

Dr. NAGY-GYÖRGY Tamás

Profesor

E-mail:

tamas.nagy-gyorgy@upt.ro

Tel:

+40 256 403 935

Web:

<http://www.ct.upt.ro/users/TamasNagyGyorgy/index.htm>

Office:

A219

4.1 INTRODUCERE

4.2 COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

4.3 COMBINAREA ACȚIUNILOR

4.4 VERIFICAREA ARMĂTURILOR

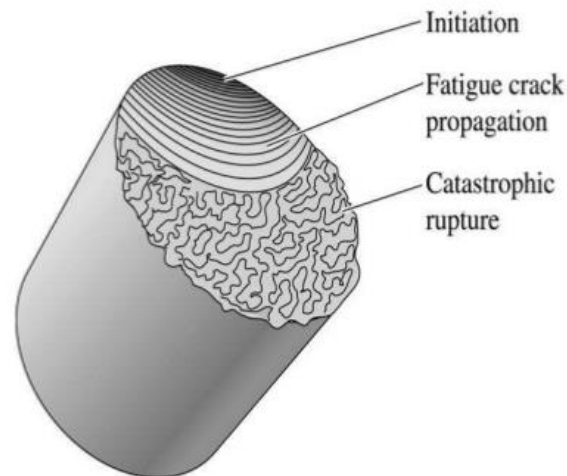
4.5 VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

4.6 VERIFICAREA BETONULUI LA FORȚĂ TĂIETOARE

4.1 INTRODUCTION / INTRODUCERE

OBOSEALA reprezintă fenomenul de **scădere a rezistenței** din cauza aplicării unor **încărcări repetate** îndelungate, de ordinul 10^6 cicluri, chiar dacă acestea produc solicitări mai mici decât încărcările statice de proiectare.

Cedarea la oboseală începe de la un defect al materialului (de ex. punct de coroziune). În jurul acestei zone apare o fisură, care se dezvoltă progresiv, până când provoacă slăbirea secțiunii astfel încât aceasta nu mai poate suporta solicitarea.



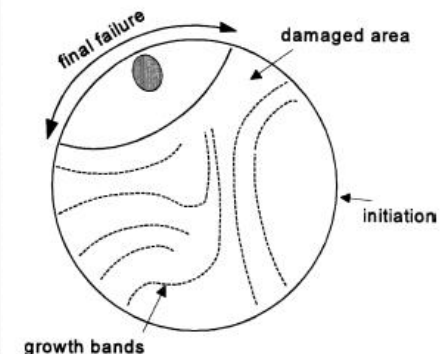
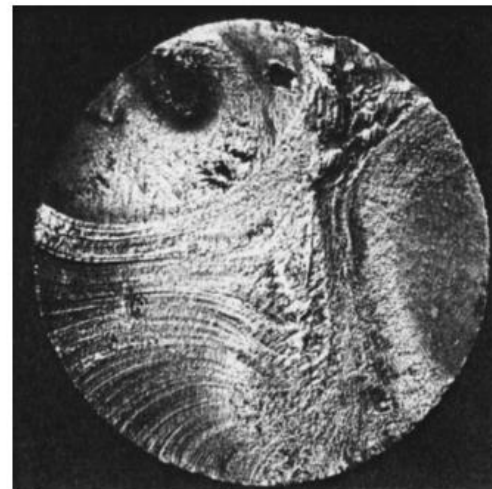
4.1 INTRODUCTION / INTRODUCERE

OBOSEALA duce la cedare casantă, indiferent de ductilitatea materialului.

Cedarea la oboseală se produce următoarelor **acțiuni simultane**:

- **solicitări ciclice** → inițierea fisurării
- **eforturi de întindere** → creșterea (propagarea) fisurii
- **deformații plastice**

Cedarea la oboseală apare la un nivel al efortului mult mic decât rezistența la curgere statică a materialului.



Schijve J. – Fatigue of Structures and Materials (2009)

4.1 INTRODUCTION / INTRODUCERE

Fenomenul de oboseală poate fi produs de încărcările mobile generate de podurile rulante industriale, de convoaiele rutiere și de cale ferată sau de utilaje (cu vibrații) cu amplasament fix.

Poduri rulante



Convoaie de tren sau camioane pe poduri



Turbine eoliene



Utilaje cu vibrații



4.1 INTRODUCTION / INTRODUCERE

Fiecare ciclul de încărcare-descărcare produce **degradări** în **beton** și **armătură**, **cumularea** acestor **degradări determină** în final **cedarea** elementului **la intensități mai reduse** ale încărcărilor decât cele la care s-ar produce cedarea sub încărcări statice.

