



Betons styrkevariation

Søren H Rasmussen
Portland Open 8. juni 2017

- Hvilke betonparametre er væsentlige for betonstyrkens variation?
 - Bolomeys formel og fejl-ophobningsreglen
 - Cementstyrkens variation
 - Luft, vand og andre parametre
 - Metode usikkerhed
- Hvordan dokumenteres betonens trykstyrken?
 - DS/EN 206
 - DS 2426 Annex X
- Hvilken konsekvens har betonstyrkens variation for den nødvendige middelstyrke?

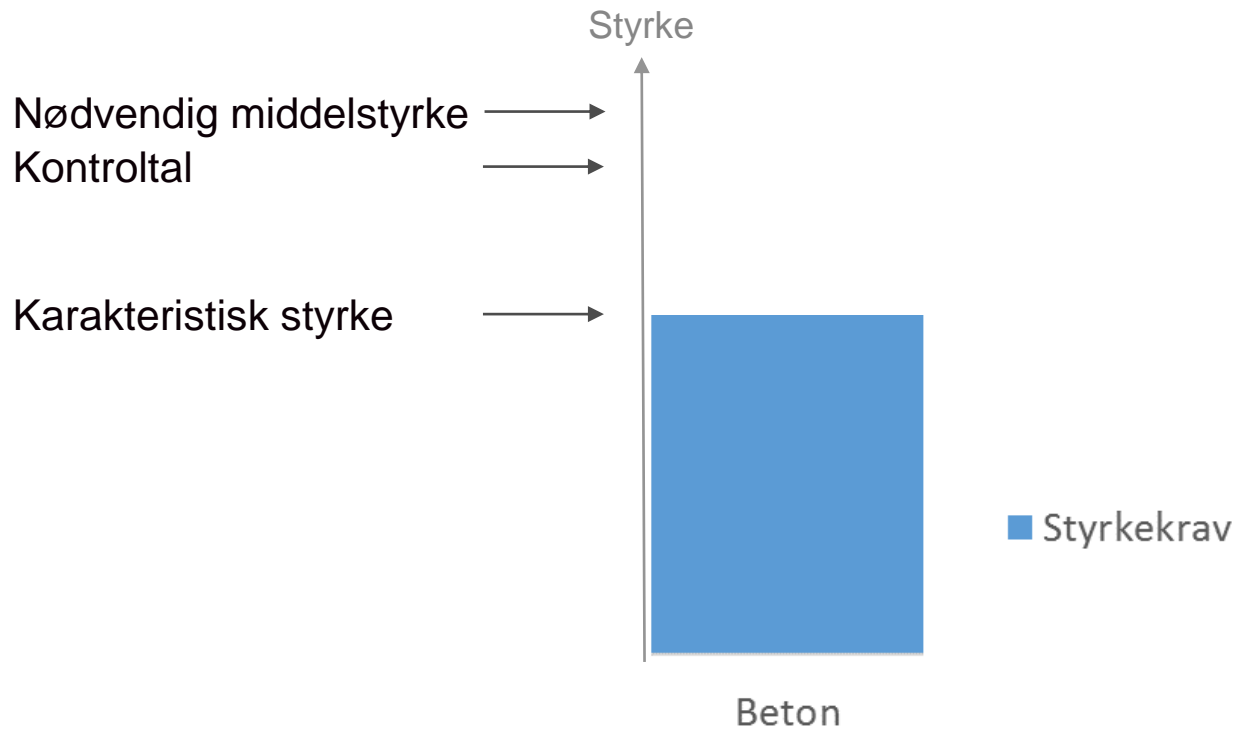


STS

Hvilken metode anvender I til dokumentation af betonens trykstyrke?

