

2G EUROKODER: BETONGDAMMAR

Fredrik Stenesand

Uppdragsledare och konstruktör, Tyréns Vattenbyggnad och Anläggningskonstruktion



GAP-Analys av 2:a Generationen Eurocode för betongdammar

Energiforsk Report 2025:1075

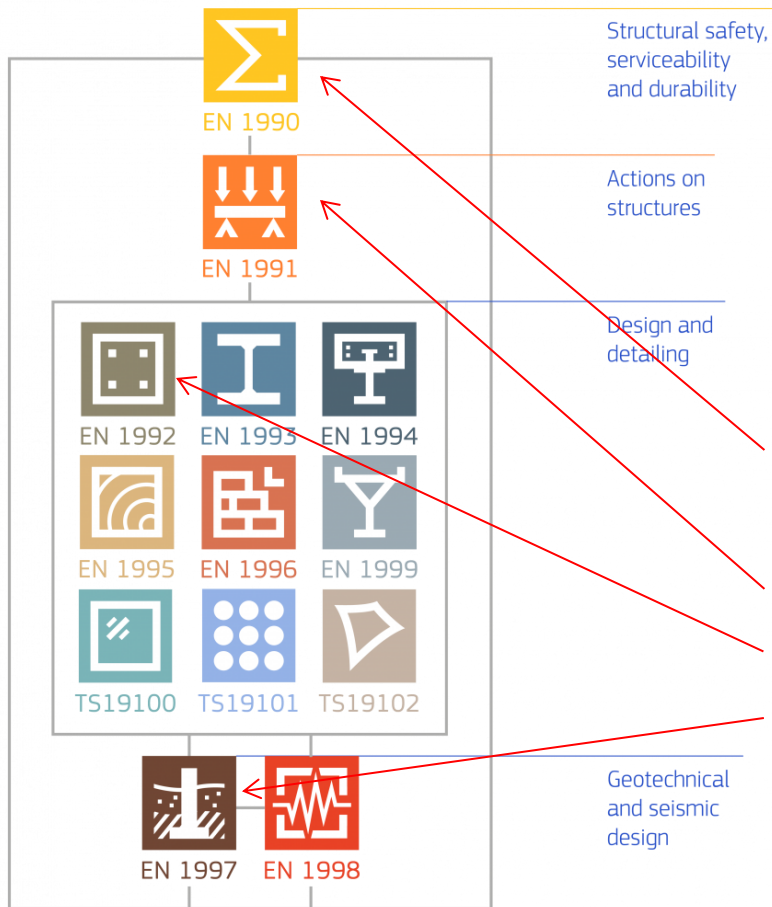
Mikael Hallgren och Fredrik Stenesand

Tyréns AB

2:a generationens Eurokoder (EK)

Samtliga 2:a generationens Eurokoder publiceras senast september 2027. Publicering har pågått sedan 2023.

De ersätter nuvarande 1:a generationen senast mars 2028.



Structural safety,
serviceability
and durability

Actions on
structures

Design and
detailing

Geotechnical
and seismic
design

Eurokoder som påverkar betongdammar:

- EN 1990 Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
- EN 1991 Laster på bärverk
- EN 1992 Betongkonstruktioner
- EN 1997 Dimensionering av geokonstruktioner

2G EK – BETONGDAMMAR

SS-EN 1990:2023

GRUNDLÄGGANDE DIMENSIONERINGSREGLER

EN 1990 inkluderar numera dammar!

Table A.1.1 (NDP) — Examples of buildings in different consequence classes

Consequence class	Description of consequence	Examples
CC4 ^a	Highest	Nuclear power plant, <u>dams</u>
CC3	High	Buildings or parts of buildings where a very large number of people could be affected by failure, e.g. grandstands, concert halls, high-rise buildings
CC2	Normal	Buildings or parts of buildings not covered by CC1 or CC3
CC1	Low	Buildings or part of buildings where very few people could be affected by failure, e.g. agricultural buildings, storage buildings
CC0 ^a	Lowest	Elements other than structural, see 3.1.1.7.

^a For provisions concerning CC0 and CC4, see 4.3.

Table A.1.9 (NDP) — Consequence factors for buildings and geotechnical structures

Consequence class (CC) ^a	Description of consequences	Consequence factor <u>k_F</u>
CC3	High	1,1
CC2	Normal	1,0
CC1	Low	0,9

^a The provisions in Eurocodes cover design rules for structures classified as CC1 to CC3, see 4.3.