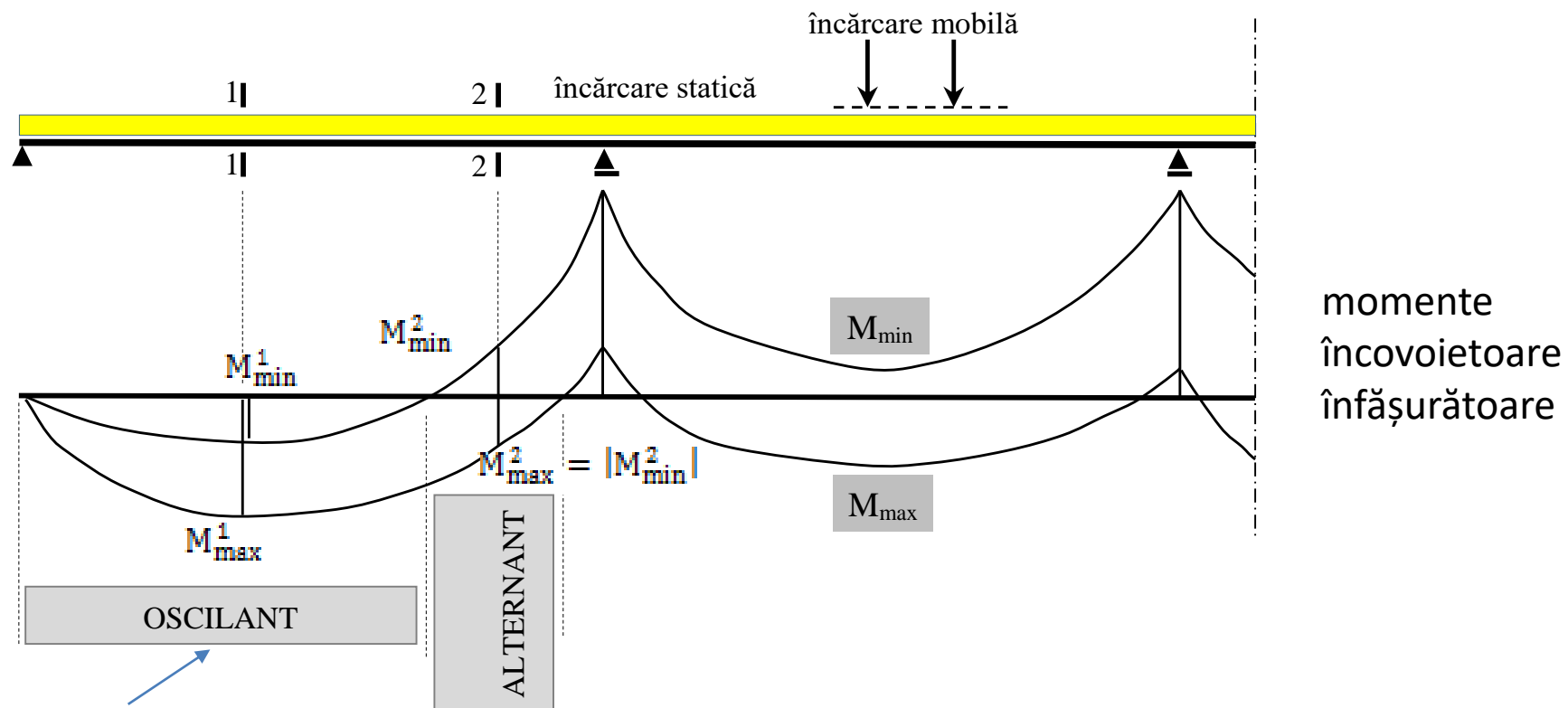
Evaluarea rezistenței la oboseală a structurii de beton armat trebuie efectuată **separat pentru beton și armătură**.

Din punctul de vedere al **eforturilor extreme** se disting **două tipuri de cicluri**

- **cicluri oscilante**
- **cicluri alternante**

4.1 INTRODUCTION / INTRODUCERE

Exemplu: cazul unei grinzi continue



eforturile variază între anumite limite fără a se schimba sensul lor de acțiune

se produce schimbarea sensului de acțiune și de aceea deteriorarea proprietăților betonului este mai accentuată

4.1 INTRODUCTION / INTRODUCERE

Efectul solicitării repetate asupra materialului este în ultimă instanță acela de reducere a rezistenței. Această reducere este influențată în mod decisiv de:

n numărul de cicluri aplicate

σ_{max} valoarea maximă a solicitării

$\Delta\sigma$ mărimea amplitudinii ciclului sau $\Delta M = M_{max}(1 - \rho)$

$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ coeficientul de asimetrie (sau $\rho = \frac{M_{min}}{M_{max}}$)

4.1 INTRODUCERE

4.2 COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

4.3 COMBINAREA ACȚIUNILOR

4.4 VERIFICAREA ARMĂTURILOR

4.5 VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

4.6 VERIFICAREA BETONULUI LA FORȚĂ TĂIETOARE

4.2 BEHAVIOR UNDER FATIGUE / COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

OBOSEALA BETONULUI depinde de:

- Amplitudinea încărcărilor $\Delta\sigma_c$
- Numărul de cicluri n
- Nivelul eforturilor σ_c

OBOSEALA OȚELULUI depinde de:

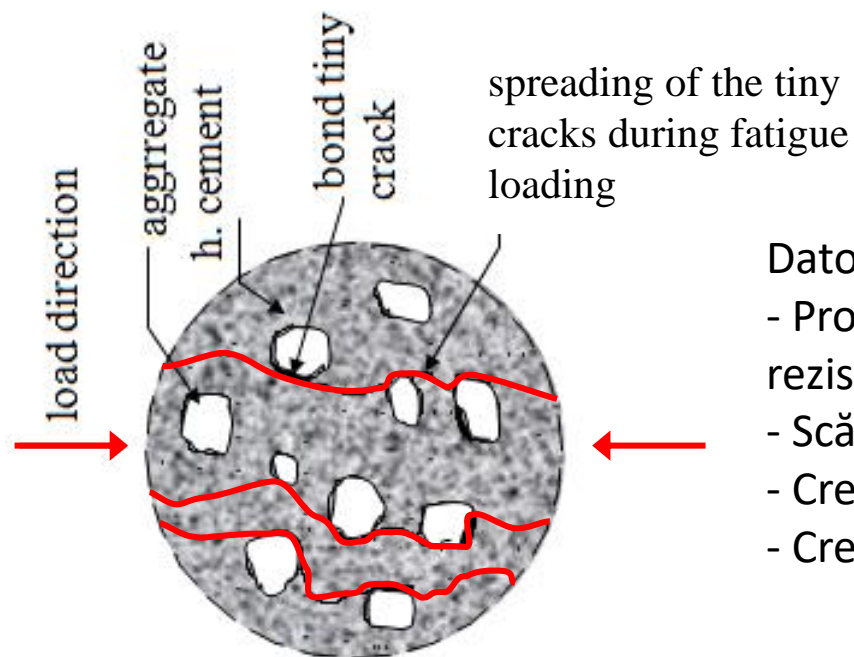
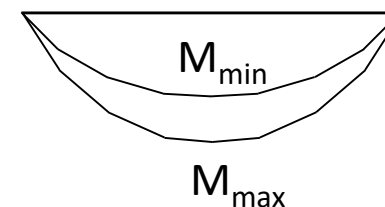
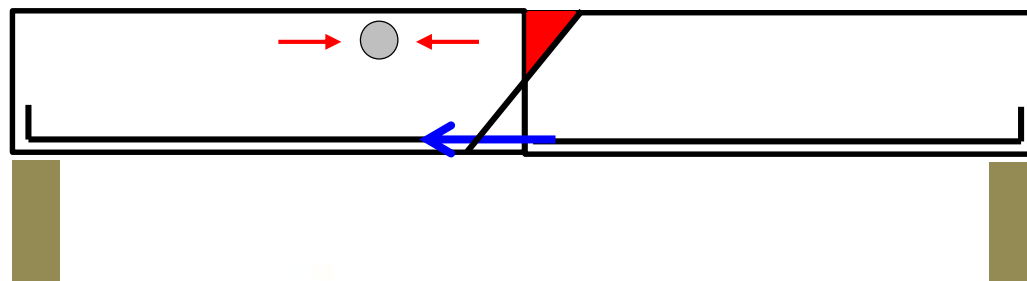
- Amplitudinea încărcărilor $\Delta\sigma_s$
- Numărul de cicluri n

