κατασκευή .
- Η αιτία που προκαλεί παραμορφώσεις πάνω στην κατασκευή και επιβάλλεται σε αυτή περιορίζοντας την λειτουργία της .

Μία δράση θεωρείται μοναδική εάν είναι στατιστικά ανεξάρτητη στον χρόνο και στον χώρο από οποιαδήποτε άλλη δράση που επιδρά πάνω στην κατασκευή .

Μια δράση συχνά χαρακτηρίζεται από δύο ή περισσότερες κύριες μεταβλητές. Για παράδειγμα το μέτρο και η διεύθυνση μιας δύναμης μπορούν και τα δύο να αποτελούν κύριες μεταβλητές. Μερικές φορές μια δράση μπορεί να εισάγεται ως μια συνάρτηση από πολλές κύριες μεταβλητές , κάθε μια να αντιπροσωπεύει κάποια φυσική ιδιότητα .

Οι δράσεις κατηγοριοποιούνται στις εξή κατηγορίες ανάλογα με :

- a) Την διακύμανση του μεγέθους της δράσης σε συνάρτηση με τον χρόνο
- b) Την διακύμανση του μεγέθους της δράσης σε συνάρτηση με τον χώρο
- c) Την συμπεριφορά τους απέναντι στην κατασκευή
- d) Σε περιορισμένες ή απεριόριστες δράσεις
- e) Σε επιδράσεις από το περιβάλλον
- f) Τις ιδιότητες των υλικών της κατασκευής

4.2.1 Δράσεις σε συνάρτηση με το χρόνο

Ταξινομούνται λοιπόν ανάλογα με την διακύμανση του μεγέθους τους σε σχέση με τον χρόνο σε :

- Μόνιμες δράσεις (G)
- Μεταβλητές δράσεις (Q)
- Τυχαίες (τυχηματικές) δράσεις (A)

Μόνιμες δράσεις (G)

Μόνιμες δράσεις (G) είναι εκείνες που είναι πιθανόν να δρουν συνεχώς σε μια δοσμένη ενδεικτική περίοδο για την οποία οι διακυμάνσεις στο μέτρο των δράσεων σε σχέση με τον χρόνο δεν είναι συγκρίσιμες με την μέση τιμή, ή οι διακυμάνσεις αυτές μπορούν να οδηγήσουν σε κάποιες οριακές τιμές.

Αυτές περιλαμβάνουν τις παρακάτω :

- a) Το βάρος της κατασκευής (εκτός ίσως συγκεκριμένων τμημάτων της κατασκευής κατά την διάρκεια συγκεκριμένων σταδίων της κατασκευής)
- b) Το βάρος μιας υπερκατασκευής, συμπεριλαμβάνοντας οποιαδήποτε μόνιμη προσαρμογή και κάποιο μόνιμο προσάρτημα .
- c) Τις δυνάμεις αντίδρασης από το έδαφος
- d) Τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται από την διαδικασία κατασκευής στις τελικές τους τιμές
- e) Τις δυνάμεις που προκύπτουν από την συστολή του σκυροδέματος και από τις συγκολλήσεις .
- f) Τις δυνάμεις που προκύπτουν από την πίεση του νερού
- g) Τις δυνάμεις που προκύπτουν από την υποχώρηση στηρίγματα της κατασκευής .
- h) Τις δυνάμεις προέντασης

Μια **μόνιμη δράση (permanent action)** σπάνια έχει μια μοναδική χαρακτηριστική τιμή σχεδιασμού . Όταν η δράση αναφέρεται σε περιπτώσεις ίδιου βάρους της κατασκευής, η τιμή G_k θα πρέπει να λαμβάνεται από τις καθορισμένες τιμές των γεωμετρικών ποσοτήτων και την μέση τιμή της κατανομής μάζας του υλικού . Όμως, σε μερικές περιπτώσεις θα ήταν προτιμότερο να ορίσουμε δύο τιμές, μια μεγαλύτερη και μια μικρότερη χαρακτηριστική τιμή της μόνιμης δράσης .

Μεταβλητές δράσεις (Q)

Μεταβλητές δράσεις (Q) είναι εκείνες για τις οποίες η διακύμανση του μέτρου τους σε σχέση με τον χρόνο δεν είναι ούτε αμελητέα αλλά ούτε μονοτονική σε σχέση με την μέση τιμή.

Αυτές περιλαμβάνουν τις εξής :

- a) Φορτία εξαιτίας της εγκατάστασης ,φορτία κατά την λειτουργία, καθώς και επιβαλλόμενα φορτία .
- b) Συγκεκριμένα τμήματα της μάζας της κατασκευής κατά την διάρκεια συγκεκριμένης φάσης της κατασκευής.
- c) Προς ανύψωση φορτία
- d) Φορτία ανέμου
- e) Φορτία από χιόνι
- f) Επιδράσεις από σεισμούς
- g) Η επίδραση της μεταβλητής επιφάνειας του νερού
- h) Μεταβολές στην θερμοκρασία

Να σημειώσουμε εδώ πως οι δράσεις σεισμών μπορούν να θεωρηθούν είτε ως μεταβλητές δράσεις και κάτω από ορισμένες συνθήκες ως τυχαίες δράσεις.

Μια **μεταβλητή δράση (variable action)** έχει τις παρακάτω αντιπροσωπευτικές τιμές :

- Την χαρακτηριστική (characteristic value)τιμή Q_k
- Την συνδυαστική τιμή (combination value) $\Psi_0 Q_k$
- Την συχνή τιμή (frequent value) $\Psi_1 Q_k$
- Την σχεδόν μόνιμη τιμή-ημιμόνιμη τιμή (quasi-permanent value) $\Psi_2 Q_k$

Η **χαρακτηριστική τιμή Q_k** επιλέγεται έτσι ώστε να θεωρηθεί πως έχει μια καθορισμένη πιθανότητα που θα την υπερβαίνει έναντι ανεπιθύμητων τιμών κατά την διάρκεια μιας επιλεγμένης περιόδου αναφοράς .

Οι **συνδυαστικές τιμές** $\Psi_0 Q_k$ επιλέγονται έτσι ώστε η πιθανότητα επίδρασης των δράσεων οι οποίες σε συνδυασμό την υπερβαίνουν , να είναι περίπου η ίδια όταν θεωρήσουμε να ενεργεί μια μόνο δράση .

Η **συχνή τιμή** $\Psi_1 Q_k$ αποφασίζεται έτσι ώστε :

- Ο συνολικός χρόνος , κατά τον οποίο η τιμή αυτή υπερβαίνεται ,να αποτελεί ένα μικρό διάστημα εντός μιας επιλεγμένης περιόδου του χρόνου ή
- Η συχνότητα υπέρβασης της τιμής να περιορίζεται σε μια μικρή δοσμένη τιμή .

Η **σχεδόν μόνιμη τιμή** $\Psi_2 Q_k$ επιλέγεται έτσι ώστε ο συνολικός χρόνος , εντός μιας επιλεγμένης περιόδου του , όπου αυτή υπερβαίνεται ,να είναι μισός της επιλεγμένης περιόδου .

Να σημειώσουμε εδώ ότι μπορεί να υπάρχουν δύο περισσότερες συχνές τιμές για το ίδιο φορτίο που συνδέονται με διαφορετικές συνθήκες σχεδιασμού.

Τυχαίες (τυχηματικές) δράσεις (A)

Τυχαίες (τυχηματικές) δράσεις (A) είναι εκείνες που είναι πολύ πιθανόν να εμφανιστούν με μία σημαντική τιμή στην κατασκευή σε μια τυχαία περίοδο αναφοράς. Οι μεταβλητές και τυχαίες δράσεις μπορούν να περιγραφούν από τυχαίες ή όχι συναρτήσεις στο χώρο και στο χρόνο.

Αυτές περιλαμβάνουν τις εξής :

- a) Δυνάμεις πρόσκρουσης
- b) Εκρήξεις
- c) Καθίζηση του υπέδαφους
- d) Ακραία καιρικά φαινόμενα σε περιοχές που δεν είναι πιθανόν να εμφανιστούν
- e) Δράσεις σεισμού
- f) Πυρκαγιές
- g) Ακραίες τιμές διάβρωσης

Μια **τυχαία δράση** μπορεί να έχει μια μοναδική χαρακτηριστική τιμή A_x

4.2.2 Δράσεις σε συνάρτηση με το χώρο

Ταξινομούνται ανάλογα με την διακύμανση τους σε σχέση με τον χώρο σε :

- Σταθερές (καθορισμένες) δράσεις (π.χ το ίδιο βάρος της κατασκευής)
- Ελεύθερες δράσεις (π.χ επιβεβλημένα φορτία , φορτία ανέμου, χιονιού και άλλα)

Οι δράσεις που δεν ανήκουν σε καμία από δύο παραπάνω ομάδες , μπορούν να θεωρηθούν ως δράσεις που αποτελούνται από σταθερό τμήμα και ελεύθερο τμήμα. Ο χειρισμός των ελεύθερων δράσεων απαιτεί την μελέτη για διαφορετικές συνθήκες φορτίου.

4.2.3 Δράσεις ανάλογα με την κατασκευαστική τους συμπεριφορά

Ταξινομούνται σε :

- **Σταθερά φορτία** δηλαδή αυτά που δεν προκαλούν αξιοσημείωτη επιτάχυνση στην κατασκευή ή σε ένα κατασκευαστικό στοιχείο της.
- **Κινητά φορτία** αυτά που προκαλούν αξιοσημείωτη επιτάχυνση στην κατασκευή ή σε ένα κατασκευαστικό στοιχείο της.

Να σημειώσουμε εδώ όπως στις περισσότερες περιπτώσεις , τα κινητά φορτία τα χειρίζομαστε ως σταθερά λαμβάνοντας υπόψη την δυναμική επίδραση με μία κατάλληλη αύξηση στο μέτρο της συνιστώσας στατικής δύναμης ή με την επιλογή μιας ισοδύναμης στατικής δύναμης . Όταν δεν συμβαίνει αυτό τα αντίστοιχα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να προσεγγίσουμε την αντίδραση της κατασκευής , οι δυνάμεις αδράνειας δεν συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο αλλά καθορίζονται από την ανάλυση των δράσεων.

4.2.4 Περιορισμένες και απεριόριστες δράσεις

Οι περιορισμένες δράσεις είναι εκείνες που έχουν μια οριακή τιμή και δεν μπορούν να την υπερβούν, η τιμή αυτή είναι συγκεκριμένη ή κατά προσέγγιση γνωστή. Μια τέτοια οριακή τιμή μπορεί να επιτευχθεί, ή να προσεγγιστεί με μια σημαντική πιθανότητα κατά την διάρκεια σχεδιασμού των συνθηκών. Οι υπόλοιπες δράσεις ονομάζονται απεριόριστες δράσεις.

4.2.5 Επιδράσεις από το περιβάλλον

Οι περιβαλλοντικές επιρροές μπορεί να έχουν έναν μηχανικό, φυσικό, χημικό χαρακτήρα και μπορούν να φθείρουν το υλικό της κατασκευής με αποτέλεσμα να επιδρούν στην ασφάλεια και στην λειτουργικότητα της κατασκευής με έναν ανεπιθύμητο τρόπο.

Οι περιβαλλοντικές επιρροές είναι σε πολλές περιπτώσεις όμοιες με τις δράσεις ειδικά όταν μας ενδιαφέρει η μεταβολή τους σε σχέση με τον χρόνο. Συνεπώς ταξινομούνται ως μόνιμες, μεταβλητές και τυχαίες επιρροές. Προφανώς εξαρτώνται άμεσα από τις ιδιότητες των υλικών της κατασκευής.

4.2.6 Δράσεις εξαρτώμενες από τις ιδιότητες του υλικού

Οι ιδιότητες των υλικού συμπεριλαμβάνοντας και τις ιδιότητες του εδάφους, θα πρέπει να περιγράφονται από μετρήσιμες φυσικές ποσότητες και θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ιδιότητες που έχουμε θεωρήσει στο υπολογιστικό μας μοντέλο. Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να ποικίλουν σε σχέση με τον χρόνο, να εξαρτώνται από την θερμοκρασία, την υγρασία, από φορτία και άλλες διάφορες επιρροές.

Γενικά οι ιδιότητες και η ποικιλία τους θα πρέπει να καθορίζονται από δοκιμές σε κατάλληλα πειραματικά δείγματα. Οι δοκιμές αυτές θα πρέπει να βασίζονται σε τυχαία δείγματα που είναι αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού που μελετάται. Μέσω κατάλληλων και καθορισμένων συντελεστών μετατροπής ή συναρτήσεων, οι ιδιότητες που λαμβάνονται από τα δείγματα δοκιμών θα πρέπει να μετατρέπονται στις ιδιότητες που θα επαληθεύουν τις υποθέσεις που κάναμε στο υπολογιστικό μοντέλο. Οι αβεβαιότητες των συντελεστών μετατροπής θα πρέπει να μελετώνται προσεχτικά. Αξιοσημείωτες πιθανές επιδράσεις από την μετατροπή αυτή είναι επιδράσεις από τα μεγέθη, όπως είναι η επίδραση από τον χρόνο, την θερμοκρασία, την υγρασία κ.α.

4.3 Υπολογιστικά μοντέλα σχεδιασμού

Τα υπολογιστικά μοντέλα σχεδιασμού ταξινομούνται με την σειρά τους στις εξής κατηγορίες :

- a. Υπολογιστικά μοντέλα δράσεων
- b. Υπολογιστικά μοντέλα για τις ιδιότητες των υλικών
- c. Υπολογιστικά μοντέλα αντίδρασης
- d. Υπολογιστικά μοντέλα για τις αβεβαιότητες
- e. Υπολογιστικά μοντέλα καταπόνησης σε κόπωση

4.3.1 Υπολογιστικά μοντέλα δράσεων

Ένα ολοκληρωμένο μοντέλο δράσης περιγράφει αρκετές ιδιότητες της δράσης , όπως είναι το μέτρο της , την θέση της , την κατεύθυνση της , την διάρκεια της κ.α. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει μια αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών ιδιοτήτων η οποία θα πρέπει να μελετάται .Μερικές φορές εμφανίζονται αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δράσεων και της αντίδρασης της κατασκευής οι οποίες δεν πρέπει να περνάνε απαρατήρητες (π.χ. για συγκεκριμένη τιμή ανέμου , ταλαντώσεις και αλληλεπιδράσεις από την κατασκευή).

Το μέτρο της δράσης F μπορεί γενικά να μοντελοποιηθεί σύμφωνα με την παρακάτω συμβολική έκφραση :

$$F = \phi(F_0, \omega)$$

- $\phi()$ μια κατάλληλη συνάρτηση
- F_0 βασική μεταβλητή της δράσης , συχνά εξαρτώμενη από τον χρόνο και τον χώρο (τυχαία ή όχι μεταβλητή) , είναι γενικά ανεξάρτητη από την κατασκευή .
- ω δεν είναι μια τυχαία μεταβλητή , μπορεί να εξαρτάται από τις κατασκευαστικές ιδιότητες και είναι εκείνη που μετατρέπει την F_0 σε δράση F

Για παράδειγμα η F_0 μπορεί να οριστεί :

- Σε περίπτωση ιδίου βάρους από τις διαστάσεις της κατανομής της μάζας
- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από χιόνι , από το φορτίου του χιονιού στο έδαφος
- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από άνεμο , από την ταχύτητα αναφοράς που εμφανίζεται 10m πάνω από το έδαφος

Η μεταβλητή ω μπορεί να οριστεί :

- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από χιόνι , από τον συντελεστή μετατροπής που μετατρέπει το φορτίο χιονιού στο έδαφος σε φορτίο χιονιού πάνω στις οροφές σε μια κατασκευή .
- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από άνεμο , από μια μεταβλητή που θα συνδέεται με τα μεγέθη της ταχύτητας και της πίεσης

Οι λεπτομέρειες του μοντέλου δράσης που απαιτούνται για τον σχεδιασμό εξαρτώνται από τον τύπο ανάλυσης που χρησιμοποιούμε .

Σε περίπτωση μιας στατικής ανάλυσης που δεν είναι εξαρτώμενη στον χρόνο ή από κατανανεμημένες επιδράσεις , κανονικά μόνο οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των φορτίων που εμφανίζονται κατά την διάρκεια μια περιόδου αναφοράς είναι σημαντικές .Μόνο εάν συνδυαστούν πολλές δράσεις εξαρτώμενες στον χρόνο τότε θα χρειαστεί μια πιο λεπτομερής διαδικασία .

Όταν μας ενδιαφέρει η δυναμική συμπεριφορά , τότε μπορεί να χρειαστεί μια πιο λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας .Το δυναμικό μοντέλο δράσης θα περιγράψει την μεταβολή της δράσης σε σχέση με τον χρόνο κατά τέτοιο τρόπο ώστε με λεπτομέρεια και ακρίβεια να δίνει σωστά υπολογιστικά αποτελέσματα . Η περιγραφή της δράσης μπορεί δοθεί είτε με πεδίο ορισμού τον χρόνο είτε με πεδίο ορισμού την συχνότητα , όποιο από τα δύο είναι βολικό. Αβεβαιότητες στο παρελθόν κάθε δράσης μπορούν να αντιμετωπιστούν με τυχαίες διαδικασίες .

Σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι πάντα πιθανό να διαλέξουμε εκ των προτέρων αριθμητικές τιμές , για τις παραμέτρους των δράσεων κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα τελικά αποτελέσματα να είναι ακριβή . Συνεπώς , εάν οι παράμετροι των δράσεων δεν είναι σωστά καθορισμένες ίσως είναι απαραίτητο να εκτελεστούν αρκετοί υπολογισμοί με διαφορετικές υποθέσεις που αφορούν το μοντέλο δράσης .

Εάν μια δράση προκαλεί αξιοσημείωτη κόπωση στην κατασκευή είναι απαραίτητο να περιγράψουμε τις αντίστοιχες συνέπειες (τάσεις) με ένα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Με ένα πλήρες ιστορικό της διακύμανσης των τάσεων με στατιστικές περιόδους
- Με ένα σύνολο επαναλαμβανόμενων φορτίων και τον αριθμό των επαναλήψεων

Αβεβαιότητες που αφορούν το μέτρο αυτών των δράσεων θα πρέπει να μας προβληματίζουν κατά τον ίδιο τρόπο όπως και σε άλλα είδη μεταβλητών δράσεων.

4.3.2 Υπολογιστικά μοντέλα για τις ιδιότητες των υλικών

Μια κατασκευή μπορεί γενικά να περιγραφεί από υπολογιστικά μοντέλα που περιέχουν στοιχεία μιας διάστασης , δύο διαστάσεων και τριών διαστάσεων .

Οι γεωμετρικές ποσότητες που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο γενικά αναφέρονται σε χαρακτηριστικές τιμές δηλαδή τιμές που δίνονται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστικού σχεδίου. Κανονικά οι γεωμετρικές ποσότητες μιας πραγματικής κατασκευής διαφέρουν από τις ονομαστικές τιμές αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν στην κατασκευή γεωμετρικές ατέλειες . Εάν η συμπεριφορά της κατασκευής είναι ευαίσθητη σε αυτές τις ατέλειες , θα πρέπει να και αυτές με την σειρά τους να συμπεριληφθούν στο μοντέλο.

Σε πολλές περιπτώσεις οι διάφορες παραμορφώσεις στην κατασκευή προκαλούν σημαντική απόκλιση στις ονομαστικές τιμές των γεωμετρικών ποσοτήτων . Εάν αυτές οι παραμορφώσεις είναι σημαντικές για την κατασκευαστική συμπεριφορά , θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον σχεδιασμό κατά τον ίδιο τρόπο όπως γίνεται και με τις ατέλειες .

Θεωρητικά πλήρης πλαστικές περιοχές πιστεύεται ότι εμφανίζονται σε συγκεκριμένες ζώνες της κατασκευής (πλαστικές αρθρώσεις σε δοκούς , γραμμές διαρροής σε πλάκες κ.α.) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με την προϋπόθεση ότι οι παραμορφώσεις είναι αναγκαίες για εξασφαλίσουμε πλαστική συμπεριφορά εμφανίζονται πριν την δημιουργία της απόλυτης οριακής κατάστασης . Μια δεύτερη συνθήκη είναι ότι οι δράσεις επηρεάζουν σημαντικά την ικανότητα του φορτίου μιας κατασκευής , εάν η ικανότητα αυτή περιορίζεται από :

- Ψαθυρή αστοχία
- Αστοχία εξαιτίας αστάθειας της κατασκευής

4.3.3 Υπολογιστικά μοντέλα δυναμικής αντίδρασης

Στις περισσότερες περιπτώσεις η δυναμική αντίδραση μιας κατασκευής προκαλείται από μεγάλες μεταβολές στο μέτρο, στην θέση ή στην διεύθυνση μιας δράσης. Όμως μια ξαφνική αλλαγή (μείωση) της ανθεκτικότητας ή της αντίδρασης ενός κατασκευαστικού στοιχείου μπορεί επίσης να προκαλέσει δυναμική συμπεριφορά. Συνεπώς για παράδειγμα η μετακίνηση ενός κατασκευαστικού στοιχείου μπορεί να παράγει δυναμική επίδραση πανω στη κατασκευή.

Η δυναμική ανάλυση μπορεί να εκτελείται με πεδίο ορισμού τον χρόνο ή την συχνότητα. Εάν το φορτίο περιγράφεται σε στατιστικές περιόδους είναι επίσης και η στατιστική περιγραφή της αντίδρασης που γυρεύουμε. Οι ιδιότητες της κατασκευής μπορεί να είναι εξαρτημένες από τον χρόνο ή ανεξάρτητες. Σε μια στατιστική ανάλυση αυτές οι επιδράσεις θα λαμβάνονται υπόψιν.

Τα μοντέλα με δυναμική αντίδραση αποτελούνται από :

- Ένα μοντέλο ανθεκτικότητας
- Ένα μοντέλο απόσβεσης
- Και ένα μοντέλο αδράνειας

Το μοντέλο ανθεκτικότητας είναι αρχικά ίδιο όπως στην στατική ανάλυση. Εξαιτίας όμως δυναμικών επιδράσεων, αυτές μπορούν να αυξήσουν την ανθεκτικότητα, παρόλο που επαναλήψεις μπορεί να προκαλέσουν επιδείνωση και μείωση της ανθεκτικότητας. Για μη-γραμμικά μοντέλα υλικού, υπάρχει συνήθως μια αναλογία τάσης που εξαρτάται από την αύξηση του ορίου διαρροής.

Οι δυνάμεις αδράνειας προέρχονται από επιτάχυνση της μάζας της κατασκευής, των στοιχείων της και από την προστιθέμενη μάζα που προέρχεται από τα περιβάλλοντα υγρά, τον αέρα και το έδαφος. Αυτή η επιπρόσθετη μάζα δημιουργείται από αλληλεπίδραση της κατασκευής με το περιβάλλον.

Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί να εκτελέσουμε δυναμική ανάλυση θεωρώντας διαφορετική κατανομή της μάζας στην κατασκευή μας.

Η απόσβεση μπορεί να προέρχεται από διάφορους τύπους μηχανισμών .Οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί είναι:

- Απόσβεση υλικού , για παράδειγμα ελαστικής φύσεως ή από πλαστική συμπεριφορά υλικού
- Απόσβεση εξαιτίας της τριβής σε διάφορους συνδέσμους
- Απόσβεση λόγω μη κατασκευαστικών μελών
- Γεωμετρική απόσβεση
- Απόσβεση υλικού από το έδαφος
- Αεροδυναμική και υδροδυναμική απόσβεση

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντίστασης σε περίπτωση αστοχίας εξαρτώνται σημαντικά τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται στην κατασκευή μας . Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να ισχύουν γενικοί κανόνες σε τέτοια μοντέλα . Σε πολλές όμως περιπτώσεις τα μοντέλα μπορούν να βασίζονται πάνω σε εμπειρικά γνωστές σχέσεις μεταξύ της αντίστασης και των αριθμό επαναλήψεων του φορτίου , ή σε μή μηχανικές θραύσεις .

4.3.4 Υπολογιστικά μοντέλα για τις αβεβαιότητες

Ένα τέτοιο υπολογιστικό μοντέλο βασίζεται εξ'ολοκλήρου σε εμπειρικές σχέσεις μεταξύ των σχετικών μεταβλητών που χαρακτηρίζονται γενικά ως τυχαίες μεταβλητές .

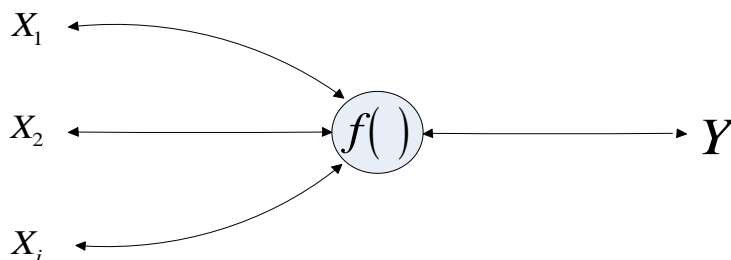
$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Όπου

Y : η πρόβλεψη από το μοντέλο

$f()$: η συνάρτηση του μοντέλου

X_i : οι κύριες μεταβλητές



Εικόνα 11- Απεικόνιση του υπολογιστικού μοντέλου

Το μοντέλο $f(\)$ μπορεί να είναι πλήρες και ακριβές έτσι ώστε , έαν οι τιμές των μεταβλητών X_i είναι γνωστές από ένα συγκεκριμένο πείραμα (μετρήσεις) το αποτέλεσμα της Y μπορεί να διεξαχθεί χωρίς κάποιο λάθος. Στις περισσότερες περιπτώσεις το μοντέλο αυτό είναι δεν είναι ούτε πλήρες άλλα ούτε ακριβές .Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα από έλλειψη γνώσης , η μιας εσκεμμένης απλούστευσης του μοντέλου για την ευκολία του σχεδιαστή .Τα πραγματικά αποτελέσματα μπορούν να γραφούν ως :

$$Y' = f'(X_1, X_2, \dots, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$$

Οι θ_i αναφέρονται ως παράμετροι που εμπεριέχουν τις αβεβαιότητες του υπολογιστικού μοντέλου και συμπεριφέρονται ως τυχαίες μεταβλητές. Οι στατιστικές τους ιδιότητες στις περισσότερες περιπτώσεις μπορούν να προέρχονται από πειράματα ή παρατηρήσεις .Σε μοντέλα αντίδρασης η μέση τιμή αυτών των παραμέτρων θα πρέπει να καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το υπολογιστικό μοντέλο κατα προσέγγιση να προβλέπει σωστά τα αποτελέσματα του πειράματος .

Στις περισσότερες περιπτώσεις ειδικά σε μοντέλα που οι σχεδιαστικές τους προδιαγραφές βασίζονται σε υποθέσεις (συνήθως στην περιοχή εμπιστοσύνη), οι οποίες δεν επαληθεύουν τις πραγματικές συνθήκες, τότε η αξιολόγηση των αβεβαιοτήτων που προέρχονται απο το μοντέλο σύμφωνα με τις παραπάνω αρχές που περιγράφηκαν θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν .

4.3.5 Υπολογιστικά μοντέλα καταπόνησης σε κόπωση

Σε κατασκευές που φορτίζονται από μεταβαλλόμενες με το χρόνο δράσεις αστοχίες μπορεί να εμφανιστούν με επίπεδα φόρτισης που είναι σημαντικά χαμηλότερα από τα επίπεδα που αναμένεται κανονικά η αστοχία. Αυτή η αστοχία εμφανίζεται λόγω της αύξησης των ρωγμών . Ο πλήρης μηχανισμός αποτελείται από τρία στάδια:

- a) Μια αρχική φάση , κατά την οποία σχηματίζονται οι ρωγμές .
- b) Μια φάση όπου οι ρωγμές αυξάνονται , κατά την οποία η σταθερή αύξηση δημιουργείται στην διάρκεια των επαναλήψεων των φορτίων
- c) Μια φάση αστοχίας , κατά την οποία μια ασταθής αύξηση των ρωγμών οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία (brittle fracture) ή όλκιμη αστοχία (ductile tearing) , ή μια μειωμένη διατομή αστοχεί λόγω διαρροής υλικού .

Κατά την διάρκεια της αύξησης των ρωγμών , εμφανίζονται μεγάλες εναλλασσόμενες πλαστικές ζώνες , εμφανίζεται αστοχία μετά από σχετικά λίγες επαναλήψεις (του φορτίου) και ο μηχανισμός αναφέρεται ως ελάχιστος κύκλος αστοχίας .Όταν οι πλαστικές ζώνες είναι μικρές , ο μηχανισμός ονομάζεται ως μέγιστος κύκλος αστοχίας .

Δυο κύριες μέθοδοι ανάλυσης διακρίνονται :

- Η μέθοδος προσέγγισης S-N line
- Η προσέγγιση με τον Μηχανισμό Αστοχίας (Fracture Mechanics)

Και οι δύο μέθοδοι θα αναφερθούν με κάποιες λεπτομέρειες . Οι μέθοδοι έχουν σχεδιαστεί για χαλύβδινες κατασκευές , όμως οι αρχές μπορεί να είναι χρήσιμες και για άλλα υλικά .

Μέθοδος S-N line

Η μέθοδος **S-N line** συνδυάζει και τις τρεις φάσεις του μηχανισμού αστοχίας και βασίζεται πλήρως σε πειράματα .Ένας αριθμός ελέγχων με αντιπροσωπευτικά δείγματα υποβάλλεται σε μια σειρά από συνεχές εναλλαγές φόρτισης μέχρι την αστοχία . Η απεικόνιση του εύρους της τάσης S , έναντι των αριθμών των επαναλήψεων (κύκλων) αστοχίας N ,δίνει την μέθοδο **S-N line**. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εξαρτάται ή και όχι από την μέση τιμή της τάσης .Για να αντιμετωπίσουμε ένα εύρος πραγματικών μεταβλητών των φορτίων στην κατασκευή , θα πρέπει να εφαρμοστεί ένας αθροιστικός κανόνας αστοχίας .

Ο πιο γνωστός κανόνας που χρησιμοποιείται είναι ο γραμμικός κανόνας αστοχίας του **Palmgren-Miner** .Σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα η αστοχία εμφανίζεται όταν ,

$$\sum \frac{n_i}{N_i} > D_c$$

n_i είναι ο αριθμός των επαναλήψεων του φορτίου που εφαρμόζονται με επίπεδο εύρους τάσης S_i

N_i είναι ο αριθμός των εναλλαγών του φορτίου που αστοχεί για εύρος τάσης S_i

D_c είναι η κρίσιμη τιμή του συντελεστή αστοχίας

Το εύρος της τάσης S_i περιλαμβάνει και τις επιπτώσεις από την συγκέντρωση τοπικών τάσεων (π.χ στα άκρα των συγκολλήσεων). Για να βρούμε τον αριθμό των τάσεων n_i για κάθε εύρος τάσεων S_i ειδικές διαδικασίες μετρήσεων μπορεί να είναι απαραίτητες . Ο κανόνας Palmgren-Miner δεν λαμβάνει υπόψη του την διαδοχή των επιδράσεων .Στην ιδανική περίπτωση η κρίσιμη τιμή D_c είναι ίση με 1,0 γενικά εξαρτάται από το παρελθόν φόρτισης της κατασκευής , το περιβάλλον και το είδος του υλικού

Μηχανισμοί αστοχίας από κόπωση

Σε αυτήν την μέθοδο προσέγγισης , ξεχωριστά μοντέλα χρησιμοποιούνται για τρία διαφορετικά στάδια .

- a) Το αρχικό στάδιο εμφάνισης των ρωγμών συχνά αποδίδεται με την πρόσεγγιση της τοπικής καταπόνησης , αυτό κυρίως χρησιμοποιείται για μικρές δομικές πλάκες σε διάφορες άλλες εφαρμογές το στάδιο αυτό μπορεί να παραμελείται .
- b) Το στάδιο διάδοσης των ρωγμών, μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να περιγράφεται από ένα μοντέλο αύξησης των ρωγμών , όπου το μέγεθος της ρωγμής a_t μετά από κάποιο χρόνο t είναι μια συνάρτηση του αρχικού μεγέθους της ρωγμής a_0 , του ιστορικού της τοπικής ονομαστικής τάσης $\sigma(\tau)$, της αντίσταση της κόπωσης R_t , η οποία εξαρτάται απο τις τοπικές ιδιότητες του υλικού και την γεωμετρία .

$$a_t = f(a_0, \sigma(\tau), R_t) \quad (0 < \tau < 1)$$

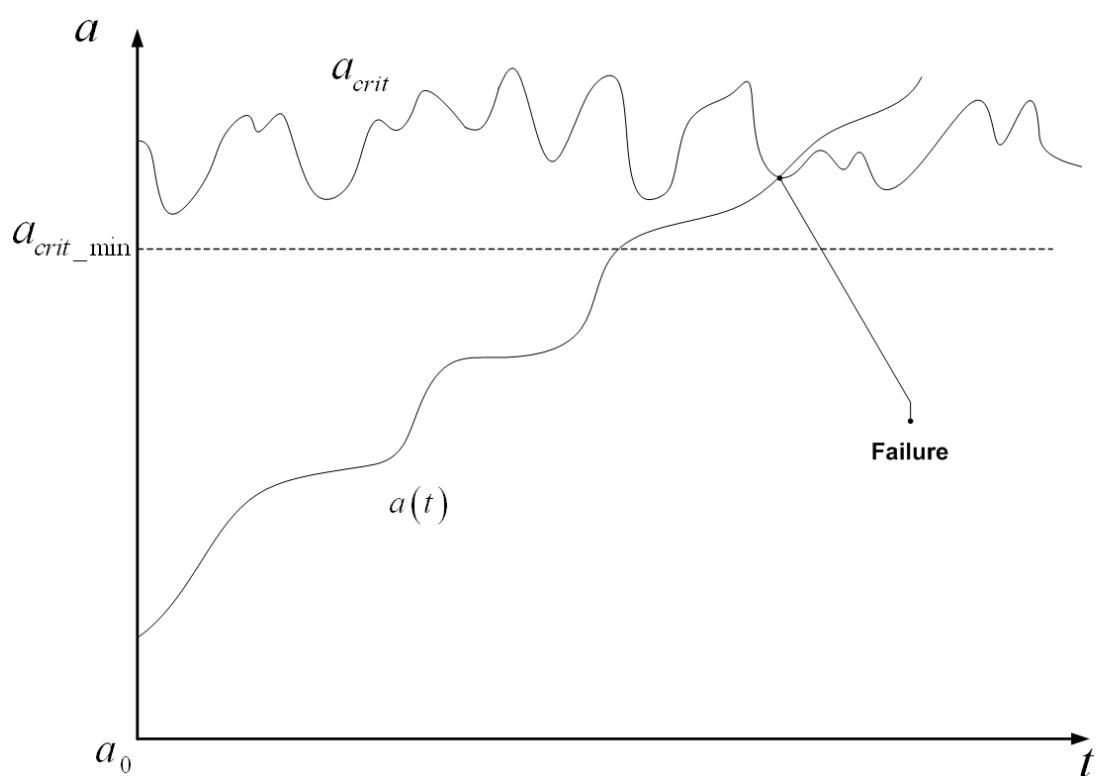
Στα περισσότερα μοντέλα ρωγμών , το ιστορικό της τάσης $\sigma(\tau)$ μπορεί να δίνεται σαν μια σειρά εναλλαγών του φορτίου. Επιπλέον το μήκος , το βάθος και το πλάτος της ρωγμής μπορούν να κριθούν ως απαραίτητα στο υπολογισμό.

- c) Το στάδιο αστοχίας μοντελοποιείται με την χρήση της κρίσιμης τιμή της ρωγμής. Κάθε επίπεδο τάσεων $\sigma(\tau)$ μπορεί να συνδέεται με μια κρίσιμη τιμή της ρωγμής $a_{crit,t}$, έτσι ώστε , θεωρώντας όλους τους πιθανούς τρόπους αστοχίας, μια τάση ίση με την $\sigma(\tau)$ θα οδηγούσε σε αστοχία όταν θα ισχύει $a_t > a_{crit,t}$. Η συνάρτηση οριακής κατάστασης για αστοχία από κόπωση μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής :

$$g(X) = \min(a_{crit,t} - a_t) \quad (0 < t < T)$$

ή $g(X) = \min(a_{crit,t}) - \max(a_t) \quad (0 < t < T)$

Το ελάχιστο (μέγιστο) θα λαμβάνεται για την σχεδιασμένη συνολική διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής T . Οι παραπάνω εξισώσεις και απεικονίζονται στην Εικόνα 4.3.5.1 .



Εικόνα 4.3.5.1-Στάδιο αστοχίας

4.4 Αρχές στον πιθανολογικό σχεδιασμό

4.4.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την μέθοδο θεωρούμε τις βασικές μεταβλητές ως τυχαίες μεταβλητές και τις επεξεργαζόμαστε με διαδικασίες βασισμένες στις πιθανότητες.

Οι διαδικασίες αυτές όταν η κατασκευή και το φορτίο είναι γνωστά δίνουν μια αρκετά προσεγγιστική τιμή της αξιοπιστίας (δηλ. πιθανότητα αστοχίας). Στην πλειοψηφεία των περιπτώσεων αυτή η τιμή θα πρέπει να θεωρείται ως τιμή αναφοράς. Όμως η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σταθερές μετρήσεις μεταξύ ποικίλων σχεδιαστικών συνθηκών και ως εκ τούτου για την βαθμονόμηση του καθορισμένου βαθμού αξιοπιστίας. Ο βαθμός αξιοπιστίας μπορεί να διαφέρει σύμφωνα με τις επιπτώσεις της αστοχίας.

Ένας σχεδιασμός βασισμένος στις πιθανότητες δηλώνει πως η κατασκευή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε για παράδειγμα, η πιθανότητα αστοχίας P_f , δεν υπερβαίνει μια καθορισμένη τιμή P_{fs} , περισσότερο από κάποιο καθορισμένο διάστημα χρόνου.

$$P_f \leq P_{fs}$$

Η αστοχία συνδέεται με την μετακίνηση μιας οριακής κατάστασης από την επιθυμητή κατάσταση στην ανεπιθύμητη. Η ανεπιθύμητη περιοχή εκφράζεται από την παρακάτω οριακή συνάρτηση :

$$g(X) < 0$$

Όπου X οι κύριες μετακλητές οι οποίες σχετίζονται με το πρόβλημα. Γενικά οι κύριες μεταβλητές που εκφράζουν μεταβλητές δράσεις και περιβαλλοντικές επιρροές θα πρέπει να περιγράφονται με την βοήθεια μιας τυχαίας διαδικασίας.

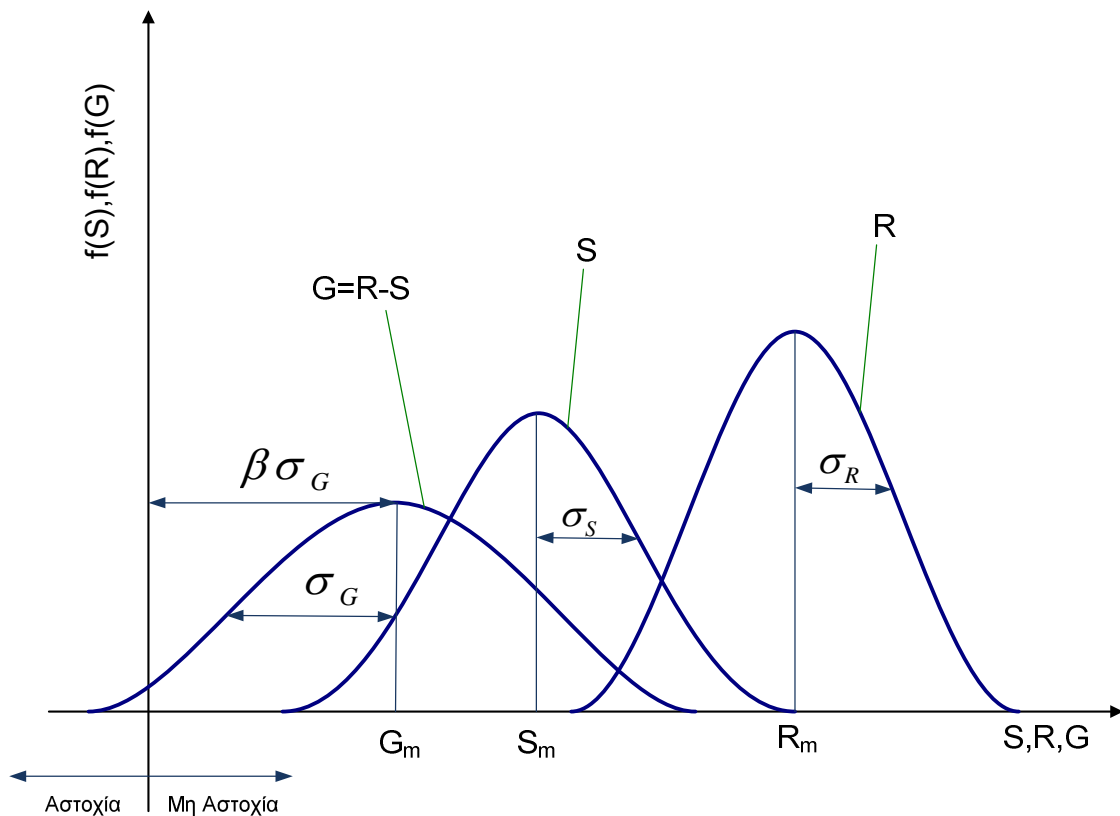
Σε πολλές περιπτώσεις όμως μια περιγραφή ως τυχαία μεταβλητή μέσω μιας συνάρτησης κατανομής πιθανοτήτων μπορεί να είναι επαρκής στο μέγιστο εντός μια δοσμένης περιόδου αναφοράς. Άλλες βασικές μεταβλητές (όπως είναι το υλικό που υπόκεινται σε διάβρωση) μπορούν να είναι ανεξάρτητες από τον χρόνο.

Η αντίσταση ενός φορέα της κατασκευής περιγράφεται μέσω των μεγεθών αντίστασης που παράγονται από τα γεωμετρικά μεγέθη (επιφάνεια διατομής, επιφανειακές ροπές) και τις αντοχές του υλικού. Η αντίσταση ενός φορέα στις αντίστοιχες δράσεις είναι περιορισμένη, έχει κάποιο συγκεκριμένο όριο και εξαντλείται σε περίπτωση μεγάλων καταπονήσεων.

Αυτές οι οριακές καταστάσεις περιγράφονται σαν ικανότητα καταπόνησης (π.χ οριακή ορθή τάση). Η αστοχία λοιπόν μιας κατασκευής δεν επέρχεται όταν ισχύει η παρακάτω σχέση :

$$\text{Καταπόνηση } S \leq \text{Ικανότητα καταπόνησης } R$$

Οι δράσεις λοιπόν ή οι αντίστοιχες καταπονήσεις με βάση την πιθανολογική θεώρηση της ασφάλειας λαμβάνονται υπόψιν σαν μεγέθη που εμφανίζουν διαφορά .



Εικόνα 4.4.1-Γραφική απεικόνιση της πιθανολογικής θεώρησης της ασφάλειας

Η παραπάνω σχέση αστοχίας εκφράζεται μέσω της οριακής συνάρτησης

$$g = R - S$$

Με την αύξηση της απόστασης μεταξύ των δυο κωδωνοειδών καμπυλών , μπορεί να αποκλεισθεί με την ζητούμενη πιθανότητα , η αστοχία . Οι συναρτήσεις κατανομής , οι μέσες τιμές και η διασπορά διαφέρουν για τις επιμέρους δράσεις και αντιστάσεις , πρέπει δε να προστεθεί και ο όχι ασήμαντος όγκος υπολογισμών για την έκφραση περισσότερων δράσεων και επιδράσεις αντιστάσεων .

Ορίζονται λοιπόν για τα μεγέθη αυτά χαρακτηριστικές τιμές , δηλαδή ποσοστιαίες τιμές της πιθανότητας $P\%$. Από την θεώρηση της αστοχίας μπορούν να καθοριστούν οι απαιτούμενοι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας ή αν αυτό έχει ήδη συμβεί να προσδιοριστούν οι αντίστοιχες τιμές του $P\%$.

Για τις περισσότερες απόλυτες οριακές καταστάσεις και για κάποιες οριακές καταστάσεις στην λειτουργικότητα η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$P_f = P[g(X) < 0]$$

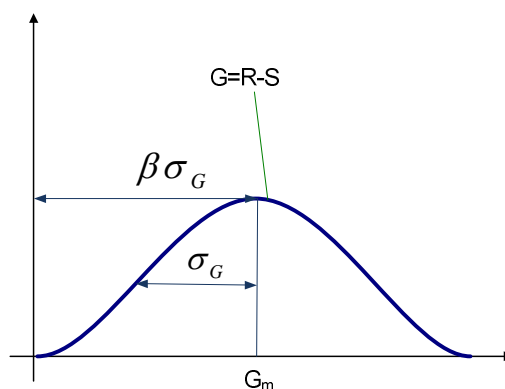
Σε περίπτωση που οι μεταβλητές εξαρτώνται από τον χρόνο το ελάχιστο της $g(X)$ σε σεβασμό πάντα με τον χρόνο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν.

Για κάποιες ειδικές οριακές καταστάσεις και για πολλές λειτουργικές οριακές καταστάσεις, η πρώτη υπέρβαση της οριακής κατάστασης δεν σημαίνει αστοχία. Σε αυτές τις περιπτώσεις επέρχεται αστοχία μόνο όταν εφαρμόζονται κάποιες πρόσθετες συνθήκες και τότε το κριτήριο αστοχίας θα πρέπει να τροποποιηθεί για κάθε ξεχωριστή περίπτωση .

Εξαιτίας της εξάρτησης της από τον χρόνο η πιθανότητα αστοχίας , P_f , θα πρέπει εκ τω προτέρων να αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη και καθορισμένη περίοδο του χρόνου, δηλαδή την περίοδο αναφοράς . Πιθανότητες μεγάλης χρονικής διάρκειας μπορεί να χρησιμοποιηθούν όταν οι οικονομικές επιπτώσεις είναι καθοριστικές .

Η πιθανότητα αστοχίας P_f μπορεί να υποκατασταθεί από έναν δείκτη αξιοπιστίας β , μέσω της έκφρασης $\beta = -\Phi^{-1}(P_f) = \frac{\mu_G - 1}{\sigma_G}$, (Εικόνα 4.4.2)

όπου Φ^{-1} είναι η αντίστροφη κανονική κατανομή μ_G και σ_G η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της κανονικής συνάρτησης κατανομής g .

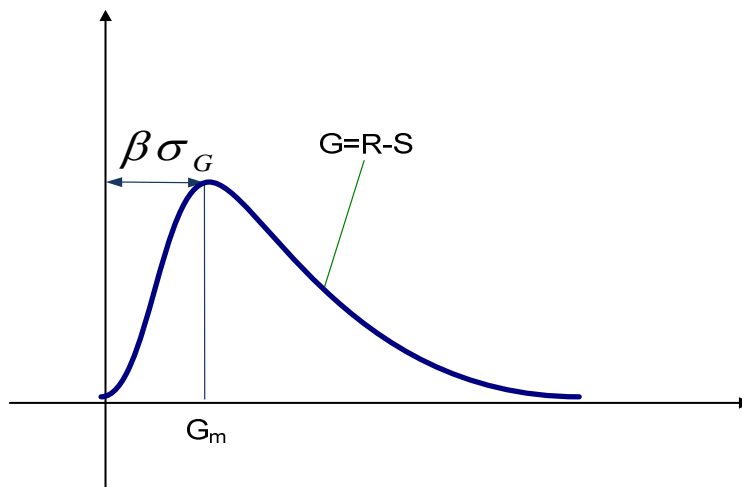


Εικόνα 4.4.2-Βαθμός αξιοπιστίας β για κανονική κατανομή

Συνεπώς ο βαθμός αξιοπιστίας β εκφράζει πόσες φορές της τυπικής απόκλισης απέχει η μέση τιμή της δράσης από τον οριακή της τιμή. Αντίστοιχα για λογαριθμική κατανομή της συνάρτησης g ο βαθμός αξιοπιστίας δίδεται από την παρακάτω σχέση :

$$\beta_{ln} = \frac{\ln \left[\frac{\mu}{\sqrt{1+V^2}} \right]}{\sqrt{\ln(1+V^2)}}$$

Όπου μ_G η μέση τιμή και V ο συντελεστής μεταβλητότητας λογαριθμικής κανονικής συνάρτησης κατανομής g (Εικόνα 4.4.3).



Εικόνα 4.4.3 - Βαθμός αξιοπιστίας β για λογαριθμική κατανομή

Γενικά είναι πολύ δύσκολο να εφαρμόσουμε τις παραπάνω αρχές στην πράξη . Το κύριο νόημα είναι πως πρέπει να υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ της θεωρητικής πιθανότητας αστοχίας στην διαδικασία σχεδιασμού με την πραγματική τιμή της συχνότητας αστοχίας.

Για αυτό τον λόγο , τα αντικειμενικά επίπεδα της αξιοπιστίας συνήθως βασίζονται στην διαβάθμιση . Με την χρήση στοχευμένων τιμών αξιοπιστίας , θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πως σχετίζονται με ένα καθορισμένο σύνολο των κατασκευαστικών και πιθανολογικών μοντέλων .

Η χρήση των στοχευμένων τιμών σε συνδυασμό με τα άλλα μοντέλα το αποτέλεσμα τους μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές ή χαμηλές τιμές επιπέδου της αξιοπιστίας .

Οι αριθμητικές τιμές της αξιοπιστίας συνήθως περιγράφονται από την ενδεικτική τιμή του βαθμού αξιοπιστίας β με την σχέση $\beta = -\Phi^{-1}(P_f)$ όπου P_f η πιθανότητα αστοχίας καθ'όλη την διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής . Η σχέση μεταξύ των β και P_f δίνεται από τον **Πίνακα 12** .

Πίνακας 12 –Σχέση μεταξύ των β και P_f

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1.3	2.3	3.1	3.7	4.2	4.7	5.2

4.4.2 Εκτέλεση του σχεδιασμού

Η μέθοδος των πιθανοτήτων μπορεί να εφαρμόζεται άμεσα για να επιτύχουμε σχεδιασμό με βαθμό αξιοπιστίας κοντά στις καθορισμένες τιμές. Τέτοια προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενδεχομένως σε τυποποιημένες :

- Μετρήσεις με αβεβαιότητα
- Μεθόδους αξιοπιστίας

Αντί να χρησιμοποιήσουμε μια άμεση μέθοδο πιθανοτήτων , μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δύο παρακάτω απλουστεύσεις :

- a. Μέθοδος σχεδιασμού των χαρακτηριστικών τιμών
- b. Μέθοδος σχεδιασμού των μερικών συντελεστών

Και στις δύο περιπτώσεις οι μέθοδοι αυτοί βαθμονομούνται σύμφωνα με το συγκεκριμένο εύρος των κατασκευαστικών σχεδίων , δράσεων κ.α. Ο σχεδιασμός λαμβάνεται έτσι ώστε να προσεγγίζει με ακρίβεια τον σχεδιασμό που γίνεται από την άμεση μέθοδο των πιθανοτήτων

4.4.3 Μέθοδος σχεδιασμού των χαρακτηριστικών τιμών

Υποθέτουμε πως η οριακή κατάσταση μπορεί να καθοριστεί από ένα υπολογιστικό μοντέλο σε περιόδους μιας ή περισσότερων συναρτήσεων $g(\cdot)$ με ένα σύνολο μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_n περιέχοντας τις δράσεις, ιδιότητες των υλικών κ.α., έτσι ώστε μια συνθήκη δεν θα αστοχεί από την σχέση $g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0$ και μπορεί να συνδυαστεί με την οριακή κατάσταση.

Οι απαιτήσεις του σχεδιασμού μπορούν να περιγραφούν από την σχέση

$$g(x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}) \geq 0$$

όπου $x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}$ είναι οι τιμές σχεδιασμού σύμφωνα.

Οι τιμές σχεδιασμού x_{id} των μεταβλητών \underline{X}_i εξαρτώνται από :

- Τις παραμέτρους των μεταβλητών \underline{X}_i
- Τον υποτιθέμενο τύπο της κατανομής της μεταβλητής
- Την αντικειμενική τιμή του δείκτη αξιοπιστίας β για την οριακή κατάσταση και τις συνθήκες σχεδιασμού που μας ενδιαφέρουν.
- Έναν συντελεστή a_d που περιγράφει την ευαισθησία στις μεταβολές των \underline{X}_i , σύμφωνα με την οριακή κατάσταση μελετάται.

Για μια αυθαίρετη κατανομή $F(x_{id})$ οι τιμές σχεδιασμού δίνονται από την σχέση:

$$F(x_{id}) = \Phi(-a_d \cdot \beta)$$

Εάν υποθέσουμε πως οι μεταβλητές \underline{X}_i διέπονται από μια κανονική κατανομή, τότε

$$x_{id} = \mu_i (1 - a_d \cdot \beta \cdot V_i)$$

μια Λογαριθμική κατανομή δίνει

$$x_{id} = \xi_i \exp(-a_d \beta v_i)$$

όπου $\xi_i = \frac{\mu_i}{\sqrt{1 + V_i^2}}$

και $v_i = \sqrt{\ln(1 + V_i^2)}$

Για μικρές τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας V_i (π.χ $V_i \leq 0.25$) τότε , $\xi_i = \mu_i$ και $v_i = V_i$ (μ_i η αντίστοιχη μέση τιμή της μεταβλητής και $V_i = \frac{\sigma_i}{\mu_i}$ ο συντελεστής μεταβλητότητας της) .

Συντελεστής ευαισθησίας a_i

Εάν οι τυχαίες μεταβλητές είναι ανεξάρτητες , οι συντελεστές a_i σε μια μέθοδο ανάλυσης θα πρέπει να τηρούν τους παρακάτω περιορισμούς .

- $-1 \leq a_i \leq 1$
- $\sum a_i^2 = 1$

Αρχικά οι τιμές των a_i θα πρέπει να υπολογίζονται από έναν αντιπροσωπευτικό αριθμό υπολογισμών , αυτό σημαίνει πως μπορεί να απαιτείται μεγάλο πλήθος επαναλήψεων πράγμα που δεν είναι βολικό. Όμως βασιζόμενοι στην εμπειρία , αναπτύχθηκε ένα σύνολο τυποποιημένων τιμών των a_i , το οποίο παρουσιάζονται στον Πίνακα 13 . Να σημειώσουμε πως το άθροισμα των τετραγώνων των a_i , ($\sum a_i^2$) μπορεί να είναι μεγαλύτερο της μονάδας . Για να περιορίσουμε τα σφάλματα στην χρήση του Πίνακα 13 , συνήθως απαιτείται η συνθήκη $0.16 \leq \sigma_S / \sigma_R \leq 6.6$, όπου S η καταπόνηση της κατασκευής και R η κυρίαρχη παράμετρος της αντίστασης, και σ οι τυπικές αποκλίσεις τους .

Πίνακας 13-Τυποποιημένες τιμές του a_i

\underline{X}_i	a_i
<i>Κυρίαρχη παράμετρος αντίστασης R</i>	0.8
<i>Άλλες παράμετροι αντίστασης</i>	$0.4 * 0.3 = 0.32$
<i>Κυρίαρχη παράμετρος καταπόνησης S</i>	-0.7
<i>Άλλες παράμετροι καταπόνησης</i>	$-0.4 * 0.7 = -0.28$

Κατά την εφαρμογή του Πίνακα 13 μπορεί να είναι άγνωστο για το ποιά μεταβλητή θα λαμβάνεται ως "κυρίαρχη" ή δεσπόζουσα . Ένας τρόπος εύρεσης είναι να μετατρέψουμε όλες τις μεταβλητές σε κυρίαρχες και να παρατηρήσουμε για κάθε μία ξεχωριστά ποια είναι εκείνη μας ενδιαφέρει για τον σχεδιασμό .Μερικές φορές αυτό γίνεται σύμφωνα με το επίπεδο των κανονισμών , άλλες φορές είναι θέμα του σχεδιαστή (π.χ έλεγχος των διάφορων περιπτώσεων φόρτισης) .

Εκτίμηση των τιμών διαστασιολόγησης των δράσεων

Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης μιας δράσης F_d προκύπτει γενικά από την σχέση

$$F_d = \gamma_F F_k$$

Όπου γ_F είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για την εξεταζόμενη δράση με τον οποίο λαμβάνεται υποψη π.χ το ενδεχόμενο αποκλίσεων των δράσεων από τις πραγματικές τιμές τους, ενδεχόμενο ανακριβειών στην προσομοίωση τους, αβεβαιότητες στον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών καθώς και αβεβαιότητες στον καθορισμό της οριακής κατάστασης. Για διάφορες καταστάσεις διαστασιολόγησης ισχύουν διαφορετικοί επιμέρους συντελεστές γ_F .

Εκτίμηση των τιμών διαστασιολόγησης των καταπονήσεων

Οι εκτιμώμενες τιμές των καταπονήσεων (E) είναι η αντίδραση του φορέα της κατασκευής στην αντίστοιχη δράση F . Οι τιμές διαστασιολόγησης των καταπονήσεων E_d μπορούν να υπολογίζονται από τις τιμές διαστασιολόγησης των δράσεων F_d , τα γεωμετρικά μεγέθη a_d και όπου απαιτείται από τις ιδιότητες του υλικού της κατασκευής.

$$E_d = E(F_d, a_d, \dots)$$

Με τον όρο καταπονήσεις νοούνται τόσο τα μεγέθη των δυνάμεων και των τάσεων όσο και τα μεγέθη παραμορφώσεων (βέλος κάμψης, στροφές κ.α.). Προκύπτουν από τον στατικό υπολογισμό του φορέα της κατασκευής για τις δράσεις ή τους συνδυασμούς δράσεων. Όταν πρόκειται για μεγέθη δυνάμεων χρησιμοποιείται ο συμβολισμός S_d αντί του E_d .

Εκτίμηση των τιμών της ικανότητας καταπόνησης

Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης της αντίστασης της κατασκευής R_d προκύπτει από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του υλικού καθώς και από τα γεωμετρικά μεγέθη :

$$R_d = \frac{R(f_k, a_k, \dots)}{\gamma_m}$$

Εκτίμηση των τιμών διαστασιολόγησης των γεωμετρικών μεγεθών

Τα γεωμετρικά μεγέθη όπως είδαμε και παραπάνω συμβολίζονται από το a_d και περιγράφονται μέσω των ονομαστικών μεγεθών τους a_{nom} :

$$a_d = a_{nom}$$

Σε οποιοσδήποτε άλλες περιπτώσεις όπου πρέπει θα εφαρμόζεται κάτι διαφορετικό.

4.4.4 Μέθοδος σχεδιασμού των μερικών συντελεστών

Η μέθοδος των μερικών συντελεστών ξεχωρίζει τις επιρροές των αβεβαιοτήτων και τις διακυμάνσεις που προέρχονται διάφορες αιτίες, μέσω των σχεδιαστικών τιμών που εκχωρούνται στις κύριες μεταβλητές, η οριακή συνάρτηση παίρνει την εξής μορφή :

$$g(F_d, f_d, a_d, \theta_d, C, \gamma_n) \geq 0$$

Όπου

F_d είναι οι εκτιμώμενες τιμές διαστασιολόγησης των δράσεων

f_d είναι οι εκτιμώμενες τιμές διαστασιολόγησης των ιδιοτήτων του υλικού

a_d είναι οι τιμές σχεδιασμού των γεωμετρικών ποσοτήτων

θ_d είναι οι τιμές σχεδιασμού των μεταβλητών θ που υπολογίζονται για τις αβεβαιότητες του μοντέλου της συνάρτησης Y'

C είναι οι περιορισμοί της λειτουργικότητας

γ_n είναι ένας συντελεστής για τον οποίο η σοβαρότητα της κατασκευής και οι συνέπειες της αστοχίας, συμπεριλαμβάνοντας την σημαντικότητα του τύπου της αποτυχίας, λαμβάνονται υπόψιν. Η τιμή του γ_n μπορεί να εξαρτάται από τον καθορισμένο βαθμό αξιοπιστίας της κατασκευής ή ενός κατασκευαστικού στοιχείου της.

Η παραπάνω εξίσωση θα πρέπει να θεωρείται ως μια συμβολική περιγραφή των κανόνων. Κάθε σύμβολο σε αυτή την εξίσωση μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ξεχωριστή μεταβλητή ή ένα διάνυσμα που περιέχει πολλές μεταβλητές.

Οι κύριες μεταβλητές χωρίζονται σε :

➤ Πρωτεύουσες κύριες μεταβλητές

a) Οι διαστάσεις των κατασκευαστικών στοιχείων, όταν είναι διαθέσιμα τα σχεδιαστικά έγγραφα και δεν έχουν γίνει αλλαγές στις διαστάσεις των στοιχείων ή δεν έχουν εμφανιστεί άλλα στοιχεία αποκλίσεων, σύμφωνα πάντα με τα αρχικά σχέδια θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην ανάλυση. Οι διαστάσεις αυτές θα επαληθευονται με έλεγχο με τον κατάλληλο επαρκή βαθμό.

b) Τα χαρακτηριστικά των φορτίων θα πρέπει να παρουσιάζονται με τις κατάλληλες τιμές που αντιπροσωπεύουν την πραγματική κατάσταση. Η εμφάνιση υπερφόρτισης στο παρελθόν σημαίνει αύξηση των αντιπροσωπευτικών τιμών των φορτίων. Όταν κάποια φορτία μειώνονται ή έχουν απομακρυνθεί εντελώς, οι αντιπροσωπευτικές τιμές του μέτρου του φορτίου μπορούν να μειωθούν κατάλληλα και/ή να ρυθμιστούν οι μερικοί συντελεστές.

- c) Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του υλικού θα πρέπει να μελετώνται σύμφωνα με την παρούσα κατάσταση της κατασκευής, όταν τα γνήσια κατασκευαστικά σχέδια είναι διαθέσιμα και δεν υπάρχει κάποια ατέλεια, ή κάποια σχεδιαστικά λάθη, η χαρακτηριστική τους τιμή σύμφωνα πάντα με τα αρχικά σχέδια θα πρέπει να χρησιμοποιείται. Εάν είναι δυνατόν, θα πρέπει να γίνονται καταστροφικοί – μη καταστροφικοί έλεγχοι και θα επαληθεύονται με στατιστικές μεθόδους.
- d) Οι αβεβαιότητες στο υπολογιστικό μοντέλο θα πρέπει να μελετώνται κατά τον ίδιο τρόπο όπως και κατά την διάρκεια του σχεδιασμού, εκτός και αν υποδεικνύουν προηγούμενη συμπεριφορά της κατασκευής (κυρίως βλάβη). Σε μερικές περιπτώσεις, παράγοντες, συντελεστές του μοντέλου και άλλες υποθέσεις που έγιναν κατά τον σχεδιασμό θα πρέπει να καθιερώνονται από μετρήσεις πάνω στην υπάρχουσα κατασκευή (π.χ συντελεστής της πίεσης του ανέμου, κ.α.)

➤ Άλλες κύριες μεταβλητές

Οι πρωτεύουσες κύριες μεταβλητές είναι εκείνες που έχουν πρωταρχική σημαντικότητα για το αποτέλεσμα του σχεδιασμού. Θα πρέπει να καθορίζονται από αυτούς τους κανόνες που διαχειρίζονται τις δράσεις και τις κατασκευές συγκεκριμένων υλικών.

Να σημειωθεί εδώ για παράδειγμα πως για την απόλυτη οριακή κατάσταση μιας προεντεταμένης δοκού από σκυρόδεμα ενισχυμένη με χάλυβα, οι δυνάμεις του σκυροδέματος και του χάλυβα είναι πρωταρχικές κύριες μεταβλητές, όμως το μέτρο ελαστικότητας δεν είναι πρωταρχική κύρια μεταβλητή. Οι δράσεις συνήθως είναι πρωταρχικές κύριες μεταβλητές.

Ο σχεδιασμός των πρωταρχικών μεταβλητών F, f, a και θ πετυγχάνεται κατά των παρακάτω τρόπο:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_k$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

$$a_d = a_k \pm \Delta a$$

$$\theta_d = \gamma_d \quad \text{ή} \quad \theta_d = \frac{1}{\gamma_d}$$

Όπου

F_k είναι οι αντιπροσωπευτικές τιμές των δράσεων

f_k είναι οι χαρακτηριστικές τιμές των ιδιοτήτων των υλικών

a_k είναι οι χαρακτηριστικές τιμές των γεωμετρικών ποσοτήτων

γ_f είναι μερικοί συντελεστές για τις δράσεις

γ_m είναι μερικοί συντελεστές για τα υλικά

Δa είναι οι επιπρόσθετες γεωμετρικές ποσότητες

γ_d είναι μερικοί συντελεστές για αβεβαιότητες του μοντέλου

Ο συντελεστής γ_f λαμβάνει υπόψιν του :

- Την πιθανότητα των ανεπιθύμητων αποκλίσεων των τιμών των δράσεων από τις αντιπροσωπευτικές τιμές τους .
- Τις αβεβαιότητες σε ένα μοντέλο δράσης .

Ο γ_m λαμβάνει υπόψιν του :

- Την πιθανότητα των ανεπιθύμητων αποκλίσεων των ιδιοτήτων των υλικών από τις χαρακτηριστικές τους τιμές.
- Αβεβαιότητες στην μετατροπή των συντελεστών

Το Δa λαμβάνει υπόψιν του :

- Την πιθανότητα των ανεπιθύμητων αποκλίσεων των γεωμετρικών παραμέτρων από τις χαρακτηριστικές (καθορισμένες) τιμές τους συμπεριλαμβάνοντας την σημαντικότητα των διακυμάσεων στις γεωμετρικές ποσότητες a , την ανοχή των προδιαγραφών στο a , καθώς και τον έλεγχο στις αποκλίσεις του.
- Την επιπρόσθετη επίδραση της ταυτόχρονης εμφάνισης διαφόρων γεωμετρικών αποκλίσεων.

Ο μερικός συντελεστής γ_d λαμβάνει υπόψη του τις αβεβαιότητες των μοντέλων εφόσον αυτές μπορούν να βρεθούν μέσω μετρήσεων ή συγκριτικών υπολογισμών.

Για κύριες μεταβλητές διαφορετικές από τις αρχικές , ορίζονται εκ των προτέρων οι μερικοί συντελεστές ίση με 1 , ενώ οι επιπρόσθετες ποσότητες ίσες με μηδέν δηλαδή οι σχεδιαστικές τιμές είναι ίσες με τις χαρακτηριστικές τιμές .Σε κάποιες περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και μέσες τιμές .Οι μερικοί συντελεστές για τις δράσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τις συνέπειες που δημιουργούνται από τις αβεβαιότητες ενός μοντέλου δράσης – αντίδρασης .

Κατά τον ίδιο τρόπο οι μερικοί συντελεστές για αντίσταση μπορεί να περιλαμβάνουν την επίδραση των αβεβαιοτήτων από τις γεωμετρικές παραμέτρους και στα μοντέλα αντίστασης .

Σε αυτές τις περιπτώσεις οι συντελεστές γ_f και γ_m θα υποκαθιστούνται τους γ_F και γ_M . Οι τιμές των μερικών παραγόντων εξαρτώνται από την κατάσταση του σχεδιασμού και οι οριακές καταστάσεις που λαμβάνονται υπόψιν.

Εάν οι παραμορφώσεις απασχολούν τον σχεδιασμό , τότε η εξίσωση $g(F_d, f_d, a_d, \theta_d, C, \gamma_n) \geq 0$ θα πρέπει να παίρνει άλλη μορφή και μέρος των μεταβλητών της θα πρέπει να υποκαθίσταται από άλλου είδους μεταβλητές . Αυτό μπορεί να γίνει για παράδειγμα σε περιπτώσεις σεισμού.

4.4.5 Συνθήκες ελέγχου

a) Οριακή κατάσταση

1. Όταν εξετάζεται η οριακή κατάσταση της στατικής ισορροπίας ή μιας μετατόπισης της θέσης ή παραμόρφωσης του φορέα της κατασκευής μας θα πρέπει να αποδεικνύεται ο παρακάτω έλεγχος :

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

Όπου $E_{d,dst}, E_{d,stab}$ οι αντίστοιχες επιδράσεις των δυσμενών δράσεων που επιβάλλονται στην κατασκευή (τάσεις , ροπές , βέλη κάμψης κ.α).

2. Όταν εξετάζεται η οριακή κατάσταση θραύσης ή μιας υπερβολικής παραμόρφωσης για μια συγκεκριμένη διατομή , ή ενός στοιχείου ή μιας σύνδεσης (εκτός κόπωσης) της κατασκευής θα πρέπει να αποδεικνύεται :

$$S_d \leq R_d$$

Όπου S_d η τιμή διαστασιολόγησης ενός εντατικού μεγέθους (ή ενός διανυσματικού αθροίσματος περισσότερων εντατικών μεγεθών) και R_d η αντίστοιχη τιμή διαστασιολόγησης της αντίστασης της κατασκευής (ικανότητα καταπόνησης). Σε αυτά τα μεγέθη εισάγονται όλες οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του φορέα της κατασκευής με τις αντίστοιχες τιμές διαστασιολόγησης .

3. Όταν εξετάζεται μια οριακή κατάσταση " μετάπτωση του φορέα σε άλυσο " , θα πρέπει να αποδεικνύεται ότι ο μηχανισμός αυτός (κινηματική άλυσος) δεν σχηματίζεται πρότου οι δράσεις υπερβούν τις αντίστοιχες τιμές διαστασιολόγησης τους , όλες οι ιδιότητες του φορέα θα πρέπει να υπεισέρχονται με τις τιμές διαστασιολόγησης τους.

4. Όταν εξετάζεται δε μια οριακή κατάσταση " απώλεια ευστάθειας " , τότε πρέπει να αποδεικνύεται πως η απώλεια αυτή δεν επέρχεται προτού οι δράσεις υπερβούν τις αντίστοιχες τιμές διαστασιολόγησης τους , άλλες οι ιδιότητες εισάγονται με τις τιμές διαστασιολόγησης και επιπλέον θα πρέπει να γίνεται έλεγχος των διατομών σύμφωνα με το κριτήριο (2).

5. Όταν εξετάζουμε μια οριακή κατάσταση θράυσης λόγω κόπωσης θα πρέπει να αποδεικνύεται πως ο δείκτης λειτουργικής αντοχής δεν υπερβαίνει την καθορισμένη τιμή .

b) Οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας

Στην οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας θα πρέπει να αποδεικνύεται ότι :

$$E_d \leq C_d \text{ ή } E_d \leq R_d$$

Όπου :

C_d η καθοριστική για τη διαστασιολόγηση ονομαστική τιμή ή καθοριστική συνάρτηση συγκεκριμένων ιδιοτήτων του υλικού που αποτελούν την βάση και των εντατικών μεγεθών διαστασιολόγησης

E_d η τιμή διαστασιολόγησης των συνεπειών των φορτίων η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με τον συνδυασμό δράσεων πάνω στην κατασκευή

Κεφάλαιο 5 Σχεδιασμός των γερανών με βάση τις αρχές αξιοπιστίας των κατασκευών

5.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εφαρμόζονται οι αρχές αξιοπιστίας στον σχεδιασμό των γερανών . Αρχικά τα φορτία των γερανών που παρουσιάζονται στο τρίτο κεφάλαιο κατατάσσονται σε αντίστοιχες κατηγορίες δράσεων όπως εισάγονται στο τέταρτο κεφάλαιο . Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι εκτίμησης συνδυασμού δράσεων με βάση τα μοντέλα που εισάγονται στις αρχές επί της αξιοπιστίας . Τέλος γίνονται ενδεικτικές εφαρμογές για τις τέσσερις κατηγορίες γερανών για τους ίδιους συνδυασμούς φορτίων που παρουσιάζονται στις εφαρμογές του κεφαλαίου 3 .

5.2 Κατηγορίες φορτίων

Όπως είδαμε στο τέταρτο κεφάλαιο οι δράσεις σε συνάρτηση με τον χρόνο που επιβάλλονται σε μια κατασκευή διακρίνονται σε μόνιμες δράσεις , μεταβλητές και τυχαίες δράσεις . Τα φορτία των γερανών που παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.3 και στο κεφάλαιο 3 (παράγραφος 3.2) μπορούν να ταξινομηθούν σε αντίστοιχες κατηγορίες δράσεων οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω :

Μόνιμες δράσεις (G)

1. Δυνάμεις στο σύστημα ανύψωσης λόγω της ανύψωσης και της βαρύτητας , αναφέρονται στο βάρος του ίδιου του γερανού .
2. Φορτία αδράνειας και βαρύτητας κατά την ανύψωση του φορτίου , αναφέρονται στο βάρος του φορτίου προς ανύψωση καθώς και στο βάρος του συστήματος συγκράτησης του φορτίου.

Μεταβλητές δράσεις (Q)

1. Φορτία λόγω αιφνίδιας ελάττωσης του φορτίου
2. Φορτία κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια
3. Φορτία σε μέσα πρόσβασης
4. Δυνάμεις που προκαλούνται από επιταχύνσεις
5. Δυνάμεις λόγω των μετατοπίσεων
6. Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας
7. Φορτία λόγω κλιματικών επιδράσεων
8. Φορτία χιονιού και πάγου
9. Φορτία λόγω κλίσης
10. ¹⁾Φορτία λόγω διέγερσης της θεμελίωσης της κατασκευής στήριξης του γερανού
11. Φορτία συναρμολόγησης , διάλυσης και αποσυναρμολόγησης

Τυχαίες δράσεις (A)

1. Φορτία λόγω στρεβλώσεων
2. Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας
3. Φορτία σε συνθήκες ελέγχου
4. Δυνάμεις πρόσκρουσης στον τερματικό προσκρουστήρα
5. Φορτία λόγω έκτακτης διακοπής της λειτουργίας
6. ¹⁾Φορτία λόγω διέγερσης της θεμελίωσης της κατασκευής στήριξης του γερανού

Σημείωση 1 : Εάν τα φορτία που διεγείρουν την κατασκευή στήριξης του γερανού προέρχονται από σεισμούς τότε σύμφωνα με τις αρχές επί της αξιοπιστίας (παράγραφος 4.2.1) οι δράσεις σεισμού μπορούν να ταξινομούνται είτε ως τυχαίες ή μεταβλητές αντίστοιχα .

5.3 Εκτίμηση συνδυασμού δράσεων

5.3.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα της εκτίμησης , των τιμών των δράσεων που θα χρησιμοποιήθουν σε διάφορους συνδυασμούς είναι πολύ περίπλοκο . Οι ιδιότητες των διάφορων επιμέρους δράσεων είναι διαφορετικές και για τα χαρακτηριστικά τους αλλά και για τις λεπτομέρειες τους .

Συνεπώς , εάν διάφοροι τύποι δράσεων εφοδιάζονται με ένα κοινό σύστημα , η περιγραφή των παραμέτρων των δράσεων και η εκτίμηση των τιμών τους θα πρέπει να είναι είτε πολύ παρασταστική , ή πολύ περίπλοκη .

Σύμφωνα με την μέθοδο των μερικών συντελεστών και τους ορισμούς , η συγκεκριμένη παράγραφος επεξεργάζεται τα παρακάτω:

- Εκτίμηση των στατιστικών ιδιοτήτων και τις χαρακτηριστικές τιμές των μεταβλητών δράσεων .
- Εκτίμηση των συνδυαστικών τιμών (combination values) που προορίζονται για των συνδυασμό φορτίων στην απόλυτη οριακή κατάσταση .
- Εκτίμηση των συχνών (frequent values) και σχεδόν μόνιμων τιμών(quasi-permanent values) που προορίζονται κυρίως για τον συνδυασμό δράσεων στη οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας και σε τυχαίους συνδυασμούς δράσεων .

Οι συχνές (frequent values) και οι σχεδόν μονιμές – ημιμόνιμες τιμές (quasi-permanent values) των δράσεων καθορίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως “δεσπόμενες” τιμές των δράσεων σε πολλούς συνδυασμούς της οριακής κατάστασης της λειτουργικότητας. Όμως, για να έχουμε πλήθος τιμών για τις δράσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως “μη-δεσπόμενες” τιμές σε άλλου είδους συνδυασμούς. Για παράδειγμα οι σχεδόν –μόνιμες δράσεις χρησιμοποιούνται ως μη-δεσπόμενες τιμές δράσεων σε πολλούς συνδυασμούς.

- Μια δράση εκλέγεται ως δεσπόμενη (dominating) και παρουσιάζεται με την χαρακτηριστική τιμή Q_{1k}
- Μια δεύτερη δράση παρουσιάζεται με μειωμένη συνδυαστική τιμή $\Psi_{02}Q_{2k}$ με $\Psi_{02} \leq 1$. Ο συντελεστής συνδυασμού Ψ_{02} εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των δεσπόμενων και μη-δεσπόμενων (not-dominating) δράσεων.
- Μια τρίτη δράση παρουσιάζεται με ακόμη μικρότερη συνδυαστική τιμή $\Psi_{03}Q_{3k}$ με $\Psi_{03} \leq \Psi_{02}$. Η τιμή του συντελεστή Ψ_{03} εξαρτάται και από τις τρεις δράσεις. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται εάν είναι απαραίτητο.

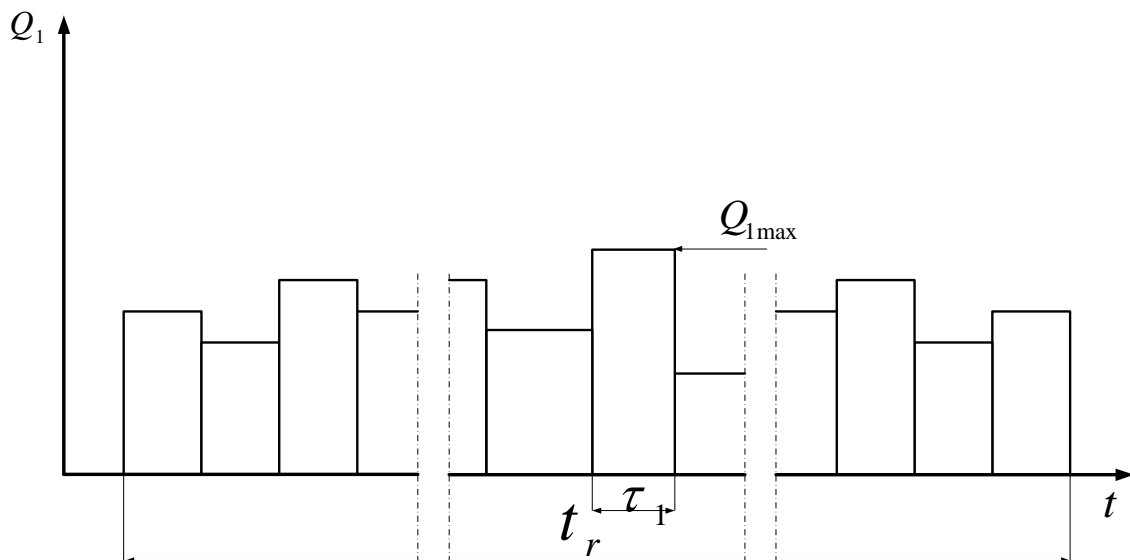
Σύμφωνα με τα παραπάνω παρουσιάζεται μια φθίνουσα ακολουθία μεταξύ των συντελεστών Ψ_0 , δηλαδή: $\Psi_{01} = 1, \Psi_{01} \geq \Psi_{02} \geq \Psi_{03}$

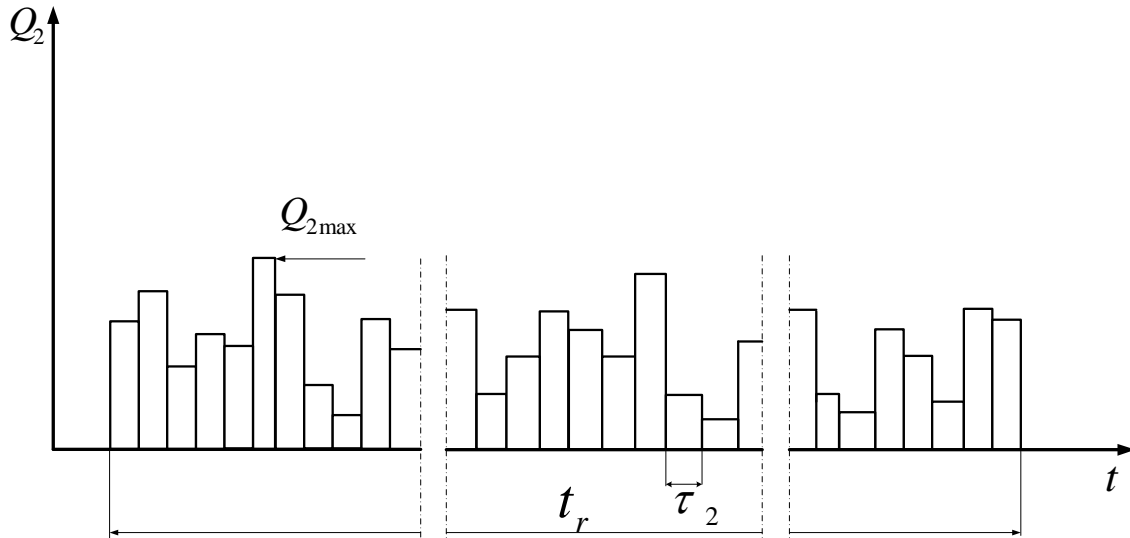
Κανονικά το μέτρο των δράσεων ακολουθεί την εξής διαδοχή (με φθίνουσα σειρά) χαρακτηριστική (characteristic) – συνδυαστική (combination) – συχνή (frequent) – σχεδόν μόνιμη (quasi-permanent). Η επεξεργασία των συνδυαστικών τιμών στην επίσης δίνει μεθόδους για τους συνδυασμούς δράσεων οι οποίες μπορούν να εισαχθούν στην υποδομή για τις μεθόδους σχεδιασμού με πιθανότητες.