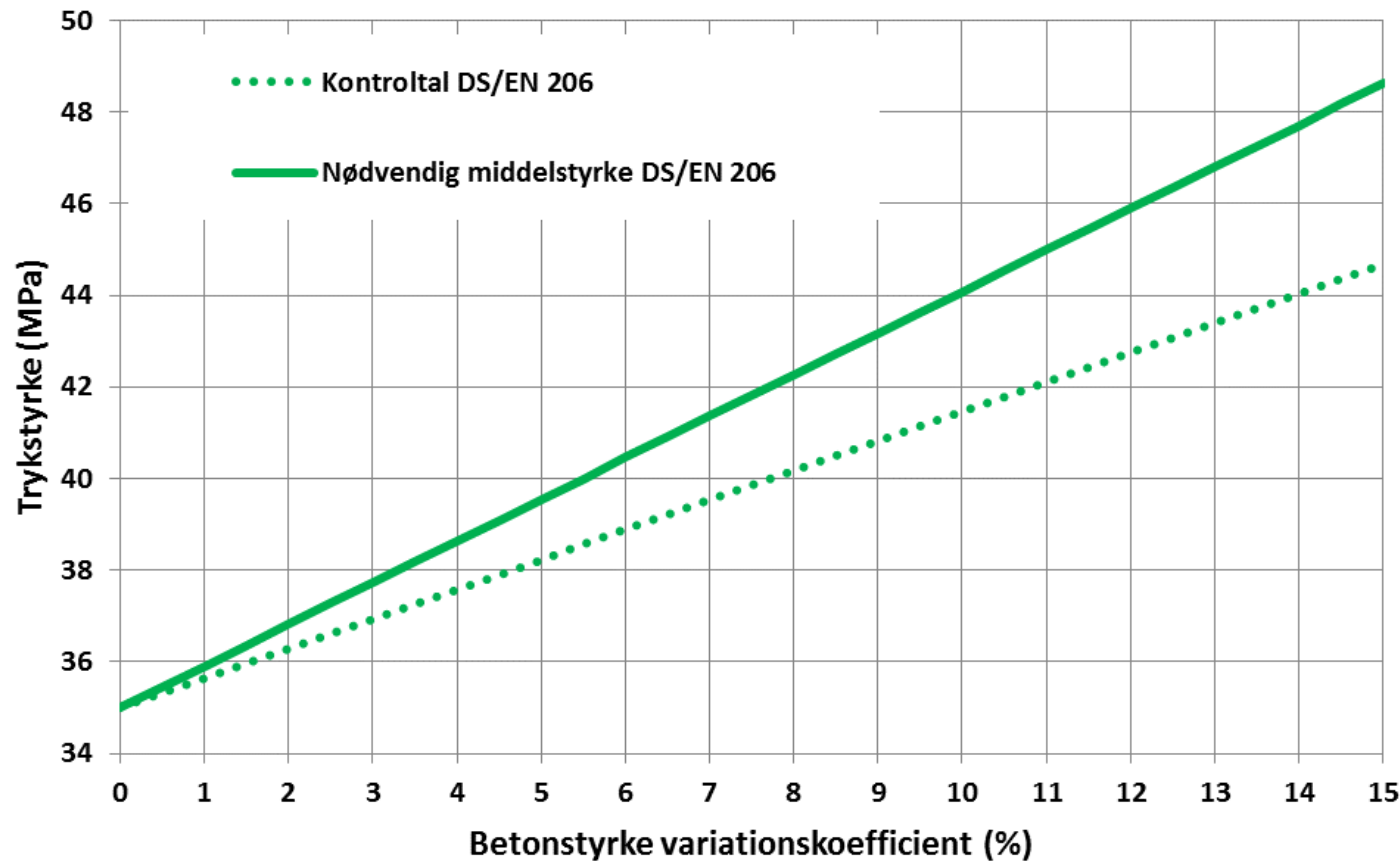
1. DS/EN 206 metoden
2. DS 2426 anneks X metoden
3. Ved det ikke

