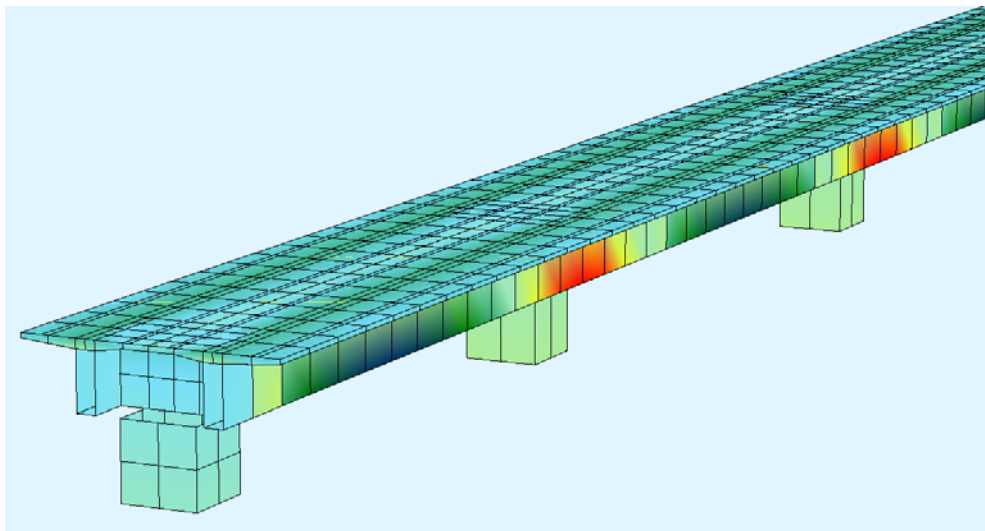




**Εφαρμογή των DIN-Fachberichte  
με τα προγράμματα  
SOFiSTiK**



**Γέφυρα με πλακοδοκούς**

Σύμφωνα με το σεμινάριο  
**„DIN Fachberichte im Brückenbau – Betonbrücken“**  
(DIN Ειδική Έκθεση για τη Γεφυροποιία – Γέφυρες από Σκυρόδεμα)

**SOFiSTiK Hellas A.E.**

3ης Σεπτεμβρίου 56, 104 33 Αθήνα

Τηλ: 2108220607, 2108251632

Fax: 2108251632

[www.sofistik.gr](http://www.sofistik.gr), [info@sofistik.gr](mailto:info@sofistik.gr)

## Περιεχόμενα

1.	Γενικά.....	3
2.	Βασικά.....	3
2.1	Τύποι γεφυρών.....	3
2.2	Υλικά.....	4
2.3	Σύστημα και στατικό προσομοίωμα.....	4
2.4	Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας.....	6
3.	Δράσεις.....	6
4.	Προένταση.....	7
4.1	Δύναμη προέντασης.....	8
5.	Φορτίσεις.....	10
5.1	Μόνιμα φορτία.....	10
5.2	Καθιζήσεις.....	10
5.3	Θερμοκρασιακή μεταβολή.....	10
5.4	Φορτία κυκλοφορίας.....	11
6.	Περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών.....	13
6.1	Ενδιάμεσες περιβάλλουσες από φορτία κυκλοφορίας και καθιζήσεις.....	13
6.2	Περιβάλλουσα αντιδράσεων.....	15
7.	Ερπυσμός και συρρίκνωση.....	15
7.1	Χαλάρωση (relaxation) χάλυβα προέντασης.....	15
7.2	Παράμετροι ερπυσμού και συρρίκνωσης.....	16
7.3	Ερπυσμός+Συρρίκνωση+Χαλάρωση σε ένα βήμα με το AQB.....	17
8.	Έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	18
8.1	Προσδιορισμός των συνδυασμών φορτίσεων στο AQB.....	18
8.2	Έλεγχος των τάσεων στις πινακοποιημένες εκτυπώσεις.....	18
8.3	Γραφικός έλεγχος τάσεων.....	20
9.	Έλεγχοι.....	21
9.1	Έλεγχοι οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.....	21
9.1.1	Τάσεις σκυροδέματος από μη συχνούς συνδυασμούς – $\min \sigma_c \leq 0.6 f_{ck}$ .....	21
9.1.2	Τάσεις σκυροδέματος από οιονεί μόνιμους συνδυασμούς – $\min \sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$ .....	22
9.1.3	Τάσεις χάλυβα προέντασης από οιονεί μόνιμους συνδυασμούς – $\min \sigma_c \leq 0.65 f_{pk}$ .....	22
9.1.4	Τάσεις χάλυβα προέντασης από μη συχνούς συνδυασμούς – $\min \sigma_s \leq 0.8 f_{yk}$ .....	23
9.1.5	Έλεγχος απόθλιψης.....	23
9.1.6	Έλεγχος εύρους ρωγμής.....	24
9.1.7	Διαφοροποίηση σταδίου I και σταδίου II.....	25
9.2	Έλεγχος στην οριακή κατάσταση αστοχίας.....	26
9.3	Ελάχιστοι οπλισμοί.....	26
9.3.1	Ελάχιστοι οπλισμοί στην οριακή κατάσταση αστοχίας.....	26
9.3.2	Ελάχιστοι οπλισμοί στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (εύρος ρωγμής) .....	27
9.4	Έλεγχος κόπωσης.....	27
10.	Επιπρόσθετα παραδείγματα.....	27
11.	Βιβλιογραφία.....	28

## 1. Γενικά

Η γέφυρα που εξετάζεται εδώ, αντιστοιχεί στο παράδειγμα με τίτλο 'Plattenbalken' (Πλακοδοκός) από τα πρακτικά του σεμιναρίου „DIN Fachberichte im Brückenbau – Betonbrücken“ που πραγματοποιήθηκε στις 1 και 2 Απριλίου 2003. Το σεμινάριο οργανώθηκε από το τμήμα κατασκευών του βαυαρικού επιμελητηρίου. Η παρουσίαση „Bemessungsbeispiel Plattenbalken“ [1] (Παράδειγμα διαστασιολόγησης πλακοδοκών) έγινε από τον Dr.-Ing. Hennecke (τεχν. γραφείο Zilch+Müller Ingenieure GmbH). Εφαρμόστηκε η μέθοδος υπολογισμού φορτίων σύμφωνα με την παρουσίαση του Dr.-Ing. Buba (τεχν. γραφείο SSF-Ingenieurgesellschaft mbH, Μόναχο) στο [2]. Βασικές επεξηγήσεις δόθηκαν στην παρουσίαση του καθηγητή κ. Zilch [3].

Επιπρόσθετα με την ειδική έκθεση 'Fachbericht 102', πρέπει σε γέφυρες οδοποιίας να ληφθεί υπόψη και η γενική οδηγία για κατασκευές οδοποιίας 'Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2003', η οποία επιτάσσει αποκλίσεις από την ειδική έκθεση 'Fachbericht'. Για παράδειγμα, κατά τη διαστασιολόγηση σε διάτμηση, διαφέρει η μέγιστη κλίση θλιβομένων ράβδων οπλισμού.

## 2. Βασικά

### 2.1 Τύποι γεφυρών

Η παλιά ταξινόμηση ως προς τους τύπους γεφυρών (DIN 1072 SLW30-SLW60) δεν χρησιμοποιείται πλέον (δες [2]-3.4). Στη θέση της υπάρχει η ταξινόμηση σε κλάσεις απαιτήσεων Α έως Ε. Σύμφωνα με τη γενική οδηγία για τεχνικά έργα οδοποιίας 'Allgemeinen Rundschreiben Strassenbau' Nr. 11/2003 ARS 11/2003, οι γέφυρες κατατάσσονται με τον ακόλουθο τρόπο:

Τύπος γέφυρας στην διαμήκη διεύθυνση	Κατά μήκος	Κατηγορία Εγκάρσια διεύθυνση χωρίς προένταση	Εγκάρσια διεύθυνση με προένταση <sup>1)</sup>
Ανωδομή από οπλισμένο σκυρόδεμα	D	D	D <sup>2)</sup>
Ανωδομή από προεντεταμένο σκυρόδεμα με καλώδια με συνάφεια ή μικτό σύστημα	C <sup>3)</sup>	D	B
Ανωδομή με κιβωτοειδή διατομή με αποκλειστικά εξωτερικά καλώδια	C D	D	D <sup>2)</sup>

1) Σύμφωνα με ZTV-ING, Μέρος 3, κεφάλαιο 2, 2.3.2 (5)  
 2) Πρέπει να ελεγχθεί επιπρόσθετα το DIN-Fachbericht 102, διάταξη Regel II-4.4.03(4)P  
 3) Σε γέφυρες με ανωδομή από προεντεταμένο σκυρόδεμα με καλώδια με συνάφεια ή μικτό σύστημα, με στατικώς ορισμένο φορέα στην διαμήκη διεύθυνση, πρέπει να επιλεγεί η κατηγορία B.

**Πίνακας 1: (από το ARS 11/2003)**

και κατά συνέπεια, διαφέρουν τα κριτήρια για τους ελέγχους [3]-4.6.1 σελίδα 34.

Η συγκεκριμένη γέφυρα κατατάσσεται στην κλάση C για τους ελέγχους στο διαμήκη άξονα. Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό απαιτεί συγκεκριμένη ακαμψία κατά τον έλεγχο (δες [3]-4.6.1 σελίδα 34):

Σειρά	Στήλη Κατηγορία	1	2	3
		Συνδυασμοί που επιδρούν στους ελέγχους για		Τιμή υπολογισμού του εύρους ρωγμής $w_k$ σε mm
		Απόθλιψη	Περιορισμό εύρους ρωγμής	
1	A	όχι συχνοί	σπάνιοι	0.2
2	B	συχνοί	όχι συχνοί	
3	C	οιονεί μόνιμα	συχνοί	
4	D	-	συχνοί	
5	E	-	οιονεί μόνιμα	0.3

**Πίνακας 2 – Πίνακας 4.118 από τα DIN-Fachbericht 102:  
Απαιτήσεις για τον περιορισμό του εύρους ρωγμής και απόθλιψη**

Άρα, οι ακόλουθοι έλεγχοι πρέπει να γίνουν στη διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας:

- Κλάση C: Έλεγχος απόθλιψης με οιονεί μόνιμες δράσεις (σύγκρινε [3]-4.6.1 με την παλιά μερική προένταση) δεξ [1] 5.3.
- Περιορισμός του εύρους ρωγμών κάτω από συνδυασμούς συχνών δράσεων (Δες [1] 5.3)
- Υπολογιστική τιμή του πλάτους ρωγμής  $w_k = 0.2 \text{ mm}$ .

Η κατηγορία αυτή πρέπει να δοθεί στο πρόγραμμα AQUA στην εντολή NORM:

NORM DIN FB-102 CAT C

Καθοριστικό για τη φόρτιση είναι ο αριθμός των δυνατών τροχιών σύμφωνα με το DIN FB 101 IV-4.2.4. Κατά συνέπεια, οι γέφυρες διακρίνονται μόνο μέσω της κλάσης έκθεσης (στο περιβάλλον) σύμφωνα με το DIN FB 100 πίνακας 1. Η ταξινόμηση αυτή σε κλάσεις έκθεσης επιδρά στους απαιτούμενους ελέγχους για τη διαστασιολόγηση.

Σύμφωνα με το [1]-2.2 η συγκεκριμένη γέφυρα ταξινομείται ως προς:

Κλάση έκθεσης (στο περιβάλλον) για σκουριά του οπλισμού:

XD1, XC4

Κλάση έκθεσης (στο περιβάλλον) για το σκυρόδεμα:

XF2

## 2.2 Υλικά

Σύμφωνα με το [1] έγινε επιλογή:

Σκυρόδεμα	Χάλυβας χαλαρού οπλισμού	Χάλυβας προέντασης
C40/50	BSt 500 M (B) κατά DIN 488 (υψηλής ελατότητας)	St 1570/1770
Ιδιότητες κατά DIN FB 102 II-4.2.1 και II-3.1	DIN FB 102 II-4.2.2 και II-3.2	DIN FB 102 II-4.2.3

Προσοχή :  $f_{p0,1k}$  είναι μόνο 1500 N/mm<sup>2</sup>. Δες εκτύπωση AQUA.

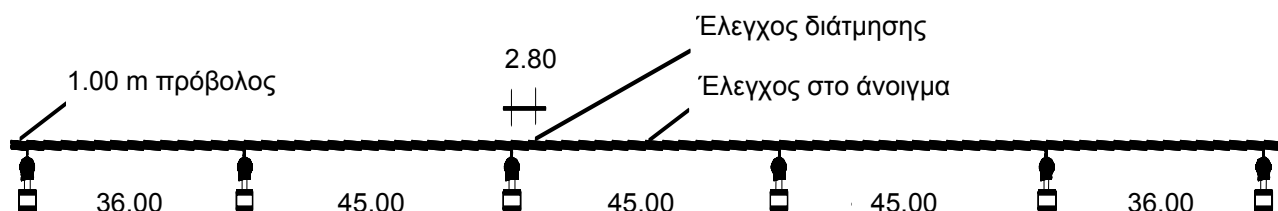
Δεδομένα:

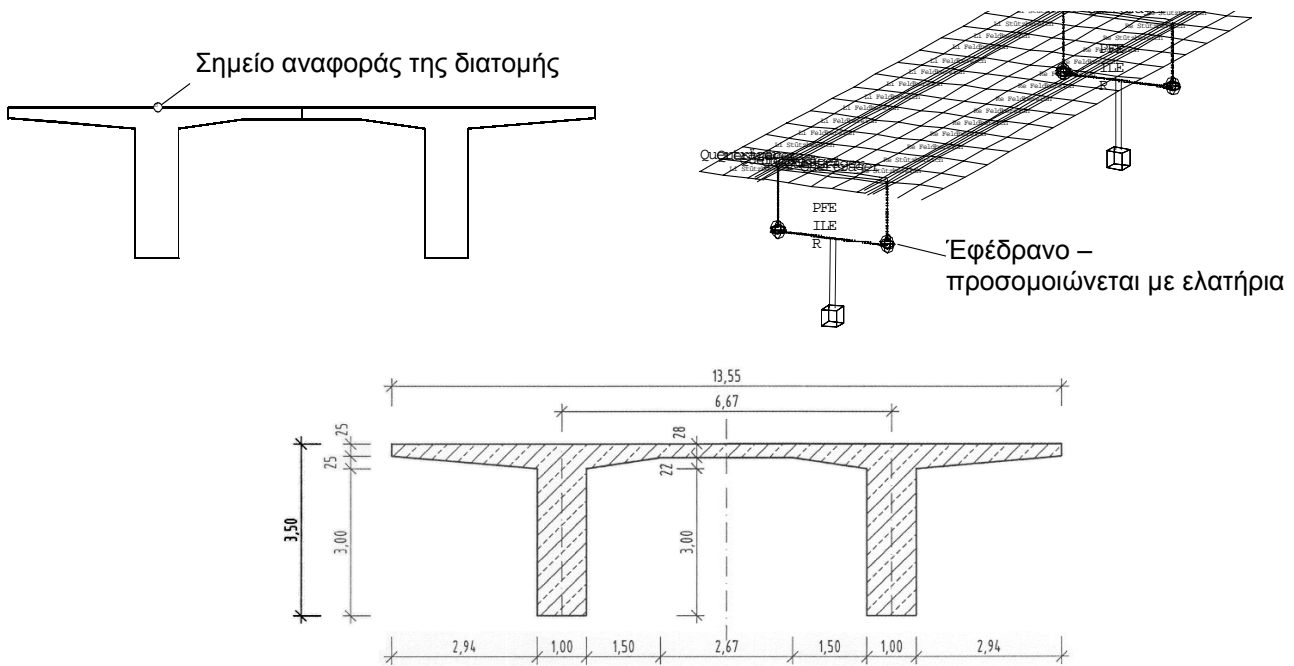
CONC 1 C 40 § = C40/50  
 STEE 2 BST 500SA TITL 'Χάλυβας σκυροδέματος'  
 STEE 3 BST 500MA TITL 'Χάλυβας πλέγματος'  
 STEE 11 PST 1570S REL1 1.0 REL2 1.0 § Δες Ερπυσμός+συρρίκνωση - χαλάρωση

## 2.3 Σύστημα και στατικό προσομοίωμα

Ο φορέας έχει 6 ανοίγματα και αποτελείται από δύο κύριες δοκούς με διατομή πλακοδοκού.