5.3.2 Εκτίμηση του συνδυασμού δράσεων σύμφωνα με το μοντέλο Ferry-Borges – Castanheta

Ας μελετήσουμε την περίπτωση όπου δύο δράσεις $Q_1(t), Q_2(t)$ συνδυάζονται. Υποθέτουμε αυτές οι δράσεις μπορούν να περιγραφούν με μεθόδους τετραγωνικής κυματομορφής (square – wave processes) όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.2.1. Γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις για την συγκεκριμένη μέθοδο:

- Οι $Q_1(t)$ και $Q_2(t)$ είναι σταθερές εργοδικές δράσεις . Μια δράση είναι εργοδική εάν κατά μέσο όρο οι μεταβλητές X σε μια περίοδο αναφοράς r του χρόνου και σε μία μέση τιμή του χρόνου t δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα .
- Όλα τα χρονικά διαστήματα τ_1 είναι ίσα
- Όλα τα χρονικά διαστήματα τ_2 είναι ίσα
- Ισχύει $\tau_1 \geq \tau_2$
- r_1 και r_2/r_1 είναι ακέραιοι αριθμοί , όπου $r_1 = t_1/\tau_1$ και $r_2 = t_2/\tau_2$
- Q_1 και Q_2 είναι σταθερές κατά την διάρκεια των διαστημάτων r_1 και r_2 αντίστοιχα
- Οι τιμές της Q_1 για διαφορετικά διαστήματα είναι κοινά ανεξάρτητες , το ίδιο ισχύει και για την Q_2
- Οι Q_1 και Q_2 είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες δράσεις





Εικόνα 5.3.2.1 -Μέθοδοι τετραγωνικής κομματομορφής για τις $Q_1(t)$ και $Q_2(t)$

Για κάθε μια από τις δράσεις , ορίζονται τρία είδη μεταβλητών .

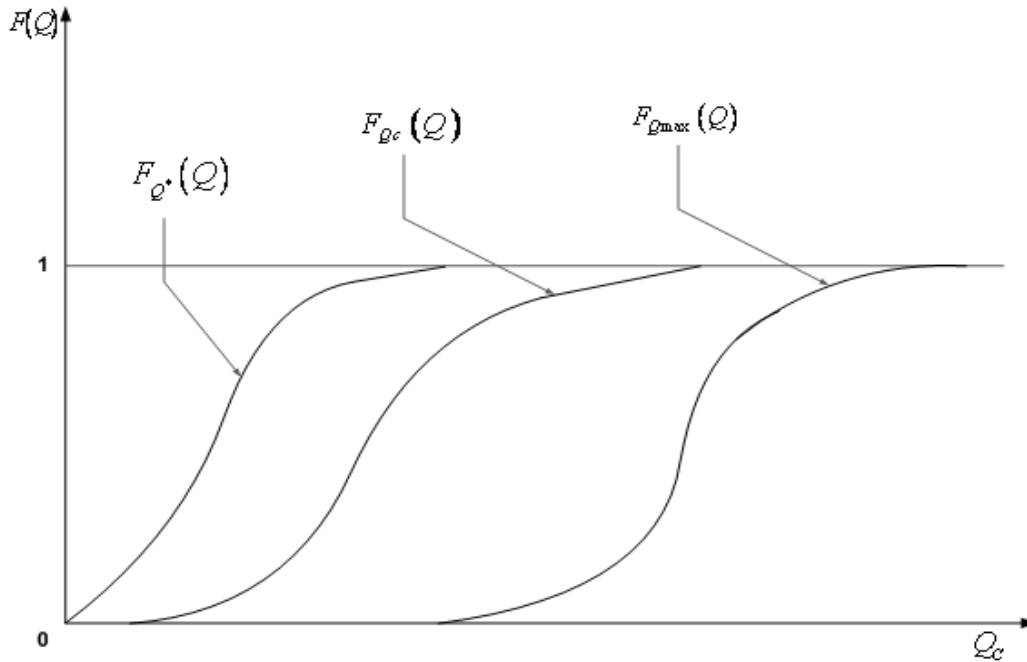
1. Η μεταβλητή Q^* για μια αυθαίρετη χρονική στιγμή με την συνάρτηση κατανομής $F_{Q^*}(Q)$
2. Η μέγιστη τιμή Q_{max} κατά την διάρκεια του χρόνου αναφοράς , με συνάρτηση κατανομής $F_{Q_{max}}(Q) = [F_{Q^*}(Q)]^r$
3. Η μέγιστη τιμή Q_c (το C υποδηλώνει συνδυασμό) κατά την διάρκεια χρονικού διαστήματος τ_1 . Για την Q_2 αυτή η τιμή Q_{2c} είναι ίση με την μέγιστη τιμή που εμφανίζεται σε χρονικό διάστημα τ_1 με την συνάρτηση κατανομής :

$$F_{Q_{2c}}(Q) = [F_{Q^*}(Q)]^{\frac{r_2}{r_1}}$$

Και για την Q_1 η συνδυαστική τιμή είναι ίση με την τιμή που αντιστοιχεί σε εκείνη την χρονική στιγμή $Q_{1c} = Q_1^*$

Να σημειώσουμε εάν οι $F_{Q^*}(Q)$ και $F_{Q_{\max}}(Q)$ εκτιμούνται απευθείας, τότε η περίοδος αναφοράς r θα πρέπει να εκλεγεί έτσι ώστε η εξίσωση $F_{Q_{\max}}(Q) = [F_{Q^*}(Q)]^r$ να ικανοποιείται.

Οι τρεις διαφορετικές συναρτήσεις κατανομής της Q_2 φαίνονται στην Εικόνα 5.3.2.2.



Εικόνα 5.3.2.2 - Συναρτήσεις κατανομών για το Q_2

Ας υποθέσουμε μια γραμμική σχέση μεταξύ των δράσεων και των αποτελεσμάτων τους :

$$S = a_1 Q_1 + a_2 Q_2$$

Η μέγιστη επίδραση S_{\max} για τις Q_1, Q_2 κατά την διάρκεια μιας περιόδου αναφοράς t_r μπορεί να γραφτεί ως :

$$S_{\max} = \max S(Q_{1c}, Q_{2c})$$

Η μέγιστη τιμή θα πρέπει να λαμβάνεται για όλα τα χρονικά διαστήματα τ_1 στην περίοδο αναφοράς.

Κατά προσέγγιση, τα αποτελέσματα των επιδράσεων των δράσεων μπορούν να υπολογιστούν από την μέγιστη τιμή των δύο παρακάτω συνδυασμών (Turkstas's rule) :

$S(Q_{1\max}, Q_{2c})$ εάν η Q_1 είναι η κυριαρχική ή δεσπόζουσα δράση.

$S(Q_{2\max}, Q_{1c})$ εάν η Q_2 είναι η δεσπόζουσα δράση.

Μπορούν να γραφούν και ως εξής :

$$S_{\max} = \{S(Q_{1\max}, Q_{2c}) : S(Q_{1c}, Q_{2\max})\}$$

Εάν η κατασκευή σχεδιαστεί με μια μέθοδο βασισμένη σε πιθανότητες ,οι τιμές των δράσεων στις παραπάνω σχέσεις θα πρέπει να λαμβάνονται ως τυχαίες μεταβλητές με συναρτήσεις κατανομής εκείνες που δίνονται στην Εικόνα 5.3.2.2 .

Εάν η κατασκευή έχει σχεδιαστεί με την μέθοδο των μερικών συντελεστών , τότε η γενική περιγραφή της τιμής σχεδιασμού S_{\max} γίνεται :

$$S_{\max d} = \{S(Q_{1\max d}, Q_{2c}) : S(Q_{1c}, Q_{2\max d})\}$$

με :

$$Q_{1\max d} = \gamma_{Q1} Q_{1k} \text{ και } Q_{1cd} = \gamma_{Q1} \Psi_{01} Q_{1k} \text{ το ίδιο ισχύει και για την } Q_2.$$

Οι τιμές των συντελεστών συνδυασμού Ψ_{0i} μπορούν να υπολογιστούν με διάφορους τρόπους , που περιγράφονται στις επόμενες δύο παραγράφους .

5.3.3 Εκτίμηση των συντελεστών συνδυασμού Ψ σύμφωνα με το κανόνα Turksta (Turksta's rule)

Μια κλασική προσέγγιση για τον προσδιορισμό των συνδυαστικών συντελεστών Ψ_0 σε μια μέθοδο σχεδιασμού με μερικούς συντελεστές , βασίζεται στον κανόνα του Turksta .Αυτό σημαίνει πως η Q_{cd} επιλέγεται ως μια φραγμένη τιμή της Q_c κατανομής . Η φραγμένη τιμή δίνεται από την $\Phi(-0.4a_s\beta)$.

$$F_{Q_c}(Q_{cd}) = \Phi(-0.4a_s\beta)$$

Όπου $a_s = -0.7$ (παράγραφος 4.4.3) είναι ο συντελεστής ευαισθησίας για την δράση Q .

Τα παραπάνω οδηγούν περιγραφή του συντελεστή Ψ_0

$$\Psi_0 = \frac{Q_{cd}}{Q_{\max d}} = \frac{F_{Q_c}^{-1}[\Phi(0.4 \cdot 0.7\beta)]}{F_{Q_{\max}}^{-1}[\Phi(0.7\beta)]} = \frac{F_{Q_{\max}}^{-1}[\Phi(0.7\beta)^r]}{F_{Q_{\max}}^{-1}[\Phi(0.7\beta)]}$$

Για κατανομή Gumbel ο παραπάνω τύπος γίνεται :

$$\Psi_0 = \frac{1 - 0.78V \left\{ 0.577 + \ln \left[-\ln \left(\Phi(-0.4a_s\beta) \right) \right] + \ln r \right\}}{1 - 0.78V \left\{ 0.577 + \ln \left[-\ln \left(\Phi(-a_s\beta) \right) \right] \right\}}$$

Όπου V είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας της συνάρτησης κατανομής της $F_{Q_{\max}}(Q)$.

Δίδεται στο **Παράρτημα 1** –Κεφάλαιο F μια αριθμητική εφαρμογή για τον υπολογισμό των συντελεστών συνδυασμού .

5.3.4 Εκτίμηση των συντελεστών συνδυασμού Ψ σύμφωνα με την μέθοδο των τιμών σχεδιασμού

Το αποτέλεσμα $S_{\max d}$ της δράσης σχεδιασμού θα πρέπει να έχει εκείνη πιθανότητα που θα την υπερβαίνει για την οριακή τιμή σε περίοδο αναφοράς t_r ίση με :

$$P(S_{\max} > S_{\max d}) = \Phi(a_s\beta)$$

και $a_s = -0.7$ (Πίνακας 13).

Με γνωστές τις χαρακτηριστικές τιμές των Q_1 και Q_2 , μια από τις δύο να απαιτείται έτσι ώστε η πιθανότητα υπέρβασης της οριακής τιμής για την σχεδιαστική τιμή του φορτίου επίδρασης κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου τ_1 να ισούται με :

$$P(S_c > S_{cd}) = \frac{\Phi(a_s\beta)}{r_1}$$

Η στοχευμένη τιμή του δείκτη αξιοπιστίας ισούται με :

$$\beta_c = -\Phi^{-1} \left\{ \Phi(a_s\beta) / r_1 \right\}$$

Για κάθε διάστημα τα φορτία είναι σταθερά , και τα αποτελέσματα της μπορούν να εφαρμοστούν. Αυτό σημαίνει πως οι τιμές σχεδιασμού $Q_{\max d} = \gamma_Q Q_k$ και $Q_{cd} = \gamma_Q \Psi_0 Q_k$ μπορούν να υπολογίζονται από τις εξής σχέσεις :

$$\begin{aligned} F_{Q_c} \left\{ \gamma_Q Q_k \right\} &= \Phi(\beta_c) \\ F_{Q_c} \left\{ \gamma_Q \Psi_0 Q_k \right\} &= \Phi(0.4\beta_c) \end{aligned}$$

Η τιμή Ψ_0 υπολογίζεται από την σχέση :

$$\Psi_0 = \frac{F_{Q_c}^{-1} \left\{ \Phi(0.4\beta_c) \right\}}{F_{Q_c}^{-1} \left\{ \Phi(\beta_c) \right\}}$$

Είναι επίσης δυνατόν να εκφράσουμε το Ψ_0 βάσει της συνάρτησης κατανομής της Q_{\max} .

$$\Psi_0 = \frac{F_{Q_{\max}}^{-1} \{ \Phi(0.4\beta_c)^r \}}{F_{Q_{\max}}^{-1} \{ \Phi(\beta_c)^r \}}$$

Σε κάποιες περιπτώσεις το r η περίοδος αναφοράς μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη, κρίνεται χρήσιμο να αναπτύξουμε την παραπάνω εξίσωση περαιτέρω.

$$\Psi_0 = \frac{F_{Q_{\max}}^{-1} \{ \exp(-r\Phi(-0.4\beta_c)) \}}{F_{Q_{\max}}^{-1} \{ \Phi(0.7\beta_c)^r \}}$$

5.4 Εφαρμογές συνδυασμού δράσεων

Στην συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζεται λοιπόν μια μέθοδο στον συνδυασμό των τιμών των δράσεων (υπάρχουν διάφορες άλλες μέθοδοι) που θα μπορούν να σχεδιαστούν από τον μελετητή πληρώντας πάντα τις προδιαγραφές που επισημαίνονται από την προηγούμενη παράγραφο (5.3).

Η βάση του σχεδιασμού των δράσεων αποτελεί η παρακάτω

- Μια δράση που θεωρείται ως "κυρίαρχη" ή "δεσπόζουσα" (dominating) παρουσιάζεται στον συνδυασμό με μια υπερβολική τιμή σχεδιασμού
- Όλες οι άλλες τιμές παρουσιάζονται με λογικές τιμές

Οι πιθανές τιμές των μόνιμων δράσεων (permanent actions) υπολογίζονται με τον πολλαπλασιασμό από έναν συντελεστή ξ , του οποίου η τιμή είναι διαφορετική για δυσμενής και επιθυμητές δράσεις.

Οι πιθανές τιμές των μεταβλητών δράσεων (variable actions) υπολογίζονται με τον πολλαπλασιασμό του συντελεστή συνδυασμού Ψ . Οι πιθανές τιμές των τυχαίων δράσεων είναι ίσες με μηδέν.

Συχνά δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων ποια δράση θα θεωρηθεί ως "δεσπόζουσα" που θα δημιουργήσει τις πιο δυσμενής συνέπειες στην κατασκευή, για αυτό τον λόγο πρέπει να μελετώνται πολλές περιπτώσεις για το τελικό σχεδιασμό.

Να επισημάνουμε εδώ οι παρακάτω συνδυασμοί δράσεων εκτελούνται για τις δύο οριακές καταστάσεις για την οριακή κατάσταση και της οριακά κατάσταση της λειτουργικότητας, και οι πίνακες που διεξάγονται θα πρέπει να διαβάζονται πάντα οριζόντια.

5.4.1 Συνδυασμός δράσεων για την απόλυτη οριακή κατάσταση

Στον παρακάτω Πίνακα 15 δίνονται οι τιμές σχεδιασμού για απόλυτες οριακές καταστάσεις για τα τρία είδη συνδυασμών δράσεων , **μόνιμες δράσεις** (permanent actions), **μεταβλητές** (variable actions) και **τυχαίες δράσεις** (accidental actions) . Ο πίνακας διαβάζεται πάντα οριζόντια .

Πίνακα 15 - Τιμές σχεδιασμού για συνδυασμό φορτίων – στις απόλυτες οριακές καταστάσεις

Συνθήκες σχεδιασμού	Τιμές σχεδιασμού				
	Μόνιμες δράσεις		Μεταβλητές δράσεις		Τυχηματικές δράσεις
	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	
Συνεχής και προσωρινές	$\gamma_G G_k$		-	$\gamma_Q \Psi_0 Q_k$	-
	-	$\xi \gamma_G G_k$	$\gamma_Q Q_k$	$\gamma_Q \Psi_0 Q_k$	-
Τυχηματικές	-	$\xi \gamma_G G_k$	-	$\gamma_Q \Psi_0 Q_k$	A_d

- γ_G είναι ο μερικός συντελεστής για μόνιμες δράσεις
- γ_Q είναι ο μερικός συντελεστής για μεταβλητές δράσεις

Οι επιμέρους συντελεστές των δράσεων γ_G, γ_Q και ο συντελεστής συνδυασμού ξ για αντίστοιχες επιθυμητές ή ανεπιθύμητες δράσεις διεξάγονται από τις συναρτήσεις κατανομής των δράσεων.

Οι καταστάσεις σχεδιασμού ταξινομούνται σε :

- Συνεχής ή μόνιμες συνθήκες
- Προσωρινές συνθήκες.
- Τυχαίες συνθήκες

Οι συνεχείς και μεταβατικές καταστάσεις θεωρούνται ότι ενεργούν με βεβαιότητα . Οι τυχαίες καταστάσεις εξ ορισμού εμφανίζονται με μια σχετικά μικρή πιθανότητα κατά την διάρκεια της λειτουργίας της κατασκευής .

Εάν τα φορτία , όπως είναι φορτία από χιόνι , σεισμούς κ.α. συνδέονται με μεταβατικές ή τυχαίες καταστάσεις αυτό θα εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες .

5.4.2 Συνδυασμός δράσεων για την απόλυτη οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας

Στον επόμενο Πίνακα 16 δίνονται οι σχεδιαστικές τιμές για οριακή κατάσταση στην λειτουργικότητας , για τους τρεις τύπους συνδυασμών , **χαρακτηριστικός**(characteristic) , **συχνός**(frequent) , **σχεδόν – μόνιμος** (quasi-permanent).Ο παρακάτω πίνακας διαβάζεται οριζόντια .

Πίνακας 16- Τιμές σχεδιασμού για συνδυασμό φορτίων – στην οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας

Είδος συνδυασμού	Τιμές σχεδιασμού		
	Δεσπόζουσα	Μεταβλητές	
		Δεσπόζουσα	Μη –δεσπόζουσα
Χαρακτηριστικός	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q Q_k$	-
Συχνός	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q \Psi_1 Q_k$	$\gamma_Q \Psi_2 Q_k$
Σχεδόν μόνιμος-ημιμόνιμος	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q \Psi_2 Q_k$	

Να σημειώσουμε εδώ πως ο καθένας συνδυασμός από τους τρεις παραπάνω χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και πιο συγκεκριμένα :

- Οι χαρακτηριστικοί συνδυασμοί χρησιμοποιούνται κυρίως στην περίπτωση που η υπερβατική οριακή κατάσταση μπορεί να προξενήσει σοβαρές μόνιμες βλάβες
- Ο συχνός συνδυασμός χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου η υπερβατική οριακή κατάσταση μπορεί να προκαλέσει τοπική ζημιά , μεγάλες παραμορφώσεις και κραδασμούς , τα οποία είναι προσωρινές βλάβες .
- Ο σχεδόν μόνιμος συνδυασμός χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις όπου φαινόμενα μεγάλης διάρκειας είναι καθοριστικά .

5.5 Εφαρμογές

Στο συγκεκριμένη παράγραφο θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε ενδεικτικά τους συνδυασμούς δράσεων για τις τέσσερις κατηγορίες γερανών Κινητοί Γερανοί -Πυργωτοί Γερανοί –Γερανοί Κεραίας – Γερανογέφυρες .

Αυτό θα γίνει χρησιμοποιώντας τους πίνακες φορτίων για την κάθε κατηγορία γερανών , θα εκλέξουμε τους ίδιους συνδυασμούς φορτίων που εκλέχθηκαν και στις εφαρμογές του κεφαλαίου 3 και με την βοήθεια του πίνακα για τον συνδυασμό δράσεων στην οριακή κατάσταση θα εξάγουμε τους αντίστοιχους πίνακες συνδυασμού δράσεων και τέλος τον αντίστοιχο έλεγχο όπως ορίζεται από τις αρχές επί της αξιοπιστίας .

5.5.1 Κινητοί Γερανοί

Η διαδικασία που εκτελείται είναι η εξής εκλέγουμε συνδυασμό φορτίων A_3 (Πίνακας 4) όμοια με την εφαρμογή της παραγράφου 3.5.1 . Ο πίνακας των φορτίων και των συνδυασμό φορτίων για την συγκεκριμένη κατηγορία δίδεται στον Πίνακα 5 (παρ. 3.5.1).

Ο συνδυασμός φορτίων A_3 αναφέρεται σε κινητούς γεραμούς που ανυψώνουν ή χαμηλώνουν το φορτίο , χωρίς φορτία ανέμου κατάστασης λειτουργίας, σύμφωνα με την παράγραφο

Σύμφωνα με τον πίνακα φορτίων κάνουμε τις εξής παραδοχές

$G_{k,1}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του γερανού

$G_{k,2}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του φορτίου ανύψωσης

Δεσπόζουσα μόνιμη δράση θα λάβουμε το ίδιο βάρος του γερανού $G_{k,1max}$

$Q_{k,1}$: Μεταβλητή δράση – Δυνάμεις που δημιουργούνται από επιταχύνσεις εκτός του μηχανισμού ανύψωσης , δηλαδή λόγω του μηχανισμού περιστροφής (ΔF_S), λόγω του τηλεσκοπικού μηχανισμού (ΔF_T) , και επιταχύνσεις λόγω της κατεύθυνσης του ανέμου (ΔF_L) . Εκλέγεται ο μέγιστος συνδυασμός των παραπάνω επιταχύνσεων .

$Q_{k,2}$: Μεταβλητή δράση – Φορτία που προκαλούνται από επιταχύνσεις λόγω του μηχανισμού ανύψωσης (ΔF_H)

Δεσπόζουσα μεταβλητή δράση θα λάβουμε το φορτίο προκαλείται από επιταχύνσεις του μηχανισμού ανύψωσης $Q_{k,2max}$

Ως τυχαία δράση A_d θα λάβουμε τα φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας.

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.4 διεξάγεται ο αντίστοιχος πίνακας (βλ. Πίνακα 15) για τον συνδυασμό δράσεων για την οριακή κατάσταση, για τους κινητούς γερανούς και συνδυασμό φορτίων A_3 .

Πίνακα 17-Συνδυασμός δράσεων για κινητούς γερανούς και συνδυασμό φορτίων A_3

Συνθήκες σχεδιασμού	Τιμές σχεδιασμού				Τυχαίες δράσεις
	Μόνιμες δράσεις		Μεταβλητές δράσεις		
	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	
Συνεχής και προσωρινές	$\gamma_{G,1} G_{k,1max}$	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-		-
	-		$\gamma_{Q,2} Q_{k,2max}$	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	-
Τυχηματικές	-	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	A_d

- Για μόνιμες συνθήκες σχεδιασμού (θεμελιώδης συνδυασμός, χωρίς αντοχή σε κόπωση)

$$S_d = \gamma_{G,1} G_{k,1max} + \xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2} + \gamma_{Q,2} Q_{k,2max} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$$

Να επισημάνουμε εδώ πως ο συμβολισμός “+” που εισάγεται στην παραπάνω έκφραση δεν δηλώνει άθροισμα των αντίστοιχων δράσεων αλλά συνδυασμό μεταξύ τους. Δηλαδή στην συγκεκριμένη περίπτωση ο συνδυασμός των μόνιμων δράσεων ηγείται από την κυρίαρχη –δεσπόζουσα δράση $G_{k,1max}$ που αποτελεί το ίδιο βάρος του γερανού ενισχυμένη με τον αντίστοιχο συντελεστή μόνιμης δράσης $\gamma_{G,1}$ οι υπόλοιπες μόνιμες δράσεις ακολουθούν τον συνδυασμό ενισχυμένες από τις αντίστοιχες τιμές των επιμέρους συντελεστών $\gamma_{G,i}$ και μειωμένες από τον συντελεστή ξ_i (ανάλογα με το αν η δράση είναι δυσμενής ή όχι).

Οι μόνιμες δράσεις $Q_{k,i}$ συνδυάζονται με κυρίαρχη – δεσπόζουσα δράση την $Q_{k,2max}$ (δυνάμεις λόγω επιταχύνσεων του συστήματος ανύψωσης) η οποία ηγείται του συνδυασμού και ακολουθούν οι υπόλοιπες μόνιμες δράσεις οι οποίες ενισχύονται από τους αντίστοιχους συντελεστές μεταβλητών δράσεων $\gamma_{Q,1}$ και πολλαπλασιάζονται από έναν συντελεστή μείωσης $\Psi_{0,1}$.

- Για τυχαίες συνθήκες σχεδιασμού έχουμε :

$$S_d = \xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}'' + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}'' + A_d$$

Όμοια όπως και παραπάνω ο συμβολισμός ''+''' υποδηλώνει συνδυασμό των δράσεων και όχι άθροισμα . Εκτελείται λοιπόν και για τις δύο περιπτώσεις σχεδιασμού ο έλεγχος της καταπόνησης S_d και της ικανότητας καταπόνησης R_d όπως εισάγεται στις συνθήκες ελέγχους της οριακής κατάστασης (παράγραφος 4.4.5) .

$$S_d \leq R_d$$

S_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης για την καταπόνηση του γερανού

R_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης της αντίδρασης του γερανού

5.5.2 Πυργωτοί-Οικοδομικοί Γερανοί

Η ίδια διαδικασία εκτελείται και για τους πυργωτούς γεραμούς εκλέγουμε συνδυασμό φορτίων B_3 (παρ. 3.5.2) . Ο πίνακας των φορτίων και των συνδυασμό φορτίων για την συγκεκριμένη κατηγορία δίδεται στην στον Πίνακα 7 (παρ. 3.5.2).

Ο συνδυασμός φορτίων B_3 αφορά για πυργωτούς γεραμούς με ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, επιταχύνοντας το φορτίο που βρίσκεται σε αναστολή , και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις .Σύμφωνα λοιπόν με τον πίνακα φορτίων λαμβάνουμε τα εξής :

$G_{k,1}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του γερανού

$G_{k,2}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του φορτίου ανύψωσης

Δεσπόζουσα μόνιμη δράση θα λάβουμε το βάρος του γερανού $G_{k,1max}$

$Q_{k,1}$: Μεταβλητή δράση – Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας

$Q_{k,2}$: Μεταβλητή δράση – Φορτία λόγω μετατοπίσεων

$Q_{k,3}$: Μεταβλητή δράση –Δυνάμεις από επιταχύνσεις κατά την περιστροφή , μεταφορά και κίνηση με την κατεύθυνση του ανέμου , εκλέγεται το φορτίο με την μέγιστη τιμή .

$Q_{k,4}$: Μεταβλητή δράση – Φορτίο από χιόνι και πάγο

$Q_{k,5}$: Μεταβλητή δράση – Φορτίο λόγω ακραίων μεταβολών της θερμοκρασίας

Δεσπόζουσα μεταβλητή δράση θα λάβουμε το φορτίο ανέμου $Q_{k,1max}$

Ως τυχαία δράση A_d θα λάβουμε τα φορτία που προέρχονται από σεισμούς. Διεξάγεται ο αντίστοιχος πίνακας (βλ.Πίνακα 15) για τον συνδυασμό δράσεων για τους πυργωτούς γεραμούς για τον συνδυασμό B_3 .

Πίνακα 18-Συνδυασμός δράσεων για πυργωτούς γερανούς και συνδυασμό φορτίων B_3

Συνθήκες σχεδιασμού	Τιμές σχεδιασμού				Τυχαίες δράσεις
	Μόνιμες δράσεις		Μεταβλητές δράσεις		
	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	
Συνεχής και προσωρινές	$\gamma_{G,1} G_{k,1max}$	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-	$\sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$	-
	-		$\gamma_{Q,1} Q_{k,1max}$		-
Τυχηματικές	-	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-	$\sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$	A_d

- Για συνεχής συνθήκες σχεδιασμού

$$S_d = \gamma_{G,1} G_{k,1max}'' + \xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}'' + \gamma_{Q,1} Q_{k,1max}'' + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Να σημειώσουμε πως ο συμβολισμός $'' + ''$ που εισάγεται στην παραπάνω έκφραση και στον Πίνακα 18 δεν δηλώνει άθροισμα των αντίστοιχων δράσεων αλλά συνδυασμό μεταξύ τους, και πως ο συμβολισμός $\sum_{i>1}$ δηλώνει συνδυασμό των επιδράσεων των αντίστοιχων μεταβλητών δράσεων $Q_{k,i>1}$, οι συμβολισμοί αυτοί και οι έννοιες τους ισχύουν και για τις επόμενες παραγράφους .

- Για τυχαίες συνθήκες σχεδιασμού έχουμε :

$$S_d = \xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}'' + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}'' + A_d$$

Εκτελείται λοιπόν και για τις δύο περιπτώσεις σχεδιασμού ο έλεγχος της καταπόνησης S_d και της ικανότητας καταπόνησης R_d όπως εισάγεται στις συνθήκες ελέγχους της οριακής κατάστασης (παράγραφος 4.4.5) .

$$S_d \leq R_d$$

S_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης για την καταπόνηση του πυργωτού γερανού

R_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης της αντίδρασης του πυργωτού γερανού

5.5.3 Γερανοί κεραίας

Για τους γερανούς κεραίας εκλέγουμε συνδυασμό C_3 κινητοί γερανοί που λειτουργούν με το φορτίο ελέγχου (Πίνακας 8 παρα.3.5.3) . Η ανύψωση θα συνδυάζεται με άλλες δύο κινήσεις έτσι ώστε να επιφέρουν την μέγιστη φόρτιση στον γερανό.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 9 (παράγραφο 3.5.3) γίνονται οι παρακάτω παραδοχές :

$G_{k,1}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του γερανού

$G_{k,2}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του φορτίου ανύψωσης

Δεσπόζουσα μόνιμη δράση θα λάβουμε το βάρος του γερανού $G_{k,1max}$

$Q_{k,1}$: Μεταβλητή δράση – Φορτία λόγω των μετατοπίσεων

$Q_{k,2}$: Μεταβλητή δράση – Δυνάμεις από επιταχύνσεις, η επιτάχυνση ανύψωσης (H) θα συνδυάζεται με την μέγιστη τιμή των επιταχύνσεων που προκύπτουν κατά την περιστροφή (S) , κίνηση στην κατεύθυνση του ανέμου (L) και την τηλεσκοπική κίνηση (T).

Δεσπόζουσα μεταβλητή δράση θα λάβουμε τις δυνάμεις που προκαλούνται λόγω των επιταχύνσεων $Q_{k,2max}$

Ως τυχαία δράση A_d θα λάβουμε το φορτίο ελέγχου .

Διεξάγεται ο αντίστοιχος πίνακας για τον συνδυασμό δράσεων για τους γερανούς κεραίας για τον συνδυασμό C_3 .

Πίνακα 19-Συνδυασμός δράσεων για γερανούς κεραίας και συνδυασμό φορτίων C_3

Συνθήκες σχεδιασμού	Τιμές σχεδιασμού				Τυχαίες δράσεις
	Μόνιμες δράσεις		Μεταβλητές δράσεις		
	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	
Συνεχής και προσωρινές	$\gamma_{G,1} G_{k,1max}$	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	-
	-		$\gamma_{Q,2} Q_{k,2max}$		-
Τυχηματικές	-	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	A_d

- Για συνεχής συνθήκες σχεδιασμού

$$S_d = \gamma_{G,1} G_{k,1\max}'' + \gamma_{G,2} G_{k,2}'' + \gamma_{Q,2} Q_{k,2\max}'' + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$$

- Για τυχαίες συνθήκες σχεδιασμού έχουμε :

$$S_d = \xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}'' + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}'' + A_d$$

Εκτελείται λοιπόν και για τις δύο περιπτώσεις σχεδιασμού ο έλεγχος της καταπόνησης S_d και της ικανότητας καταπόνησης R_d όπως εισάγεται στις συνθήκες ελέγχους της οριακής κατάστασης (παράγραφος 4.4.5) .

$$S_d \leq R_d$$

S_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης για την καταπόνηση του γερανού κεραίας

R_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης της αντίδρασης του γερανού κεραίας

5.5.4 Γερανοί εναέριου τύπου και Γερανογέφυρες

Τελευταία κατηγορία είναι οι γερανογέφυρες εκλέγουμε συνδυασμό φορτίων C_4 . Τα φορτία και οι συνδυασμοί τους παρουσιάζονται στην παράγραφο 3.5.4 Πίνακας 11 .

Ο συνδυασμός φορτίων C_4 αφορά γεραμούς εναέριου τύπου και γερανογέφυρες για ανυψωτικές εφαρμογές με μεικτό φορτίο σε συνδυασμό με δυνάμεις πρόσκρουσης στους τερματικούς προσκρουστήρες .

Σύμφωνα με τον πίνακα φορτίων γίνονται οι παρακάτω παραδοχές :

$G_{k,1}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του γερανού

$G_{k,2}$: Μόνιμη δράση – Βάρος του φορτίου ανύψωσης

Δεσπόζουσα μόνιμη δράση θα λάβουμε το βάρος του γερανού $G_{k,1\max}$

$Q_{k,1}$: Μεταβλητή δράση – Φορτία λόγω μετατοπίσεων

$Q_{k,2}$: Μεταβλητή δράση – Φορτίο ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας

Δεσπόζουσα μεταβλητή δράση θα λάβουμε το φορτίο ανέμου $Q_{k,2\max}$

Ως τυχαία δράση A_d θα λάβουμε τα φορτία που προκαλούνται από τις δυνάμεις πρόσκρουσης πάνω στον τερματικό προσκρουστήρα της γερανογέφυρας

Διεξάγεται ο αντίστοιχος πίνακας για τον συνδυασμό δράσεων για τους γερανούς εναέριου τύπου και γερανογέφυρες για τον συνδυασμό C₄.

Πίνακας 20- Συνδυασμός δράσεων για γερανούς εναέριου τύπου και γερανογέφυρες για συνδυασμό φορτίων C₄

Συνθήκες σχεδιασμού	Τιμές σχεδιασμού				Τυχαίες δράσεις
	Μόνιμες δράσεις		Μεταβλητές δράσεις		
	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	
Συνεχής και προσωρινές	$\gamma_{G,1} G_{k,1max}$	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	-
	-		$\gamma_{Q,2} Q_{k,2max}$		-
Τυχηματικές	-	$\xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}$	-	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	A_d

- Για συνεχής συνθήκες σχεδιασμού

$$S_d = \gamma_{G,1} G_{k,1max}'' + \xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}'' + \gamma_{Q,2} Q_{k,2max}'' + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}''$$

- Για τυχαίες συνθήκες σχεδιασμού έχουμε :

$$S_d = \xi_2 \gamma_{G,2} G_{k,2}'' + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}'' + A_d$$

Εκτελείται λοιπόν και για τις δύο περιπτώσεις σχεδιασμού ο έλεγχος της καταπόνησης S_d και της ικανότητας καταπόνησης R_d όπως εισάγεται στις συνθήκες ελέγχους της οριακής κατάστασης (παράγραφος 4.4.5).

$$S_d \leq R_d$$

S_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης για την καταπόνηση του γερανού

R_d : Η εκτιμώμενη τιμή διαστασιολόγησης της αντίδρασης του γερανού

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα

6.1 Συμπεράσματα ανάλυσης των δύο μεθόδων σχεδιασμού

Αναλύθηκαν λοιπόν στα κεφάλαια 3 και 5 αντίστοιχα οι μέθοδοι σχεδιασμού φορτίων των γερανών με βάση τα πρότυπα ISO 8686 και ISO 2394 . Αυτό που μπορούμε σε πρώτη φάση να κατανοήσουμε είναι πως ο υπολογισμός των φορτίων για τους γερανούς αποτελεί ένα δύσκολο και πολύπλοκο πρόβλημα , λόγω του πλήθους φορτίων που υπάρχουν καθώς και του εύρους των τιμών τους. Τα συμπεράσματα που διεξάγονται από τις δύο μεθόδους σχεδιασμού είναι τα εξής :

1. Η παλιά μέθοδος σχεδιασμού των γερανών σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 8686 μας εξασφαλίζει έναντι κινδύνων αστοχίας , όμως δεν μας εξασφαλίζει την οικονομικότερη κατασκευή ,επειδή δεν λαμβάνεται επαρκώς υπόψη ο στοχαστικός χαρακτήρας των επιμέρους φορτίσεων και των συνδυασμών τους
2. Η μέθοδος αυτή είναι σχετικά εύκολη στην εφαρμογή της και υπάρχει σήμερα μεγάλη σχετική εμπειρία , δοθέντος ότι οι συντελεστές των φορτίων είναι ντετερμινιστικά καθορισμένοι καθώς και οι συνδυασμοί φορτίων .
3. Η νέα μέθοδος σχεδιασμού που εισάγεται από το πρότυπο ISO 2394 , βασίζεται στην χρήση των αρχών αξιοπιστίας των κατασκευών και εξασφαλίζει την επάρκεια τους καθώς και την οικονομική βελτιστοποίησή τους , δοθέντος ότι βασίζεται σε στοχαστικά μοντέλα τόσο των φορτίσεων όσο και της κατασκευής . Ακόμη λαμβάνεται υπόψη κατά τους υπολογισμούς το σύνολο της κατασκευής σαν σύστημα και όχι σαν ανεξάρτητα επιμέρους μέλη .
4. Η εφαρμογή της είναι περίπλοκη διότι πρέπει να εκτιμηθούν συναρτήσεις κατανομής των στοχαστικών μεγεθών που λαμβάνονται υπόψη κατά την εφαρμογή της (φορτίων γεωμετρίας κατασκευής , ιδιότητες υλικών κλπ.) , και ως εκ τούτου απαιτεί έναν έμπειρο μελετητή.

6.2 Κριτήρια επιλογής μεθόδου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η μέθοδος σχεδιασμού με βάση τα πρότυπα ISO 8686 μας εξασφαλίζει έναντι κινδύνου, με περισσότερο οικονομικό κόστος. Η μέθοδος αυτή πρέπει να προτιμηθεί σε σχέση με την νέα μέθοδο που εισάγεται από το πρότυπο ISO 2394, στις παρακάτω ειδικές περιπτώσεις. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις εφαρμόζεται η νέα μέθοδος.

Να επισημάνουμε πως τα παρακάτω κριτήρια επιλογής δεν αποτελούν δέσμευση για την τοποθέτηση και την λειτουργία ενός γερανού, αλλά γενικές κατευθύνσεις. Η ακριβής επιλογή μεθόδου σχεδιασμού θα απαιτεί την κατάλληλη εμπειρία και κρίση του μελετητή σε συνδυασμό επιπλέον κριτηρίων τα οποία δεν μπορούν συμπεριληφθούν στην παρούσα εργασία.

Κριτήρια

A : Με βάση την επικινδυνότητα του φορτίου

A₁ : Μεταφορά ανθρώπων

A₂ : Ανυψωτικές εφαρμογές με βάση τον χώρο που εκτελείται το έργο (παρουσία πολιτών στην ακτίνα δράσης του γερανού)

B : Κλιματολογικές συνθήκες

B₁ : Συνήθης κλιματολογικές συνθήκες

B_{1.1} : Εκτίμηση ανώτερης – κατώτερης θερμοκρασίας

B_{1.2} : Μεταβολές θερμοκρασίας εντός 24ώρου

B_{1.3} : Μέγιστη ταχύτητα ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας

B_{1.4} : Μέγιστη ταχύτητα ανέμου σε κατάσταση αναστολής

B₂ : Ειδικές κλιματολογικές συνθήκες

B_{2.1} : Τυφώνες ή κυκλώνες

B_{2.2} : Ακραία υδατώδη ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι, χιονοχάλαζο)

Γ: Γεωφυσικά φαινόμενα

Γ₁ : Σεισμογενείς περιοχές

Γ₂ : Καθιζήσεις εδαφών

Γ₃ : Ηφαιστειακά φαινόμενα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ISO 2394 :*General principles on reliability for structures* , 1998
- [2] ISO 8686 Part 1-5 :*Cranes –Design principles for loads and load combinations*, 1989
- [3] J.Falke : *Ευρωκώδικας 3 – Κατασκευές Από Χάλυβα –Κανονισμοί – Ερμηνευτικές σημειώσεις –Παραδείγματα* ,Εκδότης Μ.Γκιούρδας, 2000
- [3] Ι.Χ.Ερμόπουλος :*Ευρωκώδικας 1* , Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2005
- [4] H.Gulvanessian , M.Holicky : *Eurocodes - Using Reliability to Combine Action Effects* ,2005
- [5] Π.Α Μακρής : *Μεταφορικές Και Ανυψωτικές μηχανές* , Αθήνα 2004
- [6] Γ.Μαλαχία : *Ανυψωτικά Μηχανήματα-Εκδόσεις Ιων*
- [7] Ing.J. Verschoof : *Cranes-Design , Practise and Maintenance* , Second edition
- [8] Robert Englekirk : *Steel Structures-Controlling Behavior Through Design*
- [9] David A.Nethercot : *Limit State Design of Structural Steelwork –Third Edition*
- [10] Σιδηρές Κατασκευές -Συμπεριφορά Και Ανάλυση, Δ' Έκδοση , Εκδόσεις Συμεών
- [11] Π.Χαρόνη : *Ανυψωτικά Μηχανήματα, Εκδόσεις Ιων*
- [12] Κωνσταντίνος .Ι.Στεργίου –Ιωάννης .Κ.Στεργίου: *Ανυψωτικά Και Μεταφορικά Μηχανήματα* ,Σύγχρονη Εκδοτική
- [13] *Μηχανές Διακίνησης Υλικών – Ανυψωτικές Μηχανές –Μέρος Β, Πάτρα 1994*
- [14] Π.Βλάχου : *Μελέται και Κατασκευαι Ανυψωτικών Μηχανημάτων*
- [15] T.J.MacGinley &T.C.Ang : *Structural Steelwork –Design to Limit State Theory – Second Edition* , 1987
- [16] D.Lam,T.C.Ang,S.P.Chiew : *Structural Steelwork –Design to Limit State Theory – Third Edition* , 2004

- [17] P.Knowles : *Design of Structural Steelwork-Second Edition, 2005*
- [18] C.G.Salmon : *Steel Structures –Design and Behavior-Emphasizing Load and Resistance Factor Design , Fourth Edition , 1999*
- [19] I.A.Assakkal & B.M.Ayyub : *Load and Resistance Factor Design - Approach for Fatigue of Marine Structures , 1998*
- [20] J.Markova : *Reliability Assessment of Existing Structures*
- [21] J.K.Paik , A.K.Thayamballi : *Ultimate Limit State Design of Steel Plated Structures , 2002*
- [22] M.Holicky ,J.Markova : *Calibration of Reliability Elements for a Column*
- [23] H.Yamei : *Reliability Assessment of Crane Operations ,2007*
- [24] M.A.Ba-abbad : *Reliability Based Design –Optimization of a Nonlinear Elastic Plastic Thin Walled T-Section Beam ,2004*
- [25] V.Togan , A.Daloglu : *Reliability Based Design Optimization , 2005*
- [26] W.Wang ,J.Wu : *Deterministic Design –Reliability Based Design and Robust Design*
- [27] R.A.MacCrimmon & D.J.Laurie Kennedy : *Loas and Resistance Factor Design and Analysis of Stepped Crane Columns in Industrial buildings*
- [28] *Offshore Technology Report : Technical Review of ISO 2394 –General Principles on Reliability of Structures , 1999*
- [29] A.Idris ,P.Edache : *Reliability Ana,yusus of Simply Supported Steel Beams ,2007*
- [30] K.Antanas : *Structural Quality in Design Process*
- [31] J.K.Paik , J.K.Seo : *Ultimate Limit State Assessment of Ship Structures*
- [32] N.C Department of Labor : *A Guide to Cranes and Derricks*
- [33] J.M.Fisher : *Industrial Building Roofs to Column Anchorage , AISC Steel Design Guide Series , 1993*
- [34] C.J.Turkshta : *Application of Bayesian Decision Theory –Structural Reliability and Codified Design ,1970*



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ
ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΓΕΝΙΚΩΝ ΑΡΧΩΝ
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΓΕΡΑΝΩΝ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ 1 ΚΑΙ 2

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : ΜΑΡΙΟΥΣ ΜΑΛΟ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Σ.ΔΙΠΛΑΡΗΣ , Επίκουρος Καθηγητής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Ι.ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ , Επίκουρος Καθηγητής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Θ.ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ , Επίκουρος Καθηγητής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2010

**Παράρτημα 1 –Γενικές αρχές της αξιοπιστίας
των κατασκευών**

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή	1
1.1 Σύμβολα	1
1.2 Κύρια σύμβολα	1
1.3 Δείκτες	3
2 Απαιτήσεις και ιδέες	3
2.1 Θεμελιώδεις απαιτήσεις	3
2.2 Διάκριση αξιοπιστίας στις κατασκευές	4
2.3 Κατασκευαστικός σχεδιασμός	5
2.4 Τήρηση των κανονισμών	7
2.5 Αντοχή και συντήρηση	8
3 Αρχές σχεδιασμού σε οριακή κατάσταση	9
3.1 Οριακή κατάσταση	9
3.2 Σχεδιασμός	12
4 Κύριες μεταβλητές	14
4.1 Γενικά	14
4.2 Δράσεις	15
4.3 Επιρροές από το περιβάλλον	17
4.4 Ιδιότητες των υλικών	18
5 Υπολογιστικά μοντέλα	18
5.1 Γενικά	18
5.2 Τύποι υπολογιστικών μοντέλων	19
5.3 Υπολογιστικά μοντέλα για αβεβαιότητες	24
5.4 Σχεδιασμός βασισμένος σε πειραματικά μοντέλα	25
6 Αρχές σχεδιασμού βασισμένου στις πιθανότητες	26
6.1 Γενικά	26
6.2 Η αξιοπιστία του συστήματος σε σχέση με την αξιοπιστία των κατασκευαστικών στοιχείων	27
6.3 Προσδιορισμός του βαθμού της απαιτούμενης αξιοπιστίας	28
6.4 Υπολογισμοί στις πιθανότητες αστοχίας	29
6.5 Εφαρμογή του σχεδιασμού βασισμένο στις πιθανότητες	30
7 Μέθοδος μερικών συντελεστών	30
7.1 Σχεδιασμών των συνθηκών και σχεδιασμός των τιμών	30

7.2 Αντιπροσωπευτικές τιμές των δράσεων	33
7.3 Χαρακτηριστικές τιμές ιδιοτήτων των υλικών συμπεριλαμβανομένου και του εδάφους	34
7.4 Χαρακτηριστικές τιμές στις γεωμετρικές ποσότητες	34
7.5 Περιπτώσεις φόρτισης και συνδυασμούς φορτίσεων	35
7.6 Επιδράσεις των δράσεων και αντιδράσεις	35
7.7 Επαλήθευση της αστοχίας σε κόπωση	35
7.8 Βαθμονόμηση	35
8 Εκτιμήσεις σε πραγματικές κατασκευές	36
8.1 Σχετικές περιπτώσεις	36
8.2 Αρχές των εκτιμήσεων	36
8.3 Κύριες μεταβλητές	36
8.4 Διερεύνηση	37
8.5 Εκτιμήσεις σε περίπτωση βλάβης	39
Κεφάλαιο Α-Διασφάλιση και διαχείριση της ποιότητας	40
A.1 Σκοπός	40
A.2 Ορισμοί	40
A.3 Διαχείριση ποιότητας	41
A.4 Διασφάλιση ποιότητας	42
A.5 Έλεγχοι ποιότητας	43
Κεφάλαιο Β-Μόνιμες, μεταβλητές και τυχαίες δράσεις	45
B.1 Μόνιμες δράσεις -(Permanent actions)	45
B.2 Μεταβλητές δράσεις -(Variable actions)	46
B.3 Τυχαίες δράσεις	47
Κεφάλαιο C-Υπολογιστικά μοντέλα καταπόνησης σε κόπωση	47
C.1 Εισαγωγή	47
C.2 S-N Lines	47
C.3 Μηχανισμοί αστοχίας από κόπωση (Fracture Mechanics)	48
C.4 Διαδικασία επαλήθευσης με την μέθοδο των μερικών συντελεστών	49
Κεφάλαιο D-Σχεδιασμός βασισμένος σε πειραματικά μοντέλα	51
D.1 Σκοπός	51
D.2 Γενικές σκέψεις	51
D.3 Διαφορές μεταξύ πραγματικών και πειραματικών συνθηκών	53
D.4 Σχεδιασμός των πειραμάτων	53
D.5 Άμεση αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων	54
D.6 Επαλήθευση βασισμένη σε ένα μοντέλο ανάλυσης	63

Κεφάλαιο Ε-Προδιαγραφές στον σχεδιασμό της αξιοπιστίας	64
E.1 Εισαγωγή	64
E.2 Αβεβαιότητα μοντέλων	65
E.3 Κριτήριο αστοχίας	69
E.4 Καθορισμένα επίπεδα αξιοπιστίας	73
E.5 Υπολογισμοί στις πιθανότητες αστοχίας	76
E.6 Μέθοδοι τιμών σχεδιασμού	78
E.7 Επαλήθευση αξιοπιστίας μέσω των κανονισμών	81
Κεφάλαιο F-Συνδυασμός των δράσεων και εκτίμηση των τιμών τους	83
F.1 Εισαγωγή	83
F.2 Εκτίμηση των στατιστικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικές τιμές των μεταβλητών δράσεων	84
F.3 Εκτίμηση των συνδυαστικών τιμών	88
F.4 Εκτίμηση των συχνών τιμών-(frequent values)	95
F.5 Εκτίμηση των σχεδών μόνιμων τιμών-(quasi –permanent actions)	98
Κεφάλαιο G -Εφαρμογή μεθόδου συνδυασμού δράσεων	99
G.1 Γενικά	99
G.2 Εφαρμογές	99

1.Εισαγωγή

1.1 Σύμβολα

1.2 Κύρια σύμβολα

A : Τυχηματικές δράσεις

C : Περιορισμός της λειτουργικότητας

F : Γενική δράση

F_0 : Μεταβλητή κύριας δράσης

F_r : Χαρακτηριστική τιμή μιας δράσης

G : Μόνιμη δράση

Q : Μεταβλητή δράση

R : Αντίδραση – Αντίσταση

S : Αποτέλεσμα της δράσης

W : Μεταβλητή κίνησης του μοντέλου

X : Βασική μεταβλητή

Y : Μεταβλητή εξόδου του υπολογιστικού μοντέλου

a : Γεωμετρική ποσότητα

Δa : Πρόσθετη γεωμετρική ποσότητα

f : Ιδιότητα υλικού

P_f : Πιθανότητα αστοχίας

P_{fs} : Καθορισμένη τιμή της P_f

t : Χρόνος

β : Βαθμός αξιοπιστίας

γ : Επιμέρους συντελεστής

γ_f : Επιμέρους συντελεστής για κάθε δράση

γ_F : Γενικευμένος μερικός συντελεστής για τις δράσεις που λαμβάνονται στο μοντέλο και στην γεωμετρική αβεβαιότητα .

γ_G : Μερικός συντελεστής για κάθε μόνιμη δράση

γ_Q : Μερικός συντελεστής για κάθε μεταβλητή δράση

γ_m : Μερικός συντελεστής που σχετίζεται με τις ιδιότητες του υλικού

γ_M : Γενικευμένος μερικός συντελεστής για τις ιδιότητες αντοχής που λαμβάνονται υπόψη στο υλικό , στο μοντέλο και στις γεωμετρικές αβεβαιότητες

γ_D : Μερικός συντελεστής για τις αβεβαιότητες του μοντέλου

γ_n : Συντελεστής με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η σημαντικότητα της κατασκευής και οι συνέπειες της αστοχίας

θ : Παράμετρος στην οποία περιέχονται αβεβαιότητες του μοντέλου

θ_s : Τιμή που σχετίζεται με τα αποτελέσματα κάποιας δράσης

θ_R : Τιμή που σχετίζεται με την αντίσταση της κατασκευής

φ : Συνάρτηση των μεταβλητών της δράσης

Ψ_0 : Συντελεστής που προσδιορίζει τον συνδυασμό των τιμών των δράσεων

Ψ_1 : Συντελεστής που προσδιορίζει τον συνδυασμό των συχνών τιμών των δράσεων

Ψ_2 : Συντελεστής που προσδιορίζει τον συνδυασμό των σχεδόν μόνιμων τιμών των δράσεων

1.3 Δείκτες

i : Βασική μεταβλητή (αναφέρετε κυρίως στην δράση) αριθμού *i*

j : Δράση αριθμού *j*

k : Χαρακτηριστική τιμή

d : Τιμή σχεδιασμού

2. Απαιτήσεις και ιδέες

2.1 Θεμελιώδεις απαιτήσεις

Οι κατασκευές και τα κατασκευαστικά στοιχεία θα πρέπει να σχεδιάζονται , να κατασκευάζονται και να συντηρούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούν την χρήση τους κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους κατά οικονομικό τρόπο.

Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει με την κατάλληλη αξιοπιστία να πληρούν τις παρακάτω απαιτήσεις :

- Θα πρέπει να λειτουργούν με επάρκεια κάτω από όλες τις αναμενόμενες πιθανές δράσεις (απαιτήσεις της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας - **serviceability limit state requirement**).
- Θα πρέπει να αντέχουν σε συχνές επαναλαμβανόμενες δράσεις που εμφανίζονται κατά της διάρκεια της κατασκευής και κατά την προβλεπόμενη χρήση τους (απαιτήσεις της απόλυτης οριακής κατάστασης – **ultimate limit state requirement**) .
- Θα πρέπει να αντέχουν σε φαινόμενα όπως είναι , οι πλημμύρες , κατάρρευση του εδάφους , πυρκαγιά, εκρήξεις, κρούσεις ή σε συνέπειες που έχουν προέλθει από ανθρώπινα λάθη , κατά τον ανάλογο βαθμό σε σχέση με την αρχική αιτία (απαιτήσεις κατασκευαστικής ακεραιότητας - **structural integrity requirement**) .

Ο κατάλληλος βαθμός αξιοπιστίας της κατασκευής θα πρέπει να εκτιμηθεί σύμφωνα με τις πιθανές συνέπειες που θα επιφέρει η αστοχία και τις δαπάνες , το επίπεδο προσπάθειας και τις κατάλληλες διαδικασίες που είναι απαραίτητες για να μειώσουν τον κίνδυνο της αστοχίας (βλ. 2.2).

Οι μετρήσεις που μπορούν να γίνουν για να επιτύχουμε τον κατάλληλο βαθμό αξιοπιστίας περιλαμβάνουν τα εξής :

- Επιλογή του κατασκευαστικού συστήματος , σωστός σχεδιασμός και ανάλυση
- Υλοποίηση μιας κατάλληλης πολιτικών ποιότητας
- Σχεδιασμός για αντοχή και συντήρηση
- Προληπτικές μετρήσεις

Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στις παραγράφους **2.3** και **2.5**.

2.2 Διάκριση αξιοπιστίας στις κατασκευές

Η έκφραση “ με τον κατάλληλο βαθμό αξιοπιστίας ” που χρησιμοποιήθηκε στην παράγραφο **2.1** σημαίνει πως ο βαθμός αυτός θα πρέπει να υιοθετείτε λαμβάνοντας υπόψη τα εξής :

- Την αιτία και τον τρόπο της αστοχίας που υποδηλώνουν ότι η κατασκευή ή ένα δομικό στοιχείο της τα οποία θα μπορούσαν να καταρρεύσουν ξαφνικά, θα έπρεπε να σχεδιαστούν για ένα μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας για τον οποίο η κατάρρευση θα μπορούσε να ακολουθείται από κάποια προειδοποίηση , έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις και να περιοριστούν οι συνέπειες .
- Τις πιθανές συνέπειες της αστοχίας σε σχέση με τον κίνδυνο κάποιου πιθανού τραυματισμού , τις πιθανές οικονομικές απώλειες και το επίπεδο της κοινωνικής ενόχλησης .
- Τις δαπάνες , το επίπεδο της προσπάθειας και οι κατάλληλες διαδικασίες που είναι απαραίτητες για μειώσουμε τον κίνδυνο της αστοχίας .
- Τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες είναι επίσης απαραίτητες για να μειωθεί ο κίνδυνος της αστοχίας.
- Τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία.

Η διάκριση του απαιτούμενου βαθμού αξιοπιστίας μπορεί να εξασφαλιστεί με την ταξινόμηση ολόκληρης της κατασκευής ή με την ταξινόμηση των επιμέρους κατασκευαστικών στοιχείων της .Συνεπώς ο βαθμός αξιοπιστίας της κατασκευής θα μπορεί να επιλέγεται σύμφωνα με τις συνέπειες της αστοχίας όπως παρακάτω :

- a. Χαμηλός ζωτικός κίνδυνος , οικονομικές , κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες μικρές ή μηδαμινές .
- b. Μεσαίος ζωτικός κίνδυνος οικονομικές , κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες αξιοσημείωτες .
- c. Υψηλός ζωτικός κίνδυνος οικονομικές , κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες πολύ μεγάλες .

Η απαιτούμενη ασφάλεια που σχετίζεται με την κατασκευή ή την λειτουργικότητα μπορεί να εξασφαλιστεί με τον κατάλληλο συνδυασμό των παρακάτω μετρήσεων :

- a. Μετρήσεις που σχετίζονται στον σχεδιασμό
 - Απαιτήσεις λειτουργικότητας.
 - Η επιλογή των τιμών για τις μεταβλητές δράσης
 - Η επιλογή του βαθμού αξιοπιστίας για τον σχεδιασμό των υπολογισμών.
 - Θεώρηση της αντοχής .
 - Θεώρηση του βαθμού ακεραιότητας της κατασκευής (βλ. 2.3)
 - Η ποσότητα και η ποιότητα της προκαταρκτικής έρευνας των αποβλήτων και οι πιθανές περιβαλλοντικές συνέπειες
 - Η ακρίβεια των μηχανικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται
 - Η αυστηρότατη λεπτομέρεια των κανόνων
- b. Μετρήσεις που σχετίζονται στην ποιότητα της ασφάλειας ώστε να μειωθεί η πιθανότητα κινδύνου σε :
 - Μεγάλα ανθρώπινα λάθη
 - Σχεδιασμό
 - Εκτέλεση

2.3 Κατασκευαστικός σχεδιασμός

Αστοχία σε μια κατασκευή ή σε ένα μέλος της μπορεί να επέλθει εξαιτίας :

- Ενός εξαιρετικά ανεπιθύμητου συνδυασμού δράσεων ,από τις ιδιότητες των υλικών , γεωμετρικές ποσότητες , κ.α. όλα τα οποία συνδέονται με κοινή λειτουργία και άλλα με κοινές συνθήκες .

- Συνέπειες των εξαιρετικών αλλά προβλεπόμενων δράσεων ή περιβαλλοντικών επιρροών για παράδειγμα σύγκρουση ή ακραίες καιρικές συνθήκες .
- Συνέπειες ενός λάθους , όπως είναι η έλλειψη πληροφοριών , παράλειψη , λάθος κατανόηση και έλλειψη επικοινωνίας , αδιαφορία και κακή χρήση .
- Επιδράσεις που δεν είναι προβλεπόμενες . Καμία κατασκευή δεν αναμένεται να λειτουργήσει με επάρκεια σε όλες τις περιπτώσεις εάν εμφανιστούν εξαιρετικές δράσεις ή εξαιρετικά χαμηλή αντίδραση , η προβλεπόμενη εμβέλεια της ζημιάς θα πρέπει να περιοριστεί σε έναν βαθμό που δεν θα είναι δυσανάλογος με την αρχική αιτία.

Συνεπώς οι μετρήσεις θα πρέπει γίνονται έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται τέτοια φαινόμενα . Θα πρέπει αρχικά να περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω :

- a. Σχεδιασμός και συντήρηση της κατασκευής σύμφωνα πάντα με τους κανονισμούς που δίδονται από τις παρακάτω προτάσεις για καταστάσεις που συνδέονται με κοινή χρήση και κοινές συνθήκες .
- b. Σχεδιασμό του βασικού φορτίου αντοχής των μελών της κατασκευής για συγκεκριμένες δράσεις που μπορεί να προκληθούν από ατυχήματα ή παρόμοια συμβάντα.

Το κατασκευαστικό σχέδιο θα πρέπει να ελεγχθεί ώστε να προσδιοριστούν εκείνα τα κατασκευαστικά στοιχεία , των οποίων η αστοχία θα μπορούσε να προκαλέσει την κατάρρευση σε περισσότερο από ένα τμήμα της κατασκευής. Όπου τα στοιχεία αυτά εμφανίζονται και το κατασκευαστικό σχέδιο δεν μπορεί να αναθεωρηθεί για την αποφυγή τους, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η σημαντικότητά τους.

- c. Προστασία για προβλεπόμενα λάθη και την εξάλειψή τους .

Θα πρέπει να γίνεται ένας πιο προσεκτικός έλεγχος και να γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες έτσι ώστε να διασφαλίσουμε ότι δεν υπάρχει κάποια αδυναμία στο κατασκευαστικό σχέδιο και ότι υπάρχουν τα επαρκή μέσα που θα μεταφέρουν τα φορτία με ασφάλεια στα θεμέλια .Θα πρέπει να εισάγονται προστατευτικά μέτρα όπως είναι , προστασία σε πιθανή σύγκρουση οχημάτων με τον εφοδιασμό ενός επιπρόσθετου μέτρου προστασίας όπως είναι οι δέστρες.

Η πιθανότητα ενός ογκώδους σχεδίου και κατασκευαστικών λαθών θα πρέπει να εξαιρείται με την κατάλληλη διασφάλιση ποιότητας και τους ελέγχους ποιότητας όπως αναφέρεται στην παράγραφο **2.4** .

- d. Ο σχεδιασμός της κατασκευής θα πρέπει να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε οποιαδήποτε τοπική ζημιά να μην οδηγήσει σε άμεση κατάρρευση ολόκληρης της κατασκευής ή ενός σημαντικού μέλους της .

2.4 Τήρηση των κανονισμών

Για να πετύχουμε μεγάλη σιγουριά ότι η ολοκληρωμένη κατασκευή θα εκπληρώνει με επάρκεια τις απαιτούμενες προδιαγραφές για την ποιότητα και πιο συγκεκριμένα τις θεμελιώδεις προδιαγραφές (βλ. 2.1) θα πρέπει να υιοθετηθεί μια κατάλληλη τακτική ποιότητας και να υλοποιηθεί μέσω ομάδων που συνθέτουν το τμήμα διαχείρισης (management) για το κάθε στάδιο λειτουργίας της κατασκευής .

Αυτή λοιπόν η τακτική θα πρέπει να αποτελείται από :

- a. Προσδιορισμό των προδιαγραφών ποιότητας
- b. Μετρήσεις και ελέγχους κατά τα στάδια του σχεδιασμού και εκτέλεση και κατά την διάρκεια της χρήσης της κατασκευής αλλά και κατά την διάρκεια της συντήρησης .

Το τμήμα management που επιλέγεται για την διαχείριση της ποιότητας και που θα υλοποιήσουν την τακτική αυτή θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τα εξής :

- Το είδος και την χρήση της κατασκευής
- Τις συνέπειες που θα επιφέρει η έλλειψη ποιότητας (π.χ. ατυχήματα που προέρχονται από την αστοχία της κατασκευής)
- Το επίπεδο μόρφωσης των ομάδων που συμπεριλαμβάνονται στο τμήμα αυτό

Κατά τον κατασκευαστικό σχεδιασμό , η αξιοπιστία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που θα πρέπει να μελετάται προσεχτικά για πετύχουμε την καλύτερη ποιότητα .Πρότυπα του κατασκευαστικού σχεδιασμού θα πρέπει να παρέχουν ένα κατάλληλο πλαίσιο εργασίας για να πετύχουμε την αξιοπιστία πάνω στην κατασκευή όπως παρακάτω :

- Να παρέχουν τους κανόνες που επιβεβαιώνουν την εκπλήρωση των προδιαγραφών αξιοπιστίας .
- Να καθορίζουν τους κανόνες που επιβεβαιώνουν την εκπλήρωση των προδιαγραφών αξιοπιστίας.
- Να καθορίζουν τους κανόνες για τον κατασκευαστικό σχεδιασμό και για συνθήκες που συνδέονται με αυτό.

Οι συνθήκες που θα πρέπει να εκπληρώνονται είναι , η επιλογή της μεθόδου κατασκευής , το επίπεδο εργασίας και του τμήματος συντήρησης που

αναφέρονται λεπτομερειακά στα πρότυπα κατασκευαστικού σχεδιασμού. Οι συνθήκες θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη στην αξιοπιστία για τις ιδιότητες των υλικών, τους ελέγχους ποιότητας και για τον κριτήριο επιλογής των κατάλληλων υλικών.

Επίσης περιλαμβάνουν πληροφορίες για την μελέτη στην χρήση σε σχέση πάντα με τον σχεδιασμό και την διαδικασία εκτέλεσης όπως είναι ο εφοδιασμός αλυσίδων όσον αφορά για την διακίνηση υλικού.

2.5 Αντοχή και συντήρηση

Η αντοχή είναι μια απαραίτητη συνθήκη για την εκπλήρωση των προδιαγραφών αξιοπιστίας. Η αντοχή της κατασκευής και των επιμέρους κατασκευαστικών στοιχείων της στο αντίστοιχο περιβάλλον τους θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε, να παραμένουν υγιή για χρήση κατά την σχεδιασμένη διάρκεια λειτουργίας τους με την κατάλληλη πάντα συντήρηση. Η συνθήκη αυτή εφαρμόζεται επίσης και σε δοκιμές κόπωσης. Παραδείγματα για την διάρκεια λειτουργίας δίνονται στον **Πίνακα 1**.

Πίνακας1 Ενδεικτική κατάταξη για την διάρκεια λειτουργίας κατασκευών

<i>Κλάση</i>	<i>Χρόνια</i>	<i>Παραδείγματα</i>
<i>1</i>	<i>1-5</i>	<i>Προσωρινές κατασκευές</i>
<i>2</i>	<i>25</i>	<i>Αντικατάσταση κατασκευαστικών κομματιών π.χ πλαίσιο στήριξης γερανών οροφής, κύρια δοκός στήριξης, ρουλεμάν</i>
<i>3</i>	<i>50</i>	<i>Κτήρια και άλλες παρόμοιες κατασκευές</i>
<i>4</i>	<i>100 ></i>	<i>Μνημειώδης κτήρια και άλλες ειδικές και σημαντικές κατασκευές. Μεγάλες γέφυρες</i>

Η συντήρηση είναι το σύνολο των ενεργειών που εκτελούνται κατά την διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής έτσι ώστε να εκπληρώνονται οι προδιαγραφές αξιοπιστίας στην αντοχή. Περιλαμβάνει την εκτέλεση τακτικών επιθεωρήσεων, πρόσθετες επιθεωρήσεις σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ μετά από έναν σεισμό), την αναβάθμιση των συστημάτων προστασίας και επισκευής των κατασκευαστικών στοιχείων.

Η αντοχή θα πρέπει να εξασφαλίζεται :

- Είτε με ένα καθορισμένο πρόγραμμα συντήρησης

- Είτε με σχεδιασμό τέτοιο ώστε η επιδείνωση μιας κατάστασης να μην οδηγήσει σε αστοχία της κατασκευής, σε τέτοιες περιπτώσεις όπου η κατασκευή δεν μπορεί ή δεν αναμένεται να υποβληθεί σε συντήρηση.

Στη παραπάνω πρώτη περίπτωση , η κατασκευή θα πρέπει να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ή να είναι εφοδιασμένη με κατάλληλη προστασία κατά τέτοιο τρόπο ώστε καμία σημαντική επιδείνωση να μην επέλθει κατά την περίοδο των διαδοχικών επιθεωρήσεων .

Θα πρέπει λοιπόν να μελετάται κατά τον σχεδιασμό η δυνατότητα επιθεώρησης σημαντικών στοιχείων χωρίς περίπλοκη αποσυναρμολόγηση της κατασκευής για προληπτικούς λόγους συντήρησης .Για να εξασφαλίσουμε ότι η κατασκευή μας αντέχει με επάρκεια θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τους παρακάτω σχετικούς παράγοντες.

- Την προορισμένη χρήση της κατασκευής
- Το κριτήριο της απαιτούμενης απόδοσης
- Τις αναμενόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες
- Το κατασκευαστικό σύστημα
- Το σχήμα των μελών και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες
- Την ποιότητα της εργασίας και το επίπεδο ελέγχου
- Τα συγκεκριμένα μέτρα ασφάλειας
- Τη συντήρηση κατά την διάρκεια του σχεδιασμένου χρόνου λειτουργίας

Ο βαθμός της επιδείνωσης μιας κατάστασης μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τη θεωρητικής ή τη πειραματική επιθεώρηση και στην εμπειρία.

3 Αρχές σχεδιασμού σε οριακή κατάσταση

3.1 Οριακή κατάσταση

3.1.1 Γενικά

Η κατασκευαστική συμπεριφορά της ίδιας της κατασκευής ή ενός μέλους της θα πρέπει γενικά να περιγράφεται αναφερόμενη σε μια καθορισμένη οριακή κατάσταση όπου διαχωρίζει την επιθυμητή κατάσταση από την ανεπιθύμητη .

Η οριακή κατάσταση χωρίζεται σε δύο κατηγορίες :

- a. Η απόλυτη οριακή κατάσταση(*ultimate limit states*) που αναφέρεται στην μέγιστη ικανότητα του φορτίου (*load –carrying capacity*) , σε κάποιες περιπτώσεις στην μέγιστη παραμόρφωσης που εμφανίζεται στην κατασκευή (*maximum applicable strain of deformation*).

- b.** Η οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας της κατασκευής, η οποία αναφέρεται στην κανονική λειτουργία της κατασκευής (*serviceability limit states*)

Όταν λοιπόν υπερβαίνουμε την οριακή αυτή κατάσταση οι συνέπειες που θα επέλθουν μπορεί να είναι αντιστρέψιμες ή όχι . Στην πρώτη περίπτωση η ζημιά ή η βλάβη θα παραμείνει έως ότου η κατασκευή να επισκευαστεί .Στην αντίθετη περίπτωση όπου οι συνέπειες δεν είναι αντιστρέψιμες η ζημιά ή η βλάβη θα παραμείνει όσο παραμένει και η αιτία που προκαλεί την υπέρβαση της οριακής κατάστασης.

3.1.2 Απόλυτη οριακή κατάσταση (ultimate limit states)

Η απόλυτη οριακή περιλαμβάνει :

- a.** Έλλειψη της ισορροπίας της κατασκευής ή ενός μέλους από την κατασκευή χαρακτηρίζοντας την ως ένα στερεό σώμα (π.χ. εκτροπή)
- b.** Υπέρβαση της μέγιστης ικανότητας αντίστασης των τμημάτων , μελών ή συνδέσμων της κατασκευής (σε κάποιες περιπτώσεις επηρεασμένες από κόπωση , διάβρωση κ.α.) ή ακραίες παραμορφώσεις
- c.** Μετατροπή της κατασκευής ή ενός τμήματος της σε μηχανισμό
- d.** Αστάθεια στην ίδια την κατασκευή ή σε κάποιο τμήμα της
- e.** Ξαφνική αλλαγή του υποτιθέμενου κατασκευαστικού συστήματος σε ένα νέο σύστημα .

Οι συνέπειες υπέρβασης της απόλυτης οριακής κατάστασης είναι σχεδόν πάντα μη αντιστρέψιμες και την πρώτη φορά που αυτό εμφανίζεται προκαλεί αποτυχία-αστοχία .

3.1.3 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (serviceability limit states)

Η οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας περιλαμβάνει :

- a.** Τοπική ζημιά (π.χ. θραύση) η οποία μπορεί να μειώσει την διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής ή να επιδράσει στην αποδοτικότητα ή στην εμφάνιση των κατασκευαστικών ή μη-κατασκευαστικών στοιχείων .Τα μεταβαλλόμενα φορτία μπορούν να έχουν επίδραση πάνω στην τοπική ζημιά (π.χ κόπωση).

- b.** Ανεπιθύμητες παραμορφώσεις που επιδρούν στην εμφάνιση και στην απόδοση των κατασκευαστικών ή μη-κατασκευαστικών στοιχείων ή στην λειτουργία του εξοπλισμού.
- c.** Ακραίες τιμές κραδασμών που προκαλούν ενόχληση στο κοινωνικό σύνολο ή επιδρούν σε μη-κατασκευαστικά στοιχεία ή στην λειτουργία του εξοπλισμού.

Σε περιπτώσεις όπου η τοπική ζημιά είναι μόνιμη , υπάρχουν ανεπιθύμητες μόνιμες παραμορφώσεις , η υπέρβαση της οριακής κατάστασης της λειτουργικότητας είναι μη-αντιστρέψιμη και την πρώτη φορά που αυτό εμφανίζεται προκαλεί αστοχία .

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις η υπέρβαση αυτή μπορεί να είναι αντιστρέψιμη και η αστοχία επέρχεται ως εξής :

- a.** Τη πρώτη φορά που υπερβαίνουμε την οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας ,αν δεν είναι υπερβολική μπορεί να θεωρηθεί ως αποδεκτή.
- b.** Εάν η υπέρβαση αυτή είναι αποδεκτή αλλά ο χρόνος που η κατασκευή μας βρίσκεται στην ανεπιθύμητη κατάσταση είναι μεγαλύτερος από τον καθορισμένο χρόνο.
- c.** Εάν η υπέρβαση είναι αποδεκτή αλλά η συχνότητα της υπέρβασης της οριακής κατάστασης της λειτουργικότητας είναι μεγαλύτερη από την καθορισμένη .
- d.** Εάν εμφανιστεί κάποιος συνδυασμός των παραπάνω κριτηρίων ή κάποια άλλα κριτήρια σχετικά με τα παραπάνω.

Αυτές οι περιπτώσεις μπορούν να περιλαμβάνουν προσωρινή τοπική ζημιά, ή προσωρινές μεγάλες παραμορφώσεις και κραδασμούς .

Ο σχεδιασμός των κριτηρίων για την οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας εκφράζονται γενικά σε περιόδους των ορίων για αποδεκτές επιταχύνσεις , παραμορφώσεις ,και πλάτη ρωγμών κ.α.

Αυτά τα όρια λοιπόν θα πρέπει γενικά να θεωρούνται τυχαία και μπορούν να εξαλειφτούν και να περιγραφούν με στατιστικές μεθόδους. Παρουσιάζονται συνήθως σε κανονισμούς με καθορισμένες οριακές αιτίες .

3.2 Σχεδιασμός

3.2.1 Διαδικασία σχεδιασμού

Όλες λοιπόν οι σχετικές οριακές καταστάσεις θα πρέπει να μελετώνται κατά τον σχεδιασμό.

Για κάθε συγκεκριμένη οριακή κατάσταση, θα πρέπει να αναγνωρίζονται οι σχετικές κύριες μεταβλητές του συστήματος, δηλαδή μεταβλητές που χαρακτηρίζουν :

- Δράσεις και περιβαλλοντικές επιρροές
- Ιδιότητες των υλικών
- Παράμετροι της γεωμετρίας

Τα μοντέλα που περιγράφουν την συμπεριφορά της κατασκευής θα πρέπει να επαληθεύουν κάθε οριακή κατάσταση. Αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν μηχανικά μοντέλα που περιγράφουν την συμπεριφορά της κατασκευής, όπως διάφορα φυσικά ή χημικά μοντέλα που περιγράφουν τις επιρροές από το περιβάλλον και τις ιδιότητες των υλικών.

Όταν υπολογιστικά μοντέλα είναι διαθέσιμα, η οριακή κατάσταση περιγράφεται με την βοήθεια μιας συνάρτησης, g με κύριες μεταβλητές

$$X = X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

$$g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = 0 \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) ονομάζεται συνάρτηση οριακής κατάστασης και

$$g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \geq 0 \quad (2)$$

Εκφράζει την επιθυμητή περιοχή.

Αρχικά, ο σκοπός σχεδιασμού ενός υπολογιστικού μοντέλου (ή έλεγχος πρωτοτύπου) είναι η διασφάλιση ενός επαρκούς βαθμού αξιοπιστίας στην κατασκευή. Για να επιβεβαιωθεί αυτό εκτελούνται υπολογισμοί σύμφωνα πάντα με το υπολογιστικό μοντέλο που έχει επιλεγθεί.

Σε αυτό το Διεθνές Πρότυπο εκτελούνται δύο πιθανοί μέθοδοι υπολογισμών :

- Μια μέθοδος βασισμένη στις πιθανότητες (πιθανολογικό μοντέλο)

- Μια μέθοδος βασισμένη σε μερικούς συντελεστές

Η μέθοδος που βασίζεται σε μερικούς συντελεστές είναι εκείνη που σκοπεύει να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογιστικό σχεδιασμό σε κοινές περιπτώσεις. Ενώ η μέθοδος που βασίζεται στις πιθανότητες μπορεί να είναι αξιόπιστη για ειδικές περιπτώσεις σχεδιασμού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των μερικών συντελεστών.

Επιπλέον για να σχεδιαστούν οι υπολογισμοί, η λεπτομερής μελέτη είναι ένα σημαντικό βήμα της διαδικασίας σχεδίασης. Συνεπώς υποθέσεις (παραδοχές) που γίνονται στα υπολογιστικά μοντέλα θα πρέπει να συμφωνούν με τα κατασκευαστικά σχέδια, οδηγίες, κ.α., με τις κατάλληλες κατασκευαστικές διατάξεις και λεπτομέρειες.

3.2.2 Καταστάσεις σχεδιασμού

Δράσεις, περιβαλλοντικές επιδράσεις και σε πολλές περιπτώσεις, οι αναμενόμενες ιδιότητες της κατασκευής ποικίλουν σε σχέση με τον χρόνο. Αυτές λοιπόν οι μεταβολές, που μπορούν να εμφανιστούν σε όλη την διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής θα πρέπει να μελετώνται επιλέγοντας τις κατάλληλες συνθήκες για την κάθε μια που αντιπροσωπεύει ένα χρονικό διάστημα με τους αντίστοιχους σχετικούς κινδύνους, καταστάσεις και τις αντίστοιχες οριακές συνθήκες. Ο ξεχωριστός έλεγχος αξιοπιστίας είναι απαραίτητος για τη κάθε μια από αυτές σε σχέση πάντα με τις διαφορετικές επιπτώσεις της αστοχίας.

Οι καταστάσεις σχεδιασμού ταξινομούνται σε :

- Συνεχείς συνθήκες
- Μεταβατικές συνθήκες.
- Τυχαίες συνθήκες

Οι συνεχείς και μεταβατικές καταστάσεις θεωρούνται ότι ενεργούν με βεβαιότητα. Οι τυχαίες καταστάσεις εξ ορισμού εμφανίζονται με μια σχετικά μικρή πιθανότητα κατά την διάρκεια της λειτουργίας της κατασκευής.

Εάν τα φορτία, όπως είναι φορτία από χιόνι, σεισμούς κ.α. συνδέονται με μεταβατικές ή τυχαίες καταστάσεις αυτό θα εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες.

4 Κύριες μεταβλητές

4.1 Γενικά

Τα υπολογιστικά μοντέλα θα πρέπει να περιέχουν για κάθε οριακή κατάσταση μια καθορισμένη ομάδα κύριων μεταβλητών , που θα αντιπροσωπεύουν φυσικές ποσότητες οι οποίες θα χαρακτηρίζουν δράσεις και περιβαλλοντικές συνθήκες , ιδιότητες υλικών και εδάφους , και γεωμετρικές ποσότητες .

Εάν η αβεβαιότητα μιας κύριας μεταβλητής κρίνεται πολύ σημαντική π.χ. από την εμπειρία ή από εκτενέστερη μελέτη , θα πρέπει να εκφράζεται ως μια τυχαία μεταβλητή .

Οι αβεβαιότητες γενικότερα αποτελούνται από συστηματικά τμήματα και τυχαία τμήματα . Προκαλούνται κυρίως από :

- Εγγενής τυχαία μεταβλητότητα , η οποία είναι ασταθής στο χρόνο ή μεταξύ τυπικών κατασκευών και γεωγραφικών περιοχών υπό εξέταση
- Ανεπαρκείς πληροφορίες ή ανακριβή γνώση .

Οι τυχαίες μεταβλητές θα πρέπει να περιγράφονται από στατιστικές κατανομές , οι οποίες συχνά θα μπορούν να θεωρούνται και ως υποθετικές . Σε πολλές περιπτώσεις οι κατανομές αυτές χαρακτηρίζονται από κύριες παραμέτρους όπως είναι μια μέση τιμή , τυπική απόκλιση , ασυμμετρία και συντελεστή συσχέτισης για κατανομές πολλαπλών διαστάσεων . Ένα πιθανολογικό μοντέλο θα πρέπει να βασίζεται σε στατιστική ανάλυση των διαθέσιμων πληροφοριών .

Είναι πολύ σημαντικό να ξεχωρίσουμε και να εντοπίσουμε τους διαφορετικούς στατιστικούς πληθυσμούς για να μην χρησιμοποιούνται λανθασμένες κατανομές . Οι πληροφορίες θα πρέπει όταν είναι δυνατόν να εξετάζονται για να ελαχιστοποιήσουμε σφάλματα μετρήσεων και επιπτώσεις της κλίμακας.

Πιθανολογικά μοντέλα για κύριες μεταβλητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας μέσα στην πιθανολογική διαδικασία . Στην μέθοδο με μερικούς συντελεστές οι κύριες μεταβλητές αντιπροσωπεύονται από τις τιμές σχεδιασμού , όπου είναι δυνατόν θα πρέπει να εκτιμώνται από το διάφορα πιθανολογικά μοντέλα.

4.2 Δράσεις

4.2.1 Γενικά

Ως μια δράση ορίζεται :

- Ένας συνδυασμός συγκεντρωμένων ή κατανεμημένων μηχανικών δυνάμεων που δρουν πάνω στην κατασκευή (*direct actions* -άμεσες δράσεις)
- Η αιτία παραμορφώσεων που επιβάλλονται πάνω στη κατασκευή ή την περιορίζει (*indirect actions*- έμμεσες δράσεις)

Μία δράση θεωρείται μοναδική εάν μπορεί να θεωρηθεί ως στατιστικά ανεξάρτητη στον χρόνο και στον χώρο από οποιαδήποτε άλλη δράση που επιδρά πάνω στην κατασκευή .

