



TEKNOLOGISK
INSTITUT

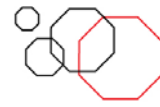
Guidelines for proportionering af SCC

- Indflydelse af delmaterialer på bearbejdeligheden samt
koncepter som hjælpeværktøj

Claus Pade
SCC-konference, Teknologisk Institut, 29. august 2007



Nytænkning gennem 100 år



Nytænkning gennem 100 år

Indhold



TEKNOLOGISK
INSTITUT

■ Proportioneringens mål

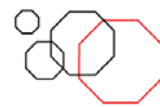
- Flydeegenskaber !!!!
- Stabilitet
- Økonomi

■ Delmaterialers indflydelse på flydeegenskaberne

■ Materialemodel

■ Eksempel på proportionering

Alt hvad jeg vil præsentere står i håndbøgerne !



Nytænkning gennem 100 år

Flydeegenskaber betyder noget!

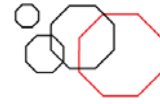


Separation



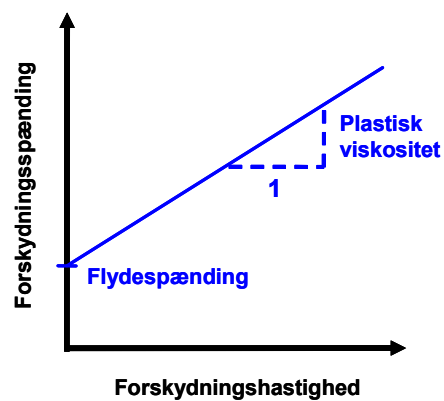
Dårlig formfyldning

Udførelse spiller selvfølgelig også ind !

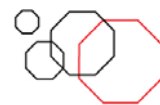


Nytænkning gennem 100 år

Flydeegenskaber – rheologiske parametre

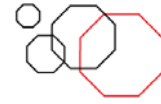
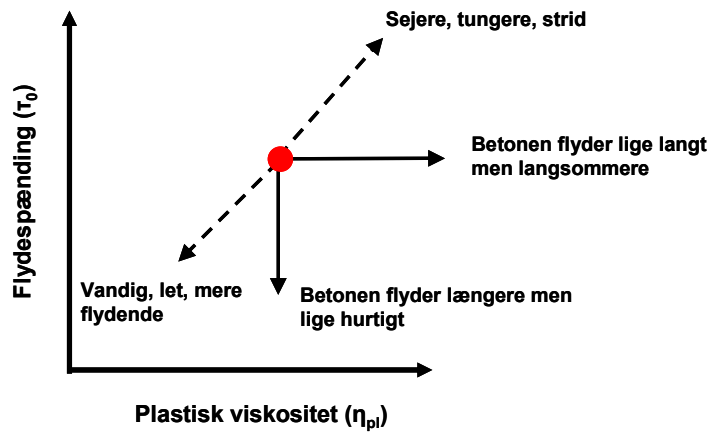


SCC er et binghammateriale!

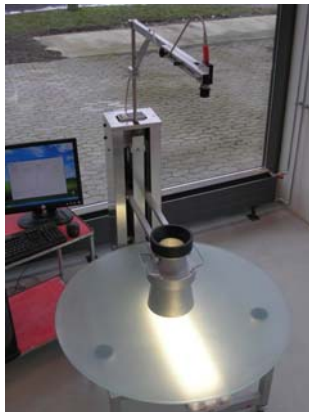


Nytænkning gennem 100 år

Flydeegenskaber – kvalitativ beskrivelse



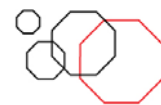
Flydeegenskaber – bestemmelse



4C-Rheometer – sammenholder eksperimentel kurve for udbredelse som funktion af tid med numerisk simulerede udbredelsesforløb for kendte rheologiske parametre



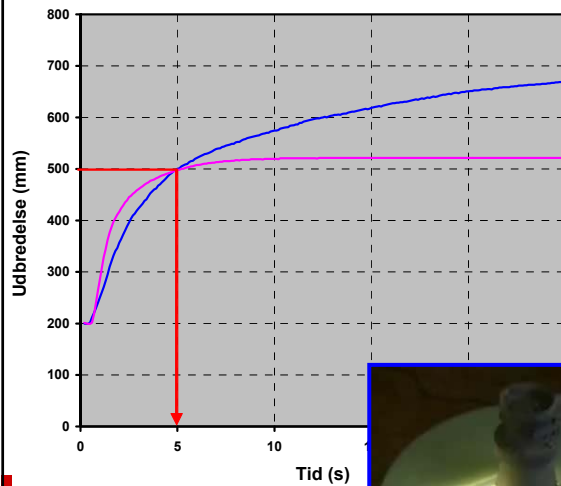
BML viskometer – klassisk rotationsviskometer



t_{500} eller flydemål – kan ikke stå alene



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Disse to betoner vil opleves meget forskelligt på byggepladsen