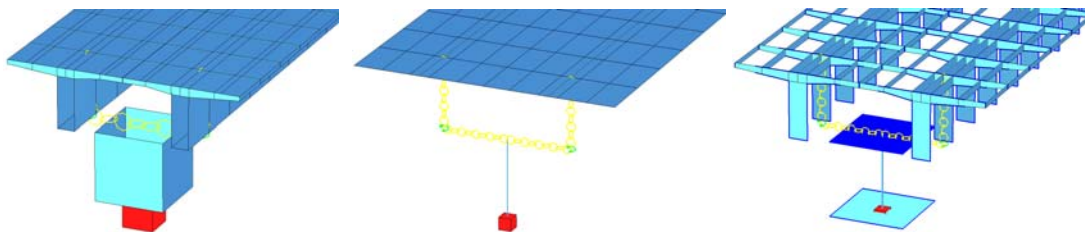
Η εγκάρσια κατανομή εξασφαλίζεται μέσω πλάκας που περιγράφεται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Για να εξασφαλίσουμε ότι τα εντατικά μεγέθη στην διαμήκη (κύρια) διεύθυνση παραλαμβάνονται από τα ραβδωτά στοιχεία, η πλάκα από επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία ορίζεται ως ορθότροπη.



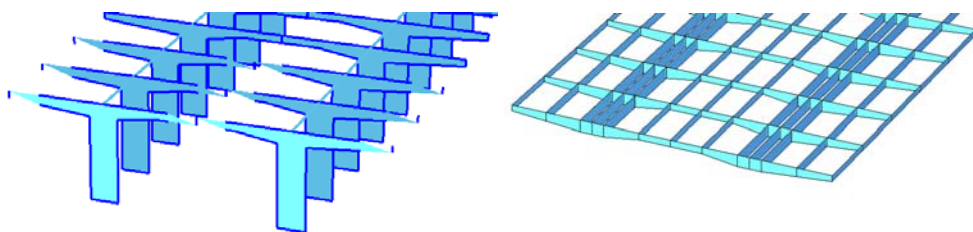


Εικόνα 1 : Σύστημα, διατομές και στηρίξεις

Το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων της πλάκας (εικόνα 1), διευκολύνει στην περιγραφή και την κατανομή των φορτίων και στην σωστή κατανομή της έντασης στην εγκάρσια διεύθυνση. Οι ράβδοι τοποθετούνται έκκεντρα ως προς το σημείο αναφοράς της διατομής. Αυτό είναι πάντα απαραίτητο όταν υπάρχει μεταβολή της διατομής κατά το μήκος. Τα επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία αποτελούνται από έκκεντρα στοιχεία QUAD με κοινή την άνω παρειά και έκκεντρο πάχος πλάκας προς τα κάτω:



Εικόνα 2: Σχέδιο της διατομής – Άξονες των στοιχείων – Διατομές και πλευρές των QUADs



Εικόνα 3: Μόνο οι διατομές των ράβδων – Quad-στοιχεία μόνο τους με τις πλευρές τους

Για να εξασφαλίσουμε ότι οι αντιδράσεις στα βάθρα και στις στηρίξεις αναφέρονται σε έναν κόμβο, τα ελατήρια δεξιά και αριστερά που αντιστοιχούν στα ελαστομερή εφ'δρανα, συνδέονται μέσω κινηματικών εξαρτήσεων με μία μεσαία ράβδο-στήριξη. Μέσω αυτής της ράβδου, παραλαμβάνουμε αυτόματα τα εντατικά μεγέθη, όπως τη μέγιστη ροπή με την αντίστοιχη αξονική δύναμη.

Για να αποτρέψουμε την παραγωγή επιπλέον ροπών στη διαμήκη διεύθυνση, η πλάκα ορίζεται ως ορθότροπη με μέτρο ελαστικότητας μειωμένο κατά 1/100 στη διαμήκη διεύθυνση. Επιπρόσθετα η

αξονική ακαμψία θα μειωθεί κατά 1/1000. Αυτό γίνεται επειδή η χρήση έκκεντρων ραβδωτών στοιχείων ως προς τα επιφανειακά στοιχεία είναι ιδιαίτερα δραστική και προκαλεί βλάβη (ASE – CTRL QUEA). Ο στόχος είναι να παραληφθούν τα φορτία στο σύνολο τους μόνο από τη διαμήκη διεύθυνση μέσω των εσωτερικών εντατικών μεγεθών.

Τα δεδομένα είναι:

Πρόγραμμα AQUA:

MATE 99 E 300 E90 30000 G 10000 MUE 0 M90 0

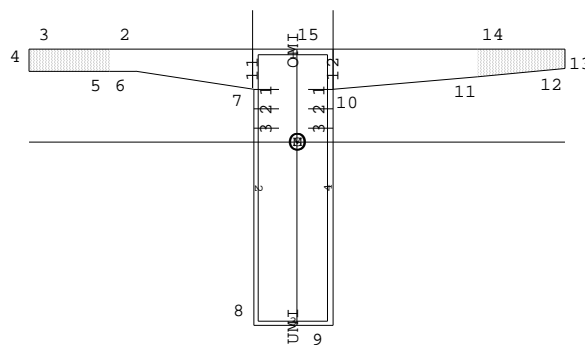
Πρόγραμμα ASE:

CTRL QUEA 0.001

Εφόσον τα QUAD στοιχεία παραλαμβάνουν τις καμπτικές ροπές στην εγκάρσια διεύθυνση, καλό θα ήταν το ίδιο βάρος να προκύπτει μέσω του πραγματικού πάχους των στοιχείων. Για να αποφύγουμε τις περιοχές όπου υπολογίζεται δύο φορές το ίδιο βάρος της πλάκας (συνεργαζόμενο πλάτος δοκών), πρέπει να αφαιρέσουμε από τα ραβδωτά στοιχεία ένα γραμμικό φορτίο με τιμή ίση με το ίδιο βάρος της πλάκας στην περιοχή αυτή – κοίταξε και στα δεδομένα της φόρτισης 1. Εναλλακτικά, θα μπορούσε η διατομή να οριστεί με 2 υλικά και το υλικό που αντιστοιχεί στην πλάκα να έχει μηδενικό ίδιο βάρος ( $\gamma=0$ ).

## 2.4 Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας

Τα συνεργαζόμενα πλάτη στην περιοχή των στηρίξεων σύμφωνα με το [1] και DIN FB 102 II-2.5.2.2.1 είναι ίσα με  $b_{eff,1}=1.84$  m εξωτερικά και  $b_{eff,2}=1.82$  m εσωτερικά (AQUA, διατομές 11+12). Στο άνοιγμα έχουμε όλο το πλάτος σαν συνεργαζόμενο (διατομές 1+2, 1=αριστερή, 2=δεξιά πλευρά της γεφύρας).



Εικόνα 4: συνεργαζόμενο πλάτος

## 3. Δράσεις

Σε όλους τους υπολογισμούς, σύμφωνα με τις ειδικές εκθέσεις 'DIN-Fachberichte', πρέπει να οριστούν οι δράσεις με τις αντίστοιχες τιμές των συντελεστών συμμετοχής  $\psi$ . Αυτό μπορεί να γίνει μέσω του προγράμματος SOFILOAD:

```

PROG SOFILOAD
HEAD Μεμονωμένες φορτίσεις
$
$ Συντελεστές δράσης σύμφωνα με τις ειδικές εκθέσεις 'DIN Fachberichte' - (ING-BAY-Zilch-
$ S.21):
$ Σε όλους τους υπολογισμούς σύμφωνα με τις ειδικές εκθέσεις 'DIN-Fachberichte'
$ πρέπει κατ'αρχήν να οριστούν όλες οι δράσεις με τις αντίστοιχες τιμές  $\psi$ 
$ Αυτό μπορεί να γίνει σε ένα ξεχωριστό τρέξιμο με το SOFILOAD
$
ACT G   GAMU 1.35 GAMF 1.00 PSI0 1.00 PSI1 1.00 PSI2 1.00          TITL   'Dead Load'
ACT G_1 GAMU 1.35 GAMF 1.00 PSI0 1.00 PSI1 1.00 PSI2 1.00          TITL   'Dead Load'
ACT G_2 GAMU 1.35 GAMF 1.00 PSI0 1.00 PSI1 1.00 PSI2 1.00          TITL   'Dead Load'
ACT P   GAMU 1.00 GAMF 1.00 PSI0 1.00 PSI1 1.00 PSI2 1.00          TITL   'Prestressing'
$
$ Προένταση με μετέπειτα συνάφεια: DIN FB 102 II 2.5.4.2 (4)
$ Στο GZT: 1.00 ! DIN FB 102 II 2.5.4.2 (6)
$ (ING-BAY-Zilch-Σελίδα.21)
$
ACT ZS  GAMU 1.00 1 SUP PERM PSI0 1.00 PSI1 1.00 PSI2 1.00  TITL   'Stat.indefinite Prestr.'
```



```

$ εδώ είναι ZS, στο AQB θα γίνει ZP
ACT C   GAMU 1.00 1 SUP PERM PSI0 1.00 PSI1 1.00 PSI2 1.00          TITL   'Creep+Shrinkage'
ACT L_A GAMU 1.50 0 SUP EXCL PSI0 0.75 PSI1 0.75 PSI2 0.20 PS1S 0.80 TITL   'TS Tandemsystem'
ACT L_B GAMU 1.50 0 SUP COND PSI0 0.40 PSI1 0.40 PSI2 0.20 PS1S 0.80 TITL   'UDL equal load'
$ Εδώ SUP COND=έκτακτη περίπτωση, εφόσον το AQB χρησιμοποιεί L_B χωρίς ενδιάμεση περιβάλλουσα!
$ δες Dreifeld_fachb.dat - όπου χρησιμοποιείται ενδιάμεση περιβάλλουσα.
$ (ING-BAY-Buba-S.14 + ING-BAY-Hennecke-S.8)
ACT SF   GAMU 1.35 0 SUP EXCL PSI0 1 1 1 1          TITL   'possible settlement'
ACT ZF   GAMU 1.35 0 SUP EXCL PSI0 1 1 1 1          TITL   'real settlement'
ACT W           TITL   'Wind transverse'
ACT T     GAMU 1.00 0 SUP EXCL PSI0 0.80 PSI1 0.60 PSI2 0.50 PS1S 0.50 TITL   'Temperature'
ACT B     GAMU 1.35 1 SUP PERM PSI0 1 1 1 1          TITL   'Construction Stage'
ACT X   TITL   'Single Load Cases'
END

```

Τα μόνιμα φορτία δίνονται σαν G\_1 και G\_2, ώστε να μπορούμε να αναφερθούμε στα δύο μέρη των δράσεων (ίδιο βάρος και πρόσθετα μόνιμα φορτία) σε διαφορετικές φάσεις. Επίσης, οι μεταβλητές δράσεις αναφέρονται σαν L\_A και L\_B (αντί για μία δράση L), για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα. Έτσι λαμβάνονται υπόψη οι διαφορετικές τιμές των  $\psi$  για τις L\_A και L\_B.

Κάθε φόρτιση που ορίζεται στα SOFILOAD ή ASE πρέπει να αντιστοιχίζεται με έναν από τους πιο πάνω τύπους δράσεων (ASE...LC...TYPE). Αυτόματα ενεργοποιούνται οι αντίστοιχες τιμές των  $\psi$  μέσω ενός αρχείου ('-.ini' αρχεία), εκτός εάν δοθούν από τον χρήστη. Εάν επιλεγεί μέσω της εντολής NORM του προγράμματος AQUA, ο κανονισμός FB\_102, τότε στο αρχείο din\_fb-102.ini περιέχονται οι τιμές των συντελεστών  $\psi$ . Το αρχείο αυτό βρίσκεται στο directory SOFiSTiK.

## 4. Προένταση

Σύμφωνα με το [1] 3.3 πρέπει στη διαμήκη διεύθυνση του φορέα να τοποθετηθούν 10 εντατήρες που αποτελούνται από 19 καλώδια. Για τους προκειμένους ελέγχους αρκούν 6 εντατήρες ανά κορμό.

Τα δεδομένα του συστήματος προέντασης δίνονται μέσω του προγράμματος GEOS και έχουν διαφοροποιηθεί σε σχέση με προηγούμενες εκδόσεις (τρέχουσα έκδοση SOFiSTiK.21).

Ο νέος τρόπος εισαγωγής δεδομένων μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στην περίπτωση συνεχούς δοκού πολλών ανοιγμάτων. Μέσω μίας νέας εντολής TOPP οριοθετούνται οι θέσεις των στηρίξεων (υπερυψωμένα σημεία) χρησιμοποιώντας κόμβους του φορέα ή σταθμούς της γενικής γεωμετρίας. Τα σημεία αυτά αποκτούν κάποια αρίθμηση (παράμετρος NT – δες και εγχειρίδιο GEOS, εντολή TOPP). Η αρχή και το τέλος της γενικής γεωμετρίας τοποθετούνται αυτόματα στην αρχή και τέλος της αρίθμησης των υπερυψωμένων σημείων (αρχή είναι η θέση 0.00).

Εδώ, για την τροχιά CBEA NOH=1 αναφορικά με τους αριθμούς κόμβων του συστήματος S (KIND NODE):

```

CBEA NOH 1 FROM 20001 20076 TYPE BEAM
TOPP NOH 1 NT 1 KIND NODE S 10002 $ S=10002= κόμβος 10002: το 1ο υπερυψ.σημείο
TOPP NOH 1 NT 2 KIND NODE S 10015
TOPP NOH 1 NT 3 KIND NODE S 10031
TOPP NOH 1 NT 4 KIND NODE S 10047
TOPP NOH 1 NT 5 KIND NODE S 10063
TOPP NOH 1 NT 6 KIND NODE S 10076

```

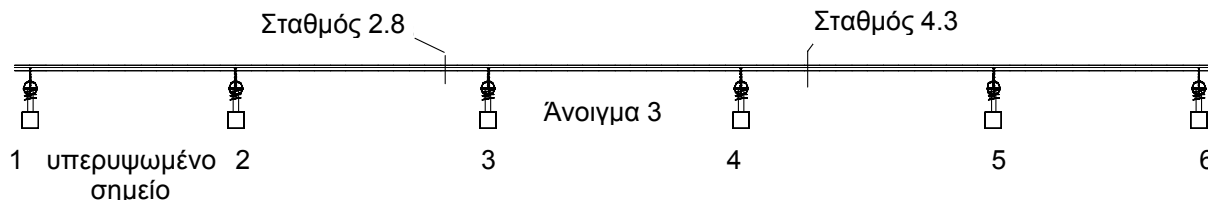
Η γεωμετρία των εντατήρων ορίζεται μέσω της εντολής PTSC και οι τιμές της παραμέτρου X αναφέρονται στα υπερυψωμένα σημεία ως εξής: Η τιμή X=3.4, σημαίνει ότι το υποχρεωτικό σημείο του εντατήρα βρίσκεται στο άνοιγμα 3 στην θέση X=0.4m, ενώ η τιμή X=3, σημαίνει ότι το υποχρεωτικό σημείο του εντατήρα βρίσκεται στην αρχή του ανοίγματος 3.

```

let#zA      0.65          $ z-υποχρεωτικό σημείο στην αγκύρωση
let#zFeld  3.00          $ z-υποχρεωτικό σημείο στο μέσο του ανοίγματος
let#zStue   0.503        $ z-υποχρεωτικό σημείο στην στήριξη
let#z9      #zStue+0.2*(#zFeld-#zStue) $ z-υποχρεωτικό σημείο στο xi=0.9

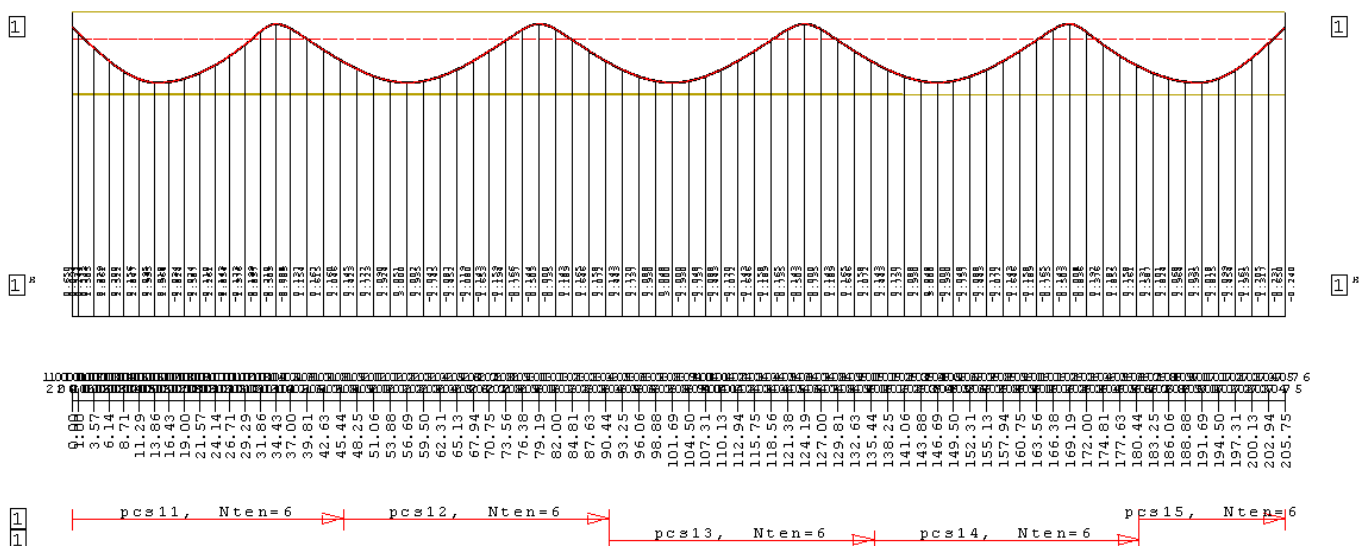
```

PTSC X U V DVS NO=0  
 0. 0.00 #zA -  
 1.40 = #zFeld 0  
 1.90 = #z9 -  
 2. = #zStue 0  
 ....



