

Revner i beton – Design og betydning
30. januar 2008

Praktiske erfaringer med danske normer og Eurocodes

Susanne Christiansen
Tunneler og Undergrundskonstruktioner




1 | Revner i Beton - Design og Betydning - Dansk Betonforening 2008.01.30
08.01.30 | Susanne Christiansen

COWI

Disposition

- Lastfremkaldte revner
 - Eksempel
 - Sammenligning DS411 - EN 1992-1 1994 og 2004
- Minimumsarmering
 - Gennemgående revner



2 | Revner i Beton - Design og Betydning - Dansk Betonforening 2008.01.30
08.01.30 | Susanne Christiansen

COWI

DS 411 - Lastfremkaldte revner

- Beregning af revnevidde: $W_k = 5 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_s \cdot \sqrt{a_w}$
- *Afhængig af:*
 - Armeringsspænding i revnet tværsnit, σ_s
 - Revneparameter $a_w = A_{c,eff}/\Sigma\emptyset$
 - Armeringsforhold
 - Armeringsdiameter, \emptyset

EN 1992-1:2004 - Lastfremkaldte revner

- Beregning af revnevidde : $W_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$
- *Tøjningsdifference, incl. tension stiffening:*

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 - \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

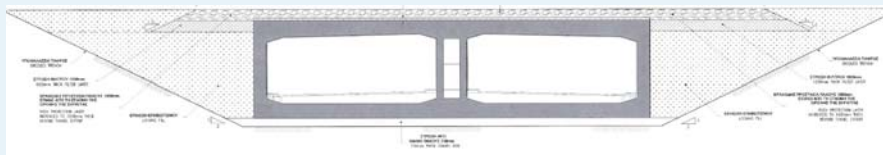
- *Afhængig af:*
 - Armeringsspænding, i revnet tværsnit, σ_s
 - Armeringsforhold, $\rho_{p,eff}$
 - Elasticitetsmoduler, E_s og E_c
 - Betonens trækstyrke, $f_{ct,eff}$
 - Lastvarighed, k_t

EN 1992-1:2004 - Lastfremkaldte revner

- Beregning af revnevidde : $w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$
- Revneafstand: $s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \sigma / \rho_{p,eff}$
- Afhængig af:
 - Armeringens forankringsevne, $k_1 = 0,8$
 - Bøjning/træk, Bøjning $\Rightarrow k_2 = 0,5$
 - Konstanter, $k_3 = 3,4$, $k_4 = 0,425$
- Revneafstand: $s_{r,max} = 3,4 \cdot c + 0,17 \cdot \sigma / \rho_{p,eff}$
- Afhængig af:
 - Dæklag, c
 - Armeringsdiameter, σ
 - Armeringsforhold, $\rho_{p,eff}$

Eksempel sænketunnel

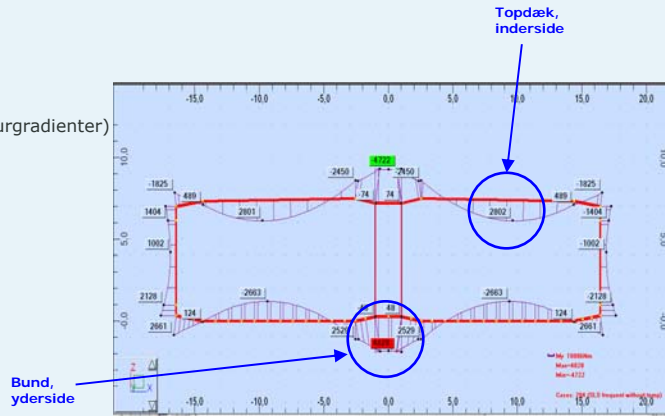
- Vejtunnel, 3 spor hver retning, 2+1 rør



- Bredde: 34,5 m - Højde: 8,7 m
- Vanddybde: 22 m (til underside tunnel)
- Væg- og pladetykkelser 1200 mm - 1850 mm
- 100 års levetid
- Tilladelig revnevidde, $w_k = 0,2$ mm
- Dæklag til hovedarmering: 80 mm

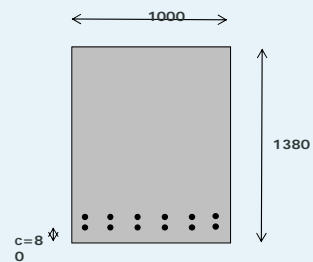
Eksempel - Sænketunneltværsnit

- Belastninger
 - Egenvægt
 - Vandtryk
 - Jordtryk
 - (Temperaturgradienter)
- Momenter:



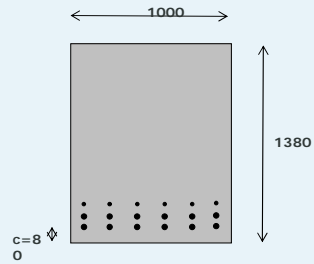
Eksempel, sænketunnel topdæk inderside

- Geometri
 - Tværsnitshøjde 1380 mm
 - Normalkraft 540 kN
 - Moment 2800 kNm
 - Armering 2lag Ø32-150
 - Armeringsmængde 61 kg/m³
 - Armeringsspænding, $\sigma_s = 205$ MPa
- Revnevidde:
 - w_k EC2:1991 0,23 mm
 - w_k DS411 0,25 mm
 - w_k EC2:2004 0,34 mm