Spg. 1. Betons styrkevariation/SHR

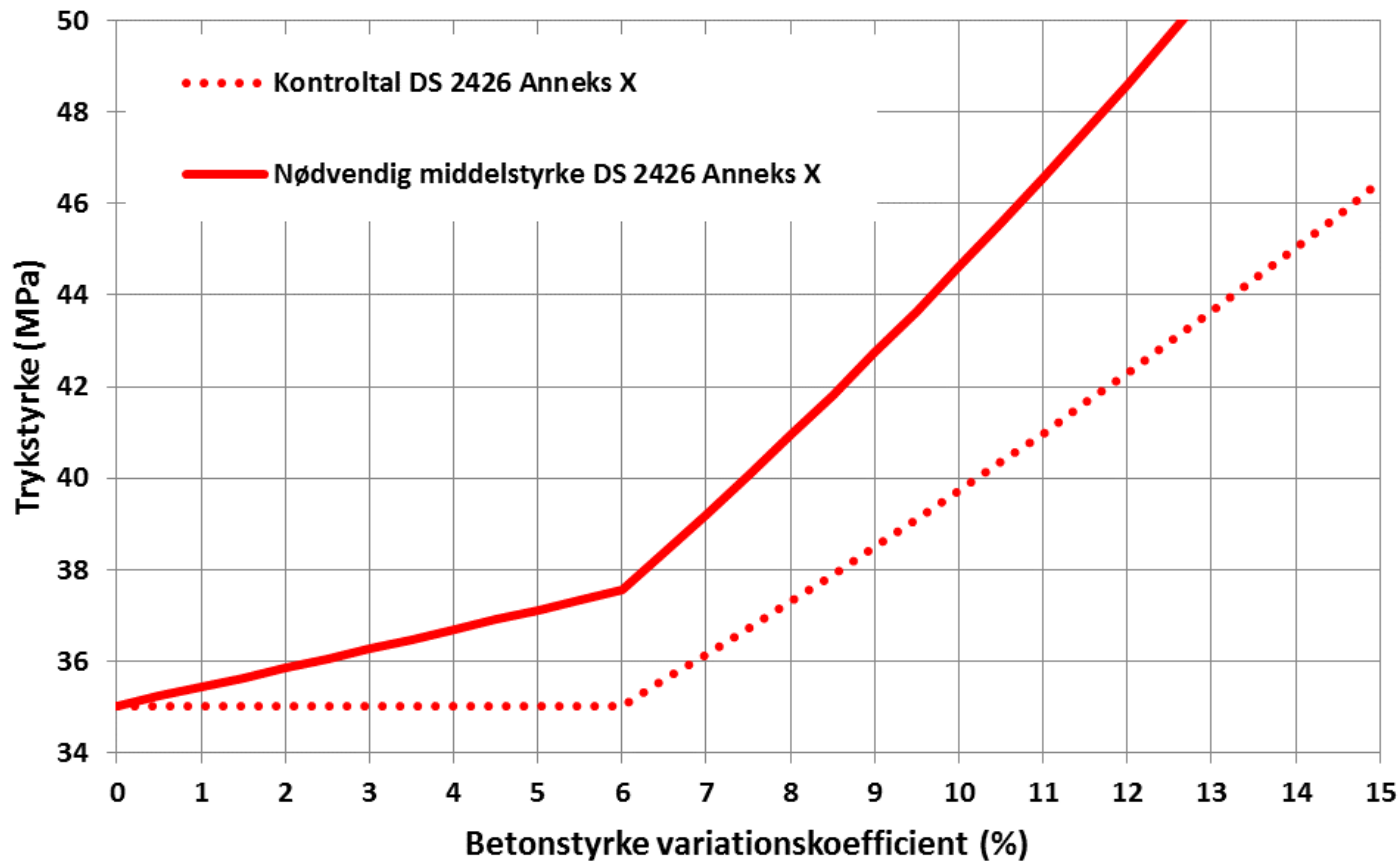


Dokumentationsmetode	Kontroltal	Nødvendig middelstyrke (maks 1% kassation)
DS/EN 206	$F_{Krav} + 1,48 \times S$	$F_{Kontroltal} + 2,33 \times \frac{S}{\sqrt{15}}$
DS 2426 Anneks X	$F_{Krav} \times EXP[0,0314 \times VK - 0,1875]$	$F_{Kontroltal} \times EXP\left[0,0233 \times \frac{VK}{\sqrt{4}}\right]$

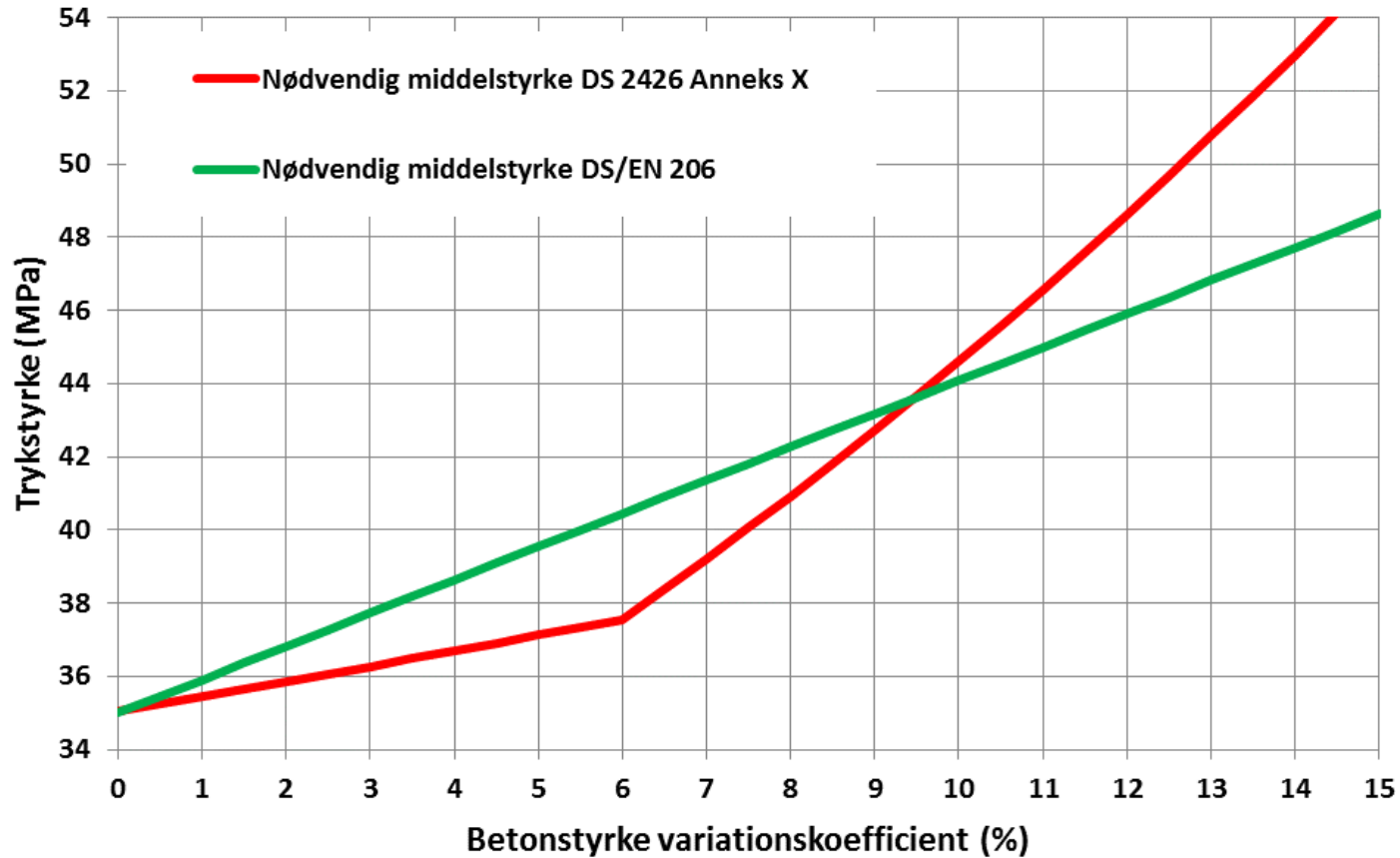
Nødvendig middelstyrke (1% kassation) og kontroltal for styrkeklasse 35