Εικόνα 5: Καθορισμός των υπερυψωμένων σημείων σε 5 ανοίγματα

Χρησιμοποιώντας τις αποστάσεις  $X_i$  για κάθε άνοιγμα, μπορεί να δοθεί η γεωμετρία του εντατήρα πολύ πιο εύκολα, σε σύγκριση με την παλιά μέθοδο καθορισμού μέσω των ραβδωτών στοιχείων. Εάν θέλουμε να δημιουργηθεί μεγαλύτερη καμπυλότητα στην περιοχή των στηρίξεων, τότε μπορεί αυτή να επιτευχθεί με ένα επιπρόσθετο υποχρεωτικό σημείο στο spline στην θέση  $0.9X$  (δείτε δεδομένα GEOS). Το αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα με παραμορφωμένη κλίμακα:



Εικόνα 6: Γεωμετρία των καλωδίων και διάταξη των 5 εντατήρων 11-15

Κάτω από το διάγραμμα, ξεχωρίζουν οι 5 εντατήρες PCS=11-15 (θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε τμηματική κατασκευή με προώθηση).

## 4.1 Δύναμη προέντασης

Σύμφωνα με το DIN FB 102 II-4.2.3.5.4, η ονομαστική δύναμη καλωδίου (στο DIN αναφέρεται ως μέση δύναμη προέντασης) δίνεται από την εξίσωση (4.6):

$$P_{m0} = A_p \cdot \sigma_{pm0}$$

όπου  $\sigma_{pm0} = \min(0.75f_{pk}, 0.85f_{p0,1k}) = \min(0.75 \cdot 1770, 0.85 \cdot 1500) = 1275 \text{ N/mm}^2$

Η τιμή αυτή δίνεται μέσω της παραμέτρου ZV της εντολής PSYS:

\$ Σύστημα προέντασης

let#AZ 19\*150

let#ZV #AZ\*0.85\*1500/1000

\$ mm2 Επιφάνεια καλωδίων προέντασης

\$ kN Ονομαστική δύναμη ίση με  $0.85 \cdot f_{p,01k}$



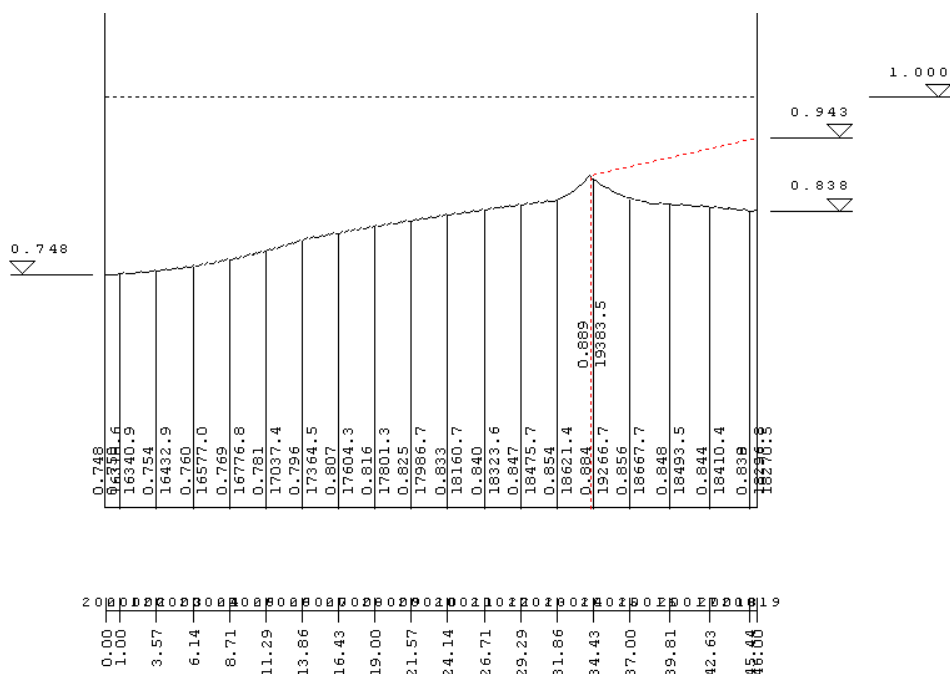
PSYS MNO ZV AZ EZ MINR BETA MUE MUE- SS DH TITL  
1011 #ZV #AZ 195000 4.80 0.30 0.21 0.21 6 90 '19 Καλώδια'

Το απόθεμα από την υπέρβαση της δύναμης προέντασης (ρεζέρβα) που απαιτείται στην ειδική έκθεση 'Fachbericht', εξαρτάται από την απώλεια τριβής και ρυθμίζεται με ένα μέτρο ασφαλείας  $\kappa$  (kapa). Για τον λόγο αυτό υπάρχει μια νέα εντολή RFAC. Είναι σημαντικό ότι στο πρόγραμμα GEOS το μέτρο ασφαλείας  $\kappa$  (kapa) λαμβάνεται υπόψη μόνο αν δεν οριστεί με την εντολή RFAC SIGM μια άλλη μέγιστη δύναμη έντασης.

Με τα δεδομένα:

RFAC RI 'ANWS' KAPA 1.5 SIGM 1 1 1 1

Εάν λαμβάνεται υπόψη το μέτρο ασφαλείας – οι αντοχές υλικού  $f_{pk}$  και  $f_{p0,1k}$  είναι γνωστές ήδη στο πρόγραμμα – με RFAC...SIGM SIGS SIGE SIGF μπορούν να καθορισθούν επιπρόσθετοι περιορισμοί για την ένταση. Με τα δεδομένα αυτά υπολογίζει το πρόγραμμα για τον εντατήρα 11 το παρακάτω διάγραμμα δύναμης προέντασης:



Εικόνα 7: Διάγραμμα δύναμης προέντασης σαν συντελεστής επί της ονομαστικής δύναμης για  $\sigma_{pm0} = \min(0.75f_{pk}, 0.85f_{p0,1k}) = 1275 \text{ N/mm}^2$

Φαίνεται από το πιο πάνω διάγραμμα, ότι το πρόγραμμα GEOS κατά την πρώτη τάνυση εφαρμόζει μια δύναμη προέντασης στο εντεινόμενο άκρο ίση με  $0.94 \cdot \text{ονομαστική δύναμη}$ .

Ελεγχος: Ο εντατήρας 1 έχει μια κανονική γωνία εκτροπής ίση με  $0.85 \text{ rad}$ . Επιπλέον, υπάρχει και η αθέλητη γωνία εκτροπής ίση με  $0.30 \cdot 46\text{m} = 13.8 \text{ Grad}$ . Τελικά, προκύπτει μια συνολική γωνία εκτροπής ίση με  $\gamma = 0.85 + 0.30 \cdot 46 \cdot \pi / 180 = 0.85 + 0.24 = 1.09 \text{ rad}$ .

Ο συνολικός μειωτικός συντελεστής  $e^{-\mu\gamma(\kappa^{-1})}$  είναι ίσος με  $0.89$ . Άρα, η επιτρεπόμενη τάση κατά την πρώτη τάνυση είναι  $0.90 \cdot f_{p0,1k} \cdot e^{-\mu\gamma(\kappa^{-1})} = 0.90 \cdot 1500 \cdot 0.89 = 1202 \text{ N/mm}^2$ . Αυτή η τιμή αντιστοιχεί με  $0.943$  επί την ονομαστική δύναμη  $1275 \text{ kN}$ , ή σαν δύναμη  $0.943 \cdot 3634 \text{ kN} = 3427 \text{ kN}$ .

Αποτελέσματα του προγράμματος GEOS:

PRESTRESSING SYSTEM	Group No :	11	System: values only
Basic force	ZV:	3634 kN	Basic stresses ZV/ZA :
max. permissible force	:	3427 kN	max. permissible stress:
			1275 N/mm <sup>2</sup>
			1203 N/mm <sup>2</sup>

mean permissible force	: 3634 kN	mean permissible stress:	1275 N/mm <sup>2</sup>
Yield strength	: 1500 N/mm <sup>2</sup>	Young's Modulus	: 195000 N/mm <sup>2</sup>
Tensile strength	: 1770 N/mm <sup>2</sup>		

Given Prestressing	ZVi/ZVdsgn	Given Prestressing	
general	: 1.000	Overstress	:
due to overstress	: 0.943	Release	:
at prestressing anchor	: 1.000	Restress	:
at dead anchor	: 1.000	Wedge slip	:
at end of slip	: 0.889		

Η μέγιστη τάση φτάνει την τιμή  $0.889 \cdot 1275 = 1133 \text{ N/mm}^2$  στο άκρο ολίσθησης. Η τιμή αυτή ( $=0.756 \cdot f_{p0,1k}$ ) είναι η σημαντική τιμή για την χαλάρωση (relaxation) του χάλυβα προέντασης. Άρα, το απόθεμα από την υπέρβαση της δύναμης προέντασης (ρεζέρβα) που προβλέπουν οι προδιαγραφές, είναι καθοριστικό για την συνολική δύναμη προέντασης.

## 5. Φορτίσεις

### 5.1 Μόνιμα φορτία

Το ίδιο βάρος της κατασκευής υπολογίζεται ημιαυτόματα στη φόρτιση 1 (Loadcase 1). Τα τμήματα της κατασκευής που ορίζονται διπλά πρέπει να δοθούν με αρνητικό φορτίο (δες παράγραφο 2.3.).

Στο πρόγραμμα μπορεί να γίνει αυτόματα αυτή η αναγωγή με τη φιλοσοφία της πλακοδοκού, αλλά δεν ισχύει για έκκεντρα στοιχεία.

Τα πρόσθετα μόνιμα φορτία αποτελούν τη φόρτιση 2, περιγράφονται ως ελεύθερα φορτία (free loads) και δρουν στα επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία.

### 5.2 Καθιζήσεις

Σύμφωνα με το DIN FB 102 II-2.2.2.1(4) οι υποχωρήσεις στηρίξεων ανήκουν στις μόνιμες δράσεις.

Διαχωρίζονται οι πιθανές και δυνατές καθιζήσεις του εδάφους θεμελίωσης [2]-3.3.

Κατά τον έλεγχο της οριακής κατάστασης αστοχίας, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι δυνατές καθιζήσεις του εδάφους θεμελίωσης. Για τον υπολογισμό τους επιτρέπεται, σύμφωνα με το DIN FB 102 II-2.3.2.2(103)P (συντελεστής 0.4) ή σύμφωνα με την γενική οδηγία (συντελεστής 0.6), χωρίς παραπέρα ελέγχους, να ληφθεί ακαμψία ίση με  $0,6 \cdot (\text{ακαμψία σε στάδιο I})$  εξ' αιτίας μίας δυνατής μετάβασης στο στάδιο II.

Σύμφωνα με το DIN FB 101 Annex C.2.3 για τις φορτίσεις υποχωρήσεων στήριξης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη συντελεστής  $\gamma_{GSet}=1.00$ .

Κατά τον έλεγχο σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές μετακινήσεις του εδάφους θεμελίωσης σαν μόνιμες δράσεις, άρα με συντελεστή 1.0 (δες DIN FB 102 II-2.3.4(110)P). Εδώ δεν επιτρέπεται μείωση της ακαμψίας με συντελεστή 0.6.

Στον παρόντα υπολογισμό, για κάθε άξονα στήριξης δίνεται 1cm σαν δυνατή υποχώρηση εδάφους θεμελίωσης και 0.5cm σαν πιθανή υποχώρηση και συμμετέχουν στις περιβάλλουσες δυσμενώς (0.5cm εναλλακτική υποχώρηση αντιστοιχεί περίπου σε υποχώρηση 1cm ενός μόνο άξονα στήριξης).

Οι μεμονωμένες φορτίσεις των δυνατών καθιζήσεων του εδάφους θεμελίωσης (για κάθε στήριξη μία φόρτιση) χαρακτηρίζονται προς το παρόν ως δράσεις τύπου X (Εντολή ACT στο πρόγραμμα SOFILOAD) και μετά, σε έναν ενδιάμεσο υπολογισμό, παράγονται οι περιβάλλουσες 600-699 ως δράσεις τύπου SF. Για τις πιθανές μετακινήσεις του εδάφους θεμελίωσης παράγονται οι περιβάλλουσες 700-799 ως δράσεις τύπου ZF.

### 5.3 Θερμοκρασιακή μεταβολή

Σύμφωνα με το DIN FB 102 II-2.2.2.1(4), η φόρτιση θερμοκρασιακής μεταβολής ανήκει στις μεταβλητές δράσεις. Στον έλεγχο της οριακής κατάστασης αστοχίας σύμφωνα με το DIN FB 102 II-2.3.2.2(102)P για συνήθεις γέφυρες με συνεχείς δοκούς, δεν απαιτείται η χρήση της φόρτισης θερμοκρασιακής μεταβολής. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να δώσουμε προσοχή σε μία οδηγία στα Fachberichte σχετικά με αυτό το

θέμα, σύμφωνα με την οποία, η θερμοκρασιακή μεταβολή στην οριακή κατάσταση αστοχίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Στον έλεγχο σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, η φόρτιση θερμοκρασιακής μεταβολής πρέπει να συνδυαστεί ως ανεξάρτητη δράση σύμφωνα με [1]-3.1, πίνακας 3.

Στο τμήμα DIN Fachbericht 102-6.3.1.5 καθορίζεται η προσέγγιση ταυτόχρονου υπολογισμού μίας σταθερής και γραμμικής θερμοκρασιακής μεταβολής.

## 5.4 Φορτία κυκλοφορίας

Το DIN FB 101, IV-4.3.1 ξεχωρίζει 4 μοντέλα φορτίων κυκλοφορίας:

Μοντέλο φόρτισης 1 Κυκλοφορία επιβατηγών και φορτηγών για καθολικούς ελέγχους.

Μοντέλο φόρτισης 2 Μονοαξονικά για τοπικούς ελέγχους.

Μοντέλο φόρτισης 3 Έλεγχο κόπωσης (δεν περιέχεται εδώ).