COMPORTAREA ELEMENTELOR DE BETON ARMAT depinde de evoluția:

- rezistența betonului
- rezistența armăturii
- aderența

4.2 BEHAVIOR UNDER FATIGUE / COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

COMPORTAREA LA OBOSEALĂ AL BETONULUI



Datorită oboselii:

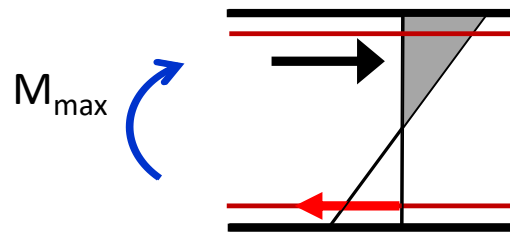
- Procesul de microfisurare se accelerează, scăzând rezistența betonului (cu ~55% pentru 10^6 cicluri)
- Scăderea rigidității elementului
- Creșterea deformațiilor
- Creșterea numărului fisurilor și a deschiderii acestora

4.2 BEHAVIOR UNDER FATIGUE / COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

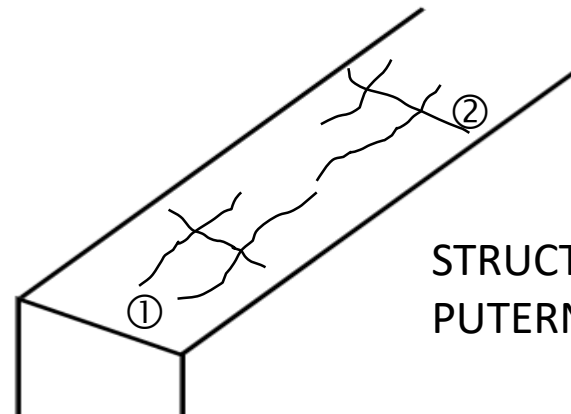
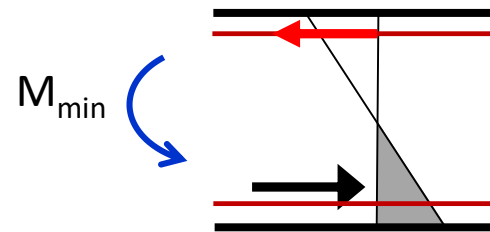
Cicluri alternante

PARTEA SUPERIOARĂ

① Accelerarea
microfisurării



② Fisuri de întindere



STRUCTURA BETONULUI
PUTERNIC DEGRADAT

4.2 BEHAVIOR UNDER FATIGUE / COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

COMPORTAREA LA OBOSEALĂ AL OȚELULUI

Prima fisură de oboseală apare de regulă :

- în dreptul nervurilor transversale a barelor cu profil periodic
- în zone cu deteriorări mecanice anterioare
- în zone corodate

După apariția fisurii aceasta **se extinde pas cu pas** sub încărcările repetate.

Cedarea barei se produce când **secțiunea activă devine prea mică**.

Aderența este influențată negativ de încărcările dinamice repetate.

Oboseala duce la **scăderea efortului unitar de aderență**.

4.2 BEHAVIOR UNDER FATIGUE / COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

CEDAREA elementelor din **BETON ARMAT** sub efectul acțiunilor repetate se produce **CASANT** prin:

Zdrobirea betonului comprimat:

- la elementele cu procente mari de armare, solificate la încovoiere sau în cazul I de compresiune excentrică, la cele din beton de clasă inferioară;
- la elementele solificate în cazul II de compresiune excentrică, indiferent de calitatea betonului și de cantitatea de armătură;

Ruperea armăturii:

- la elementele cu procente mici sau mijlocii de armare, solificate la încovoiere sau în cazul I de compresiune excentrică;
- la elementele întinse;
- în cazul utilizării armăturilor cu rezistență scăzută la oboseală;

Distrugerea aderenței dintre beton și armătură:

- dacă nu se asigură prin proiectare și execuție alcătuirea corespunzătoare;
- la elemente cu beton cu rezistență redusă.

4.1 INTRODUCERE

4.2 COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

4.3 COMBINAREA ACȚIUNILOR

4.4 VERIFICAREA ARMĂTURILOR

4.5 VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

4.6 VERIFICAREA BETONULUI LA FORȚĂ TĂIETOARE

4.3 COMBINATION OF ACTIONS / COMBINAREA ACȚIUNILOR

Pentru verificarea la oboseală, acțiunile se împart în:

- acțiuni statice
- acțiuni ciclice care induc fenomenul de oboseală dinamică

Combinăția acțiunilor statice

$$\sum G_{kj} + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- combinația de bază

(= combinația frecventă a acțiunilor non-ciclice pt SLS)

→ σ_{min}

La efectele combinației de bază, în situația cea mai defavorabilă, se adaugă efectele încărcării repetate care provoacă oboseala

$$\rightarrow \sigma_{max} \left(\sum G_{kj} + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} \right) + Q_{fat}$$

fatigue = oboseală

4.3 COMBINATION OF ACTIONS / COMBINAREA ACȚIUNILOR

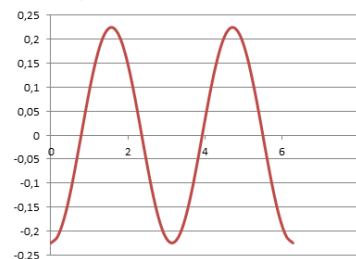
Starea limită de oboseală **se verifică separat pentru beton și pentru armătură**, pe baza eforturilor unitare extreme, adică efortul unitar minim σ_{min} , calculat din combinația de bază, respectiv efortul unitar maxim σ_{max} , determinat din combinația cu acțiunile ciclice.