Μια δράση συχνά χαρακτηρίζεται από δύο ή περισσότερες κύριες μεταβλητές .Για παράδειγμα το μέτρο και η διεύθυνση μιας δύναμης μπορούν και τα δύο να αποτελούν κύριες μεταβλητές. Μερικές φορές μια δράση μπορεί να εισάγεται ως μια συνάρτηση από κύριες μεταβλητές , κάθε μια να αντιπροσωπεύει κάποια φυσική ιδιότητα .

Ένα παράδειγμα αποτελεί η πίεση του εδάφους η οποία μπορεί να εξαρτάται από την κατακόρυφη πίεση και την γωνία τριβής , και τα δύο αποτελούν τυχαίες μεταβλητές .

Οι μεταβλητές των φυσικών δράσεων είναι καθορισμένες από τις περιβαλλοντικές συνθήκες . Μεταβλητές δράσεων που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα καθορίζονται από φυσιολογική ανθρώπινη συμπεριφορά , ακαθόριστα ανθρώπινα λάθη ,κ.α..

4.2.2 Ταξινόμηση των δράσεων σύμφωνα με την διακύμανση του μεγέθους τους στον χρόνο

Ταξινομούνται λοιπόν ανάλογα με την διακύμανση τους σε σχέση με τον χρόνο σε :

- Μόνιμες δράσεις (G)
- Μεταβλητές δράσεις (Q)
- Τυχαίες (τυχηματικές) δράσεις (A)

Μόνιμες δράσεις είναι εκείνες που είναι πιθανόν να δρουν συνεχώς σε μια δοσμένη ενδεικτική περίοδο για την οποία οι διακυμάνσεις στο μέτρο των δράσεων σε σχέση με τον χρόνο δεν είναι συγκρίσιμες με την μέση τιμή, ή οι διακυμάνσεις της μπορούν να οδηγήσουν σε κάποιες οριακές τιμές.

Μεταβλητές δράσεις (Q) είναι οι εκείνες για τις οποίες η διακύμανση του μέτρου τους σε σχέση με τον χρόνο δεν είναι ούτε αμελητέα αλλά ούτε μονοτονική σε σχέση με την μέση τιμή.

Τυχαίες (τυχηματικές) δράσεις είναι εκείνες που είναι πολύ πιθανόν να εμφανιστούν με μία σημαντική τιμή στην κατασκευή σε μια δοσμένη περίοδο αναφοράς. Οι μεταβλητές και τυχαίες δράσεις μπορούν να περιγραφούν από τυχαίες ή όχι συναρτήσεις στο χώρο και στο χρόνο. Τα πιθανολογικά μοντέλα για ακραίες μεταβλητές και τυχαίες δράσεις θα πρέπει πάντα να αναφέρονται σε μια δοσμένη περίοδο αναφοράς

4.2.3 Ταξινόμηση των δράσεων σύμφωνα με την διακύμανση του μεγέθους τους στον χώρο

Ταξινομούνται ανάλογα με την διακύμανση τους σε σχέση με τον χώρο σε :

- Σταθερές (καθορισμένες) δράσεις (π.χ το ίδιο βάρος της κατασκευής)
- Ελεύθερες δράσεις (π.χ επιβεβλημένα φορτία, φορτία ανέμου, χιονιού και άλλα)

Οι δράσεις που δεν ανήκουν σε καμία από δύο παραπάνω ομάδες, μπορούν να θεωρηθούν ως δράσεις που αποτελούνται από σταθερό τμήμα και ελεύθερο τμήμα. Ο χειρισμός των ελεύθερων δράσεων απαιτεί την μελέτη για διαφορετικές συνθήκες φορτίου.

4.2.4 Ταξινόμηση των δράσεων σύμφωνα με την κατασκευαστική τους συμπεριφορά

Ταξινομούνται σε :

- Στατικές δράσεις δηλαδή αυτές που δεν προκαλούν αξιοσημείωτη επιτάχυνση στην κατασκευή ή σε ένα κατασκευαστικό στοιχείο της.
- Δυναμικές δράσεις αυτές που προκαλούν αξιοσημείωτη επιτάχυνση στην κατασκευή ή σε ένα κατασκευαστικό στοιχείο της.

Υποσημείωση: Στις περισσότερες περιπτώσεις, τις δυναμικές δράσεις τις χειριζόμαστε ως στατικές λαμβάνοντας υπόψη την δυναμική επίδραση με μία κατάλληλη αύξηση στο μέτρο της συνιστώσας στατικής δύναμης ή με την επιλογή μιας ισοδύναμης στατικής δύναμης.

Όταν δεν συμβαίνει αυτό τα αντίστοιχα δυναμικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να προσεγγίσουμε την αντίδραση της κατασκευής , οι δυνάμεις αδράνειας δεν συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο αλλά καθορίζονται από ανάλυση .

4.2.5 Περιορισμένες και απεριόριστες δράσεις

Οι περιορισμένες δράσεις είναι εκείνες που έχουν μια οριακή τιμή και δεν μπορούν να την υπερβούν , η οποία τιμή είναι ακριβής ή κατά προσέγγιση γνωστή . Μια τέτοια οριακή τιμή μπορεί να επιτευχθεί , ή να προσεγγιστεί με μια σημαντική πιθανότητα κατά την διάρκεια σχεδιασμού των συνθηκών. Οι υπόλοιπες δράσεις ονομάζονται απεριόριστες δράσεις .

4.2.6 Άλλες ταξινομήσεις των δράσεων

Σε αυτές ανήκουν οι δράσεις που εξαρτώνται από τις ιδιότητες του υλικού και μελετώνται σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ. ταξινόμηση σύμφωνα με την διάρκεια εμφάνισης του φαινομένου ερπυσμού στην κατασκευή , και ταξινόμηση σε φαινόμενα κόπωσης).

4.3 Επιρροές από το περιβάλλον

Οι περιβαλλοντικές επιρροές μπορεί να έχουν έναν μηχανικό, φυσικό , χημικό ή βιολογικό χαρακτήρα και μπορούν να φθείρουν το υλικό της κατασκευής με αποτέλεσμα να επιδρούν στην ασφάλεια και στην λειτουργικότητα της κατασκευής με έναν ανεπιθύμητο τρόπο .

Οι περιβαλλοντικές επιρροές είναι σε πολλές περιπτώσεις όμοιες με τις δράσεις ειδικά όταν μας ενδιαφέρει η μεταβολή τους σε σχέση με τον χρόνο .Συνεπώς ταξινομούνται ως μόνιμες , μεταβλητές και τυχαίες επιρροές .

- Ένα παράδειγμα μια μόνιμης επιρροής από το περιβάλλον αποτελεί η επίδραση των χλωριδίων του θαλάσσιου νερού πάνω στο μπετόν .Η επίδραση της υγρασίας στην αντοχή του ξύλου είναι ένα παράδειγμα μεταβλητής επιρροής .

Οι επιρροές από το περιβάλλον εξαρτώνται από τις ιδιότητες του υλικού συνεπώς τα χαρακτηριστικά τους θα πρέπει να καθορίζονται για κάθε συγκεκριμένο τύπο υλικού που χρησιμοποιούμε . Σε πολλές περιπτώσεις που εμπλέκονται χημικές και βιολογικές επιρροές από το περιβάλλον η παρουσία υγρασίας αποτελεί έναν παράγοντα "κλειδί" .

Οι περιβαλλοντικές επιρροές θα πρέπει , όπου βέβαια είναι δυνατόν , να περιγράφονται με την χρήση αριθμητικών τιμών όπως και στις δράσεις .Σε πολλές περιπτώσεις αυτό είναι δύσκολο για αυτό τον λόγο οι περιβαλλοντικές επιρροές συχνά ταξινομούνται ανάλογα με την επιθετική αντίδραση τους απέναντι σε ένα συγκεκριμένο υλικό.

Συνήθως δύο ή παραπάνω περιβαλλοντικές επιρροές με τον συνδυασμό τους προκαλούν επιδράσεις οι οποίες είναι πιο σοβαρές από το αποτέλεσμα που θα είχαν αν δρούσαν ως ξεχωριστές επιρροές. Σε τέτοιες περιπτώσεις το περιβάλλον θα πρέπει να ταξινομείται ως σύνολο σύμφωνα πάντα με την επιθετικότητα του .

4.4 Ιδιότητες των υλικών

Οι ιδιότητες των υλικών συμπεριλαμβάνοντας και τις ιδιότητες του εδάφους , θα πρέπει να περιγράφονται από μετρήσιμες φυσικές ποσότητες και θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ιδιότητες που έχουμε θεωρήσει στο υπολογιστικό μας μοντέλο .Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να ποικίλουν σε σχέση με τον χρόνο , να εξαρτώνται από την θερμοκρασία , την υγρασία , από παλιά φορτία και άλλες διάφορες επιρροές. Επίσης εξαρτώνται από καθορισμένες συνθήκες που αφορούν την κατασκευή , και το κριτήριο προσφοράς και ζήτησης.

Γενικά οι ιδιότητες και η ποικιλία τους θα πρέπει να καθορίζονται από δοκιμές σε κατάλληλα δοκίμια .Οι δοκιμές αυτές θα πρέπει να βασίζονται σε τυχαία δείγματα που είναι αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού που μελετάται. Μέσω κατάλληλων και καθορισμένων συντελεστών μετατροπής ή συναρτήσεων , οι ιδιότητες που λαμβάνονται από τα δοκίμια θα πρέπει να μετατρέπονται στις ιδιότητες που θα επαληθεύουν τις υποθέσεις που κάναμε στο υπολογιστικό μοντέλο. Οι αβεβαιότητες των συντελεστών μετατροπής θα πρέπει να μελετώνται προσεχτικά .Αξιοσημείωτες πιθανές επιδράσεις από την μετατροπή αυτή είναι επιδράσεις από τα μεγέθη , όπως είναι η επίδραση από τον χρόνο , την θερμοκρασία , την υγρασία κ.α.

5 Υπολογιστικά μοντέλα

5.1 Γενικά

Τα υπολογιστικά μοντέλα περιγράφουν την κατασκευή και την συμπεριφορά της στην οριακή κατάσταση εξετάζοντας την ύπαρξη σχετικών δράσεων και περιβαλλοντικών επιρροών . Τα μοντέλα γενικότερα θα πρέπει να θεωρούνται ως απλουστεύσεις που λαμβάνουν υπόψη τους αποφασιστικούς παράγοντες και απορρίπτουν τους λιγότερο σημαντικούς .

Μια διάκριση που μπορεί να γίνει μεταξύ τους είναι :

- Υπολογιστικά μοντέλα που μελετούν τις δράσεις
- Κατασκευαστικά μοντέλα που δίνουν αποτελέσματα από την επίδραση των δράσεων (εσωτερικές δυνάμεις , ροπές κ.α.)
- Μοντέλα αντίδρασης τα οποία μελετούν την αντίδραση της κατασκευής από την επίδραση των δράσεων .

Όμως σε μερικές περιπτώσεις δεν είναι δυνατόν ή βολικό να γίνει αυτή η διάκριση για παράδειγμα εάν η αστάθεια ή η έλλειψη ισορροπίας ενός ολοκληρωμένου κατασκευαστικού συστήματος που μελετάμε ή αλληλεπιδράσεις μεταξύ φορτίων και αντίδρασης της κατασκευής είναι εκτός ενδιαφέροντος.

Για κατασκευαστικά μοντέλα θα πρέπει να μελετάται η παρακάτω ταξινόμηση τους σύμφωνα με την αντίδραση :

- Δυναμική έναντι στατικής αντίδρασης
- Ελαστικής έναντι μη-ελαστικής αντίδρασης (πλαστικής)
- Γεωμετρικά γραμμική έναντι γεωμετρικά μη-γραμμικής αντίδρασης
- Εξαρτώμενη στο χρόνο (π.χ. ερπυσμός) έναντι ανεξάρτητη στο χρόνο αντίδραση

Για κατασκευαστικά μοντέλα θα πρέπει να μελετάται η παρακάτω ταξινόμηση τους σύμφωνα με την αντίσταση :

- Μοντέλα τοπικής αντοχής , μοντέλα αντοχής στοιχείων της κατασκευής και μοντέλα αντοχής συστήματος .
- Μοντέλα στιγμιαίας αντοχής και μοντέλα που περιλαμβάνουν συσσωρευτικές επιδράσεις (κόπωσης , εκτροπής)

Η επιλογή για το ποιο μοντέλο είναι σχετικό με τον συγκεκριμένο σχεδιασμό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της φόρτισης , τις ιδιότητες του υλικού και από την γεωμετρία της κατασκευής .

Τα υπολογιστικά μοντέλα θα πρέπει κατά προτίμηση να βασίζονται σε πειραματικές ποσότητες , επαλήθευση των μεμονωμένων υποθέσεων που αφορούν στην σχέση των δράσεων και στις επιδράσεις τους , και μεταξύ των επιδράσεων και την αντίσταση .

5.2 Τύποι υπολογιστικών μοντέλων

5.2.1 Υπολογιστικά μοντέλα δράσεων

Ένα ολοκληρωμένο μοντέλο δράσης περιγράφει αρκετές ιδιότητες της δράσης , όπως είναι το μέτρο της , την θέση της , την κατεύθυνση της , την διάρκεια της κ.α. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει μια αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών ιδιοτήτων η οποία θα πρέπει να μελετάται .Μερικές φορές εμφανίζονται αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δράσεων και της αντίδρασης της κατασκευής οι οποίες δεν πρέπει να περνάνε απαρατήρητες (π.χ. για συγκεκριμένη τιμή ανέμου , ταλαντώσεις και αλληλεπιδράσεις από την κατασκευή του εδάφους).

Το μέτρο της ενέργειας F μπορεί γενικά να μοντελοποιηθεί σύμφωνα με την παρακάτω συμβολική έκφραση :

$$F = \phi(F_0, \omega) \quad (3)$$

- $\phi()$ μια κατάλληλη συνάρτηση
- F_0 βασική μεταβλητή της δράσης , συχνά εξαρτώμενη από τον χρόνο και τον χώρο (τυχαία ή όχι μεταβλητή) , είναι γενικά ανεξάρτητη από την κατασκευή .
- ω δεν είναι μια τυχαία μεταβλητή , μπορεί να εξαρτάται από τις κατασκευαστικές ιδιότητες και είναι εκείνη που μετατρέπει την F_0 σε ενέργεια F

Για παράδειγμα η F_0 μπορεί να οριστεί :

- Σε περίπτωση ιδίου βάρους από τις διαστάσεις και την πυκνότητα
- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από χιόνι , από το φορτίο του χιονιού στο έδαφος
- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από άνεμο , από την ταχύτητα αναφοράς που εμφανίζεται 10m πάνω από το έδαφος

Η μεταβλητή ω μπορεί να οριστεί :

- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από χιόνι , από τον συντελεστή μετατροπής που μετατρέπει το φορτίο χιονιού στο έδαφος σε φορτίο χιονιού πάνω στις οροφές.
- Σε περίπτωση που έχουμε φορτίο από άνεμο , από μια μεταβλητή που θα συνδέεται με τα μεγέθη της ταχύτητας και της πίεσης

Οι λεπτομέρειες του μοντέλου δράσης που απαιτούνται για τον σχεδιασμό εξαρτώνται από τον τύπο ανάλυσης που χρησιμοποιούμε . Σε περίπτωση μιας στατικής ανάλυσης που δεν είναι εξαρτώμενη στον χρόνο ή συσσωρευτικές επιδράσεις , κανονικά μόνο οι ελάχιστες και μέγιστες που εμφανίζονται κατά την διάρκεια μια περιόδου αναφοράς είναι σημαντικές .Μόνο εάν συνδυαστούν πολλές δράσεις εξαρτώμενες στον χρόνο τότε θα χρειαστεί μια πιο λεπτομερής διαδικασία .

Όταν μας ενδιαφέρει η δυναμική συμπεριφορά , τότε μπορεί να χρειαστεί μια πιο λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας .Το δυναμικό μοντέλο δράσης θα περιγράψει την μεταβολή της ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά τέτοιο τρόπο ώστε με επάρκεια ,λεπτομέρεια και ακρίβεια να δίνει ακριβή υπολογιστικά αποτελέσματα .

Η περιγραφή της δράσης μπορεί να δοθεί είτε με πεδίο ορισμού τον χρόνο είτε με πεδίο ορισμού την συχνότητα , όποια από τα δύο είναι βολικό. Αβεβαιότητες στο παρελθόν κάθε δράσης μπορούν να αντιμετωπιστούν με τυχαίες διαδικασίες .

Σε κάποιες περιπτώσεις οι δυναμικές δράσεις μπορεί να εξαρτώνται από τις ιδιότητες του υλικού και στην ανθεκτικότητα της κατασκευής , όπως για παράδειγμα σε περίπτωση συγκρούσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις ένα από αυτά θα καθορίσει τις συνθήκες αντί να δώσει τιμές στα αποτελέσματα των δράσεων.

Παρόλα αυτά όμως βασισμένοι από τα παραπάνω εξετάζοντας του περιορισμούς (υποθέτοντας μια ανθεκτική κατασκευή) ένα από αυτά μπορεί να μεταφράσει τις συνθήκες σε μια ισοδύναμη στατική ενέργεια .

Σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι πάντα πιθανό να διαλέξουμε εκ των προτέρων αριθμητικές τιμές , για τις παραμέτρους των δράσεων κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα τελικά αποτελέσματα να είναι ακριβή . Συνεπώς , εάν οι παράμετροι των δράσεων δεν είναι σωστά καθορισμένες ίσως είναι απαραίτητο να εκτελεστούν αρκετοί υπολογισμοί με διαφορετικές υποθέσεις που αφορούν το μοντέλο δράσης .

Εάν μια δράση προκαλεί αξιοσημείωτη κόπωση στην κατασκευή είναι απαραίτητο να περιγράψουμε τις αντίστοιχες συνέπειες (τάσεις) με ένα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Με ένα πλήρες ιστορικό της διακύμανσης των τάσεων με στατιστικές περιόδους
- Με ένα σύνολο επαναλαμβανόμενων τάσεων και τον αριθμό των επαναλήψεων

Αβεβαιότητες που αφορούν το μέτρο αυτών των δράσεων θα πρέπει να μας προβληματίζουν κατά τον ίδιο τρόπο όπως και σε άλλα είδη μεταβλητών δράσεων.

5.2.2 Μοντέλα που περιγράφουν τις γεωμετρικές ιδιότητες της κατασκευής

Μια κατασκευή μπορεί γενικά να περιγραφεί από υπολογιστικά μοντέλα που περιέχουν στοιχεία μιας διάστασης , δύο διαστάσεων και τριών διαστάσεων .

Οι γεωμετρικές ποσότητες που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο γενικά αναφέρονται σε κανονικές τιμές δηλαδή τιμές που δίνονται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστικού σχεδίου. Κανονικά οι γεωμετρικές ποσότητες μιας πραγματικής κατασκευής διαφέρουν από τις ονομαστικές τιμές αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν στην κατασκευή γεωμετρικές ατέλειες . Εάν η

συμπεριφορά της κατασκευής είναι ευαίσθητη σε αυτές τις ατέλειες , θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο μοντέλο.

Σε πολλές περιπτώσεις παραμορφώσεις στην κατασκευή προκαλούν σημαντική απόκλιση στις ονομαστικές τιμές των γεωμετρικών ποσοτήτων . Εάν αυτές οι παραμορφώσεις είναι σημαντικές για την κατασκευαστική συμπεριφορά , θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον σχεδιασμό κατά τον ίδιο τρόπο όπως γίνεται και με τις ατέλειες . Οι συνέπειες από αυτές τις παραμορφώσεις δηλώνουν γενικά μη-γραμμικές ή δεύτερης τάξης συνέπειες .

Θεωρητικά πλήρης πλαστικές περιοχές πιστεύεται ότι εμφανίζονται σε συγκεκριμένες ζώνες της κατασκευής (πλαστικές αρθρώσεις σε δοκούς , γραμμές διαρροής σε πλάκες κ.α.) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με την προϋπόθεση ότι οι παραμορφώσεις που είναι αναγκαίες για εξασφαλίσουμε πλαστική συμπεριφορά εμφανίζονται πριν την δημιουργία της απόλυτης οριακής κατάστασης . Μια δεύτερη συνθήκη είναι ότι οι δράσεις επηρεάζουν σημαντικά την ικανότητα του φορτίου μιας κατασκευής , εάν η ικανότητα αυτή περιορίζεται από :

- Ψαθυρή αστοχία
- Αστοχία εξαιτίας της αστάθειας

Σε κάποιες περιπτώσεις όταν μοντέλα επίδρασης και αντίστασης εφαρμόζονται ξεχωριστά στον σχεδιασμό των υπολογισμών , θα πρέπει και τα δύο αυτά μοντέλα να συνδέονται μεταξύ τους . Παρόλα αυτά όμως σε πολλές περιπτώσεις η αρχή αυτή μπορεί να τροποποιείται ή να απλοποιείται. Συνεπώς ως παράδειγμα μια ροπή κάμψης (επίδραση μιας δράσης) σε μια δοκό μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την θεωρία της ελαστικότητας και η αντίδραση σύμφωνα με την θεωρία της πλαστικότητας . Σε άλλες περιπτώσεις για δεύτερης τάξης και μη-γραμμικές επιδράσεις , τέτοιοι υπολογισμοί δεν μπορούν εφαρμοστούν εκτός και αν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας .

5.2.3 Μοντέλα για δυναμική αντίδραση

Στις περισσότερες περιπτώσεις η δυναμική αντίδραση μιας κατασκευής προκαλείται από ραγδαίες αλλαγές στο μέτρο , στην θέση ή στην διεύθυνση μιας δράσης .Όμως μια ξαφνική αλλαγή (μείωση) της ανθεκτικότητας ή αντίδρασης ενός κατασκευαστικού στοιχείου μπορεί επίσης να προκαλέσει δυναμική συμπεριφορά .Συνεπώς για παράδειγμα η μετακίνηση ενός κατασκευαστικού στοιχείου μπορεί να παράγει δυναμική επίδραση.

Η δυναμική ανάλυση μπορεί να εκτελείται με πεδίο ορισμού τον χρόνο ή την συχνότητα .Εάν το φορτίο περιγράφεται σε στατιστικές περιόδους είναι επίσης και η στατιστική περιγραφή της αντίδρασης που γυρεύουμε .Βασισμένοι σε αυτήν την περιγραφή μπορούμε να υπολογίσουμε την

πιθανότητα που θα υπερβούμε την οριακή κατάσταση σε μία δοσμένη περίοδο αναφοράς .

Οι κατασκευαστικές ιδιότητες μπορεί να είναι εξαρτημένες από τον χρόνο ή ανεξάρτητες .Σε μια στατιστική ανάλυση αυτές οι επιδράσεις θα λαμβάνονται υπόψη .

Τα μοντέλα με δυναμική αντίδραση αποτελούνται από :

- Ένα μοντέλο ανθεκτικότητας
- Ένα μοντέλο απόσβεσης
- Και ένα μοντέλο αδράνειας

Το μοντέλο ανθεκτικότητας είναι αρχικά ίδιο όπως στην στατική ανάλυση .Εξαιτίας όμως δυναμικών επιδράσεων , αυτές μπορούν να αυξήσουν την ανθεκτικότητα , παρόλο που επαναλήψεις μπορεί να προκαλέσουν επιδείνωση και μείωση της ανθεκτικότητας .Για μη-γραμμικά μοντέλα υλικού , υπάρχει συνήθως μια αναλογία τάσης που εξαρτάται από την αύξηση του ορίου διαρροής .

Οι δυνάμεις αδράνειας προέρχονται από επιτάχυνση της μάζας της κατασκευής , μη-κατασκευαστικές μάζες και από την προστιθέμενη μάζα που προέρχονται από τα περιβάλλοντα υγρά ,τον αέρα και το έδαφος .Αυτή η επιπρόσθετη μάζα δημιουργείται από αλληλεπίδραση της κατασκευής με το περιβάλλον .Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί να εκτελέσουμε δυναμική ανάλυση θεωρώντας διαφορετική κατανομή της μάζας στην κατασκευή μας.

Η απόσβεση μπορεί να προέρχεται από διάφορους τύπους μηχανισμών .Οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί είναι:

- Απόσβεση υλικού , για παράδειγμα ελαστικής φύσεως ή από πλαστική συμπεριφορά υλικού
- Απόσβεση εξαιτίας της τριβής σε διάφορους συνδέσμους
- Απόσβεση λόγω μη κατασκευαστικών μελών
- Γεωμετρική απόσβεση
- Απόσβεση υλικού από το έδαφος
- Αεροδυναμική και υδροδυναμική απόσβεση

Οι δύο τελευταίοι μηχανισμοί είναι παραδείγματα αλληλεπίδρασης μεταξύ κατασκευής και περιβάλλοντος .Σε αυτές τις περιπτώσεις οι περίοδοι απόσβεσης μπορεί να είναι και αρνητικές και να οδηγήσουν σε ροή ενέργειας από το περιβάλλον στην κατασκευή. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντίστασης σε περίπτωση αστοχίας εξαρτώνται σημαντικά τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται στην κατασκευή μας .

Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να ισχύουν γενικοί κανόνες σε τέτοια μοντέλα . Σε πολλές όμως περιπτώσεις τα μοντέλα μπορούν να βασίζονται πάνω σε εμπειρικά γνωστές σχέσεις μεταξύ της αντίστασης και των αριθμό επαναλήψεων του φορτίου , ή σε μη μηχανικές θραύσεις .Σημασία πρέπει να δίνεται στις συνέπειες της επιθεώρησης και της συντήρησης .

5.3 Υπολογιστικά μοντέλα για αβεβαιότητες

Ένα τέτοιο υπολογιστικό μοντέλο βασίζεται εξ'ολοκλήρου σε εμπειρικές σχέσεις μεταξύ των σχετικών μεταβλητών που χαρακτηρίζονται γενικά ως τυχαίες μεταβλητές .

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4)$$

Όπου Y : η πρόβλεψη του μοντέλου

$f()$: η συνάρτηση του μοντέλου

X_i : οι κύριες μεταβλητές

Το μοντέλο $f()$ μπορεί να είναι πλήρες και ακριβές έτσι ώστε , εάν οι τιμές των μεταβλητών X_i είναι γνωστές από ένα συγκεκριμένο πείραμα (μετρήσεις) τότε η πρόβλεψη Y να είναι ακριβής . Στις περισσότερες περιπτώσεις το μοντέλο αυτό είναι δεν είναι ούτε πλήρες άλλα ούτε ακριβές .Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα από έλλειψη γνώσης , η μιας εσκεμμένης απλούστευσης του μοντέλου για την ευκολία του μελετητή .Τα πραγματικά αποτελέσματα του πειράματος μπορούν να γραφούν ως :

$$Y' = f'(X_1, X_2, \dots, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) \quad (5)$$

Οι θ_i αναφέρονται ως παράμετροι που εμπεριέχουν τις αβεβαιότητες του υπολογιστικού μοντέλου και συμπεριφέρονται σαν τυχαίες μεταβλητές. Οι στατιστικές τους ιδιότητες στις περισσότερες περιπτώσεις μπορούν να προκύψουν από πειράματα ή παρατηρήσεις .Σε μοντέλα αντοχής η μέση τιμή αυτών των παραμέτρων θα πρέπει να καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το υπολογιστικό μοντέλο κατά προσέγγιση να προβλέπει σωστά τα αποτελέσματα του πειράματος .

Σε πολλές περιπτώσεις ειδικά σε μοντέλα που οι σχεδιαστικές τους προδιαγραφές βασίζονται σε υποθέσεις (συνήθως στην περιοχή ασφάλειας), οι οποίες δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις αξιολόγηση των αβεβαιοτήτων που προέρχονται από το μοντέλο σύμφωνα με τις παραπάνω αρχές που περιγράφηκαν θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη .Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας υπόθεσης είναι η παραμέληση της αντοχής σε εφελκυσμό του σκυροδέματος κατά τον υπολογισμό της αντοχής σε κάμψη μιας οπλισμένης δοκού από σκυροδέμα .

5.4 Σχεδιασμός βασισμένος σε πειραματικά μοντέλα

Στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει ένα επαρκές υπολογιστικό μοντέλο , μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού μπορεί να εκτελεσθεί βασισμένο στα πειραματικά μοντέλα . Η οργάνωση και η επαλήθευση των πειραμάτων θα πρέπει να εκτελούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η κατασκευή όπως σχεδιάστηκε ,λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σχετικές οριακές καταστάσεις και συνθήκες φορτίου, να έχει τουλάχιστον την ίδια αξιοπιστία με εκείνη την κατασκευή που σχεδιάστηκε βασισμένη σε υπολογιστικό μοντέλο και μόνο. Συνθήκες οι οποίες δεν πληρούνται κατά την διάρκεια του πειράματος (π.χ συμπεριφορά μεγάλης διάρκειας)θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη ξεχωριστά .

Πειραματικά μοντέλα μπορεί να χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση :

- Των φορτίων στην κατασκευή .
- Της απόκρισης της κατασκευής υπο φόρτιση ή σε ατυχήματα .
- Της αντοχής ή της στιβαρότητας της κατασκευής ή ενός μέλους της κατασκευής .

Να σημειώσουμε εδώ ότι οι δοκιμές στις ιδιότητες του υλικού της κατασκευής ή οποιεσδήποτε δοκιμές ελέγχου δεν θεωρούνται ως σχεδιασμός που βασίζεται σε πειραματικά μοντέλα .

Πριν από τις δοκιμές θα πρέπει , όσο αυτό είναι δυνατόν , να στήνεται ένα υπολογιστικό μοντέλο το οποίο θα καλύπτει το σχετικό εύρος των μεταβλητών και θα υποδεικνύει με σιγουριά τους άγνωστους συντελεστές ή ποσότητες που θα πρέπει να επαληθεύονται από τις δοκιμές .Εάν αυτό δεν είναι δυνατόν θα πρέπει να διεξάγεται μια σειρά από προκαταρτικές δοκιμές .

Βασικές μεταβλητές όπως είναι , οι δράσεις ,οι ιδιότητες των υλικών και οι γεωμετρικές ιδιότητες , ακόμη και όταν δεν παρουσιάζονται στο υπολογιστικό μοντέλο , θα πρέπει να μετρούνται άμεσα ή έμμεσα για κάθε πείραμα . Εάν οι τιμές των τυχαίων μεταβλητών είναι μετρήσιμες , το δείγμα που θα προκύψει δεν είναι απαραίτητα αντιπροσωπευτικό .Εάν τώρα οι τιμές των τυχαίων μεταβλητών στις δοκιμές δεν είναι μετρήσιμες , ένας έλεγχος θα πρέπει να εγγυάται ότι ακολουθούνται από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τις δοκιμές θα πρέπει να βασίζεται σε στατιστικές μεθόδους. Αρχικά οι δοκιμές θα πρέπει να μας οδηγήσουν σε μια κατανομή πιθανοτήτων για τις επιλεγμένες άγνωστες ποσότητες , συμπεριλαμβάνοντας και στατιστικές αβεβαιότητες .Με βάση αυτή την κατανομή , μπορούν να προκύψουν σχεδιαστικές τιμές και μερικοί συντελεστές που θα χρησιμοποιηθούν στην διάταξη μερικών παραγόντων.

Όπου η αξιολόγηση των πειραμάτων δίνει αποτελέσματα τα οποία είναι αντιφατικά , ανάλογα με την κατάλληλη εμπειρία θα πρέπει να αναζητούνται και να καταγράφονται οι λεπτομερείς λόγοι της απόκλισης .

6 Αρχές σχεδιασμού βασισμένου στις πιθανότητες

6.1 Γενικά

Σε αυτή την μέθοδο θεωρούμε τις βασικές μεταβλητές ως τυχαίες μεταβλητές και τις επεξεργαζόμαστε με διαδικασίες βασισμένες στις πιθανότητες.

Αυτές οι διαδικασίες όταν η κατασκευή και το φορτίο είναι γνωστά δίνουν μια αρκετά προσέγγιση της τιμής της αξιοπιστίας (π.χ της πιθανότητα αστοχίας). Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων αυτή η τιμή θα πρέπει να θεωρείται ως τιμή αναφοράς .Όμως η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σταθερές μετρήσεις μεταξύ ποικίλων σχεδιαστικών συνθηκών και ως εκ τούτου για την βαθμονόμηση του καθορισμένου βαθμού αξιοπιστίας .Ο βαθμός αξιοπιστίας μπορεί να διαφέρει σύμφωνα με τις επιπτώσεις της αστοχίας (βλ. παράγραφος Διαφορές της αξιοπιστίας των κατασκευών) .

Ένας σχεδιασμός βασισμένος στις πιθανότητες δηλώνει πως η κατασκευή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε για παράδειγμα , η πιθανότητα αστοχίας P_f , δεν υπερβαίνει μια καθορισμένη τιμή P_{fs} , για κάποιο καθορισμένο διάστημα χρόνου.

$$P_f \leq P_{fs} \quad (6)$$

Η αστοχία συνδέεται με την μετάπτωση μιας οριακής κατάστασης από την επιθυμητή κατάσταση στην ανεπιθύμητη (βλ. παράγραφο Αρχές σχεδιασμού οριακών καταστάσεων) . Η ανεπιθύμητη περιοχή εκφράζεται από την παρακάτω οριακή συνάρτηση :

$$g(\underline{X}) < 0$$

Όπου \underline{X} οι κύριες μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με το πρόβλημα .

Γενικά οι κύριες μεταβλητές που εκφράζουν μεταβλητές δράσεις και περιβαλλοντικές επιρροές θα πρέπει να περιγράφονται με την βοήθεια μιας τυχαίας διαδικασίας . Σε πολλές περιπτώσεις όμως μια περιγραφή ως τυχαία μεταβλητή μέσω μιας συνάρτησης κατανομής πιθανοτήτων μπορεί να είναι επαρκής στο μέγιστο εντός μια δοσμένης περιόδου αναφοράς . Άλλες βασικές μεταβλητές (όπως είναι υλικό που υπόκεινται σε διάβρωση) μπορούν να είναι ανεξάρτητες από τον χρόνο. Οι παράμετροι αβεβαιότητας θ_i που αναφέρονται στην $Y' = f'(X_1, X_2, \dots, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ (7) (της παραγράφου 5.3) αντιμετωπίζονται ως τυχαίες μεταβλητές κατά τον ίδιο τρόπο όπως και οι κύριες μεταβλητές .

Για τις περισσότερες απόλυτες οριακές καταστάσεις και για κάποιες οριακές καταστάσεις της λειτουργίας η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$P_f = P[g(\underline{X}) < 0] \quad (8)$$

Σε περίπτωση που οι μεταβλητές εξαρτώνται από τον χρόνο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το ελάχιστο της $g(X)$ σε σχέση πάντα με τον χρόνο.

Για κάποιες ειδικές απόλυτες οριακές καταστάσεις και για πολλές λειτουργικές οριακές καταστάσεις, η πρώτη υπέρβαση της οριακής κατάστασης δεν σημαίνει αστοχία. Σε αυτές τις περιπτώσεις επέρχεται αστοχία μόνο όταν υπάρχουν κάποιες πρόσθετες συνθήκες και τότε το κριτήριο αστοχίας θα πρέπει να τροποποιηθεί για κάθε ξεχωριστή περίπτωση.

Εξαιτίας της εξάρτησης της από τον χρόνο η πιθανότητα αστοχίας, P_f , θα πρέπει εκ τω προτέρων να αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη και καθορισμένη περίοδο του χρόνου, δηλαδή την περίοδο αναφοράς. Πιθανότητες μεγάλης χρονικής διάρκειας μπορεί να χρησιμοποιηθούν όταν οι οικονομικές επιπτώσεις είναι καθοριστικές. Εάν μια αστοχία αναμένεται να θέσει σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλες περίοδοι αναφοράς. Η πιθανότητα αστοχίας P_f μπορεί να υποκατασταθεί από έναν δείκτη αξιοπιστίας β , μέσω της έκφρασης $\beta = -\Phi^{-1}(P_f)$ (9), όπου Φ^{-1} είναι η αντίστροφη τυποποιημένη κανονική κατανομή.

Να σημειωθεί εδώ πως η μέθοδος των πιθανοτήτων μπορεί να εφαρμοστεί κυρίως για την βαθμονόμηση των μερικών συντελεστών που αναφέραμε στα παραπάνω. Κάτω από ειδικές περιπτώσεις που αναφέρονται στην παρακάτω παράγραφο (βλ.6.5) η μέθοδος των πιθανοτήτων μπορεί να εφαρμοστεί και σε έναν άμεσο σχεδιασμό με ένα καθορισμένο βαθμό αξιοπιστίας β .

6.2 Η αξιοπιστία του συστήματος σε σχέση με την αξιοπιστία των κατασκευαστικών στοιχείων

Από την πλευρά των πιθανοτήτων, ένα κατασκευαστικό στοιχείο μπορεί να έχει ένα μόνο κυρίαρχο τρόπο αστοχίας. Από την άλλη ένα σύστημα μπορεί να εμφανίζει παραπάνω από έναν τρόπο αστοχίας και μπορεί η αστοχία να εμφανίζεται σε ένα ή περισσότερα στοιχεία, κάθε ένα από αυτά με τον δικό του τρόπο αστοχίας.

Ο σχεδιασμός που βασίζεται στις πιθανότητες εφαρμόζεται κυρίως στην συμπεριφορά των κατασκευαστικών στοιχείων σε οριακές καταστάσεις (απόλυτης αστοχίας – αστοχία της λειτουργικότητας). Οι αστοχίες ενός συστήματος μας ενδιαφέρει διότι είναι συνήθως οι πιο σοβαρές επιπτώσεις πάνω στην κατασκευαστική αστοχία.

Συνεπώς είναι σημαντικό να έχουμε πρόσβαση στην πιθανότητα αστοχίας του συστήματος, η οποία ακολουθείται από μια ανοχή ή από μια κατασκευαστική ακεραιότητα σε σχέση πάντα με τυχαία φαινόμενα. Οι απαιτήσεις της αξιοπιστίας των κατασκευαστικών στοιχείων θα πρέπει να εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να διεξάγεται μια ανάλυση στο σύστημα για την εκτίμηση :

- Εναλλακτικών τρόπων φόρτισης
- Της κατάστασης και της πολυπλοκότητας της κατασκευής (πολλαπλές μορφές αστοχίας)

Να σημειώσουμε εδώ πως η ανάλυση συστημάτων θα πρέπει να διεξάγεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αναγνωρίζει τις αβεβαιότητες που υπάρχουν στην μέθοδο που χρησιμοποιείται και να μελετώνται με προσοχή.

6.3 Προσδιορισμός του βαθμού της απαιτούμενης αξιοπιστίας

Ο προσδιορισμός της μέγιστης αποδεκτής πιθανότητας αστοχίας θα πρέπει να εξαρτάται από τον τρόπο και την διαδοχή της αστοχίας, τις οικονομικές απώλειες, την κοινωνική ενόχληση, το μέγεθος της δαπάνης και των μέτρων που παίρνονται για την μείωση της πιθανότητας αστοχίας. Θα πρέπει να βαθμονομούνται σύμφωνα με εκτιμημένες περιπτώσεις οι οποίες είναι γνωστές από εμπειρία στο παρελθόν και διαθέτουν επαρκή αξιοπιστία. Ως εκ τούτου η καθορισμένη πιθανότητα αστοχίας θα πρέπει να εξαρτάται από την διάκριση αξιοπιστίας (παράγραφο 2.2).

Οι καθορισμένες πιθανότητες αστοχίας, P_{fs} , οι οποίες είναι σχετικές για την απόλυτη και λειτουργική οριακή κατάσταση θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε το κριτήριο για αυτές τις οριακές καταστάσεις δεν θα λαμβάνεται υπόψη όταν έχουμε μεγάλα σφάλματα. Αυτές οι πιθανότητες δεν είναι άμεσα συνδεδεμένες με την παρατηρούμενη τιμή της αστοχίας, η οποία εμφανίζεται κυρίως από μεγάλα σφάλματα.

Όταν αντιμετωπίζουμε χρονικά εξαρτώμενες κατασκευαστικές ιδιότητες, η επίδραση της διερεύνησης και των διαδικασιών επισκευής στην πιθανότητα αστοχίας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διευθέτηση των καθορισμένων τιμών, η οποία εξαρτάται από το αποτέλεσμα της διερεύνησης. Οι καθορισμένες πιθανότητες αστοχίας θα πρέπει πάντα να μελετώνται σε σχέση με τον επιλεγμένο υπολογισμό, το πιθανολογικό μοντέλο και την μέθοδο εκτίμησης του βαθμού αξιοπιστίας.

Οι πιθανότητες αυτές θα πρέπει να ορίζονται πάντα για κάποια περίοδο αναφοράς. Ανάλογα με το είδος της οριακής κατάστασης, αυτή μπορεί να είναι ενός χρόνου ή ένα αυθαίρετο χρονικό σημείο, κατά την σχεδιασμένη διάρκεια λειτουργίας.

Για αντιστρέψιμες λειτουργικές οριακές καταστάσεις , μπορεί να απαιτούνται οι τιμές της συχνότητας που η κατασκευή υπερβαίνει την οριακή κατάσταση .

6.4 Υπολογισμοί στις πιθανότητες αστοχίας

6.4.1 Γενικά

Μια σημαντική περίπτωση της συνάρτησης αστοχίας είναι όταν όλες οι μεταβλητές X είναι χρονικά μεταβαλλόμενες . Σε αυτήν την περίπτωση οι μεταβλητές X είναι τυχαίες μεταβλητές, αλλά όχι τυχαία η διαδικασία . Όταν η αξιοπιστία εξαρτάται από τον χρόνο , είναι συχνά δυνατόν να την μετατρέψουμε σε χρονικά μεταβαλλόμενη με τυχαίες μεταβλητές.

6.4.2 Προβλήματα για χρονικά αμετάβλητη αξιοπιστία

Τρεις μέθοδοι χρησιμοποιούνται γενικά για τον υπολογισμό της P_f όταν οι μεταβλητές X δεν μεταβάλλονται σε σχέση με τον χρόνο :

- a) Αναλυτικές μέθοδοι **FORM/SORM** (First/Second Order Reliability Methods –Πρωτοβάθμια /Δευτεροβάθμια Μέθοδος Αξιοπιστίας)
- b) Μέθοδος προσομοίωσης **Monte Carlo** (Monte Carlo Simulation)
- c) Αριθμητική ολοκλήρωση (Numerical Integrity)

6.4.3 Μετατροπή των χρονικά μεταβαλλόμενων σε χρονικά αμετάβλητα προβλήματα

Δύο κατηγορίες χρονικά εξαρτώμενων προβλημάτων προβλέπονται και συνδέονται συγκεκριμένα με :

- Αστοχία λόγω υπερφόρτισης
- Αθροιστικές αστοχίες

Σε περίπτωση αστοχίας λόγω υπερφορτίσεως , μια μοναδική δράση μπορεί να αντικατασταθεί από μια τυχαία μεταβλητή με μέση τιμή ίση με την αναμενόμενη μέγιστη τιμή του φορτίου σε μια περίοδο αναφοράς . Εάν υπάρχουν παραπάνω τυχαίες δράσεις , θα πρέπει να συνδυαστούν , λαμβάνοντας υπόψη τις κλίμακες διακύμανσης όλων των δράσεων που επιδρούν στην κατασκευή .

Σε περίπτωση αθροιστικών (συσσωρευτικών) αστοχιών (κόπωση , διάβρωση κ.α) το παρελθόν του φορτίου μέχρι τη στιγμή της αστοχίας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Να σημειώσουμε εδώ πως η αστοχία μπορεί να είναι συνδυασμός πρόσθετων διαδικασιών που προκαλούν ζημιά και κάποιο άλλο φορτίο με την ίδια σχετικά υψηλή τιμή.

6.5 Εφαρμογή του σχεδιασμού βασισμένο στις πιθανότητες

Η μέθοδος των πιθανοτήτων μπορεί να εφαρμόζεται άμεσα για να επιτύχουμε σχεδιασμό με βαθμό αξιοπιστίας κοντά στις καθορισμένες τιμές. Τέτοια προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενδεχομένως σε τυποποιημένες :

- Μετρήσεις με αβεβαιότητα
- Μεθόδους αξιοπιστίας

Αντί να χρησιμοποιήσουμε μια άμεση μέθοδο πιθανοτήτων , μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δύο παρακάτω απλουστεύσεις :

- a. Μέθοδος σχεδιασμού των τιμών
- b. Μέθοδος σχεδιασμού των μερικών συντελεστών

Και στις δύο περιπτώσεις οι μέθοδοι αυτοί βαθμονομούνται σύμφωνα με το συγκεκριμένο εύρος των κατασκευαστικών σχεδίων , δράσεων κ.α. ο σχεδιασμός λαμβάνεται έτσι ώστε να προσεγγίζει με ακρίβεια τον σχεδιασμό που λαμβάνεται από την άμεση μέθοδο των πιθανοτήτων .

7 Μέθοδος μερικών συντελεστών

7.1 Σχεδιασμών των συνθηκών και σχεδιασμός των τιμών

Η μέθοδος των μερικών συντελεστών ξεχωρίζει τις επιρροές των αβεβαιοτήτων και τις διακυμάνσεις που προέρχονται διάφορες αιτίες, μέσω των σχεδιαστικών τιμών που δίνονται στις κύριες μεταβλητές, για παράδειγμα:

$$g(F_d, f_d, a_d, \theta_d, C, \gamma_n) \geq 0 \quad (10)$$

Όπου

F_d είναι οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων

f_d είναι οι τιμές σχεδιασμού των ιδιοτήτων του υλικού

a_d είναι οι τιμές σχεδιασμού των γεωμετρικών ποσοτήτων

θ_d είναι οι τιμές σχεδιασμού των μεταβλητών θ που υπολογίζονται για τις αβεβαιότητες του μοντέλου της συνάρτησης Y'

C είναι οι περιορισμοί της λειτουργικότητας

γ_n είναι ένας συντελεστής για τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η σοβαρότητα της κατασκευής και οι συνέπειες της αστοχίας ,συμπεριλαμβάνοντας την σημαντικότητα του τύπου της αποτυχίας .

Η τιμή του γ_n μπορεί να εξαρτάται από τον καθορισμένο βαθμό αξιοπιστίας της κατασκευής ή ενός κατασκευαστικού στοιχείου της .

Η εξίσωση (10) θα πρέπει να θεωρείται ως μια συμβολική περιγραφή των κανόνων .Κάθε σύμβολο σε αυτή την εξίσωση μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ξεχωριστή μεταβλητή ή ένα διάνυσμα που περιέχει πολλές μεταβλητές .

Οι κύριες μεταβλητές χωρίζονται σε :

- Πρωτεύουσες κύριες μεταβλητές
- Άλλες κύριες μεταβλητές

Οι πρωτεύουσες κύριες μεταβλητές είναι εκείνες που έχουν πρωταρχική σημαντικότητα για το αποτέλεσμα του σχεδιασμού .Θα πρέπει να καθορίζονται από αυτούς τους κανόνες που διαχειρίζονται τις δράσεις και τις κατασκευές συγκεκριμένων υλικών .

Να σημειωθεί εδώ για παράδειγμα πως για την απόλυτη οριακή κατάσταση μιας προεντεταμένης δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα , οι δυνάμεις του σκυροδέματος και του χάλυβα είναι πρωταρχικές κύριες μεταβλητές , όμως το μέτρο ελαστικότητας δεν είναι πρωταρχική κύρια μεταβλητή . Οι δράσεις συνήθως είναι πρωταρχικές κύριες μεταβλητές .

Ο σχεδιασμός των πρωταρχικών μεταβλητών F, f, a και θ επιτυγχάνεται με τον παρακάτω τρόπο:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_r \quad (11)$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (12)$$

$$a_d = a_k \pm \Delta a \quad (13)$$

$$\theta_d = \gamma_D \quad \text{ή} \quad \theta_d = \frac{1}{\gamma_D} \quad (14)$$

Όπου

F_r είναι οι αντιπροσωπευτικές τιμές των δράσεων

f_k είναι οι χαρακτηριστικές τιμές των ιδιοτήτων των υλικών

a_k είναι οι χαρακτηριστικές τιμές των γεωμετρικών ποσοτήτων

γ_f είναι μερικοί συντελεστές για τις δράσεις

γ_m είναι μερικοί συντελεστές για τα υλικά

Δa είναι οι επιπρόσθετες γεωμετρικές ποσότητες

γ_D είναι μερικοί συντελεστές για αβεβαιότητες του μοντέλου

Ο συντελεστής γ_f λαμβάνει υπόψη του :

- Την πιθανότητα των ανεπιθύμητων αποκλίσεων των τιμών των δράσεων από τις αντιπροσωπευτικές τιμές τους .
- Τις αβεβαιότητες σε ένα μοντέλο δράσης

Ο γ_m λαμβάνει υπόψη του :

- Την πιθανότητα των ανεπιθύμητων αποκλίσεων των ιδιοτήτων των υλικών από τις χαρακτηριστικές τους τιμές.
- Αβεβαιότητες στην μετατροπή των συντελεστών

Το Δa λαμβάνει υπόψη του :

- Την πιθανότητα των ανεπιθύμητων αποκλίσεων των γεωμετρικών παραμέτρων από τις χαρακτηριστικές (καθορισμένες) τιμές τους συμπεριλαμβάνοντας την σημαντικότητα των διακυμάνσεων στις γεωμετρικές ποσότητες a , την ανοχή των προδιαγραφών στο a , καθώς και τον έλεγχο στις αποκλίσεις του.
- Την επιπρόσθετη επίδραση της ταυτόχρονης εμφάνισης διαφόρων γεωμετρικών αποκλίσεων.

Ο μερικός συντελεστής γ_D λαμβάνει υπόψη του τις αβεβαιότητες των μοντέλων εφόσον αυτές μπορούν να βρεθούν μέσω μετρήσεων ή συγκριτικών υπολογισμών .

Για κύριες μεταβλητές διαφορετικές από τις αρχικές , ορίζονται εκ των προτέρων οι μερικοί συντελεστές ίσοι με μονάδα (1) , ενώ οι επιπρόσθετες ποσότητες ίσες με μηδέν δηλαδή οι σχεδιαστικές τιμές είναι ίσες με τις χαρακτηριστικές τιμές .Σε κάποιες περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και μέσες τιμές .

Οι μερικοί συντελεστές για τις δράσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τις συνέπειες που δημιουργούνται από τις αβεβαιότητες ενός μοντέλου δράσης – επίδρασης .Κατά τον ίδιο τρόπο οι μερικοί συντελεστές για αντοχή μπορεί να περιλαμβάνουν την επίδραση των αβεβαιοτήτων από τις γεωμετρικές παραμέτρους και στα μοντέλα αντίστασης .Σε αυτές τις περιπτώσεις οι συντελεστές γ_f και γ_m θα υποκαθιστούνται τους γ_F και γ_M .

Οι τιμές των μερικών παραγόντων εξαρτώνται από την κατάσταση του σχεδιασμού και οι οριακές καταστάσεις που λαμβάνονται υπόψη.

Εάν οι παραμορφώσεις καθορίζουν τον σχεδιασμό , τότε η εξίσωση $g(F_d, f_d, a_d, \theta_d, C, \gamma_n) \geq 0$ θα πρέπει να παίρνει άλλη μορφή και μέρος των

μεταβλητών της θα πρέπει να υποκαθίσταται από άλλο είδους μεταβλητές .Αυτό μπορεί να γίνει για παράδειγμα σε περιπτώσεις σεισμού.

7.2 Αντιπροσωπευτικές τιμές των δράσεων

Μια **μόνιμη δράση (permanent action)** σπάνια έχει μια μοναδική χαρακτηριστική τιμή . Όταν η ενέργεια αναφέρεται σε περιπτώσεις ίδιου βάρους της κατασκευής , η τιμή G_k θα πρέπει να λαμβάνεται από τις καθορισμένες τιμές των γεωμετρικών ποσοτήτων και την μέση τιμή της μάζας του υλικού .Όμως , σε μερικές περιπτώσεις θα ήταν προτιμότερο να ορίσουμε δύο τιμές , μια μεγαλύτερη και μια μικρότερη χαρακτηριστική τιμή της μόνιμης δράσης .

Μια **μεταβλητή δράση (variable action)** έχει τις παρακάτω αντιπροσωπευτικές τιμές :

- Την χαρακτηριστική (characteristic value)τιμή Q_k
- Την συνδυαστική τιμή (combination value) $\Psi_0 Q_k$
- Την συχνή τιμή (frequent value) $\Psi_1 Q_k$
- Την σχεδόν μόνιμη τιμή-ημιμόνιμη τιμή (quasi-permanent value) $\Psi_2 Q_k$

Η **χαρακτηριστική τιμή Q_k** επιλέγεται έτσι ώστε να θεωρηθεί πως έχει μια καθορισμένη πιθανότητα που την υπερβαίνει έναντι ανεπιθύμητων τιμών κατά την διάρκεια μιας επιλεγμένης περιόδου αναφοράς .

Οι **συνδυαστικές τιμές $\Psi_0 Q_k$** επιλέγονται έτσι ώστε η πιθανότητα που οι τιμές των επιδράσεων των δράσεων που προκαλούνται από συνδυασμό και θα την υπερβαίνουν , είναι περίπου η ίδια όταν θεωρήσουμε μια μόνο δράση .

Η **συχνή τιμή $\Psi_1 Q_k$** αποφασίζεται έτσι ώστε :

- Ο συνολικός χρόνος , εντός μιας επιλεγμένης περιόδου του , όπου αυτή η τιμή υπερβαίνεται ,να αποτελεί ένα μικρό κομμάτι από την επιλεγμένη περίοδο του χρόνου ή
- Η συχνότητα υπέρβασης της τιμής να περιορίζεται σε μια μικρή δοσμένη τιμή .

Να σημειώσουμε εδώ ότι μπορεί να υπάρχουν δύο ή περισσότερες συχνές τιμές για το ίδιο φορτίο που συνδέονται με διαφορετικές συνθήκες σχεδιασμού.

Η σχεδόν μόνιμη τιμή $\Psi_2 Q_k$ επιλέγεται έτσι ώστε ο συνολικός χρόνος, εντός μιας επιλεγμένης περιόδου του, όπου αυτή υπερβαίνεται, να είναι μισός της επιλεγμένης περιόδου.

Μια τυχαία δράση μπορεί να έχει μια μοναδική χαρακτηριστική τιμή A_k

7.3 Χαρακτηριστικές τιμές ιδιοτήτων των υλικών συμπεριλαμβανομένου και του εδάφους

Οι ιδιότητες των υλικών ορίζονται για κάποιο σχετικό όγκο του υλικού και αναπαριστούνται από τις χαρακτηριστικές τους τιμές. Για ένα υλικό, η χαρακτηριστική τιμή θα πρέπει αρχικά να παρουσιάζεται εκ των προτέρων από ένα καθορισμένο τμήμα της στατιστικής κατανομής των ιδιοτήτων του υλικού, η οποία δημιουργείται εντός του πεδίου εφαρμογής των σχετικών προτύπων του υλικού. Οι χαρακτηριστικές τιμές του εδάφους θα πρέπει να εκτιμούνται σύμφωνα με τις ίδιες προδιαγραφές, έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές στην πραγματική τιμή του όγκου του εδάφους.

7.4 Χαρακτηριστικές τιμές στις γεωμετρικές ποσότητες

Για γεωμετρικές ποσότητες, οι χαρακτηριστικές τιμές a_k συνήθως αναφέρονται σε διαστάσεις που καθορίζονται από τον μελετητή.

7.5 Περιπτώσεις φόρτισης και συνδυασμούς φορτίσεων

Οι περιπτώσεις φόρτισης είναι οι καθορισμένες στον χώρο διατάξεις των εξωτερικών δράσεων οι οποίες (μαζί με τις σταθερές –καθορισμένες δράσεις) λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς.

Οι ελεύθερες δράσεις θα πρέπει να ταξινομούνται έτσι ώστε να παράγουν τις πιο ανεπιθύμητες επιδράσεις στην κατασκευή για την οριακή κατάσταση.

Ένας συνδυασμός δράσεων είναι ένα σύνολο των τιμών σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για τη επαλήθευση της κατασκευαστικής αξιοπιστίας για μια οριακή κατάσταση κάτω από μια ταυτόχρονη επίδραση των διαφόρων δράσεων.

Η βασική αρχή του συνδυασμού των δράσεων είναι η παρακάτω:

- Μια ή λίγες δράσεις θεωρούνται ως κυρίαρχες και λαμβάνονται υπόψη στον συνδυασμό με ακραίες τιμές σχεδιασμού.
- Όλες οι άλλες δράσεις λαμβάνονται υπόψη με λογικότερες τιμές.

Δράσεις οι οποίες δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα (π.χ για φυσικούς λόγους) δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μαζί σε έναν συνδυασμό.

7.6 Επιδράσεις των δράσεων και αντιδράσεις

Σε πολλές περιπτώσεις οι κύριες μεταβλητές και ο συντελεστής θ που περιγράφει τις αβεβαιότητες στα υπολογιστικά μοντέλα μπορεί να χωριστούν σε ομάδες έτσι ώστε κάποιες ομάδες να δώσουν κάποια αποτελέσματα δράσης $S(F, f, a, \theta_s)$ και άλλες ομάδες παράγουν αντιδράσεις $R(F, f, a, \theta_r)$.

Στην παράσταση της $S(F, f, a, \theta_s)$, οι ιδιότητες του υλικού f , είναι μια κύρια βασική μεταβλητή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, για παράδειγμα υπολογισμοί σύμφωνα με την θεωρία δεύτερης τάξης. Στην έκφραση $R(F, f, a, \theta_r)$ οι δράσεις F είναι σημαντικές μόνο σε πολύ ειδικές περιπτώσεις.

Συνεπώς τιμές σχεδιασμού, S_d και R_d ορίζονται ως εξής:

$$S_d = (F_d, f_d, a_d, \theta_{sd}) \quad (15)$$

$$R_d = (F_d, f_d, a_d, \theta_{rd}) \quad (16)$$

Έτσι λοιπόν η εξίσωση της οριακής κατάσταση μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$g(S_d, R_d) \geq 0 \quad (17)$$

Όσο για την εξίσωση της οριακής κατάστασης, η εξίσωση (17) θα πρέπει να θεωρηθεί μόνο ως μια συμβολική περιγραφή. Κάθε σύμβολο S και R μπορεί να αντιπροσωπεύει διάφορες επιδράσεις δράσεων και αντιδράσεις.

Στην απλούστερη περίπτωση η εξίσωση (17) μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$R_d \geq S_d \quad (18)$$

Οι εξισώσεις (17) και (18) μπορούν να εφαρμοστούν στην απόλυτη οριακή κατάσταση και λειτουργική οριακή κατάσταση. Για την δεύτερη με περιορισμούς στις παραμορφώσεις, η συνθήκη σχεδιασμού είναι συνήθως του τύπου

$$S_d \leq C \quad (19)$$

Όπου C περιορισμός της λειτουργικότητας.

7.7 Επαλήθευση της αστοχίας σε κόπωση

Περισσότερα στο κεφάλαιο C

7.8 Βαθμονόμηση

Οι συντελεστές γ, Ψ, ξ θα πρέπει να βαθμονομούνται με άμεση σύγκριση ή με μεθόδους βασισμένες στις πιθανότητες, και στις δύο περιπτώσεις σε συνδυασμό με την ορθή κρίση.

8. Εκτιμήσεις σε πραγματικές κατασκευές

8.1 Σχετικές περιπτώσεις

Μια πραγματική κατασκευή θα πρέπει να υποβληθεί σε εκτιμήσεις για την υπαρκτή της αξιοπιστία , όταν :

- a. Σε μιας υπάρχουσα κατασκευή προστεθούν νέα κατασκευαστικά μέλη στο σύστημα μεταφοράς φορτίου .
- b. Χρειάζεται να γίνει έλεγχος επάρκειας υπάρχουσας κατασκευής σε πρόσθετα φορτία ή την αλλαγή χρήσης , ή σε λειτουργικές αλλαγές ή την επιμήκυνση του χρόνου λειτουργικής ζωής της .
- c. Γίνονται επισκευές μιας υπάρχουσας κατασκευής η οποία έχει φθαρεί λόγω των χρονικά εξαρτώμενων επιδράσεων από το περιβάλλον ή έχει υποστεί ζημιά από τυχαία φαινόμενα (π.χ σεισμός) .
- d. Να υπάρχουν αμφιβολίες στην αξιοπιστία της κατασκευής (π.χ σεισμός)

Σε μερικές περιπτώσεις οι εκτιμήσεις μπορεί να απαιτούνται από κάποιες αρχές , ασφαλιστικές εταιρείες ή από τους ιδιοκτήτες , ή από ένα σχέδιο συντήρησης .

8.2 Αρχές των εκτιμήσεων

Η ανάλυση και ο σχεδιασμός κατά της διάρκεια των εκτιμήσεων μιας υπάρχουσας κατασκευής θα πρέπει να βασίζεται στις γενικές αρχές που περιγράφηκαν από τις παραγράφους 1 έως 7 .

Η εκτίμηση δεν πρέπει να γίνεται για εκείνα τα μέλη της κατασκευής που δεν πρόκειται να επηρεαστούν από κατασκευαστικές αλλαγές , αποκατάσταση , επιδιόρθωση , αλλαγή στην χρήση , ή για εκείνα που δεν έχουν σημαντικές ζημιές ή δεν αναμένονται να έχουν ανεπαρκή αξιοπιστία.

8.3 Κύριες μεταβλητές

Για απαιτήσεις αξιοπιστίας , οι τιμές των κύριων μεταβλητών θα πρέπει να λαμβάνονται ως εξής:

- a) Για τις διαστάσεις των κατασκευαστικών στοιχείων, όταν είναι διαθέσιμα τα κατασκευαστικά σχέδια και δεν έχουν γίνει αλλαγές στις διαστάσεις των στοιχείων ή δεν έχουν εμφανιστεί άλλα στοιχεία αποκλίσεων ,θα πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντα με τα αρχικά σχέδια . Οι διαστάσεις αυτές θα επαληθεύονται με σχετικό έλεγχο .

- b) Τα χαρακτηριστικά των φορτίων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με τις κατάλληλες τιμές που αντιπροσωπεύουν την πραγματική κατάσταση . Η εμφάνιση υπερφόρτισης στο παρελθόν σημαίνει αύξηση των αντιπροσωπευτικών τιμών των φορτίων .Όταν κάποια φορτία μειώνονται ή έχουν απομακρυνθεί εντελώς , οι αντιπροσωπευτικές τιμές του μέτρου του φορτίου μπορούν να μειωθούν κατάλληλα και/ή να ρυθμιστούν οι μερικοί συντελεστές .
- c) Οι ιδιότητες του υλικού θα πρέπει να μελετώνται σύμφωνα με την παρούσα κατάσταση της κατασκευής , όταν τα γνήσια κατασκευαστικά σχέδια είναι διαθέσιμα και δεν υπάρχει κάποια ατέλεια , ή κάποια σχεδιαστικά λάθη , η χαρακτηριστική τους τιμή σύμφωνα πάντα με τα αρχικά σχέδια θα πρέπει να χρησιμοποιείται . Εάν είναι δυνατόν , θα πρέπει να γίνονται καταστροφικοί – μη καταστροφικοί έλεγχοι και να επαληθεύονται με στατιστικές μεθόδους .
- d) Οι αβεβαιότητες στο υπολογιστικό μοντέλο θα πρέπει να μελετώνται κατά τον ίδιο τρόπο όπως και κατά την διάρκεια του σχεδιασμού, εκτός και αν υποδεικνύουν προηγούμενη συμπεριφορά της κατασκευής (κυρίως βλάβη). Σε μερικές περιπτώσεις , παράγοντες , συντελεστές του μοντέλου και άλλες υποθέσεις που έγιναν κατά τον σχεδιασμό θα πρέπει να επιβεβαιώνονται από μετρήσεις πάνω στην υπάρχουσα κατασκευή (π.χ συντελεστής της πίεσης του ανέμου , κ.α.)

8.4 Διερεύνηση

Σκοπός της διερεύνησης είναι για να γνωρίσουμε την παρούσα κατάσταση της κατασκευής .Πολλές φορές η πρώτη εκτίμηση της κατάστασης της κατασκευής θα πρέπει να βασιστεί σε έναν ποιοτικό έλεγχο . Η περιγραφή μια πιθανής βλάβης θα πρέπει να γίνεται με λεκτικούς όρους όπως ``καμία,μικρή , μέτρια ,σοβαρή , καταστροφική, άγνωστη ``. Πολύ συχνά οι αποφάσεις σε τέτοιες παρατηρήσεις θα παίρνονται εμπειρικά από ειδικούς. Μια καλύτερη εκτίμηση της κατασκευής μπορεί να γίνει στην βάση των ποιοτικών ελέγχων . Το αποτέλεσμα θα είναι ένα σύνολο τιμών που θα χαρακτηρίζει τις ιδιότητες ή τις συνθήκες των κατασκευαστικών στοιχείων .Για όλες τις τεχνικές διερεύνησης , μια από αυτές πρέπει να δίνει πληροφορίες για την πιθανότητα εμφάνισης ζημιάς και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων .

Ένας ειδικός τύπος διερεύνησης είναι μέσω της ικανότητας των φορτίων . Βασισμένοι σε αυτούς του ελέγχους , μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα σε σχέση με :

- Την ικανότητα αντοχής των στοιχείων που υπόκεινται σε έλεγχο κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες φορτίων ελέγχου
- Άλλα στοιχεία
- Άλλες συνθήκες φόρτισης
- Την συμπεριφορά του συστήματος

Η αναφορά στην πρώτη περίπτωση είναι σχετικά εύκολη ,η συνάρτηση πιθανότητας της πυκνότητας του φορτίου απομονώνεται στο υπολογισμό της ικανότητας του φορτίου .Η αναφορά σε άλλα συμπεράσματα είναι πιο πολύπλοκη .Να σημειώσουμε εδώ πως ο αριθμός των ελέγχων που θα γίνουν για την απόδειξη του φορτίου δεν θα πρέπει να περιορίζεται στον έναν μόνο έλεγχο .Ένας έλεγχος μπορεί να οδηγήσει στην απαίτηση να γίνουν περαιτέρω έλεγχοι υπό διάφορες συνθήκες φόρτισης για ένα κατασκευαστικό στοιχείο ή ένα δείγμα από αυτό .

Για να αποφύγουμε ανεπιθύμητες βλάβες στην κατασκευή , κατά την διάρκεια ελέγχου της αντοχής σε φορτίο , συνιστάται να αυξάνεται βαθμιαία η τιμή του φορτίου και να μετρούνται οι παραμορφώσεις .Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να δώσουν μια καλύτερη εικόνα στην συμπεριφορά του συστήματος . Οι διερευνήσεις φορτίων δεν ασχολούνται με την διάρκεια των επιδράσεων . Οι επιδράσεις αυτές μπορεί να αντισταθμίζονται με υπολογισμούς.

Έχοντας το αποτέλεσμα μιας διερεύνησης, είναι αναγκαίο να ανανεώσουμε τα δεδομένα ως προς τις ιδιότητες και τις εκτιμήσεις της αξιοπιστίας της κατασκευής .

Δύο διαφορετικές επιλογές υπάρχουν:

- a. Η μια χρησιμοποιείται για να παράγει αναθεωρημένες τιμές σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο των μερικών συντελεστών και για την άμεση σύγκριση των επιδράσεων των δράσεων με τις οριακές τιμές (θραύσεις , μετατοπίσεις)
- b. Και δεύτερον αναθεωρώντας την πιθανότητα της κατασκευαστικής αστοχίας .

Τα αποτελέσματα όλων των παρατηρήσεων (ποιοτική διερεύνηση , ποσοτικοί υπολογισμοί , εύρεση του φορτίου) θα πρέπει να αξιοποιηθούν με ένα από τους δύο παραπάνω τρόπους .

8.5 Εκτιμήσεις σε περίπτωση βλάβης

Σε περίπτωση που διαγνωσθεί μια βλάβη στην κατασκευή , προτείνεται η παρακάτω σταδιακή διαδικασία

8.5.1 Οπτική επιθεώρηση

Είναι πάντα χρήσιμο να γίνει μια αρχική οπτική επιθεώρηση της κατασκευής για να αποκτήσουμε μια ιδέα για την κατάσταση της . Μεγάλες ατέλειες θα πρέπει να αποδεικνύονται από εμπειρογνώμονες . Σε περίπτωση πολύ σοβαρής βλάβης θα πρέπει να ληφθούν έμμεσα μέτρα (π.χ εγκατάλειψη της κατασκευής).

8.5.2 Επεξήγηση των παρατηρήσεων

Για να κατανοήσουμε την πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής , θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα προσομοίωσης της βλάβης ή της αντίστοιχης συμπεριφοράς που παρατηρείται μέσω ενός μοντέλου για την κατασκευή και για τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των φορτίων . Εάν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των υπολογισμών και των παρατηρήσεων θα πρέπει να αναζητούνται τυχόν λάθη στον σχεδιασμό , ή κατά την κατασκευή .

8.5.3 Εκτιμήσεις αξιοπιστίας

Με δοσμένη την κατασκευή στην παρούσα κατάσταση της και με τις παρούσες πληροφορίες , η αξιοπιστία της κατασκευής εκτιμάτε είτε μέσω της πιθανότητας αστοχίας είτε με τους μερικούς συντελεστές . Να σημειώσουμε πως η κατάσταση της παρούσας κατασκευής μπορεί να είναι διαφορετική από την αρχική της κατάσταση . Εάν η αξιοπιστία είναι αποδεκτή (καλύτερη απ'ότι αναμενόταν στον σχεδιασμό) μια από τις δύο παραπάνω εκτιμήσεις μας υποδεικνύει πως δεν είναι απαραίτητες περαιτέρω ενέργειες .

8.5.4 Τελική απόφαση

Εάν ο βαθμός αξιοπιστία είναι χαμηλός ένα από τα παρακάτω μπορεί να γίνει :

- a) Να αποδεχτούμε την παρούσα κατάσταση της κατασκευής λόγω οικονομικών λόγων
- b) Να μειώσουμε τα φορτία στην κατασκευή
- c) Να αποκαταστήσουμε την κατασκευή
- d) Να αρχίσει η διαδικασία καταστροφής της κατασκευής

Να σημειώσουμε πως η απόφαση α) μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι δαπάνες της αύξησης της αξιοπιστίας είναι πιο μεγάλες στην τωρινή κατασκευή από ότι για κατασκευές που βρίσκονται υπό σχεδιασμό .Αυτό αποδεικνύει πως για την επιλογή αυτή συνεπάγεται υψηλότερος βαθμός αξιοπιστίας για την κατασκευή που σχεδιάζεται .Όμως , εάν εμπλέκεται ανθρώπινη ασφάλεια θα πρέπει να θέσουμε περιορισμούς στην οικονομική βελτιστοποίηση .

Χαμηλότερα όρια αποδοχής μπορούν να οριστούν με την μείωση του καθορισμένου βαθμού αξιοπιστίας β για το σχεδιασμό με τις πιθανότητες και μείωση των τιμών του γ για την μέθοδο μερικών συντελεστών .

Κεφάλαιο Α-Διασφάλιση και διαχείριση της ποιότητας

A.1 Σκοπός

Το αντικείμενο του συγκεκριμένου παραρτήματος είναι να παρέχει γενική καθοδήγηση για την διεξαγωγή ενός συστήματος διαχείρισης της ποιότητας για κατασκευαστικές εργασίες , και πιο συγκεκριμένα για την εφαρμογή του πρότυπου **ISO 9000** .

Γενικά στις διεργασίες αυτές θα πρέπει :

- a. Να συγκεντρώνονται οι καθορισμένες ανάγκες , χρήσεις και στόχοι
- b. Να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του πελάτη
- c. Να υπακούουν εφαρμοσμένα πρότυπα και προδιαγραφές
- d. Να υπακούουν θεσπισμένες ανάγκες της κοινωνίας

A.2 Ορισμοί

A.2.1 πελάτης : Αποδέκτης μιας κατασκευαστικής εργασίας μέσω ενός συμβολαίου

A.2.2 ποιότητα : Πληρότητα των χαρακτηριστικών μιας υπόστασης (π.χ κατασκευαστικές εργασίες) οι οποίες στηρίζονται στην ικανότητας της να ικανοποιεί δηλωμένες και ευνόητες ανάγκες .

A.2.3 απαιτήσεις για ποιότητα : Η έκφραση των αναγκών ή η μετάφραση τους ως ένα σύνολο ποιοτικών και ποσοτικών αναγκών για τα χαρακτηριστικά μιας υπόστασης, οι οποίες καθιστούν ικανή την πραγματοποίηση της και την εξέταση της .

A.2.4 πιστότητα : Εκπλήρωση των καθορισμένων απαιτήσεων

A.2.5 πολιτική ποιότητας : Οι συνολικές επιδιώξεις ενός οργανισμού (π.χ. εργολάβος , πελάτης) σύμφωνα με την ποιότητα , όπως επίσημα εκφράζεται από το τμήμα διαχείρισης

A.2.6 διαχείριση ποιότητας : Όλες οι ενέργειες από την συνολική λειτουργία της διαχείρισης που προσδιορίζει την πολιτική της ποιότητας , τους σκοπούς και τις ευθύνες και την εφαρμογή τους στο σύστημα της ποιότητας .

A.2.7 βρόχος ποιότητας : Ένα εννοιολογικό μοντέλο με δραστηριότητες που αλληλεπιδρούν ώστε να επηρεάζουν την ποιότητα στα διάφορα στάδια που κυμαίνεται , από τον προσδιορισμό των αναγκών στις εκτιμήσεις εφόσον αυτές οι ανάγκες ικανοποιούνται.

A.2.8 έλεγχος ποιότητας : Λειτουργικές ενέργειες και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εκπλήρωση των απαιτήσεων της ποιότητας.

A.2.9 διασφάλιση ποιότητας : Όλες οι σχεδιασμένες και συστηματικές ενέργειες που είναι απαραίτητες να παρέχουν μια επαρκή ασφάλεια ώστε μια κατάσταση να εκπληρώσει τις απαιτήσεις της ποιότητας .

A.2.10 σχέδιο ποιότητας : Έγγραφο που καθορίζουν τις συγκεκριμένες εφαρμογές της ποιότητας , πηγές και μια σειρά ενεργειών σχετικές με το συγκεκριμένο προϊόν , σχέδια ή συμβόλαια .

A.2.11 διαδικασία : Μια σειρά αλληλένδετων πηγών και ενεργειών που μετατρέπουν τις εισόδους σε εξόδους .

A.2.12 μέθοδος : Ένας καθορισμένος τρόπος εκτέλεσης μιας εργασίας

A.3 Διαχείριση ποιότητας

Η διαχείριση της ποιότητας σχεδιασμού προϋποθέτει τις παρακάτω ενέργειες:

- a. Οι διάφορες πτυχές αξιοπιστίας της ποιότητας να είναι καθορισμένες (π.χ κατασκευαστική ασφάλεια , καταλληλότητα για χρήση , αισθητική , κόστος κ.α.)
- b. Αυτές οι πτυχές να μετατρέπονται σε ένα σύνολο απαιτήσεων ποιότητας (π.χ λειτουργικά χαρακτηριστικά , κατασκευαστική ασφάλεια , λειτουργικότητα , σχεδιασμός διάρκειας λειτουργίας , κόστος κ.α.)
- c. Οι κύριες ενέργειες που συμβάλλουν για την απόκτηση της ποιότητας να είναι καθορισμένες (προκαταρκτική διερεύνηση ,εννοιολογικές επιλογές , συνθήκες σχεδιασμού, χαρακτηριστικά των ενεργειών , χαρακτηριστικά των υλικών , επίπεδο της ποιότητας εργασίας ,

περιορισμοί της χρήσης , προδιαγραφές της συντήρησης) . Οι διάφορες ενέργειες του κύκλου ζωής της κατασκευής που επηρεάζουν την ποιότητα θα πρέπει να είναι καθορισμένες .Αυτές οι ενέργειες μπορούν να ερμηνευτούν ως ένας βρόχος ποιότητας όταν μια κατασκευή λειτουργεί.

d. Οι καθορισμένες ενέργειες να ελέγχονται από το τμήμα διαχείρισης .

Ο Πίνακας A.1 μπορεί να θεωρηθεί ως η βάση προετοιμασίας ενός ποιοτικού σχεδιασμού.

A.4 Διασφάλιση ποιότητας

Για να επιτύχουμε επαρκή ασφάλεια ώστε ο σχεδιασμός μας να πληρεί τις καθορισμένες απαιτήσεις για ποιότητα θα πρέπει να γίνονται συμπληρωματικές ενέργειες :

- Η παρέμβαση των κύριων συντελεστών στην εκπλήρωση των καθορισμένων απαιτήσεων της ποιότητας ,θα πρέπει να μελετώνται ως ένα σχέδιο ποιότητας
- Έγγραφα που σχετίζονται με τον έλεγχο των συντελεστών που συμβάλουν στην ποιότητα θα πρέπει να τηρούνται και να διατηρούνται καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής των εργασιών της κατασκευής .

Πίνακας A.1-Ενέργειες διαχείρισης της ποιότητας στον βρόχο ποιότητα για κατασκευαστικές εργασίες

Στάδια του κύκλου ζωής	Ενέργειες
Σύλληψη	<ul style="list-style-type: none"> • Καθορισμός των κατάλληλων επιπέδων λειτουργίας για κατασκευαστικές εργασίες και συνδέσμους • Προδιαγραφές για τον σχεδιασμό • Προκαταρτικές προδιαγραφές για την εκτέλεση και την συντήρηση • Επιλογή των ομάδων που μεσολαβούν με τα απαραίτητα προσόντα για το προσωπικό και την οργάνωση
Σχεδιασμός	<ul style="list-style-type: none"> • Προδιαγραφές του κριτηρίου λειτουργίας για τα υλικά , συνδέσμους και συναρμογές • Επιβεβαίωση της αποδοχής και επίτευξης για την λειτουργία

	<ul style="list-style-type: none"> • Προδιαγραφές για τις επιλογές των δοκιμών (πρωτότυπο) • Προδιαγραφές για τα υλικά
<i>Προτάσεις</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Επανεξέταση των σχεδιαστικών εγγράφων , συμπεριλαμβάνοντας προδιαγραφές λειτουργίας • Αποδοχή των προδιαγραφών (εργολάβος) • Αποδοχή της πρότασης (πελάτης)
<i>Εκτέλεση</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Έλεγχος των διαδικασιών και των εκτελέσεων • Δειγματοληψία και δοκιμές • Επιδιόρθωση των ατελειών • Πιστοποίηση της εργασίας σύμφωνα με την τήρηση των δοκιμών που καθορίζονται στα σχεδιαστικά έγγραφα
<i>Ολοκλήρωση των κατασκευαστικών εργασιών και παράδοση στον πελάτη</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Εξουσιοδότηση • Εξακρίβωση της λειτουργίας της ολοκληρωμένης κατασκευής (π.χ με δοκιμές κάτω απο το ονομαστικό φορτίο)
<i>Χρήση και συντήρηση</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Παρακολούθηση της λειτουργίας • Επιθεώρηση για εμφάνιση κινδύνων και φθορών • Διερεύνηση των προβλημάτων • Πιστοποίηση των εργασιών
<i>Αποκατάσταση ή καταστροφή</i>	<p>Όμοια με τα παραπάνω</p> <ul style="list-style-type: none"> • Να σημειώσουμε πως η αποκατάσταση δεν είναι υποχρεωτική • Η καταστροφή δεν περιλαμβάνεται σε αυτό το πρότυπο

A.5 Έλεγχοι ποιότητας

A.5.1 Γενική περιγραφή

Οι έλεγχοι αποτελούνται από :

- Συλλογή πληροφοριών
- Κρίση βασισμένη στις πληροφορίες
- Απόφαση βασισμένη στην κρίση

4.5.2 Διαδικασία ελέγχου

Αναφερόμενοι στην διαδικασία ελέγχου στην παραγωγή και στην κατασκευή , μια διάκριση μπορεί να γίνει μεταξύ του :

- Έλεγχου παραγωγής , ο οποίος είναι ένας έλεγχος της διαδικασίας παραγωγής , ο σκοπός του ελέγχου παραγωγής είναι να διευθετήσουμε μια μέθοδο παραγωγής και να εξασφαλίσουμε το επαρκές αποτέλεσμα .
- Και του ελέγχου που υπόκεινται στο αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας , σκοπός του είναι να εξασφαλίσει ότι το αποτέλεσμα της παραγωγής συμφωνεί με τις καθορισμένες προδιαγραφές .

4.5.3 Κριτήριο ελέγχου και κανόνες αποδοχής

Ο έλεγχος μπορεί να είναι συνολικός ή στατιστικός .Εάν ο έλεγχος είναι συνολικός κάθε παραγόμενη μονάδα θα πρέπει να επιθεωρείται. Οι κανόνες αποδοχής υποδηλώνουν πως αυτή η μονάδα έχει κριθεί ως κατάλληλη (δεκτή) ή ακατάλληλη (μη αποδεκτή) .Κατά κανόνα του κριτηρίου εάν οι ποσότητες αναφέρονται σε καθορισμένες ανοχές .

Ένας στατιστικός έλεγχος γενικά αποτελείται απο τα εξής μέρη:

- Εισαγωγή των προϊόντων σε ποσότητες(πληθυσμούς)
- Δειγματοληψία σε κάθε πληθυσμό
- Δοκιμές των δειγμάτων
- Στατιστική απόφαση των αποτελεσμάτων
- Απόφαση σύμφωνα με την αποδοχή

Ένας πληθυσμός θα πρέπει να είναι έτσι ώστε να μελετάται ως μια ομοιογένεια σύμφωνα με τις ιδιότητες του , οι οποίες αποτελούν το αντικείμενο του ελέγχου . Η απόφαση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το δοσμένο επίπεδο εμπιστοσύνης και/ή μέσω ενός καθορισμένου διαστήματος εμπιστοσύνης ή με την εφαρμογή της Bayesian μεθόδου.

A.5.4 Μέθοδος ελέγχου

Μια διάκριση μπορεί να γίνει μεταξύ των διαφορετικών βημάτων που ακολουθούνται κατά τον έλεγχο ανάλογα με το άτομο ή τον οργανισμό που εποπτεύει τον έλεγχο .