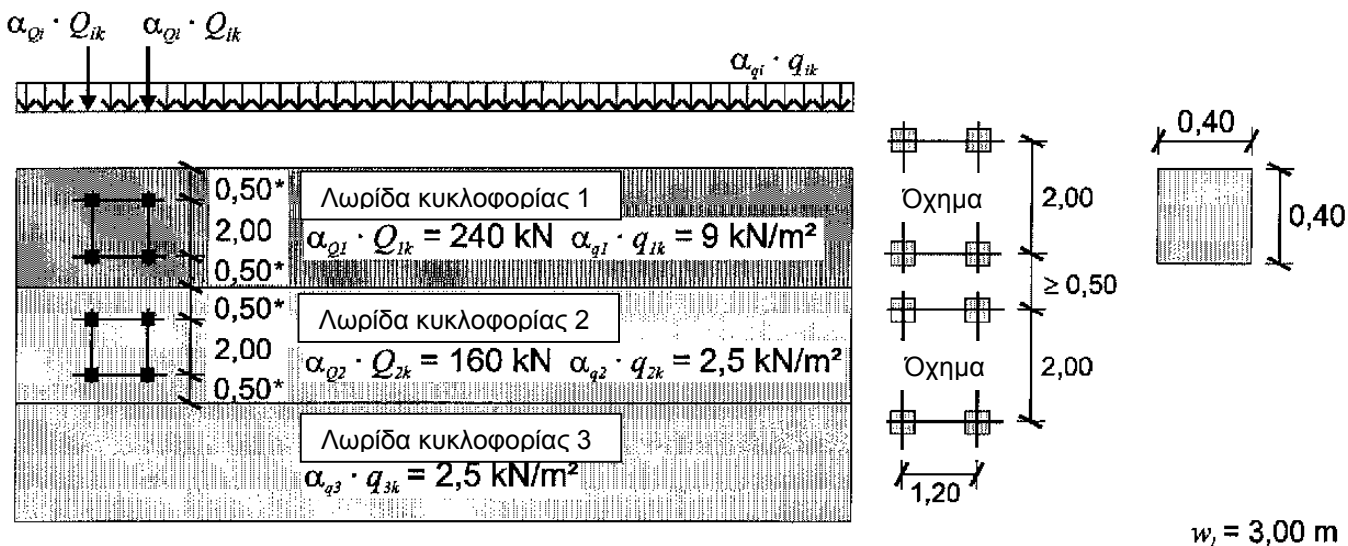
Μοντέλο φόρτισης 4 Συνάθροιση πλήθους ανθρώπων (σπρωξίματα) για καθολικούς ελέγχους.

Στα παρακάτω θα εξεταστεί μόνο το μοντέλο φόρτισης 1. Ενδεχομένως πρέπει να ακολουθήσουν επιπρόσθετα και οι έλεγχοι με τα άλλα μοντέλα.

Σύμφωνα με το μοντέλο φόρτισης 1 και το DIN FB 101, IV-4.2.3 μπορούν να καθοριστούν τρεις υπολογιστικές λωρίδες πλάτους 3.0m στη γέφυρα. Κατά το DIN FB 101, IV-4.3.2 πίνακας 4.2, πρέπει εκτός από το βασικό φορτίο 2.5 kN/m<sup>2</sup> σε όλη την επιφάνεια, να εφαρμοστούν μόνο στις λωρίδες κυκλοφορίας 1+2 αυξημένα φορτία και μάλιστα:

Λωρίδα κυκλοφορίας 1 ομοιόμορφα καταμεμημένο φορτίο 9.0 kN/m<sup>2</sup> σύν ένα επιπρόσθετο φορτίο ίσο με 0.8\*300 kN = 240 kN ανά άξονα (= 4\*120 kN για τους 4 τροχούς του οχήματος)

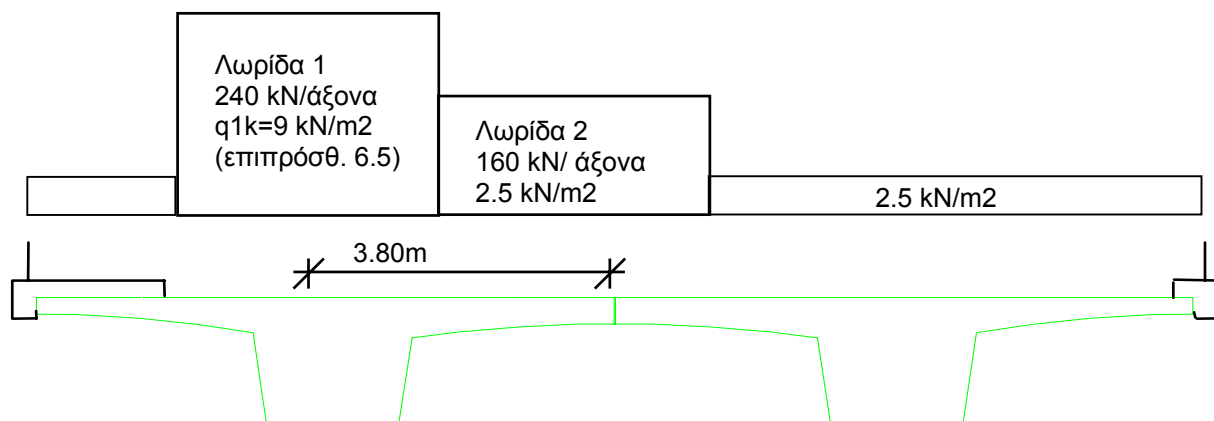
Λωρίδα κυκλοφορίας 2 ομοιόμορφα καταμεμημένο φορτίο 2.5 kN/m<sup>2</sup> σύν ένα επιπρόσθετο φορτίο ίσο με 0.8\*200 kN = 160 kN ανά άξονα (= 4\*80 kN για τους 4 τροχούς του οχήματος)



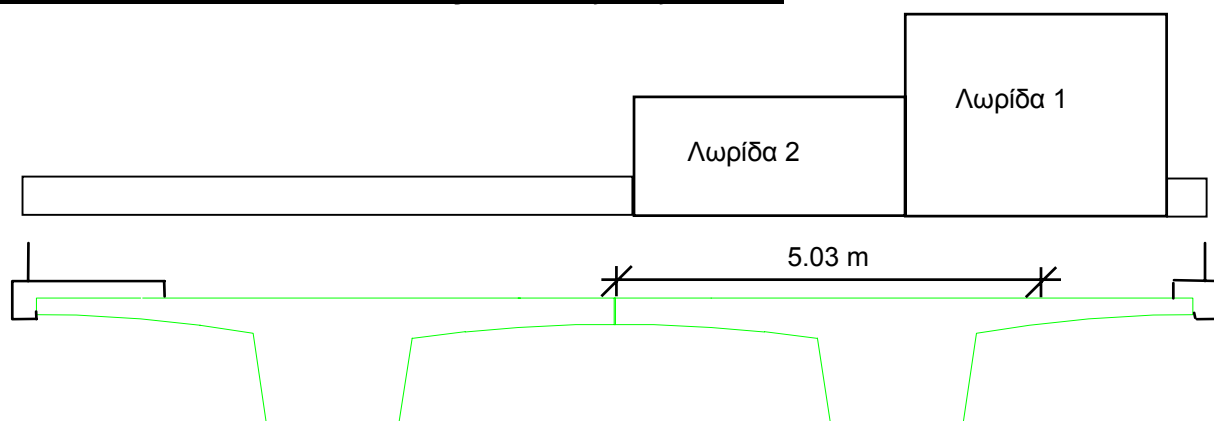
Εικόνα 8: Μοντέλο φορτίων 1 για 3 λωρίδες κυκλοφορίας

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα γέφυρας θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα ASE για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών για τις διαφορετικές θέσεις των φορτίων κυκλοφορίας. Πιο εύκολος τρόπος είναι με τη χρήση του προγράμματος ELSE και τη μέθοδο των γραμμών επιρροής.  
Με την ταξινόμηση των λωρίδων κυκλοφορίας δημιουργούνται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

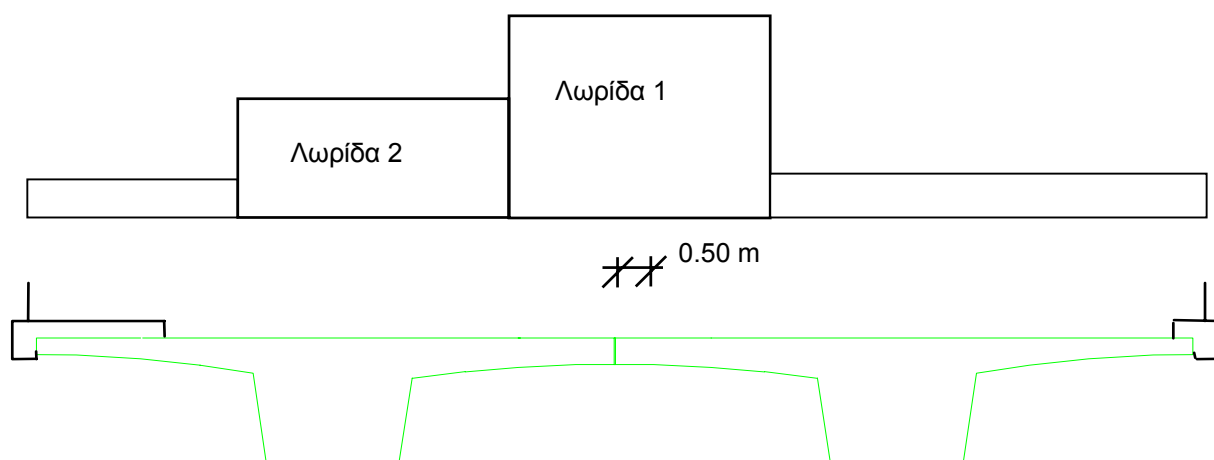
**Περίπτωση Α – Λωρίδα κυκλοφορίας 1 στο αριστερό πεζοδρόμιο**



**Περίπτωση Β – Λωρίδα κυκλοφορίας 1 στο δεξί πεζοδρόμιο**



**Περίπτωση C – Λωρίδα κυκλοφορίας 1 στον άξονα της γέφυρας**



*Εικόνα 9: Ταξινόμηση των λωρίδων κυκλοφορίας σε 3 περιπτώσεις που θα εξεταστούν*

Για να δημιουργήσουμε τις τρεις αυτές περιπτώσεις φόρτισης, εφαρμόζονται τα επιμέρους φορτία σε διαφορετικές φορτίσεις ώστε με τον κατάλληλο συνδυασμό τους να μπορέσουμε να παραλάβουμε ένα βασικό ομοιόμορφο φορτίο (UDL) ίσο με  $2.5 \text{ kN/m}^2$  στην εγκάρσια διεύθυνση σε 4 τμήματα και σε κάθε ένα από τα 5 ανοίγματα:

Επιφανειακό φορτίο UDL: Βασικό φορτίο  $2.5 \text{ kN/m}^2$

- LC 111-115 Βασικό φορτίο αριστερά δίπλα στην αριστερή δοκό
- LC 121-125 Βασικό φορτίο μεταξύ των δοκών αριστερά
- LC 131-135 Βασικό φορτίο μεταξύ των δοκών δεξιά
- LC 141-145 Βασικό φορτίο δεξιά δίπλα στην δεξιά δοκό

Το επιπρόσθετο φορτίο των  $6.5 \text{ kN/m}^2$  της λωρίδας 1 εφαρμόζεται μετά στο άνοιγμα:

Περίπτωση Α Επιπρόσθετο φορτίο 1 είναι αριστερά: Επιπρόσθετο φορτίο  $=6.5 \text{ kN/m}^2$ :

LC 151-155: Λωρίδα κυκλοφορίας 1 βρίσκεται από  $y=-5.30 \text{ m}$  έως  $y=-2.30 \text{ m}$

Περίπτωση Β Επιπρόσθετο φορτίο της λωρίδας κυκλοφορίας 1 είναι δεξιά:

LC 161-165: Λωρίδα κυκλοφορίας 1 βρίσκεται από  $y=3.53$  έως  $y=6.53 \text{ m}$

Περίπτωση Γ Επιπρόσθετο φορτίο της λωρίδας κυκλοφορίας 1 είναι σχεδόν στο μέσο:

LC 171-175: Λωρίδα κυκλοφορίας 1 βρίσκεται από  $y=-1.00$  έως  $y=2.00 \text{ m}$

## 6. Περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών

Γενικά, για τον υπολογισμό των μέγιστων αντιδράσεων, απαιτείται το πρόγραμμα MAXIMA. Όμως, για τη διαστασιολόγηση των ραβδωτών στοιχείων, προτιμάται οι συνδυασμοί φορτίσεων να γίνονται με το πρόγραμμα AQB, επειδή εκεί γίνεται αναγωγή των εντατικών μεγεθών στις επιμέρους διατομές ανάλογα με τη φάση στην οποία δρουν οι φορτίσεις (καθαρή και ιδεατή διατομή).

Κατάλογος των φορτίσεων που χρησιμοποιούνται:

1- 99	Βασικές φορτίσεις, δες υπολογισμό του ASE
100- 199	UDL-Βασικές φορτίσεις
200- 299	Οχημα περίπτωση Α
300- 399	Οχημα περίπτωση Β
400- 399	Οχημα περίπτωση Γ
500- 599	Ενδιάμεση επαλληλία φορτία κυκλοφορίας UDL περίπτωση ABC
600- 699	Ενδιάμεση επαλληλία φορτία κυκλοφορίας οχήματος
700- 799	Ενδιάμεση επαλληλία δυνατές μετακινήσεις εδάφους θεμελίωσης
800- 899	Ενδιάμεση επαλληλία πιθανές μετακινήσεις εδάφους θεμελίωσης
900- 999	AQB-Αποτελέσματα συνδυασμών
551- 562	ELSE Αξιολόγηση γραμμών επιρροής φορτία κυκλοφορίας UDL
651- 662	ELSE Αξιολόγηση γραμμών επιρροής οχήματος

### 6.1 Ενδιάμεσες περιβάλλουσες από φορτία κυκλοφορίας και καθιζήσεις

Για τη διαστασιολόγηση με το πρόγραμμα AQB, πρέπει πρώτα να γίνει μια ενδιάμεση περιβάλλουσα για τα φορτία κυκλοφορίας. Οι μεμονωμένες φορτίσεις εισάγονται κατ'αρχήν στα προγράμματα SOFILOAD και ASE ως δράσεις τύπου X (ACTION TYPE X). Στο MAXIMA θα τροποποιηθούν ανάλογα με τον τρόπο που θα συμμετέχουν στον εκάστοτε συνδυασμό.