Cu eforturile astfel determinate se calculează **amplitudinea efortului** unitare cu relația:

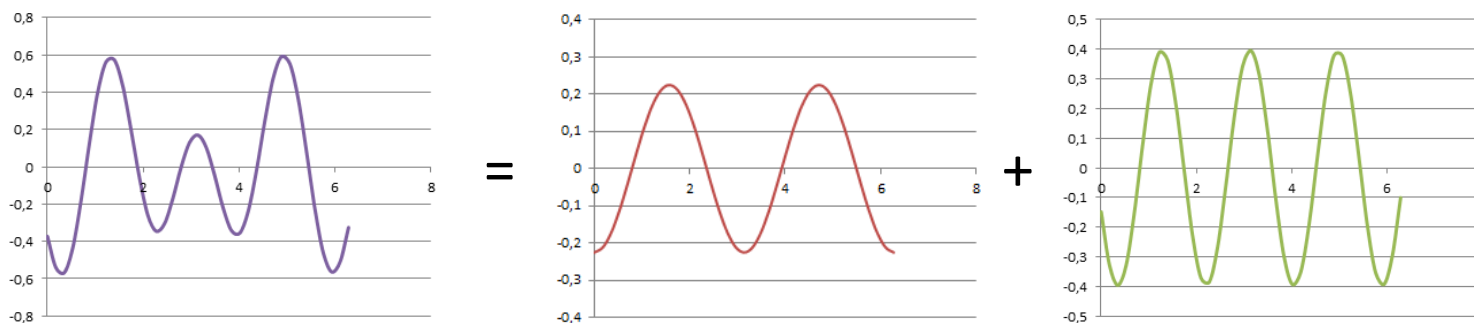
$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

4.3 COMBINATION OF ACTIONS / COMBINAREA ACȚIUNILOR

Practic, intervalul de efort poate să fie constant pentru toate ciclurile de încărcare
 → un singur nivel de amplitudine



De regulă, încărcarea la oboseală produce mai multe amplitudini diferite: $\Delta\sigma_i$



Astfel de cazuri sunt descrise prin spectrul de amplitudine, și anume prin valoarea amplitudinii: $\Delta\sigma_i$ și numărul ciclurilor aplicate n ($\Delta\sigma_i$)

4.1 INTRODUCERE

4.2 COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

4.3 COMBINAREA ACȚIUNILOR

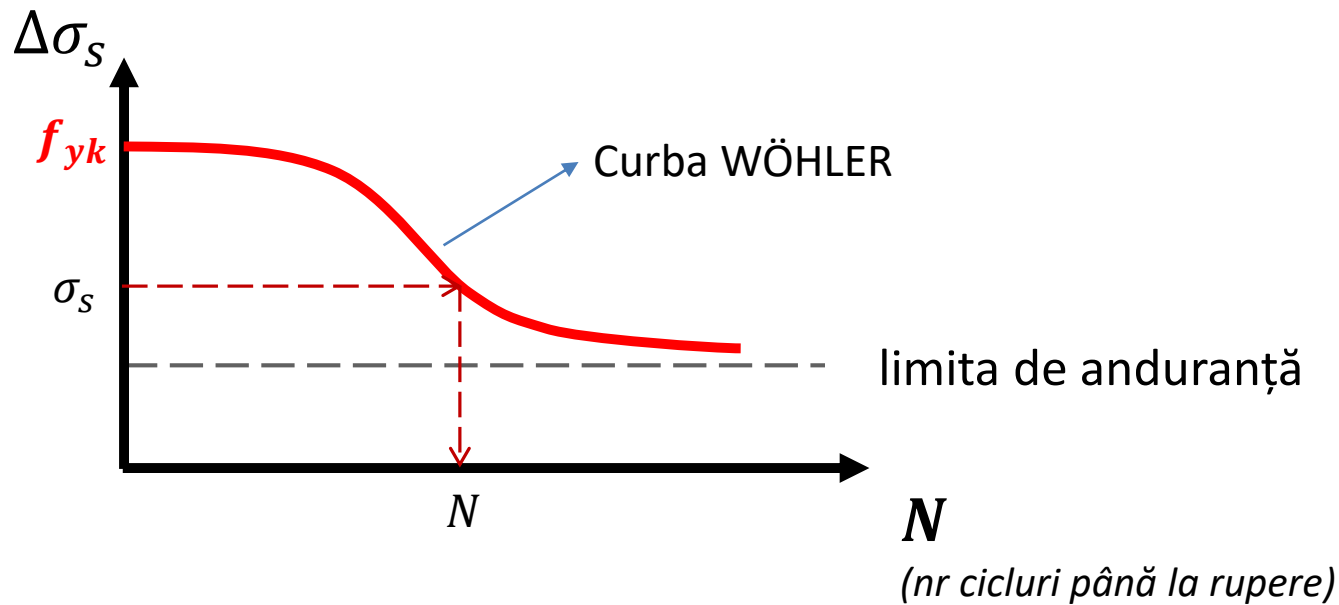
4.4 VERIFICAREA ARMĂTURILOR

4.5 VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

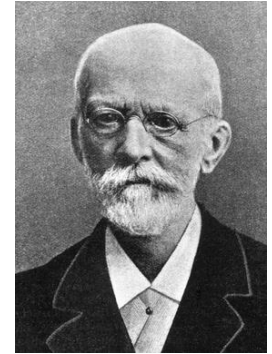
4.6 VERIFICAREA BETONULUI LA FORȚĂ TĂIETOARE

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

WÖHLER a observat, că rezistența oțelului scade odată cu numărul ciclurilor aplicate și cu amplitudinea ciclurilor ($\Delta\sigma_s$)