- Ξεχωριστός έλεγχος από ένα άτομο
- Εσωτερικός έλεγχος
- Έλεγχος αποδοχής χειριζόμενος από το τμήμα διαχείρισης

Συνήθως υπάρχει ένας και ένας επιπλέον έλεγχος , ο οποίος εισάγεται και εκτελείται από δημόσιες αρχές και βασίζονται σε νόμους και κωδικούς . Ο εσωτερικός έλεγχος εκτελείται στο ίδιο γραφείο , εργοστάσιο ή εργαστήριο όπου διεξάγεται η εργασία .Ωστόσο η εργασία και ο έλεγχος εκτελούνται από διαφορετικά μέλη .

Εάν η διαδικασία ελέγχου αποτελείται από διάφορα στάδια , είναι σημαντικό για το τελικό αποτέλεσμα, οι ενέργειες αυτών των βημάτων , όσο αυτό είναι δυνατόν , να είναι κοινά ανεξάρτητες , σε μια στατιστική έννοια , αλλιώς η αποδοτικότητα του ελέγχου θα μειωθεί .

Σε πολλές περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητο η εγκατάσταση ενός σχεδίου ελέγχου το οποίο θα είναι τμήμα τους σχεδίου ποιότητας σύμφωνα με την παράγραφο Α.4 .

Κεφάλαιο Β-Παραδείγματα μόνιμων, μεταβλητών και τυχαίων δράσεων

Τα παρακάτω παραδείγματα περιλαμβάνουν τους πιο κοινούς τύπους δράσεων .Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν και άλλοι τύποι , τέτοιες δράσεις θα πρέπει να ταξινομούνται σύμφωνα με τις βασικούς ορισμούς .

B.1 Μόνιμες δράσεις –(Permanent actions)

Αυτές περιλαμβάνουν τα παρακάτω :

- a) Την μάζα των κατασκευών (εκτός ίσως συγκεκριμένων τμημάτων της μάζας κατά την διάρκεια συγκεκριμένων σταδίων της κατασκευής)
- b) Την μάζα μιας υπερκατασκευής , συμπεριλαμβάνοντας οποιαδήποτε μόνιμη προσαρμογή και κάποιο μόνιμο προσάρτημα .
- c) Τις δυνάμεις που εφαρμόζονται από την πίεση του εδάφους , που προκύπτουν από την μάζα του εδάφους στις τελικές τους τιμές

- d) Τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται από την μέθοδο κατασκευής στις τελικές τους τιμές
- e) Τις δυνάμεις που προκύπτουν από την συστολή του σκυροδέματος και από τις συγκολλήσεις .
- f) Τις δυνάμεις που προκύπτουν από την πίεση του νερού
- g) Τις δυνάμεις που προκύπτουν από την υποχώρηση στηριγμάτων της κατασκευής και την υποχώρηση των μετάλλων
- h) Τις δυνάμεις από προένταση

B.2 Μεταβλητές δράσεις -(Variable actions)

Αυτές περιλαμβάνουν τις εξής :

- a) Φορτία εξαιτίας της εγκατάστασης ,φορτία κατά την λειτουργία, επιβαλλόμενα φορτία .
- b) Συγκεκριμένα τμήματα της μάζας της κατασκευής κατά την διάρκεια συγκεκριμένης φάσης της κατασκευής.
- c) Φορτία προς ανύψωση
- d) Φορτία ανέμου
- e) Φορτία από χιόνι
- f) Δράσεις από σεισμούς
- g) Η επίδραση της μεταβλητής επιφάνειας του νερού
- h) Φορτία ανέμου
- i) Αλλαγές στις θερμοκρασίες

Να σημειώσουμε εδώ πως οι δράσεις σεισμών μπορούν να θεωρηθούν είτε ως μεταβλητές δράσεις και κάτω από ορισμένες συνθήκες είτε ως τυχαίες δράσεις .

B.3 Τυχαίες δράσεις

Αυτές περιλαμβάνουν τις εξής :

- a) Συγκρούσεις
- b) Εκρήξεις
- c) Καθίζηση του υπεδάφους

- d) Ανεμοστρόβιλοι σε περιοχές που δεν είναι πιθανόν να εμφανιστούν
- e) Δράσεις σεισμού
- f) Πυρκαγιές
- g) Ακραίες τιμές διάβρωσης

Κεφάλαιο C-Υπολογιστικά μοντέλα καταπόνησης σε κόπωση

C.1 Εισαγωγή

Σε κατασκευές που φορτίζονται από μεταβαλλόμενες με το χρόνο δράσεις αστοχίες μπορεί να εμφανιστούν επίπεδα φόρτισης που είναι σημαντικά χαμηλότερα από τα επίπεδα που αναμένεται κανονικά η αστοχία. Αυτή η αστοχία εμφανίζεται λόγω της αύξησης των ρωγμών .

Ο πλήρης μηχανισμός αποτελείται από τρία στάδια :

- a) Μια αρχική φάση , κατά την οποία σχηματίζονται οι ρωγμές
- b) Μια φάση όπου οι ρωγμές αυξάνονται , κατά την οποία η σταθερή αύξηση δημιουργείται στην διάρκεια των επαναλήψεων των φορτίων
- c) Μια φάση αστοχίας , κατά την οποία μια ασταθής αύξηση των ρωγμών οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία (brittle fracture) ή σε όλκιμη αστοχία (ductile tearing) , ή όταν μια μειωμένη διατομή αστοχεί λόγω διαρροής υλικού .

Κατά την διάρκεια της αύξησης των ρωγμών , εμφανίζονται μεγάλες εναλλασσόμενες πλαστικές ζώνες , εμφανίζεται αστοχία μετά από σχετικά λίγες επαναλήψεις (του φορτίου) και ο μηχανισμός αναφέρεται ως ελάχιστος κύκλος αστοχίας .Όταν οι πλαστικές ζώνες είναι μικρές , ο μηχανισμός ονομάζεται ως μέγιστος κύκλος αστοχίας .

Δυο κύριες μέθοδοι ανάλυσης διακρίνονται :

- Η προσέγγιση S-N line
- Η προσέγγιση με τον Μηχανισμό Αστοχίας (Fracture Mechanics)

Και οι δύο μέθοδοι θα αναφερθούν με κάποιες λεπτομέρειες . Οι μέθοδοι έχουν σχεδιαστεί για χαλύβδινες κατασκευές , όμως οι αρχές μπορεί να είναι χρήσιμες και για άλλα υλικά .

C.2 S-N Lines

Η προσέγγιση **S-N line** συνδυάζει και τις τρεις φάσεις του μηχανισμού αστοχίας και βασίζεται πλήρως σε πειράματα. Ένας αριθμός ελέγχων με αντιπροσωπευτικά δείγματα υποβάλλεται σε μια σειρά από συνεχές εναλλαγές φόρτισης μέχρι την αστοχία. Η απεικόνιση του εύρους της τάσης S , έναντι των αριθμών των επαναλήψεων (κύκλων) αστοχίας N , δίνει την μέθοδο **S-N line**. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εξαρτάται ή και όχι από την μέση τιμή της τάσης. Για να αντιμετωπίσουμε ένα εύρος πραγματικών μεταβλητών των φορτίων στην κατασκευή, θα πρέπει να εφαρμοστεί ένας αθροιστικός κανόνας αστοχίας.

Ο πιο διαδεδομένος κανόνας που χρησιμοποιείται είναι ο γραμμικός κανόνας αστοχίας του **Palmgren-Miner**. Σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα η αστοχία εμφανίζεται όταν,

$$\sum \frac{n_i}{N_i} > D_c \quad (\text{C.1})$$

Όπου

n_i είναι ο αριθμός των επαναλήψεων του φορτίου που εφαρμόζονται με επίπεδο εύρους τάσης S_i

N_i είναι ο αριθμός των εναλλαγών του φορτίου που αστοχεί για εύρος τάσης S_i

D_c είναι η κρίσιμη τιμή του συντελεστή αστοχίας

Το εύρος της τάσης S_i περιλαμβάνει και τις επιπτώσεις από την συγκέντρωση τοπικών τάσεων (π.χ στα άκρα των συγκολλήσεων).

Για να βρούμε τον αριθμό των τάσεων, το n_i για κάθε εύρος τάσεων S_i ειδικές διαδικασίες μετρήσεων μπορεί να είναι απαραίτητες. Ο κανόνας Palmgren-Miner δεν λαμβάνει υπόψη του την διαδοχή των επιδράσεων. Στην ιδανική περίπτωση η κρίσιμη τιμή D_c είναι ίση με 1,0 όμως γενικά εξαρτάται από το παρελθόν φόρτισης της κατασκευής, το περιβάλλον και το είδος του υλικού.

C.3 Μηχανισμοί αστοχίας από κόπωση (Fracture Mechanics)

Σε αυτήν την μέθοδο προσέγγισης, ξεχωριστά μοντέλα χρησιμοποιούνται για τρία διαφορετικά στάδια.

- a) Το αρχικό στάδιο εμφάνισης των ρωγμών συχνά αποδίδεται με την προσέγγιση της τοπικής καταπόνησης, αυτό κυρίως χρησιμοποιείται για μικρές δομικές πλάκες σε διάφορες άλλες εφαρμογές το στάδιο αυτό μπορεί να παραμελείται.

b) Το στάδιο διάδοσης των ρωγμών, μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να περιγράφεται από ένα μοντέλο αύξησης των ρωγμών , όπου το μέγεθος της ρωγμής a_t μετά από κάποιο χρόνο t είναι μια συνάρτηση του αρχικού μεγέθους της ρωγμής a_0 , του ιστορικού της τοπικής ονομαστικής τάσης $\sigma(\tau)$, της αντίστασης της κόπωσης R_t , η οποία εξαρτάται από τις τοπικές ιδιότητες του υλικού και την γεωμετρία .

$$a_t = f(a_0, \sigma(\tau), R_t) \quad (0 < \tau < 1) \quad (\text{C.3})$$

Στα περισσότερα μοντέλα ρωγμών , το ιστορικό της τάσης $\sigma(\tau)$ μπορεί να δίνεται σαν μια σειρά εναλλαγών του φορτίου. Επιπλέον το μήκος , το βάθος και το πλάτος της ρωγμής μπορούν να κριθούν ως απαραίτητα στο υπολογισμό.

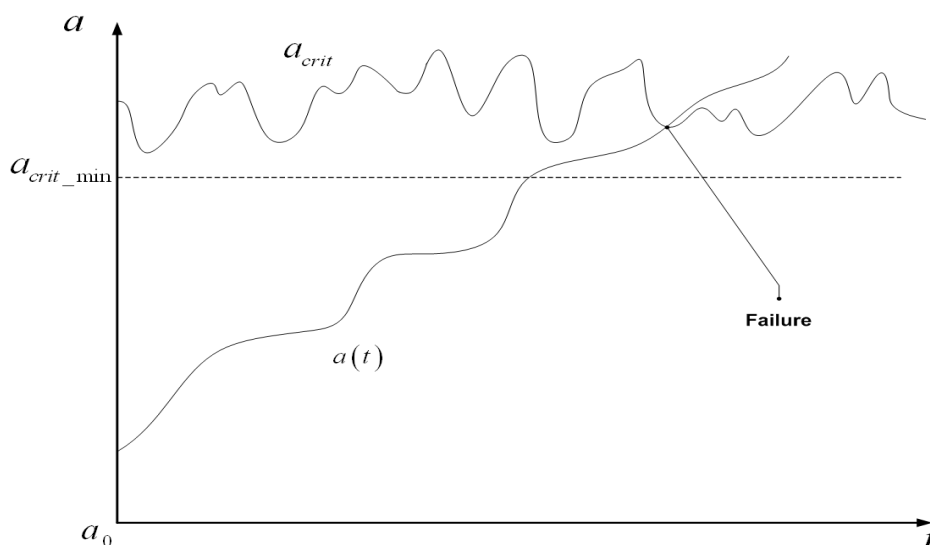
c) Το στάδιο αστοχίας μοντελοποιείται με την χρήση της κρίσιμης τιμής της ρωγμής .Κάθε επίπεδο τάσεων $\sigma(\tau)$ μπορεί να συνδέεται με μια κρίσιμη τιμή της ρωγμής $a_{crit,t}$, έτσι ώστε , θεωρώντας όλους τους πιθανούς τρόπους αστοχίας ως μια τάση ίση με την $\sigma(\tau)$ θα οδηγούσε σε αστοχία όταν θα ισχύει $a_t > a_{crit,t}$. Η συνάρτηση οριακής κατάστασης για αστοχία από κόπωση μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής :

$$g(X) = \min(a_{crit,t} - a_t) \quad (0 < t < T) \quad (\text{C.3a})$$

$$\text{ή} \quad g(X) = \min(a_{crit,t}) - \max(a_t) \quad (0 < t < T) \quad (\text{C.3b})$$

Το ελάχιστο (μέγιστο) θα λαμβάνεται για την σχεδιασμένη συνολική διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής T .

Οι εξισώσεις (C.3a) και (C.3b) απεικονίζονται στην Εικόνα C.1.



Εικόνα C.1 – Γραφική απεικόνιση των εξισώσεων (C.3a) και (C.3b)

C.4 Διαδικασία επαλήθευσης με την μέθοδο των μερικών συντελεστών

Αυτή η μέθοδος ασφάλειας εξαρτάται από την μορφή της ανάλυσης Σε περίπτωση ύπαρξης μεθόδων προστιθέμενων βλαβών σε συνδυασμό με την μέθοδο **S-N lines** , ο κανόνας επαλήθευσης ορίζεται ως εξής :

$$\sum \frac{n_i}{N_i} < \frac{D_c}{\gamma_d} \quad (\text{C.4})$$

$$N_i = N_i \left(\gamma_{Ff} \cdot S_i, \frac{R_{fk}}{\gamma_{Mf}} \right) \quad (\text{C.5})$$

όπου

N_i και S_i οι καλύτερες δυνατές εκτιμήσεις του ιστορικού φόρτισης της κατασκευής .

R_{fk} η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής σε κόπωση

γ_{Ff} ο μερικός παράγοντας που διαχειρίζεται τις αβεβαιότητες στο επίπεδο φόρτισης και στο υπολογιστικό μοντέλο

γ_{Mf} ο μερικός παράγοντας που διαχειρίζεται τις αβεβαιότητες στις ιδιότητες του υλικού

γ_d ο μερικός παράγοντας που διαχειρίζεται τις αβεβαιότητες στην μέθοδο προστιθέμενων βλαβών , στον σχεδιασμό της διάρκειας λειτουργίας και τις συνέπειες τις αστοχίας

Για την προσέγγιση με την Μηχανική Θραύσεων , η επαλήθευση μπορεί να εκφράζεται με την παρακάτω σχέση , υποθέτοντας την απλουστευμένη μέθοδο σύμφωνα με την εξίσωση **(C.3b)**

$$a_{crit} \left(\gamma_{F1} \cdot S_k, \frac{R_k}{\gamma_{M1}} \right) > a_T \left(a_{0k}, \gamma_{F2} \cdot S(\tau) \frac{R_{fk}}{\gamma_{M2}} \right) \quad (\text{C.6})$$

όπου

S_k είναι η επίδραση του φορτίου εξαιτίας της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου ή της εναλλαγής των φορτίων

R_k είναι η σχετική χαρακτηριστική αντοχή (αντοχή σε κόπωση , τάση διαρροής) για την σχετική θερμοκρασία

a_{0k} είναι το αρχικό χαρακτηριστικό μέγεθος της ρωγμής

$S(\tau)$ είναι η καλύτερη εκτίμηση του ιστορικού φόρτισης

R_{fk} είναι οι χαρακτηριστικές τιμές στην ανάπτυξη ρωγμών στις ιδιότητες του υλικού

γ είναι μερικοί συντελεστές

T είναι η διάρκεια λειτουργίας του σχεδιασμού

Το επίπεδο των μερικών συντελεστών θα πρέπει να βασίζεται :

- Στις αβεβαιότητες και στις ευαισθησίες των τυχαίων μεταβλητών
- Στην ανοχή των βλαβών της κατασκευής , αυτή είναι η δυνατότητα εύρεσης εναλλακτικών διαδρομών στην ραγισμένη κατασκευή
- Στα επιθεωρημένα διαστήματα και στην πιθανότητα εύρεσης ρωγμής
- Στην δυνατότητα επίδρασης πάνω στις επισκευές

Κεφάλαιο D-Σχεδιασμός βασισμένος σε πειραματικά μοντέλα

D.1 Σκοπός

Ο σχεδιασμός βασισμένος σε πειραματικά μοντέλα (ή γενικά ο σχεδιασμός με δοκιμές) είναι μια μέθοδος για την εκτίμηση των τιμών σχεδιασμού για τις ιδιότητες αντίστασης (αντοχής) σε καθορισμένα κατασκευαστικά στοιχεία και υλικά . Η μέθοδος που περιγράφεται σε αυτό το παράρτημα έχει σκοπό την στατιστική εκτίμηση σε μεγάλο βαθμό των πειραματικών αποτελεσμάτων σε συνδυασμό με την μέθοδο των μερικών συντελεστών και τον πιθανολογικό σχεδιασμό.

Το αντικείμενο των εφαρμογών καλύπτει :

- Περιπτώσεις που δεν μπορούν να αντιμετωπισθούν με τις πληροφορίες που δίνονται στην Εφαρμογή των Κανονισμών (Codes of Practice) διότι επαρκή θεωρητικά μοντέλα ή οι πληροφορίες μπορούν να έχουν ελλείψεις
- Περιπτώσεις συγκεκριμένες όπου οι πληροφορίες εφαρμόζονται κοινά για υπολογισμούς και δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως τις πραγματικές συνθήκες (π.χ εξαιτίας μιας συγκεκριμένης μεθόδου παραγωγής)
- Περιπτώσεις όπου η υπάρχουσα διαδικασία σχεδιασμού οδηγεί σε συντηρητικά αποτελέσματα και ένας άμεσος έλεγχος της οριακής κατάστασης αναμένεται να οδηγήσει σε μια πιο οικονομική λύση.

Αυτό το παράρτημα δεν καλύπτει μη-καταστροφικούς ελέγχους , έλεγχο ποιότητας για συγκεκριμένα υλικά , μπορεί να απαιτούνται κάποιες περαιτέρω επεξεργασίες ή και εκτιμήσεις .

D.2 Γενική σκέψεις

Για να συντάξουμε μια ουσιαστική πειραματική διάταξη ,πριν από τα πειράματα πρέπει να προηγείται μια προκαταρκτική ποιοτική ανάλυση για να ανακαλύψουμε ποιές ζώνες που μπορεί να είναι κρίσιμες για την συμπεριφορά του στοιχείου που μελετάται .Επιπλέον θα πρέπει να δίνεται ένας σαφής ορισμός της οριακής κατάστασης .

Οι μονάδες που έχουν δοκιμαστεί θα ήταν προτιμότερο να παραχθούν στο ίδιο ονομαστικό μέγεθος και με την ίδια τεχνολογία , όμοια με αυτές που βρίσκονται στην παραγωγή και να κατασκευαστούν σύμφωνα με τις δοκιμές και με τις σχετικές συνθήκες, τυχαία επιλεγμένες

Η διαδικασία των δοκιμών δεν θα πρέπει να περιορίζεται μόνο για την καταγραφή των τελικών τιμών . Χρειάζεται προσοχή σε φαινόμενα που εμφανίζονται όταν έχουμε υπέρβαση της οριακής κατάστασης , στις επακόλουθες συνθήκες και στον μηχανισμό της οριακής κατάστασης , καθώς και στις οριακές συνθήκες (π.χ σε τι βαθμό διαφέρουν από αυτές που αναμένονται από την πραγματική κατασκευή , στις συνθήκες φόρτισης κ.α.) Οι συνθήκες που εμφανίζονται κατά την υπέρβαση της οριακής κατάστασης , συγκεκριμένα ο τρόπος αστοχίας ο οποίος είναι αποφασιστικός για τη αστοχία , μπορεί να μην είναι πάντα προφανής . Η ανάπτυξη της διαδικασίας των πειραμάτων και της αξιολόγησης των πειραματικών αποτελεσμάτων που παίρνουμε απαιτούν κατάλληλη θεωρητική γνώση , εμπειρία στα πειράματα , και την σωστή κρίση του μηχανικού .

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία τιμών σχεδιασμού από τα πειράματα θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους (γενικά) περιορισμένο αριθμό πειραμάτων .Η αξιολόγηση μπορεί να είναι βασισμένη από ένα προ υπάρχον μοντέλο ανάλυσης (βλ D.6), ή όταν δεν υπάρχει αυτό με άμεση αξιολόγηση (βλ. D.5). Σε σχέση αυτές τις στατιστικές μελέτες, θα πρέπει να σημειωθεί πως η γενική θεωρία της κατασκευαστικής συμπεριφοράς και μια σειρά κοινά αποδεκτών κανόνων σχεδιασμού παραμένουν έγκυρα κατά την διάρκεια του σχεδιασμού με πειράματα.

Συμπεράσματα που απορρέουν από μια συγκεκριμένη αξιολόγηση αναφέρονται στις ιδιότητες ή και στην τεχνολογία της παραγωγής σε συνδυασμό με το εύρος της αξιολόγησης .Η επέκταση των συμπερασμάτων απαιτεί νέους ελέγχους , εκτός εάν η επέκταση των αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε είναι δυνατή και σε άλλες κατηγορίες στοιχείων , σύμφωνα πάντα με την θεωρητική ανάλυση .

D.3 Διαφορές μεταξύ πραγματικών και πειραματικών συνθηκών

Οι συνθήκες κατά την διάρκεια των πειραμάτων μπορεί να διαφέρουν από τις προσδοκώμενη κατασκευή στο πραγματικό της περιβάλλον , αυτές οι διαφορές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από μια κατάλληλα καθορισμένη μετατροπή ή από τροποποίηση των συντελεστών .

Ο συντελεστής μετατροπής n θα πρέπει να καθιερωθεί από θεωρητική ή πειραματική ανάλυση βασισμένη σε μια γενική κατασκευαστική θεωρία ή και εμπειρία . Κάποιος βαθμός αυθαιρεσίας είναι συνήθως αναπόφευκτος .

Οι αναφορές στον βαθμό μετατροπής n θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Το μέγεθος των επιδράσεων
- Επιδράσεις του χρόνου (συνήθως πειράματα εκτελούνται κάτω από μικρές περιόδους φόρτισης , εφόσον οι αποκλίσεις της ικανότητας του φορτίου πολλών υλικών εξαρτάται από μεγάλες περιόδους επιδράσεων)
- Οριακές συνθήκες των ελεγχόμενων μονάδων (ελεύθερες ή σταθερές)
- Συνθήκες υγρασίας που επηρεάζουν τις ιδιότητες των υλικών

Οι συνθήκες εργασίας , για περίπτωση παραγωγής σύμφωνα με τις εργαστηριακές συνθήκες αντί των πραγματικών συνθηκών μπορεί να έχουν σημαντική επιρροή στις ιδιότητες της κατασκευής (π.χ ιδιότητες στους συνδέσμους των συναρμολογημένων κατασκευών). Εάν αυτές οι επιδράσεις θεωρούνται ουσιαστικές , πρέπει να γίνονται διορθώσεις ή να χρησιμοποιούνται δοκίμια από την πραγματική παραγωγή .

D.4 Σχεδιασμός των πειραμάτων

Πριν την εκτέλεση των πειραμάτων , πρέπει να γίνει ένας σχεδιασμός των πειραμάτων από τον σχεδιαστή .Το σχέδιο αυτό θα πρέπει να μελετά το αντικείμενο των πειραμάτων και όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές για την επιλογή της παραγωγής των δοκιμίων , την εκτέλεση και την αξιολόγηση τους . Πιο συγκεκριμένα , ο σχεδιασμός αυτός θα πρέπει να αντιμετωπίζει τα παρακάτω :

- a) Το πεδίο των πληροφοριών που απαιτείται για τα πειράματα (π.χ παραμέτρους και το εύρος της αποδοχής)
- b) Την περιγραφή όλων των ιδιοτήτων και συνθηκών που μπορούν να επηρεάσουν , την συμπεριφορά της οριακής κατάστασης (π.χ γεωμετρικές παραμέτρους και τις ανοχές τους , ιδιότητες των υλικών , παράμετροι που επηρεάζονται από διαδικασίες κατασκευής και δόμησης , επιδράσεις της κλίμακος , περιβαλλοντικές επιρροές).

- c) Τους τρόπους αστοχίας ή και μοντέλα ανάλυσης με τις κατάλληλες μεταβλητές .
- d) Να διεξάγονται μετρήσεις των σχετικών ιδιοτήτων για κάθε ξεχωριστό πειραματικό δοκίμια πριν την εκτέλεση των πειραμάτων , παραδείγματα τέτοιων σχετικών κύριων μεταβλητών είναι οι περιβαλλοντικές επιρροές , οι ιδιότητες των υλικών , και οι γεωμετρικές ποσότητες
- e) Τις προδιαγραφές των ιδιοτήτων των δειγμάτων (.πχ προδιαγραφές για τις διαστάσεις , πρωτότυπα υλικών και κατασκευής , διαδικασίες δειγματοληψίας , περιορισμοί)
- f) Τον αριθμό των δοκιμών και τη διαδικασία δειγματοληψίας

Σημείωση 1 : Εάν το μοντέλο ανάλυσης είναι διαθέσιμο και οι τιμές όλων των τυχαίων μεταβλητών είναι μετρήσιμες , η διαδικασία της δειγματοληψίας δεν είναι απαραίτητα ουσιαστική .

Σε άλλες περιπτώσεις ένα μοντέλο θα πρέπει να εξασφαλίζει την επιλογή των πειραματικών δειγμάτων από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Μπορεί να είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη δείγματα από διαφορετικές κατασκευές (π.χ με την χρήση συντελεστών βαρύτητας).

Σημείωση 2 : Προτείνεται ένα σχεδιαστικό σημείο προσανατολισμού των δειγμάτων όταν αυτά είναι μικρού μεγέθους και όταν ο τρόπος αστοχίας μπορεί να αλλάξει σε συνάρτηση με τις κύριες μεταβλητές . Γενικά αυτό συνιστάται για γεωμετρικές ατέλειες . Για παραμέτρους αντοχής , αυτό το σκεπτικό πρέπει να αξιολογείται με προσοχή . Για παράδειγμα , μπορεί να υπάρχει μια διαφορά μεταξύ ενός φτωχού δείγματος σκυροδέματος βαθμού 30 και ένα μέσο δείγμα βαθμού 20 , ακόμη και αν τα δύο δείγματα έχουν την ίδια αντοχή .

- g) Τις προδιαγραφές για την φόρτιση και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στο πείραμα (π.χ σημεία φόρτισης , τρόπος φόρτισης κατά τον χρόνο και τον χώρο , θερμοκρασίες , φόρτιση από παραμορφώσεις ή έλεγχο των δυνάμεων). Οι τρόποι φόρτισης θα πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αντιπροσωπευτικοί στο αναμενόμενο εύρος της εφαρμογής των κατασκευαστικών μελών, και θα υπολογίζονται για εκείνους τους πιθανούς δυσμενείς τρόπους που θεωρήσαμε στην ανάλυση με τις ανάλογες περιπτώσεις .

Σημείωση 3 : Όπου οι κατασκευαστικές ιδιότητες θεωρούνται μια ή διάφορες επιπτώσεις δράσεων , που δεν διαφέρουν συστηματικά , τότε οι επιδράσεις αυτές θα πρέπει να καθορίζονται από τις τιμές σχεδιασμού τους . Όταν είναι ανεξάρτητες από τις άλλες παραμέτρους και του τρόπου φόρτισης , οι τιμές σχεδιασμού που σχετίζονται στις εκτιμώμενες συνθήκες φόρτισης μπορούν να εφαρμόζονται .

- h) Οι ρυθμίσεις των πειραμάτων (περιλαμβάνοντας μετρήσεις που εξασφαλίζουν την επαρκή αντοχή και δυσκαμψία των φορτίων και των δακτυλίων στήριξης και την αποφυγή αποκλίσεων)
- i) Σημεία παρατηρήσεων και μέθοδοι παρατήρησης και καταγραφής είναι απαραίτητα (π.χ παρελθόν των μετατοπίσεων , ταχύτητες , επιταχύνσεις , τάνυση , δυνάμεις και τάσεις , απαιτούμενη συχνότητα και ακρίβεια των μετρήσεων και μετρητικές συσκευές).

D.5 Άμεση αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων

D.5.1 Γενική περιγραφή

Σε αυτή την παράγραφο υποθέτουμε πως η αντίδραση ενός κατασκευαστικού μέλους ή η αντοχή ενός υλικού αξιολογείται από τα πειράματα .

Επιπλέον η αντοχή ενός δοκιμίου μπορεί να αντιπροσωπεύεται από μια μοναδική ποσότητα και πως ο μηχανισμός αστοχίας είναι κρίσιμος για όλα τα πειράματα .

Εάν τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ένα πιθανολογικό σχεδιασμό , οι πληροφορίες των πειραμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναθεώρηση μιας προϋπάρχουσας κατανομής στις στατιστικές παραμέτρους της αντίδρασης .Οδηγίες δίνονται στην παράγραφο D.5.4.

Εάν χρησιμοποιείται η μέθοδος των μερικών συντελεστών, μπορεί να εφαρμοστεί είτε η κλασική μέθοδος της παραγράφου D.5.2 είτε η Bayesian μέθοδος στην παράγραφο D.5.3. Πολλές φορές χρησιμοποιείται μια μικτή μέθοδος από τις δύο παραπάνω μεθόδους .Σε πολλές περιπτώσεις οι αριθμητικές τιμές δεν διαφέρουν σημαντικά .Μια προτεινόμενη διαδικασία είναι η εκτίμηση των πειραμάτων με τις δύο μεθόδους και να συγκριθούν τα αποτελέσματα .Εάν τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν , η επιλογή δεν παίζει ρόλο . Εάν δεν συμβαίνει αυτό , μια από αυτές θα πρέπει να παρουσιάζει σημαντικά επιχειρήματα για να μην επιλέξουμε τα πιο δυσμενή αποτελέσματα .

D.5.2 Μέθοδος των μερικών συντελεστών : Τυπική προσέγγιση

Σε αυτήν την μέθοδο η σχεδιαστική αντίδραση R_d υπολογίζεται από την συνάρτηση :

$$R_d = \frac{R_{k,est}}{\gamma_m} \cdot \frac{\bar{n}}{\gamma_{Rd}} \quad (\text{D.1})$$

Όπου

$R_{k,est}$ είναι η εκτίμηση της μικρότερης χαρακτηριστικής τιμής της αντίδρασης R_k καθορισμένη από πειράματα.

γ_m είναι μερικός συντελεστής του υλικού

\bar{n} είναι η μέση τιμή του συντελεστή μετατροπής

γ_{Rd} είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας του μοντέλου

Ο μερικός παράγοντας γ_m θα πρέπει να καθορίζεται για τις τιμές που συνήθως χρησιμοποιούνται για το υλικό και τον τρόπο αστοχίας. Η απόφαση στον αν θα πρέπει ή όχι να υπάρχει σημαντική ομοιότητα μεταξύ των πειραματικών δειγμάτων και οι περιοχές εμπιστοσύνης του επιλεγμένου μερικού συντελεστή είναι θέμα κρίσης και εμπειρίας του μηχανικού. Στις περιπτώσεις που υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των πειραμάτων και οι τυποποιημένες συνθήκες σχεδιασμού είναι πολύ μεγάλες, για τη επιλογή μερικού συντελεστή με ασφάλεια θα πρέπει να χρησιμοποιείται η μέθοδος που περιγράφεται στην παράγραφο D.5.3.

Ο συντελεστής αβεβαιότητας του μοντέλου γ_{Rd} θα πρέπει να καλύπτει την τυχαία επιλογή των τιμών του συντελεστή n σε σεβασμό με τις άγνωστες διαφορές μεταξύ των πειραματικών συνθηκών και τις πραγματικές συνθήκες η τιμή της γ_{Rd} πρέπει να οριστεί αρχικά από την έρευνα του σκοπού των πειραμάτων, τις προδιαγραφές των οριακών συνθηκών, τον τρόπο αστοχίας και πληροφορίες που αφορούν την παραγωγή και τη τοποθεσία της. Η αρχική τιμή της γ_{Rd} μπορεί να διορθωθεί σύμφωνα με την παραγωγή και την τοποθεσία της. Γενικά, θα πρέπει να ισχύει $\gamma_{Rd} > 1,0$.

Η ελάχιστη χαρακτηριστική τιμή της γ_{Rd} εκτιμάται από τα πειραματικά αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη μια περιοχή εμπιστοσύνης ίσο με 0,75 (75%). Σε περίπτωση έλλειψης πληροφοριών, η χαρακτηριστική τιμή θεωρείται ίση με 0,05. Η χαρακτηριστική τιμή εκτιμάται από την σχέση:

$$R_{k,est} = m_R - k_S \cdot s_R \quad (\mathbf{D.2})$$

Όπου

m_R είναι η χαρακτηριστική μέση τιμή των δειγμάτων

s_R είναι η τυπική απόκλιση των δειγμάτων

k_S είναι ο συντελεστής που εξαρτάται από μέγεθος του δείγματος

Οι τιμές του k_S εξαρτώνται από τον αριθμό των πειραμάτων n , και το επίπεδο εμπιστοσύνης, ο Πίνακας D.1 δίνει τιμές του k_S για πιθανότητα 0.01, 0.05, και 0.10 και επίπεδο εμπιστοσύνης ίσο με 0.75. Οι τιμές στον Πίνακα D.1 δεν βασίζονται σε κανονική κατανομή.

Η τυπική απόκλιση s_R στην εξίσωση (D.2) εκτιμάται από τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί εκ των προτέρων η τυπική απόκλιση να θεωρείται άγνωστη, τότε η εξίσωση γίνεται:

$$R_{k,est} = m_R - k_\sigma \cdot s_R \quad (D.3)$$

Όπου

m_R είναι η χαρακτηριστική μέση τιμή των δειγμάτων

s_R είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής

k_σ είναι ο συντελεστής που εξαρτάται από μέγεθος του δείγματος

Η τιμή της k_σ υπολογίζεται από τον Πίνακα D.2

Σημείωση 1 : Στην παραπάνω διαδικασία χρησιμοποιείται μια κανονική κατανομή . Αυτή η υπόθεση μπορεί να μελετηθεί από Λογαριθμική κανονική κατανομή ή από κατανομή Weibull . Με την χρήση αυτών των κατανομών , μια από τις δύο μπορεί να βρει πιο οικονομικές τιμές σχεδιασμού. Τονίζεται όμως , πως η επιλογή πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία από πολλά παρόμοια πειράματα. Κατά την αξιολόγηση αυτών των πειραμάτων , ειδική προσοχή χρειάζεται στο σχήμα της κατανομής στο σύνολο της (πιο συγκεκριμένα στον βαθμό ασυμμετρίας της καμπύλης) και στο χαμηλότερο τμήμα της καμπύλης, την ουρά της .

Σημείωση 2 : Σε αυτήν την προσέγγιση η στατιστική αβεβαιότητα μελετάται μόνο κατά της εκτίμηση των χαρακτηριστικών τιμών , από το διάστημα ανάμεσα στην χαρακτηριστική τιμή και στην σχεδιαστική τιμή δεν συμπεριλαμβάνεται στατιστική αβεβαιότητα . Αυτό μπορεί να είναι αισιόδοξο για κάποιες περιπτώσεις

Πίνακας D.1 –Τιμές του k_σ , σ_R άγνωστη (Επίπεδο εμπιστοσύνης 0,75)

Πιθανότητα P	Αριθμός πειραμάτων n								
	3	4	6	8	10	20	30	100	∞
0.10	2.50	2.13	1.86	1.74	1.67	1.53	1.47	1.38	1.28
0.05	3.15	2.68	2.34	2.18	2.10	1.93	1.87	1.76	1.64
0.01	4.40	3.73	3.24	3.04	2.93	2.70	2.61	2.46	2.33

Πίνακας D.2 –Τιμές του k_σ , σ_R γνωστή (Επίπεδο εμπιστοσύνης 0,75)

Πιθανότητα P	Αριθμός πειραμάτων n								
	3	4	6	8	10	20	30	100	∞
0.10	1.67	1.60	1.56	1.52	1.50	1.43	1.40	1.35	1.28
0.05	2.03	1.98	1.92	1.88	1.86	1.79	1.77	1.71	1.64
0.01	2.72	2.66	2.60	2.56	2.54	2.48	2.45	2.39	2.33

D.5.3 Σχεδιασμός με μερικούς συντελεστές : Bayesian μέθοδος

Σε αυτή την μέθοδο η τιμή σχεδιασμού μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα από τις πληροφορίες των πειραμάτων :

$$R_d = n_d \left\{ m_R - t_{vd} \cdot s_R \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \right\} \quad (\mathbf{D.3})$$

Όπου

m_R είναι η χαρακτηριστική μέση τιμή των δειγμάτων

s_R είναι η τυπική απόκλιση των δειγμάτων

t_{vd} είναι η στοχαστική μεταβλητή της κατανομής Student (**Πίνακας D.3**)

n ο αριθμός των πειραμάτων

n_d είναι η τιμή σχεδιασμού του συντελεστή μετατροπής

Οι τιμές για την t_{vd} δίνονται από τον **Πίνακα D.3** όπου $v = n - 1$, $\beta_R = a_d \cdot \beta$, όπου β είναι η στοχαστική ενδεικτική τιμή του βαθμού αξιοπιστίας και a_d η σχεδιαστική τιμή από την μέθοδο FORM (First Order Reliability Method-Πρωτοβάθμια Μέθοδος Αξιοπιστίας) του συντελεστή επίδρασης. Χωρίς περαιτέρω ενδείξεις η τιμή του a_d θα είναι ίση με 0.80 όταν η αβεβαιότητα της αντίδρασης R υπερσχύει αλλιώς θα είναι $a_d = 0.3$ (**βλ. Παράρτημα E, E.5.1 και E.6.3**).

Η εξίσωση (**D.4**) μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας στην μέθοδο σχεδιασμού των τιμών

Για την χρήση της στη μέθοδο των μερικών συντελεστών, δύο είναι οι πιθανοί τρόποι:

a) Η χαρακτηριστική τιμή της R_k ορίζεται με την εφαρμογή της εξίσωσης

$$(\mathbf{D.4}), \text{ όμως με } \beta_R = 1,64 \text{ και ακλουθεί ο μερικός παράγοντας } \gamma_m = \frac{R_k}{R_d}.$$

b) Η τιμή της γ_m συνήθως χρησιμοποιείται για το είδος του υλικού και του τρόπου αστοχίας, κατά αυτόν τον τρόπο η χαρακτηριστική τιμή της R_k ορίζεται ως $R_k = \gamma_m R_d$, να σημειώσουμε πως σε αυτήν την περίπτωση η R_k μπορεί να έχει μια πιθανότητα να υπερβεί την οριακή κατάσταση διαφορετική από 0,95.

Και στις δύο περιπτώσεις η ίδια τιμή σχεδιασμού χρησιμοποιείται στην επαλήθευση.

Η εξίσωση (**D.4**) βασίζεται σε κανονική κατανομή για την R και σε μία μη-πληροφοριακή prior κατανομή για την τυπική απόκλιση και την μέση τιμή. Εάν η τυπική απόκλιση είναι γνωστή, μια από αυτές μπορεί να αντικαταστήσει την τυπική απόκλιση των δειγμάτων με την τυπική απόκλιση της κατανομής και να θέσουμε $v = \infty$. Για την επεξεργασία άλλων

μορφών prior πληροφοριών , η μέθοδος που δίνεται στην παράγραφο **D.5.4** μπορεί να χρησιμοποιηθεί .

Σημείωση 1 : Στην παράγραφο D.5.2 η επιλογή της κατανομής εφαρμόζεται και για την προσέγγιση .Η Bayesian μέθοδος είναι πολύ ευαίσθητη στην παρατηρούμενη τυπική απόκλιση σ_r , όταν αυτή δεν είναι γνωστή .Θα ήταν σκόπιμο να εκτιμήσουμε ακραίες μεγάλες και μικρές τιμές της παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης για να αποφύγουμε επικίνδυνα αποτελέσματα ή οικονομικές απώλειες .

Ένας πιθανός τρόπος να το πετύχουμε αυτό είναι μέσω μια μη-πληροφοριακής prior κατανομής για την τυπική απόκλιση , παρόλο που υπάρχει έλλειψη συγκεκριμένων πληροφοριών .Όσο πιο γρήγορα εξετάζει ένας μηχανικός κάποια εφικτή τεχνική λύση επαρκή ώστε να την συμπεριλάβει στα πειράματα θα μπορεί να την χρησιμοποιεί ως επιχείρημα .Περαιτέρω πληροφορίες σε αυτήν την διαδικασία δίνονται στην παράγραφο D.5.4 .

Πίνακας D.3 –Τιμές του t_v

Βαθμοί ελευθερίας ν										
β_R	$\Phi(-\beta_R)$	1	2	3	5	7	10	20	30	∞
1.28	0.10	3.08	1.89	1.64	1.48	1.42	1.37	1.33	1.31	1.28
1.64	0.05	6.31	2.92	2.35	2.02	1.89	1.81	1.72	1.70	1.64
2.33	0.01	31.8	6.97	4.54	3.37	3.00	2.76	2.53	2.46	2.33
2.58	0.005	63.7	9.93	5.84	4.03	3.50	3.17	2.84	2.75	2.58
3.08	0.001	31.8	22.33	10.21	5.89	4.78	4.14	3.55	3.38	3.09
Εάν η σ_r είναι γνωστή , θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί $\nu = \infty$										

Εφαρμογή 1

Ως παράδειγμα λοιπόν , ενός δείγματος με $n=3$, μέση τιμή των δειγμάτων $m=100kN$ και τυπική απόκλιση s_r ίση με $s_r=15kN$.Το 5% των χαρακτηριστικών τιμών δίνεται (για $\nu=2$):

$$R_d = \left\{ m_R - t_{vd} s_R \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \right\} = 100 - 2.92 \cdot 15 \sqrt{1 + \frac{1}{3}} = 100 - 3.37 \cdot 15 = 49.5kN$$

Να σημειώσουμε εδώ πως η κλασική μέθοδος $R_k = m_R - k_S \cdot s_r$ θα έδινε αποτέλεσμα $R_k = 100 - 3 \cdot 15 \cdot 15 = 52.8kN$. Ο συντελεστής $k_S = 3.15$ υπολογίζεται από τον πίνακα D.1.Συμπέρασμα πως το αποτέλεσμα είναι σχεδόν το ίδιο .

D.5.4 Επαλήθευση με την χρήση πιθανοτήτων

Σε μια πλήρως πιθανοκρατική διαχείριση , το πρώτο βήμα είναι η εκτίμηση της συνάρτησης μη-πληροφοριακής προγενέστερης (prior) κατανομής για τις άγνωστες παραμέτρους της κατανομής της αντίδρασης R . Αυτή η κατανομή θα πρέπει αντικατοπτρίζει όλες τις προγενέστερες διαθέσιμες πληροφορίες αυτών των παραμέτρων .Έχοντας λοιπόν την προγενέστερη κατανομή και τις στατιστικές πληροφορίες των πειραμάτων , μια μεταγενέστερη (posterior) κατανομή μπορεί να διεξαχθεί από :

$$f''(\underline{q}) = CL(\text{data}|\underline{q})f'(\underline{q}) \quad (\text{D.5})$$

Όπου

$f''(\underline{q})$ είναι η μεταγενέστερη (posterior) κατανομή του \underline{q}

$f'(\underline{q})$ είναι η προγενέστερη (prior) κατανομή του \underline{q}

$L(\text{data}|\underline{q})$ η συνάρτηση πιθανοφάνειας

\underline{q} το διάνυσμα της κατανομής των παραμέτρων (π.χ μέση τιμή και τυπική απόκλιση)

C σταθερά κανονικοποίησης

Τότε , η αναθεωρημένη κατανομή για την R , δοσμένου των προγενέστερων (prior) πληροφοριών και των πειραματικών πληροφοριών , δίνεται από την σχέση :

$$f''_R(R) = \int f(R|\underline{q})f''(\underline{q})d\underline{q} \quad (\text{D.6})$$

Όπου

$f(R|\underline{q})$ είναι η κατανομή της R για τις δοσμένες τιμές του διανύσματος \underline{q}

$f''_R(R)$ είναι η αναθεωρημένη κατανομή της R

Αυτή η κατανομή για την R μπορεί να χρησιμοποιείται κατευθείαν σε ένα πιθανολογικό σχεδιασμό .Είναι επίσης δυνατόν να παράγει τιμές σχεδιασμού βασισμένη στην εξίσωση (D.6).

Θα μελετήσουμε και την περίπτωση όπου η R έχει κανονική κατανομή .Το διάνυσμα των παραμέτρων περιλαμβάνει την μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ . Η προγενέστερη (prior) κατανομή δίνεται από την σχέση :

$$f'(\mu, \sigma) = K \sigma^{-(v'+\delta(n')+1)} \exp \left\{ \frac{-1}{2\sigma^2} \left[v'(s)^2 + n'(\mu - m')^2 \right] \right\} \quad (\text{D.7})$$

Όπου

$\delta(n')=0$ για $n'=0$ και

$\delta(n')=1$ για $n'>0$

Αυτή η ειδική περίπτωση είναι μια επιπλέον αναλυτική εξέταση των (D.5) και (D.6). Η προγενέστερη (prior) κατανομή της (D.7) περιέχει τέσσερις παραμέτρους τις m', n', s', v' οι οποίες εξηγούνται παρακάτω .

Οι παράμετροι s' και v' χαρακτηρίζουν τις προγενέστερες πληροφορίες (prior) που αφορούν την τυπική απόκλιση .

Η προσδοκία και ο συντελεστής μεταβλητότητας της τυπικής απόκλισης σ που αναμένονται (για μεγάλες τιμές του v') μπορούν να εκφραστούν ως εξής :

$$E(\sigma) = s' \quad (\text{D.8})$$

$$v(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2v'}} \quad (\text{D.9})$$

Οι προγενέστερες πληροφορίες που αφορούν την μέση τιμή χαρακτηρίζονται από τις παραμέτρους m', n', s' . Η προσδοκία και ο συντελεστής μεταβλητότητας της μέσης τιμής μ (για πάρα πολύ μεγάλες τιμές του v') μπορούν να εκφραστούν από τις εξής σχέσεις :

$$E(\mu) = m' \quad (\text{D.10})$$

$$v(\mu) = \frac{s'}{m' \sqrt{n'}}$$

(D.11)

Είναι επίσης δυνατόν να ερμηνεύσουμε τις προγενέστερες (prior) πληροφορίες ως το αποτέλεσμα των υποθετικών προγενέστερων πειραματικών συνόλων που αφορούν την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση . Σε αυτή την περίπτωση για την τυπική απόκλιση έχουμε :

s' είναι η υποθετική τιμή των δειγμάτων

v' είναι η υποθετική τιμή του βαθμού ελευθερίας του s'

Οι πληροφορίες για την μέση τιμή απαιτούν δύο επιπλέον παραμέτρους :

m' είναι η υποθετική τιμή της μέσης τιμής των δειγμάτων

n' είναι η υποθετική τιμή του αριθμού των παρατηρήσεων της m'

Με άλλα λόγια m' και s' αντιπροσωπεύουν τις καλύτερες εκτιμήσεις για την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση . Μέσω των παραμέτρων n' και v' μπορεί να εκφραστεί η αβεβαιότητα σύμφωνα με τις εκτιμήσεις . Επίσης να σημειωθεί πως για ένα πείραμα έχουμε συνήθως βαθμό ελευθερίας $v = n - 1$, αλλά οι προγενέστερες παράμετροι n' και v' μπορούν να επιλέγονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο .

Σημείωση 1 : Εάν υπάρχουν λίγες πληροφορίες οι παράμετροι n' και v' θα επιλέγονται ίσες με μηδέν . Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα θα είναι ίδια με αυτά της παραγράφου D.5.3 . Εάν προηγούμενη εμπειρία οδηγήσει σε μια σχεδόν αιτιοκρατική γνώση για την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση οι παράμετροι n' και v' θα πρέπει να λαμβάνουν σχετικά μεγαλύτερες τιμές , για παράδειγμα 50 , και ανάλογα στις τιμές των $v(\mu)$, $v(\sigma)$ έχουμε $v(\mu) = 0.14 \frac{s'}{m'}$

και $v(\sigma) = 0.10$.

Σημείωση 2 : Σε πολλές περιπτώσεις φαίνεται λογικό να υποθέσουμε πως υπάρχουν λίγες ή καθόλου προγενέστερες (prior) πληροφορίες , για την μέση τιμή (έτσι ώστε $n' = 0$), όμως είναι δυνατόν να έχουμε μια καλή εκτίμηση της τυπικής απόκλισης σ' . Για παράδειγμα ο συντελεστής μεταβλητότητας του σ είναι 30% που σύμφωνα με την εξίσωση (D.9) αντιστοιχεί σε $v' = s$.

Τέτοιο μοντέλο μπορεί να βασίζεται σε αποτελέσματα πολλών προηγούμενων πειραμάτων , που θα αποδεικνύουν σημαντική μεταβλητότητα στην μέση τιμή όμως ασήμαντη στην τυπική απόκλιση . Για τσιμεντένια τούβλα αυτή η υπόθεση είναι κοντά στην πραγματικότητα. Με την επιλογή αυτής της υπόθεσης αποφεύγονται οικονομικές επιπτώσεις ή επικίνδυνα αποτελέσματα όπου μικρός αριθμός δειγμάτων μπορεί να οδηγήσει . Με την χρήση της εξισώσεως (D.5) μπορούν να συνδυαστούν οι προγενέστερες (prior) πληροφορίες της εξίσωσης (D.7) και ένα πειραματικό αποτέλεσμα n παρατηρήσεων με την μέση τιμή των δειγμάτων m και την τυπική απόκλιση s . Το αποτέλεσμα είναι μια μεταγενέστερη (posterior) κατανομή για την άγνωστη μέση τιμή και τυπική απόκλιση της R η οποία δίνεται από την σχέση (D.7), με παραμέτρους που υπολογίζονται από του κανόνες αναθεώρησης .

$$n'' = n' + n \quad (\text{D.12})$$

$$v'' = v' + v + \delta(n') \quad (\text{D.13})$$

$$m'' \cdot n'' = n' \cdot m' + nm \quad (\text{D.14})$$

$$\left[v''(s'')^2 + n''(m'')^2 \right] = \left[v'(s')^2 + n'(m')^2 \right] + \left[vs^2 + nm^2 \right] \quad (\text{D.15})$$

Όπου $v = n - 1$ και $\delta(n') = 0$ για $n' = 0$ αλλιώς $\delta(n') = 1$

Χρησιμοποιώντας της εξίσωση (D.5) η προβλεπόμενη τιμή της R μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση :

$$R = m'' - t_v \cdot s'' \sqrt{1 + \frac{1}{n''}} \quad (\text{D.16})$$

Εδώ η στοχαστική μεταβλητή έχει μια κεντρική t-κατανομή οι τιμές της t_v για δοσμένη πιθανότητα υπέρβασης των οριακών συνθηκών δίνονται στον **Πίνακα D.3** . Η τροποποίηση σε Λογαριθμική κανονική κατανομή της R γίνεται ευθέως (**βλ. D.6**).

Εφαρμογή 2

Πάνω στην Εφαρμογή 1 , όμως προηγούμενα πειράματα έχουν δείξει ότι :

- Η μέση τιμή των δειγμάτων είναι ίση με 110 kN , με μεγάλη όμως διασπορά

- Η τυπική απόκλιση των δειγμάτων είναι ίση με 20 kN με έναν συντελεστή μεταβλητότητας $V = 30\%$

Σύμφωνα λοιπόν με τις εξισώσεις (**D.8**) και (**D.11**) οι προγενέστερες πληροφορίες οδηγούν στις παρακάτω παραμέτρους της κατανομής

$$m' = 110kN, n' = 0, s' = 20kN, v' = \frac{1}{2V^2} = \frac{1}{2 \cdot 0.3^2} = 5$$

Τώρα συνδυάζουμε τις προγενέστερες πληροφορίες με τα ίδια πειραματικά αποτελέσματα στην Εφαρμογή 1 (τρεις δειγματοληψίες με μέση τιμή δειγμάτων $m = 100kN$ και τυπική απόκλιση των δειγμάτων $s = 15kN$). Τότε οι εξισώσεις (**D.12**) έως (**D.15**) δίνουν τις παρακάτω παραμέτρους για την μεταγενέστερη κατανομή :

- $n'' = 0 + 3 = 3$
- $v'' = 5 + 2 = 7$
- $7(s'')^2 + 3 \cdot 100^2 = 5 \cdot 20^2 + 0 \cdot 100^2$
 $s'' = 18,7kN$

Χρησιμοποιώντας τώρα την εξίσωση (**D.16**) και τον Πίνακα **D.3** για τον εύρεση της στοχαστικής μεταβλητής $t_v = 1.89$, το αποτέλεσμα της χαρακτηριστικής τιμής R_k για επίπεδο εμπιστοσύνης 5% είναι :

$$R_k = 100 - 1.89 \cdot 18.7 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{3}} = 100 - 2.17 \cdot 18.7 = 59.3kN$$

Η αλλαγή στην χαρακτηριστική τιμή από 49,5 kN σε 59,3 kN είναι εξαιτίας της επίδρασης των προγενέστερων (prior) πληροφοριών . Για σχεδιαστικές τιμές οι διαφορές μπορεί να είναι μεγαλύτερες .

D.6 Επαλήθευση βασισμένη σε ένα μοντέλο ανάλυσης

Να υποθέσουμε πως ένα μοντέλο ανάλυσης για την μελέτη των κατασκευαστικών ιδιοτήτων είναι διαθέσιμο. Το μοντέλο αυτό θα είναι πλήρες εκτός από έναν άγνωστο συντελεστή θ , ο οποίος θα καθορίζεται από τα πειράματα . Αυτό το μοντέλο περιγράφεται από την εξής σχέση :

$$Y = \theta \cdot g(\underline{X}, \underline{W}) \quad (\text{D.17})$$

Όπου

\underline{X} είναι το διάνυσμα των τυχαίων μεταβλητών

\underline{W} είναι το σύνολο το προσδιορισμένων μεταβλητών

$g(\)$ είναι το μοντέλο

Y είναι η μετρήσιμη παράμετρος εξόδου του μοντέλου

θ είναι ο άγνωστος συντελεστής που καθορίζεται από τα πειράματα

Η παράμετρος θ αναφέρεται επίσης και στις αβεβαιότητες του μοντέλου. Σε περίπτωση απουσίας άλλων πληροφοριών θα υποθέτουμε πως η παράμετρος θ έχει μια Λογαριθμική κανονική κατανομή που σημαίνει $\theta' = \ln \theta$.

Ας υποθέσουμε πως διεξάγεται μια σειρά πειραμάτων $i=1, \dots, n$ όπου :

- Οι τιμές των W γίνονται w
- Οι τιμές των X μετρούνται σε x
- Οι τιμές των Y μετρούνται σε y

Από αυτά τα αποτελέσματα ένα μπορεί να παράγει ένα σύνολο παρατηρήσεων για τον άγνωστο συντελεστή θ :

$$\theta_i = \frac{y_i}{g(x_i, w_i)} \quad (\text{D.18})$$

Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την $\theta' = \ln \theta$ υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$m(\theta') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta'_i \quad (\text{D.19})$$

$$s(\theta')^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \{\theta'_i - m(\theta')\}^2 \quad (\text{D.20})$$

Όπου θ'_i δίνεται από την σχέση :

$$\theta'_i = \ln \left(\frac{y_i}{g(x_i, w_i)} \right) \quad (\text{D.21})$$

Η τιμή του σχεδιασμού θ_d , συμπεριλαμβάνοντας τις στατιστικές αβεβαιότητες δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\theta_d = \exp\{m(\theta')\} \exp \left\{ \pm t_{vd} s(\theta') \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \right\} \quad (\text{D.22})$$

Ο συντελεστής $\exp\{m(\theta')\}$ αναφέρεται συνήθως ως συντελεστής μεροληψίας, εάν $m(\theta') = 0$, τότε $\exp\{m(\theta')\} = 1$, τότε το μοντέλο αποκαλείται αμερόληπτο.

Οι τιμές των t_{vd} δίνονται από τον **Πίνακα D.3** όπου $v = n - 1$, $\beta_R = a_d \cdot \beta$, όπου β η αντικειμενική ένδειξη της αξιοπιστίας και a_d η σχεδιαστική τιμή για FORM συντελεστή επίδρασης. Όταν υπάρχει έλλειψη πληροφοριών, το a_d θα λαμβάνεται ίσο με 0.8 όταν η επίδραση της R είναι σημαντική, αλλιώς $a_d = 0.3$ (βλ. **Παράρτημα E**).

Η αντίδραση σχεδιασμού R_d των κατασκευαστικών στοιχείων από τα πειράματα μπορεί να υπολογιστεί με την εξής σχέση :

$$R_d = \frac{1}{\gamma_d} n_d \cdot g(x_d, w) \quad (\text{D.23})$$

Εδώ το γ_d είναι ίσο με $\gamma_d = 1/\theta_d$ και n_d είναι η σχεδιαστική τιμή για την αβεβαιότητα του μοντέλου .

Κεφάλαιο Ε-Προδιαγραφές στον σχεδιασμό της αξιοπιστίας

E.1 Εισαγωγή

Το αντικείμενο του Παραρτήματος Ε είναι :

- Να δώσει γενικές πληροφορίες για το συγκεκριμένο Διεθνές Πρότυπο
- Να συμπληρώσει τον όρο θ με λεπτομερειακή περιγραφή για τις προδιαγραφές και τις μεθόδους
- Να κάνει υποδείξεις στην εφαρμογή της μεθόδου με πιθανότητες .

Η μέθοδος με τις πιθανότητες αρχικά μπορεί να έχει εφαρμογή σε όλα τα προβλήματα επαλήθευσης , τα οποία περιγράφονται με την βοήθεια μαθηματικών σχέσεων όταν το σύνολο των τυχαίων γεγονότων μπορεί να αναγνωριστεί. Η χρήση των μαθηματικών σχέσεων μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές ομάδες , για την διαβάθμιση της ασφάλειας των κατασκευαστικών στοιχείων (π.χ μερικοί συντελεστές) , και για την άμεση εφαρμογή για σχεδιαστικούς σκοπούς .Η δεύτερη περίπτωση απασχολεί γενικά σχεδιασμούς για προχωρημένα προβλήματα τέτοιου χαρακτήρα προβλημάτων που καθιστούν την κοινή μέθοδο επαλήθευσης λιγότερο κατάλληλη . Ο σχεδιασμός με την βοήθεια των πειραμάτων και των εκτιμήσεων της υπάρχουσας κατασκευής είναι δύο ειδών προβλήματα που συνήθως υπακούουν σε μεθόδους με πιθανότητες .

Αυτό το Παράρτημα χρησιμοποιείται κυρίως από :

- Εκείνους που έχουν το καθήκον της δημιουργίας εθνικών και διεθνών κανονισμών για της προδιαγραφές
- Τους μελετητές που επιθυμούν πληροφορίες για τον σχεδιασμό της αξιοπιστίας
- Τους ερευνητές του τομέα σχεδιασμού της αξιοπιστίας

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει κάποιες περιπτώσεις σχεδιασμού βασισμένες σε πιθανότητες .

Οι παράγραφοι **E.4** και **E.7** εφαρμόζονται κυρίως σε απόλυτες οριακές καταστάσεις , όμως σε πολλές περιπτώσεις μπορούν να εφαρμόζονται και σε μή-αντιστρέψιμες λειτουργικές οριακές καταστάσεις .

Γενικά δεν εφαρμόζονται σε προβλήματα που εμπλέκονται αντιστρέψιμες οριακές λειτουργικές καταστάσεις .

E.2 Αβεβαιότητα μοντέλων

Αυτή η παράγραφος ασχολείται με τις αβεβαιότητες των κυρίων μεταβλητών όπως είναι οι δράσεις , ιδιότητες των υλικών και γεωμετρικές πληροφορίες . Υποθέτουμε πως οι κύριες μεταβλητές περιλαμβάνουν επίσης τυχαίες μεταβλητές θ οι οποίες αντιπροσωπεύουν την λειτουργία των αβεβαιοτήτων (βλ παράγραφο 7.3) σε συνεργασία με την ανάλυση των μοντέλων .

E.2.1 Προέλευση των αβεβαιοτήτων

Σύμφωνα με την παράγραφο 6.1 τρεις κατηγορίες αβεβαιοτήτων αναγνωρίζονται :

- Εγγενής τυχαία μεταβλητότητα ή αβεβαιότητα
- Αβεβαιότητα λόγω ανεπαρκούς γνώσης
- Στατιστικές αβεβαιότητες

Οι τρεις αυτές κατηγορίες υποδιαιρούνται σε :

- a) **Οι εγγενείς τυχαίες μεταβλητότητες ή αβεβαιότητες** διαιρούνται σε αυτές τις αβεβαιότητες οι οποίες μπορεί να επηρεάζονται ή και όχι από τις ανθρώπινες ενέργειες . Πολλά είδη παραμέτρων της δράσης (π.χ φορτίο από χιόνι στο έδαφος , ταχύτητα ανέμου και σεισμοί) ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία .Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει για παράδειγμα , τις αβεβαιότητες τις τιμές αντοχής του χάλυβα ή του τσιμέντου , ή τις διαστάσεις μιας χαλύβδινης δοκού . Αυτές οι αβεβαιότητες μπορούν να μειωθούν με την χρήση προχωρημένης παραγωγής και μεθόδους ποιοτικού ελέγχου που σημαίνει αύξηση των δαπανών . Συνεπώς εντός ορισμένων ορίων , το επίπεδο αβεβαιότητας μπορεί να εκλεγεί σύμφωνα με τις οικονομικές επιπτώσεις . Συνεπώς η διάκριση μεταξύ των δύο κατηγοριών μπορεί να είναι απαραίτητη όταν μελετάμε την οικονομική βελτιστοποίηση .
- b) **Η αβεβαιότητα λόγω ανεπαρκούς γνώσης** μπορεί να επίσης να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες . Η μία κατηγορία περιλαμβάνει για παράδειγμα , τις αβεβαιότητες του μοντέλου της επίδρασης των

ενεργειών ή του μοντέλου αντίδρασης , για τα οποία μπορούμε να αποκτήσουμε σημαντική γνώση με την έρευνα σε παρόμοιες περιπτώσεις . Επίσης σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι αβεβαιότητες που προέρχονται από τις μετρήσεις . Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν για παράδειγμα , οι αβεβαιότητες που εξαρτώνται από την μελλοντική ανάπτυξη . Ένα παράδειγμα αποτελεί η μελλοντική ανάπτυξη των φορτίων που επιβάλλονται από την κίνηση των τροχοφόρων σε οδικές γέφυρες . Η πιθανότητα να μειωθούν αυτές οι αβεβαιότητες με την έρευνα πάνω σε παρόμοιες εφαρμογές είναι πολυ περιορισμένη .

- c) **Οι στατιστικές αβεβαιότητες** συνδέονται με την στατιστική επαλήθευση των αποτελεσμάτων από τα πειράματα ή τις παρατηρήσεις . Μπορούν να προκύπτουν από :
- Έλλειψη αναγνώρισης και διαχώρισης διαφορετικών στατιστικών πληθυσμών
 - Έναν περιορισμένο αριθμό πειραματικών αποτελεσμάτων , οι οποίες προκαλούν αβεβαιότητες στην εκτίμηση των στατιστικών παραμέτρων (μέση τιμή και τυπική απόκλιση)
 - Ακραίες προεκτάσεις των στατιστικών πληροφοριών
 - Παραμέληση πιθανών συσχετίσεων
 - Την χρήση στατιστικών κατανομών για την περιγραφή αβεβαιοτήτων οι οποίες είναι εν μέρει τμήμα ή όχι ενός στατιστικού χαρακτήρα (σύγκριση με **E.2.2**)

Οι στατιστικές αβεβαιότητες μπορούν συνήθως να μειωθούν με την αύξηση του αριθμού των πειραμάτων και των παρατηρήσεων.

E.2.2 Διάφοροι τρόποι για την απόκτηση βασικών πληροφοριών

Η απόκτηση των αριθμητικών τιμών οι οποίες χαρακτηρίζουν το μοντέλο και τις αβεβαιότητες μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους με :

- a) Παρατηρήσεις και μετρήσεις
- b) Ανάλυση
- c) Αποφάσεις
- d) Κρίση

Συνήθως γίνεται ένας συνδυασμός των παραπάνω

Μερικά απλά παραδείγματα είναι :

- Η αντοχή σε εφελκυσμό στο μπετόν συνήθως καθορίζεται από τις μετρήσεις (από την θλιπτική αντοχή) και ανάλυση (μέσω μιας συνάρτησης μετατροπής).
- Το μέγιστο φορτίο ανύψωσης στους γεραμούς καθορίζεται μέσω απόφασης . Επιπρόσθετη δυναμική φόρτιση καθορίζεται με άλλους τρόπους .
- Τα φορτία που δημιουργούνται λόγω της κίνηση των τροχοφόρων σε μια οδική γέφυρα συνήθως καθορίζονται μέσω παρατηρήσεων σε συνδυασμό με την γνώση για την μελλοντική τους ανάπτυξη . Η απόφαση μπορεί να κριθεί απαραίτητη .

Οι κύριες μεταβλητές που περιγράφουν τις αβεβαιότητες θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από παραμέτρους όπως είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση , σε συσχέτιση με άλλες μεταβλητές και επίσης με τις κατανομές πιθανότητας .

Εάν οι αριθμητικές τιμές αυτών των παραμέτρων έχουν καθοριστεί σύμφωνα με τους παραπάνω τρόπους α) και β) , η διαδικασία περιλαμβάνει συνήθως ανάλυση των στατιστικών πληροφοριών και τα αποτελέσματα πρέπει να παρουσιάζονται σε στατιστικές περιόδους . Εάν οι τιμές των κύριων μεταβλητών αποφασίζονται κατεξοχήν από απόφαση μέσω μιας κρίσης , τα αποτελέσματα δεν μπορούν να παρουσιάζονται σε στατιστικές περιόδους .

Όμως , γίνεται η υπόθεση (βλ.8.1) πως τις κύριες μεταβλητές μπορούμε να τις επεξεργαστούμε με στατιστικές μεθόδους , οι στατιστικές παράμετροι (μέση τιμή , τυπική απόκλιση κ.α.) θα πρέπει να αναφέρονται στις κύριες μεταβλητές , για τις οποίες ο καθορισμός των τιμών δεν δίνει στατιστικές πληροφορίες .

Αυτό πρέπει να επιτυγχάνεται με ένα αρκετά υποκειμενικό τρόπο , που μπορεί να περιλαμβάνει και την επιλογή των καθοριστικών τιμών .Συνεπώς μια πιθανή υπερφόρτιση μεγαλύτερη από το επιτρεπόμενο φορτίο στο έδαφος θα μπορεί να μελετηθεί λαμβάνοντας το επιτρεπόμενο φορτίο ως μέση τιμή και κάποια αναμενόμενη υπερφόρτιση ως μια τυπική απόκλιση .

Οι αβεβαιότητες οι οποίες οφείλονται σε μεγάλα σφάλματα στις μετρήσεις ,π.χ επίδραση της κλίμακας κ.α., θα πρέπει να εξαλείφονται όσο αυτό είναι δυνατόν μέσω μετρήσεων που θα εξασφαλίζουν την ποιότητα (**Παράρτημα Α**). Εάν αυτό πραγματοποιηθεί , παραμένουν δύο κύρια είδη αβεβαιοτήτων οι αβεβαιότητες του μοντέλου και οι στατιστικές αβεβαιότητες .Εάν είναι εφικτό , οι δύο αυτές αβεβαιότητες θα πρέπει να διαχωρίζονται μέσω στατιστικών μεθόδων (βλ. **Παράρτημα D**).

E.2.3 Επιλογή της συνάρτησης κατανομής

Μόνο σε μερικές περιπτώσεις , είναι διαθέσιμη η ποσότητα των πληροφοριών , έτσι ώστε να μπορούμε να αποφασίσουμε με σαφήνεια ποιά συνάρτηση κατανομής θα χρησιμοποιήσουμε. Στις περισσότερες περιπτώσεις πρέπει να επιλέγεται μια κατανομή που έχει κοινές ιδιότητες με τη συγκεκριμένη κύρια μεταβλητή που μελετάται .Οι παρακάτω προτάσεις χρησιμοποιούνται στις περισσότερες εφαρμογές .

- Για μόνιμες δράσεις και για αυθαίρετες τιμές του χρόνου για τυχαίες μεταβλητές , η κατανομή του Gauss μπορεί να είναι κατάλληλη εάν η μη-μηδενική πιθανότητα των αρνητικών τιμών δεν μας απασχολεί.Μια Λογαριθμική κανονική κατανομή , η κατανομή Weibull , η συνάρτηση Γάμμα κατανομή ή μια κατανομή ακραίων τιμών μπορούν επίσης να κριθούν κατάλληλες ειδικά όταν η κατανομή έχει σκοπό να αντιπροσωπεύει μια μέγιστη τιμή μέσα σε μια περίοδο αναφοράς χρόνου.
- Για ιδιότητες των υλικών και διαστάσεις η κατανομή του Gauss και η Λογαριθμική κανονική κατανομή είναι κατάλληλες . Η Λογαριθμική κανονική κατανομή προτιμάται όταν μας απασχολεί η μη-μηδενική πιθανότητα των αρνητικών τιμών σε συνδυασμό με την κατανομή του Gauss.

Η επιλογή της συνάρτησης κατανομής θα πρέπει να γίνει προσεκτικά . Πιθανές αποκλίσεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη . Εάν η υπάρχουσα κατανομή έχει έναν πολλαπλό χαρακτήρα , η επιλογή μιας κατανομής μπορεί να προκαλέσει σημαντικά σφάλματα .

E.3 Κριτήριο αστοχίας

E.3.1 Απόλυτη οριακή κατάσταση

Υποθέτουμε πως το κριτήριο αστοχίας της κατασκευής διέπεται από μια εξίσωση $g(\underline{X})$ όπου \underline{X} οι κύριες μεταβλητές έτσι ώστε :

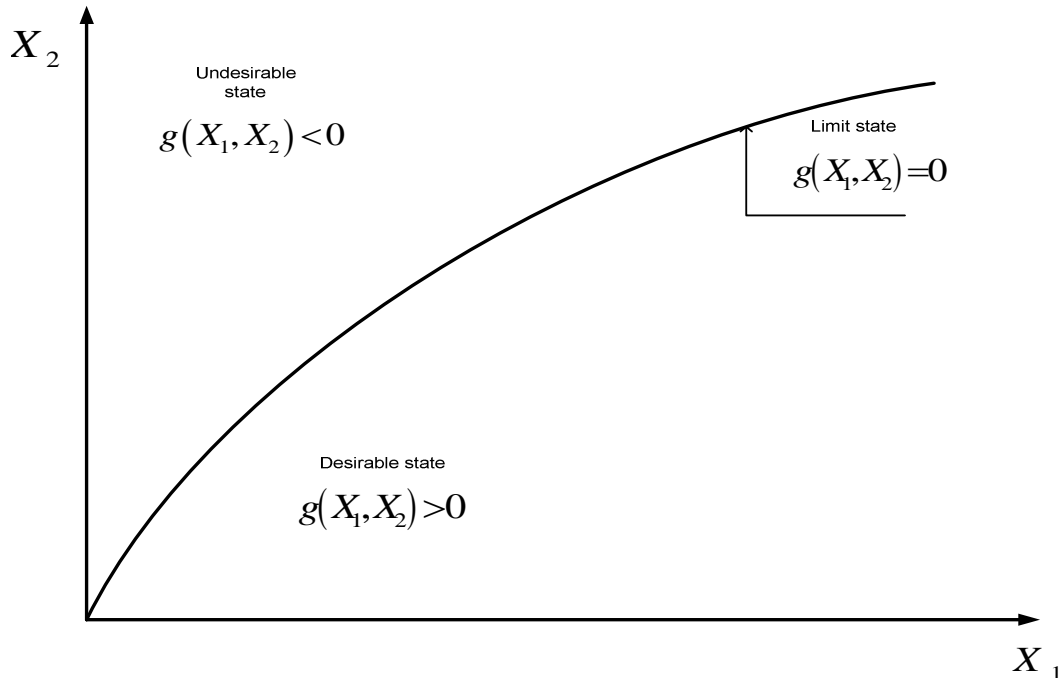
$g(\underline{X}) > 0$ είναι η επιθυμητή κατάσταση (ασφαλής περιοχή)

$g(\underline{X}) = 0$ είναι η οριακή κατάσταση

$g(\underline{X}) < 0$ είναι η ανεπιθύμητη κατάσταση (επικίνδυνη περιοχή)

Η απόλυτη οριακή κατάσταση απεικονίζεται στην **Εικόνα Ε.1** με την περίπτωση ύπαρξης δύο κύριων μεταβλητών X_1 και X_2 όπου $\underline{X} = (X_1, X_2)$

Εικόνα Ε.1-Απεικόνιση της συνάρτησης $g(\underline{X})$



Οι κύριες μεταβλητές \underline{X} μπορεί να είναι ανεξάρτητες . Για παράδειγμα , ακραίες τιμές φορτίων από το περιβάλλον μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με τον χρόνο. Οι κατασκευαστικές ιδιότητες επιδεινώνονται σε σχέση με την διάβρωση ή με την εμφάνιση άλλων φαινομένων. Η αντίσταση μπορεί να μειωθεί σε σχέση με το χρόνο εξαιτίας της κόπωσης . Σε γενικές περιπτώσεις , κάποιες μεταβλητές του \underline{X} μπορεί να αντιπροσωπεύονται από στοχαστικές μεταβλητές . Πιο συγκεκριμένα η χρονική μεταβολή του \underline{X} δηλώνει πως μέγιστες και ελάχιστες τιμές του \underline{X} δεν εμφανίζονται την ίδια χρονική στιγμή. Η ίδια χρονική εξάρτηση υποδηλώνει πως η πιθανότητα της αστοχίας συνδέεται με μια επιλεγμένη χρονική στιγμή αναφοράς t_0 .

Η αξιοπιστία (πιθανότητα επιβίωσης ή μη αστοχίας) της κατασκευής ορίζεται ως εξής :

$$P_s = 1 - P_f \tag{E.1}$$

Εάν η αξιοπιστία ενός κατασκευαστικού στοιχείου , η μιας διατομής ενός στοιχείου , μελετάται σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο μηχανισμό αστοχίας και έναν συγκεκριμένο συνδυασμό φορτίων , η συνάρτηση $g(\underline{X})$ μπορεί συχνά να περιγραφεί από μια μόνο έκφραση η οποία παράγεται από την

μηχανική συμπεριφορά. Τότε η ανάλυση περιγράφεται ως **ανάλυση στοιχείου**

Εάν υπάρχουν περισσότεροι μηχανισμοί αστοχίας για ένα στοιχείο ή μελετώνται περισσότερα από ένα στοιχεία ταυτόχρονα, τότε η συνάρτηση $g(\underline{X})$ απαρτίζεται από διάφορες συναρτήσεις $g_1(\underline{X}), g_2(\underline{X}), \dots$. Η περίπτωση αυτή απεικονίζεται στην **Εικόνα E.2** με ένα παράδειγμα δύο συναρτήσεων $g_1(\underline{X}_1, \underline{X}_2)$ και $g_2(\underline{X}_1, \underline{X}_2)$ για δύο κύριες μεταβλητές \underline{X}_1 και \underline{X}_2 .

Η **Εικόνα E.2** δείχνει δύο ακραίες περιπτώσεις.

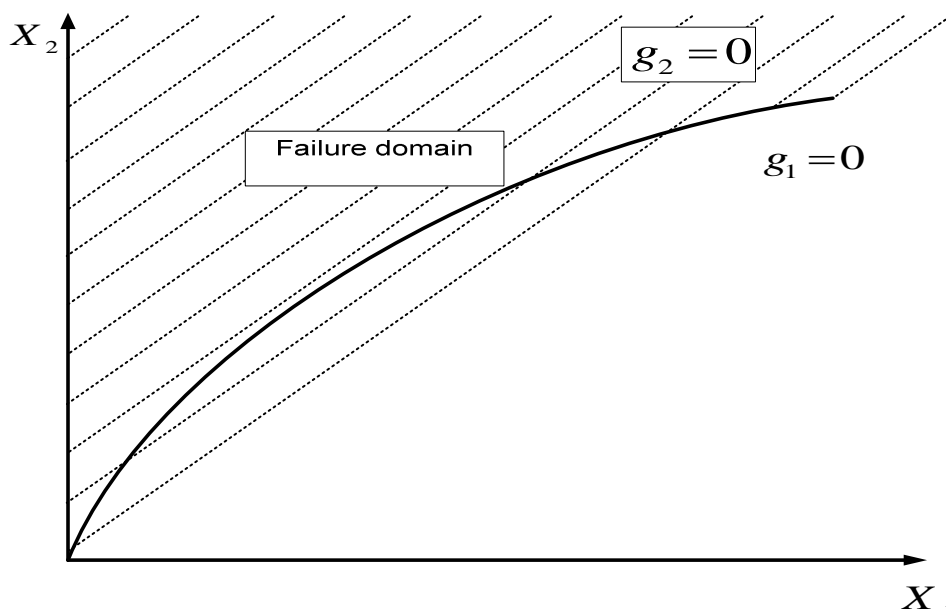
Στην περίπτωση της **Εικόνα E.2α**, η επικράτηση της αστοχίας (ανεπιθύμητη περιοχή) καθορίζεται από

$$g_1(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0 \text{ ή } g_2(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0 \quad (\text{E.2})$$

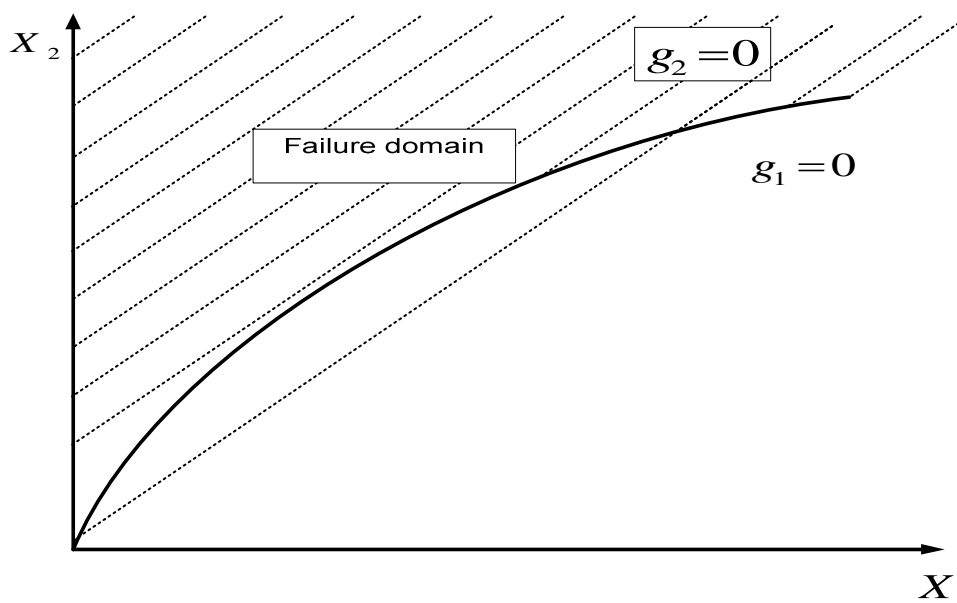
Στην περίπτωση της **Εικόνα E.2β**, η επικράτηση της αστοχίας καθορίζεται από

$$g_1(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0 \text{ και } g_2(\underline{X}_1, \underline{X}_2) < 0$$

Εικόνα E.2- η περιοχή αστοχίας (γραμμοσκιασμένη περιοχή) σε δύο ακραίες περιπτώσεις



E.2α)



E.2b)

Μια ανάλυση που υπολογίζει διάφορες συνθήκες ταυτόχρονα $g_1(\underline{X}) < 0$ ονομάζεται **συστημική ανάλυση**. Ο ορισμός της συνάρτησης του συστήματος $g_1(\underline{X})$ εξαρτάται σημαντικά στα χαρακτηριστικά του συστήματος, π.χ εάν είναι "ο αδύναμος κρίκος του συστήματος" (**Εικόνα E.2a**) ή "ένα πλεοναστικό σύστημα" (**Εικόνα E.2b**) ή σε πολλές περιπτώσεις ο συνδυασμός αυτών των δύο.

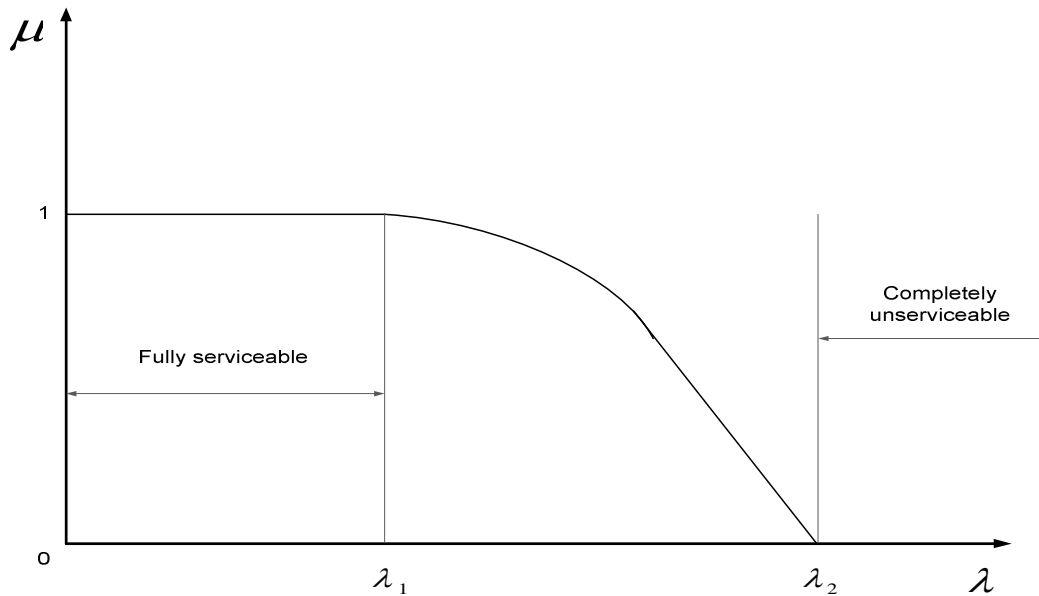
E.3.3 Λειτουργική οριακή κατάσταση

Για κάποιες οριακές συνθήκες της λειτουργικότητας, η μετάβαση της συγκεκριμένης οριακής κατάστασης από την επιθυμητή στην ανεπιθύμητη περιοχή συμβαίνει όταν εμφανίζονται αρκετά έντονες συνθήκες. Αυτό σημαίνει πως η οριακή κατάσταση με την κατάλληλη προσέγγιση, μπορεί να μελετηθεί ως ένα μηχανικό φαινόμενο.