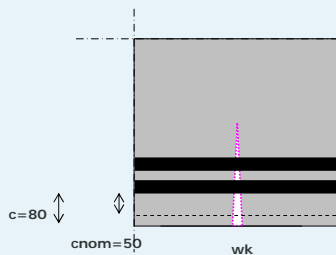
Eksempel, sænketunnel topdæk inderside

- For stor revnevidde => mere armering
 - Mere armering 2lag Ø32-150 + 1lag Ø25-150
 - Armeringsspænding, $\sigma_s = 160$ MPa
 - Armeringsmængde 80 kg/m³ (+20 kg/m³!)
 - w_k EC2:2004 0,24 mm



Eksempel, sænketunnel topdæk inderside

- For stor revnevidde => dæklagets betydning?
- $s_{r,max} = 3,4 \cdot c + 0,17 \cdot \sigma / \rho_{p,eff}$



Tabel 4.4N - Krav til værdier af minimumdæklag, $c_{min,sk}$, med hensyn til holdbarhed af armeringsstål i overensstemmelse med EN 10080

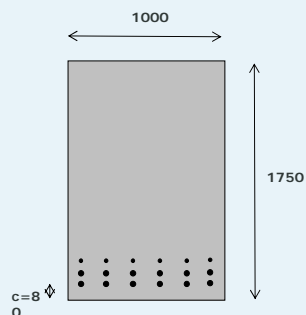
Konstruktionsklasse	Eksposeeringsklasse ifølge tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

50 års levetid (pointing to 40 mm in table)
 100 års levetid (pointing to 50 mm in table)

- Regningsmæssigt dæklag: 50 mm
- w_k EC2:2004 0,24 mm
- Uændret armeringsmængde (61 kg/m³)

Eksempel, sænketunnel bundplade yderside

- Geometri
 - Tværsnitshøjde 1750 mm
 - Normalkraft: 905 kN, Moment: 4660 kNm
 - Armering: 2lag Ø32-150 + 1lag Ø25-150
 - Armeringsmængde 63 kg/m³
 - Armeringsspænding, $\sigma_s=200$ MPa
- Revnevidder
 - w_k EC2:1991 0,20 mm
 - w_k DS411 0,20 mm
 - w_k EC2:2004 0,31 mm
- Mere armering: 1lag Ø40-150 + 2lag Ø32-150
 - Armeringsspænding, $\sigma_s=150$ MPa
 - Armeringsmængde 86 kg/m³
 - w_k EC2:2004 0,22 mm
- Regningsmæssigt dæklag: 50mm
 - w_k EC2:2004 0,22 mm

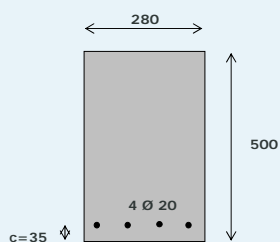


11 | Revner i Beton - Design og Betydning - Dansk Betonforening 2008.01.30
08.01.30 | Susanne Christiansen

COWI

Eksempel, bjælke

- Geometri
 - Tværsnitsdimension 500 mm x 280 mm
 - Moment: 100 kNm
 - Armering 4 Ø20
 - Dæklag: 35 mm
 - Armeringsspænding, $\sigma_s=195$ MPa
- Revnevidder
 - w_k EC2:1991 0,15 mm
 - w_k DS411 0,17 mm
 - w_k EC2:2007 0,16 mm



12 | Revner i Beton - Design og Betydning - Dansk Betonforening 2008.01.30
08.01.30 | Susanne Christiansen

COWI

Konklusion, Revneberegning

- Pas på med store dæklag!
 - Andre landes nationale annexer foreskriver en ændret beregning af revneafstanden
- Ellers god, anvendelig metode
 - EC2:1991 anvendt på projekt i Korea i stedet for AASHTO



Minimumsarmering

- DS411:

$$\rho = \frac{A_{s,min}}{A_{ct}} = \sqrt{\frac{\phi \cdot f_{ct,eff}}{4E_{sk} \cdot w_k}}$$

- Afhængig af:

- Revneviddekrav, w_k
- Armeringsdiameter, ϕ
- Elasticitetsmoduler, E_s
- Betonens trækstyrke, $f_{ct,eff}$

- EN 1992-1:2004

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$$

- Afhængig af:

- Armeringsspænding, σ_s
(i forhold til revneviddekrav)
- Faktor, k
 - $h=300 \Rightarrow k=1,0$
 - $h=800 \Rightarrow k=0,65$
- Faktor, k_c
 - Rent træk $\Rightarrow k_c=1,0$
 - Bøjning $\Rightarrow k_c=0,4$
- Betonens trækstyrke, $f_{ct,eff}$

Minimumsarmering

- Det grove revnesystem, rent træk
 - Dæklag, $c = 50 \text{ mm}$
 - Revneviddekrav, $w_k = 0,20 \text{ m}$
 - Armeringsspænding, $\sigma_s = 200 \text{ MPa}$
 - Betonstyrke, C35

	DS411		EC 2	
	h=300mm	Ø12-125	96 kg/m ³	Ø12-95
h=800mm	Ø20-100	127 kg/m ³	Ø20-150	85 kg/m ³
h=1200mm	Ø25-95	139 kg/m ³	Ø25-160	83 kg/m ³