Nødvendig middelstyrke (1% kassation) og kontroltal for styrkeklasse 35



Nødvendig middelstyrke (1% kassation) for styrkeklasse 35



Hvilke forhold har betydning for variationer i betonens målte trykstyrke?

- » Vandindhold
- » Luftindhold
- » Cementindhold og cementstyrke
- » Puzzolaner og aktivitetsfaktorer
- » Kalkfiller
- » Tilslag
- » Usikkerhed ved prøvningsmetoden

Bolomeys korrigerede formel kan anvendes til at vurdere størrelsen af de enkelte parametres indflydelse på styrkevariationen.

Bolomeys korrigerede formel:

$$F = K \times \left(\frac{1}{\left(\frac{V}{C * k_c + FLA * k_{fla}} \right) - \alpha} \right) \times (1 - (\text{Luft} - L_0) \times L_F)$$

F = trykstyrke

K = konstant

L₀ = naturligt luftindhold

L_F = styrkereduktion pga. luft

α = konstant

V = vandindhold

C = cementindhold

k_c = cementens aktivitetsfaktor

FLA = flyveaskeindhold

k_{fla} = flyveaskens aktivitetsfaktor

Luft = luftindhold

Udover den reelle variationer i betonstyrken så er den målte styrke også påvirket af usikkerhed fra prøvningsmetoden.

Usikkerheden skyldes bl.a.:

- » Trykpressens nøjagtighed
- » Temperaturvariationer for vandlagringskar
- » Variation ved støbning af cylinder
- » Antal emner der trykprøves

Den samlede variansen for betonens målte styrke kan udtrykkes:

$$S_{\text{Beton}}^2 = S_{\text{Styrke}}^2 + S_{\text{Prøvning}}^2$$

Betonens variationskoefficient er:

$$\text{VK} = \frac{S_{\text{Beton}}}{\bar{X}} \times 100$$

Hvad er den typiske variationskoefficient for styrken for jeres beton?

1. 4-6%
2. 7-9%
3. 10-12%
4. Ved det ikke

Spg. 2. Betons styrkevariation/SHR

Eksempel med styrkeklasse 35 beton

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300				
C "aktivitetsfaktor"	-	1				
Flyveaske	kg/m ³	50				
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160				
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

I Bolomeys formel er anvendt: $K = 38$ $L_0 = 1$ $L_F = 0,05$ $\alpha = 0,5$

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300		1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1				
Flyveaske	kg/m ³	50				
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160				
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1				
Flyveaske	kg/m ³	50				
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160				
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1				
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160				
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1				
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1		2,4		
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

Cementproduktdata

- For hver cementtype er der kvalitetsmål for middelstyrke og for maksimum tilladelig variation.
- For Basis-Cement gælder:
Middelstyrke = 67 MPa
Maks spredning = 2,0 MPa
Maks var.koefficient = 3,0 %
- Kvalitetsmålene for cementstyrken fremgår indirekte af Produktdatabladet