Tyvär saknas rekommenderad faktor för CC4.
Vägledning finns i RIDAS TV9 (2020) där
korrektionsfaktorn $\gamma_k = 1,2$

$$k_F^{CC4} = 1,2 ?$$

2G EK – BETONGDAMMAR

SS-EN 1990:2023

GRUNDLÄGGANDE DIMENSIONERINGSREGLER

Action or effect				Partial factors γ_F and γ_E for verification cases				
Type	Group	Symbol	Resulting effect	Structural resistance ^a	Static equilibrium and uplift ^b		Geotechnical design	
Verification case				VC1 ^a	VC2(a) ^b	VC2(b) ^b	VC3 ^c	VC4 ^d
Permanent action (G_k)	All ^f	γ_G	unfavourable	$1,35k_F$	$1,35k_F$	1,0	1,0	G_k is not factored
	Water ^l	γ_{Gw}	/destabilizing	$1,2k_F$	$1,2k_F$	1,0	1,0	
	All ^f	$\gamma_{G,stab}$	stabilizing ^g	not used	1,15 ^e	1,0	not used	
	Water ^l	$\gamma_{Gw,stab}$			1,0 ^e	1,0		
	All	$\gamma_{G,fav}$	favourable ^h	1,0	1,0	1,0	1,0	
Prestressing (P_k)		γ_P^k						
Variable action (Q_k)	All ^f	γ_Q	unfavourable	$1,5k_F$	$1,5k_F$	$1,5k_F$	1,3	$\gamma_{Q,red}^j$
	Water ^l	γ_{Qw}		$1,35k_F$	$1,35k_F$	$1,35k_F$	1,15	1,0
	All	$\gamma_{Q,fav}$	favourable	0				
Effects of actions (E)		γ_E	unfavourable	γ_E is not applied				$1,35k_F$
		$\gamma_{E,fav}$	favourable					1,0

Nya lastfaktorer för vattentryck!

I första generationens utgåva av SS-EN 1990:2002 så gäller vanliga lastfaktorer för vattentryck, dvs 1,35 för permanent last och 1,50 för variabel last.

Detta innebär ca 10-12% reduktion av lasteffekt i ULS.

- **Nya bestämmelser som främjar klimatförbättrade betongkonstruktioner:**
- Nu tillåts en referensålder på upp till 91 dagar för att utnyttja den långsammare hållfasthetstillväxten med alternativa bindemedel såsom FA, GGBS etc.
- Exponeringsmotståndsklasser (ERC) kompletterar exponeringsklasser och ger riktlinjer för bedömning av betongens beständighet för både OPC-betong och SCM-betong.
- Dimensioneringsregler för betongkonstruktioner med återvunnen ballast.
- Ny bilaga för bärighetsberäkningar av befintliga konstruktioner - återanvändning!



2G EK2 – BETONGDAMMAR EXPONERINGSMOTSTÅNDSKLASSER (ERC)

- Betongens beständighet bestäms utifrån dess prestanda => öppnar för nya sorters betong med alternativa bindemedel

Täckande betongskikt för karbonatisering (XRC)

ERC	Exposure class (carbonation)							
	XC1		XC2		XC3		XC4	
	Design service life (years)							
	50	100	50	100	50	100	50	100
XRC 0,5	10	10	10	10	10	10	10	10
XRC 1	10	10	10	10	10	15	10	15
XRC 2	10	15	10	15	15	25	15	25
XRC 3	10	15	15	20	20	30	20	30
XRC 4	10	20	15	25	25	35	25	40
XRC 5	15	25	20	30	25	45	30	45
XRC 6	15	25	25	35	35	55	40	55
XRC 7	15	30	25	40	40	60	45	60

NOTE 1 XRC classes for resistance against corrosion induced by carbonation are derived from the carbonation depth [mm] (characteristic value 90 % fractile) assumed to be obtained after 50 years under reference conditions (400 ppm CO₂ in a constant 65 %-RH environment and at 20 °C). The designation value of XRC has the dimension of a carbonation rate [mm/√(years)].

NOTE 2 The recommended minimum concrete cover values $c_{min,dur}$ assume execution and curing according to EN 13670 with at least execution class 2 and curing class 2.