WÖHLER



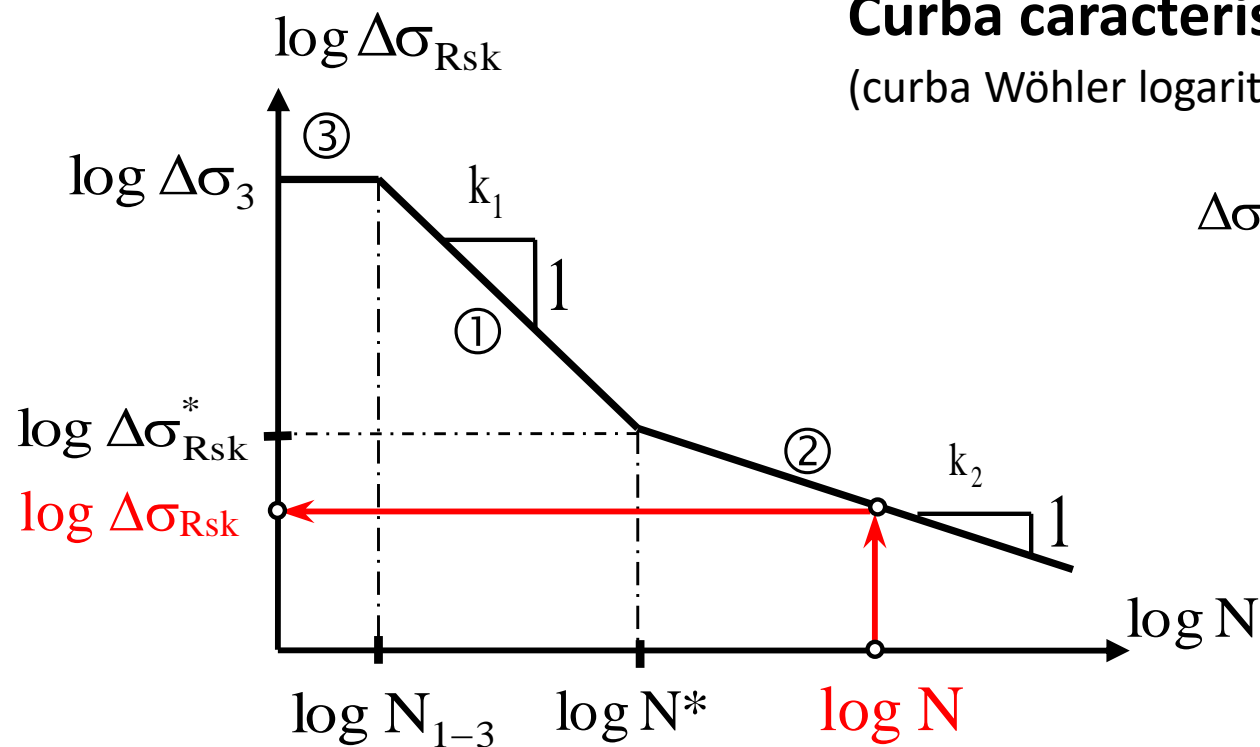
(1829 – 1914)

Eforturi mai mici \rightarrow număr mai mare de cicluri fără cedarea oțelului

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Verificarea armăturii la starea limită de oboseală se bazează pe amplitudinea care poate fi aplicată pe parcursul a N cicluri fără a se produce ruperea armăturii → această amplitudine este definită drept **amplitudine caracteristică**.



Curba caracteristică S-N

(curba Wöhler logaritmată, în care S reprezintă $\Delta\sigma_s$)

$$\Delta\sigma_{Rsd} = \frac{\Delta\sigma_{Rsk}}{\gamma_{s,fat}}$$

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Segmentele 1 și 2 sunt caracterizate de relația:

$$(\Delta\sigma_s)^{k_1} \cdot N = (\Delta\sigma_s)^{k_2} \cdot N$$

Porțiunea orizontală 3 corespunde situației în care armătura este solicitată până la limita de elasticitate sub combinația de bază plus solicitarea ciclică de oboseală

$$\Delta\sigma_3 = f_{yk} - \sigma_{s \min}$$

Unde
$$N_{1-3} = N^* \left(\frac{\Delta\sigma_{Rsk}^*}{\Delta\sigma_3} \right)^{k_1}$$

Pentru calculul practic, amplitudinea caracteristică se obține din tabel:

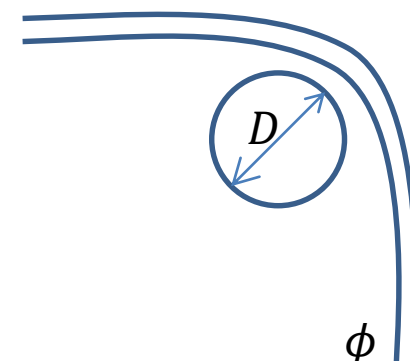
Numărul de cicluri	$\Delta\sigma_{Rsk}$
$N_{1-3} < N \leq N^*$	$\Delta\sigma_{Rsk} = \Delta\sigma_{Rsk}^* \cdot \sqrt[k_1]{\frac{N^*}{N}}$
$N^* < N$	$\Delta\sigma_{Rsk} = \Delta\sigma_{Rsk}^* \cdot \sqrt[k_2]{\frac{N^*}{N}}$

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Parametrii curbei S-N pentru armătura betonului armat

Tipul armăturii	N*	Exponentul efortului unitar		$\Delta\sigma_{Rsk}^*$ (MPa) pentru N* cicluri
		k ₁	k ₂	
Bare drepte	10 ⁶	5	9	162,5
Bare îndoite ¹	10 ⁶ ζ	5ζ	9ζ	162,5ζ
Bare și plase sudate	10 ⁷	3	5	58,5
Dispozitive mecanice de înnădire	10 ⁷	3	5	35

Notă: $\zeta = 0,35 + 0,026D/\phi$; D - diametrul dornului; ϕ - diametrul barei.



Amplitudinea caracteristică la oboseală ($\Delta\sigma_{Rsk}$) nu depinde de calitatea oțelului!

Buna comportare la oboseală este asigurată numai prin limitarea amplitudinii, indiferent de natura ciclului (oscilant sau alternant).

Însă dacă f_{yk} crește atunci $\sigma_{s,max}$ va fi mai mare.