Οι περιβάλλουσες που παράγονται στον ενδιάμεσο υπολογισμό, πρέπει να αποθηκευτούν ως δράσεις τύπου L\_B. Αυτό καθορίζεται με την εντολή COMB:

```

PROG MAXIMA
HEAD Ενδιάμεση περιβάλλουσα φορτίων κυκλοφορίας UDL περίπτωση ABC
$ Οι μεμονωμένες φορτίσεις εισάγονται κατ' αρχήν στα προγράμματα SOFILOAD+ASE σαν TYPE X
$ Οι περιβάλλουσες που παράγονται στον ενδιάμεσο υπολογισμό θα αποθηκευθούν σαν δράσεις
$ τύπου L_B
ECHO FULL NO ; ECHO TABS YES
COMB 1 STAN TYPE L_B          $ L_B = οι περιβάλλουσες που παράγονται αποθηκεύονται σαν L_B
LC (111 115 1) Q ; LC (121 125 1) Q ; LC (131 135 1) Q ; LC (141 145 1) Q
                                $ 111-145 = ομοιόμορφα φορτία 2.5 kN/m2, 4*5=20 φορτίσεις
                                $ Επιπρόσθετο φορτίο: 151-175:
LC 151,161,171 A1              $ Μόνο μία από τις τρεις, A, B ή C
LC 152,162,172 A2              $ Τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεν στο πρώτο άνοιγμα η λωρίδα
                                $ κυκλοφορίας 1 αριστερά
LC 153,163,173 A3              $ και στο δεύτερο άνοιγμα η λωρίδα κυκλοφορίας 1 δεξιά
LC 154,164,174 A4              $ Αλλά δυσμενής είναι (εκτός από την MT) προφανώς μόνο η περίπτωση
LC 155,165,175 A5              $ που σε όλα τα ανοίγματα λαμβάνεται η ίδια λωρίδα κυκλοφορίας
                                $ αλλιώς απαιτούνται και άλλες ενδιάμεσες επαλληλίες.
let#1f 500                     $ Οι φορτίσεις που παράγονται βρίσκονται στο αρχείο
                                $ zwischenueberlagerung.dat
SUPP ETYP TYPE LC COMB=1 EXTR=MAMI TITL='MAMI Traffic UDL'
#define zwischen
    'BEAM' MY #1f+1             $ Για την διαστασιολόγηση των ραβδωτών στοιχείων
    'BEAM' VZ #1f+3
    'BEAM' MT #1f+5
    'BEAM' N #1f+7              $ Χρειάζεται για τα βάθρα
    'BEAM' MZ #1f+9             $ "
    'BEAM' VY #1f+11           $ "

    'QUAD' mxk #1f+1            $ Για την διαστασιολόγηση των πλακών
    'QUAD' myy #1f+3
    'QUAD' mxy #1f+5
    'QUAD' vx #1f+7
    'QUAD' vy #1f+9
    'QUAD' vy #1f+11           $ Για να έχουμε όσα αποτελέσματα δίνουν τα ραβδωτά στοιχεία,
                                $ δεξ αρχείο zwischenueberlagerung.dat
    'SPRI' P #1f+1              $ Δυνάμεις εφεδράνων
    'SPRI' PT #1f+3
    'SPRI' M #1f+5
    'SPRI' M #1f+7
    'SPRI' M #1f+9
    'SPRI' M #1f+11           $ Για να έχουμε όσα αποτελέσματα δίνουν τα ραβδωτά στοιχεία,
                                $ δεξ αρχείο zwischenueberlagerung.dat
    'NODE' PX #1f+1             $ Διεύθυνση αντίδρασης
    'NODE' PY #1f+3
    'NODE' PZ #1f+5
    'NODE' MX #1f+7
    'NODE' MY #1f+9
    'NODE' MZ #1f+11
#enddef
#include zwischen
END

```

Τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από τους πιο πάνω υπολογισμούς χρειάζονται για τους ελέγχους και την διαστασιολόγηση των ραβδωτών στοιχείων στο AQB και για τον περαιτέρω υπολογισμό των μέγιστων αντιδράσεων. Για τον λόγο αυτό ζητούνται οι περιβάλλουσες όλων των μεγεθών στο ίδιο τρέξιμο. Σε επόμενους υπολογισμούς περιβαλλουσών, μπορεί να εμφανίζεται μια προειδοποίηση ότι δεν περιέχονται διάφορα αποτελέσματα (Warning No. 34 in Program MUEB). Για να αποφευχθεί αυτό, είναι καλό να ζητούνται τα αποτελέσματα για BEAM, SPRI και NODE κάτω από τον ίδιο αριθμό περιβάλλουσας – εδώ 501 έως 512. Θα πρέπει όλοι οι τύποι στοιχείων BEAM, SPRI και NODE να περιέχουν τον ίδιο αριθμό αποτελεσμάτων, εδώ  $2*6 = 12$  αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει ότι οι ροπές των ελατηρίων SPRI M θα εμφανίζονται τέσσερις φορές.

Με τον ίδιο τρόπο γίνεται η ενδιάμεση επαλληλία για φορτία κυκλοφορίας καθώς και για τις δυνατές και πιθανές υποχωρήσεις του εδάφους θεμελίωσης (δεξ δεδομένα). Ο υπολογισμός περιβαλλουσών από τις φορτίσεις καθιζήσεων απαιτείται διότι στη δυσμενή περίπτωση μπορούν, για παράδειγμα, να υποχωρήσουν από καθίζηση μόνο τα βάθρα 2+3+5.



## 6.2 Περιβάλλουσα αντιδράσεων

Οι μέγιστες αντιδράσεις αναμένονται ως επί το πλείστον να προκύπτουν από συνδυασμούς χωρίς συντελεστές ασφαλείας φορτίων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Μπορούν να υπολογιστούν και στην οριακή κατάσταση αστοχίας – δες τις περιβάλλουσες στο παράδειγμα two\_span\_fachb.dat. Εδώ γίνεται ο σπάνιος συνδυασμός της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

Η προένταση σ' αυτή την περίπτωση λαμβάνεται υπόψη με  $P_{k,inf} = 0.90$ . Ο συντελεστής 0.9 εξαρτάται από το σύστημα – δες DIN-FB 102 II-2.5.4.2 (3) και (4). Ο διαχωρισμός των ισοστατικών από τα υπερστατικά μέρη της προέντασης χρειάζεται μόνο στον έλεγχο κόπωσης (δες DIN-FB 102 II-4.3.7.2 (103)P).

```

PROG MAXIMA
HEAD OK! με σπάνιους συνδυασμούς Pkinf 0.90 χωρίς C+S
ECHO FULL NO ; ECHO TABS YES
COMB 1 rare BASE 1100          $ σπάνιος συνδυασμός LF 1100...
#define Pkinfsub=0.90          $ Pkinf 0.90
#define actions
ACT G
  LC 1,2 TYPE G
ACT P                          $ P=προένταση: μόνο με το παλιό DIN 4227 TYPE V
  LC 3   TYPE G FACT $(Pkinfsub)
ACT L
  LC (501 512 1) TYPE A1      $ UDL- ομοιόμ. φορτίο - από MAXIMA ενδιάμεσες περιβάλλουσες
  LC (601 612 1) TYPE A2      $ TS - όχημα - από MAXIMA ενδιάμεσες περιβάλλουσες
$ ACT SF $ δυνατές καθιζήσεις
$ LC (701 712 1) type A1 $ από MAXIMA ενδιάμεσες περιβάλλουσες
ACT ZF $ πιθανές καθιζήσεις
  LC (801 812 1) TYPE A1      $ από MAXIMA ενδιάμεσες περιβάλλουσες
ACT T
  LC 85,86 TYPE A1            $ αλληλοαποκλείονται
#endif
#include actions
SUPP ETYP TYPE COMB=1 EXTR=MAMI TITL='SLS_rare'
  'BEAM' MY FROM 20039 ; ECHO LOAD,FACT YES $ οι περιβάλλουσες θα υπολογιστούν για
  'BEAM' VZ                                $ όλα τα στοιχεία, αλλά μόνο για το
  'BEAM' MT                                $ στοιχείο 20039-MY θα προκύψουν
                                           $ αποτελέσματα για έλεγχο.
                                           $ δυνάμεις στα εφέδρανα
  'SPRI' P
  'SPRI' PT
  'NODE' P                                $ αντιδράσεις σε όλες τις διευθύνσεις
END

```

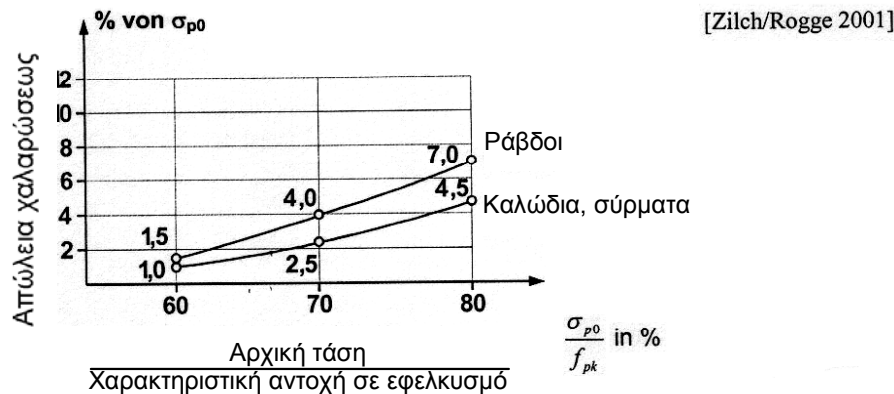
Είναι σημαντικό ότι οι περιβάλλουσες που παράγονται στο πρόγραμμα MAXIMA από φορτίσεις κυκλοφορίας, UDL 501-512 τίθενται ως δράσεις τύπου L\_B, άρα περιέχουν τους συντελεστές  $\psi$  που ορίστηκαν στο πρόγραμμα SOFILOAD. Το ίδιο ισχύει και για τις περιβάλλουσες των φορτίων κυκλοφορίας 601-612, που αποθηκεύθηκαν ως δράσεις τύπου L\_A με άλλες τιμές  $\psi$ . Ετσι έχουμε στη διάθεση μας δύο ομάδες δράσεων τύπου L από φορτίσεις με διαφορετικές τιμές  $\psi$ . Το πρόγραμμα MAXIMA θα επιλέξει να ενεργοποιήσει μια από την εναλλακτική ομάδα A1 (501-512) και μία από την εναλλακτική ομάδα A2 (601-612).

## 7 Ερπυσμός και συρρίκνωση

### 7.1 Χαλάρωση (relaxation) χάλυβα προέντασης

Σε αντίθεση με το DIN 4227, εδώ πρέπει πάντα να συμπεριλαμβάνεται η χαλάρωση του χάλυβα προέντασης. Η ειδική έκθεση 'DIN-Fachbericht 102, II-4.2.3.5.5 (8)' καθορίζει ότι κατά την ανάγνωση του συντελεστή απώλειας λόγω χαλάρωσης από τους πίνακες προδιαγραφών του χάλυβα προέντασης, μπορεί να εκληφθεί μια αρχική τάση ίση με  $\sigma_p = \rho_{g0} - 0.3 \cdot \Delta\sigma_{p,c+s+r}$ . Επειδή η συνολική απώλεια τάσεων δεν είναι γνωστή από πριν, πρέπει να εκτιμηθεί εκ των προτέρων. Όπως φαίνεται στο [1] σελίδα 21, εκτιμούμε την απώλεια  $\Delta\sigma_{p,c+s+r}$  ίση με 130 N/mm<sup>2</sup>. Για μια μέγιστη αρχική τιμή ίση με 1133 N/mm<sup>2</sup> σε άκρο ολίσθησης μετά την απομάκρυνση της πρέσσας (δες παράγραφο προέντασης) προκύπτει μια αρχική τάση χαλάρωσης του χάλυβα προέντασης  $\sigma_p$  ίση με

$1133 - 0.3 \cdot 130 = 1094 \text{ N/mm}^2$ . Αναφορικά με το  $f_{pk}$  είναι το 62% ( $1094/1770$ ). Από τις προδιαγραφές του χάλυβα προέντασης μπορεί να αναγνώσει κανείς μια απώλεια χαλάρωσης ίση με 2.0 %:



Απώλεια χαλάρωσης μετά από 1000 h σε 20° C

Εικόνα 10: Χαλάρωση χάλυβα προέντασης μετά από 1000 ώρες

Αυτή η απώλεια ορίζεται στο πρόγραμμα AQUA με μια σταθερή τιμή:

STEE 11 PST 1570S Rel1 1.2 Rel2 1.2 \$ δες ερπυσμός + συρρίκνωση - χαλάρωση

Το πρόγραμμα AQB τώρα ανεξάρτητα από την τάση, θα θεωρήσει μία συνολική χαλάρωση ίση με  $3 \cdot 1.2 = 3.6 \%$  - εδώ θα πρέπει να δοθεί προσοχή στο γεγονός ότι η απώλεια στο διάγραμμα της εικόνας 10 έχει δοθεί για 1000 ώρες. Εάν  $t$  είναι ίσο με άπειρο χρόνο, τότε πρέπει γενικά να τεθεί μια τριπλάσια τιμή, από αυτό προκύπτει ο συντελεστής 3 που δίνεται στα δεδομένα για το πρόγραμμα AQB:

EIGE MNO 11 PHI 3.0 \$ χαλάρωση χάλυβα προέντασης  $3 \cdot 1000$ -ώρες

Το πρόγραμμα δεν μπορεί ακόμα να λάβει αυτόματα υπόψη του την κατά 0.3 ελάττωση. Αυτό θα μπορούσε να γίνει αυτόματα στο AQB μόνο με υπολογισμό σε περισσότερα μικρότερα χρονικά διαστήματα, αρχίζοντας με χρονικά βήματα 500 ωρών. Είναι όμως πολύ δύσκολο μετά να ελεγχθεί αυτή η ανάλυση. Η τιμή του συντελεστή απώλειας χαλάρωσης μετά τις 1000 ώρες ίση με 1.2 % μπορεί να ελεγχθεί εύκολα.

## 7.2 Παράμετροι ερπυσμού και συρρίκνωσης

Αυτές οι παράμετροι μπορούν επίσης να υπολογιστούν με το χέρι και να δοθούν ως τιμές στις παραμέτρους  $\rho_{hi}$  και  $\epsilon_{rs}$  στα δεδομένα του AQB, στην εντολή EIGE. Εδώ όμως, ζητείται να υπολογιστούν από το ίδιο το πρόγραμμα. Για να γίνει αυτό πρέπει να ελεγχθεί το ενεργό πάχος των στοιχείων του φορέα. Το πρόγραμμα AQUA το υπολογίζει εδώ αυτόματα ίσο με 0.58 m (ECHO SECT FULL):

Δεδομένα φορέα:

Additional Design Data									
M	periphery-O/-I	deff	t-min	t-max	SMP	thet-p	thet-y	thet-z	thet-yz
	[m2/m]	[m2/m]	[cm]	[cm]	[cm]	[o/o]	[tm2/m]	[tm2/m]	[tm2/m]
20.117		57.77				0.0	376.902	169.401	207.502
									-6.761

Προς σύγκριση: [1] υπολογίζει 0.56 m.

Για τον υπολογισμό του ενεργού πάχους των στοιχείων του φορέα,  $deff$ , πρέπει να λάβουμε υπόψη ένα διαφορετικό περιβάλλον στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Αυτό γίνεται στο AQUA με εισαγωγή των πολυγωνικών σημείων με την παράμετρο AIR:

VERT	Y	Z	TYPE	AIR
	0.00	0.00	O	0.40 \$ κυκλοφορία αέρα μόνο μέσα στο στρώμα της ασφάλτου
	-1.50	0.00	O	1.00 \$ για όλα τα σημεία-vert που ακολουθούν

Περαιτέρω παράμετροι:

- Προένταση μετά από 3 ημέρες
- Τσιμέντο 42,5R
- Υγρασία ατμοσφαίρας 80 %
- Θερμοκρασία 20 °C

### 7.3 Ερπυσμός+Συρρίκνωση+Χαλάρωση σε ένα βήμα με το AQB

Ο υπολογισμός των απωλειών λόγω ερπυσμού και συρρίκνωσης μπορεί να γίνει με το πρόγραμμα AQB σε ένα βήμα δίνοντας τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Η κατάσταση τάσεων που παράγει ερπυσμό ορίζεται ως συνήθως με έναν συνδυασμό COMB:

```

PROG AQB
HEAD Ερπυσμός, συρρίκνωση και χαλάρωση σε ένα βήμα
ECHO STRE NO
CTRL EIGE 4+1+2      $ απαιτείται σε στατικάς αόριστα συστήματα
BEAM CS0 0 CS1 998    $ 0 = καθαρή διατομή, 998 = ιδεατή διατομή
                      $ για καλύτερο έλεγχο μπορούμε να ενεργοποιήσουμε τις πιο κάτω γραμμές:
                      $ BEAM 40039 CS0 0 CS1 998 x 0.0 $ μέσον μεσαίου ανοίγματος
LC - TYPE G_1 $ LC - TYPE επιλέγει όλες τις φορτίσεις ιδίου τύπου που υπάρχουν
    - TYPE G_2 $ στην βάση δεδομένων
    - TYPE P    $ Παρακαλώ, ελέγχετε τις φορτίσεις που υπάρχουν
11 TYPE C      $ Η φόρτιση που θα προκύψει θα είναι ερπυσμός και συστολή ξήρανσης

COMB SUM LC1 G 1.0 P 1.0 LCST 11 $ G+P = συνδυασμός που προκαλεί ερπυσμό
EIGE MNO 1 T 30000 RH 80 TEMP 20 T0 3
EIGE MNO 11 T 30000 $ χαλάρωση χάλυβα προέντασης δεξ AQUA-STEE-REL1+REL2
END
END
$ είναι δυνατή η κατευθείαν εισαγωγή των τιμών των phi- και eps- :
EIGE MNO 1 PHI 2.40 EPS -30.0E-5
EIGE MNO 11 PHI 3.0 $ χαλάρωση χάλυβα προέντασης 3 * 1000-ώρες
END

```

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό πρέπει να ελέγχονται τουλάχιστον στο μέσο του ανοίγματος και σε μια διατομή στη στήριξη. Εδώ για την ράβδο 40039 στο X=0 (μέσο ενδιάμεσου ανοίγματος):

#### CREEP AND SHRINKAGE

Curvature and strains stored as loads

Creep factors will be reduced due to tensile stresses in concrete

Creep factors will be converted to the specified mean elasticity modulus

MNO	h[mm]	phi	eps	RH	T[C]	dt[d]	t[d]	t0[d]	tw[d]	Relaxation
1	578	2.02	-37.3E-5	80	20	30000	30000	3	30007	0.80
11		3.00	* R1000			30000	30000			-3.00 -3.00

#### CREEP AND SHRINKAGE

Beam	x[m]	NoS	M	CI	N[kN]	My[kNm]	Mz[kNm]	phi	max-dsz	-prz
40039	0.000	12	1	11	-17698.4	-6789.55	0.00	1.81	-33.E-5	
					2125.0	3889.16	0.00		-127.79	12.1

Η συνολική τιμή phi ίση με 2.02 στην πρώτη γραμμή έχει υπολογισθεί με ένα μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί σε σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών. Σύμφωνα με την οδηγία 525-2003, πρέπει να ληφθεί υπόψη η επιρροή της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας στο χρόνο. Αυτό συνεπάγεται ότι το AQB θέτει τελικά μόνο ένα phi ίσο με 1.81 στον υπολογισμό του ερπυσμού (προτελευταία γραμμή). Η συρρίκνωση η οποία προκύπτει από ξηρότητα και συστολή υπολογίστηκε από το AQB ίση με -0.33 ‰.