NOTE 3 The minimum covers can be increased by an additional safety element $\Delta c_{dur,y}$ considering special requirements (e.g. more extreme environmental conditions).

2G EK2 – BETONGDAMMAR

MINIMIARMERING FÖR SPRICKKONTROLL

➤ Minimiarmering för att **undvika flytspänning** i armering

- Balans ska finnas mellan betongspänning vid uppsprickning och stålspänning vid flytgräns (f_{yk}). Beräknas på hela den dragna betongarean A_c .

(i) For pure bending:

$$A_{s,min,w1} \geq \frac{0,2k_h f_{ct,eff} A_c}{f_{yk}}$$

(ii) For pure tension:

$$A_{s,min,w1} = A_{s,min,w2} \geq \frac{0,5k_h f_{ct,eff} A_c}{f_{yk}}$$

$$k_h = 0,8 - 0,6(\min\{b; h\} - 0,3) \begin{cases} \leq 0,8 \\ \geq 0,5 \end{cases}$$

➤ Minimiarmering för **sprickviddsbegränsning**

- Gäller endast för betongens effektiva dragzon och $\sigma_{s,lim} = f[w_{lim,calc}]$

a) For pure bending:

$$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \frac{h - h_{c,eff}}{h} f_{ct,eff} A_{c,eff}}{\sigma_{s,lim}}$$

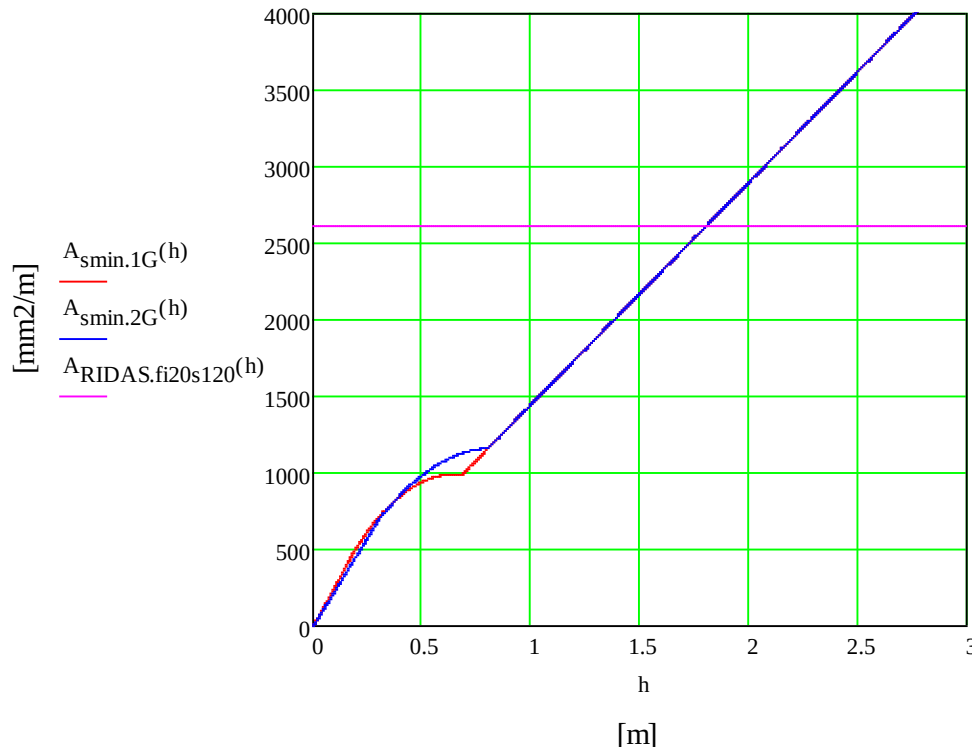
b) For pure tension:

$$A_{s,min,w1} = A_{s,min,w2} = \frac{f_{ct,eff} A_{c,eff}}{\sigma_{s,lim}}$$

$$\sigma_{s,lim} \leq k_{\sigma 1} f_{ct,eff} \cdot \left(\frac{1}{\phi} \right) \left(-c + \sqrt{c^2 + k_{\sigma 2} \frac{E_s \cdot w_{lim,cal} \cdot \phi}{k_w \cdot k_{1,simpl} \cdot f_{ct,eff}}} \right)$$