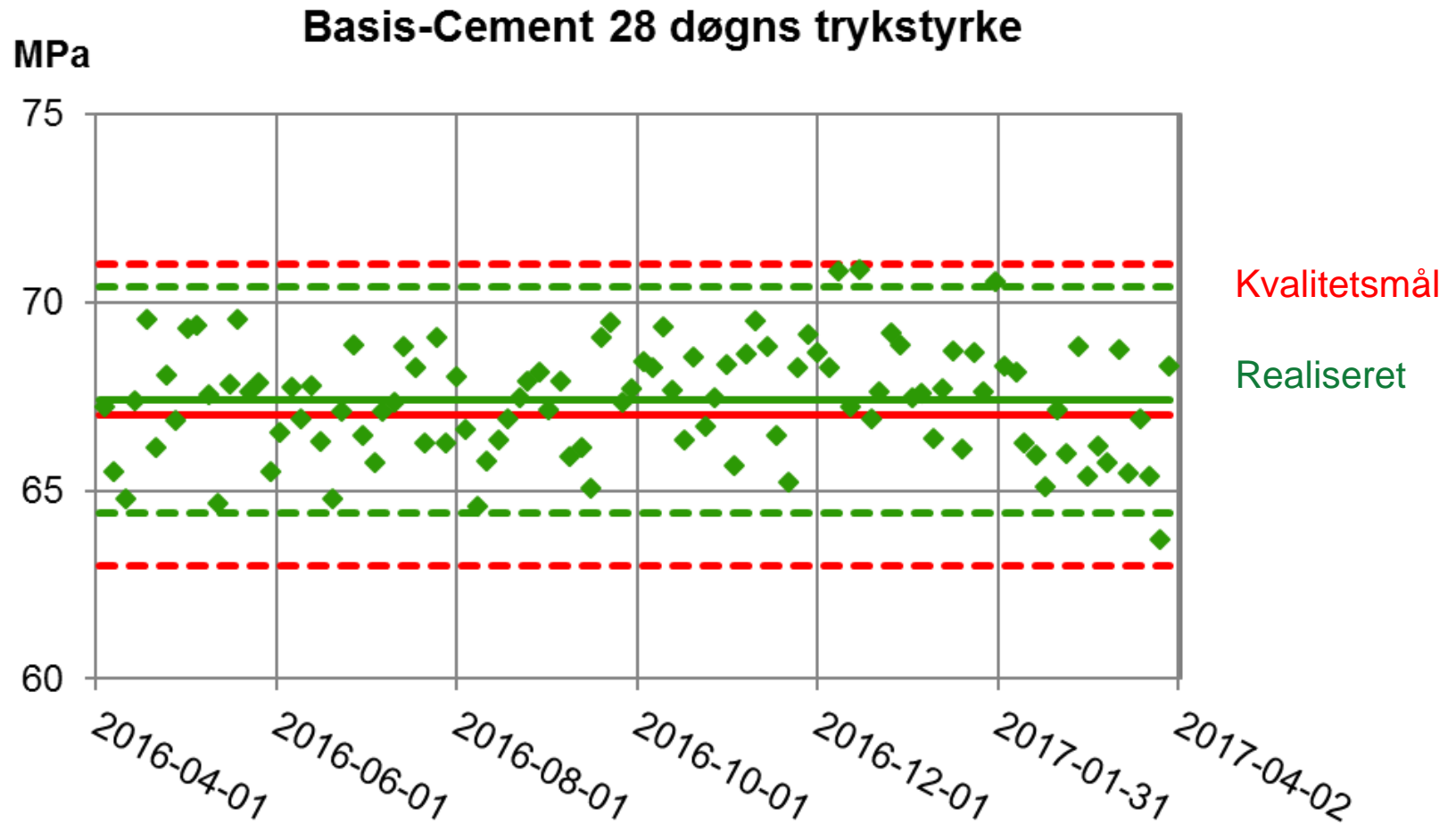
BASIS® cement

BASIS® cement er certificeret hos Bureau Veritas Certification med certifikat nr. 0615-CPR-9806 og cementbetegnelsen CEM II/A-LL 52,5 R (LA)

Middel \pm 2 x spr.

		Typisk værdi	Erklæret værdi	Krav iht. DS/EN 197-1:2011 *) DS/INF 135
Fysiske egenskaber				
Trykstyrke, 1 døgn	MPa	25 - 31		
Trykstyrke, 2 døgn	MPa	38 - 46		≥ 30,0
Trykstyrke, 7 døgn	MPa	52 - 60		
Trykstyrke, 28 døgn	MPa	63 - 71		≥ 52,5
Begyndende afbinding	min	100 - 160		≥ 45
Vandbehov	%	30		
Volumenbestandighed	mm	0,5		≤ 10
Finhed	m ² /kg	600		
Refleksion, (DIN 5033)	%	36		
Absolut densitet	kg/m ³	3070		
Bulkdensitet	kg/m ³	1030		
Kalkfiller	%	15		
Varmeudvikling Q _∞	kJ/kg	350		
Alfa		1,15		
Tau	timer	11,4		
Boguesammensætning for klinker				
C ₃ S	%	66		
C ₂ S	%	9		
C ₃ A	%	8		
C ₄ AF	%	12		
Kemiske egenskaber				
SO ₃	%	3,3		≤ 4,0
MgO	%	1,0		
Na ₂ O ækv. syreopl.	%		≤ 0,6	≤ 0,6*)
Cl ⁻	%		≤ 0,08	≤ 0,10
Vandopløseligt Cr ⁶⁺	mg/kg	≤ 2		

For egenskaber, hvor der er angivet variationsområde, er sandsynligheden for, at en værdi falder uden for, mindre end 5 %.



$$S_{Cement}^2 = S_{Styrke}^2 + S_{Prøvning}^2$$

Prøvningsstandarden DS/EN 196-1 opgiver at de bedste laboratorier kan opnå en repeterbarhed på 2,5%.