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Verificarea armăturii în cazul unui singur nivel al amplitudinii $\Delta\sigma_s$

- Calculul efortului unitar σ_{min} din combinația de bază
($\sum G_{kj} + \Psi_{1,1}Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i}Q_{k,i}$)
- Calculul efortului unitar σ_{max} din combinația care produce oboseala
($\sum G_{kj} + \Psi_{1,1}Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i}Q_{k,i} + Q_{fat}$)
- Calculul amplitudinii $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$
- Stabilirea caracteristicilor curbei S-N
- Determinarea amplitudinii caracteristice la oboseală $\Delta\sigma_{RSk}$ în funcție de numărul de cicluri N;



4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Verificarea armăturii în cazul unui singur nivel al amplitudinii $\Delta\sigma_s$

- Verificarea condiției



$$\gamma_{F,fat}\Delta\sigma_s \leq \Delta\sigma_{Rsk} = \frac{\Delta\sigma_{Rsk}}{\gamma_{s,fat}}$$

Unde $\gamma_{F,fat} = 1,0$ A.N.

$$\gamma_{s,fat} = 1,15$$

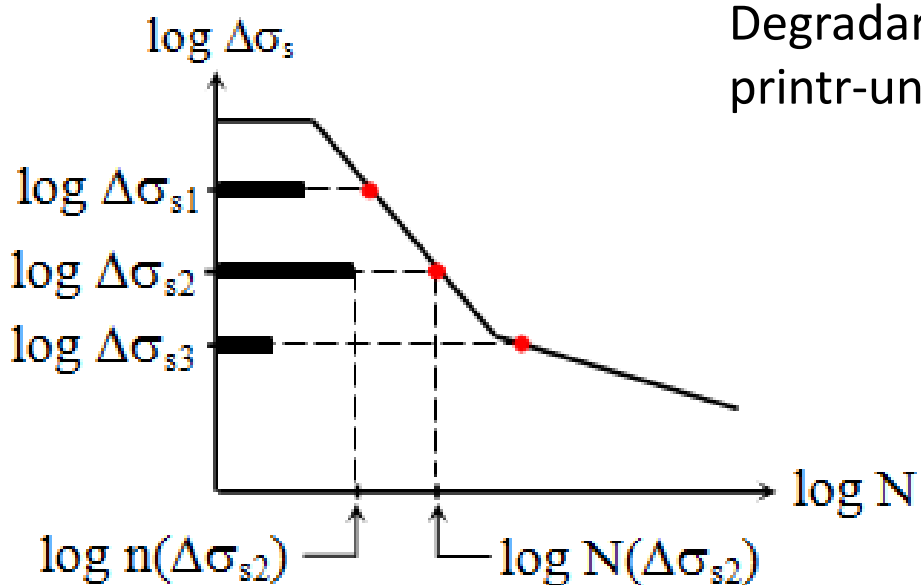
4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Verificarea armăturii în cazul amplitudinilor multiple

→ situația uzuală de solicitare la oboseală

Exemplu: grinzi de rulare din halele industriale cu mai multe poduri rulante în aceeași deschidere

**Regula Palmgren-Miner
(metoda de suprapunere)**



Fiecare amplitudine produce o anumită degradare

Degradarea produsă de o amplitudine se apreciază printr-un indice de degradare

$$d_i = \frac{n(\Delta\sigma_i)}{N(\Delta\sigma_i)}$$

$n(\Delta\sigma_{si})$ - numărul efectiv de cicluri

$N(\Delta\sigma_{si})$ - numărul de cicluri care conduce la ruperea armăturii

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Verificarea armăturii în cazul amplitudinilor multiple

Armătura are o comportare corespunzătoare la oboseală dacă se asigură limitarea degradărilor, produse de toate amplitudinile, prin respectarea condiției:

$$D_{Ed} = \sum \frac{n(\Delta\sigma_i)}{N(\Delta\sigma_i)} < 1$$

D_{Ed} este factorul degradărilor
 i numărul amplitudinii curente
 $\Delta\sigma_i$ amplitudinea curentă

$$\text{cu } N(\Delta\sigma_{si}) = N^* \left(\frac{\Delta\sigma_{Rsk}^* / \gamma_{s,fat}}{\gamma_{F,fat} \Delta\sigma_i} \right)^{k_1} \quad \text{pt } \gamma_{F,fat} \Delta\sigma_{si} \geq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}^*}{\gamma_{s,fat}}$$

$$\text{cu } N(\Delta\sigma_{si}) = N^* \left(\frac{\Delta\sigma_{Rsk}^* / \gamma_{s,fat}}{\gamma_{F,fat} \Delta\sigma_i} \right)^{k_2} \quad \text{pt } \gamma_{F,fat} \Delta\sigma_{si} < \frac{\Delta\sigma_{Rsk}^*}{\gamma_{s,fat}}$$

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Verificarea cu amplitudinea echivalentă

Metoda amplitudinii echivalente constă în înlocuirea amplitudinilor multiple cu o amplitudine constantă $\Delta\sigma_{s,equ}^*$ pe parcursul a N^* cicluri.

- Pt tablierele de poduri feroviare și cele rutiere $\Delta\sigma_{s,equ}^*(N^*)$

- Pt clădiri $\Delta\sigma_{s,equ}^*(N^*) \approx \Delta\sigma_{s,max}$

Se consideră că rezistența la oboseală este satisfăcătoare dacă este îndeplinită condiția:

$$\gamma_{F,fat} \Delta\sigma_{s,equ}^* \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}^*}{\gamma_{s,fat}}$$

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Procedeu simplificat pentru verificarea armăturilor

Se consideră că armătura întinsă are o rezistență adecvată la oboseală dacă **sub cea mai frecventă încărcare ciclică** (amplitudinea cu cel mai mare număr de repetări), **combinată cu combinația de bază**, este satisfăcută condiția:

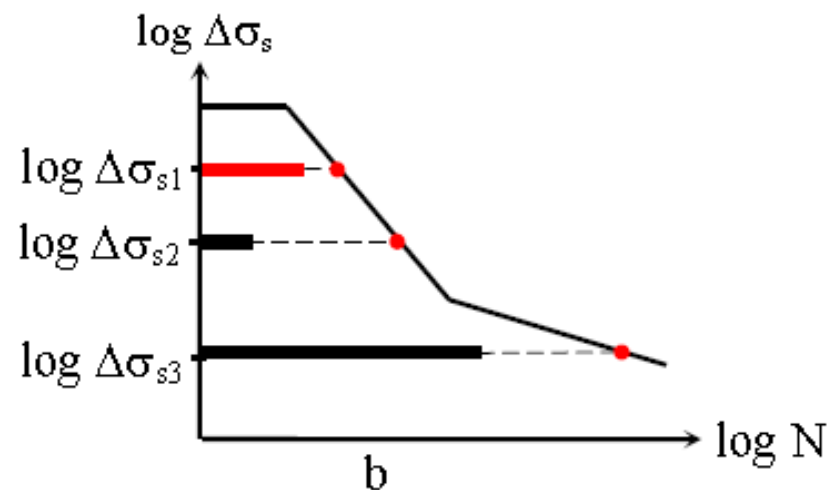
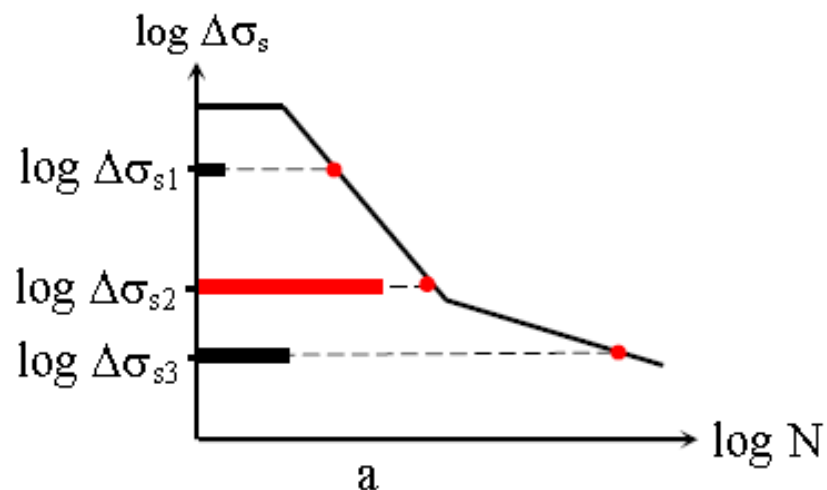
$$\Delta\sigma_{s,max} \leq 70 \text{ MPa} \quad \text{pentru barele fără sudură}$$

$$\Delta\sigma_{s,max} \leq 35 \text{ MPa} \quad \text{pentru barele cu sudură}$$

Ca o simplificare la verificarea de mai sus este acceptabil ca $\Delta\sigma_s$ să se calculeze sub efectul combinației frecvente a tuturor acțiunilor (non-ciclice și ciclice). În cazul în care rezultatul calculului este favorabil, alte verificări nu sunt necesare.

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

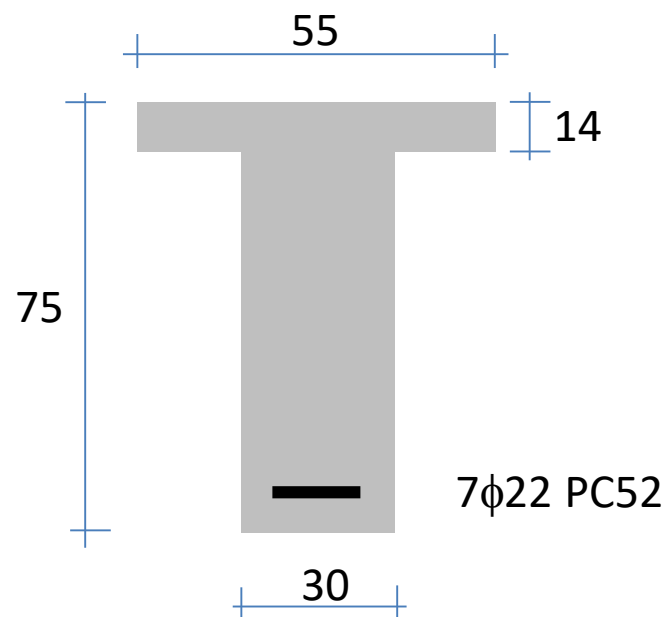
De ce e nevoie de astfel de limitări severe?



Luare în considerare a amplitudinii cu cele mai multe repetări poate reprezenta o situație periculoasă (a) sau una în care o amplitudine cu un număr redus de repetări ($\Delta\sigma_{s1}$) ar putea genera deteriorări mai semnificative decât cea mai frecventă amplitudine ($\Delta\sigma_{s3}$) (b).

4.4 REINFORCEMENT VERIFICATION / VERIFICAREA ARMĂTURILOR

Exemplu



$$M_{\max} = 290 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\max} = 177 \text{ MPa}$$

$$M_{\min} = 50 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\min} = 19 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_s = 158 \text{ MPa}$$

Pentru a avea $\Delta\sigma_s = 70 \text{ MPa}$

→ (10 ... 12)φ22 PC52 sau $h = 120 \dots 140 \text{ cm}$

→ ABORDAREA SIMPLIFICATĂ NU ESTE ECONOMICĂ!!!

4.1 INTRODUCERE

4.2 COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

4.3 COMBINAREA ACȚIUNILOR

4.4 VERIFICAREA ARMĂTURILOR

4.5 VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

4.6 VERIFICAREA BETONULUI LA FORȚĂ TĂIETOARE

4.5 VERIFICATION OF COMPRESSED CONCRETE / VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

În EC2 sunt două metode de verificare la oboseală al betonului comprimat.

Dacă este posibilă se va aplica metoda Palmgren-Miner (de suprapunere).