Ωστόσο, για πολλές οριακές καταστάσεις της λειτουργικότητας η μεταφορά από την επιθυμητή περιοχή στην ανεπιθύμητη εμφανίζεται κάτω από πιο διάχυτες συνθήκες. Η μεταφορά αυτή υποδηλώνει μια μεγαλύτερη ή μικρότερη αύξηση του βαθμού της λειτουργικότητας. Συνεπώς, θα πρέπει να ορίζεται αρχικά ένας βαθμός λειτουργικότητας μ (όπου $0 \leq \mu \leq 1$) και να εισάγεται από μία συνάρτηση που αποτελείται από παραμέτρους λειτουργικότητας λ (παραμορφώσεις σε μια δοκό, ή κραδασμούς μεγάλης έντασης στο έδαφος). Η συνάρτηση αυτή απεικονίζεται στην παρακάτω **Εικόνα E.3** όπου υποθέτουμε ότι οι δύο οριακές τιμές του λ αντιπροσωπεύουν τις εξής καταστάσεις: για λ_1 όπου η κατασκευή λειτουργεί πλήρως, και για λ_2 για την οποία η κατασκευή δεν λειτουργεί με επάρκεια.

Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν η έκφραση του βαθμού λειτουργικότητας σε οικονομικές περιόδους .

Εικόνα Ε.3- Ο βαθμός λειτουργικότητας μ συναρτήσει της παραμέτρου λειτουργικότητας λ



E.4 Καθορισμένα επίπεδα αξιοπιστίας

E.4.1 Ανθρώπινη ασφάλεια

Η κατασκευαστική αξιοπιστία είναι σημαντική πρώτον και κυριότερο για την ανθρώπινη ασφάλεια , εάν κινδυνεύουν ανθρώπινες ζωές ή μπορεί να εμφανιστούν πιθανοί τραυματισμοί από μια πιθανή κατάρρευση της κατασκευής . Μια αποδεκτή μέγιστη τιμή για την πιθανότητα αστοχίας μπορεί να βρεθεί σε αυτές τις περιπτώσεις με σύγκριση των αποτελεσμάτων από διάφορες ενέργειες .Λαμβάνοντας υπόψη την συνολική τιμή των ατομικών θανατηφόρων ατυχημάτων 10^{-4} ανά χρόνο ως τιμή αναφοράς , η τιμή 10^{-6} φαίνεται ως μια λογική τιμή για να χρησιμοποιήσουμε. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής εξαρτάται από την υποθετική πιθανότητα θανατηφόρου ατυχήματος , με δοσμένη την αστοχία της κατασκευής:

$$P(f|year)P(d)(10^{-6} year^{-1}) \quad (E.4)$$

Η πιθανότητα $P(d|t)$ είναι η πιθανότητα θανατηφόρου ατυχήματος όταν ένας άνθρωπος βρίσκεται στην κατασκευή καθ'όλη την διάρκεια που αυτή καταρρέει. Εάν στην κατασκευή αυτή βρίσκεται μικρός αριθμός ανθρώπων, ένας επιπλέον παράγοντας μείωσης θα πρέπει να εισάγεται στην εξίσωση (E.4).

Οι προδιαγραφές για την εξίσωση (E.4) παρουσιάζονται ανά χρόνο. Αυτό θα πρέπει να θεωρείται ως ένας μέσος όρος σε κάποια περίοδο αναφοράς. Γενικά είναι επιθυμητό να έχουμε μια μεγαλύτερη τιμή αστοχίας σε κάποια διαστήματα της περιόδου αναφοράς και σε κάποια άλλα μικρότερη τιμή. Η περίοδο αναφοράς δεν πρέπει να είναι απαραίτητα η διάρκεια ζωής της κατασκευής, 10 και 20 χρόνια συνήθως μπορεί να είναι λογική τιμή. Γενικά, θα πρέπει να αναμένονται αποκλίσεις από τον ετήσιο μέσο όρο μόνο για μικρές περιόδους του χρόνου.

Η εξίσωση (E.4) δίνει μια μικρή απαίτηση για την ανθρώπινη ασφάλεια πολλές περιπτώσεις η σαφήνεια των κανονισμών προσπαθεί να αποφύγει ατυχήματα όπου μεγάλος αριθμός ανθρώπινων ζωών μπορεί να κινδυνέψουν, Σε αυτή την περίπτωση πρόσθετες απαιτήσεις δίνονται από την εξής σχέση :

$$P(f|year)(AN^{-a}) \quad (\text{E.5})$$

Όπου N είναι ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων. Οι αριθμοί A και a είναι σταθερές, για παράδειγμα $A=0.01$ ή 0.1 και $a=2$. Τροποποίηση των αριθμητικών τιμών είναι πιθανή σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ εάν υπάρχει ένα έκτακτο σχέδιο επαλήθευσης).

E.4.2 Οικονομική βελτιστοποίηση

Από την οικονομική πλευρά, ο στόχος του επίπεδου αξιοπιστίας θα πρέπει να βασίζεται σε μια ισορροπία μεταξύ των επιπτώσεων της αστοχίας και από τα έξοδα για τις μετρήσεις ασφάλειας. Αντικειμενικός σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση των συνολικών δαπανών, καθ'όλη την διάρκεια ζωής της κατασκευής, τα οποία δίνονται από την παρακάτω σχέση :

$$C_{tot} = C_b + C_m + \sum P_t C_t \quad (\text{E.6})$$

Όπου

C_b είναι το κόστος της κατασκευής

C_m είναι το αναμενόμενο κόστος της συντήρησης και της καταστροφής της κατασκευής

C_t είναι το κόστος της αστοχίας

P_t είναι η πιθανότητα αστοχίας καθ'όλη την διάρκεια ζωής της κατασκευής

Αυτό το άθροισμα είναι ανεξάρτητο από τους τρόπους αστοχίας και τις συνθήκες φόρτισης . Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά απλουστευμένη και μπορεί να χρειαστεί επιπλέον βελτίωση προτού χρησιμοποιηθεί σε πρακτικές εφαρμογές . Σε σχέση με τις οικονομικές μελέτες , οι αρχές μπορεί να χρειαστούν να καθορίσουν ένα ελάχιστο επίπεδο αξιοπιστίας όταν εμπλέκεται ανθρώπινη ασφάλεια . Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με περιορισμούς με την εξίσωση (E.6) ως αντικειμενική συνάρτηση και τις εξισώσεις (E.4) και (E.5) ως περιορισμούς .

Να σημειώσουμε πως μπορεί να μελετώνται εναλλακτικά $\sum P_i C_i$, που θα καλύπτονται με την ασφάλεια.

E.4.3 Παραδείγματα βαθμολόμησης

Γενικά είναι πολύ δύσκολο να εφαρμόσουμε τις παραπάνω αρχές στην πράξη . Το κύριο νόημα είναι πως πρέπει να υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ της θεωρητικής πιθανότητας αστοχίας στην διαδικασία σχεδιασμού με την πραγματική τιμή της συχνότητας αστοχίας.

Για αυτό τον λόγο , τα αντικειμενικά επίπεδα της αξιοπιστίας συνήθως βασίζονται στην διαβάθμιση . Με την χρήση στοχευμένων τιμών αξιοπιστίας , θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πως σχετίζονται με ένα καθορισμένο σύνολο των κατασκευαστικών και πιθανολογικών μοντέλων .

Η χρήση των διαβαθμισμένων τιμών σε συνδυασμό με τα άλλα μοντέλα το αποτέλεσμα τους μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές ή χαμηλές τιμές επιπέδου της αξιοπιστίας .

Οι αριθμητικές τιμές της αξιοπιστίας συνήθως περιγράφονται από την ενδεικτική τιμή του βαθμού αξιοπιστίας β με την σχέση $\beta = -\Phi^{-1}(P_i)$. Η σχέση μεταξύ των β και P_i δίνεται από τον Πίνακα E.1 .

Πίνακας E.1 –Σχέση μεταξύ των β και P_i

P_i	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1.3	2.3	3.1	3.7	4.2	4.7	5.2

Ο Πίνακας E.2 δίνει ένα παράδειγμα βαθμολόμησης αντικειμενικών τιμών του β σε σχέση με τις επιπτώσεις της αστοχίας και το σχετικό κόστος για τον ασφαλή σχεδιασμό.

Πίνακας E.2 –Αντικειμενικές τιμές του β

Σχετικό κόστος των μετρήσεων ασφαλείας	Συνέπειες αστοχίας			
	Μικρές	Μερικές	Μέτριες	Μεγάλες
Υψηλό	0	A 1.5	2.3	B 3.1
Μέτριο	1.3	2.3	3.1	C 3.8
Χαμηλό	2.3	3.1	3.8	4.3

Κάποιες υποθέσεις είναι :

A: για οριακές καταστάσεις στην λειτουργικότητα , όπου $\beta = 0$ για τις αντιστρέψιμες και $\beta = 1.5$ για τις μη-αντιστρέψιμες οριακές συνθήκες .

B: για οριακές καταστάσεις σε κόπωση , χρησιμοποιούμε $\beta = 2.3$ έως $\beta = 3.1$ ανάλογα με την δυνατότητα της αξιολόγησης

C: για απόλυτες οριακές καταστάσεις , χρησιμοποιούμε τις ασφαλής κατηγορίες $\beta = 3.1$, $\beta = 3.8$ και $\beta = 4.3$.

Αυτές οι τιμές έχουν διεξαχθεί με την χρήση της Λογαριθμικής κατανομής ή της κατανομής Weibull για τον υπολογισμό της αντίδρασης R . Την κατανομή του Gauss για μόνιμα φορτία και του Gumbel για ακραίες τιμές φορτίων που μεταβάλλονται σε σχέση με τον χρόνο και με τον σχεδιασμό των τιμών σύμφωνα με την μέθοδο της παραγράφου **E.6.2**. Είναι σημαντικό οι ίδιες υποθέσεις (ή περίπου ίδιες) να χρησιμοποιούνται εάν οι δοσμένες τιμές του **Πίνακα E.2** εφαρμόζονται για υπολογισμούς με πιθανότητες .

Τέλος να τονίσουμε πως μια τιμή του β και η αντίστοιχη πιθανότητα αστοχίας τυπικές ή θεωρητικές τιμές , προορίζονται αρχικά για την ανάπτυξη σταθερών κανόνων σχεδιασμού , παρά να δώσουν μια περιγραφή της συχνότητας αστοχίας της κατασκευής .

E.5 Υπολογισμοί στις πιθανότητες αστοχίας

E.5.1 Αμετάβλητα προβλήματα στο χρόνο

Μια σχετικά απλή περίπτωση είναι όταν όλες οι κύριες μεταβλητές \underline{X} μπορούν θεωρηθούν αμετάβλητες στον χρόνο. Η πιθανότητα αστοχίας , P_f μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση :

$$P_f = \int_{failure_domain} f_{\underline{x}}(\underline{x})d\underline{x} \quad (E.7)$$

Όπου $f_{\underline{x}}(\underline{x})$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας της κατανομής των κύριων τυχαίων μεταβλητών \underline{x} . Οι κυρίαρχες αστοχίες υπολογίζονται γενικά με διασταυρώσεις και ενώσεις των κυρίαρχων αστοχιών που δίνονται από την εξίσωση $g_{ij}(\underline{x}) \leq 0$.

Ο δείκτης j είναι ο αριθμός τους στοιχείου της κατασκευής και ο i είναι ο αριθμός στον οποίο αντιστοιχεί ο τρόπος αστοχίας .Οι πιθανότητες αστοχίας μπορούν να υπολογιστούν από :

- Ακριβείς αναλυτικές μεθόδους (exact analytical methods)
- Με μεθόδους αριθμητικής ολοκλήρωσης (numerical intergration methods)
- Αναλυτικές μεθόδους προσέγγισης (FORM/SORM)

- Μεθόδους προσομοίωσης (simulation methods)

Ή ένας συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων .

Σε μερικές περιπτώσεις η εξίσωση (E.7) μπορεί να ολοκληρωθεί μέσω ανάλυσης . Όταν ο αριθμός των n των τυχαίων μεταβλητών είναι μικρός , για , παράδειγμα $n \leq 5$ διάφοροι μέθοδοι αριθμητικής ολοκλήρωσης μπορούν να εφαρμοστούν.

Τα βασικά βήματα στην μέθοδο προσέγγισης FORM είναι :

- Η μετατροπή των μεταβλητών \underline{X} σε ένα διάστημα κανονικών μεταβλητών , \underline{U} , και έναν αντιπροσωπευτικό μετασχηματισμό της επιφάνειας αστοχίας $g(\underline{X})=0$ σε $g^u(\underline{U})=0$
- Στην μέθοδο FORM (First Oder -Πρωτοβάθμια η συνάρτηση αστοχίας $g(\underline{U})$ προσεγγίζεται από μια υπερεπίπεδη εφαπτομένη (hyperplane tangent) στο σχεδιαστικό σημείο , το οποίο είναι σημείο στην $g(\underline{U})$ κοντά στο προσδιοριστικό σημείο (origin point στις πολικές συντεταγμένες είναι για $r=0$, και στις Καρτεσιανές για $(x, y) = (0,0)$).
- Η πιθανότητα αστοχίας P_f σύμφωνα με την FORM δίνεται από την σχέση $P_f = \Phi(-\beta)$ όπου β είναι απόσταση του προσδιοριστικού σημείο (origin point) και του σημείου σχεδιασμού .

Τα αναλυτικά μοντέλα μπορούν να καθορίζονται με προσέγγιση της επιφάνειας αστοχίας $g(\underline{U})=0$ μέσω μιας τετράγωνης επιφάνειας στο σημείο σχεδιασμού (δηλ. μιας δευτεροβάθμιας αλγεβρικής επιφάνειας)

Οι μέθοδοι προσομοίωσης χωρίζονται σε :

- Zero-one indicator methods , οι οποίες δεν είναι αναλυτικές και χρησιμοποιούνται στο αρχικό διάστημα των μεταβλητών \underline{X}
- Μέθοδοι δεσμευμένης αναμονής-conditional expectation methods (βασίζονται σε δεσμευμένη κατανομή) όπου είναι ημι-αναλυτικές μέθοδοι .

Οι μέθοδοι Zero-one indicator περιλαμβάνουν :

- Τις άμεσες προσομοιώσεις της μεθόδου Monte Carlo με την δειγματική πυκνότητα να λαμβάνεται ως πυκνότητα κατανομής.

- Προσαρμοστική δειγματοληψία κατά την οποία η σημαντικότητα της δειγματοληψίας εφαρμόζεται με διαδοχική αναθεώρηση της συνάρτησης πυκνότητας

Οι μέθοδοι δεσμευμένης αναμονής περιλαμβάνονται από τις εξής μεθόδους :

- Με προσομοίωση κατά κατεύθυνση (directional simulation) , κατάλληλη για ενώσεις φαινομένων
- Ορθοκανονική (ορθογωνική) προσομοίωση (orthogonal simulation) κατάλληλη για τομή φαινομένων .

E.5.2 Μετατροπή των χρονικά μεταβαλλόμενων σε σταθερά χρονικά προβλήματα

Δύο κατηγορίες χρονικά εξαρτώμενων προβλημάτων μελετώνται και συνδέονται με :

- Αστοχία λόγω υπερφόρτισης (πρώτη εμφάνιση)
- Κόπωση ή άλλες αθροιστικές (συσσωρευτικές-αθροιστικές) αστοχίες

Η εξάρτηση στον χρόνο οφείλεται εξαιτίας της μεταβλητότητας των ενεργειών ή μιας αντοχής κατά την διάρκεια του χρόνου. Χρονικά εξαρτώμενες ποσότητες γενικά πρέπει να παρουσιάζονται από στοχαστική διαδικασία.

Σε περίπτωση πρώτης εμφάνισης της αστοχίας , μια διαδικασία ενιαίας δράσεις μπορεί να αντικατασταθεί από μια κατανομή πιθανοτήτων που αντιπροσωπεύουν την αβεβαιότητα για την δοσμένη περίοδο όπου η πιθανότητα αστοχίας μπορεί να υπολογιστεί . Η μέση τιμή που θα λαμβάνεται θα πρέπει να είναι ίση με την αναμενόμενη μέγιστη τιμή του φορτίου στην περίοδο αναφοράς , και μια τυχαία αβεβαιότητα θα είναι ανάλογη της μέγιστης αυτής τιμής .

Σε περίπτωση αστοχίας λόγω κόπωσης , η συνάρτηση αστοχίας μπορεί να διατυπώνεται σε περιόδους των SN (SN –Line method)-πληροφοριών και του Miner –Palmgren κανόνα . Η συνάρτηση αστοχίας που θα προκύψει θα είναι χρονικά ανεξάρτητη σε μία χρονική περίοδο αναφοράς.

E.5.3 Γενικά προβλήματα

Γενικά , ο υπολογισμός της πιθανότητας αστοχίας συσχετίζεται με την απόφαση :

$$P_f = P \left\{ \cup \cap g_{ij} (\underline{X}_i, t) < 0 \right\} \text{ γις } t \in [0, T] \quad (\mathbf{E.8})$$

Όπου g_{ij} είναι οι συναρτήσεις αστοχίας (‘‘οριακές συναρτήσεις’’) στον χώρο των \underline{X}_i των κύριων μεταβλητών. Στη εξίσωση (E.8) οι συναρτήσεις $g_{i1} < 0$ και $g_{i2} < 0$ γενικά καθορίζουν μια συχνότητα αστοχίας της κατασκευής με δοσμένο τον τρόπο αστοχίας (ο δείκτης i αντιπροσωπεύει τον τρόπο αστοχίας της κατασκευής). Για παράδειγμα μια άκαμπτη επιφάνεια η οποία υποβάλλεται σε πλευρικές και αξονικές δυνάμεις ο τρόπος αστοχίας μπορεί να είναι από 1) λυγισμό 2) κάμψη. Η χρονική εξάρτηση μπορεί να σχετίζεται με τα φορτία, ή τις αντιδράσεις (π.χ εξαιτίας της μείωσης αντοχής). Κάποιες από τις κύριες μεταβλητές \underline{X} μπορεί να είναι συναρτήσεις του χρόνου και χωρικές συντεταγμένες, και μπορεί να εμπεριέχουν διαφορική ή ολοκληρωματική αιτιότητα.

E.6 Μέθοδοι τιμών σχεδιασμού

E.6.1 Γενικά

Υποθέτουμε πως η οριακή κατάσταση μπορεί να καθοριστεί από ένα υπολογιστικό μοντέλο σε περιόδους μιας ή περισσότερων συναρτήσεων $g(\cdot)$ με ένα σύνολο μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_n περιέχοντας τις δράσεις, ιδιότητες των υλικών κ.α., έτσι ώστε μια συνθήκη δεν θα αστοχεί από την σχέση

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0 \quad (\text{E.9})$$

και μπορεί να συνδυαστεί με την οριακή κατάσταση. Οι απαιτήσεις του σχεδιασμού μπορούν να περιγραφούν από την σχέση

$$g(x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}) \geq 0 \quad (\text{E.10})$$

όπου $x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}$ είναι οι τιμές σχεδιασμού σύμφωνα με την παράγραφο

E.6.2.

E.6.2 Τιμές σχεδιασμού με την μέθοδο FORM

Οι τιμές σχεδιασμού x_{id} των μεταβλητών \underline{X}_i εξαρτώνται από :

- Τις παραμέτρους των μεταβλητών \underline{X}_i
- Τον υποτιθέμενο τύπο της κατανομής
- Την αντικειμενική τιμή του δείκτη αξιοπιστίας β για την οριακή κατάσταση και τις συνθήκες σχεδιασμού που μας ενδιαφέρουν (βλ. Παράγραφο E.4.3).

- Έναν συντελεστή a_d που περιγράφει την ευαισθησία στις μεταβολές των \underline{X}_i , σύμφωνα με την οριακή κατάσταση μελετάται και τον ορισμό που δίνεται σε ένα FORM υπολογισμό (παράγραφος **E.5.1**).

Για μια αυθαίρετη κατανομή $F(x_{id})$ οι τιμές σχεδιασμού δίνονται από την σχέση :

$$F(x_{id}) = \Phi(-a_d \cdot \beta) \quad (\text{E.11})$$

Εάν υποθέσουμε πως οι μεταβλητές \underline{X}_i διέπονται από μια κανονική κατανομή, τότε

$$x_{id} = \mu_i (1 - a_d \cdot \beta \cdot V_i) \quad (\text{E.12})$$

Μια Λογαριθμική κατανομή δίνει

$$x_{id} = \xi_i \exp(-a_d \beta v_i) \quad (\text{E.13})$$

$$\text{όπου } \xi_i = \frac{\mu_i}{\sqrt{1+V_i^2}} \quad (\text{E.14})$$

$$\text{και } v_i = \sqrt{\ln(1+V_i^2)} \quad (\text{E.15})$$

Για μικρές τιμές του V_i (π.χ $V_i \leq 0.25$) τότε, $\xi_i = \mu_i$ και $v_i = V_i$.

E.6.3 Συντελεστές ευαισθησίας σύμφωνα με την μέθοδο FORM

Εάν οι τυχαίες μεταβλητές είναι ανεξάρτητες, οι συντελεστές a_i σε μία μέθοδο ανάλυσης FORM θα πρέπει να τηρούν τους παρακάτω περιορισμούς.

$$-1 \leq a_i \leq 1 \quad (\text{E.15})$$

$$\sum a_i^2 = 1 \quad (\text{E.16})$$

Αρχικά οι τιμές των a_i θα πρέπει να υπολογίζονται από έναν αντιπροσωπευτικό αριθμό FORM υπολογισμών, αυτό σημαίνει πως μπορεί να απαιτείται μεγάλο πλήθος επαναλήψεων πράγμα που δεν είναι βολικό. Όμως βασιζόμενοι στην εμπειρία, αναπτύξαμε ένα σύνολο τυποποιημένων τιμών των a_i , το οποίο παρουσιάζονται στον **Πίνακα E.3**. Να σημειώσουμε πως το άθροισμα των τετραγώνων των a_i , $(\sum a_i^2)$ μπορεί να είναι μεγαλύτερο της μονάδας. Για να περιορίσουμε τα σφάλματα στην χρήση του **Πίνακα E.3**, συνήθως απαιτείται η συνθήκη $0.16 \leq \sigma_S / \sigma_R \leq 6.6$, όπου S το κυρίαρχο φορτίο και R η κυρίαρχη παράμετρος της αντίδρασης.

Πίνακας E.3-Τυποποιημένες τιμές του a_i

\underline{X}_i	a_i
Κυρίαρχη παράμετρος αντίδρασης	0.8
Άλλες παράμετροι αντίδρασης	$0.4 \cdot 0.3 = 0.32$
Κυρίαρχη παράμετρος φορτίου	-0.7
Άλλες παράμετροι φορτίου	$-0.4 \cdot 0.7 = -0.28$
Οι τυποποιημένες τιμές των a_i που προκύπτουν είναι ίδιες με αυτές που με αυτές που προτείνονται στο Κεφάλαιο B	

Κατά την εφαρμογή του Πίνακα E.3 μπορεί να είναι άγνωστο για το ποιά μεταβλητή θα λαμβάνεται ως κυρίαρχη ". Ένας τρόπος εύρεσης είναι να μετατρέψουμε όλες τις μεταβλητές σε κυρίαρχες και να παρατηρήσουμε για κάθε μία ξεχωριστά ποια είναι εκείνη μας ενδιαφέρει για τον σχεδιασμό .Μερικές φορές αυτό γίνεται σύμφωνα με το επίπεδο των κανονισμών , άλλες φορές είναι θέμα του σχεδιαστή (π.χ έλεγχος των διάφορων περιπτώσεων φόρτισης).

Εφαρμογή 3

Να θεωρήσουμε την στοιχειώδη περίπτωση όπου η παράμετρος αντίδρασης R και η παράμετρος φορτίου S , διέπονται και οι δύο από κανονική κατανομή, και ότι η αντικειμενική τιμή του βαθμού αξιοπιστίας είναι $\beta = 3.8$ τότε η εξίσωση (E.12).

$$R_d = \mu_R - 0.8 \cdot 3.8\sigma_R = \mu_R - 3.04\sigma_R \text{ και } S_d = \mu_S - (-0.7) \cdot 3.8\sigma_S = \mu_S + 2.66\sigma_S$$

Τώρα θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος στην εξίσωση (E.10) , που σε αυτήν την εφαρμογή μειώνεται σε $R_d > S_d$.

E.7 Επαλήθευση αξιοπιστίας μέσω των κανονισμών

E.7.1 Μέθοδος των μερικών συντελεστών βασισμένη στις τιμές σχεδιασμού

Στους κανόνες σχεδιασμού , οι τιμές σχεδιασμού των x_d δεν εισάγονται απευθείας στον σχεδιασμό .Τυχαίες μεταβλητές αρχικά εισάγονται μέσω των αντιπροσωπευτικές τιμών των x_k . Σύμφωνα λοιπόν με τα προηγούμενα , υπάρχει ένα σύνολο μερικών συντελεστών ασφαλείας και συντελεστές συνδυαστικών φορτίων (βλ.παράγραφο 9) .Στις περισσότερες περιπτώσεις οι βασικές προδιαγραφές τροποποιούνται ως εξής :

$$g(x_d) = R_d - S_d \geq 0 \tag{E.17}$$

με

$$S_d = S(\underline{F}_d, \underline{a}_d, \underline{\theta}_d, \dots) \quad (\text{E.18})$$

$$R_d = R(\underline{f}_d, \underline{a}_d, \underline{\theta}_d, \dots) \quad (\text{E.19})$$

Το S εδώ είναι η επίδραση του φορτίου ,και R η αντιπροσωπευτική τιμή της αντίδρασης με :

$F_d = \gamma_f F_k$ ή $F_d = \gamma_f \Psi_0 F_k$ - η σχεδιαστική της παραμέτρου του φορτίου

$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$ - η σχεδιαστική τιμή των ιδιοτήτων του υλικού

$a_d = a_{norm} \pm \Delta a$ - η σχεδιαστική τιμή των ιδιοτήτων της γεωμετρίας

θ_d - η σχεδιαστική τιμή ενός συντελεστή του μοντέλου

Ο δείκτης k υποδεικνύει την χαρακτηριστική τιμή .

Η σχεδιαστική τιμή θ_d συνήθως εισάγει τις εξισώσεις μέσω των μερικών συντελεστών γ_{Rd}, γ_{Sd} για το συνολικό μοντέλο έτσι ώστε :

$$S_d = \gamma_{Sd} S(\gamma_f F_k, \gamma_f \Psi_0 F_k, a_{norm} \pm \Delta a, \dots) \quad (\text{E.20})$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left(\frac{f_k}{\gamma_m}, a_{norm} \pm \Delta a, \dots\right) \quad (\text{E.21})$$

Οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας μπορούν να προέρχονται , με την εύρεση των σχεδιαστικών τιμών σύμφωνα με τις παραγράφους **E.6.1** και **E.6.3** και μέσω εφαρμογής των εξισώσεων :

$$\gamma_f = F_d / F_k, \gamma_m = f_k / f_d$$

Η διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω δεν είναι βολική λόγω πρακτικής απόψεως . Συνεπώς γίνονται συχνά οι παρακάτω απλοποιήσεις :

$$\text{Στην περίπτωση του φορτίου : } S_d = S(\gamma_F F_k, a_{norm}) \quad (\text{E.22})$$

$$\text{Και στην περίπτωση του φορτίου : } R_d = R\left(\frac{f_k}{\gamma_M}, a_{norm}\right) \text{ ή}$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R(f_k, a_{norm}) \quad (\text{E.23})$$

Σε αυτή την περίπτωση οι συντελεστές γ_M , γ_F (ή γ_R) θα πρέπει να βαθμονομούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το αποτέλεσμα να συμφωνεί με τις ίδιες τιμές που υπολογίζονται από τις αρχικές εξισώσεις .

E.7.2 Βαθμονόμηση των μερικών συντελεστών

Η βαθμονόμηση των μερικών συντελεστών περιγράφεται σε πολλές βιβλιογραφίες και σε πολλά έντυπα.

Στην διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο **E.7.1** , η μέθοδος των Μερικών Συντελεστών παρουσιάζεται ως μια συμπλήρωση της μεθόδου των Σχεδιαστικών Τιμών .Μια εναλλακτική μέθοδος είναι να ξεκινήσουμε με μια μέθοδο κρίσιμων μερικών συντελεστών και να απαιτήσουμε η επιλογή τους να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αξιοπιστία της κατασκευής που θα προκύψει να είναι κοντά, όσο αυτό είναι δυνατόν, σε κάποιες επιλεγμένες τιμές που έχουμε θέσει ως στόχο(αντικείμενες τιμές) .

Ας υποθέσουμε πως η μέθοδος μερικών συντελεστών μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$g \left(\frac{f_{k1}}{\gamma_{m1}}, \frac{f_{k2}}{\gamma_{m2}}, \dots, \frac{f_{ki}}{\gamma_{mi}}, \gamma_{f1} \bullet F_{k1}, \gamma_{f2} \bullet F_{k2}, \dots, \gamma_{fj} \bullet F_{kj} \right) \geq 0 \quad (\text{E.24})$$

όπου

f_{ki} είναι η χαρακτηριστική τιμή αντοχής του υλικού i

γ_{mi} είναι ο μερικός συντελεστής για το υλικό i

F_{kj} είναι η αντιπροσωπευτική τιμή του φορτίου j

γ_{fj} είναι ο μερικός συντελεστής για το φορτίο j

Ορίζοντας ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο n πειραματικών στοιχείων , που θα πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να πληροί με επάρκεια τον σκοπό της εφαρμογής ανάλογα με :

- Τα είδη των δράσεων
- Τα είδη των κατασκευαστικών διαστάσεων
- Τα είδη των υλικών
- Τα είδη των οριακών καταστάσεων

Για δοσμένες τιμές των μερικών συντελεστών ($\gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \dots, \gamma_{f1}, \gamma_{f2}, \dots$) το σύνολο των αντιπροσωπευτικών κατασκευαστικών στοιχείων μπορεί να σχεδιαστεί .Κάθε στοιχείο θα επεξεργάζεται ένα επίπεδο αξιοπιστίας το οποίο μπορεί αποκλίνει λιγότερο ή περισσότερο από την αντικειμενική τιμή . Με την χρήση του δείκτη αξιοπιστίας β η συνολική απόκλιση D μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση :

$$D = \sum_{k=1}^n \left[\beta_k (\gamma_{mi}, \gamma_{mj}) - \beta_t \right]^2 \quad (\text{E.25})$$

όπου

β_t είναι αντικειμενική τιμή του δείκτη αξιοπιστίας β

$\beta_k = \beta_t$ για το στοιχείο k ως αποτέλεσμα του σχεδιασμού με την χρήση των ($\gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \gamma_{f1}, \gamma_{f2}$).

Προφανώς , το σύνολο των μερικών συντελεστών που ελαχιστοποιούν συνολική απόκλιση D μπορεί να θεωρηθεί το καλύτερο σύνολο των μερικών συντελεστών .Εάν κάποια από τα στοιχεία δεν είναι ισοδύναμα , τότε θα πρέπει να εισάγονται συντελεστές βαρύτητας .

Εκτός από τον δείκτη αξιοπιστίας β μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πιθανότητα αστοχίας στην θέση του . Μπορεί να έχει πρακτική εφαρμογή στην επιβολή μικρότερων τιμών στην αντικειμενική πιθανότητα για έναν μικρότερο βαθμό από τις τιμές που την υπερβαίνουν .Μια πιθανότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το οικονομικό κριτήριο της εξίσωσης (E.6) για ένα ευρύ σύνολο τιμών των αντιπροσωπευτικών κατασκευαστικών τιμών .

Κεφάλαιο F-Συνδυασμός των δράσεων και εκτίμηση των τιμών τους

F.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα της εκτίμησης , των τιμών των δράσεων που θα χρησιμοποιηθούν σε διάφορους συνδυασμούς είναι πολύ περίπλοκο . Οι ιδιότητες των διάφορων επιμέρους δράσεων είναι διαφορετικές και για τα χαρακτηριστικά τους αλλά και για τις λεπτομέρειες τους .Συνεπώς , εάν διάφορα είδη δράσεων εφοδιάζονται με ένα κοινό σύστημα (π.χ Το συγκεκριμένο Διεθνές Πρότυπο) , η περιγραφή των παραμέτρων των δράσεων και η εκτίμηση των τιμών τους θα πρέπει να είναι είτε πολύ παραστατική , ή πολύ περίπλοκη .Σε αυτό το Πρότυπο , συγκεκριμένα σε αυτό το Παράρτημα έχει επιλεγεί μια αρκετά απλή και παραστατική παραγραφή .

Σύμφωνα με την μέθοδο των μερικών συντελεστών και στους ορισμούς στην παράγραφο 7.2 , το συγκεκριμένο παράρτημα επεξεργάζεται τα παρακάτω:

- Εκτίμηση των στατιστικών ιδιοτήτων και τις χαρακτηριστικές τιμές των μεταβλητών δράσεων .
- Εκτίμηση των συνδυαστικών τιμών (combination values) που προορίζονται για των συνδυασμό φορτίων στην απόλυτη οριακή κατάσταση .
- Εκτίμηση των συχνών (frequent values) και σχεδόν μόνιμων(quasi-permanent values) που προορίζονται κυρίως για τον συνδυασμό δράσεων στη οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας και σε τυχαίους συνδυασμούς δράσεων .

Οι συχνές(frequent values) και οι σχεδόν μόνιμες τιμές(quasi-permanent values) των δράσεων καθορίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως "κυρίαρχες " τιμές των δράσεων σε πολλούς συνδυασμούς της οριακής κατάστασης της λειτουργικότητας .

Όμως , για να έχουμε πλήθος τιμών για τις δράσεις , μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως "μη-κυρίαρχες " τιμές σε άλλου είδους συνδυασμούς . Για παράδειγμα στο **Παράρτημα G** οι σχεδόν -μόνιμες δράσεις χρησιμοποιούνται ως μη-κυρίαρχες τιμές δράσεων σε πολλούς συνδυασμούς.

Κανονικά το μέτρο των δράσεων ακολουθεί την εξής διαδοχή (με φθίνουσα σειρά) χαρακτηριστική(characteristic) -συνδυαστική(combination) -συχνή(frequent) – σχεδόν μόνιμη (quasi-permanent).

Η επεξεργασία των συνδυαστικών τιμών στην παράγραφο **F.3.2** επίσης δίνει μεθόδους για τους συνδυασμούς δράσεων οι οποίες μπορούν να εισαχθούν στην υποδομή για τις μεθόδους σχεδιασμού με πιθανότητες .

Δεν δίνονται πληροφορίες για φυσικές αλληλεπιδράσεις (π.χ για φυσικά φαινόμενα όπως ο άνεμος το χιόνι , σεισμός κ.α)

F.2 Εκτίμηση των στατιστικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικές τιμές των μεταβλητών δράσεων

F.2.1 Γενικές συνθήκες

Η μέθοδος που περιγράφεται εδώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών τιμών βασισμένη στις παρατηρήσεις .Σε άλλες περιπτώσεις η εκτίμηση των τιμών θα πρέπει να βασίζεται σε υποκειμενική κρίση .Η μέθοδος αυτή αξιολογείται για την απλή περίπτωση που μια δράση (ή το γεγονός που προκαλεί την δράση) μπορεί να περιγραφεί από μια μονοδιάστατη εργοδική στοχαστική διαδικασία(one – dimensional ergodic stochastic process design) . Για στοχαστικές μεθόδους με περισσότερες απο μια διάσταση , οι γενικές προδιαγραφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν .

Ορισμοί για τις χαρακτηριστικές τιμές για μια μεταβλητή δράση δίνονται ως εξής .

Η χαρακτηριστική τιμή επιλέγεται έτσι ώστε έχει μια καθορισμένη πιθανότητα που θα την υπερβαίνει για ανεπιθύμητες τιμές κατά την διάρκεια μιας περιόδου αναφοράς .

Συνεπώς , δύο παράμετροι πρέπει να επιλέγονται για να καθορίσουμε την χαρακτηριστική τιμή :

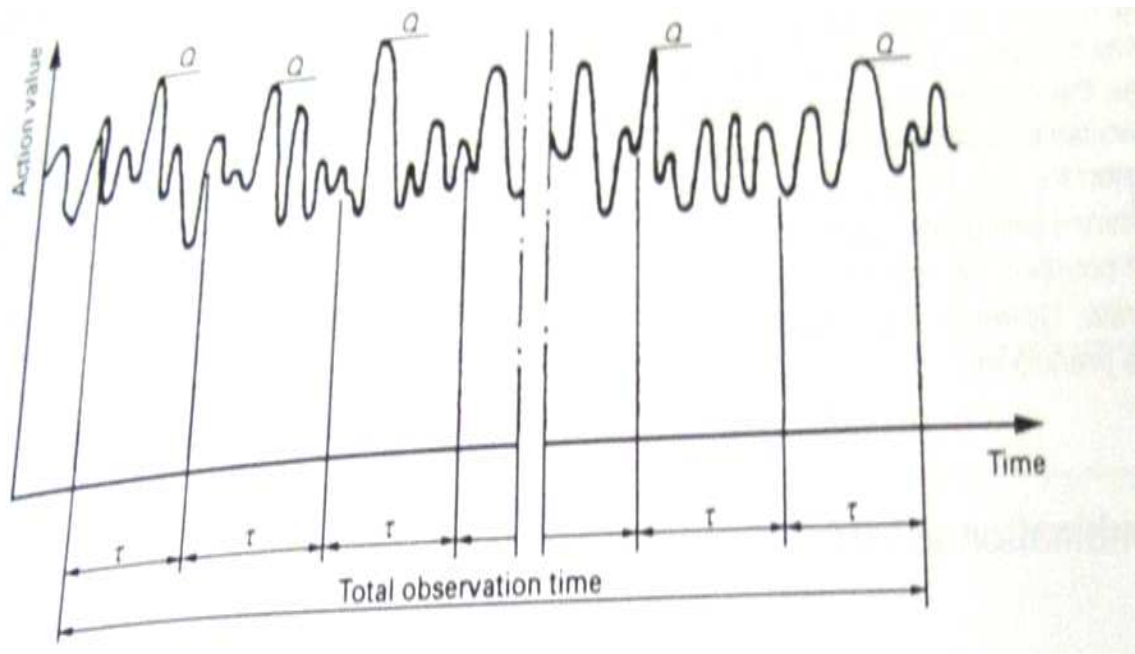
- Η χρονική περίοδο αναφοράς t_r και
- Η καθορισμένη πιθανότητα $(1 - p)$, η πιθανότητα που δεν υπερβαίνεται είναι p .

Να σημειώσουμε πως μια μέθοδος σε σχέση με τον χρόνο είναι σταθερή εάν για όλες τις τιμές του χρόνου t και για όλες τις τιμές τ της στοχαστικής μεταβλητής $X(t_i + \tau)$ έχει την ίδια κατανομή πιθανοτήτων όπως και η $X(t_i)$. Υποθέτουμε πως η χρονική στιγμή t και η $(t_i + \tau)$ βρίσκονται μέσα στην περίοδο αναφοράς . Μια μέθοδος είναι εργοδική εάν κατά μέσο όρο οι μεταβλητές X σε μια περίοδο αναφοράς και σε μία μέση τιμή του t δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα

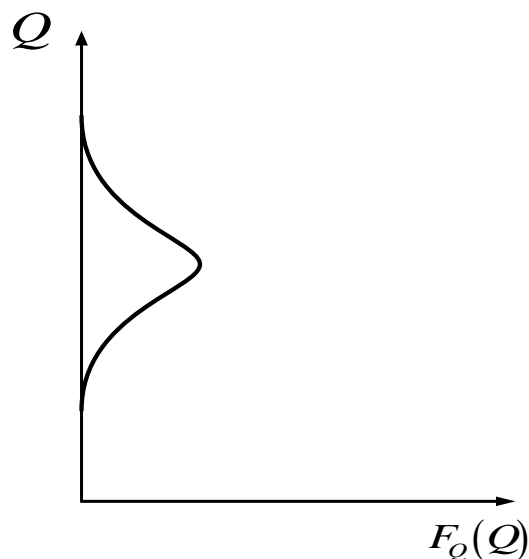
F.2.2 Μέθοδος

Οι παρατηρήσεις r των δράσεων υποθέτουμε πως καλύπτουν μια συνολική περίοδο παρατηρήσεων, η οποία μπορεί να χωριστεί σε ένα πλήθος t_i από ισοδύναμα χρονικά διαστήματα τ που ονομάζονται ένωση των περιόδων παρατηρήσεων. Η μέγιστη τιμή της Q ενέργειας για ένωση παρατηρήσεων φαίνεται στην **Εικόνα F.1**.

Από τις παρατηρήσεις αυτές μπορεί να καθορισθεί συνάρτηση κατανομής των πιθανοτήτων $F_Q(Q)$ (με την εφαρμογή άλλως στατιστικών μεθόδων). Σε κάποιες περιπτώσεις είναι διαθέσιμες και άλλες μέθοδοι (π.χ άμεση απόφαση από στοχαστικές μεθόδους).



Εικόνα F.1-Δράσεις συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα F.2-Συνάρτηση πυκνότητας κατανομής $F_Q(Q)$

Σε πολλές περιπτώσεις είναι χρήσιμο να προσαρμόσουμε κάποιες καλά γνωστές αναλυτικές συναρτήσεις κατανομής πιθανοτήτων για τις παρατηρήσεις της $F_Q(Q)$ (Εικόνα F.2). Εάν αυτό είναι δυνατόν, θα πρέπει η κατανομή αυτή να μελετάται ως μια προσέγγιση, η οποία είναι αυστηρά έγκυρη μόνο για τα όρια των παρατηρούμενων τιμών. Η χαρακτηριστική τιμή Q_k λαμβάνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$F_Q(Q_k) = p^{\tau/t_r} \quad (\text{F.1})$$

F.2.3 Περίοδος επιστροφής

Σε μερικές περιπτώσεις ένας βολικός τρόπος για να χαρακτηρίσουμε την Q_k είναι να χρησιμοποιήσουμε την περίοδο αναφοράς T , η οποία ορίζεται ως η μέση διάρκεια μεταξύ διαδοχικών εμφανίσεων υπέρβασης των Q_k . Η περίοδος επιστροφής T μπορεί να υπολογιστεί μέσω της έκφρασης:

$$T = \frac{\tau}{1 - F_Q(Q_k)} = \frac{\tau/t_r}{1 - p^{\tau/t_r}} t_r \quad (\text{F.2})$$

Εάν η $F_Q(Q)$ είναι κοντά στην ένωση των περιόδων, η έκφραση T είναι σχεδόν ανεξάρτητη από το τ και μπορεί να προσεγγιστεί από την σχέση:

$$T = \frac{\tau}{\ln(1/p)} t_r \quad (\text{F.3})$$

Η περίοδος επιστροφής σε πολλές περιπτώσεις είναι η πιο επεξηγηματική παράμετρος για τον καθορισμό της χαρακτηριστικής τιμής. Οι περίοδοι επιστροφής από 50 έως 100 χρόνια είναι λογικές τιμές για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών τιμών των δράσεων που χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό για μεγάλες κατασκευές.

F.2.4 Αβεβαιότητες

Στις περισσότερες περιπτώσεις η χαρακτηριστική τιμή εκλέγεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα γεγονότα που εμφανίζονται κατά την διάρκεια που οι παρατηρήσιμες τιμές που υπερβαίνουν την χαρακτηριστική τιμή, να είναι πολύ σπάνια. Συνεπώς οι στατιστικές αβεβαιότητες κατά την εκτίμηση της χαρακτηριστικής τιμής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Εάν η περίοδος αναφοράς t_r , αυξάνεται ή η επιθυμητή πιθανότητα που η τιμή υπερβαίνεται, $(1-p)$, μειώνεται η αβεβαιότητα στην χαρακτηριστική τιμή θα αυξηθεί εάν δεν υπάρχουν άλλες αλλαγές στις συνθήκες .

Εάν η t_r και η p είναι γνωστές από τον καθορισμό της χαρακτηριστικής τιμής, ο σημαντικότερος τρόπος να μειώσουμε τις στατιστικές αβεβαιότητες είναι να αυξήσουμε τον αριθμό των παρατηρήσεων r . Αυτό μπορεί να γίνει είτε αυξάνοντας της συνολική περίοδο παρατηρήσεων είτε αυξάνοντας την ενότητα των παρατηρήσεων περιόδου .

Παρόλ'αυτά σε πολλές περιπτώσεις οι πληροφορίες για τις παρατηρήσεις που έχουν ήδη γίνει ,και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συνήθως δεν είναι δυνατόν να αυξήσουμε την συνολική περίοδο παρατηρήσεων .Η ένωση των περιόδων παρατηρήσεων τ , δεν μπορεί να μειωθεί με κάποιον συγκεκριμένο τρόπο. Θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε οι μέγιστες τιμές σε δύο διαδοχικές ενότητες παρατηρήσεων να μπορούν κατά προσέγγιση να θεωρηθούν ως στατιστικά ανεξάρτητες .

Για δράσεις φυσική προέλευσης (όπως είναι άνεμος , χιόνι , θερμοκρασίες κ.α) η συνολική περίοδος αναφοράς για μια μοναδική παρατήρηση δεν θα είναι μικρότερη των 50 χρόνων . Συνεπώς σε τέτοιες περιπτώσεις , η ένωση των περιόδων παρατηρήσεων τ είναι ίση με ένα χρόνο , ο αριθμός παρατηρήσεων είναι αρκετά μικρότερος από $r \geq 50$.

Εάν η περίοδος αναφοράς εκλέγεται 50 χρόνια ή παραπάνω , οι διαθέσιμες πληροφορίες δεν θα δίνουν τίποτα παραπάνω από την εκτίμηση της μέσης τιμής των μέγιστων πλατών που παρατηρούνται μέσα σε 50 χρόνια . Η μορφή της κατανομής και η τυπική απόκλιση θα πρέπει να αποφασιστούν μέσω ευθυκρισίας .

Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μια σύγκριση μεταξύ διάφορων παρατηρήσεων σε διαφορετικό χώρο . Εάν η περίοδος αναφοράς εκλέγεται μικρότερη σαφώς τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα είναι πιο ακριβή.

F.3 Εκτίμηση των συνδυαστικών τιμών (Ψ_{0Q_k})

F.3.1 Γενικά

Οι βασικές προδιαγραφές για αυτές τις δράσεις βρίσκονται στην παράγραφο 7.5 και δηλώνουν πώς :

- Μια δράση εκλέγεται ως δεσπίζουσα (dominating) και παρουσιάζεται με την χαρακτηριστική τιμή Q_{1k}
- Μια δεύτερη δράση παρουσιάζεται με μειωμένη συνδυαστική τιμή $\Psi_{02}Q_{2k}$ με $\Psi_{02} \leq 1$. Ο συντελεστής συνδυασμού Ψ_{02} εξαρτάται από τα

χαρακτηριστικά των δεσποζουσών και μη-δεσποζουσών (not-dominating) δράσεων.

- Μια τρίτη δράση παρουσιάζεται με ακόμη μικρότερη συνδυαστική τιμή $\Psi_{03}Q_{3k}$ με $\Psi_{03} \leq \Psi_{02}$. Η τιμή του συντελεστή Ψ_{03} εξαρτάται και από τις τρεις δράσεις. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται εάν είναι απαραίτητο

Αυτός ο κανόνας αποδεικνύεται εύκολα θεωρητικά, αλλά καθιστά τους συνδυασμούς των δράσεων αρκετά πολύπλοκους. Μπορεί να προκύψει από πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς τιμών για μια συγκεκριμένη δράση. Επιπλέον ο αριθμός των πιθανών συνδυασμών αυξάνεται ραγδαία με τον αριθμό διαφορετικών τιμών δράσης.

Συνδυασμοί σύμφωνα με την παράγραφο 7.5 με αντιπροσωπευτικές τιμές δράσης (παράγραφος 7.2), δηλώνουν πως για μια συγκεκριμένη δράση υπάρχει ένας μόνος συνδυασμός τιμών $\Psi_0 Q_k$ που χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις όταν η δράση αυτή δεν είναι κυρίαρχη. Αυτή η μοναδική συνδυαστική τιμή θα πρέπει να εκλεγεί έτσι ώστε το αποτέλεσμα να μην είναι ασύμφορο.

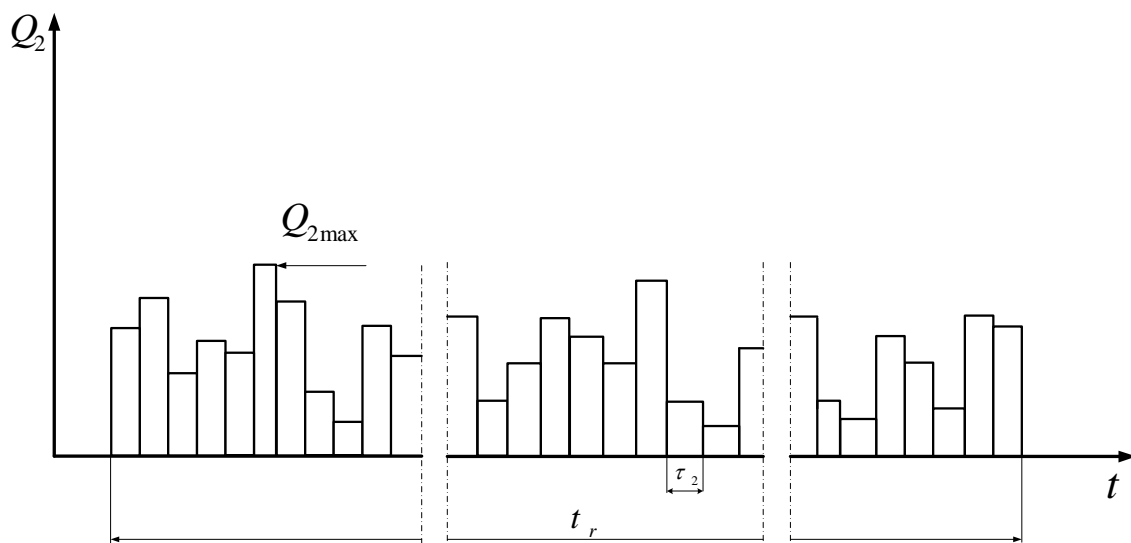
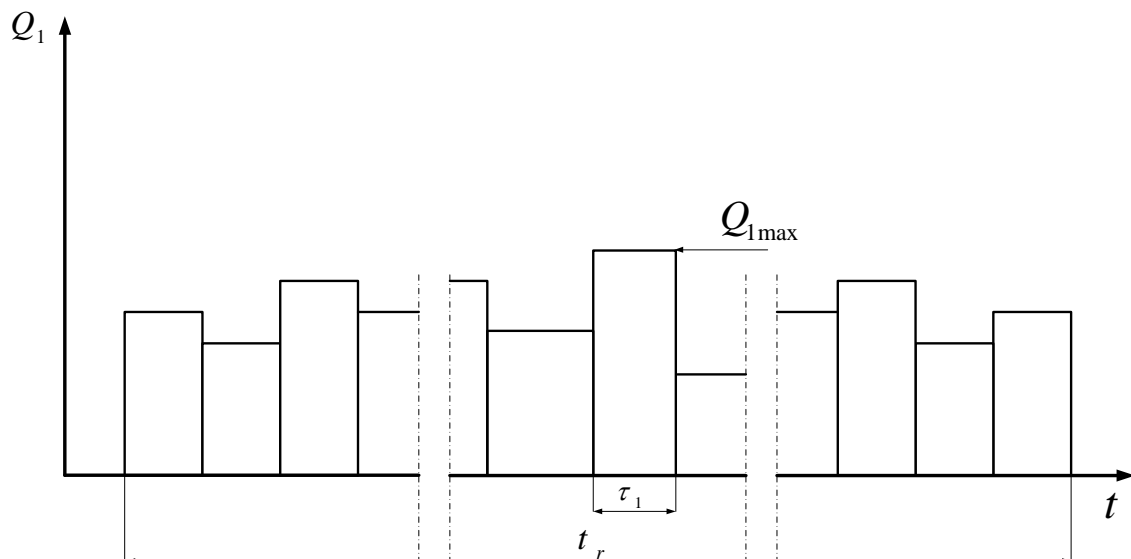
F.3.2 Συνδυασμός των δράσεων σύμφωνα με το μοντέλο Ferry-Borges – Castanheta Model

F.3.2.1 Γενικά

Ας μελετήσουμε την περίπτωση όπου δύο δράσεις $Q_1(t), Q_2(t)$ συνδυάζονται. Υποθέτουμε αυτές οι δράσεις μπορούν να περιγραφούν με μεθόδους τετραγωνικής κυματομορφής (square-wave processes) όπως φαίνεται στην **Εικόνα F.3**. Γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις για την συγκεκριμένη μέθοδο:

- Οι $Q_1(t)$ και $Q_2(t)$ είναι σταθερές εργοδικές διαδικασίες
- Όλα τα χρονικά διαστήματα τ_1 είναι ίσα
- Όλα τα χρονικά διαστήματα τ_2 είναι ίσα
- Ισχύει $\tau_1 \geq \tau_2$
- r_1 και r_2 / r_1 είναι ακέραιοι αριθμοί, όπου $r_1 = t_1 / \tau_1$ και $r_2 = t_2 / \tau_2$
- Q_1 και Q_2 είναι σταθερές κατά την διάρκεια των διαστημάτων r_1 και r_2 αντίστοιχα

- Οι τιμές της Q_1 για διαφορετικά διαστήματα είναι κοινά ανεξάρτητες , το ίδιο ισχύει και για την Q_2
- Οι Q_1 και Q_2 είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες



Εικόνα F.3-Μέθοδοι τετραγωνικής κυματομορφής για τις $Q_1(t)$ και $Q_2(t)$

Για κάθε μια από τις δράσεις , ορίζονται τρία είδη μεταβλητών .

1. Η μεταβλητή Q^* για μια αυθαίρετη χρονική στιγμή με την συνάρτηση κατανομής $F_{Q^*}(Q)$

2. Η μέγιστη τιμή Q_{max} κατά την διάρκεια του χρόνου αναφοράς , με

$$\text{συνάρτηση κατανομής } F_{Q_{max}}(Q) = \left[F_{Q^*}(Q) \right]^r \quad (\text{F.4})$$

3. Η μέγιστη τιμή Q_c (το C υποδηλώνει συνδυασμό) κατά την διάρκεια χρονικού διαστήματος τ_1 . Για την Q_2 αυτή η τιμή Q_{2c} είναι ίση με την μέγιστη τιμή που εμφανίζεται σε χρονικό διάστημα τ_1 με την συνάρτηση κατανομής :

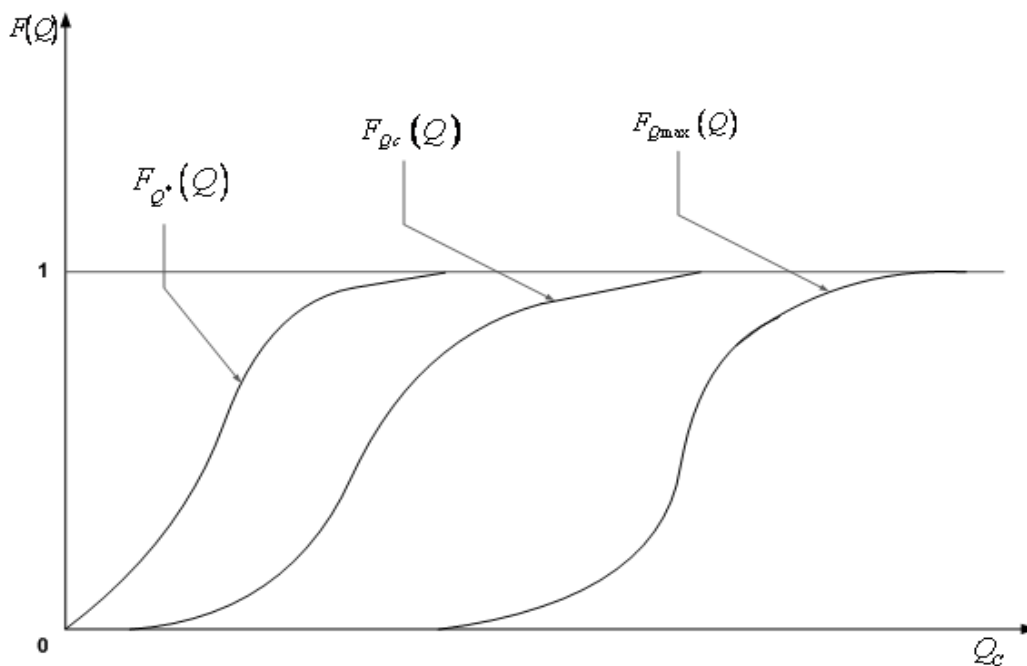
$$F_{Q_{2c}}(Q) = \left[F_{Q^*}(Q) \right]^{\frac{r_2}{r_1}} \quad (\text{F.5})$$

Και για την Q_1 η συνδυαστική τιμή είναι ίση με την τιμή που αντιστοιχεί σε εκείνη την χρονική στιγμή

$$Q_{1c} = Q_1^* \quad (\text{F.6})$$

Να σημειώσουμε εάν οι $F_{Q^*}(Q)$ και $F_{Q_{max}}(Q)$ εκτιμούνται απευθείας, τότε η περίοδος αναφοράς r θα πρέπει να εκλεγεί έτσι ώστε η εξίσωση (F.4) να ικανοποιείται .

Οι τρεις διαφορετικές συναρτήσεις κατανομής την Q_2 φαίνονται στην **Εικόνα F.4** .



Εικόνα F.4-Συναρτήσεις κατανομών για το Q_2

Ας υποθέσουμε μια γραμμική σχέση μεταξύ των των δράσεων των αποτελεσμάτων τους :

$$S = a_1 Q_1 + a_2 Q_2 \quad (\text{F.7})$$

Η μέγιστη επίδραση S_{\max} για τις Q_1, Q_2 κατά την διάρκεια μιας περιόδου αναφοράς t_r μπορεί να γραφτεί ως :

$$S_{\max} = \max S(Q_{1c}, Q_{2c}) \quad (\text{F.8})$$

Η μέγιστη τιμή θα πρέπει να λαμβάνεται για όλα τα χρονικά διαστήματα τ_1 στην περίοδο αναφοράς .

Κατά προσέγγιση , τα αποτελέσματα των επιδράσεων των δράσεων μπορούν να υπολογιστούν από την μέγιστη τιμή των δύο παρακάτω συνδυασμών (κανόνας Turkstas's) :

$S(Q_{1\max}, Q_{2c})$ εάν η Q_1 είναι η κυριαρχική ή δεσπόζουσα δράση

$S(Q_{2\max}, Q_{1c})$ εάν η Q_2 είναι η δεσπόζουσα δράση

Μπορούν να γραφούν και ως εξής :

$$S_{\max} = \{S(Q_{1\max}, Q_{2c}) : S(Q_{1c}, Q_{2\max})\} \quad (\text{F.9})$$

Εάν η κατασκευή σχεδιαστεί με μια μέθοδο βασισμένη σε πιθανότητες , οι τιμές των δράσεων στις σχέσεις (F.8) ή (F.9) θα πρέπει να μελετώνται ως τυχαίες μεταβλητές με συναρτήσεις κατανομής εκείνες που δίνονται στην **Εικόνα F.4**.

Εάν η κατασκευή έχει σχεδιαστεί με την μέθοδο των μερικών συντελεστών , τότε η γενική περιγραφή της τιμής σχεδιασμού S_{\max} γίνεται :

$$S_{\max d} = \{S(Q_{1\max d}, Q_{2c}) : S(Q_{1c}, Q_{2\max d})\} \quad (\text{F.10})$$

με :

$Q_{1\max d} = \gamma_{Q1} Q_{1k}$ και $Q_{1cd} = \gamma_{Q1} \Psi_{01} Q_{1k}$ το ίδιο ισχύει και για την Q_2 .

Οι τιμές των χαρακτηριστικών $\Psi_{01} Q_{1k}$ μπορούν να υπολογιστούν με διάφορους τρόπους , που περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο .

F.3.2.2 Υπολογισμός συνδυαστικών τιμών σύμφωνα με τον κανόνα του Turksta (Turksta's rule)

Μια κλασσική προσέγγιση για τον προσδιορισμό των συνδυαστικών συντελεστών Ψ_0 σε μια μέθοδο σχεδιασμού με μερικούς συντελεστές , βασίζεται στον κανόνα του Turksta της εξίσωσης (F.9). Αυτό σημαίνει πως η Q_{cd} επιλέγεται ως μια φραγμένη τιμή της Q_c κατανομής (Εικόνα F.4). Σύμφωνα με την παράγραφο E.6.3 η φραγμένη τιμή δίνεται από την $\Phi(-0.4a_s \beta)$.

$$F_{Qc}(Q_{cd}) = \Phi(-0.4a_s \beta) \quad (\text{F.11})$$

Όπου $a_s = -0.7$ είναι ένας συντελεστής ευαισθησίας για την δράση Q .

Τα παραπάνω οδηγούν περιγραφή του συντελεστή Ψ_0

$$\Psi_0 = \frac{Q_{cd}}{Q_{\max d}} = \frac{F_{Q_c}^{-1}[\Phi(0.4\Phi(0.7\beta))]}{F_{Q_{\max}}^{-1}[\Phi(0.7\beta)]} = \frac{F_{Q_{\max}}^{-1}[\Phi(0.7\beta)^r]}{F_{Q_{\max}}^{-1}[\Phi(0.7\beta)]} \quad (\text{F.12})$$

Για κατανομή Gumbel ο παραπάνω τύπος γίνεται :

$$\Psi_0 = \frac{1 - 0.78V \{0.577 + \ln[-\ln(\Phi(-0.4a_s\beta))]\} + \ln r}{1 - 0.78V \{0.577 + \ln[-\ln(\Phi(-a_s\beta))]\}} \quad (\text{F.13})$$

Όπου V είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας της συνάρτησης κατανομής της $F_{Q_{\max}}(Q)$.

Δίνεται μια αριθμητική εφαρμογή μετά την παράγραφο **F.3.2.4**.

F.3.2.3 Υπολογισμός συνδυαστικών τιμών σύμφωνα με την Μέθοδο των Τιμών Σχεδιασμού

Σύμφωνα με την παράγραφο του **Παραρτήματος Ε**, το αποτέλεσμα $S_{\max d}$ της δράσης σχεδιασμού θα πρέπει να έχει εκείνη πιθανότητα που θα την υπερβαίνει για την οριακή τιμή σε περίοδο αναφοράς t_r ίση με :

$$P(S_{\max} > S_{\max d}) = \Phi(a_s\beta) \quad (\text{F.14})$$

με $a_s = -0.7$.

Με γνωστές τις χαρακτηριστικές τιμές των Q_1 και Q_2 , μια από τις δύο να απαιτείται έτσι ώστε η πιθανότητα υπέρβασης της οριακής τιμής για την σχεδιαστική τιμή του φορτίου επίδρασης κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου τ_1 να ισούται με :

$$P(S_c > S_{cd}) = \frac{\Phi(a_s\beta)}{r_1} \quad (\text{F.15})$$

Η αντιπροσωπευτική τιμή του δείκτη αξιοπιστίας ισούται με :

$$\beta_c = -\Phi^{-1}\{\Phi(a_s\beta)/r_1\} \quad (\text{F.16})$$

Για κάθε διάστημα τα φορτία είναι σταθερά, και τα αποτελέσματα της **Παραγράφου Ε** μπορούν να εφαρμοστούν. Αυτό σημαίνει πως οι τιμές σχεδιασμού $Q_{\max d} = \gamma_Q Q_k$ και $Q_{cd} = \gamma_Q \Psi_0 Q_k$ μπορούν να υπολογίζονται από :

$$F_{Q_c}\{\gamma_Q Q_k\} = \Phi(\beta_c) \quad (\text{F.17})$$

$$F_{Q_c}\{\gamma_Q \Psi_0 Q_k\} = \Phi(0.4\beta_c) \quad (\text{F.18})$$

Η τιμή Ψ_0 υπολογίζεται από :

$$\Psi_0 = \frac{F_{Q_c}^{-1}\{\Phi(0.4\beta_c)\}}{F_{Q_c}^{-1}\{\Phi(\beta_c)^r\}} \quad (\text{F.19})$$

Είναι επίσης δυνατόν να εκφράσουμε το Ψ_0 βάσει της συνάρτησης κατανομής της Q_{\max} .

$$\Psi_0 = \frac{F_{Q_{\max}}^{-1}\{\Phi(0.4\beta_c)^r\}}{F_{Q_{\max}}^{-1}\{\Phi(\beta_c)^r\}} \quad (\text{F.20})$$

Σε κάποιες περιπτώσεις το r μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο, είναι και κρίνεται χρήσιμο να αναπτύξουμε την εξίσωση (F.20) περαιτέρω.

$$\Psi_0 = \frac{F_{Q_{\max}}^{-1}\{\exp(-r\Phi(-0.4\beta_c))\}}{F_{Q_{\max}}^{-1}\{\Phi(0.7\beta_c)^r\}} \quad (\text{F.21})$$

Όπου το β_c δίνεται από την σχέση F.16.

F.3.2.4 Συνδυασμός τιμών για διαλείποντα φορτία-(intermittent loads)

Δεν είναι απαραίτητο τα φορτία να είναι μη-μηδενικά κατά την διάρκεια μιας περιόδου αναφοράς. Τα μοντέλα που περιγράφονται στην παράγραφο F.3.2.2 και F.3.2.3 δεν είναι ικανά να υπολογίσουν την πιθανότητα εμφάνισης μη-μηδενικών φορτίων κατά την διάρκεια χρονικών διαστημάτων τ . Σε αυτήν την περίπτωση αυτή η πιθανότητα (να έχουμε μηδενικά φορτία) θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στην συνάρτηση κατανομής.

Εφαρμογή 4

Ως ένα παράδειγμα εφαρμογής, θα θεωρήσουμε την περίπτωση όπου ο δείκτης αξιοπιστίας β είναι ίσος με $\beta = 3.8$, $a_s = 0.7$ και $V = 0.20$. Για την κατανομή του Gumbel οι τιμές του συντελεστή Ψ_0 δίνονται από τον Πίνακα F.1.

Πίνακας F.1 – Τιμές συντελεστή Ψ_0

τ	Μέθοδος σχεδιαστικών τιμών (εξίσωση F.20)	Κανόνας του Turksta(εξίσωση F.12 και F.13)
1	$\Psi_0 = 0.66$	$\Psi_0 = 0.66$
10	$\Psi_0 = 0.50$	$\Psi_0 = 0.45$
100	$\Psi_0 = 0.34$	$\Psi_0 = 0.24$

Φαίνεται λοιπόν σε αυτή την εφαρμογή πως με την μέθοδο του Turksta έχουμε μια συντηρητική προσέγγιση του συντελεστή Ψ_0 σε σχέση με την Μέθοδο Σχεδιαστικών Τιμών.

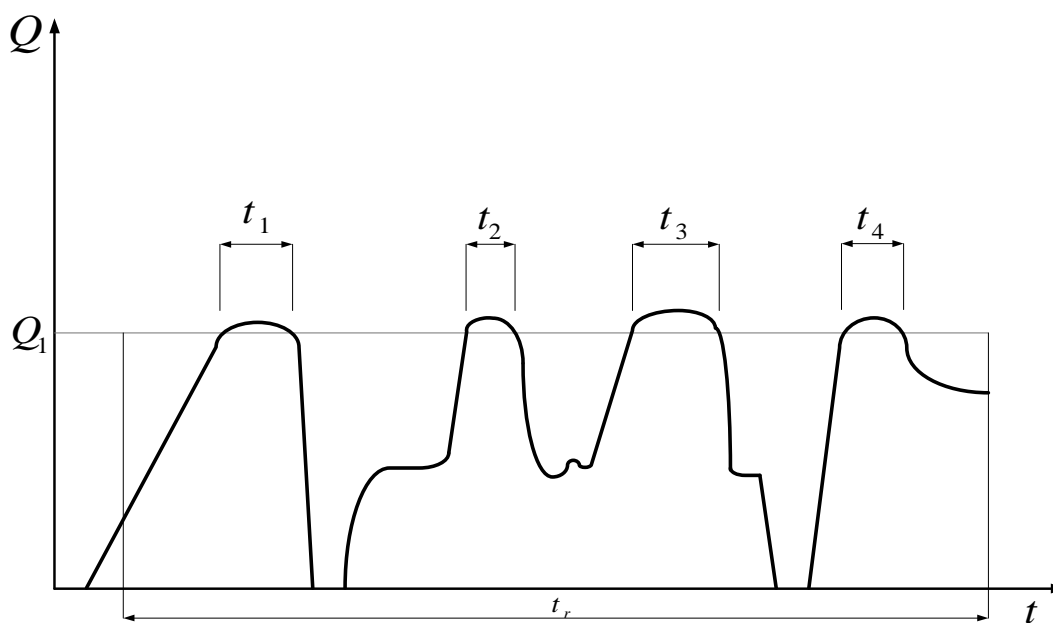
F.4 Εκτίμηση των συχνών τιμών-(frequent values)

F.4.1 Διάρκεια χρόνου όπου μια τιμή δράσης υπερβαίνεται

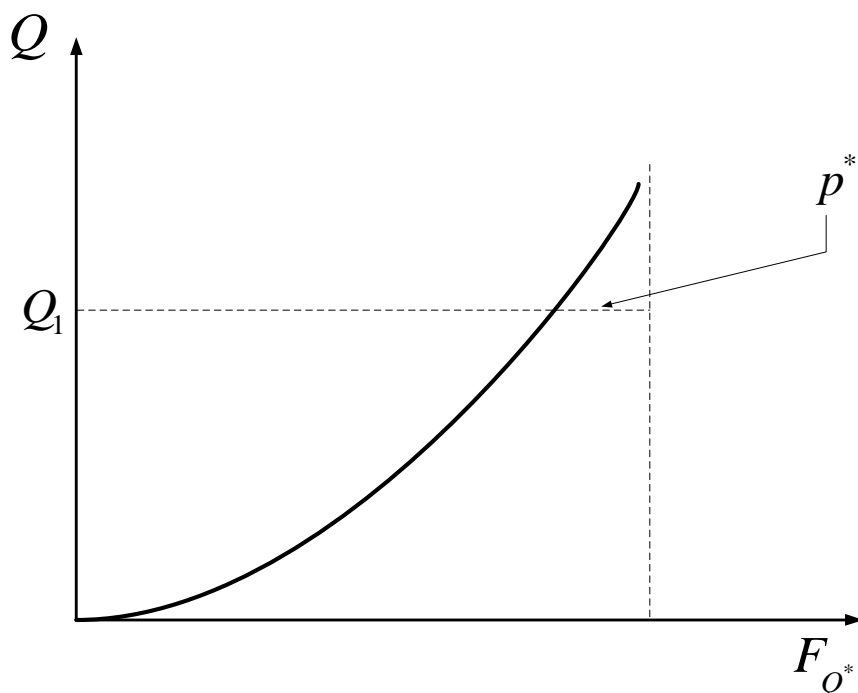
Ο πρώτος ορισμός των συχνών τιμών δίνεται στην παράγραφο 7.2 σε συνεργασία με τις συνθήκες αστοχίας που καθορίζονται στην περίπτωση **b)** στην παράγραφο 3.1.3. Ο ορισμός αυτός δηλώνει πως είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε την συχνή τιμή με τον παρακάτω τρόπο. Οι τιμές των δράσεων για μια χρονική στιγμή περιγράφονται από μια συνάρτηση του χρόνου (σύμφωνα με την Εικόνα F.5a) .

Μια δοσμένη τιμή Q_1 της η οποία τιμή υπερβαίνεται μετά από κάποιο αριθμό χρονικών περιόδων $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, δηλαδή με μια συνολική χρονική περίοδο $\sum t_i$ μέσα σε μια περίοδο αναφοράς t_r . Η συχνή τιμή της $Q_1 = \Psi_1 Q_k$ υπερβαίνεται κατά την διάρκεια :

$$n = \frac{\sum t_i}{t_r} \quad (\text{F.22})$$



F.5a)



F.5b)

Εικόνα F.5- Τιμές που υπερβαίνουν την συχνή τιμή Q_1

Η συνάρτηση κατανομής $F_{Q^*}(Q)$ της Q^* , που αναφέρεται σε αυτές τις περιόδους που το Q δεν είναι ίσο με το μηδέν φαίνεται στην Εικόνα F.5b). Η πιθανότητα p^* για την οποία υπερβαίνεται η τιμή Q_1 είναι ίση με :

$$p^* = 1 - F_{Q^*}(Q_1) \quad (\text{F.23})$$

Για εργοδικές διαδικασίες ο αριθμός των n μπορεί να υπολογιστεί από :

$$n = \frac{\sum t_i}{t_r} = p^* q \quad (\text{F.24})$$

Όπου q η πιθανότητα μιας μη-μηδενικής τιμή του Q .

Συνεπώς εάν η τιμή του n έχει καθοριστεί, η τιμή της Q_1 μπορεί να υπολογιστεί από :

$$Q_1 = F_{Q^*}^{-1} \left(1 - \frac{n}{q} \right) \quad (\text{F.25})$$

Και η μείωση του συντελεστή Ψ_1 είναι ίση με :

$$\Psi_1 = \frac{Q_1}{Q_k} \quad (\text{F.26})$$

όπου η χαρακτηριστική τιμή του Q_k αποφασίζεται από την παράγραφο **F.2**.

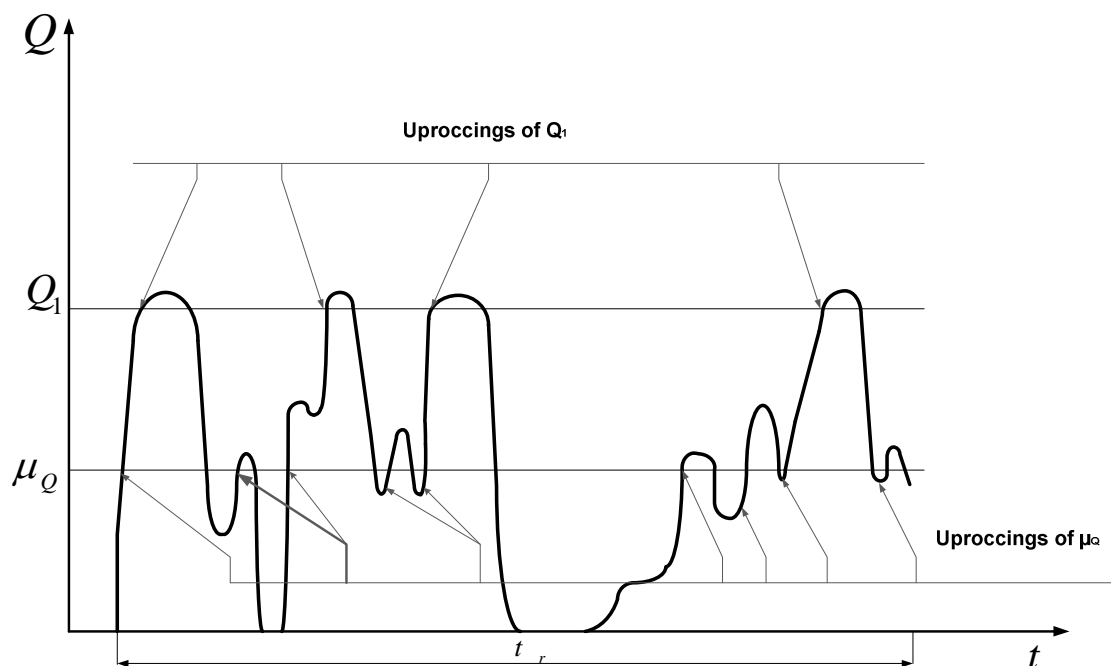
Όταν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες από τις παρατηρήσεις , η μέθοδος που περιγράφεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την εκτίμηση των τιμών δράσεων .Σε άλλες περιπτώσεις , η εκτίμηση πρέπει να βασίζεται σε σωστή κρίση.

Εάν δύο ή περισσότερες δράσεις σε συνδυασμό συμβάλλουν στην εμφάνιση μιας επίδρασης S^* , η τιμή της P^* στην εξίσωση **F.24** θα πρέπει αρχικά να προέρχεται από την συνάρτηση κατανομής $F_{S^*}(S)$ για τις συνδυασμένες τιμές επίδρασης .Σε πρακτικές εφαρμογές υπάρχει συνήθως μια δράση με μια συχνή τιμή συνδυασμού. Οι υπόλοιπες δράσεις εμφανίζονται με τις σχεδόν-μόνιμες τιμές τους . Αυτό θεωρείται μια λογική παραδοχή για να συμπεριλάβουμε τις επιδράσεις διάφορων μεταβλητών δράσεων.Οι καθορισμένες τιμές του n είναι συνήθως μικρές , μικρότερες από 0,1.

F.4.2 Συχνότητα που υπερβαίνεται μια τιμή δράσης

Εάν χρησιμοποιείται ο δεύτερος ορισμός της συχνότητας που ορίζεται στην παράγραφο **7.2** , τότε η τιμή της θα πρέπει να καθορίζεται από τον αριθμό των υπερβάσεων (**Εικόνα F.6**) ανά λεπτό , δηλαδή η υπερβατική τιμή δεν θα ξεπερνάει μια καθορισμένη τιμή ω_s .

Οι τιμές υπερβάσεων μπορούν να καθοριστούν με άμεση παρατήρηση ή με την χρήση άλλων μεθόδων.



Εικόνα F.6- Υπερβατικές τιμές για τις Q_1 και μ_Q .

Εάν είναι γνωστή η υπερβατική τιμή ω_m της μέσης τιμής μ_Q για την συγκεκριμένη χρονική τιμή (βλ. **Εικόνα F.6**), και εάν η δράση διέπεται από μια σταθερή εργοδική μέθοδο του Gauss, τότε η τιμή της Q_1 που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή ω_s μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση :

$$Q_1 = \mu_Q + \sigma_{Q^*} \sqrt{\ln(\omega_m / \omega_s)^2} \quad (\text{F.27})$$

όπου σ_{Q^*} είναι η τυπική απόκλιση για την Q^* .

Και η μείωση του συντελεστή Ψ_1 είναι ίση με :

$$\Psi_1 = \frac{Q_1}{Q_k} \quad (\text{F.28})$$

Εάν δύο οι περισσότερες δράσεις Q_k , προκαλούν η καθεμία μια δράση επίδρασης S_i , οι οποίες με την σειρά τους συνεισφέρουν στο συνολικό S^* έτσι ώστε $S^* = \sum S_i^*$, η τιμή της ω_m για τις μέσες τιμές μ_{S^*} υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$\omega_m^2 = \frac{\sum \omega_i^2 \sigma_{S^*i}^2}{\sum \sigma_{S^*i}^2} \quad (\text{F.29})$$

Όπου

ω_i είναι η τιμή υπέρβασης για μέση τιμή μ_{S^*i}

σ_{S^*i} είναι η τυπική απόκλιση για S^*i

Όπως και πριν η σύχνη τιμή σχετίζεται με την καθορισμένη πιθανότητα αστοχίας (από την περίπτωση c) της παραγράφου 3.1.3).

F.5 Εκτίμηση των σχεδόν μόνιμων τιμών-(quasi –permanent actions)

Ο ορισμός των σχεδόν μόνιμων τιμών είναι σχεδόν παρόμοιος με τον ορισμό των συχνών τιμών για την περίπτωση της παραγράφου F.4.1. Η μόνη διαφορά είναι στις αριθμητικές τιμές. Οι αριθμητικές τιμές των n συχνών τιμών βρίσκονται ανάμεσα στο διάστημα 0 και .1 ενώ για τις σχεδόν μόνιμες τιμές είναι περίπου στο 0.5. Συνεπώς η διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο F.4.1 και στις εξισώσεις (F.22) έως και (F.24) μπορούν να εφαρμοστούν για την εκτίμηση των σχεδόν μόνιμων τιμών.

Κεφάλαιο G -Εφαρμογή μεθόδου συνδυαστικών δράσεων

G.1 Γενικά

Το συγκεκριμένο παράρτημα παρουσιάζει μια μέθοδο στον συνδυασμό των τιμών των δράσεων (υπάρχουν διάφορες άλλες μέθοδοι) που βασίζεται στις προδιαγραφές της παραγράφου 7.5.

Η βασική αρχή της είναι η παρακάτω :

- Μια δράση που θεωρείται ως "κυρίαρχη" ή "δεσπόζουσα" (dominating) παρουσιάζεται στον συνδυασμό με μια υπερβολική τιμή σχεδιασμού
- Όλες οι άλλες τιμές παρουσιάζονται με λογικές τιμές

Οι πιθανές τιμές των μόνιμων δράσεων (permanent actions) υπολογίζονται με τον πολλαπλασιασμό από έναν συντελεστή ξ , του οποίου η τιμή είναι διαφορετική για δυσμενείς και επιθυμητές δράσεις .

Οι πιθανές τιμές των μεταβλητών δράσεων (variable actions) υπολογίζονται με τον πολλαπλασιασμό του συντελεστή Ψ .

Οι πιθανές τιμές των τυχαίων δράσεων είναι ίσες με μηδέν.

Συχνά δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων ποια δράση θα θεωρηθεί ως δεσπόζουσα " που θα δημιουργήσει τις πιο δυσμενής συνέπειες στην κατασκευή , για αυτό τον λόγο πρέπει να μελετώνται πολλές περιπτώσεις .