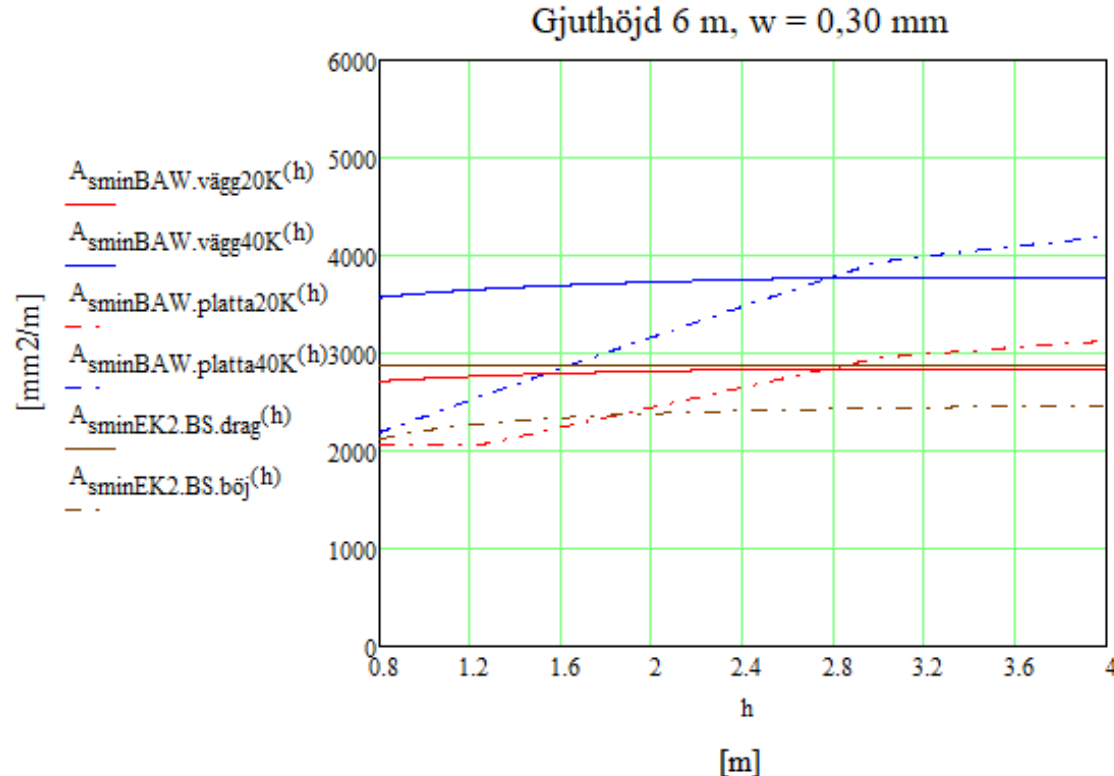
2G EK2 – BETONGDAMMAR MINIMIARMERING FÖR ATT UNDVIKA FLYTSPÄNNING

**Jämförelse mellan
1G EK2 (EKS),
2G EK2
samt RIDAS**



2G EK2 – BETONGDAMMAR MINIMIARMERING FÖR BEGRÄNSNING AV SPRICKVIDD

Jämförelse mellan EK2 och RIDAS (BAW)



2G EK2 – BETONGDAMMAR MINIMIARMERING FÖR ROBUSTHET

➤ Generellt skrivet krav

- Böjning med eller utan normalkraft (ULS):

$$M_{R,min}(N_{Ed,min}) \geq M_{cr}(N_{Ed,min})$$

- Rent drag:

$$A_{s,min} = A_c \cdot f_{ctm}/f_{yk}$$

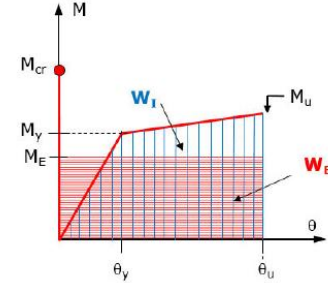
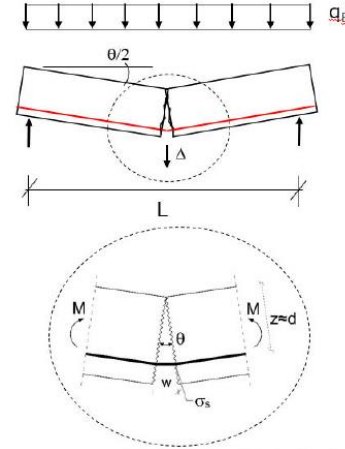
- Statiskt bestämda konstruktioner som ej erfordrar sprickviddsbegränsning:

$$M_{Rd,min}(N_{Ed}) = k_{dc} \cdot M_{Ed}$$

$$k_{dc} = 1,3 \text{ for ductility class A;}$$

$$k_{dc} = 1,1 \text{ for ductility class B;}$$

$$k_{dc} = 1,0 \text{ for ductility class C.}$$



➤ Tvärkraftskapacitet

- Ny dimensioneringsmetod baserad på en mekanisk modell – Critical Shear Crack Theory (CSCT)
- Inverkan av det effektiva skjuvspannet beaktas, vilket höjer kapaciteten nära fritt upplagda stöd. (a_{cs})
- Tar hänsyn till stenstorlek och friktion i skjuvsprickan (d_{dg}),
- Tar hänsyn till tvärsnittets storlekseffekt (d_{dg}/d)^{1/3}



$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,66}{\gamma_v} \cdot \left(100\rho_1 \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{a_v} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$a_v = \sqrt{\frac{a_{cs}}{4} \cdot d} \quad a_{cs} = \left| \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \right| \geq d$$

2G EK2 – BETONGDAMMAR FÖRANKRING OCH SKARVNING

- Vidhäftningskonceptet har ersatts med en enklare faktormetod:

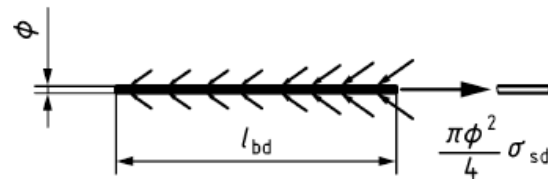
Table 11.1 (NDP) — Anchorage length of straight bars divided by diameter l_{bd}/ϕ

ϕ [mm]	Anchorage length l_{bd}/ϕ							
	f_{ck}							
	20	25	30	35	40	45	50	60
≤ 12	47	42	38	36	33	31	30	27
14	50	44	41	38	35	33	31	29
16	52	46	42	39	37	35	33	30
20	56	50	46	42	40	37	35	32
25	60	54	49	46	43	40	38	35
28	63	56	51	47	44	42	40	36
32	65	58	53	49	46	44	41	38

NOTE The values of Table 11.1 (NDP) are derived from Formula (11.3).

Tabell gäller för:

$c_d \geq 1,5\phi$, $\sigma_{sd} = 435$ MPa
och god vidhäftning



NDPs: $k_{lb} = 50$; $n_\sigma = 1,5$

God vidhäftning: $k_{cp} = 1,0$

Dålig vidhäftning: $k_{cp} = 1,2$

Skarvlängd: $l_{sd} = k_{ls} \cdot l_{bd}$

NDP: $k_{ls} = 1,2$

$$l_{bd} = k_{lb} \cdot k_{cp} \cdot \phi \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{435}\right)^{n_\sigma} \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\phi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\phi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} \geq 10\phi$$

2G EK2 – BETONGDAMMAR

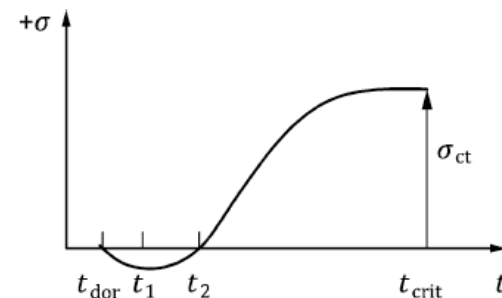
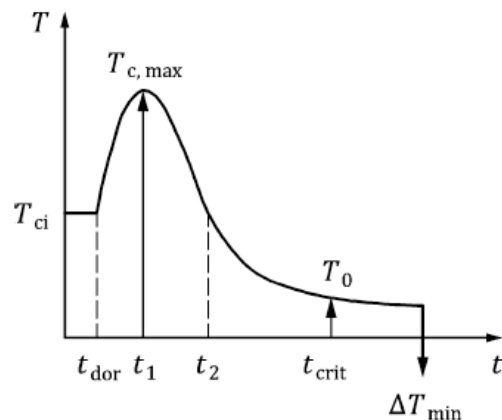
VATTENTÄTHET