Cement og Betonlaboratoriet i Aalborg opnår en repeterbarhed på 1,8%

Den maksimale spredning og variationskoefficient for cementstyrken kan derfor beregnes til:

$$S_{Styrke} = \sqrt{S_{Cement}^2 - S_{Prøvning}^2} = \sqrt{(2,0)^2 - \left(\frac{1,8}{100} \times 67\right)^2} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$VK_{Styrke} = \frac{S_{cem \text{ akt}}}{\bar{X}} \times 100 = \frac{1,6}{67} \times 100 = 2,4 \%$$

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1		2,4		
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1	0,024	2,4		
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5				
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1	0,024	2,4		
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5	0,025	5,0		
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6				
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1	0,024	2,4		
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5	0,025	5,0		
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6	0,6	10,0		
Metodeusikkerhed	MPa	-				
Styrke	MPa	43,6				

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1	0,024	2,4		
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5	0,025	5,0		
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6	0,6	10,0		
Metodeusikkerhed	MPa	-	1,3	3,0		
Styrke	MPa	43,6				

Eksempel med styrkeklasse 35 beton

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5		
C "aktivitetsfaktor"	-	1	0,024	2,4		
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0		
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5	0,025	5,0		
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0		
Luft	%	6	0,6	10,0		
Metodeusikkerhed	MPa	-	1,3	3,0		
Styrke	MPa	43,6	2,9	6,7		

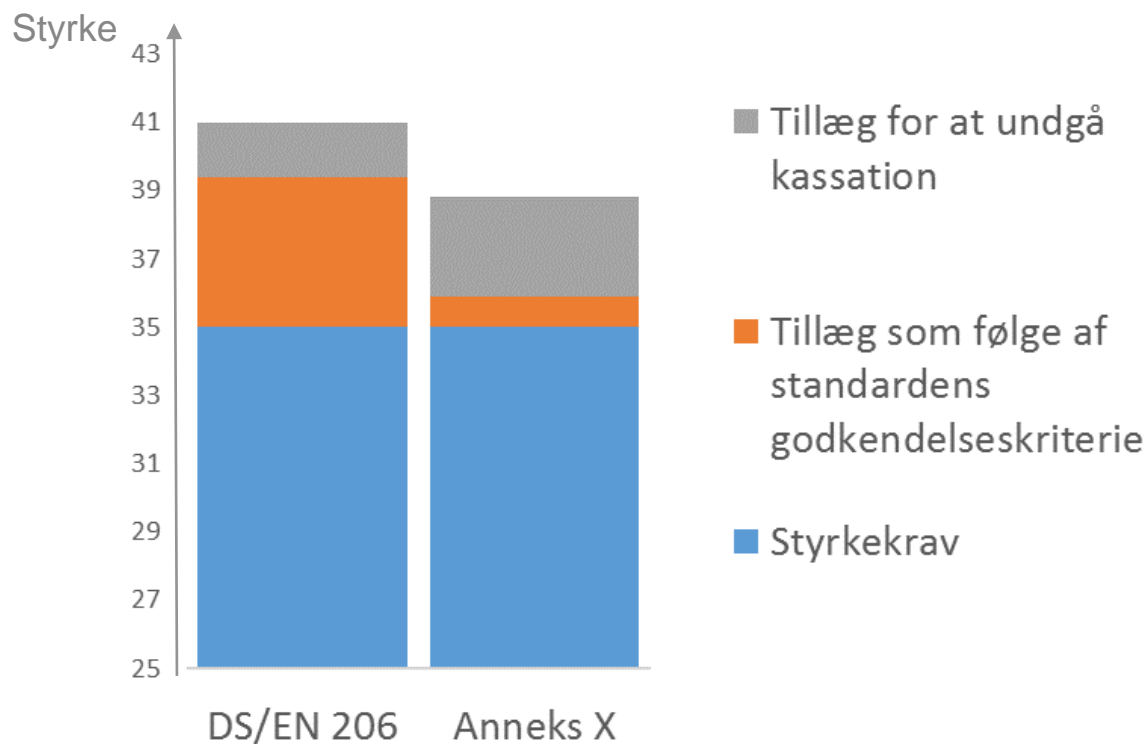
Eksempel med styrkeklasse 35 beton

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5	0,64	
C "aktivitetsfaktor"	-	1	0,024	2,4	1,64	
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0	0,01	
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5	0,025	5,0	0,05	
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0	1,34	
Luft	%	6	0,6	10,0	3,05	
Metodeusikkerhed	MPa	-	1,3	3,0	1,69	
Styrke	MPa	43,6	2,9	6,7	8,4	