G.2 Εφαρμογές

Στον Πίνακα G.1 δίνονται σχεδιαστικές τιμές για απόλυτες οριακές καταστάσεις για τρία είδη συνδυασμών με κυρίαρχες **μόνιμες δράσεις** (permanent actions), **μεταβλητές** (variable actions) και **τυχαίες δράσεις** (accidental actions) . Ο συνδυασμός διαβάζεται οριζόντια .

Πίνακας G.1- Σχεδιαστικές τιμές για συνδυασμό φορτίων – στις απόλυτες οριακές καταστάσεις

Συνθήκες σχεδιασμού	Σχεδιαστικές τιμές				
	Μόνιμες δράσεις		Μεταβλητές δράσεις		Τυχηματικές δράσεις
	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	Δεσπόζουσα	Μη – δεσπόζουσα	
Συνεχής ή προσωρινές	$\gamma_G G_k$		-	$\gamma_Q \Psi_0 Q_k$	-
	-	$\xi \gamma_G G_k$	$\gamma_Q Q_k$	$\gamma_Q \Psi_0 Q_k$	-
Τυχηματικές	-	$\xi \gamma_G G_k$	-	$\gamma_Q \Psi_0 Q_k$	A_d
γ_G είναι ο μερικός συντελεστής για μόνιμες δράσεις γ_Q είναι ο μερικός συντελεστής για μεταβλητές δράσεις					

Στον **Πίνακα G.2** δίνονται οι τιμές σχεδιασμού για οριακή κατάσταση στην λειτουργικότητα , για τους τρεις τύπους συνδυασμών , **χαρακτηριστικός**(characteristic) , **συχνός**(frequent) , **σχεδόν – μόνιμος** (quasi-permanent).

Πίνακας G.2- Σχεδιαστικές τιμές για συνδυασμό φορτίων –στην οριακή κατάσταση της λειτουργικότητας

Είδος συνδυασμού	Σχεδιαστικές τιμές		
	Δεσπόζουσα	Μεταβλητές	
		Κυρίαρχη	Μη –δεσπόζουσα
Χαρακτηριστικός	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q Q_k$	-
Συχνός	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q \Psi_1 Q_k$	$\gamma_Q \Psi_2 Q_k$
Σχεδόν μόνιμος-ημιμόνιμος	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q \Psi_2 Q_k$	

Οι χαρακτηριστικοί συνδυασμοί χρησιμοποιούνται κυρίως στην περίπτωση που η υπερβατική οριακή κατάσταση μπορεί να προξενήσει σοβαρές μόνιμες βλάβες

Ο συχνός συνδυασμός χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου η υπερβατική οριακή κατάσταση μπορεί να προκαλέσει τοπική ζημιά , μεγάλες παραμορφώσεις και κραδασμούς , τα οποία είναι προσωρινές βλάβες .

Ο σχεδόν μόνιμος συνδυασμός χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις όπου φαινόμενα μεγάλης διάρκειας είναι καθοριστικά Σε ειδικές περιπτώσεις άλλοι πιθανοί συνδυασμοί μπορούν να εισαχθούν .

**Παράρτημα 2 -Γερανοί- Αρχές σχεδιασμού για
φορτία και συνδυασμό φορτίων στους γερανούς**

Περιεχόμενα

ΜΕΡΟΣ 1^ο

1.Σκοπός	100
2. Ορισμοί	100
3. Συμβολισμοί	101
4. Γενικά	102
5. Φορτία και συντελεστές φορτίων	104
5. 1 Κανονικά φορτία	105
5. 1.1Φορτία που εμφανίζονται στο σύστημα ανύψωσης λόγω της ανύψωσης και της βαρύτητας	105
5. 1.2Επιδράσεις της αδράνειας και των δυνάμεων βαρύτητας που ενεργούν κάθετα στο μεικτό βάρος	105
5. 1.2.1 Κατηγορίες ανύψωσης	107
5. 1.2.2 Ανύψωση ελεύθερου φορτίου από το έδαφος	106
5. 1.2.2.1Κανονική λειτουργία	107
5. 1.2.2.2 Ειδικές περιπτώσεις λειτουργίας	107
5. 1.2.3 Επιδράσεις της απότομης απελευθέρωσης μέρους από ωφέλιμο φορτίο	107
5. 1.3 Φορτία που προκαλούνται κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια	108
5. 1.3.1 Περίπτωση κίνησης πάνω σε οδόστρωμα	108
5. 1.3.2 Περίπτωση κίνησης πάνω σε σιδηροτροχιές	109
5.1.4 Φορτία που προκαλούνται επιταχύνσεις για τους μηχανισμούς κίνησης συμπεριλαμβάνοντας και μηχανισμό ανύψωσης	110
5. 1.5 Φορτία που προκαλούνται από μετατοπίσεις	111
5. 2 Τυχαία φορτία	111
5. 2.1 Κλιματικές επιδράσεις	111
5. 2.1.1 Φορτία ανέμου στην κατάσταση λειτουργίας	111
5. 2.1.2 Φορτία χιονιού και πάγου	112
5. 2.1.3 Φορτία που προκαλούνται από μεταβολές της θερμοκρασίας	112
5. 2.2 Φορτία που δημιουργούνται από στρεβλώσεις	112
5. 3 Κατ'εξάιρεση φορτία	112
5. 3.1Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας	112
5.3.2 Φορτία ελέγχου	113
5.3.3 Δυνάμεις πρόσκρουσης	113
5. 3.4 Φορτία λόγω κλίσης	114
5. 3.5 Φόρτιση από διακοπή της λειτουργίας λόγω κινδύνου	117
5. 3.6 Φορτία που προκαλούνται από αστοχία του μηχανισμού ή από τα	

μηχανικά στοιχεία του	117
5. 3.7 Φορτία που προκαλούνται από διέγερση της θεμελίωσης της ανυψωτικής συσκευής	118
5. 4 Ειδικά φορτία	118
5. 4.1 Φορτία που προκαλούνται κατά την συναρμολόγηση , διάλυση και μεταφορά	118
5.4.2 Φορτία σε πλατφόρμες και σε άλλα μέσα που παρέχουν πρόσβαση	118
6 Αρχές στον σχεδιασμό φορτίων και στον συνδυασμό φορτίων	119
6.1 Γενικά	119
6.1.1 Βασικοί συνδυασμοί φορτίων	122
6.2 Συνδυασμοί φορτίων κατά την συναρμολόγηση, ανέγερση και μεταφορά της κατασκευής	122
6.3 Εφαρμογή του Πίνακα 3	122
6.3.1 Γενικά	122
6.3.2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης	122
6.3.3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης	123
6.3.4 Μετατοπίσεις λόγω ελαστικότητας	123
6.3.5 Αντοχή σε κόπωση	123
6.3.6 Εφαρμογές υψηλού κινδύνου	123
Κεφάλαιο Α-Εφαρμογή της μεθόδου της επιτρεπόμενης τάσης και της της οριακής κατάστασης	124
Α.1 Εισαγωγή	124
Α.2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης	124
Α.3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης	125
Κεφάλαιο Β-Τιμές για τους μερικούς συντελεστές	127
Κεφάλαιο C-Σχολιασμός για την εφαρμογή των συντελεστών φ	128
C.1 Δυναμικές επιδράσεις	128
Κεφάλαιο D- Εκτίμηση της τιμής του συντελεστή φ4 με κίνηση πάνω σε σιδηροτροχιές	129
D.1 Γενικά	129
D.2 Κινηματικό μοντέλο ελαστικού σώματος	129
D.2.1 Κίνηση τροχού σε εμπόδιο ή κενό	130
D.2.2 Συναρτήσεις ανωμαλίας για την διέγερση του κινηματικού μοντέλου	130
D.2.3 Μέγιστες κατακόρυφες επιταχύνσεις	132
D.2.3.1 Στο κατώτερο μέρος του ελατηρίου	132
D.2.3.2 Μέγιστη επιτάχυνση της μάζας όταν συναντάει ένα εμπόδιο	132
D.2.3.3 Μέγιστη επιτάχυνση της μάζας όταν συναντάει ένα κενό	132

D.2.3.4 Συντελεστές ξ_s και ξ_G	132
D.2.3.5 Δυναμικός συντελεστής φ_4	133
D.2.3.6 Σχολιασμός	134

Κεφάλαιο Ε-Εφαρμογή για την εκτίμηση φορτίων που δημιουργούνται από τις επιταχύνσεις

E.1 Κινηματική ανάλυση στερεού σώματος	134
E.2 Δυνάμεις	136
E.2.1 Δυνάμεις κίνησης και εξωτερικές δυνάμεις	138
E.2.2 Απώλειες τριβής στους τροχούς	138
E.3 Επιταχύνσεις από το μηχανισμό κίνησης	139
E.4 Φορτία και επιδράσεις φορτίων	140
E.5 Επιταχύνσεις	141
E.6 Σχεδιασμός φορτίων στα μηχανικά στοιχεία	141
E.7 Σχεδιασμός των επιδράσεων των φορτίων στα μηχανικά στοιχεία	141

Κεφάλαιο F-Εφαρμογή για τον υπολογισμό των φορτίων που δημιουργούνται λόγω κλίσης

F.1 Υπολογιστικό μοντέλο	143
F.2 Σχέση μεταξύ των εφαπτόμενων δυνάμεων και τις μετατοπίσεις	145
F.3 Φορτία λόγω κλίσης	146
F.4 Εφαπτόμενες δυνάμεις F_x και F_y	148

ΜΕΡΟΣ 2^ο - ΚΙΝΗΤΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ

1.Σκοπός	149
-----------------	-----

2.Ορολογία	149
-------------------	-----

3. Επιλογή φορτίων και συνδυασμό φορτίων	149
---	-----

3.1 Περιγραφή	149
3.2 Εμφάνιση ταυτόχρονων επιταχύνσεων	149
3.3 Πλευρική φόρτιση	150
3.4 Ανέγερση και διάλυση του γερανού	150
3.5 Αυτόματες ενέργειες εκκίνησης	150

4 Φορτία που δημιουργούνται κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού κίνησης	150
---	-----

4.1 Γενική περιγραφή	150
4.2 Επιδράσεις κατά την περιστροφική κίνηση	151
4.3 Επιδράσεις κατά την ανύψωση	152
4.4 Εφαρμογή των αλλαγών στην δύναμη κίνησης, ΔF	152

5. Υπολογισμοί φορτίων	152
5. 1 Γενικά	152
5. 2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης	153
5. 3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης	153
6.Πλευρική φόρτιση και παραμορφώσεις σε πτυσσόμενους γερανούς	153
Κεφάλαιο Α	160
Κεφάλαιο Β-Ταυτόχρονες επιταχύνσεις	160
B.1 Αυτοκινούμενοι γερανοί με δικτυωτή κεραία	160
B.2 Τροχοφόροι κινητοί γερανοί με δικτυωτή κεραία	161
B.3 Αυτοκινούμενοι γερανοί με τηλεσκοπική κεραία	161
Κεφάλαιο C-Συνδυασμοί φορτίων από τους Πίνακες 1 και 2	162
C.1 Γενική περιγραφή	162
C.2 Συμβολισμοί	163
C.3 Εφαρμογή των δυναμικών συντελεστών	163
C.4 Επιλογή του κατάλληλου φορτίου για τους αντίστοιχους συνδυασμούς φορτίων	164
C.5 Παράδειγμα εφαρμογής των συνδυασμό φορτίων	166
C.5.1 Μέθοδος επιτρεπόμενης τάσης: Συνδυασμός φορτίων A3	166
C.5.2 Μέθοδος της οριακής κατάστασης : Συνδυασμός φορτίων A3	166
ΜΕΡΟΣ 3^ο - ΠΥΡΓΩΤΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ	
1.Σκοπός	166
2.Γενικά	166
3. Φορτία και συντελεστές φορτίων	166
4. Φορτία και συνδυασμός φορτίων –Γενικός σχεδιασμός	169
4.1 Αδρανειακές δυνάμεις	169
4.2 Φορτία ανέμου σε κανονική κατάσταση λειτουργίας	169
4.3 Κατάλληλοι συνδυασμοί φορτίων	169
ΜΕΡΟΣ 4^ο - ΓΕΡΑΝΟΙ ΚΕΡΑΙΑΣ	
1.Σκοπός	170

2. Επιλογή φορτίων και συνδυασμό φορτίων	170
2.1 Περιγραφή	170
2.2 Εμφάνιση ταυτόχρονων επιταχύνσεων	170
2.3 Πλευρική φόρτιση	170
3. Έκτακτες λειτουργίες	171
3.1 Χειροκίνητες ενέργειες εκκίνησης	171
3.2 Αυτόματες ενέργειες εκκίνησης	171
4 Φορτία κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού κίνησης	171
4.1 Επιδράσεις κατά την ανύψωση	171
4.2 Επιδράσεις από μηχανισμούς εκτός της ανύψωσης	171
4.3 Εφαρμογή των αλλαγών στην δύναμη κίνησης , ΔF	172
5. Υπολογισμοί φορτίων	172
5. 1 Γενικά	172
5. 2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης	172
5. 3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης	172
ΜΕΡΟΣ 5^ο- ΓΕΡΑΝΟΙ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΤΥΠΟΥ ΚΑΙ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΕΣ	
1.Σκοπός	178
2. Εφαρμογή των συντελεστών ϕ_n	178
3. Κατηγορίες ανύψωσης	181
4. Συνδυασμός των επιδράσεων των φορτίων	181

ΜΕΡΟΣ 1^ο

1. Σκοπός

Το συγκεκριμένο πρότυπο καθιερώνει γενικές μεθόδους για τον υπολογισμό φορτίων , και προδιαγραφές που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των συνδυασμών φορτίων για την απόδειξη της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής και των κατασκευαστικών μελών της , όπως ορίζονται από το ISO 4306-1.

Βασίζεται στην κινηματική ανάλυση στερεού σώματος και στην ελαστοστατική ανάλυση και μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε πιο προχωρημένες μεθόδους (υπολογισμούς και δοκιμές) για την εκτίμηση των επιδράσεων των φορτίων και των συνδυασμό φορτίων, καθώς και τις τιμές των μερικών συντελεστών των φορτίων, με τα οποία αποδεικνύεται πως μπορούν να μας παρέχουν μια ισοδύναμη προσέγγιση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.

Το συγκεκριμένο πρότυπο έχει σκοπό να διακρίνει δύο είδη εφαρμογών :

- a. Παρέχει μια γενική μέθοδο , εύρος και το περιεχόμενο των τιμών των παραμέτρων για την χρήση συγκεκριμένων προτύπων που αναπτύσσονται σε μεμονωμένες εφαρμογές ανύψωσης .
- b. Παρέχει ένα πλαίσιο για την συμφωνία των φορτίων και των συνδυασμό φορτίων ανάμεσα στον σχεδιαστή και στον κατασκευαστή για εκείνες τις εφαρμογές ανύψωσης όπου δεν υπάρχουν καθορισμένα πρότυπα .

Όταν εφαρμόζεται αυτό το μέρος του πρότυπου σε διαφορετικές εφαρμογές ανύψωσης , με την ίδια λειτουργία και τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες , θα πρέπει να αναζητείται η ισοδύναμη αντίσταση στην αστοχία των υλικών .

2. Ορισμοί

Φορτία : Εξωτερικές και εσωτερικές δράσεις με την μορφή δυνάμεων , μετατοπίσεις ή θερμοκρασία , οι οποίες προκαλούν εντάσεις στην κατασκευή και στα κατασκευαστικά στοιχεία της κατά την διάρκεια της ανύψωσης

Κινηματική ανάλυση στερεού σώματος : Η μελέτη της κίνησης και των εσωτερικών δυνάμεων του συστήματος μοντελοποιημένα από στοιχεία τα οποία υποθέτουμε πως χαρακτηρίζονται από μη-ελαστική συμπεριφορά.

Κινηματική ανάλυση παραμορφώσιμου σώματος : Η μελέτη των σχετικών ελαστικών μετατοπίσεων (παραμορφώσεις) , και η κίνηση των εσωτερικών

δυνάμεων μοντελοποιημένα από στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζονται από ελαστική συμπεριφορά .

3. Συμβολισμοί

Οι κυριότεροι συμβολισμοί δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 1

Πίνακα 1

Σύμβολα	Περιγραφή
φ	Συντελεστές δυναμικής επίδρασης
φ_1	Συντελεστές ανύψωσης και επίδρασης της βαρύτητας που επιδρούν στο βάρος ανύψωσης
α	Όρος που χρησιμοποιείται κατά την επιλογή την τιμή του συντελεστή φ_1
φ_2	Συντελεστής ανύψωσης φορτίου που βρίσκεται στο έδαφος
φ_3	Συντελεστής δυναμικής επίδρασης στην αιφνίδια ελλάτωση του φορτίου
φ_4	Συντελεστής δυναμικής επίδρασης κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια
φ_5	Συντελεστής δυναμικής επίδρασης λόγω επιταχύνσεως του συστήματος κίνησης του γερανού
φ_6	Συντελεστής επίδρασης των δυναμικών φορτίων στις δοκιμές
φ_7	Συντελεστής για ελαστικές επιδράσεις από συγκρούσεις
HC ₁ έως και HC ₄	Κατηγορίες ανυψωτικού μηχανισμού σύμφωνα με την λειτουργία ανύψωσης
β_2	Συντελεστής που εξαρτάται από την κατηγορία ανύψωσης
β_3	Όρος που χρησιμοποιείται για την εκλογή της τιμής του συντελεστή φ_3
v_h	Σταθερή ταχύτητα ανύψωσης σε m/sec
F_x, F_{x2}, F_{x4}	Δυνάμεις πρόσκρουσης
$\gamma_{fA}, \gamma_{fB}, \gamma_{fC}$	Συντελεστές για την υπολογισμό της επιτρεπόμενης τάσης
γ_p	Μερικός συντελεστής για το φορτίο
γ_m	Συντελεστής αντίστασης
γ_n	Συντελεστής για εφαρμογές με υψηλό κίνδυνο
m	Η μάζα του φορτίου
$nm = m - \Delta m$	Το τμήμα της μάζας του φορτίου που κατά την διάρκεια της ανύψωσης παραμένει μετά από την απελευθέρωση του φορτίου.

4. Γενικά

4.1 Ο αντικείμενος σκοπός των κατάλληλων υπολογισμών που διεξάγονται σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρότυπο είναι να καθορίσει με μαθηματικό τρόπο πως η λειτουργία της ανύψωσης είναι επαρκής σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή .

Η βάση αυτής της απόδειξης έναντι αστοχίας είναι η σύγκριση ανάμεσα στις υπολογίσιμες τάσεις που προκαλούνται από τα φορτία και τις αντίστοιχες δυνάμεις της κατασκευής και των μηχανικών στοιχείων της που δημιουργούνται κατά την λειτουργία της ανύψωσης .

Η απόδειξη αυτή μπορεί επίσης να απαιτείται για την ευστάθεια της κατασκευής . Εδώ η σύγκριση γίνεται μεταξύ των μετρήσιμων ροπών ανατροπής που προκαλούν τα φορτία και στην καθορισμένη αντίσταση ανατροπής που υπολογίζεται από την λειτουργία της ανύψωσης . Συνεπώς μπορεί να υπάρξουν περιορισμοί στις δυνάμεις οι οποίοι είναι απαραίτητοι να παρέχουν την κατάλληλη ευστάθεια για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες μετατοπίσεις των τμημάτων της ανύψωσης ή μελών της , για παράδειγμα η στήριξη των συρματόσχοινων να γίνεται χωρίς φορτίο , με αποτέλεσμα η κατασκευή να ολισθαίνει .

Οι συνέπειες στις διαφορές μεταξύ της υπαρκτής γεωμετρίας από μια ιδανική γεωμετρία των μηχανικών και κατασκευαστικών στοιχείων (π.χ οι επιδράσεις των ανοχών κ.α) θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη .Συνεπώς θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται συγκεκριμένα στην επίλυση της αντοχής σε συνδυασμό με τα φορτία που εφαρμόζονται , όπου μπορούν να προκαλέσουν τάσεις οι οποίες θα υπερβαίνουν τις οριακές τιμές.

4.2 Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό των τάσεων κατά τον κατασκευαστικό σχεδιασμό:

- a) Η μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης , όπου οι τάσεις σχεδιασμού προκαλούνται από συνδυασμό φορτίων και συγκρίνονται με την επιτρεπόμενη τάση στο στοιχείο το οποίο εξετάζεται με τις ανάλογες συνθήκες και τον τύπο του. Ο προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τάσης γίνεται βασισμένος με την ασφάλεια σύμφωνα με την ασφάλεια αυτή έναντι της αστοχίας , όπως είναι για παράδειγμα η τάση διαρροής υλικού στην κατασκευή , ελαστική αστάθεια και κόπωση .
- b) Η μέθοδος της οριακής κατάστασης , όπου εισάγονται μερικοί συντελεστές φορτίων για να εφαρμοστούν στα φορτία προτού αυτά συνδυαστούν και στην συνέχεια να συγκριθούν με την οριακή κατάσταση που επιβάλλεται στην κατασκευή .Κάθε μερικός συντελεστής για κάθε φορτίο καθορίζεται από τον βαθμό αξιοπιστίας και την ακριβείας της κατασκευής μέσω του οποίου καθορίζεται και

στην συνέχεια και το συνολικό φορτίο. Οι τιμές των οριακών καταστάσεων περιλαμβάνουν χαρακτηριστικές τάσεις των μελών μειωμένες έτσι ώστε να αντικατοπτρίζουν τις στατιστικές αποκλίσεις στην αντοχή τους και στις γεωμετρικές παραμέτρους .

Γενικότερα η μέθοδος της οριακής κατάστασης επιτρέπει έναν πιο αποδοτικό σχεδιασμό επειδή λαμβάνει υπόψη του μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό του βάρους που θα εφαρμοστεί , και έχει μικρότερη ακρίβεια στις τιμές των αντιπροσωπευτικών φορτίων που θα εφαρμοστούν.

Το παράρτημα Α δίνει μια λεπτομερειακή περιγραφή της εφαρμογής των δύο μεθόδων , την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και την μέθοδο της οριακής κατάστασης .

4.3 Για να υπολογίσουμε τις τάσεις από τα φορτία που θα εφαρμοστούν , χρειάζεται ένα κατάλληλο μοντέλο για την αντίστοιχη εφαρμογή που εκτελείται . Σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρότυπο , φορτία τα οποία προκαλούν επιδράσεις οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με τον χρόνο λαμβάνονται ως ισοδύναμα στατικά φορτία σύμφωνα πάντα με την κατάλληλη εμπειρία , τις δοκιμές , ή τους κατάλληλους υπολογισμούς .

Η κινηματική μελέτη ενός στερεού σώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές για την εκτίμηση των δυνάμεων οι οποίες είναι απαραίτητες για την προσομοίωση της αντίδρασης του παραμορφώσιμου συστήματος .

Για τις δύο μεθόδους την επιτρεπόμενη τάση και την οριακή κατάσταση , και για την μελέτη της ευστάθειας και των μετατοπίσεων της κατασκευής , φορτίων , συνδυασμό φορτίων , συντελεστές φορτίων , θα πρέπει και οι δύο μέθοδοι να τοποθετούνται είτε στην βάση των πειραμάτων σε συμφωνία με άλλα Διεθνή Πρότυπα (ISO) , είτε στην βάση πειραματικών και στατιστικών πληροφοριών . Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μέρος (Μέρος 1) θεωρούνται ως καθορισμένες παράμετροι.

Όταν ένα συγκεκριμένο φορτίο δεν εμφανίζεται σε έναν γερανό (για παράδειγμα φορτία ανέμου σε εφαρμογή που γίνεται σε εσωτερικό χώρο) τότε το φορτίο αυτό μπορεί να αμεληθεί στους υπολογισμούς της αντοχής . Όμοια , διάφορα φορτία μπορούν να τροποποιηθούν όταν προέρχονται από :

- a. Συνθήκες οι οποίες απαγορεύονται από τις οδηγίες της εφαρμογής
- b. Χαρακτηριστικά τα οποία δεν εμφανίζονται στον σχεδιασμό
- c. Συνθήκες οι οποίες εμποδίζονται ή καταργούνται από τον σχεδιασμό της εφαρμογής .

Εάν οι υπολογισμοί της αντοχής βασίζονται σε ένα μοντέλο πιθανοτήτων , οι σχετικές συνθήκες , και πιο συγκεκριμένα η αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας πρέπει να εκτιμάται .

5. Φορτία και συντελεστές φορτίων

Αυτή η παράγραφος παρουσιάζει τα φορτία και το εύρος των τιμών για τους συντελεστές φορτίων που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της αντοχής όταν οι επιδράσεις των φορτίων είναι καθορισμένες .

Ξεχωριστές τιμές για ειδικές μορφές ανύψωσης δίνονται στα υπόλοιπα μέρη του συγκεκριμένου πρότυπου .

Τα φορτία που επιδρούν σε μια ανύψωση , χωρίζονται στις εξής κατηγορίες , κανονικά φορτία (regular) , τυχαία (occasional) , κατ'εξαιρεση φορτία(exceptional) και ειδικά φορτία (miscellaneous). Μεμονωμένα φορτία θεωρούνται τα φορτία εκείνα που είναι σχετικά με την μορφή της ανύψωσης και της χρήση της .

- a) **Τα κανονικά φορτία** εμφανίζονται κατά την κανονική λειτουργία , και θα πρέπει να μελετώνται κατά τους υπολογισμούς έναντι της αστοχίας της κατασκευής , από διαρροή υλικού , ελαστική αστάθεια και , όταν αυτό είναι δυνατόν έναντι σε κόπωση. Προέρχονται από την βαρύτητα και απο τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις που παράγονται απο το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και τα φρένα που ενεργούν πάνω στο βάρος της μάζας που ανυψώνεται και στο φορτίο ανύψωσης , καθώς και από διάφορες μετατοπίσεις .
- b) **Τυχαία φορτία** και οι επιδράσεις τους είναι εκείνα τα φορτία που εμφανίζονται σπάνια και συνήθως αμελούνται στους υπολογισμούς για την εκτίμηση της αντοχής . Συμπεριλαμβάνουν φορτία που προκαλούνται από άνεμο , χιόνι και πάγο στη κατάσταση λειτουργίας θερμοκρασίες και απο στρεβλώσεις .
- c) **Τα κατ'εξαιρεση φορτία** και οι επιδράσεις τους εμφανίζονται σπάνια και μπορούν να επίσης να μην συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς της αντοχής . Συμπεριλαμβάνουν φορτία που προέρχονται από τις δοκιμές στην κατασκευή , φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας , δυνάμεις πρόσκρουσεις και κλίσεις , όπως επίσης και από έκτακτη διακοπή της λειτουργίας , αστοχία του συστήματος μετάδοσης της κίνησης , και υπερβολικές τιμές στο φορτίο ανύψωσης .
- d) **Τα ειδικά φορτία** περιλαμβάνουν φορτία ανέγερσης και φορτία θραύσης και επίσης φορτία σε πλατφόρμες και σε μέσα πρόσβασης .

Η κατηγορία στη οποία κατατάσσεται ένα φορτίο δεν είναι μια σημαντική ένδειξη ή κρίσιμη για το συγκεκριμένο φορτίο. Για παράδειγμα φορτία ανέγερσης και θραύσης , παρόλο που ανήκουν στην τελευταία κατηγορία θα πρέπει να δίνεται σημαντική προσοχή όταν ένα σημαντικό μέρος των

ατυχημάτων εμφανίζεται κατά την διάρκεια τέτοιων καταστάσεων λειτουργίας

5. 1 Κανονικά φορτία

5. 1.1 Φορτία που εμφανίζονται στο σύστημα ανύψωσης λόγω της ανύψωσης και της βαρύτητας .

Η μάζα ανύψωσης συμπεριλαμβάνει εκείνα τα στοιχεία που είναι πάντοτε στην θέση τους κατά την λειτουργία , εκτός από το ωφέλιμο φορτίο(βλ. Εικόνα 5.1.2).Για κάποιες εφαρμογές μπορεί να είναι απαραίτητο να προσθέσουμε μάζα για τον υπολογισμό συγκράτησης των υλικών που μεταφέρεται , όπως είναι το κάρβουνο , η σκόνη κ.α.

Οι δυνάμεις βαρύτητας που προκαλούνται από την μάζα της εφαρμογής θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται από έναν συντελεστή φ_1 όπου δίνεται από την σχέση $\varphi_1 = 1 \pm a$ με $0 \leq a \leq 0,1$.Κατά αυτόν τον τρόπο λαμβάνονται υπόψη οι ταλαντώσεις που προκύπτουν από την διαδικασία της ανύψωσης , όταν ανυψώνεται το μεικτό βάρος απο το έδαφος. Υπάρχουν πάντα δύο τιμές του συντελεστή έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει τις χαμηλές και υψηλές τιμές των ταλαντώσεων .

Ο συντελεστής φ_1 θα πρέπει να χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό της ανυψωτικής κατασκευής , σε μερικές περιπτώσεις εφαρμόζονται και οι δύο τιμές του συντελεστή για να βρούμε τις πιο κρίσιμες τιμές των φορτίων σε στοιχεία και τους συνδέσμους της κατασκευής .

Το κεφάλαιο C παρουσιάζει μια γενική μέθοδο για την εφαρμογή του συντελεστή φ

5. 1.2 Επιδράσεις της αδράνειας και των δυνάμεων βαρύτητας που ενεργούν κάθετα στο μεικτό βάρος .

Η μάζα του μεικτού βάρους περιλαμβάνει τις μάζες του ωφέλιμου βάρους συνδέσμους ανύψωσης και ένα τμήμα της μάζας των συρματόσχοινων ανύψωσης .

5. 1.2.1 Κατηγορίες ανύψωσης

Οι εφαρμογές ανύψωσης κατατάσσονται στις κατηγορίες HC₁ έως και HC₄ ανάλογα με τα δυναμικά τους χαρακτηριστικά .Οι κατηγορίες ανύψωσης δίνονται από τον Πίνακα 2 και η επιλογή τους πρέπει να γίνεται σύμφωνα πάντα με την εμπειρία .Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των β_2 και του φ_2 δίνονται στον Πίνακα 2 και απεικονίζονται στην Εικόνα 1 .Η επιλογή της κατηγορίας ανύψωσης εξαρτάται την μορφή ανύψωσης και αντιμετωπίζεται σε συνεργασία με άλλα Διεθνή Πρότυπα. Ισοδύναμα οι τιμές του φ_2 μπορούν να καθοριστούν πειραματική ανάλυση χωρίς να γίνει αναφορά στις κατηγορίες ανύψωσης .

Πίνακας 2-Τιμές για τους συντελεστές β_2 και φ_2

Κατηγορία ανύψωσης	β_2	φ_2	
		$\varphi_{2,\min}$	$\varphi_{2,\max}$
HC ₁	0,2	1,0	1,3
HC ₂	0,4	1,05	1,6
HC ₃	0,6	1,1	1,9
HC ₄	0,8	1,15	2,2

5.1.2.2 Ανύψωση ελεύθερου φορτίου από το έδαφος

Στην περίπτωση ανύψωσης ενός φορτίου που βρίσκεται ελεύθερο στο έδαφος, οι δυναμικές επιδράσεις κατά την μεταφορά του φορτίου από το έδαφος στην συσκευή ανύψωσης θα πρέπει να γίνεται ως εξής πολλαπλασιάζοντας τις δυνάμεις βαρύτητας με τον συντελεστή φ_2 (βλ. Εικόνα 1). Ο συντελεστής θα πρέπει να υπολογίζεται ως εξής :

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} \quad \text{για} \quad v_h \leq 0,2m/s$$

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2(v_h - 0,2) \quad \text{για} \quad v_h > 0,2m/s$$

Όπου

v_h είναι η σταθερή ταχύτητα ανύψωσης, σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, η οποία σχετίζεται με την συσκευή συγκράτησης της μάζας, η οποία προκύπτει από την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα χωρίς φορτίο.

β_2 συντελεστής που συνδέεται με την κατηγορία ανύψωσης (βλ. Πίνακα 2)

$\varphi_{2,\min}$ συντελεστής που δίνεται στον Πίνακα 2 σύμφωνα με την κατηγορία ανύψωσης.

Όπου του σύστημα ελέγχου της ανύψωσης εξασφαλίζει μια σταθερή χαμηλή ταχύτητα (creep speed), αυτή η ταχύτητα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν μόνο όταν η κατασκευή εργάζεται σε κανονική λειτουργία για την εκλογή του συντελεστή φ_2 .

Όπου αυτό δεν συμβαίνει τότε έχουμε δύο περιπτώσεις, με την εκλογή του συντελεστή φ_2 για συνθήκες κανονικής λειτουργίας, όπως φαίνεται στην παράγραφο 5.1.2.2.1, και μια τιμή για τον συντελεστή $\varphi_{2,\max}$, για να καλύψουμε ειδικές περιπτώσεις όπως είναι στην παράγραφο 5.1.2.2.2.

5. 1.2.2.1 Κανονική λειτουργία

- a) Όπου εκλέγεται πολύ χαμηλή σταθερή ταχύτητα απο το σύστημα μετάδοσης του γερανού , αυτή η ταχύτητα θα χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του συντελεστή φ_2 .
- b) Όπου μια σταδιακά μεταβλητή ταχύτητα ελέγχου παρέχεται ή ένας τέτοιος έλεγχος μπορεί να διεξάγεται από το σύστημα μετάδοσης του γερανού , η τιμή του συντελεστή $\varphi_{2,\min}$ για την κατάλληλη κατηγορία ανύψωσης θα εκλέγεται μέσω της Εικόνας 1 .

5. 1.2.2.2 Ειδικές περιπτώσεις λειτουργίας

Για εφαρμογές με τύπο ελέγχου a) όπως παρουσιάζεται στην παράγραφο 6.1.2.2.1 η τιμή του συντελεστή $\varphi_{2,\max}$ θα πρέπει να βασίζεται στην τιμή της ταχύτητας v_h η οποία προκύπτει από την μέγιστη ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα χωρίς φορτίο.

Για εφαρμογές με τύπο ελέγχου b) όπως στην παράγραφο 6.1.2.2.1 η τιμή του $\varphi_{2,\max}$ για την κλάση ανύψωσης θα πρέπει να βασίζεται στη τιμή της v_h παραγόμενη από μια τιμή η οποία δεν είναι μικρότερη από 0,5 φορές της μέγιστης ονομαστικής ταχύτητας του κινητήρα ή της μηχανής σε λειτουργία χωρίς φορτίο. Το κεφάλαιο C δίνει πληροφορίες για την εφαρμογή των συντελεστών φ .

5. 1.2.3 Επιδράσεις της απότομης απελευθέρωσης μέρους από το ωφέλιμο φορτίο

Για εφαρμογές ανύψωσης που απελευθερώνουν τμήμα του ωφέλιμου φορτίου τους ως μια κανονική λειτουργία εργασίας , όπως είναι οι αρπάγες ή μαγνήτες που χρησιμοποιούνται , η μεγαλύτερη δυναμική επίδραση στην εφαρμογή μπορεί να προσομοιωθεί πολλαπλασιάζοντας το ωφέλιμο φορτίο από έναν συντελεστή φ_3 (βλ.Εικόνα 2).

Η τιμή του συντελεστή φ_3 δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m}(1 + \beta_3)$$

Όπου

Δm είναι το μέρος της μάζας που αποσπάται από ωφέλιμο φορτίο

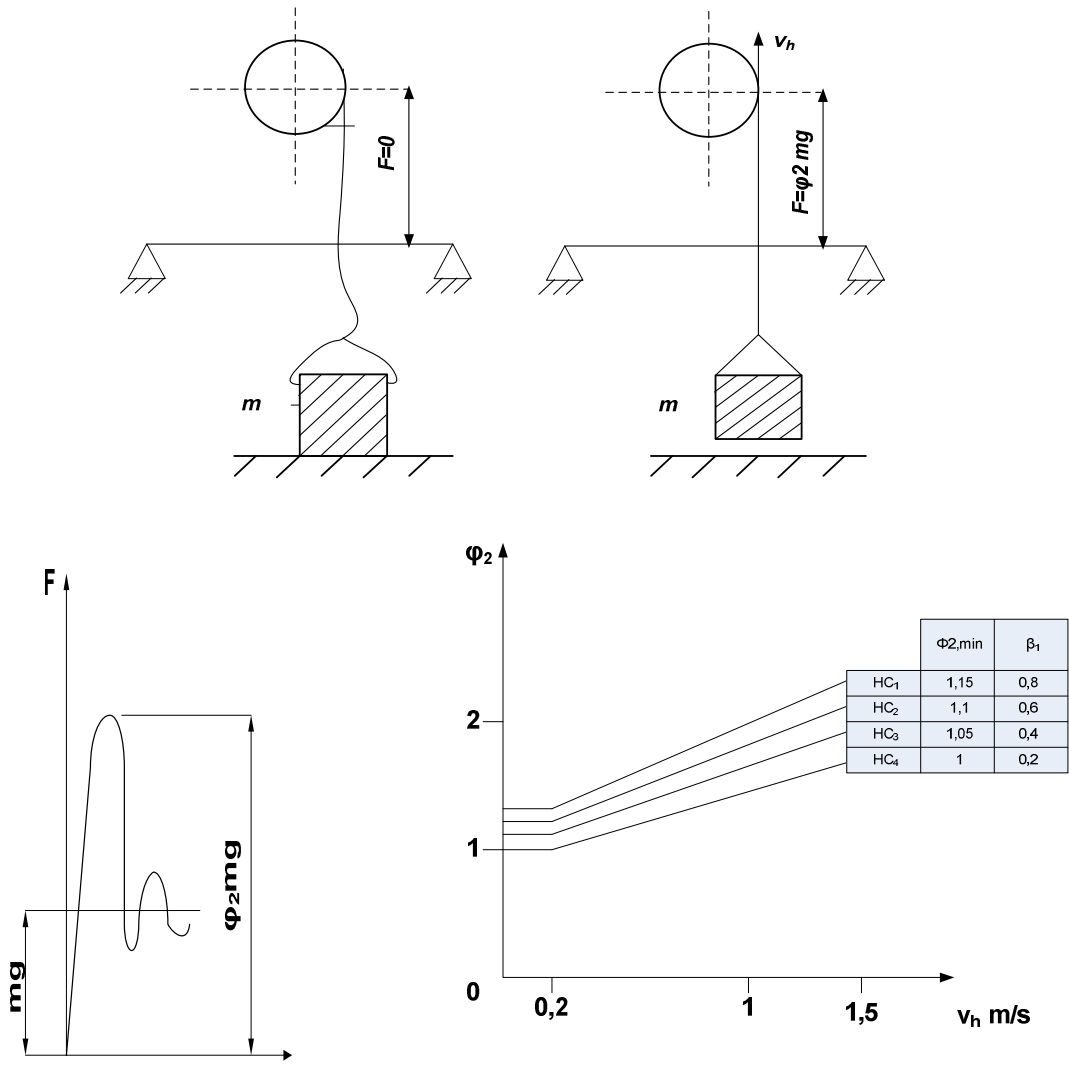
m είναι ολόκληρη η μάζα του φορτίου

β_3 είναι ίσος με 0,5 για εφαρμογές με αρπάγες ή άλλες συσκευές βραδείας λειτουργίας , ενώ 1 όταν σε εφαρμογές ανύψωσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνητική ή κάποια άλλη παρόμοια συσκευή ταχείας λειτουργίας . Το παράρτημα C δίνει πληροφορίες για την εφαρμογή των συντελεστών φ .

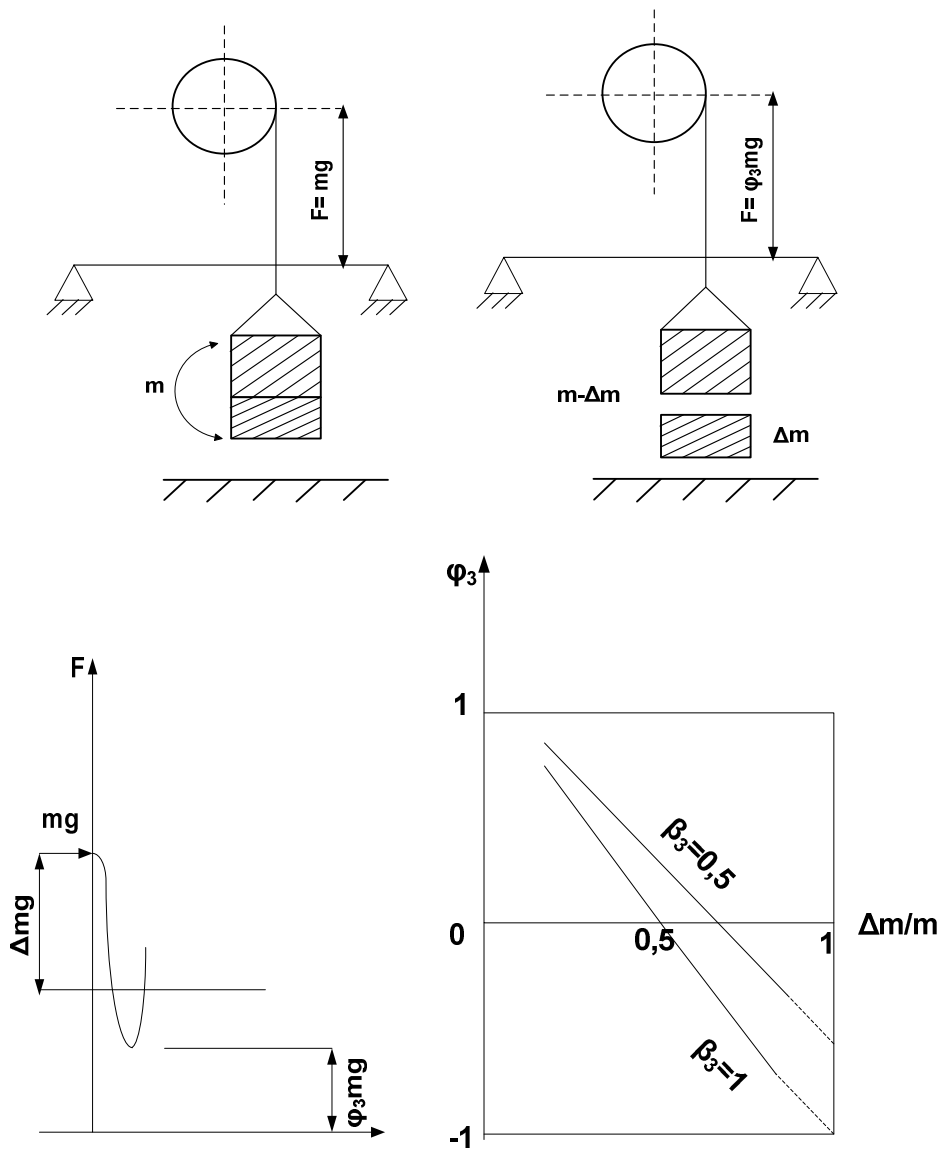
5. 1.3 Φορτία που προκαλούνται κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια

5. 1.3.1 Περίπτωση κίνησης πάνω σε οδόστρωμα

Οι επιδράσεις σε κίνηση πάνω σε οδόστρωμα με ή χωρίς φορτίο , εξαρτώνται από την διαμόρφωση της εφαρμογής (κατανομή μάζας) , την ελαστική συμπεριφορά της εφαρμογής , την ταχύτητα κίνησης και στις ιδιότητες και τις συνθήκες πάνω στην επιφάνεια κίνησης .Οι δυναμικές επιδράσεις θα πρέπει να εκτιμώνται σύμφωνα με την εμπειρία , τις δοκιμές , ή από τους υπολογισμούς με την χρήση ενός κατάλληλου μοντέλου για την εφαρμογή και την επιφάνεια κίνησης .



Εικόνα 1 – Συντελεστής φ_2



Εικόνα 2 – Συντελεστής φ_3

5. 1.3.2 Περίπτωση κίνησης πάνω σε σιδηροτροχιές

Οι επιδράσεις από την κίνηση πάνω σε σιδηροτροχιές, με ή χωρίς φορτίο έχουν γεωμετρικά χαρακτηριστικά ελαστικής συμπεριφοράς που προκαλούν επιταχύνσεις στους τροχούς οι οποίες εξαρτώνται από την διαμόρφωση της εφαρμογής (κατανομή μάζας, ελαστικότητα), ταχύτητα κίνησης και την διάμετρο των τροχών. Θα πρέπει να εκτιμώνται σύμφωνα με την εμπειρία, τις δοκιμές, ή με υπολογισμούς με ένα κατάλληλο μοντέλο για την εφαρμογή. Οι επιταχύνσεις που δημιουργούνται μπορεί να λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, πολλαπλασιάζοντας τις δυνάμεις βαρύτητας που εμφανίζονται από την μάζα ανύψωσης και το ωφέλιμο φορτίο από έναν συντελεστή φ_4 .

Για μεμονωμένες εφαρμογές το συγκεκριμένο πρότυπο να καθορίσει ανοχές για τις σιδηροτροχιές και να εκτιμήσει συνθήκες για τις οποίες η τιμή του συντελεστή φ_4 να λαμβάνεται ίση με 1 .

Το κεφάλαιο C δίνει πληροφορίες για την εφαρμογή των συντελεστών φ .

Το κεφάλαιο D παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός μοντέλου για την εκτίμηση της τιμής του συντελεστή φ_4 λαμβάνοντας υπόψη τις κατακόρυφες επιταχύνσεις που προκαλούνται στους τροχούς κατά την περίπτωση κίνησης πάνω σε σιδηροτροχιές .

5.1.4 Φορτία που προκαλούνται επιταχύνσεις για όλους τους μηχανισμούς κίνησης στους γερανούς συμπεριλαμβάνοντας και τον μηχανισμό ανύψωσης

Φορτία που δημιουργούνται από επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις , οι οποίες προκαλούνται από τον μηχανισμό κίνησης μπορούν να υπολογιστούν με την χρήση μοντέλων που βασίζονται στην κινηματική ανάλυση στερεού σώματος , τα οποία λαμβάνουν υπόψιν τους τις ιδιότητες των υλικών , την κατανομή της μάζας της ανυψωτικής λειτουργίας , και όπου αυτό είναι δυνατόν να δίνουν αποτελέσματα για τις εσωτερικές απώλειες λόγω τριβής . Για αυτό τον λόγο , το μεικτό φορτίο λαμβάνεται στην κορυφή του ιστού του γερανού ή κάτω από το βαρούλκο .

Μια ανάλυση στερεού σώματος δεν αντικατοπτρίζει άμεσα ελαστικές επιδράσεις . Για να γίνει αυτό , η αλλαγή στην δύναμη κίνησης (ΔF) , οι οποίες δημιουργούνται από επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις , μπορούν να πολλαπλασιαστούν από έναν συντελεστή φ_5 και να προστεθούν αλγεβρικά στις δυνάμεις που υπήρχαν προτού την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση . Αυτή η ενισχυμένη δύναμη εφαρμόζεται μετά στις συνιστώσες που εμφανίζονται στο σύστημα κίνησης και όπου αυτό είναι δυνατόν στην συσκευή και στο μεικτό φορτίο επίσης . (Βλ . Εικόνα 3)

Το εύρος των τιμών του συντελεστή φ_5 είναι $1 \leq \varphi_5 \leq 2$. Η τιμή που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τον βαθμό αλλαγής της ταχύτητας στο σύστημα κίνησης ή την δύναμη κατά το φρενάρισμα και την κατανομή της μάζας καθώς και την ελαστική συμπεριφορά του συστήματος . Γενικά , οι χαμηλές τιμές είναι αντιπροσωπευτικές σε συστήματα όπου οι δυνάμεις μεταβάλλονται ομαλά και οι υψηλές τιμές σε εκείνα τα συστήματα όπου εμφανίζονται παρουσιάζουν απότομες αλλαγές .

Σε φυγοκεντρικές δυνάμεις , ο συντελεστής μπορεί να λαμβάνεται ίσος με την μονάδα . Όταν μια δύναμη μπορεί να μεταδίδεται σε ένα σύστημα , να περιορίζεται από τις τριβές ή από την φύση του μηχανισμού κίνησης , η περιορισμένη αυτή δύναμη και ένας κατάλληλος συντελεστής φ_5 θα πρέπει να χρησιμοποιείται . Το κεφάλαιο C δίνει μια πληροφορίες για την εφαρμογή των συντελεστών φ .

Το κεφάλαιο Ε δίνει ένα παράδειγμα για τον καθορισμό των φορτίων που προκαλούνται από επιταχύνσεις σε μια γερανογέφυρα έχοντας ασύγχρονη κίνηση και μη-συμμετρικές κατανομές των φορτίων .

5. 1.5 Φορτία που προκαλούνται απο μετατοπίσεις

Θα πρέπει να γίνονται υπολογισμοί για τα φορτία που αυξάνονται λόγω των μετατοπίσεων συμπεριλαμβάνοντας και αυτά που προκύπτουν κατά τον σχεδιασμό όπως είναι από προεντάσεις και αυτά που είναι ικανά να προκαλέσουν στρεβλώσεις .

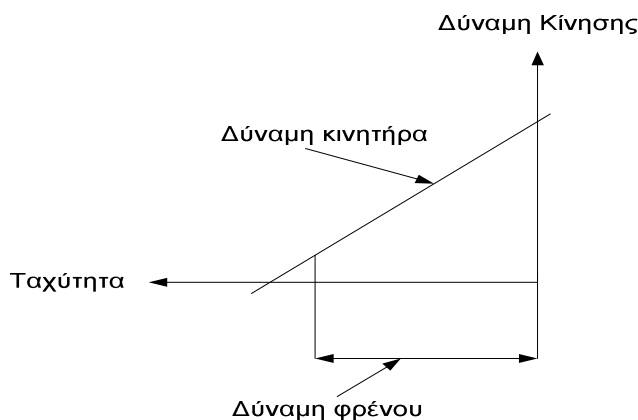
Άλλα φορτία που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι εκείνα τα οποία μπορούν να δημιουργηθούν από αύξηση των μετατοπίσεων , που πρέπει να είναι σε περιορισμένες οριακές τιμές όπως είναι στις μεταβολές των φορτίων ανάμεσα των σιδηροτροχιών και στις στηρίξεις .

5. 2 Τυχαία φορτία

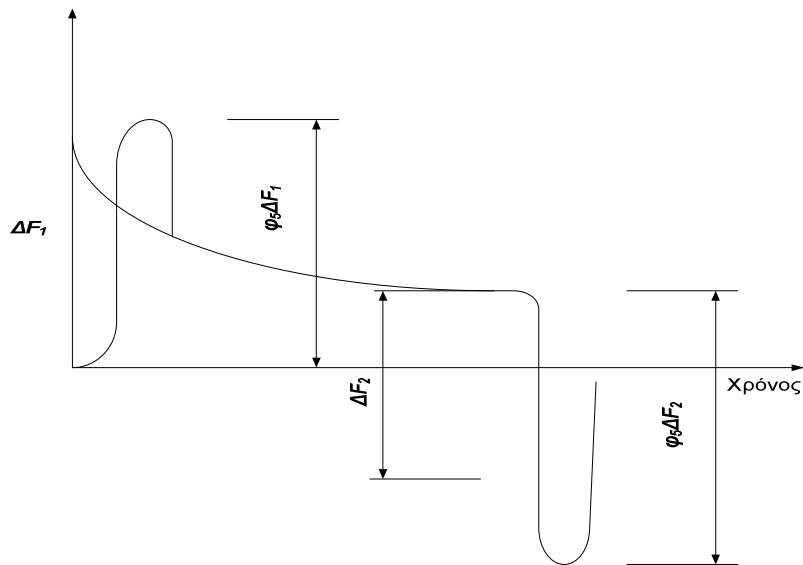
5. 2.1 Κλιματικές επιδράσεις

5. 2.1.1 Φορτία ανέμου στην κατάσταση λειτουργίας

Τα φορτία ανέμου στην κατάσταση λειτουργίας θα πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 4302 .



Επιδράσεις φορτίου στην ανυψωτική συσκευή που προκαλούνται από τον μηχανισμό κίνησης



Εικόνα 3 – Συντελεστής φ_3

5. 2.1.2 Φορτία χιονιού και πάγου

Όπου είναι αναγκαίο τα φορτία χιονιού και πάγου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Θα πρέπει να μελετάται η επιφάνεια που εκτίθεται στα φορτία αυτά και αυξάνεται με την επίδραση του ανέμου.

5. 2.1.3 Φορτία που προκαλούνται από μεταβολές της θερμοκρασίας

Φορτία που προκαλούνται από την συστολή ή την διαστολή εξαρτημάτων της κατασκευής λόγω της μεταβολής στην θερμοκρασία θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

5. 2.2 Φορτία που δημιουργούνται από στρεβλώσεις

Αυτή η παράγραφος ασχολείται με τα φορτία που δημιουργούνται από τις στρεβλώσεις ,οι οποίες εμφανίζονται στους οδηγούς (όπως είναι οι τροχίσκοι και οι φλάντζες των τροχών) σε συσκευές ανύψωσης που είναι εφοδιασμένες με τροχούς , για την κίνηση ή την μεταφορά με σταθερή κατάσταση . Αυτά τα φορτία προκαλούνται από αντιδράσεις των μέσων οδήγησης οι οποίες αναγκάζουν τους τροχούς να αποκλίνουν από την κανονική τους κατεύθυνση . Όμοια φορτία προκαλούνται και από επιταχύνσεις οι οποίες δρουν σε αδρανειακές μάζες και μπορούν επίσης να προκαλέσουν στρεβλώσεις στην συσκευή ανύψωσης .

Τα φορτία από στρεβλώσεις όπως ορίζονται από τα παραπάνω συνήθως λαμβάνονται ως τυχαία φορτία , όμως η συχνότητα εμφάνισης τους ποικίλει ανάλογα με την διαμόρφωση και την συντήρηση της συσκευής . Σε μεμονωμένες περιπτώσεις η συχνότητα αυτή μπορεί να καθορίσει εάν έχουν ληφθεί τα φορτία ως τυχαία φορτία ή κανονικά φορτία .

Για την εκτίμηση του μέτρου των φορτίων στρέβλωσης και την κατηγορία στην οποία ανήκουν δίνονται πληροφορίες στα υπόλοιπα μέρη του συγκεκριμένου προτύπου, που αφορούν ξεχωριστές μορφές ανύψωσης.

Το παράρτημα F δίνει ένα παράδειγμα μια μεθόδου ανάλυσης των φορτίων στρέβλωσης σε άκαμπτη ανυψωτική κατασκευή η οποία κινείται με σταθερή ταχύτητα. Για κατασκευές που δεν είναι άκαμπτες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλα μοντέλα τα οποία θα λαμβάνουν υπόψιν τους τις ιδιότητες του συστήματος.

5.3 Κατ'εξάιρεση φορτία

5.3.1 Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας

Όταν μελετάμε φορτία εκτός κατάσταση λειτουργίας, οι δυνάμεις βαρύτητας στο τμήμα της μάζας nm για το οποίο το σύστημα ανύψωσης παραμένει σε αναστολή, θα πρέπει να υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$nm = m - \Delta m$$

Όπου

$m - \Delta m$ είναι το τμήμα του μεικτού βάρους το οποίο παραμένει σε αναστολή
 m είναι η μάζα του μεικτού βάρους

Τα φορτία ανέμου θα πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με το ISO 4302.

5.3.2 Φορτία ελέγχου

Οι τιμές των φορτίων ελέγχου θα λαμβάνονται σύμφωνα με το ISO 4310. Τα φορτία των δυναμικών και στατικών ελέγχων απαιτούνται να είναι στο ελάχιστο από αυτά που δίνονται από το πρότυπο ISO 4310, οι υπολογισμοί για την αντοχή των ελέγχων αυτών μπορεί να κριθεί απαραίτητη αυτήν την περίπτωση το δυναμικό φορτίο που προκύπτει από τις δοκιμές θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί από έναν συντελεστή φ_6 .

$$\varphi_6 = 0,5(1 + \varphi_2)$$

Όπου ο συντελεστής φ_2 υπολογίζεται από την παράγραφο 5.1.2.

Το παράρτημα C δίνει πληροφορίες για την εφαρμογή των συντελεστών φ .

5.3.3 Δυνάμεις πρόσκρουσης

Οι δυνάμεις του γερανού αυξάνονται όταν συνδυάζονται με δυνάμεις πρόσκρουσης, θα πρέπει να υπολογίζονται από την κινητική ενέργεια των σχετικών στοιχείων της συσκευής που κινείται, περίπου στο 0,7 έως και 1 φορές της ονομαστικής ταχύτητας. Οι πιο χαμηλές τιμές μπορεί να χρησιμοποιηθούν όταν απαιτούν ειδικές περιπτώσεις όπως είναι, η ύπαρξη ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου για την επιβράδυνση της κίνησης ή όπου μπορούν να εμφανιστούν οριακές συνέπειες κατά την εμφάνιση μιας σύγκρουσης.

Οι υπολογισμοί μπορούν να βασίζονται στη ανάλυση ενός μοντέλου στερεού σώματος . Η πραγματική συμπεριφορά του γερανού καθώς και του συστήματος πρόσκρουσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς .

Όπου η συσκευή ανύψωσης ή ένα στοιχείο της περιορίζεται κατά την περιστροφή , για παράδειγμα από τους οδηγούς των σιδηροτροχιών , τις παραμορφώσεις από τις συγκρούσεις στους τερματικούς προσκρουστήρες οι οποίες μπορεί να υποτεθούν ως ισοδύναμες , σε αυτές τις περιπτώσεις τα χαρακτηριστικά των δυνάμεων πρόσκρουσης είναι όμοια , και οι δυνάμεις θα είναι ίσες μεταξύ τους . Η περίπτωση αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 4 α) όπου ισχύει

$$F_{x2} = F_{x4} = \frac{\hat{F}_x}{2}$$

Όταν δεν υπάρχουν περιορισμοί στην συσκευή ή έναν στοιχείο της ως προς την περιστροφή , οι δυνάμεις πρόσκρουσης θα πρέπει να υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή των σχετικών μαζών και των χαρακτηριστικών πρόσκρουσης . Η περίπτωση αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα b) .

Οι δυνάμεις που προκύπτουν καθώς και οριζόντιες δυνάμεις αδράνειας σε ισορροπία με τις δυνάμεις πρόσκρουσης θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται από έναν συντελεστή φ_7 για τον υπολογισμό των ελαστικών επιδράσεων οι οποίες δεν μπορούν να εκτιμηθούν με την χρήση ενός μοντέλου στερεού σώματος .Ο συντελεστής φ_7 θα είναι ίσος με 1,25 στην περίπτωση δυνάμεων πρόσκρουσης με γραμμική συμπεριφορά (π.χ ελατήρια) και ίσος με 1,6 στην περίπτωση δυνάμεων με ορθογωνικά χαρακτηριστικά . Για περιπτώσεις με άλλα χαρακτηριστικά , θα πρέπει να χρησιμοποιούνται άλλες τιμές από τους υπολογισμούς ή τις δοκιμές (Βλ Σημείωση 2 και Εικόνα 5)

Σημείωση 1: Κατά τον υπολογισμό των δυνάμεων πρόσκρουσης , οι επιδράσεις από το φορτίο που βρίσκεται σε κατάσταση αναστολής και δεν είναι περιορισμένες στην οριζόντια διεύθυνση (δηλαδή ελεύθερες να ταλαντώνονται) δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη .

Σημείωση 2: Οι ενδιάμεσες τιμές του συντελεστή φ_7 μπορούν να εκτιμηθούν ως εξής :

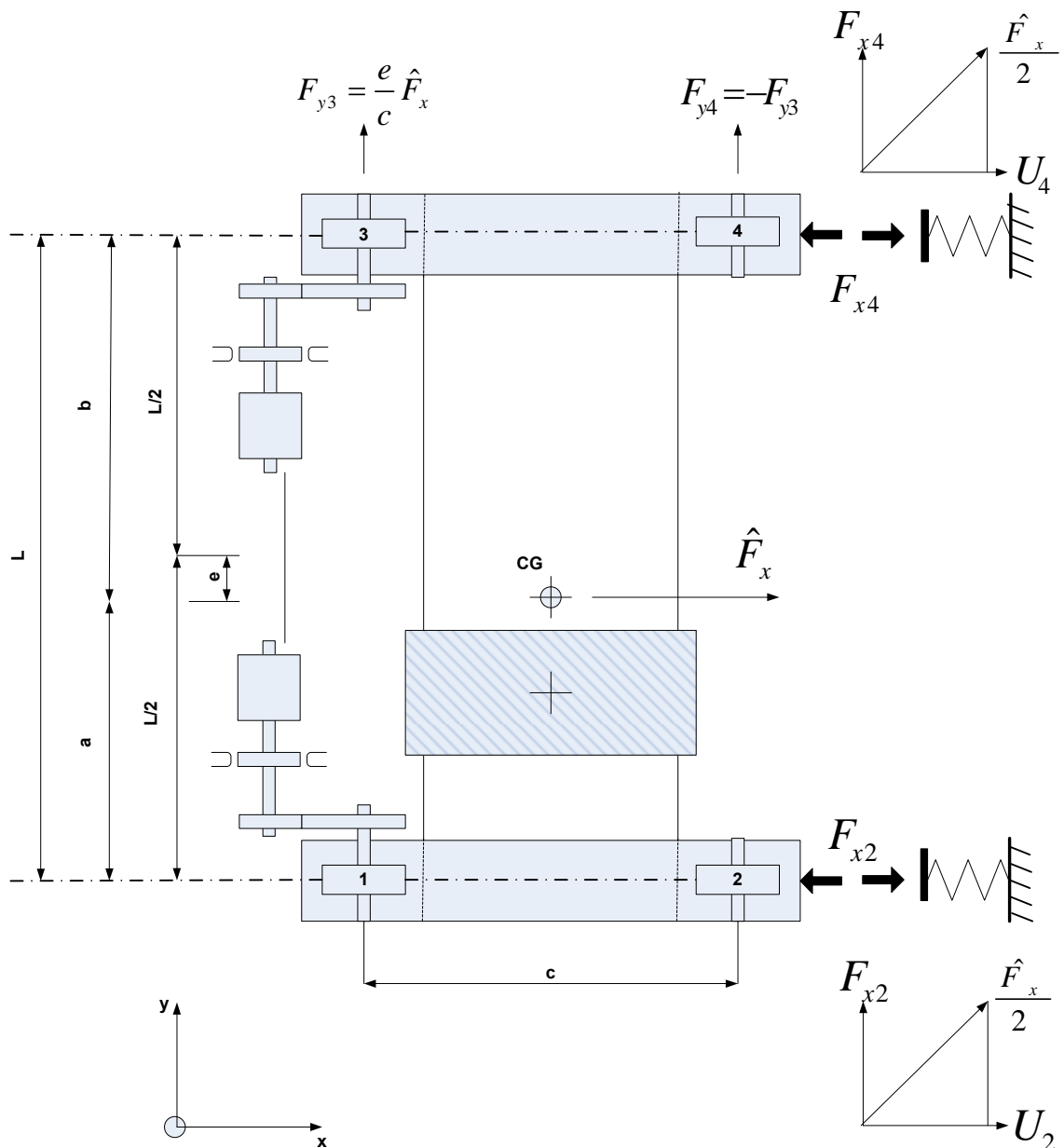
$$\varphi_7 = 1,25 \text{ για } 0 \leq \xi \leq 0,5$$

$$\varphi_7 = 1,25 + 0,7(\xi - 0,5) \text{ για } 0,5 \leq \xi \leq 1$$

5. 3.4 Φορτία λόγω κλίσης

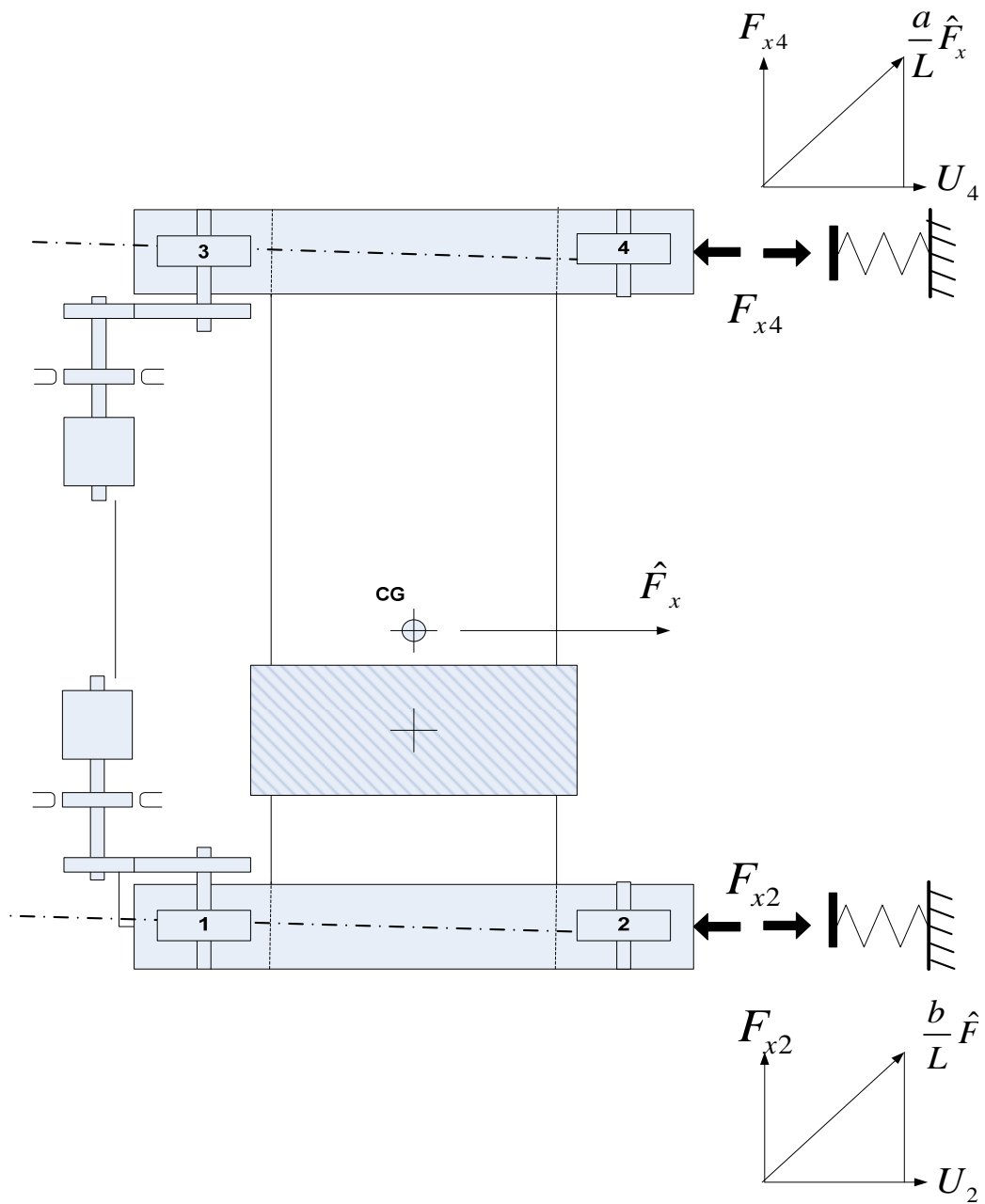
Εάν η συσκευή ανύψωσης με περιορισμό στην οριζόντια διεύθυνση του φορτίου γέρνει όταν , το φορτίο ή το εξάρτημα της ανύψωσης συγκρούεται με ένα εμπόδιο , οι δυναμικές φορτίσεις που προκύπτουν θα πρέπει να καθοριστούν .

Εάν μια συσκευή που γέρνει μπορεί να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση χωρίς έλεγχο, οι συνέπειες της σύγκρουσης στην κατασκευή στήριξης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.



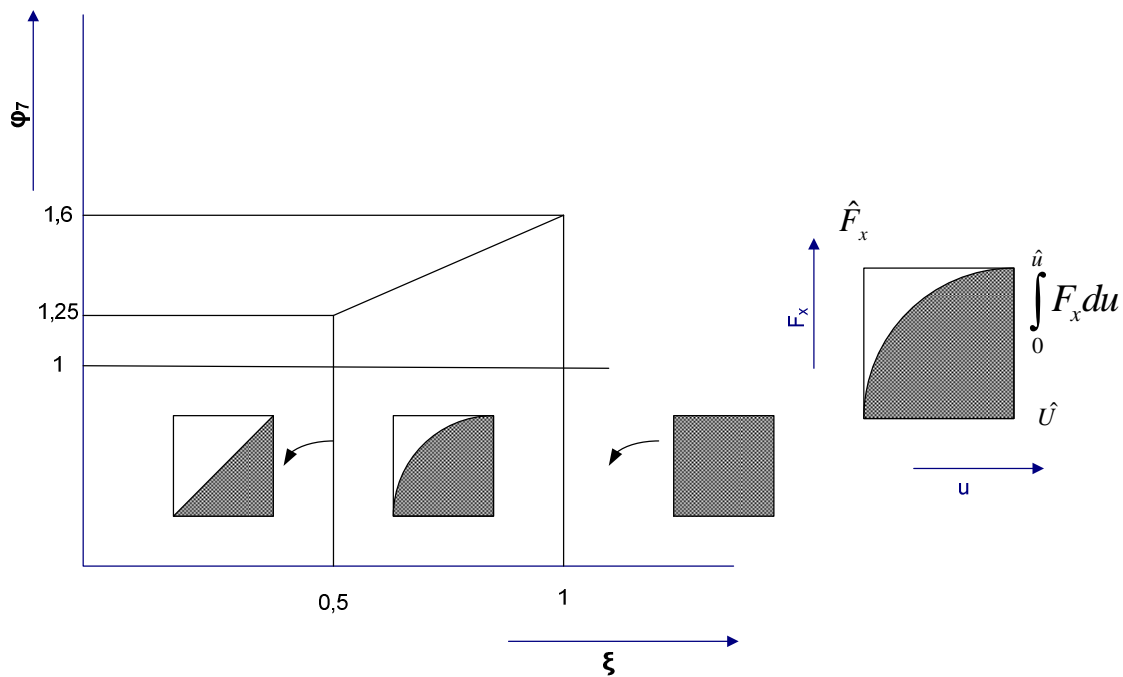
a) Οριζόντια κίνηση σε σιδηροτροχιές ($u_2 = u_4$)

Εικόνα 4 – Δυνάμεις πρόσκρουσης και παραμορφώσεις (με γερανογέφυρα σε 4 τροχούς)



b) Κίνηση χωρίς περιορισμό στις περιστροφές ($F_{y3} = F_{y4} = 0$)

Εικόνα 4 – Δυνάμεις πρόσκρουσης και παραμορφώσεις (με γερανογέφυρα σε 4 τροχούς)



$$\xi = \frac{1}{\hat{F}\hat{u}_0} \int_0^{\hat{u}} F_x du \text{ η σχετική ενέργεια πρόσκρουσης}$$

Για πρόσκρουση με γραμμικά χαρακτηριστικά : $\xi = 0,5$

Για πρόσκρουση με ορθογώνια χαρακτηριστικά : $\xi = 1$

Εικόνα 5 – Συντελεστής φ_7

5. 3.5 Φόρτιση από διακοπή της λειτουργίας λόγω κινδύνου

Τα φορτία που προκαλούνται από διακοπή της λειτουργίας λόγω κινδύνου θα πρέπει να εκτιμώνται σύμφωνα με την παράγραφο 5.1.4 , και λαμβάνονται στις πιο ανεπιθύμητες καταστάσεις για τον μηχανισμό κίνησης (π.χ δυσμενής συνδυασμός επιταχύνσεων και φορτίσεων) κατά την διάρκεια της διακοπής . Η επιλογή του συντελεστή φ_5 θα είναι ανάμεσα στα όρια $1,5 \leq \varphi_5 \leq 2$.

5. 3.6 Φορτία που προκαλούνται από αστοχία του μηχανισμού ή από τα μηχανικά στοιχεία του

Όπου παρέχεται ασφάλεια με φρένα έκτακτης ανάγκης αντί για φρένα ασφάλειας , αστοχία και ενεργοποίηση της πέδησης έκτακτης ανάγκης θα λαμβάνονται στις πιο δυσμενής συνθήκες . Όπου υπάρχουν δυο συστήματα μηχανισμών για λόγους ασφαλείας , υποθέτουμε πως η αστοχία θα εμφανιστεί σε κάθε τμήμα των δύο συστημάτων .

Και στις δύο περιπτώσεις , τα φορτία που προκύπτουν θα εκτιμώνται σύμφωνα με την παράγραφο 5.1.4 λαμβάνοντας υπόψη πιθανές συγκρούσεις κατά την μεταφορά των δυνάμεων .

5.3.7 Φορτία που προκαλούνται από διέγερση της θεμελίωσης της ανυψωτικής συσκευής

Παραδείγματα τέτοιων φαινομένων αποτελούν οι σεισμοί ή κινήσεις που προκαλούνται από κύματα . Τα φορτία που προκαλούνται από τέτοιου είδους διέγερση θα λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για την ανυψωτική συσκευή .

5.4 Ειδικά φορτία

5.4.1 Φορτία που προκαλούνται κατά την συναρμολόγηση , διάλυση και μεταφορά

Τα φορτία που ενεργούν σε κάθε στάδιο της συναρμολόγησης και της διάλυσης του γερανού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη , συμπεριλαμβάνοντας και εκείνα τα φορτία που εμφανίζονται για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 8,3 m/s. Μεγαλύτερες τιμές για ξεχωριστά είδη γερανών μπορεί να καθοριστούν από το συγκεκριμένο ISO . Θα συνδυάζονται με την παράγραφο 6.2 .

Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί να συμπεριλάβουμε και τα φορτία που εμφανίζονται κατά την μεταφορά .

5.4.2 Φορτία σε πλατφόρμες και σε άλλα μέσα που παρέχουν πρόσβαση

Τα φορτία που εμφανίζονται σε αυτήν κατηγορία θεωρούνται τοπικά , που ενεργούν στις εγκαταστάσεις και στα στοιχεία στήριξης τους.

Θα πρέπει να γίνετε έλεγχος στα παρακάτω φορτία :

3000N για τα υλικά που τοποθετούνται σε πλατφόρμες

1500N για τα μέσα πρόσβασης

Και όχι λιγότερο από 300 N για οριζόντια κίνηση σε σιδηροτροχιές , ανάλογα με την τοποθεσία και την χρήση .

6 Αρχές στον σχεδιασμό φορτίων και στον συνδυασμό φορτίων

6.1 Γενικά

Τα φορτία που εμφανίζονται σε έναν γερανό θα συνδυαστούν για καθορίσουν τις τάσεις κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας σύμφωνα με τους υπολογισμούς στην ελαστική και στατική συμπεριφορά του .

- a) Η κατασκευή θα λαμβάνεται στην πιο δυσμενή της κατάσταση και διαμόρφωση , ενώ τα φορτία θεωρούμε πως ενεργούν κατά μέτρο , θέση και κατεύθυνση προκαλώντας τις πιο δυσμενής τάσεις σε κρίσιμα σημεία της κατασκευής που επιλέγονται για την εκτίμηση της μηχανολογικής μελέτης και
- b) Τα φορτία μπορούν να συνδυαστούν με τις τιμές που ορίζονται από το συγκεκριμένο ISO 8686 , ή όταν είναι δυνατόν να συνδυαστούν με κάποια φορτία που προσεγγίζουν σε καλό βαθμό τις συνθήκες φόρτισης στην πραγματικότητα.

Οι συνδυασμοί φορτίων για ξεχωριστά είδη ανύψωσης θα συνδυάζονται με τις προδιαγραφές που ορίζονται στις παραγράφους 6.1.1 και 6.2 και τον Πίνακα 3 .

Πίνακας 3 -Φορτία και συνδυασμός φορτίων

1	2		3					4					5								6							
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C								γραμμή							
			γ_p	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_p	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	γ_p	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6		C_7	C_8					
Κανονικά φορτία	Βαρύτητας, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	γ_{pA1}	φ_1	φ_1	1	-	γ_{pB1}	φ_1	φ_1	1	-	-	γ_{pC1}	φ_1	1	φ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		2) Μάζα του μεικτού βάρους	γ_{pA2}	φ_2	φ_3	-	-	γ_{pB2}	φ_2	φ_3	-	-	-	γ_{pC2}	φ_2	n	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε ανομοιόμορφη επιφάνεια	γ_{pA3}	-	-	-	φ_4	γ_{pB3}	-	-	-	φ_4	φ_4	γ_{pC3}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	α) Με ανυψωτικό μηχανισμό	γ_{pA4}	φ_5	φ_5	-	-	γ_{pB4}	φ_5	φ_5	-	-	γ_{pC4}	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
			β) Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό		-	-	φ_5	φ_5	-	-	φ_5	φ_5	-	-	γ_{pC4}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Μετατοπίσεις	5) Βλέπε παρ. 5.1.5	γ_{pA5}	1	1	1	1	γ_{pB5}	1	1	1	1	1	γ_{pC5}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας					γ_{pB6}	1	1	1	1	1	γ_{pC6}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	
		2) Φορτία χιονίου και πάγου					γ_{pB7}	1	1	1	1	1	γ_{pC7}	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας					γ_{pB8}	1	1	1	1	1	γ_{pC8}	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
	Στρεβλώσεις	4) Βλέπε παρ. 5.2.2					γ_{pB9}	-	-	-	-	1	γ_{pC9}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Κατ'εξαιρέση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος												γ_{pC10}	φ_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας													γ_{pC11}	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
	3) Φορτία ελέγχου													γ_{pC12}	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης													γ_{pC13}	-	-	-	φ_7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
	5) Δυνάμεις κλίσης													γ_{pC14}	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	15
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου													γ_{pC15}	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	16
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης													γ_{pC16}	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	-	17
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής													γ_{pC17}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	18	
Συντελεστής αντοχής			γ_{fA}					γ_{fB}					γ_{fC}								19							

Συνδυασμοί φορτίων

A₁ και B₁ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας , φορτία ανύψωσης και τοποθέτησης , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλων κλιματικών επιδράσεων ,(A₁) και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₁) .

Γενικά ανύψωση , μεταφορά και κίνηση γερανού προς την κατεύθυνση του ανέμου και περιστροφή είναι πιθανό να εμφανιστούν ταυτόχρονα. Ως αποτέλεσμα τα φορτία που προκύπτουν από αυτές τις κινήσεις θα συνδυάζονται έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας του γερανού .

A₂ και B₂ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, με απότομη ελευθέρωση τμήματος του φορτίου ανύψωσης , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (A₂) , και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₂) .

Οι δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

A₃ και B₃ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, επιταχύνοντας το φορτίο που βρίσκεται σε αναστολή , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις(A₃) , και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₃) .

Διάφορες δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

A₄ και B₄ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, κίνηση πάνω σε ανομοιόμορφη επιφάνεια ή τροχιά , χωρίς φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (A₄) , και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις (B₄) .

Οι δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

B₅ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, κίνηση με σταθερή ταχύτητα πάνω σε ανομοιόμορφη επιφάνεια με απόκλιση , με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις .

C₁ : Ανυψωτικές εφαρμογές σε κατάσταση λειτουργίας για την ανύψωση φορτίου που βρίσκεται ελεύθερο στο έδαφος με την εξαίρεση της εφαρμογής του συντελεστή φ_2 στην παράγραφο 5.1.2.2.2.

C₂ : Ανυψωτικές εφαρμογές εκτός κατάστασης λειτουργίας συμπεριλαμβανοντας , φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας και άλλες κλιματικές επιδράσεις.

C₃ : Ανυψωτικές εφαρμογές κάτω από συνθήκες ελέγχου .

Οι δυνάμεις κίνησης θα συνδυάζονται όπως και στον συνδυασμό A₁ και B₁ .

C₄ έως και C₈ : Ανυψωτικές εφαρμογές με μεικτό βάρος σε συνδυασμό με φορτία όπως είναι , οι δυνάμεις πρόσκρουσης (C₄) , δυνάμεις κλίσης (C₅), έκτακτης διακοπής της λειτουργίας (C₆), αστοχίας του μηχανισμού κίνησης (C₇), και φορτία λόγω διέγερσης της θεμελίωσης της κατασκευής (C₈).

Για φορτία κατά την συναρμολόγηση και ανέγερση της κατασκευής βλ. Παράγραφο 6.2 .

6.1.1 Βασικοί συνδυασμοί φορτίων

Οι βασικοί συνδυασμοί φορτίων λοιπόν παραθέτονται στον Πίνακα 3 . Γενικά ο συνδυασμός **A** περιλαμβάνει τα κανονικά φορτία , ο συνδυασμός **B** περιλαμβάνει κανονικά φορτία τα οποία συνδυάζονται με τυχαία φορτία , και τέλος ο συνδυασμός **C** περιλαμβάνει κανονικά φορτία που συνδυάζονται με κατ'εξαιρεση φορτία και ειδικά φορτία.

6.2 Συνδυασμοί φορτίων κατά την συναρμολόγηση, ανέγερση και μεταφορά της κατασκευής

Κάθε στάδιο της συναρμολόγησης ανέγερσης και της συναρμολόγησης θα πρέπει να μελετάται , λαμβάνοντας υπόψη το κατάλληλο φορτίο και τον συνδυασμό φορτίων , που θα καθορίζονται από υπόλοιπα τμήματα (Parts) του συγκεκριμένου πρότυπου για κάθε είδους γερανό. Ο υπολογισμός της αντοχής θα γίνεται σε κάθε περίπτωση για κάθε σημαντικό φορτίο σε κάθε στοιχείο ή σύνδεσμο της κατασκευής .Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να κριθεί απαραίτητο να συμπεριλάβουμε φορτία που εμφανίζονται κατά την διαδικασία της μεταφοράς .

6.3 Εφαρμογή του Πίνακα 3

6.3.1 Γενικά

Οι μάζες που βρίσκονται στην στήλη 2 , και γραμμές 1 και 3 , θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν από την επιτάχυνση της βαρύτητας g , και οι μάζες της στήλης 2 , γραμμές 4 και 5 με τις κατάλληλες επιταχύνσεις . Τα φορτία που θα προκύψουν θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν από κατάλληλους συντελεστές ή με την μονάδα 1 . Κάθε συνδυασμός φορτίου θα εφαρμόζεται σύμφωνα με την παράγραφο 6.1.