Μαζί με τη χαλάρωση του χάλυβα προέντασης ίση με  $3 \cdot 1.2 = 3.6\%$  (2η γραμμή), προκύπτει μια συνολική απώλεια τάσης στο χάλυβα προέντασης ίση με  $12.1\%$  ( $127.79 \text{ N/mm}^2$  απώλεια τάσης). Άρα, η χαλάρωση του χάλυβα προέντασης εκτιμήθηκε σωστά ίση με  $130 \text{ N/mm}^2$  (ενδεχομένως μετά από επαναλήψεις).

## 8 Έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

### 8.1 Προσδιορισμός των συνδυασμών φορτίσεων στο AQB

Ένας πλήρης υπολογισμός συνήθως περιέχει πολλαπλά 'τρεξίματα' του προγράμματος AQB για τους διάφορους ελέγχους. Για να αποφευχθεί η επαναλαμβανόμενη εισαγωγή δεδομένων των συνδυασμών – που είναι και πηγή λαθών – ορίζονται μία φορά χώρια σε ένα αρχείο και εισάγονται μέσω της εντολής `#include` όπου χρειάζονται. Αυτό το αρχείο έχει όνομα `DIN_FB_AQB_KOMB.dat` και πρέπει πάντα να διαβάζεται μέσω της εντολής `#include DIN_FB_AQB_KOMB.dat` στην αρχή του αρχείου δεδομένων μας. Το αρχείο `DIN_FB_AQB_KOMB.dat` περιέχει για παράδειγμα:

```
#define perm09_I
  COMB EXTR SCOM TITL          LC1 LC2      F2   LC3 LC4 LC5 LC6      F6 LCST
      MAXP MY 'quasis_09_I_+'   G   P   0.90   K   L   T   ZF   1.0 1490
      MINP MY 'quasis_09_I_-'   G   P   0.90   K   L   T   ZF   1.0 1491
#endif
```

Με δεδομένα:

```
#include freq09_I      $ freq = συχνές δράσεις 90 % - Προένταση σε στάδιο I LC 1390/1391
#include perm09_I       $ τότε οι τρεις γραμμές δεδομένων (COMB + 2 σειρές που ακολουθούν) μπορούν να
                        $ χρησιμοποιούνται σε ένα AQB με ελέγχους.
```

### 8.2 Έλεγχος των τάσεων στις πινακοποιημένες εκτυπώσεις

Θα πρέπει πάντα να προηγείται των ελέγχων τάσεων μια πινακοποιημένη εκτύπωση των τάσεων σε δύο σημαντικά σημεία του φορέα, εδώ στο μέσο του εσωτερικού ανοίγματος στοιχείο (beam) 40039  $x=0$  και στο πάνω από την στήριξη στοιχείο (beam) 40047  $X=0$  (δες εικόνα1).

Αρχίζουμε σκόπιμα με την εκτύπωση των διάφορων φορτίσεων για διπλό έλεγχο. Μεμονωμένες φορτίσεις καλούνται με την παράμετρο `TYPE SOLO`:

```
COMB EXTR SCOM TITL          LC1 LC2 LC3 LC4 LC5 LC6 LCST
  SOLO MY ' G_1'             G_1
  SOLO MY ' G_2'             G_2
  SOLO MY ' Prestres'        P
```

Οι επιθυμητοί συνδυασμοί ορίζονται με εποπτεία σε ένα πίνακα με την σειρά των φορτίσεων. Εάν για παράδειγμα, απλώς θέλουμε επαλληλία των φορτίσεων, δίνεται `EXTR SUM`. Εάν θέλουμε περιβάλλουσα (επειδή για παράδειγμα έχουν οριστεί μαζί και φορτία κυκλοφορίας), τότε δίνουμε το κριτήριο σύμφωνα με το οποίο θα βρεί το πρόγραμμα AQB την δυσμενέστερη από τις 12 φορτίσεις κυκλοφορίας, π.χ. `EXTR MAX MY` (LC 501-512 από την UDL - MAXIMA ενδιάμεση περιβάλλουσα):

```
COMB EXTR SCOM TITL          LC1 LC2 LC3 LC4 LC5 LC6 LCST
  SUM MY 'g1+p   =t0'        G_1 P   -   -   -   -   901
  SUM MY 'g +p   =t1'        G   P   -   -   -   -   902
  SUM MY 'g +p+ k=t2'        G   P   C   -   -   -   903
  MAX MY 'g+p+k+ZF'          G   P   C   ZF  -   -   904
  MIN MY 'g+p+k-ZF'          G   P   C   ZF  -   -   905
  MAX MY 'g+p+k+ZF+L'        G   P   C   ZF  L   -   906
  MIN MY 'g+p+k-ZF+L'        G   P   C   ZF  L   -   907
```

Εάν ζητηθούν συνδυασμοί με συντελεστές δράσης  $\psi$  (για παράδειγμα `MAXR R=` σπάνιος συνδυασμός δράσεων), είναι σημαντικό να δοθεί και ο συντελεστής προέντασης  $P_{k,inf}$ , ως συντελεστής στην φόρτιση της προέντασης  $LC2=P$ , εδώ στην στήλη `F2`.

Παράδειγμα υπολογισμού τάσεων για τον έλεγχο απόθλιψης:

MAXP= οιονεί μόνιμος συνδυασμός δράσεων με Pk,inf (συντελεστή προέντασης)=0.90:

COMB	EXTR	SCOM	TITL	LC1	LC2	F2	LC3	LC4	LC5	LC6	F6	LCST
	MAXP	MY	'Απόθλιψη+'	G	P	0.90	C	L	T	ZF	1.0	1490
	MINP	MY	'Απόθλιψη-'	G	P	0.90	C	L	T	ZF	1.0	1490

Πρέπει να δώσετε ιδιαίτερη προσοχή στους ακόλουθους χαρακτήρες που περιέχονται στην εντολή COMB:

- G Προσθέτει οποιοδήποτε σταθερό εντατικό μέγεθος των δράσεων τύπου G, G\_1 και G\_2 με συντελεστή φορτίσεων ίσο με Gamma (εδώ για συνδυασμούς σε κατάσταση λειτουργικότητας  $\gamma=1.00$ ) και τις αντίστοιχες τιμές συντελεστών psi ( $\psi$ ) (εδώ, για συνδυασμό σχεδόν μόνιμων φορτίων, συντελεστές  $\psi_2$ ).
- P Προσθέτει όλα τα εντατικά μεγέθη από προένταση. Ανάλογα με τον έλεγχο που θα γίνει, οι τιμές των συντελεστών Pk-inf ή Pk-sur διαφέρουν. Γι' αυτό θα πρέπει πάντα να δίνονται μέσω της παραμέτρου F2 – εδώ έχει τιμή ίση με 0.90.
- C Προσθέτει τα εντατικά μεγέθη από τον ερπυσμό και τη συστολή ξήρανσης.
- L Μεταβλητή φόρτιση: το AQB αναζητά μία φόρτιση (π.χ. MAX MY = αυτή με τη μέγιστη MY) από τη συνεισφορά μίας οποιασδήποτε από τις φορτίσεις τύπου L\_A και μίας οποιασδήποτε από τις φορτίσεις τύπου L\_B και προσαρμόζει σε αυτές τους αντίστοιχους συντελεστές gamma και psi ( $\gamma$ ,  $\psi$ ). Με δεδομένο στο AQB ότι οι φορτίσεις 601 έως 612 είναι τύπου L\_A, δες μπλοκ #define lastfaelle:  
(601 612 1) TYPE L\_A \$ όχημα - από MAXIMA ενδιάμεση περιβάλλουσα δημιουργείται ένας συνδυασμός φορτίσεων όπου λαμβάνεται υπόψη μία από τις 601 έως 612, αυτή που προκαλεί τη μεγαλύτερη My.  
Το ίδιο ισχύει και για τις φορτίσεις τύπου 501 έως 512.  
Με αυτό τον τρόπο στα δύο μέρη των φορτίων κυκλοφορίας (ομοιόμορφο και όχημα) χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές των συντελεστών psi ( $\psi$ ).
- T Προσθέτει μία από τις φορτίσεις θερμοκρασιακής μεταβολής (εδώ 85 ή 86).
- ZF Προσθέτει την φόρτιση των πιθανών καθιζήσεων τύπου ZF, άρα μία από τις φορτίσεις 801 έως 812. Για αυτές τις φορτίσεις θα οριστεί ένας συντελεστής F6=1.0. Οι συντελεστές αυτοί μπορούν να ενσωματωθούν στα δεδομένα του προγράμματος SOFiLOAD.

Με την εντολή ECHO FACT στο AQB μπορούμε να έχουμε εκτύπωση των συνδυασμών, από ποιες φορτίσεις τελικά αποτελούνται και τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο πρόγραμμα AQUA ορίστηκαν δύο σημεία εκτύπωσης τάσεων (stress points SPT), ένα στην πάνω και ένα στη κάτω παρειά. Έτσι, μπορεί να αναγνώσει κανείς αμέσως στα αποτελέσματα τις τιμές των τάσεων στα σημεία αυτά Pt UMI (κάτω-μέσον) και Pt OMI (άνω-μέσον). Εδώ για τους συνδυασμούς που έγιναν παραπάνω:

ANALYSIS OF SECTION BEAM: 40039 X = 0.000 [M]

#### NORMAL STRESSES [MPa]

S	Loadcase	N [kN]	MY [kNm]	MZ [kNm]	Pt UMI [MPa]	Pt OMI [MPa]	Ten G Z [MPa]
0	G_1	0.0	12038.27	0.00	4.24	-2.10	0.00
1	G_2	0.2	2364.75	0.00	0.77	-0.40	3.42
0	Prestres	-18133.1	-20921.3	0.00	-10.65	0.36	1060.43
0	g1+p =t0	-18133.1	-8883.00	0.00	-6.41	-1.73	1060.43
B	g +p =t1	-18132.9	-6289.05	0.00	-5.64	-2.14	1063.85
B	g +p+ c=t2	-15618.4	-3419.73	0.00	-4.22	-2.18	914.30
B	g+p+c+ZF+L	-15622.8	2346.55	0.00	-2.33	-3.16	922.64
B	g+p+c-ZF+L	-15612.1	-6414.36	0.00	-5.20	-1.67	909.97
B	Dekompressi_+	-13806.0	2624.54	0.00	-1.85	-2.89	814.01

B Dekompressi\_- -13803.8 -3972.73 0.00 -4.01 -1.77 804.46

Όπως φαίνεται ικανοποιείται ήδη ο έλεγχος απόθλιψης εφόσον οι τάσεις στις ακραίες ίνες είναι αρνητικές.

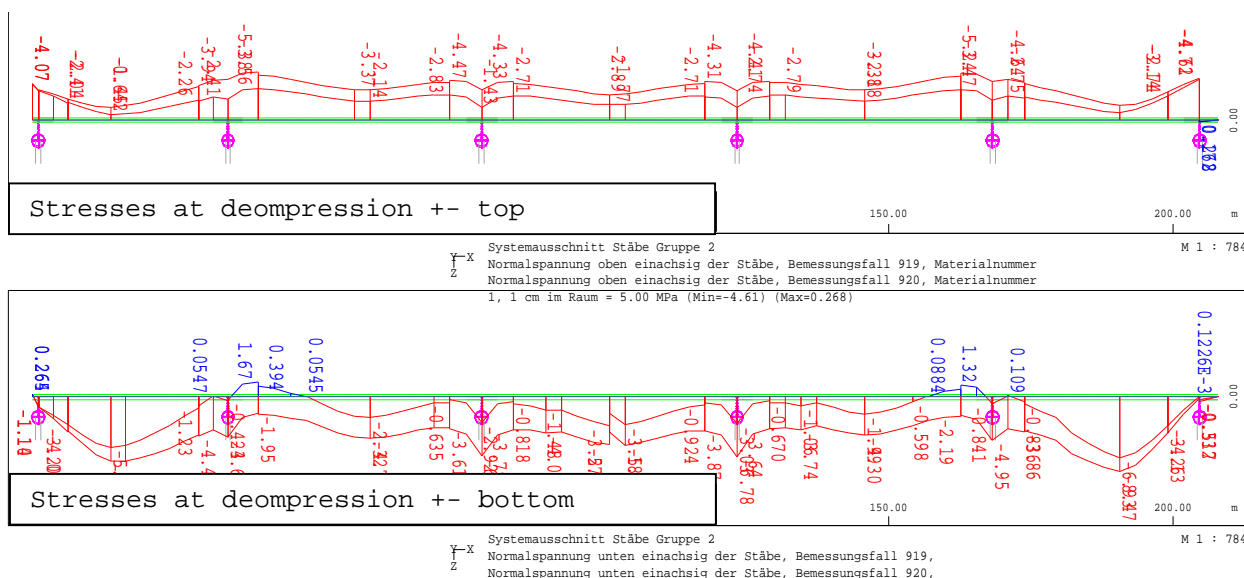
### 8.3 Γραφικός έλεγχος τάσεων

Για να ελεγχθεί κάθε βήμα υπολογισμού, πρέπει σε ένα ακόλουθο τρέξιμο του προγράμματος AQB να υπολογιστούν για όλα τα ραβδωτά στοιχεία (χωρίς εκτύπωση) οι τάσεις των συνδυασμών και να αποθηκευτούν σε φορτίσεις με την βοήθεια της παραμέτρου LCST στην εντολή COMB. Για παράδειγμα, LC 1490 και 1491 για τις τάσεις από τον συνδυασμό 'Έλεγχος απόθλιψης'.

```

PROG AQB
HEAD Αποθήκευση τάσεων όλων των διατομών για το πρόγραμμα GRAF
ECHO FULL NO
BEAM CS0 0 CS1 998
#include lastfaelle
#include kombinat
#include rare09_I $ rare = σπάνιος συνδυασμός 90 % προένταση - στάδιο I LC 1190/1191
#include nonf_1_I $ nonf = μη συχνός συνδυασμός 100 % προένταση - στάδιο I LC 1200/1201
#include nonf09_I $ nonf = μη συχνός συνδυασμός 90 % προένταση - στάδιο I LC 1290/1291
#include perm_1_I $ perm = συνδυασμός οιονεί μόνιμων δράσεων 100 % προένταση στάδιο I LC 1400/1401
#include dekompres $ συνδυασμός για τον έλεγχο απόθλιψης LC $(lf_dekomp)
STRE K951 $ Αποθηκεύει τις μέγιστες και ελάχιστες τάσεις όλων των συνδυασμών
           $ στην περίπτωση διαστασιολόγησης -LC 951+952
END
    
```

Για να ελεγχθούν οι τάσεις, μπορούν να παρασταθούν διαγράμματα με το πρόγραμμα WINGRAF ή δημιουργώντας αρχείο δεδομένων του προγράμματος WING. Εδώ διάγραμμα τάσεων από τον συνδυασμό 'Έλεγχος απόθλιψης':



Εικόνα 11: max-min- Τάσεις στην άνω (άνω διάγραμμα) και την κάτω παρειά της γέφυρας (κάτω διάγραμμα)

Εμφανίζονται στην κάτω παρειά της γέφυρας εφελκυστικές τάσεις (θετικοί μπλέ αριθμοί στο πάνω διάγραμμα, η μέγιστη τιμή 1.67 N/mm<sup>2</sup>), εκεί όμως πρέπει να ελεγχθεί η απόθλιψη στις πάνω ακραίες ίνες – οι οποίες όμως υπερθλίβονται (πάνω διάγραμμα). Αρα ικανοποιείται ο έλεγχος απόθλιψης.