Eksempel med styrkeklasse 35 beton

		Middel- værdi	Spredning	Variations- koefficient (%)	Bidrag til samlet varians	% af samlet varians
Cement	kg/m ³	300	4,5	1,5	0,64	8
C "aktivitetsfaktor"	-	1	0,024	2,4	1,64	20
Flyveaske	kg/m ³	50	1,0	2,0	0,01	0
FLA aktivitetsfaktor	-	0,5	0,025	5,0	0,05	1
Vand	kg/m ³	160	3,2	2,0	1,34	16
Luft	%	6	0,6	10,0	3,05	36
Metodeusikkerhed	MPa	-	1,3	3,0	1,69	20
Styrke	MPa	43,6	2,9	6,7	8,4	100

Eksempel med styrkeklasse 35 beton



Dokumentationsmetode

Kontroltal

**Nødvendig middelstyrke
(maks 1% kassation)**

DS/EN 206

39,3 MPa

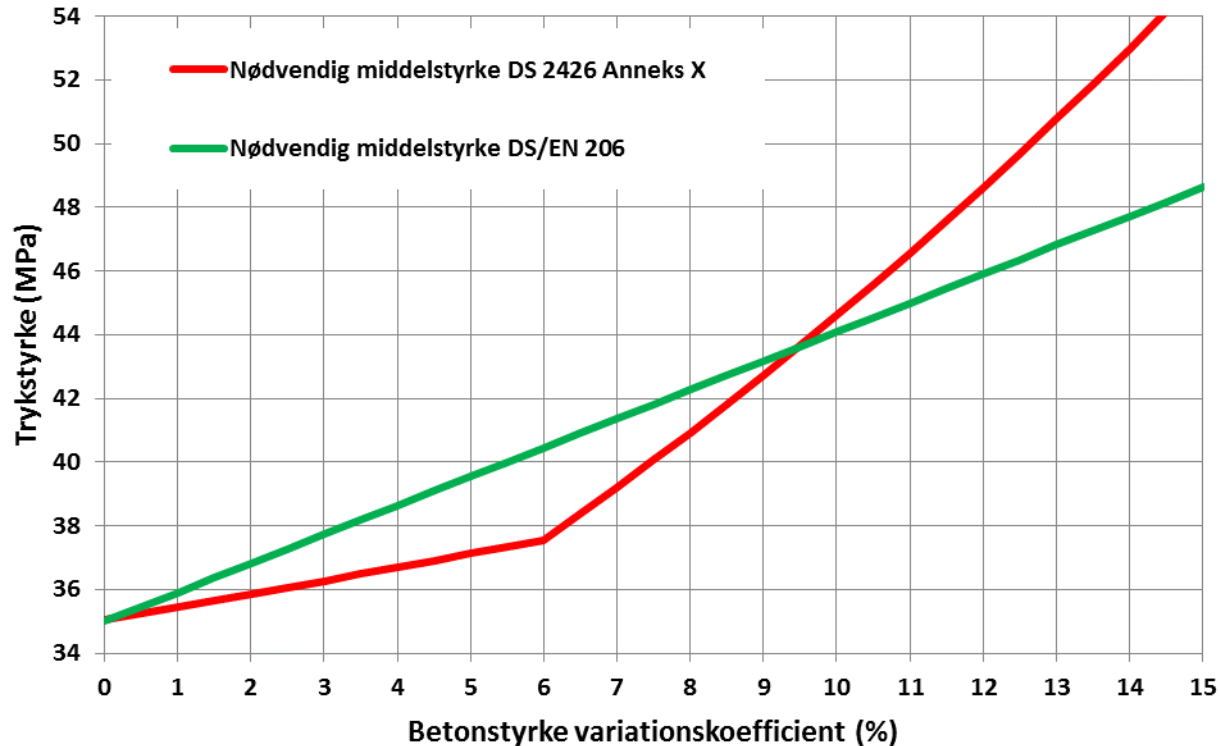
41,0 MPa

DS 2426 Anneks X