6.3.2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης

Η επιτρεπόμενη τάση για τους συνδυασμούς **A** ,**B** και **C** θα καθορίζεται για την κατάλληλη αντοχή των υλικών , των στοιχείων , εξαρτημάτων και συνδέσμων (για παράδειγμα την τάση διαρροής, λυγισμό ή την ελαστική συμπεριφορά τους) από τους συντελεστές $\gamma_{fA}, \gamma_{fB}, \gamma_{fC}$.

Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{fA}, \gamma_{fB}, \gamma_{fC}$ για την επιτρεπόμενη τάση δίνονται στον Πίνακα B.1 στο Παράρτημα B .

6.3.3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης

Τα διάφορα φορτία θα πολλαπλασιάζονται από τους μερικούς συντελεστές γ_p , ανάλογα το είδος του φορτίου και τον συνδυασμό φορτίων **A**, **B** και **C** προτού εφαρμοστούν στο μοντέλο. Ο μερικός συντελεστής φορτίου εκλέγεται από τις στήλες 3,4 και 5.

Το εύρος της τιμής του δίνεται στον Πίνακα Β.1

6.3.4 Μετατοπίσεις λόγω ελαστικότητας

Σε μερικές περιπτώσεις, οι μετατοπίσεις, καθιστούν την εφαρμογή ακατάλληλη να εκτελέσει τις λειτουργίες της, μπορεί να επιδράσουν στην ευστάθεια της κατασκευής, ή μπορεί να επεμβαίνουν στην σωστή λειτουργία του μηχανισμού της. Σε αυτές περιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η δημιουργία των μετατοπίσεων στους υπολογισμούς της αντοχής και όπου είναι δυνατόν οι μετρούμενες μετατοπίσεις θα πρέπει να συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια.

6.3.5 Αντοχή σε κόπωση

Όπου είναι απαραίτητο θα πρέπει να γίνεται έλεγχος στην κατασκευή για αντοχή σε κόπωση και θα διεξάγεται με τις αρχές που παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.1. Γενικά, οι συνδυασμοί φορτίων A_1 , A_2 , A_3 και A_4 (Κανονικά φορτία) θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον έλεγχο. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να κριθεί απαραίτητο να συμπεριλάβουμε τυχαία φορτία όπως είναι τα φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας, ειδικά φορτία όπως τα φορτία ελέγχου και φορτία που προκαλούν διέγερση στην θεμελίωση της κατασκευής (π.χ σεισμός).

6.3.6 Εφαρμογές υψηλού κινδύνου

Σε κάποιες περιπτώσεις όπου εμφανίζεται αστοχία λόγω ανθρώπινης παρέμβασης ή διάφορων οικονομικών επιπτώσεων, θα πρέπει να αυξηθεί η αξιοπιστία της κατασκευής με την χρήση του συντελεστή κινδύνου $\gamma_n > 1$, η τιμή του θα εκλέγεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης κατασκευής.

Με την χρήση της μεθόδου της επιτρεπόμενης τάσης, οι τάσεις θα διεξάγονται από τον συντελεστή γ_n . Ενώ με την μέθοδο της οριακής κατάστασης, τα φορτία θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται από τον συντελεστή ρίσκου γ_n , όπως γίνεται στο Παράρτημα Α.

Κεφάλαιο Α-Εφαρμογή της μεθόδου της επιτρεπόμενης τάσης και της οριακής κατάστασης

Α.1 Εισαγωγή

Οι προδιαγραφές που παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο Πρότυπο ISO 8686 για τον καθορισμό των φορτίων και τον συνδυασμό τους θα πρέπει να λαμβάνεται και στις δύο μεθόδους και στην επιτρεπόμενη τάση και στην οριακή κατάσταση .

Α.2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης

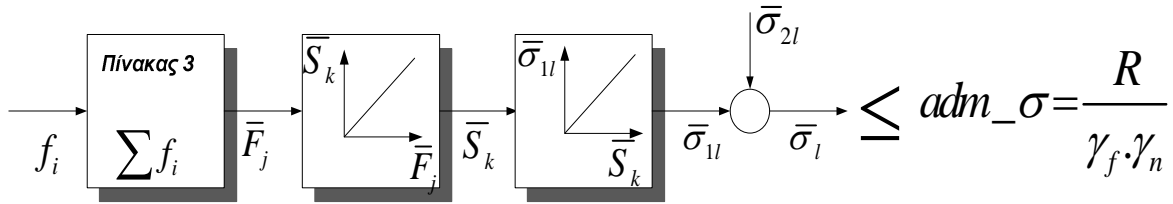
Τα μεμονωμένα φορτία f_i , υπολογίζονται και ενισχύονται από τους κατάλληλους συντελεστές φ . Συνδυάζονται στην συνέχεια σύμφωνα με τους κατάλληλους συνδυασμούς φορτίων που δίνονται στον Πίνακα 3 . Το φορτίο που προκύπτει \bar{F}_j , χρησιμοποιείται για να καθοριστεί τις επιδράσεις του φορτίου \bar{S}_k , π.χ εσωτερικές δυνάμεις και ροπές σε στοιχεία της κατασκευής ή δυνάμεις στις στηρίξεις της .

Οι τάσεις που προκύπτουν $\bar{\sigma}_{1i}$, λόγω της επίδρασης των δυνάμεων σε κάποιο στοιχείο ή σύνδεσμο υπολογίζονται σε συνδυασμό με άλλες τάσεις $\bar{\sigma}_{2i}$, που δημιουργούνται από τις τοπικές επιδράσεις στην κατασκευή. Το αποτέλεσμα της τάσης σχεδιασμού , θα πρέπει να συγκριθεί με την κατάλληλη επιτρεπόμενη τάση $adm_σ$.

Οι επιτρεπόμενες τάσεις διεξάγονται από την καθορισμένη αντοχή των υλικών , όπως είναι οι τάσεις που αντιπροσωπεύουν το όριο διαρροής ενός υλικού, οριακή ευστάθεια ή τάση κόπωσης , μέσω του συντελεστή γ_f , που καθορίζεται στον Πίνακα 3 σύμφωνα με τον βασικό συνδυασμό φορτίων (βλ. 6.1.1) και όπου είναι δυνατόν από έναν συντελεστή ρίσκου γ_n .

Ειδική προσοχή απαιτείται για την διασφάλιση μιας αποδεκτής απόδειξης για την ικανότητα του φορτίου , όταν εφαρμόζεται η μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης και οι εσωτερικές δυνάμεις οι οποίες δεν είναι γραμμικά ανάλογες με τα φορτία που τις δημιουργούν ή για κρίσιμες τιμές των τάσεων που προκύπτουν από τον συνδυασμό ανεξάρτητων μεταβλητών φορτίων που δίνουν τάσεις αντίθετης φοράς .Παρουσιάζεται παρακάτω το διάγραμμα που απεικονίζει τον σχεδιασμό με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης .

Εικόνα Α.1 – Λογικό διάγραμμα για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης



f_i είναι το i φορτίο για τον σύνδεσμο ή το στοιχείο

\bar{F}_j είναι το φορτίο για συνδυασμό φορτίων j

\bar{S}_k είναι οι επιδράσεις του φορτίου για το τμήμα k του στοιχείου ή των στηρίξεων, όπως είναι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές που δημιουργούνται από τον συνδυασμό φορτίων \bar{F}_j

$\bar{\sigma}_{1l}$ είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο στοιχείο l που δημιουργούνται από τις επιδράσεις \bar{S}_k

$\bar{\sigma}_{2l}$ είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο συγκεκριμένο στοιχείο l που αυξάνονται λόγω τοπικών τάσεων

$\bar{\sigma}_l$ είναι η τάση σχεδιασμού που προκύπτει στο συγκεκριμένο στοιχείο l

R είναι η καθορισμένη αντοχή ή χαρακτηριστική αντίσταση του υλικού, για συγκεκριμένο στοιχείο ή σύνδεσμο, όπως είναι η τάση διαρροής, οριακή τάση της ευστάθειας της κατασκευής, η τάση κόπωσης

$adm_σ$ είναι οι επιτρεπόμενες τάσεις

γ_f είναι οι συντελεστές που εφαρμόζονται στην καθορισμένη αντοχή σύμφωνα με τον συνδυασμό φορτίων

γ_n είναι ο συντελεστής κινδύνου, όπου είναι δυνατόν να εφαρμοστεί

Α.3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης

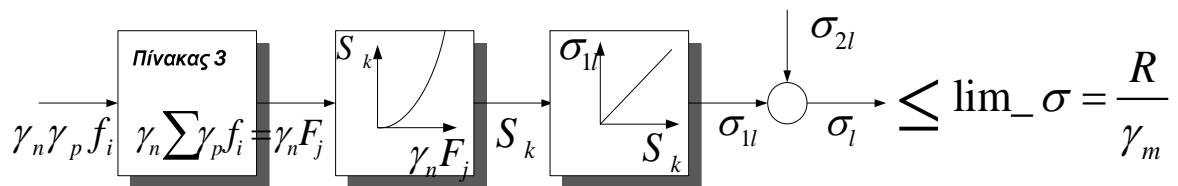
Ξεχωριστά καθορισμένα ή χαρακτηριστικά φορτία, f_i , που έχουν υπολογιστεί και ενισχύονται με του συντελεστές φ , και πολλαπλασιάζονται με τον κατάλληλο μερικό συντελεστή γ_p . Συνδυάζονται στην συνέχεια με τους κατάλληλους συνδυασμούς φορτίων για να δώσουν το συνδυαστικό φορτίο \bar{F}_j . Οι συντελεστές φ και γ_p για ξεχωριστά φορτία δίνονται από τον Πίνακα Β.1.

Όπου είναι απαραίτητο εισάγεται ο συντελεστής κινδύνου γ_n , και εφαρμόζεται στο συνδυαστικό φορτίο \bar{F}_j για να δώσει το φορτίο σχεδιασμού $\gamma_n \bar{F}_j$. Ο σχεδιασμός των επιδράσεων \bar{S}_k καθορίζεται από το φορτίο σχεδιασμού

Οι τάσεις $\bar{\sigma}_{1l}$, λόγω της επίδρασης των δυνάμεων σε κάποιο στοιχείο ή σύνδεσμο υπολογίζονται σε συνδυασμό με άλλες τάσεις $\bar{\sigma}_{2l}$, που δημιουργούνται από τις τοπικές επιδράσεις στην κατασκευή οι οποίες έχουν επίσης υπολογισθεί χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους μερικούς συντελεστές. Οι τάσεις σχεδιασμού που προκύπτουν $\bar{\sigma}_l$ θα συγκριθούν με μια οριακή τιμή της τάσης $\lim_ \sigma$.

Ακολουθεί παρακάτω το λογικό διάγραμμα που περιγράφει την μέθοδο της οριακής τάσης στην Εικόνα Α.2.

Εικόνα Α.2 – Λογικό διάγραμμα για την μέθοδο της οριακής κατάστασης



f_i είναι το i φορτίο για τον σύνδεσμο ή το στοιχείο

\bar{F}_j είναι το φορτίο για συνδυασμό φορτίων j , από τα φορτία f_i , πολλαπλασιασμένα από τους μερικούς συντελεστές των φορτίων γ_p και με τον συντελεστή κινδύνου όπου αυτό είναι δυνατόν

S_k είναι οι επιδράσεις του φορτίου για το τμήμα k του στοιχείου ή των στηρίξεων, όπως είναι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές που δημιουργούνται από τον συνδυασμό φορτίων \bar{F}_j

σ_{1l} είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο στοιχείο l που δημιουργούνται από τις επιδράσεις S_k

σ_{2l} είναι οι τάσεις στο συγκεκριμένο συγκεκριμένο στοιχείο l που αυξάνονται λόγω τοπικών τάσεων

σ_l είναι η τάση σχεδιασμού που προκύπτει στο συγκεκριμένο στοιχείο l

R είναι η καθορισμένη αντοχή ή χαρακτηριστική αντίσταση του υλικού, για το συγκεκριμένο στοιχείο ή σύνδεσμο, όπως είναι η τάση διαρροής, οριακή τάση της ευστάθειας της κατασκευής, η τάση κόπωσης

$\lim_ \sigma$ είναι η οριακή τάση σχεδιασμού

γ_p είναι οι μερικοί συντελεστές φορτίων που εφαρμόζονται σε ξεχωριστά φορτία σύμφωνα με τον συνδυασμό φορτίων

γ_n είναι ο συντελεστής κινδύνου, όπου είναι δυνατόν να εφαρμοστεί

γ_m είναι ο συντελεστής αντίστασης

Σημείωση 1 : Αντί για σύγκριση μεταξύ τάσεων , όπως αναφέραμε παραπάνω μπορεί να γίνει μια σύγκριση μεταξύ δυνάμεων , ροπών κ.α.

Κεφάλαιο Β-Τιμές για τους μερικούς συντελεστές

Στον Πίνακα Β.1 δίνονται οι τιμές για του συντελεστές $\gamma_p, \gamma_m, \gamma_f$ που χρησιμοποιούνται στο υπολογισμούς της αντοχής για συνδυασμούς φορτίων **A, B** και **C** .

Πίνακας Β.1 – Τιμές για του συντελεστές¹⁾ $\gamma_p, \gamma_m, \gamma_f$

Συνδυασμό φορτίων	Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης	Μέθοδος της οριακής κατάστασης										
	Συντελεστής γ_f	Συντελεστής αντίστασης γ_m	Μερικός συντελεστής φορτίου γ_p									
A	1,48	1,1	1,16	1,22	1,28	1,34²⁾	1,41	1,48	1,55	1,63	1,71	1,8
B	1,34	1,05	1,1	1,16	1,22	1,28²⁾	1,34	1,41	1,48	1,55	1,63	1,71
C	1,22	1	1,05	1,1	1,16	1,22²⁾	1,28	1,34	1,41	1,48	1,55	1,63

1) Οι συντελεστές έχουν υπολογιστεί από την σχέση $\gamma = 1,05^v$ όπου $0 \leq v \leq 12$
2) Οι τιμές αυτές εφαρμόζονται στην μάζα του ωφέλιμου βάρους

Για ξεχωριστές μορφές ανύψωσης , οι τιμές του μερικού συντελεστή για κάθε φορτίο εκλέγονται από τον Πίνακα Β.1 και αναφέρονται στα ξεχωριστά τμήματα (Part) στο συγκεκριμένο πρότυπο για κάθε είδους γερανού που χρησιμοποιείται . Όταν εμφανίζεται το ίδιο φορτίο σε παραπάνω από έναν συνδυασμό , οι τιμές του γ_p που εφαρμόζεται στο συγκεκριμένο φορτίο θα λαμβάνεται από την ίδια στήλη .

Η τιμή του γ_p εκλέγεται σύμφωνα με την ακρίβεια που καθορίζεται το σχετικό φορτίο. Μπορεί να υπάρχουν ειδικές τιμές όπου η επίδραση ενός φορτίο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των τάσεων και τιμές για $\gamma_p \leq 1$ μπορεί να αποδειχθούν ως κατάλληλες . Αυτό αναφέρεται και στα υπόλοιπα τμήματα του πρότυπου.

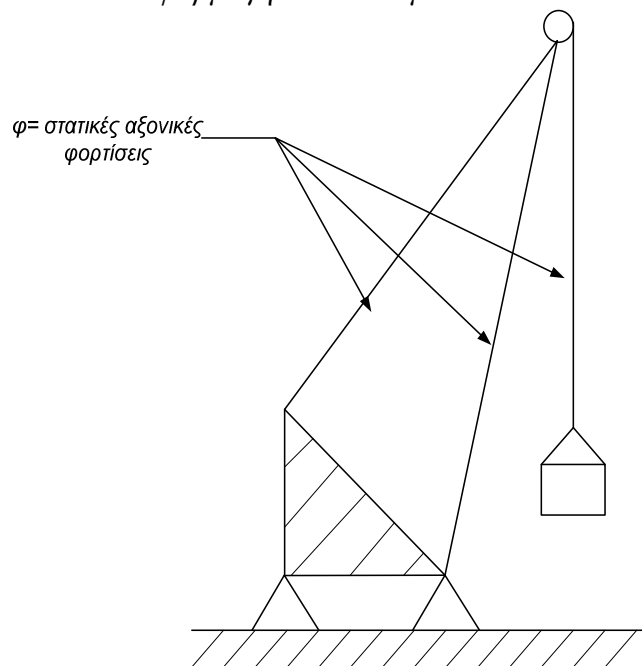
Κεφάλαιο C-Σχολιασμός για την εφαρμογή των συντελεστών φ

C.1 Δυναμικές επιδράσεις

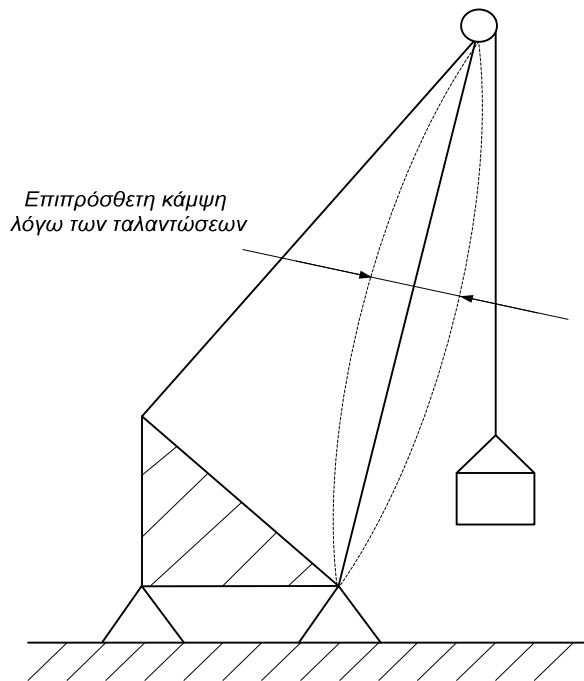
Γενικά η δυναμική απόκριση που προκαλείται από διάφορα φορτία λαμβάνεται υπόψη με την χρήση των δυναμικών συντελεστών φ , ο οποίος πολλαπλασιάζεται στις δυνάμεις βαρύτητας που δημιουργούνται εξαιτίας των μαζών και στις εσωτερικές δυνάμεις που εμφανίζονται λόγω της κίνησης του στερεού σώματος (Βλ. Εικόνα C.1).

Στις περιπτώσεις όπου οι επιδράσεις των φορτίων και η δυναμική απόκριση δεν μπορούν να καλύπτονται από τους δυναμικούς συντελεστές, η κινηματική ανάλυση ή πειράματα θα πρέπει να διεξάγονται, εκτός και είναι γνωστό από δοκιμές πως οι επιδράσεις αυτές είναι πάρα πολύ μικρές και μπορούν να αμεληθούν.

Εικόνα C.1 – Εφαρμογή των δυναμικών συντελεστών φ



α) Παράδειγμα για τις επιδράσεις των φορτίων που καλύπτονται από τους φ συντελεστές.



β) Παράδειγμα για τις επιδράσεις των φορτίων χωρίς τους φ συντελεστές

Κεφάλαιο D-Εφαρμογή για την εκτίμηση της τιμής του συντελεστή φ_4 με κίνηση πάνω σε σιδηροτροχιές

D.1 Γενικά

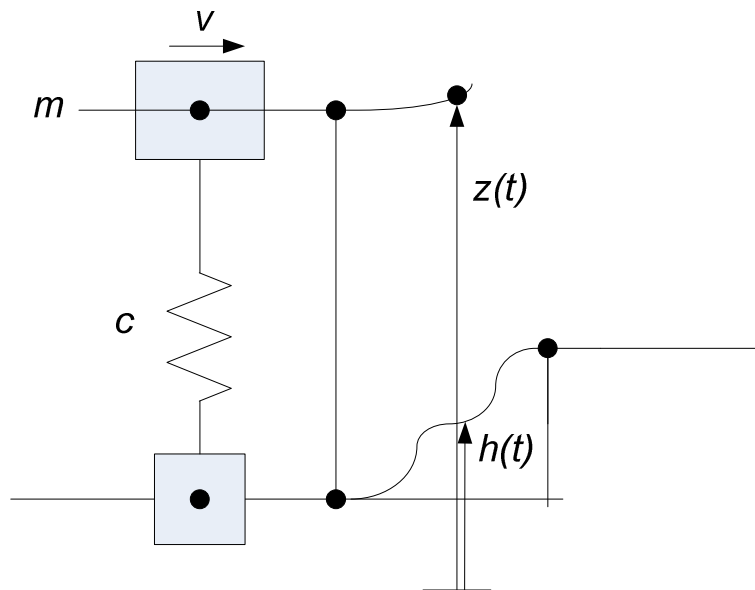
Τα δυναμικά φορτία που εμφανίζονται κατά την κίνηση πάνω σε σιδηροτροχιές με βήματα ή κενά μπορούν να εκτιμηθούν με την χρήση της κινηματικής ανάλυσης παραμορφώσιμου σώματος . Χρησιμοποιούνται συναρτήσεις ανωμαλίας που αντιπροσωπεύουν τα εμπόδια ή τα κενά στις σιδηροτροχιές .

D.2 Κινηματικό μοντέλο ελαστικού σώματος

Σε αυτή την εφαρμογή , τα δυναμικά φορτία που προκαλούνται από την διέγερση του συστήματος εκτιμώνται με την χρήση ενός απλού μοντέλου . Μια μάζα m σε κιλά κινείται οριζόντια με σταθερή ταχύτητα v ,στηρίζεται με ένα γραμμικό ελατήριο c , και κινείται κατά μήκος μιας γραμμής (βλ. Εικόνα D.1).

Η συνάρτηση $h(t)$ παριστάνει την ανωμαλία της σιδηροτροχιάς και , η συνάρτηση $z(t)$ παριστάνει, περιγράφει την θέση του κέντρου βάρους της μάζας ,η δύναμη του ελατηρίου δίνεται από την σχέση $F(t) = c[h(t) - z(t)]$ σε N.

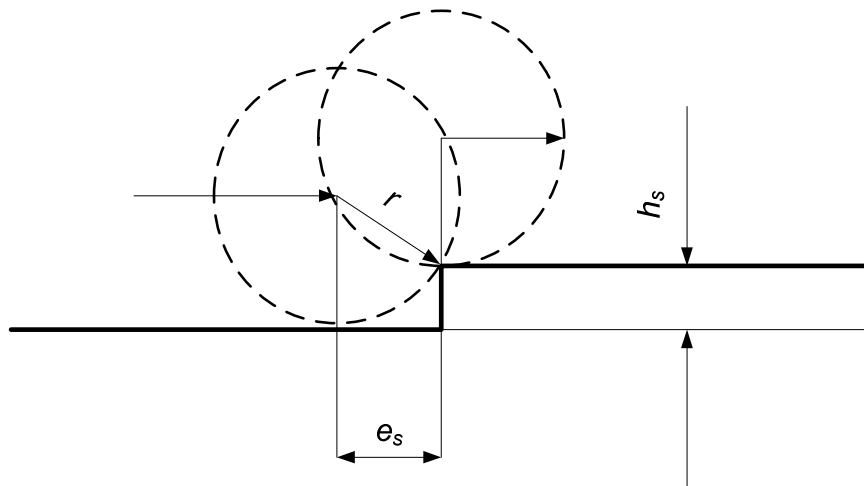
Η μέγιστη τιμή της δύναμης δίνεται από το μέγιστο της συνάρτησης $F(t)$ κατά την διάρκεια της ταλάντωσης . Αυτό όμως μπορεί να γίνει κατά την διάρκεια ή μετά την περίοδο της διέγερσης .



Εικόνα D.1 – Μοντέλο για το καθορισμό του συντελεστή φ_4

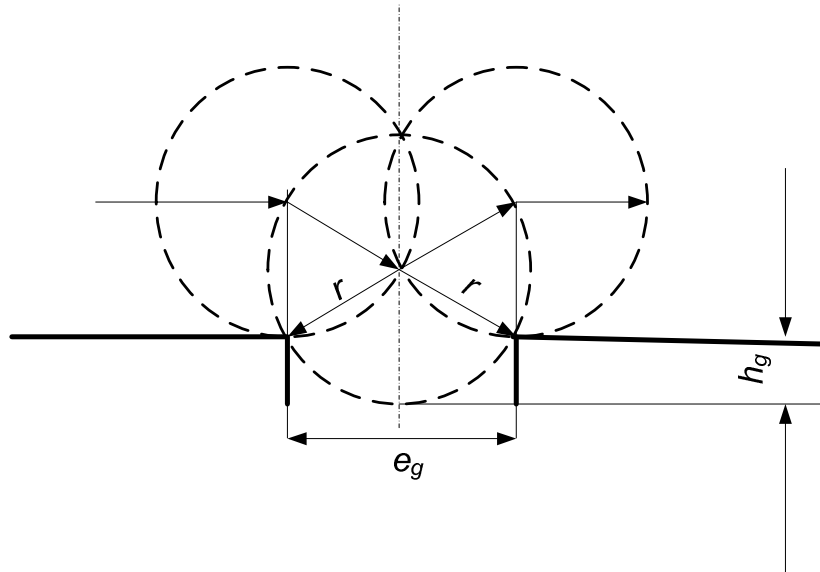
D.2.1 Κίνηση τροχού σε εμπόδιο ή κενό

Η κίνηση τροχού όταν συναντήσει ένα εμπόδιο ή κενό φαίνεται στις Εικόνες D.1 και D.2.



$$e_s \approx \sqrt{2rh_s} \quad , \quad h_s = r$$

α) Εμπόδιο κατά την κίνηση

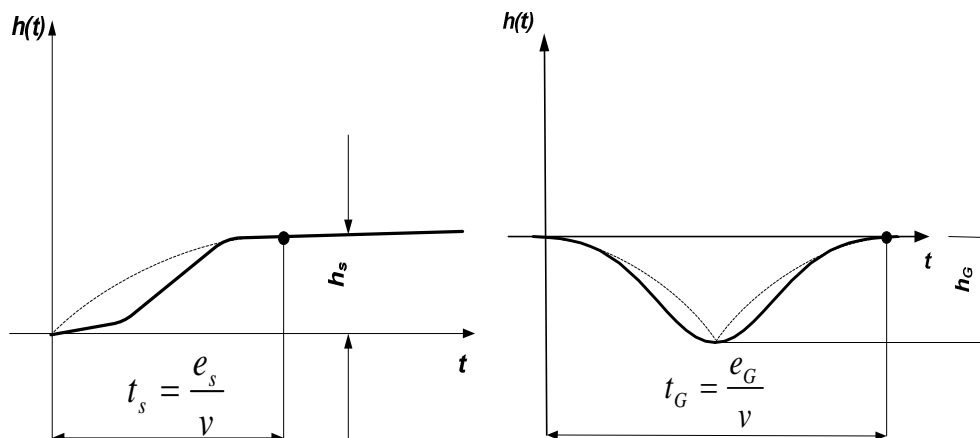


$$h_g \approx \frac{e_g^2}{8r} \quad e_g \approx r$$

β) Συναντώντας κενό κατά την κίνηση

D.2.2 Συναρτήσεις ανωμαλίας για την διέγερση του κινηματικού μοντέλου

Οι συναρτήσεις ανωμαλίας για την διέγερση του κινηματικού μοντέλου φαίνονται στην Εικόνα D.3 .



$$h(t) = \frac{h_s}{2} (1 - \cos \Omega t)$$

Όπου $\Omega t_s = \pi$

α) Προσπέλαση από εμπόδιο

$$h(t) = \frac{h_g}{2} (1 - \cos \Omega t)$$

Όπου $\Omega t_G = \pi$

β) Προσπέλαση από κενό

Εικόνα D.3-Συναρτήσεις ανωμαλίας

D.2.3 Μέγιστες κατακόρυφες επιταχύνσεις

D.2.3.1 Στο κατώτερο μέρος του ελατηρίου

Η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση \hat{h} σε εκείνο το σημείο όταν συναντάει ένα εμπόδιο ή ένα κενό με σταθερή ταχύτητα v δίνεται από την σχέση :

$$\hat{h} = \frac{h_s}{2} \Omega^2 = \frac{h_G}{2} \Omega^2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \left(\frac{v}{r}\right)^2$$

D.2.3.2 Μέγιστη επιτάχυνση της μάζας όταν συναντάει ένα εμπόδιο

Η επιτάχυνση της μάζας m στην συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την σχέση

$$\hat{z} = \hat{h} \xi_s(a_s)$$

Όπου $a_s = \frac{\omega h}{\pi v} \sqrt{\frac{2r}{h_s}}$ και $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$ είναι η κυκλική συχνότητα του στερεού

σώματος .

D.2.3.3 Μέγιστη επιτάχυνση της μάζας όταν συναντάει ένα κενό

Η μέγιστη επιτάχυνση της μάζας m στην συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την σχέση

$$\hat{z} = \hat{h} \xi_G(a_G)$$

Όπου $a_G = \frac{\omega e_G}{2\pi v}$

D.2.3.4 Συντελεστές ξ_s και ξ_G

Στην Εικόνα D.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες των $\xi_s(a_s)$ και $\xi_G(a_G)$ για παραβολική συνάρτηση ανωμαλίας και συγκρίνονται με τις κατά προσέγγιση συνημιτονικές συναρτήσεις ανωμαλίας .Οι αριθμοί [(1) και (2)] δείχνουν την περίοδο για την οποία οι συντελεστές ξ είναι αποδεκτοί . Η περίοδος (1) περιλαμβάνει χρόνους t_s και t_G και η περίοδος (2) τον χρόνο που έπεται .

Για τις δύο διέγερσης (εμπόδιο και κενό) οι μέγιστες τιμές για τους ξ_s ή ξ_G για $a \leq 1,3$ έχει αποδειχθεί πως εμφανίζονται στην (2) περίοδο , δηλαδή μετά τον χρόνο που ο τροχός έχει περάσει την ανώμαλη επιφάνεια με συνάρτηση ανωμαλίας την συνημιτονική.

Σε αυτές τις περιπτώσεις οι τιμές των συντελεστών καθορίζονται από τις δύο παρακάτω σχέσεις .

$$\xi_s = \frac{a_s^2}{1-a_s^2} \sqrt{2+2\cos(\pi a_s)}$$

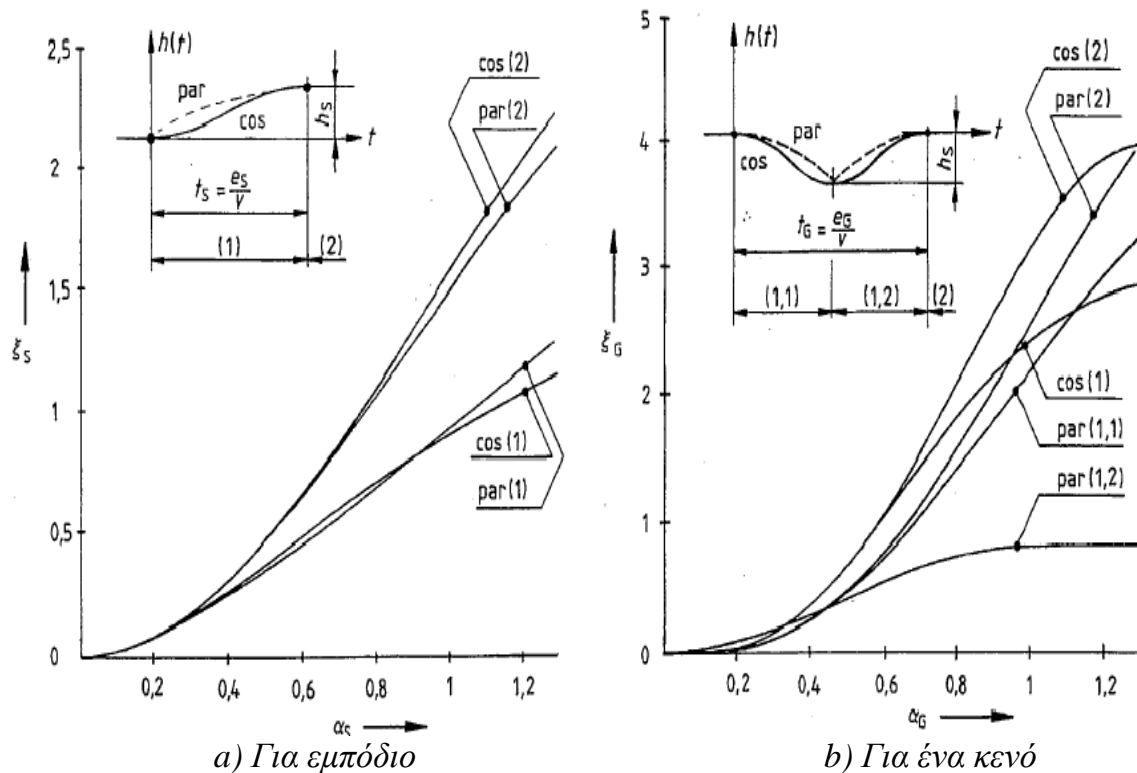
ή

$$\xi_G = \frac{a_G^2}{1-a_G^2} \sqrt{2-2\cos(2\pi a_G)}$$

D.2.3.5 Δυναμικός συντελεστής φ_4

Ο συντελεστής φ_4 ορίζεται από την παρακάτω σχέση

$$\varphi_4 = \frac{mg + m\hat{z}}{mg} = 1 + \frac{\hat{h}}{g} \xi$$



Εικόνα D.4- Καμπύλες για τις συναρτήσεις ανωμαλίας

Για τις δύο περιπτώσεις διέγερσης συμπεριλαμβάνοντας την υπόθεση για $a \leq 1,3$, με την εφαρμογή των ξ_s, ξ_G ο συντελεστής υπολογίζεται όπως παρακάτω :

$$\text{Για εμπόδιο } \varphi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{v^2}{gr} \xi_s(a_s)$$

$$\text{Για κενό } \varphi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{v^2}{gr} \xi_G(a_G)$$

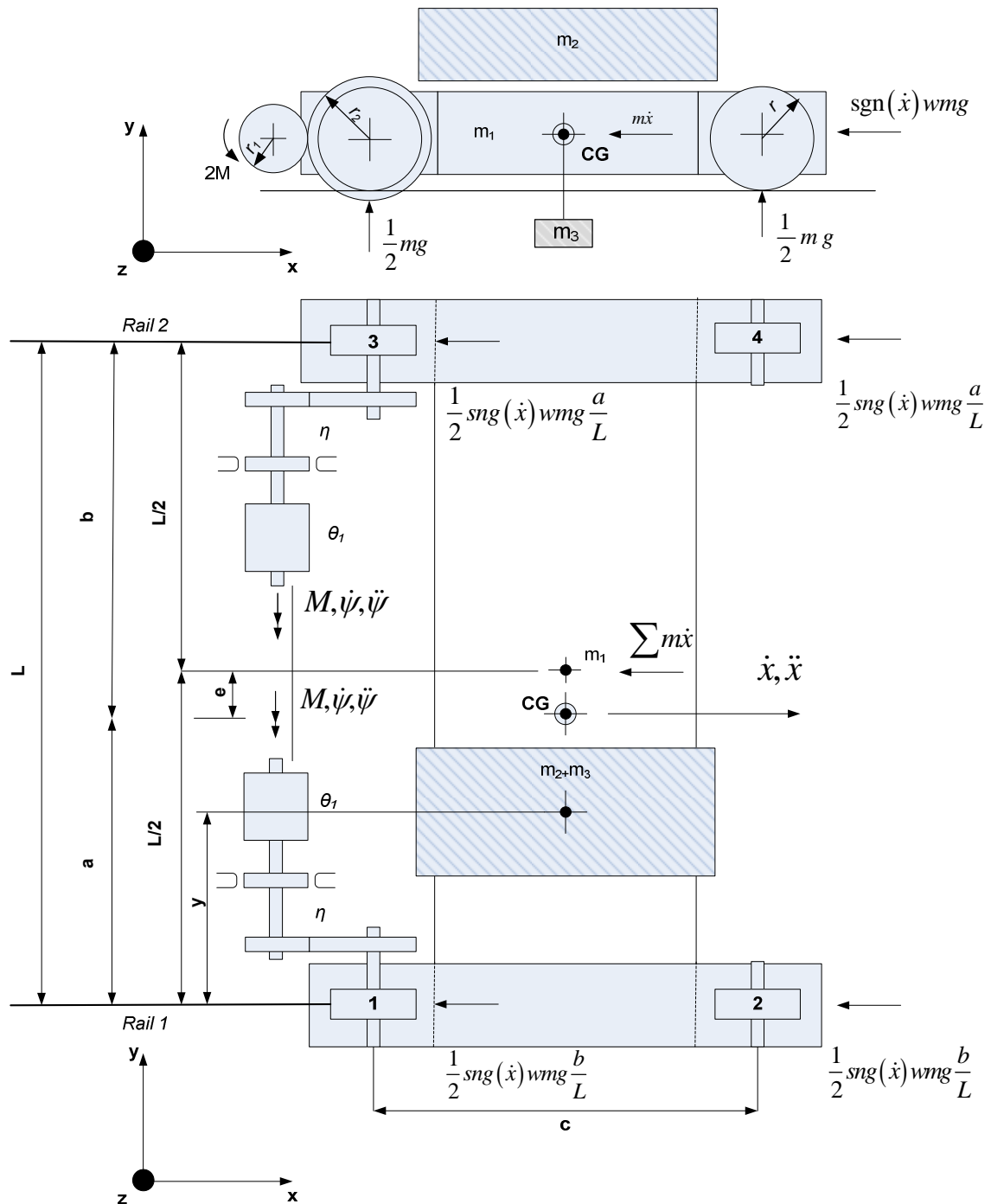
D.2.3.6 Σχολιασμός

Η χρήση του κινηματικού μοντέλου ελαστικού σώματος περιορίζεται σε εφαρμογές για τις οποίες η δυναμική συμπεριφορά του μοντέλου διεγείρεται κατά την προσπέλαση από ένα εμπόδιο ή ένα κενό . Εάν υπάρχουν παραπάνω είδη τα οποία δημιουργούν μια επιπλέον απόκριση στο σύστημα ή και μια περιστροφή , είναι υποχρέωση του σχεδιαστή να εκτιμήσει τα δυναμικά φορτία που θα δημιουργηθούν με ένα κατάλληλο μοντέλο ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν .

Κεφάλαιο Ε-Εφαρμογή για την εκτίμηση φορτίων που δημιουργούνται από τις επιταχύνσεις

E.1 Κινηματική ανάλυση στερεού σώματος

Η εφαρμογή γίνεται σε εναέρια ανυψωτική εφαρμογή γερανού (γερανογέφυρα)η οποία αποτελείται από δύο σιδηροδοκούς και στηρίζεται σε τέσσερις τροχούς και κινείται με σταθερή ταχύτητα . Οι δύο τροχοί που βρίσκονται στην αριστερή πλευρά Εικόνας Ε.1 κινούνται από ανεξάρτητο μηχανισμό κίνησης . Το φορείο που μεταφέρει το φορτίο στηρίζεται από την γερανογέφυρα .



Εικόνα E.1 – Φορτία που ενεργούν κατά την κίνηση της γερανογέφυρας

Οι δυνάμεις που δημιουργούνται από τον μηχανισμό κίνησης από του κινητήρες και τα φρένα μεταφέρονται μέσω ενός οδοντωτού τροχού κίνησης του γερανού. Οι τροχοί κίνησης του γερανού στηρίζονται στο τέλος του φορείου, οι δύο τροχοί από την αριστερή πλευρά (Βλ. Εικόνα E.1) είναι κινητοί, ενώ από την δεξιά πλευρά είναι σταθεροί.

Παρκάτω δίνονται οι ορισμοί των συμβολισμών που χρησιμοποιούνται στην Εικόνα Ε.1 .

- L μήκος της συσκευής
- y απόσταση της μάζας του φορείου από την σιδηροτροχιά 1 (rail)
- a απόσταση του κέντρου βάρους από την σιδηροτροχιά 1 (rail)
- b απόσταση του κέντρου βάρους από την σιδηροτροχιά 1 (rail)
- r_1 ακτίνα του κινητήριου τροχού 1
- r_2 ακτίνα του κινητήριου τροχού 2
- r ακτίνα του τροχού κίνησης της γερανογέφυρας
- m_1 μάζα της γερανογέφυρας μαζί με τον μηχανισμό κίνησης
- m_2 μάζα του φορείου
- m_3 η μεικτή μάζα
- m μάζα που ανυψώνεται από τον γερανό
- θ_1 γωνία περιστροφής που δημιουργείται από τις αδρανειακές δυνάμεις του κινητήρα , στις συνδέσεις , από την πέδηση στον κινητήριο τροχό 1

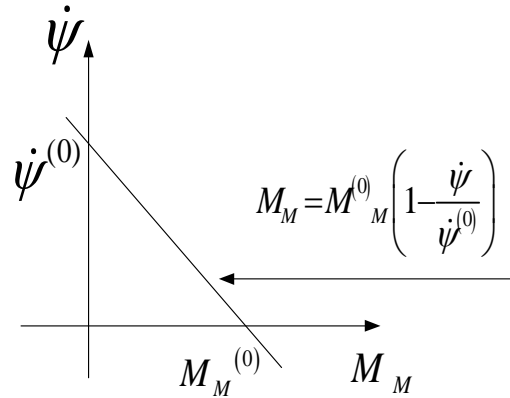
- θ_2 γωνία περιστροφής που δημιουργείται από τις αδρανειακές δυνάμεις του κινητήρα , και τους τροχούς κίνησης στον κινητήριο τροχό 2
- η Συντελεστής απόδοσης του μειωτήρα
- $\dot{\psi}, \ddot{\psi}$ ταχύτητα περιστροφής και επιτάχυνση, του κινητήρα , της πέδησης και του κινητήριου τροχού 1
- \dot{x}, \ddot{x} ταχύτητα κίνησης και επιτάχυνση της ανυψωτικής κατασκευής
- M ροπή που μεταφέρεται στην πρώτη άτρακτο του μηχανισμού κίνησης
- M_M ροπή που δημιουργείται από την περιστροφή του κινητήρα
- M_B ροπή που δημιουργείται λόγω της μηχανικής πέδησης

E.2 Δυνάμεις

E.2 .1 Δυνάμεις κίνησης και εξωτερικές δυνάμεις

Η κίνηση της ανυψωτικής συσκευής και οι επιδράσεις των φορτίων εξαρτώνται από τις δυνάμεις κίνησης οι οποίες βρίσκονται σε ισορροπία με τις δυνάμεις τριβής , τις δυνάμεις αδράνειας και τις εξωτερικές δυνάμεις. Οι εξωτερικές δυνάμεις περιλαμβάνουν και τις δυνάμεις τριβής που δημιουργούνται από την αντίσταση των τροχών , και τα φορτία ανέμου .

Οι ροπές $M = M_B$ ή $M = M_A$ μπορεί να καθοριστούν από τα χαρακτηριστικά του κινητήρα αυτό φαίνεται και στις δύο Εικόνες Ε.2 και Ε.3 .

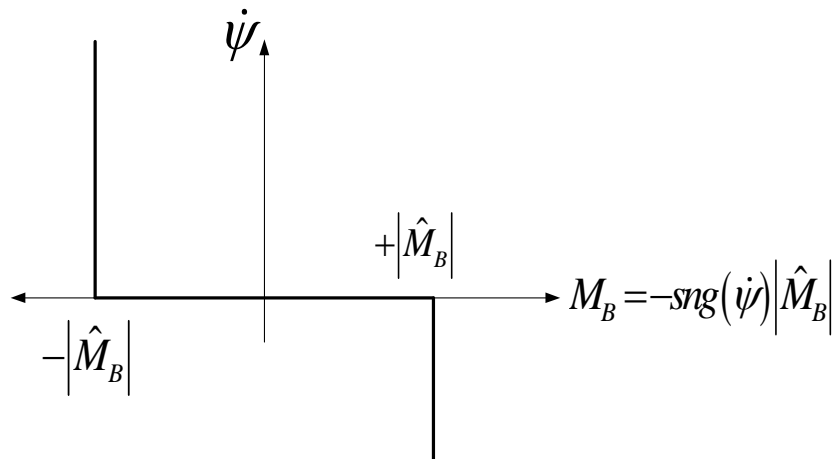


Εικόνα E.2 – Παρουσίαση των χαρακτηριστικών μεγεθών του κινητήρα

M_M ροπή που δημιουργείται από την περιστροφή του κινητήρα με ταχύτητα περιστροφής $\dot{\psi}$

$M_M^{(0)}$ ροπή εκκίνησης του κινητήρα $\dot{\psi} = 0$

$\dot{\psi}^{(0)}$ είναι η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα για $M_M = 0$

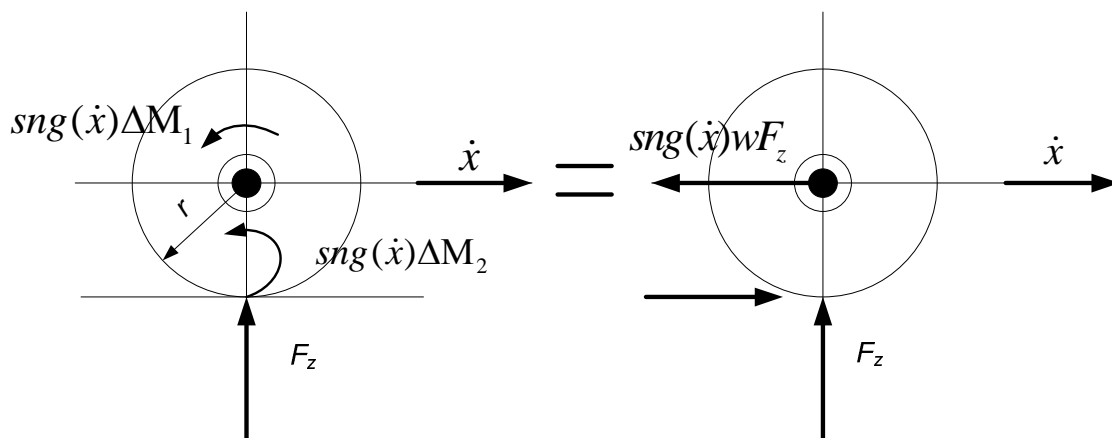


Εικόνα E.3 – Μηχανική πέδηση

M_B είναι η ροπή πέδησης με κατεύθυνση αντίθετη της ταχύτητας περιστροφής $\dot{\psi}$. Για λόγους απλοποίησης το μέτρο $|\hat{M}_B|$ λαμβάνεται ως συνεχής συνάρτηση και εκφράζεται από την σχέση $M_B = -sng(\dot{\psi})|\hat{M}_B|$.

E.2 .2 Απώλειες τριβής στους τροχούς

Στην παρακάτω Εικόνα φαίνονται οι απώλειες τριβής κατά την κίνηση ενός τροχού .



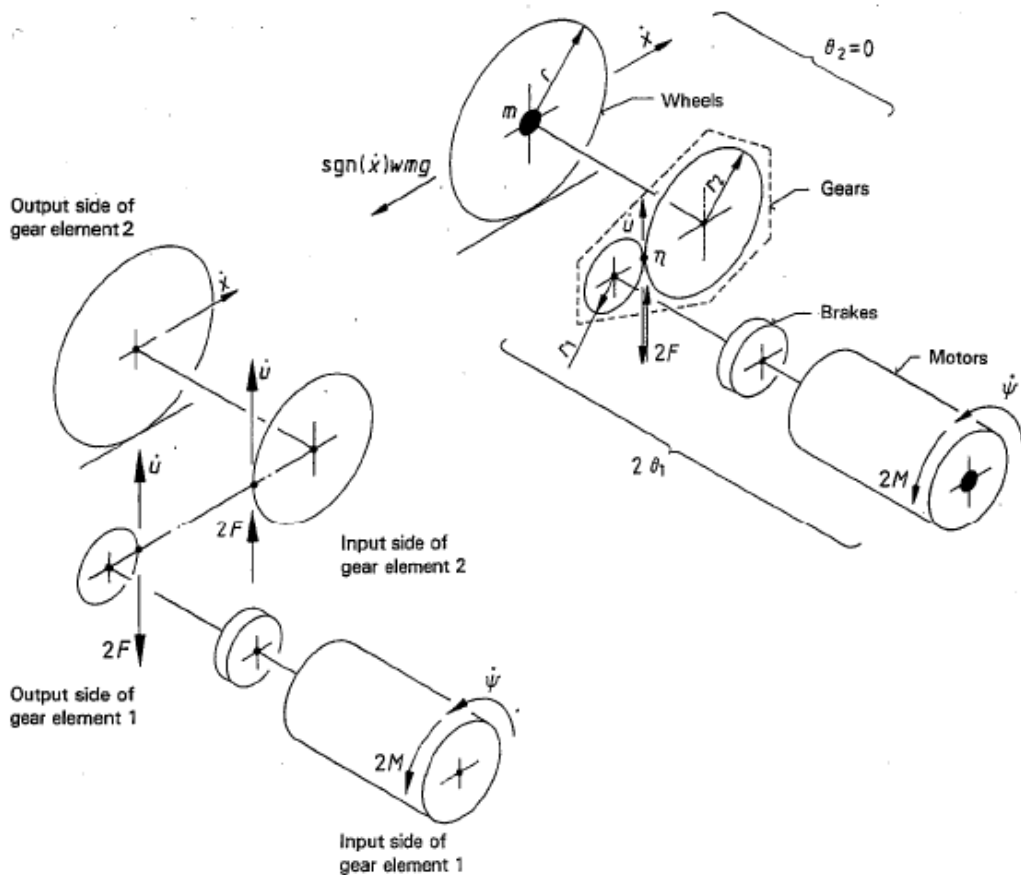
Εικόνα E.4 – Απώλειες τριβής στους τροχούς

- ΔM_1 Είναι οι απώλειες ροπής λόγω της τριβής στα ρουλεμάν των τροχών
- ΔM_2 Είναι οι απώλειες ροπής λόγω της τριβής των τροχών κατά την επαφή τους με τους οδηγούς της σιδηροτροχιάς
- F_z Είναι η δύναμη αντίδρασης των τροχών
- w Είναι ο ισοδύναμος συντελεστής τριβής ($\Delta M_1 + \Delta M_2 = wF_z$)

E.3 Επιταχύνσεις από το μηχανισμό κίνησης

Ο μηχανισμός κίνησης που φαίνεται στην Εικόνα E.5 χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των επιταχύνσεων της κίνησης . Αυτή η παρουσίαση συνδυάζει τους δύο μηχανισμούς που λειτουργούν με ίσες δυνάμεις και συμπεριλαμβάνει όλες τις σημαντικές επιδράσεις .

Από την κινηματική ανάλυση στερεού σώματος , αμελώντας τις ροπές των αδρανειακών μαζών θ_2 , η επιτάχυνση \ddot{x} για μια ανύψωση φορτίου η οποία δεν επηρεάζεται από τα φορτία ανέμου είναι



Εικόνα E.5-Μηχανικό μοντέλο του γερανού.

$$\ddot{x} = \frac{2Mr_1^{-1}r_2r^{-1}\eta^\lambda - \text{sgn}(\dot{x})wmg}{2\theta_1(r_1^{-1}r_2r^{-1})^2\eta^\lambda + m}$$

Όπου

$$\lambda = \text{sgn}(\dot{u}F)$$

\dot{u} είναι η επαπτόμενη ταχύτητα στους οδοντωτούς τροχούς

F είναι η επαπτόμενη δύναμη που μεταφέρεται από τους οδοντωτούς τροχούς

E.4 Φορτία και επιδράσεις φορτίων

Τα φορτία και οι επιδράσεις φορτίων που δημιουργούνται από τον μηχανισμό κίνησης κατά την κανονική λειτουργία θα υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψιν τις δύο σχετικές περιπτώσεις :

- 1) Περίπτωση 1 : Επιταχύνοντας το σύστημα με $\dot{\psi} = 0$ και με ροπή εκκίνησης $M_M^{(0)}$ σε κάθε μηχανισμό κίνησης

- 2) Περίπτωση 2 : Επιβραδύνοντας τον γερανό από την σταθερή κατάσταση κίνησης ($\dot{\psi} = \ddot{x} = 0$) με μηχανική πέδηση όπου η ροπή σε κάθε μηχανισμό κίνησης αλλάζει από $M_M (\dot{\psi} = 0)$ σε ροπή $-\hat{M}_B$.

Οι Περιπτώσεις 1 και 2 λαμβάνονται ως στιγμιαίες αλλαγές στην ροπή. Παρουσιάζονται στην Εικόνα Ε.6

E.5 Επιταχύνσεις

Προτού λοιπόν εφαρμόσουμε μια από τις δύο περιπτώσεις, θα πρέπει να εκτιμήσουμε την αρχική και την τελική επιτάχυνση, αυτό γίνεται ως εξής :

- 1) Περίπτωση 1 :

$$\ddot{x}_{(i)} = 0 \text{ αρχική επιτάχυνση}$$

$$\ddot{x}_{(f)} = \frac{2M_M^{(0)} r_1^{-1} r_2 r^{-1} \eta - wmg}{2\theta_1 (r_1^{-1} r_2 r^{-1})^2 \eta + m} \text{ τελική επιτάχυνση}$$

Για $\lambda = +1 (\dot{u} > 0 \text{ και } F > 0)$

- 2) Περίπτωση 2 :

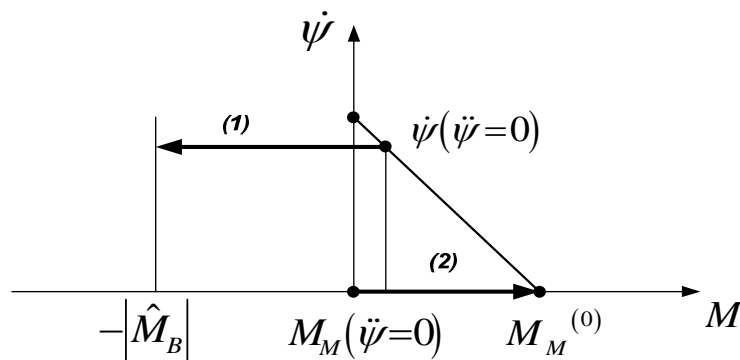
$$\ddot{x}_{(i)} = 0 = \frac{2M_M (\dot{\psi} = 0) r_1^{-1} r_2 r^{-1} \eta - wmg}{2\theta_1 (r_1^{-1} r_2 r^{-1})^2 \eta + m}$$

Για $\lambda = +1 (\dot{u} > 0 \text{ και } F > 0)$

$$\ddot{x}_{(f)} = -\frac{2|\hat{M}_B| r_1^{-1} r_2 r^{-1} \eta + wmg}{2\theta_1 (r_1^{-1} r_2 r^{-1})^2 \eta + m}$$

Για $\lambda = -1 (\dot{u} < 0 \text{ και } F < 0)$

Από τα παραπάνω συμπεράσματα παρατηρούμε πως ισχύει $|\hat{M}_B| = M_M^{(0)}$, η επιτάχυνση $\ddot{x}_{(f)}$ για την Περίπτωση 1 είναι μικρότερη από την επιβράδυνση $\ddot{x}_{(f)}$ για την Περίπτωση 2.



Εικόνα Ε.6- Περιπτώσεις (1) και (2)

E.6 Σχεδιασμός φορτίων στα μηχανικά στοιχεία

Ως ένα παράδειγμα , η εφαπτόμενη δύναμη που μεταφέρεται από τους οδοντωτούς τροχούς F και λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς , προσδιορίζεται παρακάτω (Παράγραφοι E.3 και Εικόνα E.4).

$$F = (M - \theta_1 \ddot{\psi}) r_1^{-1}$$

$$\text{Με } \ddot{\psi} = r_1^{-1} r_2 r^{-1} \ddot{x}$$

$$\text{Όπου } \Delta F = F_{(f)} - F_{(i)}$$

1) Περίπτωση 1 :

$$F_{(i)} = 0 \quad \text{αρχική δύναμη}$$

$$F_{(f)} = \left[M_M^{(0)} - \theta_1 r_1^{-1} r_2 r^{-1} \ddot{x}_{(f)} \right] r_1^{-1} \quad \text{τελική δύναμη}$$

2) Περίπτωση 2 :

$$F_{(i)} = M_M (\ddot{\psi} = 0) r_1^{-1}$$

$$F_{(f)} = \left[-|\hat{M}_B| - \theta_1 r_1^{-1} r_2 r^{-1} \ddot{x}_{(f)} \right] r_1^{-1}$$

E.7 Σχεδιασμός των επιδράσεων των φορτίων στα μηχανικά στοιχεία

Τα οριζόντια φορτία και οι αντιδράσεις που μεταφέρονται από το φορείο του γερανού και θα συμπεριλαμβάνονται στον σχεδιασμό , υπολογίζονται ως εξής (Βλέπε Εικόνα E.7) .

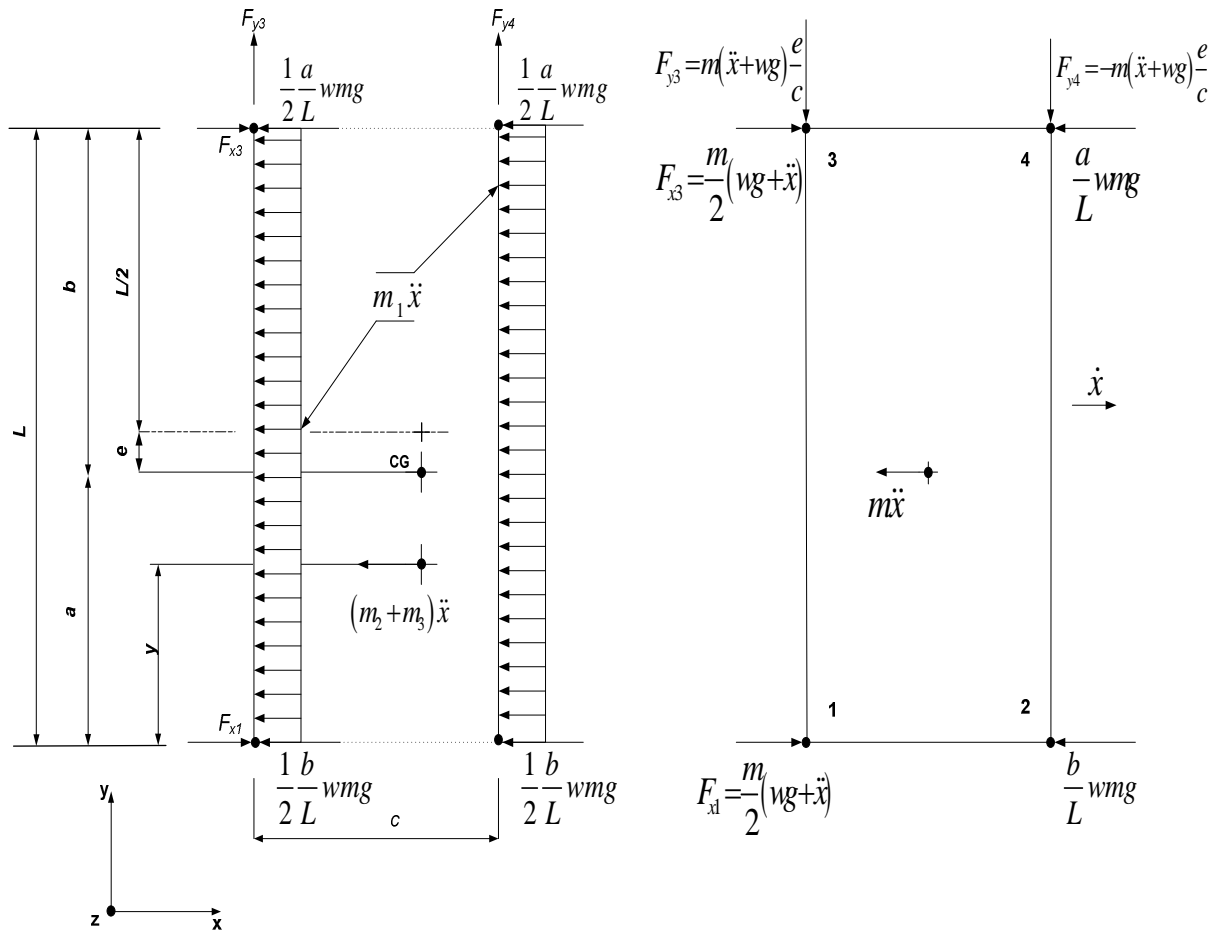
Κατά την επιτάχυνση , οι δύο μηχανισμοί κίνησης εξισορροπούν τις δυνάμεις των μαζών ($m\ddot{x} = m_1\ddot{x} + m_2\ddot{x} + m_3\ddot{x}$), και τις δυνάμεις τριβής στους τροχούς (wmg).

Υποθέτουμε ότι τα χαρακτηριστικά του συστήματος κίνησης του γερανού είναι όμοια με τα χαρακτηριστικά του συστήματος ελέγχου , συνεπώς οι δυνάμεις κίνησης είναι ίσα κατανεμημένες στους δύο μηχανισμούς $\left(F_{x3} = F_{x1} = \frac{1}{2} m\ddot{x} + \frac{1}{2} wmg \right)$. Οι δυνάμεις που προκύπτουν από τον μηχανισμό

κίνησης επιδρούν στο μέσο της απόστασης . Εγκάρσιες δυνάμεις $F_{y4} = -F_{y3}$ στις σιδηροτροχιές , εμφανίζονται συνήθως λόγω της απόστασης

$e = \frac{L}{2} - a$ μεταξύ των δυνάμεων που ενεργούν και των αντιδράσεων με

αποτέλεσμα $F_{y4} = F_{y3} = m(\ddot{x} + wg) \frac{e}{c}$.



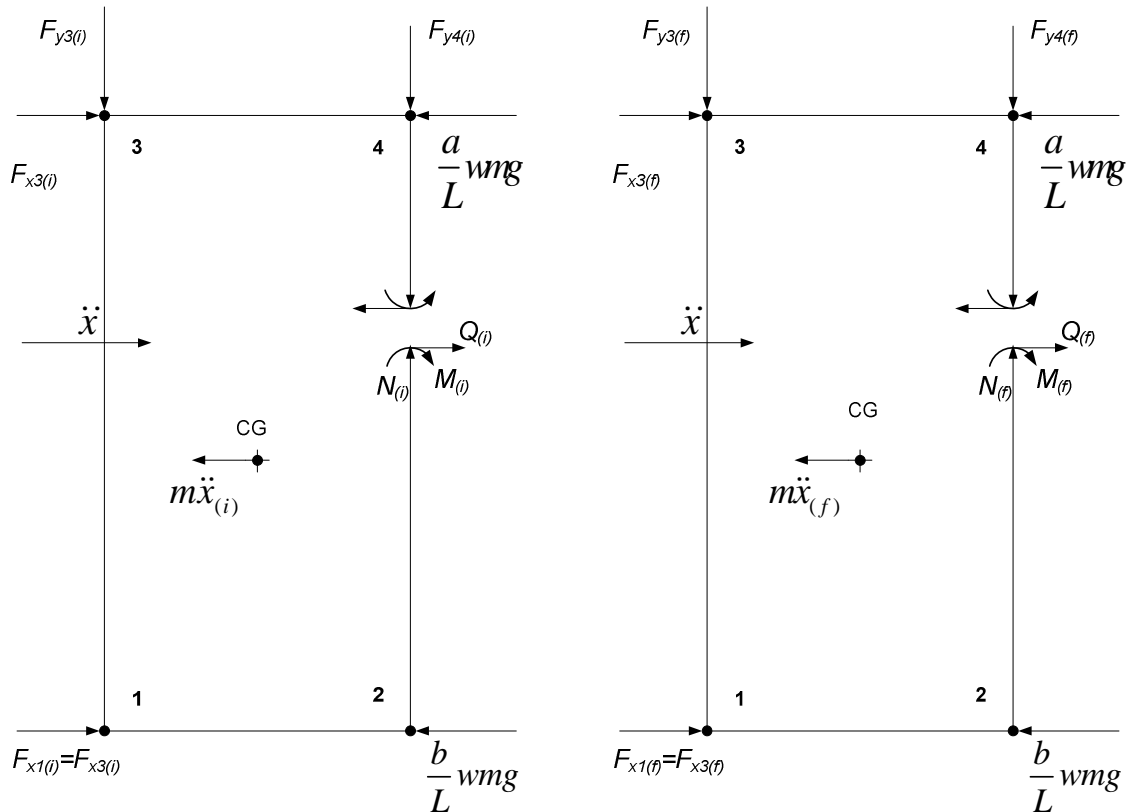
Εικόνα Ε.7 – Οριζόντια φορτία και οι αντιδράσεις που προκύπτουν

Οι τιμές επιδράσεων των φορτίων \hat{F} και οι επιταχύνσεις τους πριν $\ddot{x}_{(i)}$ και μετά $\ddot{x}_{(f)}$ τις αλλαγές στις ροπές (Περιπτώσεις 1 και 2) θα πρέπει να εκτιμώνται. Οι δυνάμεις των μαζών $m\ddot{x}_{(i)}$ και $m\ddot{x}_{(f)}$, όπως επίσης και οι δυνάμεις τριβής, και οι προκύπτουσες εσωτερικές δυνάμεις $F_i [N_i, Q_i, M_i]$ και $F_f [N_f, Q_f, M_f]$, θα πρέπει να υπολογίζονται με την μηχανική παραμορφώσιμου στερεού, θεωρώντας το φορείο του γερανού ως μια επίπεδη επιφάνεια (Βλέπε Εικόνα Ε.8).

Τα φορτία των επιδράσεων μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τις παραγράφους Ε.3 και Ε.6 από την σχέση .

$$\hat{F} = F_{(i)} + \varphi_5 \Delta F$$

$$\text{Όπου } \Delta F = F_{(f)} - F_{(i)}.$$



Εικόνα E.8-Καταστάσεις φόρτισης (Αρχική κατάσταση (i) και τελική(f) κατάσταση)

Κεφάλαιο F-Εφαρμογή για τον υπολογισμό των φορτίων που δημιουργούνται λόγω κλίσης

F.1 Υπολογιστικό μοντέλο

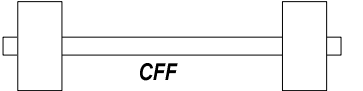



Για να εκτιμήσουμε τις επαπτόμενες δυνάμεις μεταξύ των τροχών και της σιδηροτροχιάς όπως και οι δυνάμεις που μεταξύ των μέσων οδήγησης , που δημιουργούνται εξαιτίας της κλίσης της ανύψωσης είναι απαραίτητο ένα μηχανικό μοντέλο κίνησης . Η ανύψωση του φορτίου γίνεται σε σταθερή ταχύτητα χωρίς έλεγχο στην κλίση της κατασκευής .

Το μοντέλο αυτό αποτελείται n ζευγάρια τροχών , για τα οποία p ζευγάρια τροχών συνδέονται με κοινή άτρακτο , ενώ τα υπόλοιπα είναι ανεξάρτητα . Ένα ανεξάρτητο ζευγάρι i τροχών μπορούν να καθοριστούν είτε με μηχανική σύνδεση (C coupled) είτε ηλεκτρικά , ή μπορεί να συναρμολογούνται ανεξάρτητα (I). Η τελευταία σύνδεση μπορεί να εφαρμοστεί και σε μονό ανεξάρτητο μηχανισμό κίνησης .

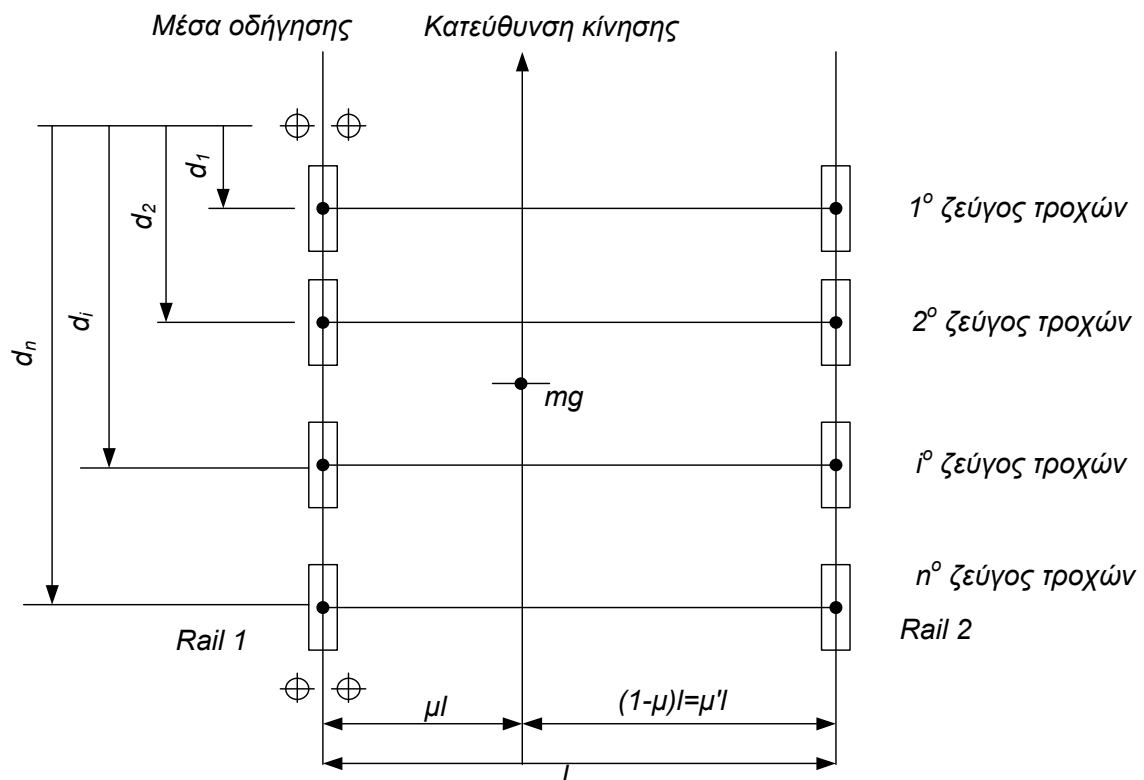
Οι τροχοί καθορίζονται από τις ιδανικές γεωμετρικές θέσεις για μια άκαμπτη ανυψωτική κατασκευή. Διαφορές μεταξύ των διαμέτρων των τροχών αμελούνται στο συγκεκριμένο μοντέλο. Θεωρούνται είτε σταθερές (fixed) είτε μεταβλητές (movable).

Οι διάφοροι πιθανοί συνδυασμοί των τροχών που είναι κάθετοι στην γραμμή κίνησης παρουσιάζονται στην Εικόνα F.1.

Στην Εικόνα F.2, οι θέσεις για τα ζεύγη των τροχών που εξαρτάται από την θέση των μέσων οδήγησης καθορίζονται από τις διαστάσεις d_i .

	<i>Coupled (C)</i>	<i>Independent (I)</i>
<i>Fixed/Fixed (F/F)</i>		
<i>Fixed/Movable (M/F)</i>		

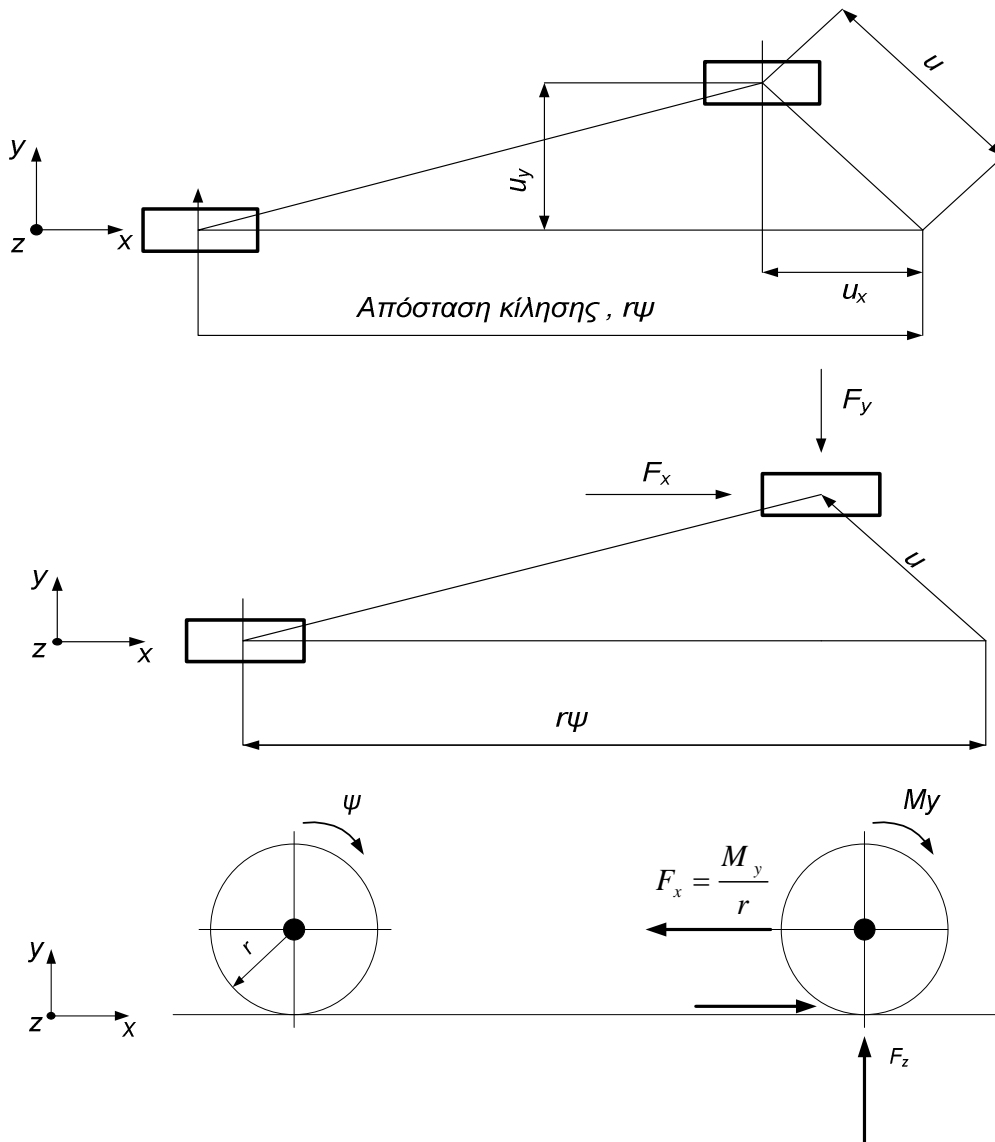
Εικόνα F.1 – Είδη συνδέσεων για τα ζεύγη τροχών



Εικόνα F.2-Θέσεις για τα ζεύγη τροχών

F.2 Σχέση μεταξύ των επαπτόμενων δυνάμεων και τις μετατοπίσεις

Αρχικά είναι σημαντικό να γίνει μια παραδοχή για την σχέση των επαπτόμενων δυνάμεων και τις αντίστοιχες μετατοπίσεις που εμφανίζονται μεταξύ των τροχών και των σιδηροτροχιών . Ο τροχός πρέπει να μεταφέρει ροπή M_y στην σιδηροτροχιά και η κίνηση του είναι περιορισμένη από το ίδιο το σύστημα , έτσι ολισθαίνει κατά μέτρο και κατεύθυνση $u(u_x, u_y)$, όσον αφορά τις επαπτόμενες δυνάμεις (F_x, F_y) αυτές αντιδρούν πάνω στον γερανό (Βλ. Εικόνα F.3) .



Εικόνα F.3 – Εφαπτόμενες δυνάμεις και μετατοπίσεις.

Γενικά η σχέση που υπάρχει είναι μεταξύ των (u_x, u_y) και της απόστασης $r\psi$, της δύναμης του τροχού F_z και των εφαπτόμενων δυνάμεων (F_x, F_y) όπως φαίνεται παρακάτω.

$$F_x = f_x(s_x, s_y, p_c, \Sigma E) F_z$$

$$F_y = f_y(s_x, s_y, p_c, \Sigma E) F_z$$

ΣE = συνθήκες και περιορισμοί στην επιφάνεια.

Ο συντελεστής τριβής του τροχού (f_x, f_y) εξαρτάται από την ολίσθηση δηλαδή από τις σχέσεις $(s_x = u_x / r\psi, s_y = u_y / r\psi)$, και την πίεση που δημιουργείται στην επαφή του τροχού με την σιδηροτροχιά, οι εμπειρικές σχέσεις που προκύπτουν είναι :

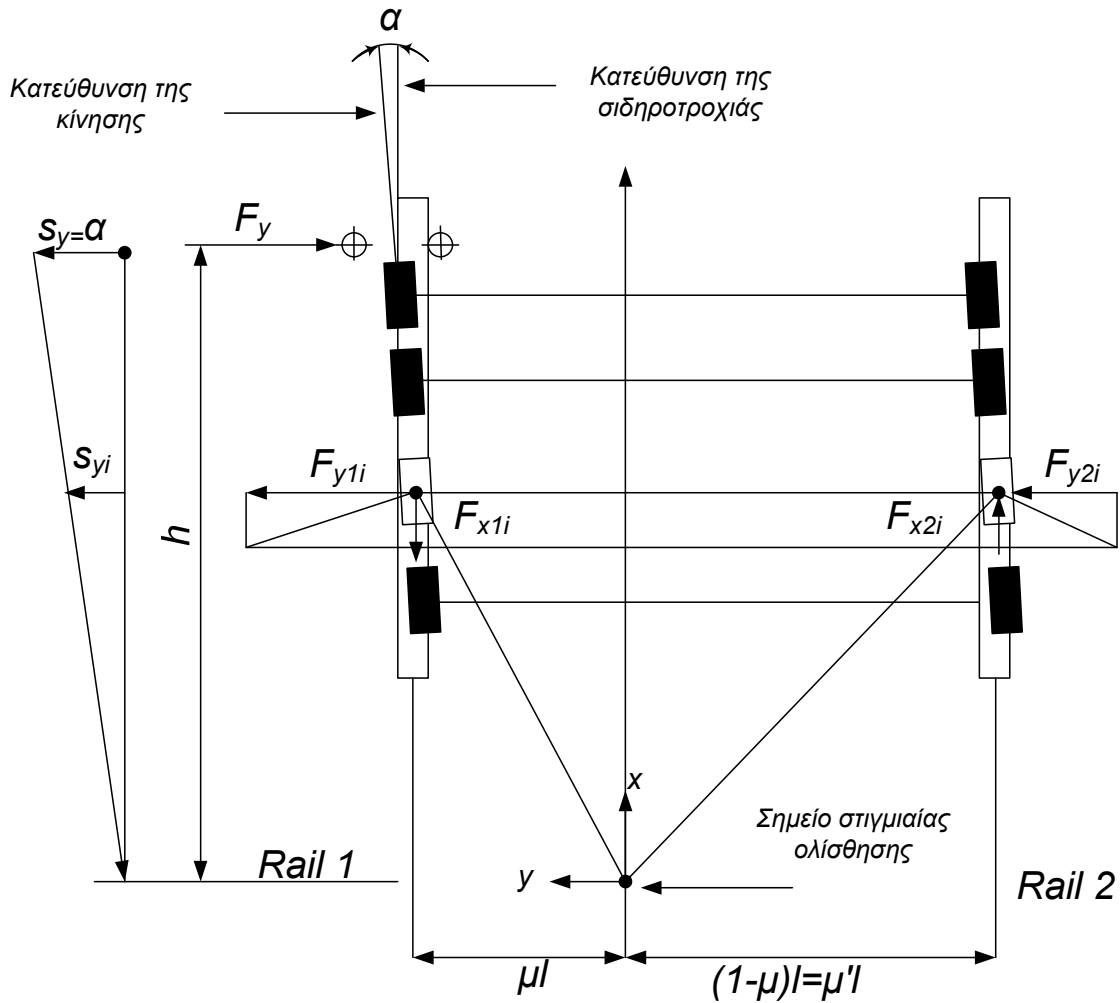
$$f_x = 0,3 [1 - \exp(-250s_x)] \text{ για } s_x \leq 0,015$$

$$f_y = 0,3 [1 - \exp(-250s_y)] \text{ για } s_y \leq 0,015$$

F.3 Φορτία λόγω κλίσης

Κάνουμε την παραδοχή ότι ο γερανός κινείται σε σταθερή ταχύτητα, και δημιουργείται κλίση με γωνία a όπως φαίνεται στην Εικόνα F.4. Η συσκευή οδηγείται οριζόντια με εξωτερικά μέσα οδήγησης ή από φλαντζωτούς τροχούς.

Η δύναμη οδήγησης F_y είναι σε ισορροπία με εφαπτόμενες δυνάμεις των τροχών $F_{x1i}, F_{y1i}, F_{x2i}, F_{y2i}$, οι οποίες δημιουργούνται από τη περιστροφή του γερανού που είναι περίπου ίση με την στιγμιαία ολίσθηση. Η μέγιστη πλευρική ολίσθηση είναι ίση με $s_y = a$ στους οδηγούς και για γραμμική κατανομή της πλευρικής ολίσθησης s_{yi} μεταξύ των οδηγών και της στιγμιαίας ολίσθησης, οι δυνάμεις που δημιουργούνται λόγω της κλίσης αυτής μπορούν να υπολογισθούν όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα F.4 –Φορτία που επιδρούν στον γερανό όταν βρίσκεται σε κλίση
 α) Απόσταση μεταξύ σημείου ολίσθησης και μέσων οδήγησης h

Για συστήματα F/F, (βλέπε Εικόνα F .1) είναι
$$h = \frac{(p\mu\mu' L^2 + \sum d_i^2)}{\sum d_i}$$

Για συστήματα F/M, (βλέπε Εικόνα F .1) είναι
$$h = \frac{(p\mu L^2 + \sum d_i^2)}{\sum d_i}$$

Όπου p είναι ο αριθμός των ζευγαριών των τροχών που συνδέονται με κοινή άτρακτο

μ είναι η απόσταση του σημείου ολίσθησης από την σιδηροτροχιά 1 (rail1)

μ' είναι η απόσταση του σημείου ολίσθησης από την σιδηροτροχιά 2 (rail 2)

L το μήκος της επιφάνειας της εφαρμογής

d_i είναι η απόσταση του ζεύγους τροχών i από τα μέσα οδήγησης

b) Δύναμη οδήγησης F_y

$$F_y = v f m g$$

Όπου

$$v = 1 - \frac{\sum d_i}{\eta h} \text{ για συστήματα F/F}$$

$$v = \mu' \left(1 - \frac{\sum d_i}{\eta h} \right) \text{ για συστήματα F/M}$$

Με $f = 0,3[1 - \exp(-250\alpha)]$ όπου $\alpha \leq 0,015$ και mg είναι η βαρυτική δύναμη της μάζας που ανυψώνεται .