## 9. Έλεγχοι

Οι απαιτήσεις των ελέγχων περιγράφονται στα δεδομένα του προγράμματος. Για κάθε έλεγχο γίνεται ένα ξεχωριστό τρέξιμο του προγράμματος AQB, ώστε να μπορούμε να διαχωρίζουμε καλύτερα τα αποτελέσματα. Μπορεί όμως να γίνουν και όλοι μαζί σε ένα τρέξιμο του προγράμματος, δες παράδειγμα aqb1\_2x.dat.

### 9.1. Έλεγχοι οριακής κατάστασης λειτουργικότητας

Κάποιοι έλεγχοι πρέπει να γίνονται με τις μέγιστους/ελάχιστους συντελεστές χαρακτηριστικών τιμών των εντατικών μεγεθών από προένταση, ενώ άλλοι με μέση τιμή συντελεστή 1.0. Ο συντελεστής που αναφέρεται συχνά σε αυτό το παράδειγμα (ελάχιστη τιμή) 0.9 διαφέρει ανάλογα με το σύστημα. Δείτε και DIN-FB 102 II-2.5.4.2 (3) και (4). Ο διαχωρισμός των στατικών ορισμένων και αόριστων μερών προέντασης απαιτείται μόνο για τον έλεγχο κόπωσης (δες DIN-FB 102 II-4.3.7.2 (103)P). Σαν εφαρμογή δες επίσης τα παραδείγματα two\_span\_fachb\_lang.dat και DIN\_FB\_AQB\_KOMB.dat.

#### 9.1.1. Τάσεις σκυροδέματος από μη συχνούς συνδυασμούς - min $\sigma_c \leq 0.6 f_{ck}$

Σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-4.4.1.2 (102)P:

Συνδυασμός:	Σπάνιος MAXR	Όχι συχνός MAXN	Συχνός MAXF	Οιονεί μόνιμος MAXP
Pk,inf				
Pk				
Pk,sub				

Για να γίνουν αυτά τα πράγματα ευκολότερα, αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνεται σε στάδιο II, οπότε δεν είναι απαραίτητο να διαφοροποιηθούν τα στάδια I και II – όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 9.1.7 (στις παρενθέσεις είναι ο έλεγχος σε στάδιο I).

Ο συνδυασμός πρέπει να είναι:

\$ Τάσεις σκυροδέματος: όχι συχνός συνδυασμός με 1.0\*Προένταση:

\$ Οι θλιπτικές τάσεις σκυροδέματος πρέπει να είναι μικρότερες από 0.6 fck:

```
COMB EXTR SCOM TITL LC1 LC2 F2 LC3 LC4 LC5 LC6 F6
MAXN MY 'nichth P_1+' G P 1.00 C L T ZF 1.0
MINN MY 'nichth P_1-' G P 1.00 C L T ZF 1.0
```

NSTR CHKC 0.6

\$ (σε στάδιο I: STRE E VH τότε πρέπει να καλύπτεται η sig-comp)

Για το συγκεκριμένο έλεγχο η οριακή τιμή είναι  $0.6 \cdot f_{ck} = 0.6 \cdot 32 = 19.2 \text{ N/mm}^2$ . Στην ακόλουθη εκτύπωση αποτελεσμάτων, στη στήλη 'sig-comp' για το υλικό 1 φαίνεται ότι καλύπτεται το 54.64 %, οπότε ο έλεγχος πληρείται:

```
PARAMETERS FOR NONLINEAR STRESS / CRACKWIDTH
MNo sig-comp sig-tens
[MPa] [o/o] [MPa] [o/o]
1 -11.15 54.64 0.00 100.0
2 -79.05 231.30
11 0.00 950.20
```

### 9.1.2. Τάσεις σκυροδέματος από οιονεί μόνιμους συνδυασμούς - min $\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$

Συνδυασμός:	Σπάνιος MAXR	Όχι συχνός MAXN	Συχνός MAXF	Οιονεί μόνιμος MAXP
Pk,inf				
Pk				
Pk,sub				

Σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-4.4.1.2 (104)P αυτός ο έλεγχος πρέπει πάντα να υλοποιείται σε στάδιο I, και για αυτό τον συνδυασμό να απαιτείται έλεγχος απόθλιψης. Η διατομή θα πρέπει να είναι υπό θλίψη:

§ Τάσεις σκυροδέματος σε στάδιο I: οιονεί μόνιμα με 1.0\*Προένταση:  
 § Οι θλιπτικές τάσεις σκυροδέματος πρέπει να είναι μικρότερες από 0.45  $f_{ck}$ :  
 § και οι τάσεις στον χάλυβα προέντασης πρέπει να είναι μικρότερες από 0.65\* $f_{pk}$ :  
 COMB EXTR SCOM TITL LC1 LC2 F2 LC3 LC4 LC5 LC6 F6 LCST  
 MAXP MY 'quasi P\_1+' G P 1.00 C L T ZF 1.0 915  
 MINP MY 'quasi P\_1-' G P 1.00 C L T ZF 1.0 916  
 STRE E BH SC 0.45\* $f_{ck}$  zmax 1150.50 § = θλιπτικές τάσεις σκυροδέματος < 0.45  
 § τάσεις χάλυβα προέντασης < 0.65  
 § dann die Ausnutzung  $f_{ck}$  auf kleiner 0.45 prüfen)

Η ακόλουθη εκτύπωση αποτελεσμάτων αντιστοιχεί στην γραμμή 'Biaxial compression'. Η οριακή τιμή σε αυτό τον έλεγχο είναι 0.45\* $f_{ck}$  και καλύπτεται το 29 %, οπότε ο έλεγχος πληρείται:

```
Reviewed Maximum Values Material 1
Biaxial compression          24.00 MPa utilisation 0.290
Tensile stress (decompression) 0.00 Mpa utilisation 0.91
Reviewed Maximum Values Material 11
Admissible steel stress      1150.50 MPa utilisation 0.828
```

### 9.1.3. Τάσεις χάλυβα προέντασης από οιονεί μόνιμους συνδυασμούς - min $\sigma_c \leq 0.65 f_{pk}$

Συνδυασμός:	Σπάνιος MAXR	Όχι συχνός MAXN	Συχνός MAXF	Οιονεί μόνιμος MAXP
Pk,inf				
Pk				
Pk,sub				

Σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-4.4.1.4 (1)\*P αυτός ο έλεγχος υλοποιείται για τον ίδιο συνδυασμό όπως πιο πάνω, οπότε μπορεί να γίνει ταυτόχρονα. Στις εκτυπώσεις για το υλικό 11 βρίσκουμε μέγιστη κάλυψη 0.828. Για λόγους ελέγχου, η επιτρεπόμενη τάση είναι ίση με 1150.5 N/mm<sup>2</sup> = 0.65\*1770 – δες και πιο πάνω. Στην περίπτωση όπου η τάση στον χάλυβα προέντασης προέρχεται από υπολογισμό σε στάδιο II, θα μπορούσε να γίνει με την εντολή NSTR CHKT 0.65. Τότε πρέπει να ελέγχεται στα αποτελέσματα η τάση τένοντα sig-tens για το υλικό του χάλυβα προέντασης.

### 9.1.4. Τάσεις χάλυβα προέντασης από μη συχνούς συνδυασμούς - min $\sigma_s \leq 0.8 f_{yk}$

Σύμφωνα με DIN-FB 102 II-4.4.1.3 (105). Δες επίσης [1] σελίδα 31:

Συνδυασμός:	Σπάνιος MAXR	Όχι συχνός MAXN	Συχνός MAXF	Οιονεί μόνιμος MAXP
Pk,inf				
Pk				
Pk,sub				

Για μεγαλύτερη ευκολία, ο έλεγχος μπορεί να γίνεται πάντα σε στάδιο II. Σε αυτή την περίπτωση, δεν χρειάζεται η διαφοροποίηση μεταξύ σταδίου I και II. Ο συνδυασμός πρέπει να είναι:

§ Απαιτούμενες τάσεις χάλυβα σε στάδιο II, εδώ για έλεγχο:  
 § μη συχνοί συνδυασμοί με  $0.90 \cdot \text{προένταση } P_{k,inf}$ :  
 § Οι τάσεις χάλυβα πρέπει να είναι μικρότερες από  $0.80 f_{yk}$ :  
 COMB EXTR SCOM TITL LC1 LC2 F2 LC3 LC4 LC5 LC6 F6  
 MAXN MY 'nichth\_inf+' G P 0.90 C L T ZF 1.0  
 MINN MY 'nichth\_inf-' G P 0.90 C L T ZF 1.0  
 NSTR CHKS 0.80

Στην ακόλουθη εκτύπωση αποτελεσμάτων πρέπει να ελεγχθεί η κάλυψη της sig-tens για το υλικό χαλαρού οπλισμού. Σε αυτή τη περίπτωση, η μέγιστη τάση χάλυβα που μπορεί να υπάρξει είναι ίση με  $73.77 \text{ N/mm}^2$ . Αντιστοιχεί σε μία κάλυψη ίση με 18 %:

#### PARAMETERS FOR NONLINEAR STRESS / CRACKWIDTH

MNo	sig-comp		sig-tens	
	[MPa]	[o/o]	[MPa]	[o/o]
1	-7.02		0.00	
2	-51.57	12.89	<u>73.77</u>	18.44
11	0.00		842.38	

### 9.1.5. Έλεγχος απόθλιψης

Συνδυασμός:	Σπάνιος MAXR	Όχι συχνός MAXN	Συχνός MAXF	Οιονεί μόνιμος MAXP
Pk,inf				
Pk				
Pk,sub				

Σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-4.4.2.1 (107)P και επίσης τον πίνακα 4.118, αυτός ο έλεγχος μπορεί πάντα να υλοποιείται σε στάδιο I, εφόσον η απόθλιψη δεν επιτρέπει εφελκυστικές τάσεις:

§ Τάσεις για έλεγχο απόθλιψης:  $MAXP = \text{οιονεί μόνιμο } P_{k,inf}$ :  
 COMB EXTR SCOM TITL LC1 LC2 F2 LC3 LC4 LC5 LC6 F6  
 MAXP MY 'Dekompres+' G P 0.90 C L T ZF 1.0  
 MINP MY 'Dekompres-' G P 0.90 C L T ZF 1.0  
 STRE E VH  
 echo comb extr \$ εκτύπωση των επιμέρους συντελεστών φορτίσεων

Στην εκτύπωση αποτελεσμάτων, στον πίνακα ελέγχων των οριακών καταστάσεων θα βρείτε μία γραμμή που αφορά την απόθλιψη:

Reviewed Maximum Values		Material	1
Biaxial	compression	24.00 MPa	utilisation 0.231
Tensile	stress (decompression)	0.00 Mpa	utilisation <u>0.929</u>

Η τιμή 0.929 σημαίνει ότι είναι διαθέσιμο ένα επιπλέον πλεόνασμα ίσο με 0.071 (1-0.929) φορές την υπάρχουσα εφελκυστική δύναμη. Επίσης, με ECHO STRE FULL στον πίνακα των τάσεων, εκτυπώνεται για κάθε διατομή μία επιπλέον στήλη με την ονομασία sigma-ct για την περιοχή που κείται το κέντρο βάρους των τενόντων (μόνο ο έλεγχος απόθλιψης πρέπει να γίνει στην περιοχή του τένοντα).

Ο έλεγχος απόθλιψης είναι πολύ σημαντικός – η τάση sigma-ct πρέπει πάντα να ελέγχεται γραφικά μέσω του μήκους της γέφυρας – δες παράγραφο 8.3 'Γραφικός έλεγχος τάσεων'.

Η εντολή ECHO COMB EXTR οδηγεί σε μία εκτύπωση των συντελεστών των φορτίσεων που συμμετέχουν στον εκάστοτε συνδυασμό.

Στην εκτύπωση μπορείτε να δείτε ότι ο έλεγχος απόθλιψης γίνεται με τον συνδυασμό  $1.0 \cdot G + 0.9 \cdot P + 1.0 \cdot C + 0.2 \cdot (TS + UDL) + 0.5 \cdot Temp + 1.0 \cdot Support\ settlement$ :

Load case participation factors:

LC 1	LC 2	LC 3	LC 11	LC 45	LC 21	LC 22	LC 31	LC 85	LC 84
1.00	1.00	0.90	1.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.50	1.00

### 9.1.6. Έλεγχος εύρους ρωγμής

Συνδυασμός:	Σπάνιος MAXR	Όχι συχνός MAXN	Συχνός MAXF	Οιονεί μόνιμος MAXP
Pk,inf				
Pk				
Pk,sub				

Σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-4.4.3 και τον πίνακα 4.118 αυτός ο έλεγχος πρέπει να γίνεται σε στάδιο II.

COMB EXTR SCOM TITL LC1 LC2 F2 LC3 LC4 LC5 LC6 F6

MAXF MY 'nichth\_inf+' G P 0.90 C L T ZF 1.0

MINF MY 'nichth\_inf-' G P 0.90 C L T ZF 1.0

\$ -----

NSTR S0 CW 0.2 \$ Έλεγχος εύρους ρωγμής για κατηγορία B

\$ είναι απαραίτητο μόνο εάν υπάρχει υπέρβαση της τιμής fctm

Πρέπει να γίνεται έλεγχος των αποτελεσμάτων για τη συγκεκριμένη κατάσταση:

#### NONLINEAR STRESSES

Beam	x[m]	NoS	LC	e-o	ky/kz	x	zn/yn	Ni/Vi	Myi/Mzi	Ey/Ez/G-EFF
				[o/oo]	[1/km]	[m]	[m]	[kN]	[kNm]	[MPa]
1	8.650	1	1295							
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As[cm2]
						T-zone h= 0.400	12.0	0.14	2644.22	41.51
						part of tendons				4.0
						---- Check for crack width passed with given reinforcements				

Στα αποτελέσματα, παρακαλούμε, ελέγξτε τις γραμμές:

---- Check for crack width passed with given reinforcements ή

---- Check for crack width passed with additional reinforcements ή

---- Check for crack width did not pass

Στην ακόλουθη εκτύπωση, ο έλεγχος δεν πληρείται, το εύρος ρωγμής υπολογίζεται ίσο με 0.31mm για 37.1cm2 οπλισμού – δες τις μαρκαρισμένες τιμές στην γραμμή 'T-zone':

#### NONLINEAR STRESSES

Beam	x[m]	NoS	LC	e-o	ky/kz	x	zn/yn	Ni/Vi	Myi/Mzi	Ey/Ez/G-EFF
				[o/oo]	[1/km]	[m]	[m]	[kN]	[kNm]	[MPa]
	17.120	1295		-0.022	0.727	0.471	0.471	-14204.2	4768.87	10295
					0.000		-100.0		23.18	26558
					1.000	fact Mt-I			-31.49	5718
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As[cm2]
						pt.-reinf	21	361.4	0.44	868.07
									19.82	171.0

```

T-zone h= 0.800 17.9 0.31 652.16 108.46 37.1
part of tendons 5.9
---- Check for crack width did not pass
e-o ky/kz x zn/yn Ni/Vi Myi/Mzi Ey/Ez/G-EFF
[o/oo] [1/km] [m] [m] [kN] [kNm] [MPa]
1295 -0.037 0.659 0.498 0.497 -14210.6 4768.53 11348
0.000 -100.0 22.86 26558
1.000 fact Mt-i -31.49 6293
----- D[mm] w[mm] sig[MPa] ssr[MPa] As[cm2]
T-zone h= 0.718 17.9 0.15 371.53 94.99 57.5
part of tendons 5.9
---- Check for crack width passed with additional reinforcements

```

Σε αυτή την περίπτωση ο οπλισμός αυξάνεται σε 57.5cm<sup>2</sup>, σαν συνέπεια της αύξησης της τάσης του χάλυβα οπλισμού σε 371.53 N/mm<sup>2</sup> – οπότε πληρείται ο έλεγχος.