Rezistența la oboseală a betonului comprimat, pentru $N = 10^6$ cicluri:

$$f_{cd, fat} = k_1 \beta_{cc}(t_o) f_{ck} \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

Unde

$$k_1 = 0,85$$

pt 10^6 cicluri din A.N.

$$\beta_{cc}(t_o)$$

coef. pt rezistența betonului în momentul aplicării primei încărcări ciclice

$$t_o$$

vârsta betonului în zile la începutul încărcării ciclice

4.5 VERIFICATION OF COMPRESSED CONCRETE / VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

Cazul 1) Betonul comprimat are o rezistență corespunzătoare la oboseală, dacă este îndeplinită condiția

$$E_{cd,max,equ} + 0,43 \sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1$$

$$R_{equ} = \frac{E_{cd,min,equ}}{E_{cd,max,equ}}$$

raportul eforturilor

$$E_{cd,min,equ} = \frac{\sigma_{cd,min,equ}}{f_{cd,fat}}$$

nivelul minim al efortului de compresiune

$$E_{cd,max,equ} = \frac{\sigma_{cd,min,equ}}{f_{cd,fat}}$$

nivelul maxim al efortului de compresiune

Unde

$\sigma_{cd,max,equ}$

- limita superioară a amplitudinii pentru N cicluri

$\sigma_{cd,min,equ}$

- limita inferioară a amplitudinii pentru N cicluri

$f_{cd,fat}$

- valoare de calcul al rezistenței la oboseală a betonului

4.5 VERIFICATION OF COMPRESSED CONCRETE / VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

Cazul 2) Verificarea la oboseală pentru beton se poate face simplificat respectându-se simultan condițiile:

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}}$$

$$\leq 0,9 \quad \text{pentru } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\leq 0,8 \quad \text{pentru } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

unde

$\sigma_{c,max}$ - efortul max. de compresiune sub combinația frecventă de încărcare

$\sigma_{c,min}$ - efortul min. de compresiune în aceeași fibră de beton în care apare $\sigma_{c,max}$

Dacă acest efort unitar este unul de întindere, atunci se consideră $\sigma_{c,min} = 0$

4.1 INTRODUCERE

4.2 COMPORTAREA LA OBOSEALĂ

4.3 COMBINAREA ACȚIUNILOR

4.4 VERIFICAREA ARMĂTURILOR

4.5 VERIFICAREA BETONULUI COMPRIMAT

4.6 VERIFICAREA BETONULUI LA FORȚĂ TĂIETOARE

4.6 VERIFICATION OF CONCRETE TO SHEAR / VERIFICAREA BETONULUI LA FORFECARE

Pentru elementele care nu necesită armătură de forță tăietoare la starea limită ultimă, se poate admite că betonul rezistă la oboseală datorată solicitărilor de forță tăietoare atunci când se verifică condițiile următoare:

1) Pentru
$$\frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} \geq 0$$

$$\frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rdc}|} \leq 0,5 + 0,45 \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rdc}|}$$

$$\leq 0,9 \quad \text{pentru } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\leq 0,8 \quad \text{pentru } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

4.6 VERIFICATION OF CONCRETE TO SHEAR / VERIFICAREA BETONULUI LA FORFECARE

Pentru elementele care nu necesită armătură de forță tăietoare la starea limită ultimă, se poate admite că betonul rezistă la oboseală datorată solicitărilor de forță tăietoare atunci când se verifică condițiile următoare:

2) Pentru
$$\frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} < 0$$

$$\frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rdc}|} \leq 0,5 - \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rdc}|}$$

$V_{Ed,max}$ - valoarea de calcul a solicitării de forță tăietoare maxime sub combinația frecventă de încărcări

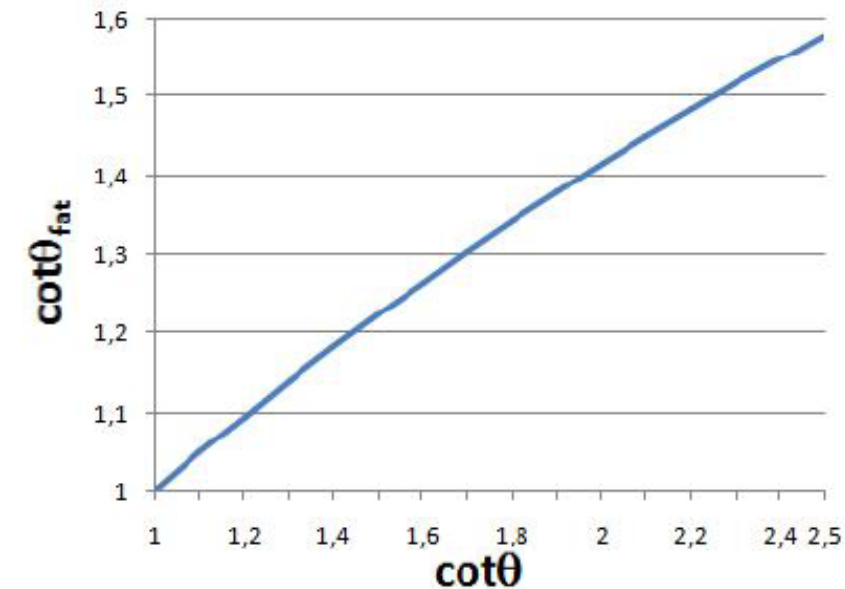
$V_{Ed,min}$ - valoarea de calcul a solicitării de forță tăietoare minime sub combinația frecventă de încărcări în secțiune în care s-a calculat $V_{Ed,max}$

V_{Rdc} - rezistența de calcul la forță tăietoare al elementului de beton fără armătură transversală

4.6 VERIFICATION OF CONCRETE TO SHEAR / VERIFICAREA BETONULUI LA FORFECARE

În cazul elementelor la care sunt necesare armături transversale la starea limită ultimă, calculul armăturii se face conform capitolului de calcul la tăiere cu precizarea că înclinarea diagonalei comprimate se obține din relația:

$$\tan \theta_{fat} = \sqrt{\tan \theta} \leq 1$$



4.6 VERIFICATION OF CONCRETE TO SHEAR / VERIFICAREA BETONULUI LA FORFECARE

Bielele comprimate ale elementelor sollicitate la forfecare resistă la oboseală dacă îndeplinesc următoarele condiții:

$$\frac{\sigma_{c,max}}{v f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,min}}{v f_{cd,fat}}$$

$$\leq 0,9 \text{ for } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\leq 0,8 \text{ for } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

unde

$$\sigma_{c,max} = \frac{V_{Ed,f}}{b_w z} (ctg\theta_{fat} + tg\theta_{fat})$$

$$\sigma_{c,min} = \frac{V_{Ed,min}}{b_w z} (ctg\theta_{fat} + tg\theta_{fat})$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$



Dr. NAGY-GYÖRGY Tamás

Profesor

E-mail:

tamas.nagy-gyorgy@upt.ro

Tel:

+40 256 403 935

Web:

<http://www.ct.upt.ro/users/TamasNagyGyorgy/index.htm>

Office:

A219

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!!!