F.4 Εφαπτόμενες δυνάμεις F_x και F_y

$$F_{x1i} = \xi_{1i} fmg$$

$$F_{x2i} = \xi_{2i} fmg$$

$$F_{y1i} = v_{1i} fmg$$

$$F_{y2i} = v_{2i} fmg$$

Οι f και mg δίνονται στην παραπάνω παράγραφο , οι τιμές των $\xi_{1i}, \xi_{2i}, v_{1i}, v_{2i}$ δίνονται στον Πίνακα F.1 .

Συνδυασμό	$\xi_{1i} = \xi_{2i}$	v_{1i}	v_{2i}
<i>CFF</i>	$\mu\mu' L / \eta h$	$\frac{\mu'}{\eta} \left(1 - \frac{d_i}{h} \right)$	$\frac{\mu}{\eta} \left(1 - \frac{d_i}{h} \right)$
<i>IFF</i>	0		0
<i>CFM</i>	$\mu\mu' L / \eta h$		
<i>IFM</i>	0		

Πίνακας F.1 – Τιμές των $\xi_{1i}, \xi_{2i}, v_{1i}, v_{2i}$

Μέρος 2^ο : Κινητοί γερανοί

1.Σκοπός

Αυτό το μέρος εφαρμόζει τις προδιαγραφές του Μέρους 1 του ISO 8686 , σε κινητούς γεραμούς , και παρουσιάζει τα φορτία και τον συνδυασμό φορτίων για τους υπολογισμούς της αντοχής για την συγκεκριμένη κατηγορία .

2.Ορολογία

2.1 ονομαστική ικανότητα – ονομαστικό φορτίο : Είναι το φορτίο ανύψωσης που περιλαμβάνει και την μάζα των εξαρτημάτων ανύψωσης .

2.2 κανονική λειτουργία : Κατάσταση λειτουργίας του γάντζου για την οποία δεν απαιτείται η αντοχή σε κόπωση για την μεταλλική κατασκευή στήριξης του γερανού , συμπεριλαμβάνοντας περιστασιακή χρήση για κύκλους εργασίας όπου δεν ξεπερνάνε το 80% της ονομαστικής λειτουργίας .

2.3 κύκλος εργασίας : Κατάσταση λειτουργίας για επαναλήψεις φορτίου όπου απαιτείται η αντοχή σε κόπωση της μεταλλικής κατασκευής στήριξης .

3. Επιλογή φορτίων και συνδυασμό φορτίων

3.1 Περιγραφή

Τα φορτία λοιπόν θα συνδυάζονται με σκοπό την εύρεση της μέγιστης επίδρασης πάνω στον γερανό και στα στοιχεία του κατά την λειτουργία του . Για να γίνει αυτό δίνονται οι παρακάτω οδηγίες :

- a. Ο γεραμός λοιπόν μελετάται στην πιο δυσμενή κατάσταση , ενώ υποθέτουμε πως τα φορτία ενεργούν κατά μέτρο , θέση και διεύθυνση έτσι ώστε να προκαλούν δυσμενής τάσεις σε κρίσιμα σημεία του γερανού που επιλέγονται από τον σχεδιαστή.
- b. Τα φορτία θα συνδυάζονται με τιμές που παραθέτονται σε αυτό το Μέρος , όταν είναι δυνατόν μπορούν να συνδυαστούν συγκεκριμένα φορτία , εφαρμόζοντας σε αυτά τους συντελεστές μείωσης για να αντιπροσωπεύουν συνδυασμούς φορτίων που συναντώνται και στην πραγματικότητα .

3.2 Εμφάνιση ταυτόχρονων επιταχύνσεων

Η επίδραση ενός επιταχυνόμενου συστήματος κίνησης , όπως είναι η περιστροφική κίνηση (slewing) , κίνηση του γερανού προς την κατεύθυνση του ανέμου (luffing) , και τηλεσκοπική κίνηση (telescoping) υποθέτουμε πως δρουν ταυτόχρονα με την επιτάχυνση ανύψωσης , μόνο δύο συστήματα κίνησης επιταχύνονται ταυτόχρονα κατά την απουσία της επιτάχυνσης ανύψωσης.

Συνεπώς , δεν θα μελετώνται ταυτόχρονες επιταχύνσεις του γερανού όταν απαγορεύονται από τον κατασκευαστή . Καμία άλλη επιτάχυνση δεν εμφανίζεται σε συνδυασμό με την κίνηση του γερανού εκτός και εάν υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες από τον κατασκευαστή .Τα κεφάλαια Α και Β παρουσιάζουν περαιτέρω πληροφορίες για τον συνδυασμό επιταχύνσεων .

3.3 Πλευρική φόρτιση

Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού μπορούν να επηρεάσουν στην εμφάνιση πλευρικής φόρτισης στην κεραία (μπούμα) . Όταν τα χαρακτηριστικά αυτά εμφανίζονται κατά τον σχεδιασμό , θα πρέπει να εισάγονται με τους κατάλληλους συνδυασμούς φορτίων έτσι ώστε οι υπολογισμοί που εκτελούνται να δώσουν την μέγιστη πλευρική φόρτιση . Τα χαρακτηριστικά μπορεί να περιλαμβάνουν

- a. Ρυθμίσεις στα συρματόσχοινα , οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα να αποκλίνει η γραμμή ανύψωσης να αποκλίνει απο την καθορισμένη θέση της και
- b. Κλίση στο σημείο ποδός της κεραίας εξαιτίας των παραμορφώσεων στις στηρίξεις της κατασκευής

3.4 Ανέγερση και διάλυση του γερανού

Θα πρέπει να γίνεται μια εκτίμηση για το κάθε βήμα στην διάρκεια της ανέγερσης και της αποσυναρμολόγησης , κατάλληλη με το είδος του γερανού που χρησιμοποιείται , και ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας του φορτίου θα πρέπει να διεξάγεται σε κάθε περίπτωση για κάθε σημαντικό στοιχείο του γερανού ή εξάρτημα . Οι υπολογισμοί θα αξιοποιούνται με του κατάλληλους συντελεστές που δίνονται στους Πίνακες 1 και 2 για τον συνδυασμό φορτίων Β .

3.5 Αυτόματες ενέργειες εκκίνησης

Οι γερανοί που εφοδιάζονται με συστήματα και συσκευές ελέγχου , που διακόπτουν την κίνηση και φρενάρουν την κατασκευή χωρίς κάποια ενέργεια από τον μηχανισμό κίνησης , ή εφοδιάζονται με φρένα που αυτόματα μπλοκάρουν λόγω απώλεια ισχύος ή από λειτουργίες ελέγχου , θα πρέπει να καθορίζουν εκείνες τις επιδράσεις που θα διεξάγονται από την έκτακτη διακοπή λόγω κινδύνου στην στήλη 11 των Πινάκων 1 και 2 .

4 Φορτία που δημιουργούνται κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού κίνησης

4.1 Γενική περιγραφή

Οι κινητοί γερανοί σχεδιάζονται για να εργάζονται για ένα εύρος μήκους της κεραίας και διάφορες επιμηκύνσεις ή με εμπρόσθιες – οπίσθιες συνδέσεις .

Για αυτό το λόγω οι κινητοί γερανοί μπορεί να απαιτούν περαιτέρω ισχύ σε μερικές περιπτώσεις , εκείνη την ισχύ που στην πράξη ο γερανός δεν την χρησιμοποιήσει πλήρως (σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή). Συνεπώς κατά τους υπολογισμούς του ονομαστικού φορτίου , οι αλλαγές που γίνονται στην δύναμη κίνησης (ΔF) προκαλούν είτε επιτάχυνση ή επιβράδυνση θα πρέπει να επιλέγονται κατά την προσομοίωση των ενεργειών του συστήματος κίνησης ή από ελέγχους ή από τα χαρακτηριστικά του συστήματος κίνησης .

4.2 Επιδράσεις κατά την περιστροφική κίνηση

Στην πράξη , οι επιταχύνσεις και οι επιβραδύνσεις που εμφανίζονται κατά την περιστροφική κίνηση ποικίλουν ανάλογα με τις εμπρόσθιες – οπίσθιες συνδέσεις που εφοδιάζεται ο γερανός , την ακτίνα λειτουργίας , το σύστημα ελέγχου , τον μηχανισμό κίνησης του του γερανού , και τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται κατά την περιστροφική κίνηση και την μηχανική πέδηση . Για τον υπολογισμό της αντοχής , οι αλλαγές που γίνονται στην δύναμη κίνησης (ΔF) οι οποίες προκαλούν περιστροφική επιτάχυνση ή επιβράδυνση δημιουργούν πλευρική φόρτιση η οποία μελετάται ως εξής :

- a) Για γεραμούς με βηματικό σύστημα ελέγχου και για γεραμούς όπου ο μηχανισμός κίνησης δεν διαθέτει σύστημα ελέγχου για τις περιστροφικές επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις , οι (ΔF) θα υπολογίζονται από τον μηχανισμό κίνησης/ πέδησης .
- b) Για γεραμούς με σύστημα χωρίς βηματικό έλεγχο , οι (ΔF) θα υπολογίζονται είτε από
 1. Τις μέγιστες δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας όπως περιγράφεται στις οδηγίες του κατασκευαστή .
 2. Μια προσομοίωση του μηχανισμού κίνησης καθώς και τις ενέργειες λειτουργίας του , ή με δοκιμές ή
 3. Με τα χαρακτηριστικά του μηχανισμού κίνησης / πέδησης , όμως η πλευρική φόρτιση που προκύπτει λόγω περιστροφής στην άκρη της κεραίας , δεν θα λαμβάνεται μικρότερη από το 2% του ονομαστικού φορτίου για γεραμούς πτυσσόμενης κεραίας ή στο 3% για γεραμούς με τηλεσκοπική κεραία .

4.3 Επίδρασεις κατά την ανύψωση

4.3.1 Η επίδραση των αδρανειακών δυνάμεων κατά την ανύψωση εξαρτάται από τις αλλαγές στη δύναμη κίνησης (ΔF) . Οι αλλαγές αυτές υπολογίζονται από τον μηχανισμό κίνησης ή τα χαρακτηριστικά του συστήματος πέδησης , ή για μηχανισμούς κίνησης χωρίς βηματικό έλεγχο για τις επιταχύνσεις λαμβάνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\Delta F = \delta \times F \text{ με } \delta = 0,167(v_h - 0,2) \text{ για ταχύτητες } 0,2 \leq v_h \leq 1,7$$

Όπου

F το ονομαστικό φορτίο

v_h είναι η ταχύτητα ανόδου/καθόδου

Όπως φαίνεται και παραπάνω ο συντελεστής δ είναι για την κανονική λειτουργία του γερανού. Μπορεί επίσης να καθοριστεί από την εμπειρία του σχεδιαστή ή από διάφορες δοκιμές .

4.3.2 Ο συντελεστής δ δεν αυξάνεται ούτε μειώνεται για τιμές της ταχύτητας μεγαλύτερες από 1,7 m/s . Όταν η ταχύτητα είναι μικρότερη ή ίση με 0,2 m/s ο συντελεστής παίρνει την τιμή 0.

4.3.3 Για γερανούς που εργάζονται σε κύκλο εργασίας ο συντελεστής δ λαμβάνεται διπλάσιος με αυτόν που ισχύει κατά την κανονική λειτουργία , ή εναλλακτικά μπορεί να καθοριστεί από την εμπειρία ή τις δοκιμές .

4.4 Εφαρμογή των αλλαγών στην δύναμη κίνησης , ΔF

4.4.1 Οι τιμές (ΔF) για ανύψωση εφαρμόζονται με την εισαγωγή του συντελεστή ϕ_5 που λαμβάνεται από τον Πίνακα 3 , οι οποίες απαρτίζουν το φορτίο της στήλης 5 στους Πίνακες 1 και 2 .

4.4.2 Οι τιμές των (ΔF) για άλλες μορφές ανύψωσης εφαρμόζονται με τον συντελεστή ϕ_5 που λαμβάνεται από τον Πίνακα 3 , και οι προκύπτουσες αδρανειακές δυνάμεις θα περιλαμβάνουν το φορτίο της στήλης 4 στους Πίνακες 1 και 2 .

5. Υπολογισμοί φορτίων

5.1 Γενικά

Ο κατασκευαστής θα πρέπει να αποφασίσει ανάμεσα στην μέθοδο της επιτρεπόμενης τάση και την μεθοδο της οριακής κατάστασης για τον υπολογισμό φορτίων στον γερανό . Οι υπολογισμοί με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάση θα γίνονται σύμφωνα με την παράγραφο 5.2 , ενώ για την μέθοδο της οριακή κατάστασης σύμφωνα με την παράγραφο 5.3 .

5. 2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης

5.2.1 Στον Πίνακα 1 δίνονται τα φορτία και ο συνδυασμός φορτίων για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης , μαζί με την εφαρμογή των συντελεστών αντοχής γ_f και τους δυναμικούς συντελεστές ϕ_n . Στον Πίνακα 3 δίνονται οι τιμές των συντελεστών ϕ_n και περαιτέρω πληροφορίες για την εφαρμογή τους .

5.2.2 Για στοιχεία που υποβάλλονται σε αξονική καταπόνηση , οι συντελεστές του Πίνακα 1 γ_f εφαρμόζονται μόνο όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις φόρμουλες που υπάρχουν στο Παράρτημα Α .

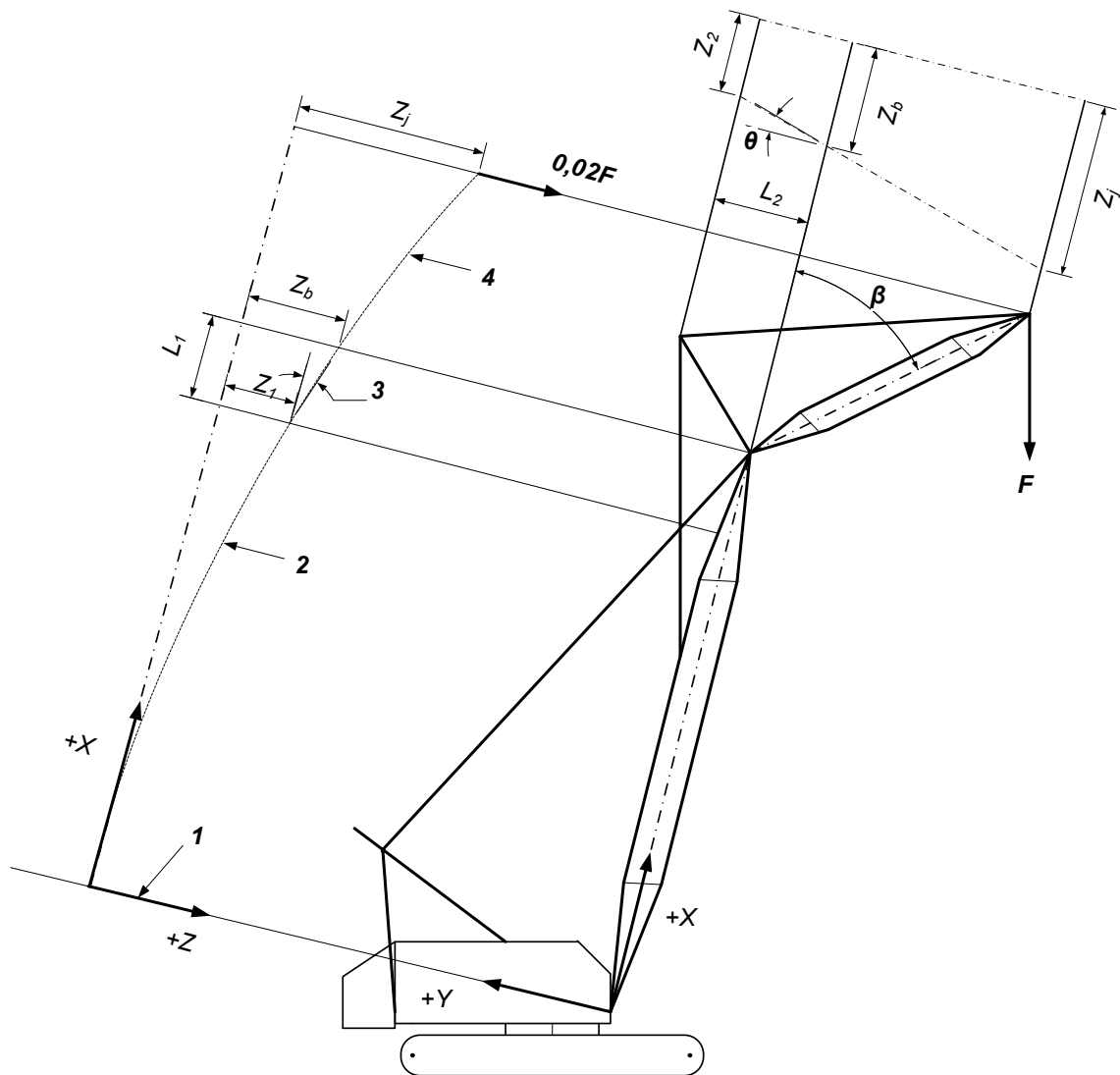
5. 3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης

5.3.1 Ο Πίνακας 2 δίνει τα φορτία και τους συνδυασμούς φορτίων για την μέθοδο της οριακής κατάστασης μαζί με τους συντελεστές φορτίων γ_p και τους δυναμικούς συντελεστές ϕ_n . Στον Πίνακα 3 παραθέτονται οι τιμές των συντελεστών ϕ_n και περαιτέρω πληροφορίες για την εφαρμογή τους. Ο συντελεστής αντίστασης γ_m λαμβάνεται ίσος με 1,1 για όλους τους συνδυασμούς . Ο συντελεστής αυτός θα αποτελείται από μια οριακή τάση η οποία θα αντιπροσωπεύει στατιστικές μεταβολές στην αντοχή των υλικών και τις τοπικές παραμορφώσεις .

5.3.2 Για στοιχεία που υποβάλλονται σε αξονική καταπόνηση , οι συντελεστές του Πίνακα 2 γ_p και γ_m εφαρμόζονται μόνο όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις φόρμουλες που υπάρχουν στο Παράρτημα Α .

6 Πλευρική φόρτιση και παραμορφώσεις σε πτυσσόμενους γερανούς

6.1 Η πλευρική παραμόρφωση για πτυσσόμενους γερανούς που στηρίζονται σε συρματόσχοινα και εναέριους ιστούς είναι η μέτρηση για την ευστάθεια του παραμορφώσιμου υλικού , όταν τα μέλη αυτά υποβάλλονται αρχικά σε συμπίεση . Συνεπώς η κατηγορία αυτών των γερανών θα πρέπει να περιορίζονται σε παραμορφώσεις οι οποίες δεν ξεπερνούν το 2% του πραγματικού μήκους όταν επιβάλλεται σε αυτούς το ονομαστικό φορτίο σε συνδυασμό με την πλευρική φόρτιση που είναι το 2% του ονομαστικού φορτίου . Οι ακραίες τιμές παραμορφώσεων μπορούν να εκτιμηθούν με υπολογισμούς οι δοκιμές . Οι τιμές αυτές εφαρμόζονται μόνο σε κινητούς γερανούς με πτυσσόμενη κεραία και εναέριους ιστούς εφοδιασμένοι με πτυσσόμενες κεραίες .



Εικόνα 1 – Όροι και συμβολισμοί που σχετίζονται με τις παραμορφώσεις – Δικτύωμα εναέριας κεραίας

1 διάμεσος της κεραίας στο σημείο ποδός

2 διάμεσος της κεραίας

3 κλίση Z'

4 διάμεσος ιστού

F ονομαστικό φορτίο

6.2 Για μονή κεραία δίνεται η παρακάτω σχέση :

$$Z_j \leq 0,02L_j + Z_b + Z'(L_j \cos \beta) + \theta(L_j \cos \beta)$$

Οι παρακάτω τιμές μετρώνται :

Z_j είναι η παραμόρφωση του ακραίου σημείου της κεραίας

Z_b είναι η παραμόρφωση στο δικτύωμα της κεραίας

Z_1 είναι η παραμόρφωση στο δικτύωμα της κεραίας σε απόσταση L_1 από το άκρο της κεραίας

Z_2 είναι η παραμόρφωση στην δοκό της κεραίας στο ακραίο σημείο της
Από τους υπολογισμούς προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις

$$Z'(\kappa\lambda\iota\sigma\eta) = \frac{Z_b - Z_1}{L_1}$$

$$\theta = \frac{Z_b - Z_1}{L_2}$$

Σε περίπτωση που δεν υπολογιστούν η κλίση Z' και η συστροφή θ ,
μπορούμε να παραμελήσουμε τους δύο τελευταίους όρους στην σχέση

$$Z_j \leq 0,02L_j + Z_b + Z'(L_j \cos \beta) + \theta(L_j \cos \beta).$$

Πίνακας 1- Φορτία και συνδυασμός φορτίων - Κινητοί γερανοί - Μέθοδος επιτρεπόμενης τάσης

Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F _i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C					στήλη
			γ _f	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	γ _f	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	γ _f	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
Κανονικά φορτία	Βαρύτητας, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	φ ₁	φ ₁	1	-		φ ₁	φ ₁	1	-		φ ₁	1	φ ₁	1	1	
		2) Μάζα του ονομαστικού φορτίου	φ ₂	φ ₃	1	-		φ ₂	φ ₃	1	-		-	η	-	1	2	
		3) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου κατά την κίνηση σε ανώμαλη επιφάνεια	-	-	-	φ ₄		-	-	-	φ ₄		-	-	-	-	3	
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου	Άλλος μηχανισμός	φ ₅	φ ₅	1	-		φ ₅	φ ₅	1	-		-	-	φ ₅	-	4
			Ανυψωτικός μηχανισμός	1,48	-	-	φ ₅	-	1,34	-	-	φ ₅	-	1,22	-	-	-	-
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	-	-	-	-		1	1	1	1		-	-	1	-	6	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-		1	1	1	1		-	-	-	-	7	
Κατ'εξαιρεση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-		-	-	-	-		φ ₂	-	-	-	8	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-		-	-	-	-		-	1	-	-	9	
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	φ ₆	-	10	
	4) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	φ ₅	11	

Σημείωση 1 : Για τον συνδυασμό C₂ , ο συντελεστής η εισάγει το βάρος του γάντζου του γερανού όταν ο γερανός δεν είναι σε κανονική κατάσταση λειτουργίας με $\eta m = (m - \Delta m)$.

Σημείωση 2 : Οι παράγραφοι 5.1, 5.2 και 5.3 που αναφέρονται για την κατηγορία των φορτίων λαμβάνεται από το ISO 8686.

Σημείωση 3 : Οι συντελεστές φ_n δίνονται από τον Πίνακα 3

Σημείωση 4 : Οι περιγραφές για τους συνδυασμούς φορτίων δίνονται στον Πίνακα C.1 στο Παράρτημα C.

Σημείωση 5 : Επιπλέον περιπτώσεις φορτίων για τους υπολογισμούς όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.4.

Πίνακας 2- Φορτία και συνδυασμός φορτίων - Κινητοί γερανοί - Μέθοδος της οριακής καταστάσης

Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F _i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β				Συνδυασμός φορτίων C				στήλη			
			γ _p	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	γ _p	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	γ _p	C ₁	C ₂		C ₃	C ₄	
Κανονικά φορτία	Βαρύτητα, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	1,22	φ ₁	φ ₁	1	-	1,16	φ ₁	φ ₁	1	-	1,1	φ ₁	1	φ ₁	1	1	
		2) Μάζα του ονομαστικού φορτίου	1,34	φ ₂	φ ₃	1	-	1,22	φ ₂	φ ₃	1	-	1,1	-	n	-	1	2	
		3) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου κατά την κίνηση σε ανώμαλη επιφάνεια	1,22	-	-	-	φ ₄	1,16	-	-	-	φ ₄	-	-	-	-	-	-	3
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες του γερανού και του ονομαστικού φορτίου	Άλλος μηχανισμός	1,34	φ ₅	φ ₅	1	-	1,22	φ ₅	φ ₅	1	-	1,1	-	-	φ ₅	-	4
		Άνυψωτικός μηχανισμός		1,34	-	-	φ ₅	-	1,22	-	-	φ ₅	-	-	-	-	-	-	5
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	-	-	-	-	-	1,16	1	1	1	1	1,1	-	-	1	-	6	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1,1	-	-	1	-	7	
Κατ'εξαιρέση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	φ ₂	-	-	-	8	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	1	-	-	9	
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	φ ₆	-	10	
	4) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	φ ₅	11	

Σημείωση 1 : Για τον συνδυασμό C_2 , ο συντελεστής η εισάγει το βάρος του γάντζου του γερανού όταν ο γερανός δεν είναι σε κανονική κατάσταση λειτουργίας με $\eta m = (m - \Delta m)$.

Σημείωση 2 : Οι παράγραφοι 5.1, 5.2 και 5.3 που αναφέρονται για την κατηγορία των φορτίων λαμβάνεται από το ISO 8686.

Σημείωση 3 : Οι συντελεστές ϕ_n δίνονται από τον Πίνακα 3

Σημείωση 4 : Οι περιγραφές για τους συνδυασμούς φορτίων δίνονται στον Πίνακα C.1 στο Παράρτημα C.

Σημείωση 5 : Επιπλέον περιπτώσεις φορτίων για τους υπολογισμούς όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.4.

Πίνακας 1 και 2 αριθμός στήλης	ϕ_n	Τιμές για τους συντελεστές ϕ_n Τιμές φορτίων
1	ϕ_1	$\phi_1 = 1 \pm a$ $a = 0$ για κανονική λειτουργία $a = 0,1$ για κίνηση προσέγγισης , με αρπάγη , μηχανική ή ηλεκτρομαγνητική. Η εκλογή του συντελεστή ϕ_1 θα γίνεται σύμφωνα με την επίδραση , εάν είναι επιθυμητή ή ανεπιθύμητη .
2	ϕ_2	Κατηγορία ανύψωσης HC1 για κανονική λειτουργία $\phi_2 = 1,0$ (χωρίς βηματικό σύστημα ελέγχου κίνησης) Κατηγορία ανύψωσης HC2 τυχαίους κύκλους εργασίας $\phi_2 = 1,3$ (χωρίς βηματικό σύστημα ελέγχου κίνησης)
2	ϕ_3	Εφαρμόζεται για κίνηση προσέγγισης , με αρπάγη , μηχανική ή ηλεκτρομαγνητική ή παρόμοιες καταστάσεις λειτουργίας.
3	ϕ_4	Για κινητούς γερανούς με τροχούς : $\phi_4 = 1,1$ για ταχύτητες $\leq 0,4m / s$ $\phi_4 = 1,3$ για ταχύτητες $> 0,4m / s$ Για κυλιόμενους γερανούς με τροχούς : $\phi_4 = 1,0$ για ταχύτητες $\leq 0,4m / s$ $\phi_4 = 1,1$ για ταχύτητες $> 0,4m / s$
4,5 και 11	ϕ_5	Για κινητούς γερανούς χωρίς βηματικό σύστημα ελέγχου : $\phi_5 = 1,2$ για κανονική λειτουργία $\phi_5 = 1,5$ για κύκλους εργασίας Για κινητούς γερανούς με βηματικό σύστημα ελέγχου : $\phi_5 = 1,6$ για κανονική λειτουργία $\phi_5 = 2,0$ για κύκλους εργασίας
6		Οι ταχύτητες ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας δεν θα είναι μεγαλύτερες από $9m / s$, για πίεση ανέμου $50N / m^2$.
7		Συνήθως δεν υπολογίζονται . Συνεπώς οι επιδράσεις αυτές περιλαμβάνονται μόνο όταν απαιτούνται από τον κατασκευαστή ή τον εργοδότη .
8	ϕ_2	Εφαρμόζεται σε κινητούς γερανούς για ονομαστικούς κύκλους εργασίας $\phi_{2max} = 1,6$.
9		Το μέγιστο φορτίο ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας που θα πρέπει να καθορίζεται από τον κατασκευαστή .
10	ϕ_6	Φορτίο ελέγχου σύμφωνα με το ISO 4310 . $\phi_6 = 0,5(1 + \phi_2)$

Κεφάλαιο A

Οι μέθοδοι αντοχής που εισάγονται στα ISO 10721-1 , ISO 10721-2 θα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τους συντελεστές γ_f του Πίνακα 1 και τους συντελεστές γ_m του Πίνακα 2 .

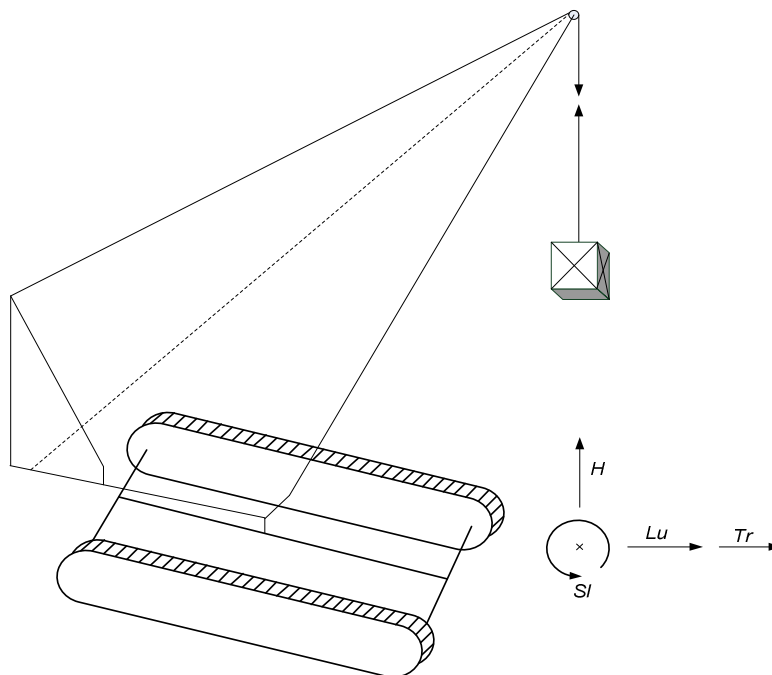
Κεφάλαιο B-Ταυτόχρονες επιταχύνσεις

B.1 Αυτοκινούμενοι γερανοί με δικτυωτή κεραία

B.1.1 Πιθανοί συνδυασμοί επιταχύνσεων (Εικόνα F-1):

- Ανύψωση (H-Hoist) και περιστροφή (SI- Slew)
- Ανύψωση (H-Hoist) και με επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου (Lu-Luff)
- Περιστροφή (SI- Slew) και επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου (Lu-Luff)
- Επιτάχυνση κίνησης (Tr-Travell) με φορτίο

B.1.2 Άλλοι πιθανοί συνδυασμοί επιταχύνσεων θα μπορούν να εισάγονται σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή .



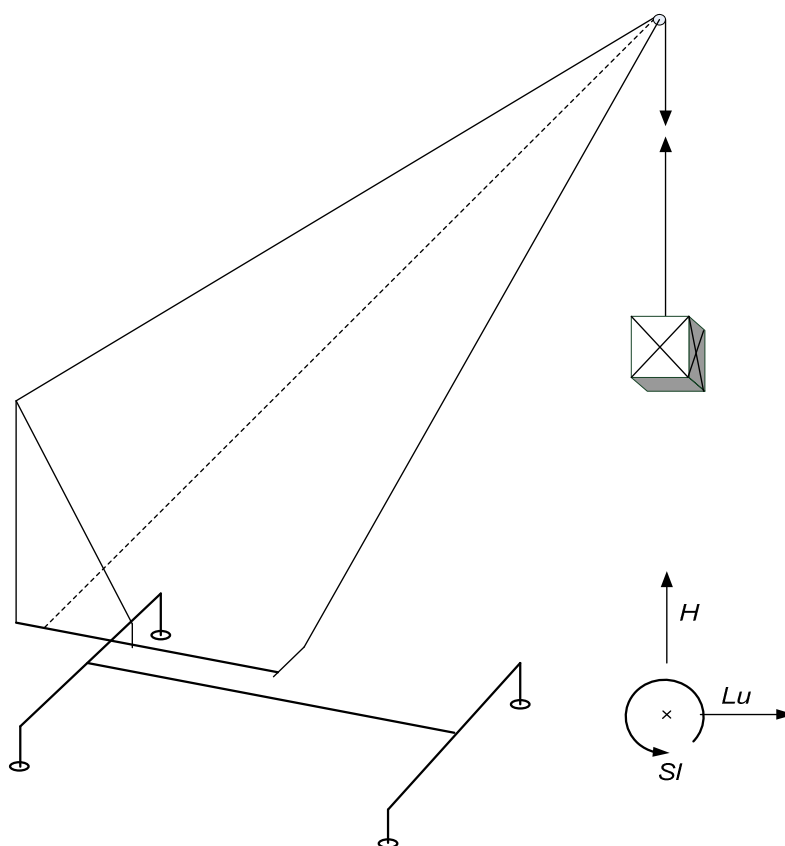
Εικόνα B-1 – Επιταχύνσεις σε αυτοκινούμενο γερανό με πτυσσόμενη κεραία

B.2 Τροχοφόροι κινητοί γερανοί με δικτυωτή κεραία

B.2.1 Πιθανοί συνδυασμοί επιταχύνσεων (Εικόνα F-2):

- Ανύψωση (H-Hoist) και περιστροφή (SI- Slew)
- Ανύψωση (H-Hoist) και με επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου (Lu-Luff)
- Περιστροφή (SI- Slew) και επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου (Lu-Luff)
- Επιτάχυνση κίνησης (Tr-Travell) με φορτίο

B.2.2 Άλλοι πιθανοί συνδυασμοί επιταχύνσεων θα μπορούν να εισάγονται σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή .



Εικόνα B-2 – Επιταχύνσεις σε τροχοφόρο γερανό με πτυσσόμενη κεραία

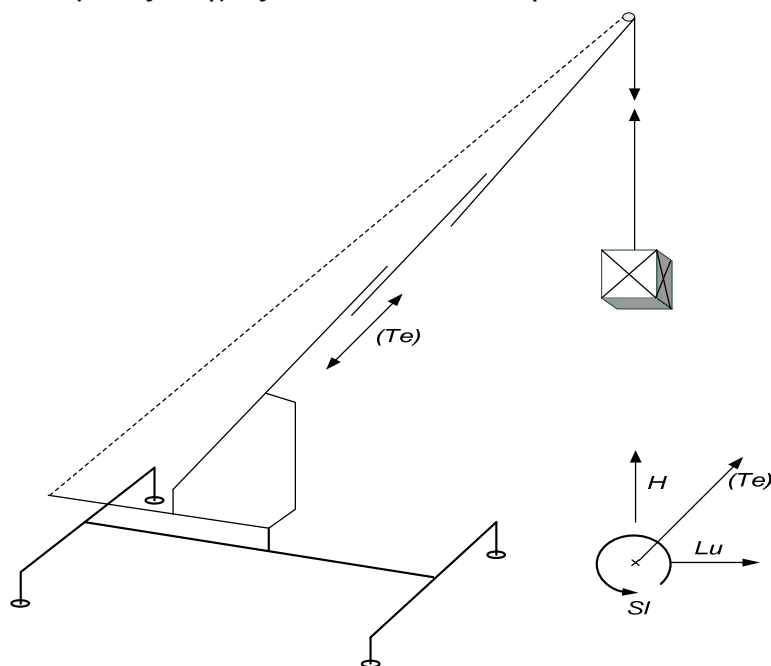
B.3 Αυτοκινούμενοι γερανοί με τηλεσκοπική κεραία

B.3.1 Πιθανοί συνδυασμοί επιταχύνσεων (Εικόνα F-2):

- Ανύψωση (H-Hoist) και περιστροφή (SI- Slew)
- Ανύψωση (H-Hoist) και με επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου (Lu-Luff)

- Ανύψωση (H-Hoist) και τηλεσκοπική επιτάχυνση (Te- Telescopic)
- Περιστροφή (SI- Slew) και επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου (Lu-Luff)
- Περιστροφή (SI- Slew) και τηλεσκοπική επιτάχυνση (Te- Telescopic)
- Τηλεσκοπική επιτάχυνση (Te- Telescopic) και επιτάχυνση κατά την διεύθυνση του ανέμου (Lu-Luff)
- Επιτάχυνση κίνησης (Tr-Travell) με φορτίο

B.3.2 Άλλοι πιθανοί συνδυασμοί επιταχύνσεων θα μπορούν να εισάγονται σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή .



Εικόνα B-3 – Επιταχύνσεις σε γερανό με τηλεσκοπική κεραία

Κεφάλαιο C-Εφαρμογή των συνδυασμών φορτίων που δίνονται από τους Πίνακες 1 και 2

C.1 Γενική περιγραφή

Ο Πίνακας C.1 περιγράφει την εφαρμογή των συνδυασμό φορτίων και εφαρμόζονται μόνο σε γεραμούς που λειτουργούν σε κανονικούς κύκλους εργασίας .

<i>Πίνακας 1 και 2</i>	<i>Περιγραφή</i>
A_1 και B_1	Για κινητούς γεραμούς που υποβάλλονται στα κανονικά φορτία με ανύψωση χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας για την A_1 και για φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας για την B_1
A_2 και B_2	Για κινητούς γεραμούς που ελευθερώνουν το φορτίο κατά την κίνηση χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας για την A_2 και με φορτία ανέμου για την B_2 σε κανονική λειτουργία .
A_3 και B_3	Για γεραμούς που ανυψώνουν ή χαμηλώνουν το φορτίο , χωρίς φορτία ανέμου κατάστασης λειτουργίας για την A_3 και με φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας για την B_3
A_4 και B_4	Κινητοί γεραμοί που κινούνται σε ανώμαλη επιφάνεια , χωρίς φορτία ανέμου ε κανονικής λειτουργίας για την A_4 και με φορτία ανέμου σε κανονική κατάσταση λειτουργίας για την B_4
C_1	Κινητοί γεραμοί που ανυψώνουν φορτίο από το έδαφος
C_2	Κινητοί γεραμοί για φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας , όπως καθορίζονται από τον κατασκευαστή
C_3	Κινητοί γεραμοί που λειτουργούν με το φορτίο ελέγχου
C_4	Κινητοί γεραμοί που λειτουργούν με αυτόματα συστήματα εκκίνησης

C.2 Συμβολισμοί

m_C είναι η μάζα του γεραμού

m_C είναι η μάζα του σχετικού φορτίου

m_T είναι η μάζα του φορτίου ελέγχου

ΔF_S είναι η δύναμη που προκύπτει κατά την επιτάχυνση περιστροφής η οποία εισάγεται από την ακόλουθη συνάρτηση $f_S(m_C, m_R)$

ΔF_L είναι η δύναμη που προκύπτει κατά την επιτάχυνση στην διεύθυνση του ανέμου η οποία εισάγεται από την ακόλουθη συνάρτηση $f_L(m_C, m_R)$

ΔF_T είναι η δύναμη που προκύπτει κατά την επιτάχυνση του τηλεσκοπικού μηχανισμού η οποία εισάγεται από την ακόλουθη συνάρτηση

$f_T(m_C, m_R)$

ΔF_H είναι η δύναμη που προκύπτει κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού ανύψωσης η οποία εισάγεται από την ακόλουθη συνάρτηση

$f_H(m_C, m_R)$

F_W είναι η δύναμη που προκύπτει από τον άνεμο ή το χιόνι .

σ είναι οι τάσεις που προκύπτουν κατά την εφαρμογή των φορτίων και των συντελεστών φορτίων

ϕ είναι ο δυναμικός συντελεστής που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3

C.3 Εφαρμογή των δυναμικών συντελεστών

Οι δυναμικοί συντελεστές ϕ θα εφαρμόζονται στα φορτία όταν η σχέση των φορτίων με τις τάσεις δεν είναι γραμμική .Όταν η σχέση αυτή είναι γραμμικής μορφής τότε οι συντελεστές μπορούν να εισάγονται σε άλλα φορτία ή τάσεις .

C.4 Επιλογή του κατάλληλου φορτίου για τους αντίστοιχους συνδυασμούς φορτίων

C.4.1 Για τους συνδυασμούς A_1 και B_1 τους, συνδυάζονται δύο δυνάμεις κίνησης εκτός της ανύψωσης, για αυτό τον λόγο θα επιλέγονται εκείνο το ζεύγος που προκαλεί τις μεγαλύτερες τάσεις δηλαδή .

$$\max comb. = \begin{cases} \Delta F_S + \Delta F_L \\ \Delta F_S + \Delta F_T \\ \Delta F_L + \Delta F_T \end{cases}$$

Έτσι για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(A_1) = \sigma(\phi_1 m_C + \phi_2 m_R + \phi_5 \max comb.)$$

$$\sigma(B_1) = \sigma(A_1 + F_W)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(A_1) = \sigma(\gamma_p \phi_1 m_C + \gamma_p \phi_2 m_R + \gamma_p \phi_5 \max comb.)$$

$$\sigma(B_1) = \sigma(\gamma_p \phi_1 m_C + \gamma_p \phi_2 m_R + \gamma_p \phi_5 \max comb. + \gamma_p F_W)$$

C.4.2 Για τους συνδυασμούς A_2 και B_2 τους, συνδυάζονται δύο δυνάμεις κίνησης εκτός της ανύψωσης, έτσι έχουμε :

Για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(A_2) = \sigma(\phi_1 m_C + \phi_3 m_R + \phi_5 \max comb.)$$

$$\sigma(B_2) = \sigma(A_2 + F_W)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(A_2) = \sigma(\gamma_p \phi_1 m_C + \gamma_p \phi_3 m_R + \gamma_p \phi_5 \max comb.)$$

$$\sigma(B_2) = \sigma(\gamma_p \phi_1 m_C + \gamma_p \phi_3 m_R + \gamma_p \phi_5 \max comb. + \gamma_p F_W)$$

C.4.3 Για τους συνδυασμούς τους A_3 και B_3 , συνδυάζεται μία δύναμη κίνησης εκτός της ανύψωσης, έτσι επιλέγεται η μέγιστη τιμή από τους όρους :

$$\max force. = \Delta F_S, \Delta F_L, \Delta F_T$$

Για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(A_3) = \sigma(m_C + m_R + \phi_5 \Delta F_H + \max force.)$$

$$\sigma(B_3) = \sigma(A_3 + F_W)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(A_3) = \sigma(\gamma_p m_C + \gamma_p m_R + \gamma_p \phi_5 \Delta F_H + \max force.)$$

$$\sigma(B_3) = \sigma(\gamma_p m_C + \gamma_p m_R + \gamma_p \phi_5 \Delta F_H + \max force. + \gamma_p F_W)$$

C.4.4 Οι συνδυασμοί A_4 και B_4 , αντικατοπτρίζουν τις επιδράσεις κατά την κίνηση πάνω σε μια ανομοιόμορφη επιφάνεια :

Για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(A_4) = \sigma(\phi_4 m_C + \phi_4 m_R)$$

$$\sigma(B_4) = \sigma(A_4 + F_W)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(A_4) = \sigma(\gamma_p \phi_4 m_C + \gamma_p \phi_4 m_R)$$

$$\sigma(B_4) = \sigma(\gamma_p \phi_4 m_C + \gamma_p \phi_4 m_R + \gamma_p F_W)$$

C.4.5 Ο συνδυασμός C_1 εξετάζει τις επιδράσεις κατά την ανύψωσης φορτίου από το έδαφος :

Για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(C_1) = \sigma(\phi_1 m_C + \phi_2 \Delta m_R)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(C_1) = \sigma(\gamma_p \phi_1 m_C + \gamma_p \phi_2 \Delta m_R)$$

C.4.6 Ο συνδυασμός C_2 εξετάζει τις επιδράσεις για συνθήκες εκτός κανονικής λειτουργίας :

Για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(C_2) = \sigma(m_C + \eta m + F_W)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(C_2) = \sigma(\gamma_p m_C + \eta \gamma_p m + \gamma_p F_W)$$

C.4.7 Ο συνδυασμός C_3 εξετάζει τις επιδράσεις κατά την δυναμική δοκιμή του γερανού :

Για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(C_3) = \sigma(\phi_1 m_C + \phi_6 m_T + \phi_5 \max force + F_W)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(C_3) = \sigma(\gamma_p \phi_1 m_C + \gamma_p \phi_6 m_T + \gamma_p \phi_5 \max force + \gamma_p F_W)$$

C.4.8 Ο συνδυασμός C_4 εξετάζει τις επιδράσεις για συστήματα αυτόματης εκκίνησης :

Για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης (ASM):

$$\sigma(C_4) = \sigma(m_C + m_R + \phi_5 \Delta F_H \text{ or } \phi_5 \max force)$$

Ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης (LSM) :

$$\sigma(C_3) = \sigma(\gamma_p m_C + \gamma_p m_R + \gamma_p \phi_5 \Delta F_H \text{ or } \gamma_p \phi_5 \max force)$$

C.4.9 Οποιοιδήποτε άλλοι συνδυασμοί φορτίων θα μελετώνται σύμφωνα με την παράγραφο 4.4

C.5 Παράδειγμα εφαρμογής των συνδυασμό φορτίων

C.5.1 Μέθοδος επιτρεπόμενης τάσης: Συνδυασμός φορτίων A3

Τάση που προκαλείται λόγω της επίδρασης των φορτίων σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο ή εξάρτημα :

$$\sigma = 1,48(\sigma_c + \sigma_r + \sigma(\phi_5 \Delta F_H)) + \max\{\sigma(\Delta F_S) \text{ or } \sigma(\Delta F_L) \text{ or } \sigma(\Delta F_T)\}$$

C.5.2 Μέθοδος της οριακής κατάστασης : Συνδυασμός φορτίων A3

Τάση που προκαλείται λόγω της επίδρασης των φορτίων σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο ή εξάρτημα :

$$\sigma = \sigma(1,22m_c) + \sigma(1,34m_r) + \sigma(1,34\phi_5 \Delta F_H) + \max[\sigma(1,34\Delta F_S) \text{ or } \sigma(1,34\Delta F_L) \text{ or } \sigma(1,34\Delta F_T)]$$

Μέρος 3^ο: Πυργωτοί γερανοί

1.Σκοπός

Αυτό το μέρος εφαρμόζει τις προδιαγραφές του Μέρους 1 του ISO 8686 , σε πυργωτούς γεραμούς , και παρουσιάζει τα φορτία και τον συνδυασμό φορτίων για τους υπολογισμούς της αντοχής για την συγκεκριμένη κατηγορία .

2.Γενικά

Ο υπολογισμός της αντοχής του πυργωτού γερανού θα διεξάγεται είτε με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης ή με την μέθοδο της οριακής κατάστασης , όπως ορίζονται στο Μέρος 1 του ISO 8686.

3. Φορτία και συντελεστές φορτίων

Ο Πίνακας 1 καθορίζει τους συντελεστές Φ_n για τις δυναμικές επιδράσεις που χρησιμοποιούνται στους συνδυασμούς φορτίων που βρίσκονται στον Πίνακα 1. Οι αριθμοί των γραμμών που καταχωρούνται στην πρώτη στήλη του Πίνακα 1 είναι εκείνες που εμφανίζονται στην στήλη 3 του Πίνακα 2 . Για εκείνα τα τμήματα του γερανού όπου οι μάζες τους μειώνουν σημαντικά τις τιμές των επιδράσεων των φορτίων οι οποίες θα λαμβάνονται ως επιτρεπόμενες , θα πρέπει να εισάγονται μερικοί συντελεστές φορτίων κατά τους υπολογισμούς τους. Όπου οι μάζες και το κέντρο βάρους έχουν καθοριστεί από δοκιμές , θα χρησιμοποιούνται συντελεστές σύμφωνα με τις επιτρεπόμενες τάσεις 1.2.1 για τον Πίνακα 2 στην γραμμή 1 .Σε άλλη περίπτωση θα χρησιμοποιούνται οι συντελεστές για τις αντίστοιχες επιδράσεις 1.2.2 του Πίνακα 2 της γραμμής 1 .

Πίνακας 1- Τιμές για του συντελεστές Φ_n

Αριθμός γραμμής για τον Πίνακα 2	Φ_n	Τιμές για τους συντελεστές Φ_n Τιμές φορτίων
1	Φ_1	$\Phi_1 = 1 \pm a$ $a = 0,1$ $\Phi_1 = 1$ για σχεδιασμό έναντι ανατροπής
2	Φ_2	Κατηγορία ανύψωσης HCl με ελάχιστη τιμή 1,05
	Φ_3	
3	Φ_4	Η τιμή $\Phi_4 = 1,1$ ενδείκνυται για οικοδομικούς γερανούς , μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες τιμές όταν ποικίλουν οι ανοχές των σιδηροτροχιών
4 και 5	Φ_5	Όταν χρησιμοποιούμε μοντέλα που στηρίζονται κινηματική ανάλυση στερεού σώματος $\Phi_5 = 1,2$ όταν η επιτάχυνση ή το σύστημα φρένων ελέγχονται με βηματικό μηχανισμό χωρίς αντίδραση $\Phi_5 = 1,5$ για άλλου είδους σύστημα ελέγχου όπου οι δυνάμεις κίνησης δρουν στον γερανό χωρίς κάποια αντίδραση $\Phi_5 = 2$ όταν υπάρχει αντίδραση στο σύστημα ελέγχου
6		Θα πρέπει να εισάγονται μερικοί συντελεστές φορτίων όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο
7		Για φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας
8		Φορτία χιονιού και πάγου θα συμπεριλαμβάνονται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις όπου απαιτούνται από τις συνθήκες τοποθεσίας του γερανού
9		Φορτία λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας θα υπολογίζονται μόνο όταν απαιτούνται από τις συνθήκες τοποθεσίας του γερανού
10		Τα φορτία που δημιουργούνται λόγω στρεβλώσεων θεωρούνται αμελητέα , Παράρτημα F ISO 8686-1
11	Φ_2	Κατηγορία ανύψωσης HCl
12		Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας
13	Φ_6	Στατικό φορτίο ελέγχου = 1,25 *Το ονομαστικό φορτίο Δυναμικό φορτίο ελέγχου με $\Phi_6 = 0,5(1 + \Phi_2)$
14	Φ_7	Οι δυνάμεις πρόσκρουσης θα υπολογίζονται όταν η ταχύτητα μετακίνησης είναι στις επαφές του τερματικού προσκρουστήρα είναι μικρότερες από 0,7m/s
15		Οι δυνάμεις κλίσεως δεν θα συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς
16	Φ_5	Φορτία λόγω έκτακτης διακοπής της λειτουργίας θα έχουν μια μέγιστη τιμή του συντελεστή Φ_5 ίση με 2,0
17		Φορτία που δημιουργούνται λόγω αστοχίας ενός μηχανισμού ή ενός συνδέσμου του θα συμπεριλαμβάνονται όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο
18		Φορτία λόγω διέγερσης της θεμελίωσης του γερανού θα συμπεριλαμβάνονται όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο

4. Φορτία και συνδυασμός φορτίων –Γενικός σχεδιασμός

4.1 Αδρανειακές δυνάμεις

Οι αδρανειακές δυνάμεις που επιδρούν πάνω στην κατασκευή του γερανού κατά την διάρκεια επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων θα καθορίζονται σύμφωνα με την μέγιστη δύναμη κίνησης για την κανονική λειτουργία όπως παρακάτω :

- a. Όπου δεν υπάρχουν περιορισμοί για τις ταυτόχρονες λειτουργικές κινήσεις :

Η κίνηση ανύψωσης θα συνδυάζεται είτε με

Περιστροφή

ή περιστροφή και κίνηση κατά την κατεύθυνση του ανέμου

ή περιστροφή και την κίνηση μεταφοράς του γερανού

Οι αδρανειακές δυνάμεις όταν επιταχύνονται από την περιστροφή θα συνδυάζονται με τις φυγοκεντρικές δυνάμεις .

Όπου θα λαμβάνεται συντελεστής $\Phi_5 = 1$

- b. Όπου υπάρχουν περιορισμοί για τις ταυτόχρονες λειτουργικές κινήσεις , οι αδρανειακές δυνάμεις θα συνδυάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δρουν ταυτόχρονα .

4.2 Φορτία ανέμου σε κανονική κατάσταση λειτουργίας

Η κατανεμημένη πίεση του ανέμου θα κυμαίνεται ανάμεσα στις παρακάτω τιμές :

Κατά την ανύψωση $0,125 \text{ KN/m}^2$

Σε κανονική λειτουργία $0,25 \text{ KN/m}^2$

Οι τιμές αυτές είναι κατάλληλες για τον σχεδιασμό , αλλά ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή μπορεί οι τιμές αυτές να μπορεί να μεταβάλλονται για την λειτουργία σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου .

4.3 Κατάλληλοι συνδυασμοί φορτίων

Για πυργωτούς γεραμούς , η ασφάλεια στην αντοχή είναι επαρκής για τους συνδυασμούς $A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3, B_4, C_1, C_2, C_3$ σύμφωνα πάντα με τον Πίνακα 2 .

Μέρος 4^ο : Γερανοί κεραιάς

1.Σκοπός

Αυτό το μέρος εφαρμόζει τις προδιαγραφές του Μέρους 1 του ISO 8686 , σε γερανούς κεραιάς , και παρουσιάζει τα φορτία και τον συνδυασμό φορτίων για τους υπολογισμούς της αντοχής για την συγκεκριμένη κατηγορία .

2. Επιλογή φορτίων και συνδυασμό φορτίων

2.1 Περιγραφή

Τα φορτία λοιπόν θα συνδυάζονται με σκοπό την εύρεση της μέγιστης επίδρασης πάνω στον γερανό και στα στοιχεία του κατά την λειτουργία του . Για να γίνει αυτό δίνονται οι παρακάτω οδηγίες :

- c. Ο γερανός λοιπόν μελετάται στην πιο δυσμενή κατάσταση , ενώ υποθέτουμε πως τα φορτία ενεργούν κατά μέτρο , θέση και διεύθυνση έτσι ώστε να προκαλούν δυσμενής τάσεις σε κρίσιμα σημεία του γερανού που επιλέγονται από τον σχεδιαστή.
- d. Τα φορτία θα συνδυάζονται με τιμές που παραθέτονται σε αυτό το Μέρος , όταν είναι δυνατόν μπορούν να συνδυαστούν συγκεκριμένα φορτία , εφαρμόζοντας σε αυτά τους συντελεστές μείωσης για να αντιπροσωπεύουν συνδυασμούς φορτίων που συναντώνται και στην πραγματικότητα .

2.2 Εμφάνιση ταυτόχρονων επιταχύνσεων

Η επίδραση ενός επιταχυνόμενου συστήματος κίνησης , όπως είναι η περιστροφική κίνηση (slewing) , κίνηση του γερανού προς την κατεύθυνση του ανέμου (luffing) , και τηλεσκοπική κίνηση (telescoping) υποθέτουμε πως δρουν ταυτόχρονα με την επιτάχυνση ανύψωσης , μόνο δύο συστήματα κίνησης επιταχύνονται ταυτόχρονα κατά την απουσία της επιτάχυνσης ανύψωσης.Οι αδρανειακές δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την περιστροφή με τον συνδυασμό των φυγοκεντρικών δυνάμεων θα λαμβάνονται ως ένα κοινό φορτίο. Όμως , δεν θα πρέπει μελετώνται ταυτόχρονες επιταχύνσεις του γερανού όταν απαγορεύονται από τις οδηγίες του κατασκευαστή.

2.3 Πλευρική φόρτιση

Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού μπορούν να επηρεάσουν στην εμφάνιση πλευρικής φόρτισης στην κεραία (μπούμα) . Όταν τα χαρακτηριστικά αυτά εμφανίζονται κατά τον σχεδιασμό , θα πρέπει να

εισάγονται με τους κατάλληλους συνδυασμούς φορτίων έτσι ώστε οι υπολογισμοί που εκτελούνται να δώσουν την μέγιστη πλευρική φόρτιση .

Έτσι επιδράσεις από τα φορτία του ανέμου και περιστροφή μπορεί να προκαλέσουν μια απόκλιση στην γραμμή ανύψωσης από την μεσοκάθετο της κεραίας .

3. Έκτακτες λειτουργίες

3.1 Χειροκίνητες ενέργειες εκκίνησης

Για χειροκίνητες ενέργειες έκτακτης διακοπής του συστήματος ελέγχου της λειτουργίας , οι υπολογισμοί θα διεξάγονται από την γραμμή 16 των Πινάκων 1 και 2 .

3.2 Αυτόματες ενέργειες εκκίνησης

Οι γερανοί κεραίας που εφοδιάζονται με συστήματα και συσκευές ελέγχου , που διακόπτουν την κίνηση και φρενάρουν την κατασκευή χωρίς κάποια ενέργεια από τον μηχανισμό κίνησης , ή εφοδιάζονται με φρένα που αυτόματα μπλοκάρουν λόγω απώλεια ισχύος ή από λειτουργίες ελέγχου , θα πρέπει να καθορίζουν εκείνες τις επιδράσεις που θα διεξάγονται από την έκτακτη διακοπή λόγω κινδύνου στην γραμμή 16 ή για την αστοχία του μηχανισμού στην γραμμή 17 των Πινάκων 1 και 2 .

4 Φορτία που δημιουργούνται κατά την επιτάχυνση του μηχανισμού κίνησης

4.1 Επιδράσεις κατά την ανύψωση

Η επίδραση των αδρανειακών δυνάμεων κατά την ανύψωση εξαρτάται από τις αλλαγές στη δύναμη κίνησης (ΔF) . Οι αλλαγές αυτές υπολογίζονται από τον μηχανισμό κίνησης ή τα χαρακτηριστικά του συστήματος πέδησης , χρησιμοποιώντας την υψηλότερη τιμή της ροπής εκκίνησης /φρεναρίσματος που εφαρμόζεται από το σύστημα.

4.2 Επιδράσεις από μηχανισμούς εκτός της ανύψωσης

Στην πραγματικότητα , οι επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τον μηχανισμό που έχουν εφοδιαστεί , την ακτίνα λειτουργίας, το σύστημα ελέγχου που συνεργάζονται και τα χαρακτηριστικά του μηχανισμού κίνησης και φρεναρίσματος . Για τους υπολογισμούς της φέρουσας ικανότητας του γερανού , οι αλλαγές που θα γίνονται στις δυνάμεις κίνησης (ΔF) οι οποίες προκαλούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση στον γερανό θα υπολογίζονται από την υψηλότερη τιμή της ροπής εκκίνησης /φρεναρίσματος που εφαρμόζεται από το σύστημα.

4.3 Εφαρμογή των αλλαγών στην δύναμη κίνησης, ΔF

Οι τιμές (ΔF) για ανύψωση εφαρμόζονται με την εισαγωγή του συντελεστή ϕ_5 (Μέρος 1 ISO 8686 , Πίνακας 1) που λαμβάνεται από τον Πίνακα 3 , οι οποίες απαρτίζουν το φορτίο της στήλης 5 στους Πίνακες 1 και 2 . Οι τιμές των (ΔF) για άλλες μορφές ανύψωσης εφαρμόζονται με τον συντελεστή ϕ_5 που λαμβάνεται από τον Πίνακα 3 , και οι προκύπτουσες αδρανειακές δυνάμεις θα περιλαμβάνουν το φορτίο της στήλης 4 στους Πίνακες 1 και 2 .

5. Υπολογισμοί φορτίων

5.1 Γενικά

Ο κατασκευαστής θα πρέπει να αποφασίσει ανάμεσα στην μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης και την μέθοδο της οριακής κατάστασης για τον υπολογισμό φορτίων στον γερανό . Οι υπολογισμοί με την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης θα γίνονται σύμφωνα με την παράγραφο 5.2 , ενώ για την μέθοδο της οριακής κατάστασης σύμφωνα με την παράγραφο 5.3 .

5.2 Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης

Στον Πίνακα 1 δίνονται τα φορτία και ο συνδυασμός φορτίων για την μέθοδο της επιτρεπόμενης τάσης , μαζί με την εφαρμογή των συντελεστών αντοχής γ_f και τους δυναμικούς συντελεστές ϕ_n . Στον Πίνακα 3 δίνονται οι τιμές των συντελεστών ϕ_n και περαιτέρω πληροφορίες για τα σχετικά φορτία .Ο Πίνακας 4 περιγράφει τις κινήσεις που συνδυάζονται με τους συνδυασμούς φορτίων που καταχωρούνται στον Πίνακα 1.

Για στοιχεία που υποβάλλονται σε αξονική καταπόνηση , οι συντελεστές του Πίνακα 1 γ_f εφαρμόζονται μόνο όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις φόρμουλες που υπάρχουν στο Παράρτημα Α .

5.3 Μέθοδος της οριακής κατάστασης

Ο Πίνακας 2 δίνει τα φορτία και τους συνδυασμούς φορτίων για την μέθοδο της οριακής κατάστασης μαζί με τους συντελεστές φορτίων γ_p και τους δυναμικούς συντελεστές ϕ_n . Στον Πίνακα 3 παραθέτονται οι τιμές των συντελεστών ϕ_n και περαιτέρω πληροφορίες για την εφαρμογή τους. Ο συντελεστής αντίστασης γ_m λαμβάνεται ίσος με 1,1 για όλους τους συνδυασμούς .

Η οριακή τάση θα διαιρείται από τον συντελεστή γ_m έτσι ώστε να αντικατοπτρίζει τις στατιστικές μεταβολές στην αντοχή του υλικού και τις τοπικές παραμορφώσεις .

Ο Πίνακας 4 περιγράφει τις κινήσεις που συνδυάζονται με τους συνδυασμούς φορτίων που καταχωρούνται στον Πίνακα 2. Για στοιχεία που υποβάλλονται σε αξονική καταπόνηση , οι συντελεστές του Πίνακα 2 γ_p και γ_m εφαρμόζονται μόνο όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις φόρμουλες που υπάρχουν στο Παράρτημα Α .

Πίνακας 1-Φορτία και συνδυασμός φορτίων-Γερανοί κεραιάς – Μέθοδος της επιτρεπόμενης τάσης

1	2		3					4					5								6					
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C								Αριθμός γραμμής					
			γ_f	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_f	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	γ_f	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6		C_7	C_8			
Κανονικά φορτία	Βαρύτητα, επιπαχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	φ_1	φ_1	1	-	φ_1	φ_1	1	-	-	φ_1	1	φ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2) Μάζα του μεικτού βάρους	φ_1	φ_3	1	-	φ_1	φ_3	-	-	-	φ_1	η	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
		3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε ανομοιόμορφη επιφάνεια	-	-	-	φ_4	-	-	-	φ_4	φ_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Επιπαχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό	φ_5	φ_5	-	-	φ_5	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
			Με ανυψωτικό μηχανισμό	-	-	φ_5	φ_5	-	-	φ_5	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Μετατοπίσεις	5) Βλέπε παρ. 5.1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	1,48	-	-	-	-	1,34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	Στρεβλώσεις	4) Βλέπε παρ. 5.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Κατ'εξαιρέση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
	5) Δυνάμεις κλίσης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	15
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	16
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-	-	-	17
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	18

Πίνακας 2 -Φορτία και συνδυασμός φορτίων -Γερανοί κεραιάς-Μέθοδος της οριακής κατάστασης

1	2		3					4					5								6									
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F_i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C								Αριθμός γραμμής									
			γ_p	A_1	A_2	A_3	A_4	γ_p	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	γ_p	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6		C_7	C_8							
Κανονικά φορτία	Βαρύτητα, επιταχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	1,22	φ_1	φ_1	1	-	1,16	φ_1	φ_1	1	-	-	1,1	φ_1	1	φ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		2) Μάζα του μεικτού βάρους	1,34	φ_1	φ_3	1	-	1,22	φ_1	φ_3	1	-	-		-	-	η	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε τροχίες	1,22	-	-	-	φ_4	1,16	-	-	-	φ_4	φ_4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Επιταχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό	1,34	φ_5	φ_5	-	-	1,22	φ_5	φ_5	-	-		-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
			Με ανυψωτικό μηχανισμό		-	-	φ_5	φ_5		-	-	φ_5	φ_5		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Μετατοπίσεις	5) Βλέπε παρ. 5.1.5	1,22	1	1	1	1	1,16	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας	-	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου	-	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1	1,16	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας	-	-	-	-	-	1,1	1	1	1	1	1	1,05	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
	Στρεβλώσεις	4) Βλέπε παρ. 5.2.2	-	-	-	-	-	1,16	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Κατ'εξαιρέση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	φ_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11		
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	
	3) Φορτία ελέγχου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	φ_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	φ_7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	
	5) Δυνάμεις κλίσης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	-	-	16	
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	φ_5	-	-	-	-	-	-	17	
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	18		
Ο συντελεστής αντίστασης γ_m θα λαμβάνεται για όλους τους συνδυασμούς ίσος με 1,1																								19						

Πίνακας 3- Αρχές σχεδιασμού και τιμές των συντελεστών ϕ_n

Αριθμός γραμμής για τον Πίνακα 1 και 2	ϕ_n	Τιμές για τους συντελεστές ϕ_n Τιμές φορτίων
1	ϕ_1	$\phi_{\max} = 1,1$ $\phi_{\max} = 0,9$ Η τιμή του συντελεστή ϕ_1 θα είναι μικρότερη ή ίση του 1,0 ανάλογα με τον αν η επίδραση του φορτίου είναι επιθυμητή ή ανεπιθυμητή
2	ϕ_2	Σύμφωνα με το Παράρτημα Α
	ϕ_3	
3	ϕ_4	Εάν οι συνδέσεις της σιδηροτροχιάς είναι συγκολλημένες και οι ανοχές των τροχιών συμφωνούν με τις τιμές του ISO 12488-1 τότε $\phi_4 = 1,0$.Σε άλλες περιπτώσεις οι τιμές του ϕ_4 θα καθορίζεται από το πρότυπο ISO 8686-1 , 5.1.3.2
4 και 5	ϕ_5	$\phi_5 = 1,2$ όταν η επιτάχυνση ή το σύστημα φρένων ελέγχονται με βηματικό μηχανισμό χωρίς αντίδραση $\phi_5 = 1,5$ για άλλου είδους σύστημα ελέγχου όπου οι δυνάμεις κίνησης δρουν στον γερανό χωρίς κάποια αντίδραση $\phi_5 = 2$ όταν υπάρχει αντίδραση στο σύστημα ελέγχου
6		Θα πρέπει να εισάγονται μερικοί συντελεστές φορτίων όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο
7		Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 4302 , Πίνακας 1 type b με ελάχιστη τιμή (ταχύτητα ανέμου 20m/sec, 0,25kPa)
8		
9		
10		
11	$\phi_{2,\max}$	
12		Θα υπολογίζονται σύμφωνα με το ISO 4302 , χρησιμοποιώντας τις κανονικές ταχύτητες που ορίζει , εκτός και αν απαιτούνται πιο αυστηρές προδιαγραφές από τον εργοδότη ή τον κατασκευαστή
13	ϕ_6	Τα φορτία ελέγχου θα είναι στο 110% του ονομαστικού φορτίου για τους δυναμικούς ελέγχους , και στο 125% του ονομαστικού φορτίου για τους στατικούς ελέγχους . Υπάρχει περίπτωση να απαιτούνται μεγαλύτερες τιμές από τον εργοδότη .
14	ϕ_7	Σε συμφωνία με εργοδότη και κατασκευαστή το 70% της ονομαστικής ταχύτητας θα χρησιμοποιείται για την περίπτωση συγκρούσεων.
15		Οι δυνάμεις κλίσεως δεν θα συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς
16	ϕ_5	Για φορτία ανύψωσης $\phi_5 = 1,5$ Για άλλες κινήσεις $\phi_5 = 2,0$
17		Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8686-1 όπου κρίνεται απαραίτητο
18		Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8686-1 όπου κρίνεται απαραίτητο, από τον εργοδότη και τον κατασκευαστή

Πίνακας 4- Περιγραφή των συνδυασμών φορτίων

Συνδυασμοί φορτίων	Περιγραφή
A_1 και B_1	Για γερανούς κεραίας για κανονική ανύψωση σε συνδυασμό με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας για την A_1 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_1
A_2 και B_2	Για γερανούς κεραίας για κανονικές συνθήκες λειτουργίας όταν απελευθερώνουν απότομα ένα φορτίο. Σε συνδυασμό με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας και κλιματικές επιδράσεις για την A_2 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_2
A_3 και B_3	Για γερανούς κεραίας που λειτουργούν σε κανονικές συνθήκες επιταχύνοντας το φορτίο που βρίσκεται σε αναστολή . Σε συνδυασμό με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας και κλιματικές επιδράσεις για την A_3 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_3
A_4 και B_4	Γερανοί κεραίας σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας που κινούνται σε ανώμαλη επιφάνεια .Το φορτίο που θα προκύψει θα συνδυαστεί με δύο κινήσεις οι οποίες θα προκαλέσουν την μέγιστη φόρτιση , χωρίς φορτία ανέμου κανονικής λειτουργίας και κλιματικές επιδράσεις για την A_4 και για φορτία ανέμου και κλιματικές επιδράσεις σε κατάσταση λειτουργίας για την B_4
C_1	Γερανοί κεραίας που ανυψώνουν φορτίο από το έδαφος σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας εκτός από τις εξαιρέσεις που παρουσιάζονται στο ISO 8686-1 , 5.1.2.2.2
C_2	Γερανοί κεραίας για συνθήκες κατάστασης λειτουργίας , συμπεριλαμβάνοντας φορτία ανέμου εκτός λειτουργίας και φορτία από άλλες κλιματικές επιδράσεις
C_3	Κινητοί γερανοί που λειτουργούν με το φορτίο ελέγχου σύμφωνα με το ISO 8686-1 ,5.3.2.Το φορτίο ανύψωσης θα συνδυάζεται με άλλες δύο κινήσεις έτσι ώστε να επιφέρουν την μέγιστη φόρτιση στο γερανό
C_4 έως και C_8	Γερανοί κεραίας όπου λειτουργούν με το μεικτό φορτίο σε συνδυασμό το φορτίο που προκύπτει από τις δυνάμεις πρόσκρουσης C_4 , δυνάμεις κλίσης C_5 , έκτακτης διακοπής της λειτουργίας C_6 ,αστοχίας του μηχανισμού κίνησης C_7 , και διέγερσης της θεμελίωσης της κατασκευής C_8

Μέρος 5 : Γερανοί εναέριου τύπου και γερανογέφυρες

1.Σκοπός

Αυτό το μέρος εφαρμόζει τις προδιαγραφές του Μέρους 1 του ISO 8686 , σε γεραμούς εναέριου τύπου και γερανογέφυρες , και παρουσιάζει τα φορτία και τον συνδυασμό φορτίων για τους υπολογισμούς της αντοχής για την συγκεκριμένη κατηγορία .

2. Εφαρμογή των συντελεστών φ_n

Οι αριθμητικές τιμές των συντελεστών φ_n παρατίθενται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 -Φορτία και συνδυασμός φορτίων -Γερανοί εναέριου τύπου και γερανογέφυρες

1	2		3					4					5								6						
Κατηγορίες φορτίων	Φορτία F _i		Συνδυασμός φορτίων Α					Συνδυασμός φορτίων Β					Συνδυασμός φορτίων C								Αριθμός γραμμής						
			γ _p	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	γ _p	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	γ _p	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆		C ₇	C ₈				
Κανονικά φορτία	Βαρύτητα, επιπαχύνσεις, συγκρούσεις	1) Μάζα της ανυψωτικής κατασκευής	1,16	φ ₁	φ ₁	1	-	1,1	φ ₁	φ ₁	1	-	-	1,05	φ ₁	1	φ ₁	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		2) Μάζα του μεικτού βάρους	1,34	φ ₂	φ ₃	1	-	1,28	φ ₁	φ ₃	1	-	-	1,22	-	η	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		3) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και φορτίο ανύψωσης, με κίνηση πάνω σε τροχιές	1,16	-	-	-	φ ₄	1,1	-	-	-	φ ₄	φ ₄	1,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Επιπαχύνσεις από τον μηχανισμό κίνησης	4) Μάζες της ανυψωτικής συσκευής και μεικτό βάρος	Χωρίς ανυψωτικό μηχανισμό	1,55	φ ₅	φ ₅	-	-	1,48	φ ₅	φ ₅	-	-	1,41	-	-	φ ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Με ανυψωτικό μηχανισμό		-	-	φ ₅	φ ₅		-	-	φ ₅	φ ₅		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Μετατοπίσεις	5) Βλέπε παρ. 5.1.5	1,16	1	1	1	1	1,1	1	1	1	1	1	1,05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Τυχαία φορτία	Κλιματικές συνθήκες	1) Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας						1,16	1	1	1	1	1	1,1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2) Φορτία χιονιού και πάγου						1,34	1	1	1	1	1	1,28	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		3) Μεταβολές της θερμοκρασίας						1,1	1	1	1	1	1	1,05	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Στρεβλώσεις	4) Βλέπε παρ. 5.2.2						1,16	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Κατ'εξαιρέση φορτία	1) Ανύψωση ελεύθερου βάρους από το έδαφος													1,22	$\hat{\phi}_2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2) Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας													1,22	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3) Φορτία ελέγχου													1,22	-	-	φ ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	4) Δυνάμεις πρόσκρουσης													1,41	-	-	-	φ ₇	-	-	-	-	-	-	-	-	
	5) Δυνάμεις κλίσης													1,41	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
	6) Φορτία έκτακτης διακοπής λόγω κινδύνου													1,41	-	-	-	-	-	φ ₅	-	-	-	-	-	-	
	7) Λόγω αστοχίας του μηχανισμού κίνησης													1,41	-	-	-	-	-	-	-	φ ₅	-	-	-	-	
	8) Φορτία λόγω διέγερσης της ανυψωτικής συσκευής													1,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
Συντελεστής αντοχής γ _f								1,48					1,34													19	
Συντελεστής αντίστασης γ _m		1,1											1,05													20	
Συντελεστής γ _η για υψηλού κινδύνου εφαρμογές																										21	

Αριθμός γραμμής για τον Πίνακα 1	ϕ_n	Τιμές για τους συντελεστές ϕ_n Τιμές φορτίων
1	ϕ_1	$\phi = 1 \pm a \quad a = 0,1$
2	ϕ_2	ISO 8686-1 κατηγορίες ανύψωσης
	ϕ_3	ISO 8686-1
3	ϕ_4	Η τιμή του συντελεστή ϕ_4 θα λαμβάνεται από το Παράρτημα D ISO 8686-1
4 και 5	ϕ_5	$\phi_5 = 1,2$ όταν η επιτάχυνση ή το σύστημα φρένων ελέγχονται με βηματικό μηχανισμό χωρίς αντίδραση $\phi_5 = 1,5$ για άλλου είδους σύστημα ελέγχου όπου οι δυνάμεις κίνησης δρουν στον γερανό χωρίς κάποια αντίδραση $\phi_5 = 2$ όταν υπάρχει αντίδραση στο σύστημα ελέγχου
6		Εάν οι μετατοπίσεις είναι στα επιτρεπόμενα όρια που καθορίζονται από ISO 8306, τότε οι επιδράσεις τους μπορούν να αμεληθούν από τους υπολογισμούς της αντοχής
7		Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 4302
8		Κλιματικές συνθήκες τοποθεσίας για φορτία χιονιού και πάγου
9		Θερμοκρασίες περιβάλλοντος και τοπικές θερμοκρασίες
10		ISO 8686-1 Παράρτημα F
11	$\hat{\phi}_2$	ISO 8686-1 κατηγορίες ανύψωσης
12		ISO 4302
13	ϕ_6	ISO 8686-1 και 4310
14	ϕ_7	ISO 8686-1
15		ISO 8686-1
16	ϕ_5	$\phi_5 = 2,0$
17		$\phi_5 = 2,0$
18		ISO 8686-1

4. Κατηγορίες ανύψωσης

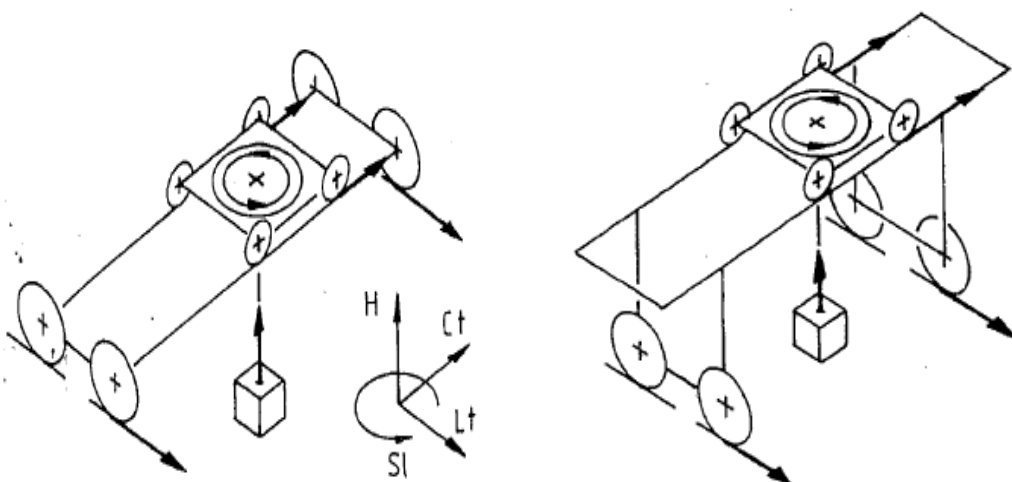
Πίνακας 3-Εφαρμογές ανύψωσης

<i>Είδος γερανού</i>	<i>Κατηγορία ανύψωσης</i>
<i>Power station cranes</i> <i>Erection cranes</i> <i>Workshop cranes</i>	<i>HC1</i>
<i>Ship unloaders</i> <i>Stockyard cranes</i>	<i>HC2/ HC3</i>
<i>Ladle cranes</i> <i>Open-heart furnace charging cranes</i> <i>Ingot charging cranes</i> <i>Soaking pit cranes</i>	<i>HC3</i>
<i>Stripper cranes</i>	<i>HC3/ HC4</i>
<i>Forge cranes</i>	<i>HC4</i>

Τα παραδείγματα που παρατίθενται στον Πίνακα 3 αντιπροσωπεύουν τυπικές εφαρμογές , για τον κατασκευαστικό σχεδιασμό και συστήματα ελέγχου της ανύψωσης .Για πιο ευέλικτα συστήματα αντοχής και συστήματα ελέγχου επιτρέπουν την επιλογή μιας μικρότερης κατηγορίας ανύψωσης απο τις παραπάνω . Όπου είναι απαραίτητο μπορεί να εφαρμοστούν μεγαλύτερες κατηγορίες ανύψωσης .

4. Συνδυασμός των επιδράσεων των φορτίων

Για εναέριους γεραμούς και γερανογέφυρες το φορτίο συνδυάζεται από τις εξής κινήσεις , ανύψωση (H) , μετακίνηση (Lt) , εγκάρσια κίνηση (Ct) και πιθανόν , περιστροφή από τους μηχανισμούς κίνησης (SI) . (Εικόνα 1). Οι επιταχύνσεις που εμφανίζονται ταυτόχρονα εξαρτώνται από το σύστημα ελέγχου και τις συνθήκες λειτουργίας του γερανού . Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω οι επιταχύνσεις που δίνονται στην Εικόνα 4 δρουν ταυτόχρονα .



Εικόνα 1

Το μεικτό φορτίο θα πολλαπλασιάζεται με τους παρακάτω αντίστοιχους συντελεστές :

- Συνδυασμός φορτίων A1 και B1 : φ_2
- Συνδυασμός φορτίων A2 και B2 : φ_3
- Συνδυασμός φορτίων A3 και B3 : $1+\varphi_5 \cdot \Delta F/mg$
- Συνδυασμός φορτίων A4 και B4 : φ_4
- Συνδυασμός φορτίων C4 : φ_6

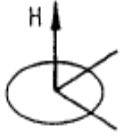
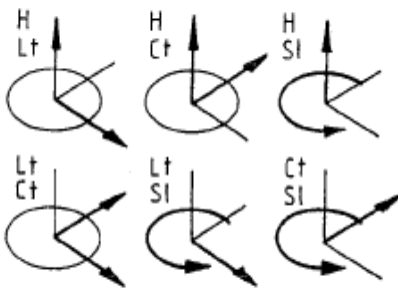

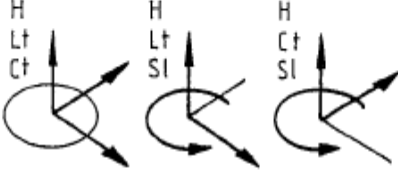
Οι δυνάμεις κίνησης μπορούν να αλλάξουν σημαντικά μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα . Συνεπώς οι επιταχύνσεις θα υπολογίζονται ως εξής :

- a) Για την εκκίνηση
- b) Για το φρενάρισμα της σταθερής κατάστασης κίνησης
- c) Για το φρενάρισμα κατά την διάρκεια της εκκίνησης
- d) Για την επιτάχυνση της κίνησης κατά το φρενάρισμα

Επιπλέον οι επιταχύνσεις που εμφανίζονται στο μοντέλο στερεού σώματος θα πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή φ_5 σύμφωνα με το ISO 8686-1.

Κατά τους συνδυασμούς C6 και C7 μόνο οι επιδράσεις από τις ενέργειες έκτακτης διακοπής της λειτουργίας ή από αστοχία του μηχανισμού ενός εξαρτήματος θα μελετώνται χωρίς την επίδραση άλλων δυναμικών επιδράσεων , σε κατάσταση σταθερής ταχύτητα κίνησης .

Πίνακας 4-Συνδυασμός των επιταχύνσεων

	Hoisting a grounded load Load combinations A1, B1, C1	Hoisting a suspended load Load combinations A2 to A4, B2 to B4, C3
Control by push-button panel or bi-directional control levers		
Control by multi-directional control levers	Power station cranes Erection cranes Workshop cranes	Power station cranes Erection cranes Workshop cranes Ship unloaders Stockyard cranes Steel mill cranes
		
	Ship unloaders Stockyard cranes Steel mill cranes	