Με την εντολή NSTR S0 CW 0.2 γίνεται ο έλεγχος εύρους ρωγμής χωρίς κατευθείαν υπολογισμό σύμφωνα με το DIN-FB 4.4.2.3. πίνακας (4.120) σελίδα 176. Με την εντολή NSTR S0 CW 0.2 CRAC DIN μπορεί επίσης να γίνει έλεγχος του εύρους ρωγμών με κατευθείαν υπολογισμό σύμφωνα με το DIN-FB 4.4.2.4. Γενικά αυτό δεν απαιτείται, εφόσον ο έλεγχος χωρίς κατευθείαν υπολογισμό σύμφωνα με τον πίνακα 4.120 είναι πιο σαφής.

Στην περίπτωση που ο έλεγχος δεν πληρείται, το πρόγραμμα αυξάνει τον απαιτούμενο οπλισμό μέχρι ο έλεγχος να εκπληρωθεί. Αυτή η διαδικασία μπορεί επίσης να ελεγχθεί γραφικά.

### 9.1.7. Διαφοροποίηση σταδίου I και σταδίου II

Συγκριτικά μπορείτε για παράδειγμα σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-4.4.1.1 (5), εάν ένας έλεγχος γίνεται από την μεριά της ασφάλειας στο στάδιο II, να κάνετε τον ίδιο έλεγχο και στο στάδιο I για να δείτε εάν πληρείται. Προκειμένου να διευκρινιστεί τότε ένας έλεγχος μπορεί επίσης να γίνεται και σε στάδιο I, πρέπει να ξέρουμε τότε η εφελκυστική δύναμη που προκύπτει από τον σπάνιο συνδυασμό δράσεων με  $0.9 \cdot \text{προένταση} - P_{k,inf}$  δεν υπερβαίνει την τιμή  $f_{ctm}$  (δες [1] σ. 28):

Συνδυασμός:	Σπάνιος MAXR	Όχι συχνός MAXN	Συχνός MAXF	Οιονεί μόνιμος MAXP
Pk,inf				
Pk				
Pk,sub				

Έλεγχος πληρότητας του  $f_{ctm}$  για τον ακόλουθο συνδυασμό:

```

$ Έλεγχος στη οριακή κατάσταση λειτουργικότητας:
$ Ξεχωρίζει αν πρόκειται για ρηγματωμένη κατάσταση: εάν οι εφελκυστικές
$ τάσεις κάτω από σπάνιους συνδυασμούς είναι με μεγαλύτερες από  $f_{ctm}$ :
$ Συνδυασμός με MAXR=σπάνιος με Pk,inf (90 % προένταση):
COMB EXTR SCOM TITL LC1 LC2 F2 LC3 LC4 LC5 LC6 F6
MAXR MY 'selten_inf+' G P 0.90 C L T ZF 1.0
MINR MY 'selten_inf-' G P 0.90 C L T ZF 1.0
STRE K BZ

```

Στην εκτύπωση των αποτελεσμάτων φαίνονται οι μέγιστες εφελκυστικές τάσεις  $\text{sig}^+$ . Στον πίνακα που ακολουθεί, για το στοιχείο 2 στην θέση  $X=0.00$ ,  $\text{sig}^+=3.06$  N/mm<sup>2</sup>. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό κάλυψης της μέγιστης εφελκυστικής τιμής ( $f_{ctm}$ ) 87.2%. Η τιμή αυτή προκύπτει από το τρέξιμο του AQB για τα επιλεγμένα στοιχεία σαν 'Checked limit values material 1'. Για κάθε στοιχείο μπορεί να γίνει ο συγκεκριμένος έλεγχος σε στάδιο I.

```

STRESSES [MPa]
Beam x[m] NoS LC MA sig- sig+ tau sig-I sig-II sig-s
2 0.000 1 C01 1 -5.90 3.06 -0.30 0.04 -5.91 835.81
C02 1 -7.47 -0.54 -0.36 0.17 -7.47 847.39

Reviewed Maximum Values Material 1
Biaxial compression 24.00 MPa utilisation 0.311
Biaxial tension 3.51 MPa utilisation 0.872

```

## 9.2. Έλεγχος στην οριακή κατάσταση αστοχίας

Σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-4.3. με το πρόγραμμα AQB, μέσω της εντολής COMB και της παραμέτρου EXTR MAXD ζητείται ο υπολογισμός του συνδυασμού δράσεων της οριακής κατάστασης αστοχίας για διαστασιολόγηση, αρχικά για τις δύο σημαντικές θέσεις:

```

PROG AQB
HEAD Διαστασιολόγηση - Οριακή κατάσταση αστοχίας - Έλεγχος θραύσης
BEAM 40039 CS0 0 CS1 1 X 0.0 $ Κέντρο μεσαίου ανοίγματος
BEAM 40047 CS0 0 CS1 1 X 0.0 $ Στήριξη στο μεσαίο άνοιγμα
#include lastfaelle
COMB EXTR SCOM TITL          LC1 LC2 F2          LC3 LC4 LC5 LC6 F6
      MAXD MY 'Bruch+'      G  P  1.00      C  L  T  SF  1.35
      MIND MY 'Bruch-'      G  P  1.00      C  L  T  SF  1.35
$ Τώρα με δυνατές καθιζήσεις 1.35 φορές δεξ DIN_FB_SOFiSTiK.doc
DESI STAT ULTI
END

```

Η προσέγγιση που αφορά τη φόρτιση θερμοκρασιακής μεταβολής είναι σύμφωνα με DIN Fachbericht / Γενικές Οδηγίες δεξ παράγραφο 5.3.

Η σχετική φέρουσα ικανότητα  $rel\text{-}tra$  είναι εδώ το κύριο αποτέλεσμα. Εάν η τιμή της πέσει κάτω του 1.0, τότε το AQB αυτόματα προσθέτει επιπλέον καμπτόμενο οπλισμό λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες στις ακραίες ίνες.

### REQUIRED REINFORCEMENTS

Beam	x[m]	NoS	LC	Ni [kN]	Myi/Mzi [kNm]	e1/yn [o/oo / mm]	e2/zn	nue C/S	rel tra	As L [cm2]
1	8.560	1	CO1	12.4	21601.45	-2.00	12.37	1.50	1.20	0.1 0
						21.84	-9999	173	1.15	171.0 Z
										6.3 T
					Delta-Vzi	-0.96	(increment of prestress)			

Για επιπλέον επεξηγήσεις σχετικά με τα αποτελέσματα του προγράμματος AQB δείτε το αρχείο AQBBLAT1.doc.

Η διατομή για την οποία φαίνονται πιο πάνω τα αποτελέσματα, περιέχει 171cm<sup>2</sup> χάλυβα προέντασης (lay Z) και 0.1cm<sup>2</sup> απαιτούμενο οπλισμό (layer 0). Με αυτόν το χάλυβα προέντασης θα μπορούσε να αναλάβει 20% επιπλέον των εσωτερικών εντατικών μεγεθών, άρα 21601 kN αξονική δύναμη.

Με την εντολή DESI STAT ULTI γίνεται επιπρόσθετα και έλεγχος σε διάτμηση. Η κατανομή των συνδετήρων πρέπει να περιγραφεί στο πρόγραμμα AQUA με διατμητικές τομές μέσω της εντολής CUT.

Επιπρόσθετα, θα γίνει η διαστασιολόγηση όλων των διατομών χωρίς εκτύπωση. Θα αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων για να μπορέσουμε να έχουμε γραφικά αποτελέσματα.

## 9.3. Ελάχιστοι οπλισμοί

### 9.3.1. Ελάχιστοι οπλισμοί στην οριακή κατάσταση αστοχίας

Δες την παράγραφο [1] σελίδα 23, συγκριτικά DIN FB 102,II-4.3.1.3: Οι απαιτούμενες τιμές των καμπτικών ροπών για τον έλεγχο εύρους ρωγμής (μετατόπιση του διαγράμματος ροπών) μπορούν να υπολογιστούν από το πρόγραμμα μέσω της εντολής COMB DMR CST CS0.

Με την CST CS0 ζητείται από το AQB να αναγάγει τα εντατικά μεγέθη αυτού του συνδυασμού στην καθαρή (net) διατομή. Ο ελάχιστος οπλισμός πρέπει να προστεθεί μόνο εάν εμφανιστεί εφελκυστική τάση του σκυροδέματος κάτω από μη συχνούς συνδυασμούς.



### 9.3.2. Ελάχιστοι οπλισμοί στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (εύρος ρωγμής)

Δες την παράγραφο [1] σελίδα 24, συγκριτικά DIN FB 102, II-4.4.2.2: Αυτός ο ελάχιστος οπλισμός πρέπει να προστίθεται μόνο εάν οι τάσεις του σκυροδέματος από σπάνιο συνδυασμό είναι μικρότερες ή ίσες από  $-1 \text{ N/mm}^2$  – δες DIN-FB 4.4.2.2. (3)P σελίδα 172.

Για αυτό τον έλεγχο χρειάζεται στο πρόγραμμα AQUA να δοθεί ειδική διατμητική τομή χρησιμοποιώντας στην εντολή CUT την παράμετρο TYPE ACT (δες αρχείο aqb1\_2d.dat). Για να ζητήσουμε από το AQB να κάνει τον συγκεκριμένο έλεγχο πρέπει να δώσουμε την εντολή:

STRE E RL \$ Ελάχιστος οπλισμός 4.4.2.2.

### 9.4. Έλεγχος κόπωσης

Ένας αυτόματος έλεγχος κόπωσης δεν περιλαμβάνεται ακόμα στο πρόγραμμα (ημερομηνία 14.05.2004).

Ο έλεγχος έχει ήδη προετοιμαστεί στα αρχεία two\_span\_fachb\_lang.dat και DIN\_FB\_AQB\_KOMB.dat σε συνδυασμό με το #define ermuedung.

Το τρέξιμο αυτό υπολογίζει τις μέγιστες τάσεις του συνδυασμού.

Η αύξηση της τάσης του οπλισμένου σκυροδέματος σύμφωνα με το DIN-FB 102, II 4.3.7.3(3)\*P δεν περιλαμβάνεται. Παρόλα αυτά, ο συντελεστής  $\eta$  (η) μπορεί πρώτα να υπολογίζεται με το χέρι και μετά να πολλαπλασιάζει το όριο με το οποίο ελέγχονται οι τάσεις του χάλυβα με την εντολή NSTR SIGS. Επίσης, θα πρέπει να υπολογίζεται με το χέρι και ο συντελεστής  $\lambda_s$  σύμφωνα με DIN-FB 102 II-Annex A.106.2 (101)P, όπως και η αύξηση του αξονικού φορτίου (μοντέλο φόρτισης 3) σύμφωνα με το DIN-FB 102 II-Annex A.106.2 (102)P.

Σχόλιο για το αρχείο two\_span\_fachb\_lang.dat: ο διαχωρισμός των στατικώς ορισμένων και αόριστων μερών προέκτασης απαιτείται μόνο για τον έλεγχο κόπωσης (σύμφωνα με την SOFiSTiK/ J. Bellmann) (δείτε DIN-FB 102 II-4.3.7.2 (103)P).

Ο έλεγχος της κόπωσης σκυροδέματος σε θλίψη συνήθως δεν απαιτείται – όπως είναι η περίπτωση εδώ. (δες DIN-FB Chapter. II 4.3.7.1(102)).

## 10. Επιπρόσθετα παραδείγματα

Παραδείγματα για το νέο DIN 1045-1 και για τις ειδικές εκθέσεις - DIN Fachberichte:

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| • two_span_fachb_lang.dat    | Σημαντικό παράδειγμα προεντεταμένου σκυροδέματος για τα DIN Fachberichte, δράσεις με το πρόγραμμα SOFILOAD, περιβάλλουσες σε O.K.A., O.K.L., γραμμές επιρροής με το πρόγραμμα ELSE. |
| • two_span_fachb_kurz.dat    | Μικρό παράδειγμα – διαφέρει στην εισαγωγή   |
| • DIN_FB_SOFiSTiK.dat        | Αυτό το μεγάλο παράδειγμα με σχολιασμό στο DIN_FB_SOFiSTiK.doc  |
| • Dreifeld_fachb.dat         | Πλακοδοκός μεταβλητής διατομής και πλάκα με επιφανειακά π.σ.  |
| • two_span_fachb.dat         | Δράσεις με SOFILOAD, περιβάλλουσες σε O.K.A., O.K.L.  |
| • zwischenueberlagerung.dat  | Αν απαιτείται (ενδιάμεσες περιβάλλουσες).   |
| • bemess6_DIN1045_1.dat      | Υπολογισμός πλάκας.   |
| • bemess5_Schwingbreiten.dat | Πλάκα όπου υπολογίζονται τάσεις για την O.K.L.  |
| • aqb1_2d.dat                | Διαστασιολόγηση με AQB δίνοντας εξωτερικά εντατικά μεγέθη μπορεί να βρεθεί στο SOFiSTiK-folder.   |
| • aqb1_2x.dat                | Διαστασιολόγηση με AQB δίνοντας εξωτερικά εντατικά μεγέθη μπορεί να βρεθεί στο SOFiSTiK-folder.   |

Επιπλέον υπάρχουν τα ακόλουθα παραδείγματα σύμφωνα με το παλιό DIN 4227:

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| • railway.dat             | Σιδηροδρομική γέφυρα σύμφωνα με το DIN 4227.          |
| • railway_GEOS_Extern.dat | Εξωτερική χωρίς αναφορά στο DIN 4227.                 |
| • two_span.dat            | Δοκός δύο ανοιγμάτων με φορτία σύμφωνα με DIN 4227.   |
| • platasc21.dat           | Προεντεταμένη πλάκα και σύστημα κελύφους με DIN 4227. |

Αυτά τα παραδείγματα μπορούν να βρεθούν στο [www.sofistik.de](http://www.sofistik.de) - bibliothek – statikbeispiele – Index

## 11. Βιβλιογραφία

- [1] Bemessungsbeispiel einer Straßenbrücke mit Plattenbalkenquerschnitt  
Dr.-Ing. Hennecke (Zilch+Müller Ingenieure GmbH)  
Seminardokumentation „DIN Fachberichte im Brückenbau – Betonbrücken“ vom Seminar der Bayerischen Ingenieurekammer Bau, veranstaltet am 01. und 02. April 2003.
- [2] Beispiel einer Talbrücke – Einwirkungen und Schnittgrößen  
Dr.-Ing. Buba (SSF-Ingenieurgesellschaft mbH, München)  
Seminardokumentation „DIN Fachberichte im Brückenbau – Betonbrücken“ vom Seminar der Bayerischen Ingenieurekammer Bau, veranstaltet am 01. und 02. April 2003.
- [3] DIN Fachbericht 102 „Betonbrücken“ Übersicht und Erläuterungen  
Prof. Dr.-Ing. Zilch (TU München, Lehrstuhl für Massivbau)  
Seminardokumentation „DIN Fachberichte im Brückenbau – Betonbrücken“ vom Seminar der Bayerischen Ingenieurekammer Bau, veranstaltet am 01. und 02. April 2003.
- [4] DIN Fachbericht 101
- [5] DIN Fachbericht 102
- [6] Heft 525 DAfStB