- TC1, $w_{k,lim1}$ gäller för genomgående sprickor
- Sprickvidden begränsas till en kvot, h_D/h , mellan vattenpelarens höjd h_D och betongens tvärsnittstjocklek h :
 - för $h_D/h \leq 5$: $w_{k,lim,1} = 0,20$ mm;
 - för $h_D/h \geq 35$: $w_{k,lim,1} = 0,05$ mm.
- För konstruktioner i TC 2 eller TC 3 där genomgående sprickor inte tillåts ska tryckzonen vara minst x_{min} i kvasipermanent lastkombination.
- x_{min} är det mindre av 50 mm eller $0,2h$

Table H.1 — Classification of tightness

Tightness Class	Requirements for leakage
TC 0	Some degree of leakage acceptable, or leakage of water irrelevant.
TC 1	Leakage to be limited to a small amount. Some surface staining or damp patches acceptable.
TC 2	Leakage to be minimal. Appearance not to be impaired by staining.
TC 3	No leakage is permitted.

2G EK2 – BETONGDAMMAR UPPSPRICKNING AV TVÄNG I UNG ÅLDER SAMT EFTER LÅNG TID



for early-age cracking:

$$R_{ax}\varepsilon_{free} = R_{ax,1}(k_{Temp}\alpha_{cth}(T_{c,max}-T_0)+[\varepsilon_{cbs}(t_{crit})-\varepsilon_{cbs}(t_2)])$$

for long-term cracking:

$$R_{ax}\varepsilon_{free} = R_{ax,1}(k_{Temp}\alpha_{cth}(T_{c,max}-T_0)+[\varepsilon_{cbs}(t)-\varepsilon_{cbs}(t_2)]) \\ + R_{ax,2}\alpha_{cth}\Delta T_{min} + R_{ax,3}\cdot[\varepsilon_{cds}(t)-\varepsilon_{cds}(t_2)]$$

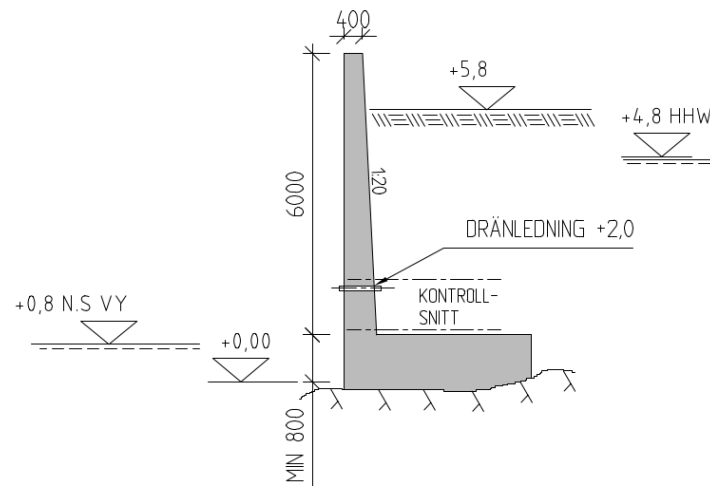
$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = R_{ax}\varepsilon_{free} - k_t \frac{f_{ct,eff}}{E_{cm}} \geq 0$$

$$s_{r,m,cal} = 1,5 \cdot c + \frac{k_{fl} \cdot k_b}{7,2} \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} \leq \frac{1,3}{k_w} (h - x)$$

$$w_{k,cal} = k_w \cdot k_{1/r} \cdot s_{r,m,cal} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