35,9 MPa

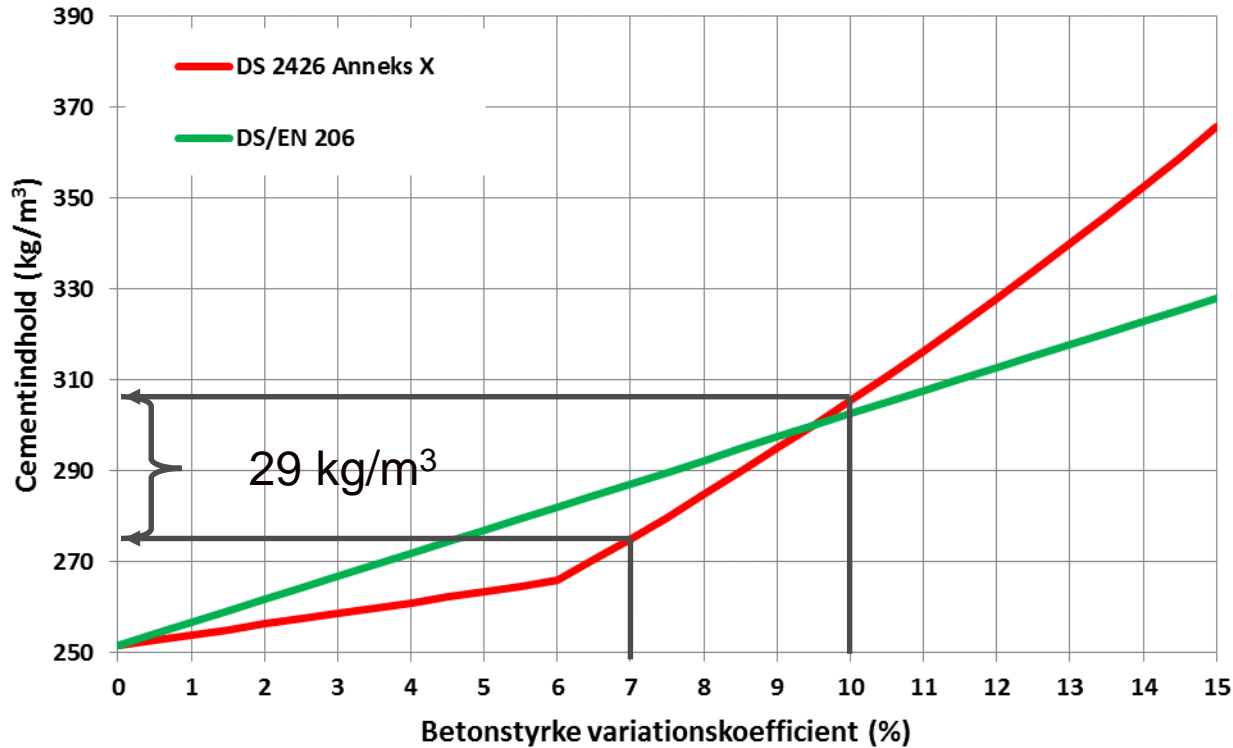
38,8 MPa

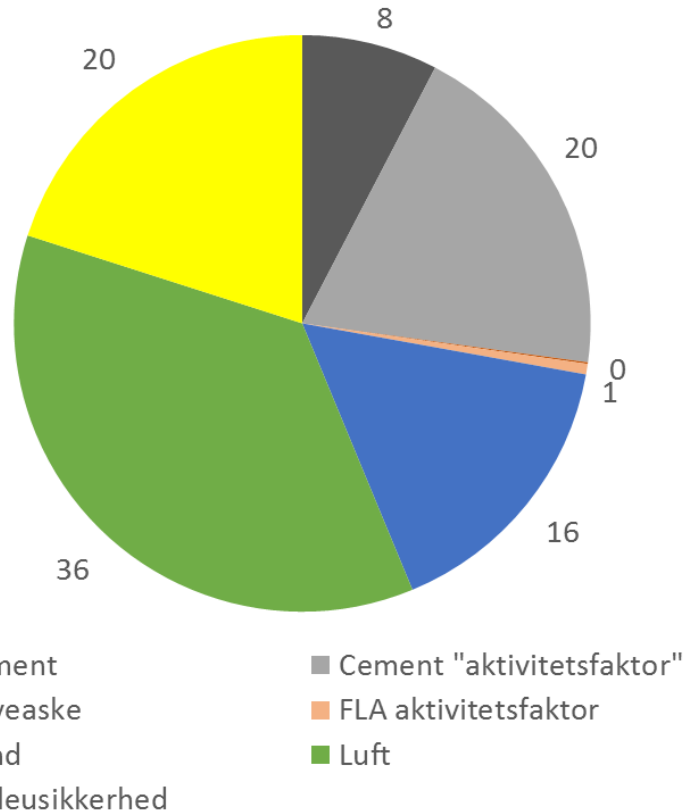
Nødvendig middelstyrke (1% kassation) for styrkeklasse 35



Variationskoefficientens betydning for "nødvendigt" cementindhold

"Nødvendigt" cementindhold (1% kassation) for styrkeklasse 35





Variationer for følgende 4 parametre er væsentlige:

- Luftindhold
- Måleusikkerhed
- Cementstyrke
- Vandindhold

Variationskoefficienten for luftindholdet bør være mindre end 10%

Variationskoefficienten for vandindholdet bør være mindre end 2,0%

Trykprøvningsmetodens variationskoefficient bør være mindre end 3.0%

Tak for opmærksomheden 😊