FALLSTUDIE 1: LEDMUR

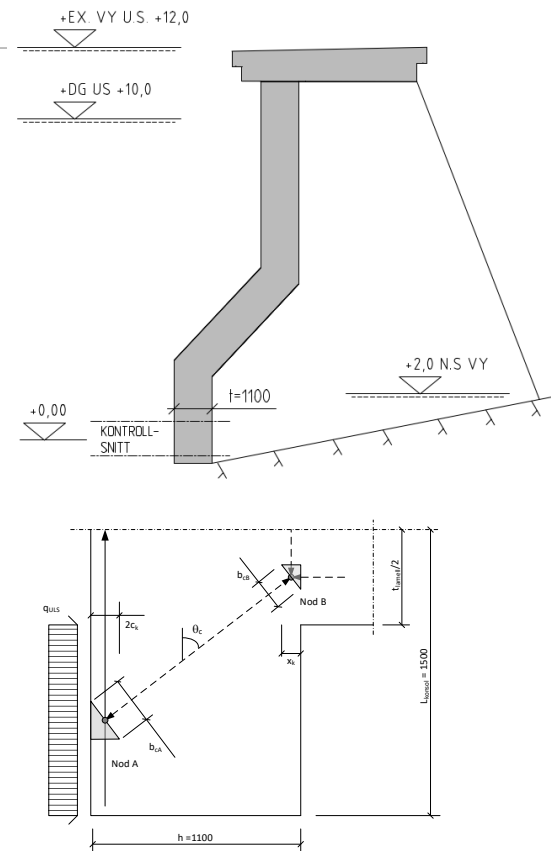
Resultat	Unit	EC2:2005/ RIDAS/EKS	EC2:2023	+/- %
Vertikal armering				
A_s ULS	cm^2/m	9,9	9,9	0 %
A_s SLS (sprickvidd)	cm^2/m	13,0	11,7	-10 %
$A_{s,\min}$ (robusthet)	cm^2/m	9,7	8,3	-14 %
Horisontell armering:				
$A_{s,\min}$ ($\sigma = f_{yk}$)	cm^2/m	10,2	11,4	12 %
$A_{s,\min}$ (limit w_k)	cm^2/m	25,4	30,5	20 %
A_s (limit w_k , tvång)			14,9	-41 %
Tvärkraft:				
$V_{Ed}/V_{Rd,c}$ (utnyttjandegrad)	-	0,78	0,66	-15%
Anchorage length, l_{bd}	mm	618	790	28%
Lap length, l_{sd}	mm	927	948	2%



FALLSTUDIE 2: FRONTPLATTA I LAMELLDAMM



Resultat	Enhet	EC2:2005/ RIDAS/EKS	EC2:2023	+/- %
Horisontell armering				
A_s^s ULS	cm^2/m	29,7	29,7	0%
A_s^s SLS (sprickvidd)	cm^2/m	55,0	50,6	-8%
$A_{s,\min}$ (robusthet)	cm^2/m	16,8	14,9	-11%
$A_{s,\min}$ ($\sigma_s = f_{yk}$)	cm^2/m	17,6	17,6	0%
$A_{s,\min}$ (limit w_k)	cm^2/m	43,8	42,6	-3%
ϕ (kryptal)	-	1,752	1,969	12%
Tvärkraft:				
$V_{Ed}/V_{Rd,c}$ (utnyttjandegrad)	-	1,16	1,23	6%
A_{sw} (erfordrad armering)	cm^2/m	9,47	9,47	0%
Förankringslängd, l_{bd}	mm	772	985	28%
Skarvlängd l_{sd}	mm	1158	1182	2%
Konsol fackverksmetod:				
$\sigma_c/\sigma_{cmaxCCT}$ (CCT-nod)	-	0,0834	0,0871	4%
$\sigma_c/\sigma_{cmaxCCC}$ (CCC-nod)	-	0,1064	0,0915	-14%
$A_{s,konsol}$ (erf. armering.)	cm^2/m	4,91	4,91	0%



SLUTSATSER

- **2G EK 0: Grundläggande dimensioneringsregler – påverkan på betongdammar**
 - Inkluderar nu explicit dammar
 - Ny konsekvensklass CC4 som skall användas för dammar
 - Reducerad lastfaktor för vattentryck, såväl permanent som variabel last
- **2G EK 2: Betongkonstruktioner– påverkan på betongdammar**
 - Öppnar för större användning av klimatförbättrad (SCM) betong.
 - Små skillnader i ULS jämfört med första generationen.
 - Rimliga mängder minimiarmering
 - Nya dimensioneringsmetoder för uppsprickning i ung ålder samt för lång tid.
 - Ny dimensioneringsmetod för vattentäthet
 - Längre förankringslängder (vilket förhoppningsvis justeras i Sveriges NDP)

TACK FÖR ATT NI LYSSNADE

Fredrik.stenesand@tyrens.se

www.tyrens.se