— Plastisk viskositet = 158 Pa s

— Plastisk viskositet = 42 Pa s

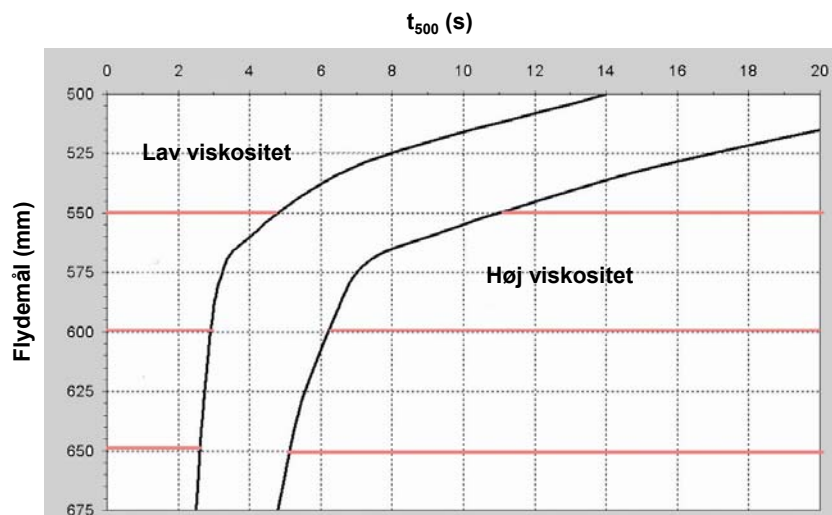
Samme værdi af t_{500}



Flydeegenskaber – kvalitativ bestemmelse



TEKNOLOGISK
INSTITUT

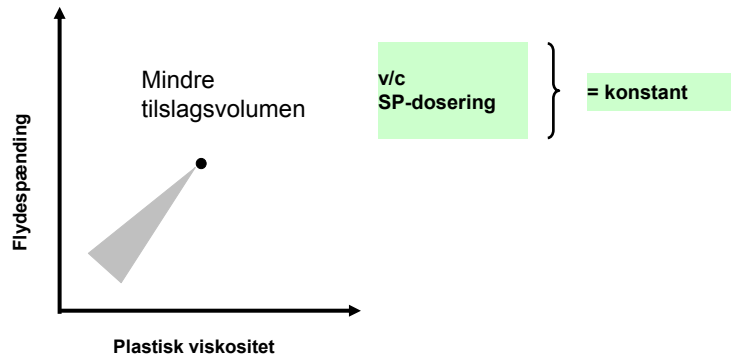


Nytænkning gennem 100 år

Pastaindhold



TEKNOLOGISK
INSTITUT



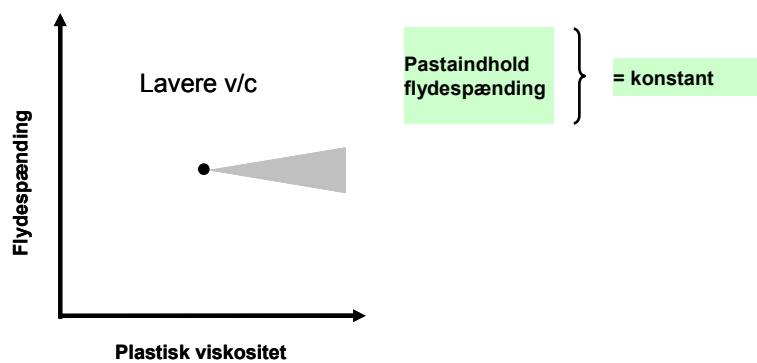
Beton	Tilslag (l/m ³)	Pastaoverskud (l/m ³)	v/c	Flydespænding (Pa)	Plastisk viskositet (Pa s)
A	712.1	140	0.590	94	44
B	699.7	155	0.590	44	39
C	691.4	165	0.590	32	29

Nytænkning gennem 100 år

v/c-tal



TEKNOLOGISK
INSTITUT



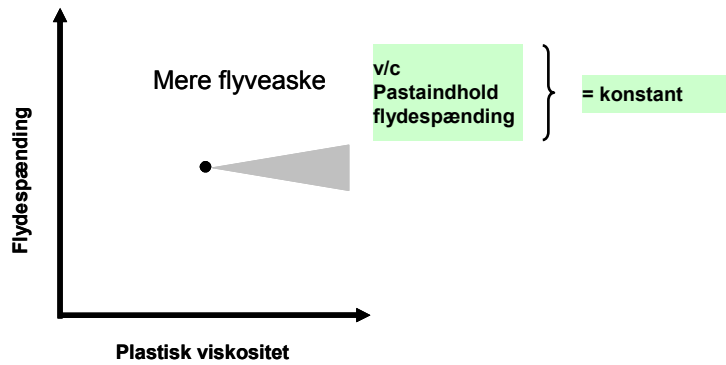
Beton	v/c	SP (kg/m ³)	Flydespænding (Pa)	Plastisk viskositet (Pa S)
A	0.380	1.17	59	42
B	0.350	1.51	68	62
C	0.320	1.60	51	69

Nytænkning gennem 100 år

Flyveaske



TEKNOLOGISK
INSTITUT



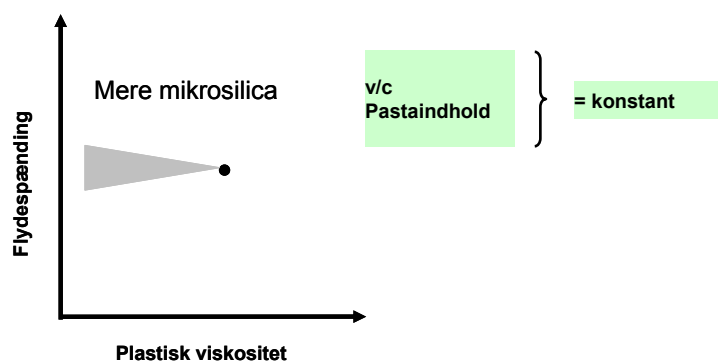
Beton	Cement:Flyveaske (vol:vol)	Pasta (l/m ³)	v/c	SP (kg/m ³)	Flydespænding (Pa)	Plastisk viskositet (Pa S)
A	60:40	300	0.59	1.17	44	11
B	50:50	300	0.59	1.51	46	22
C	40:60	300	0.59	1.60	41	28

Nytænkning gennem 100 år

Mikrosilica



TEKNOLOGISK
INSTITUT



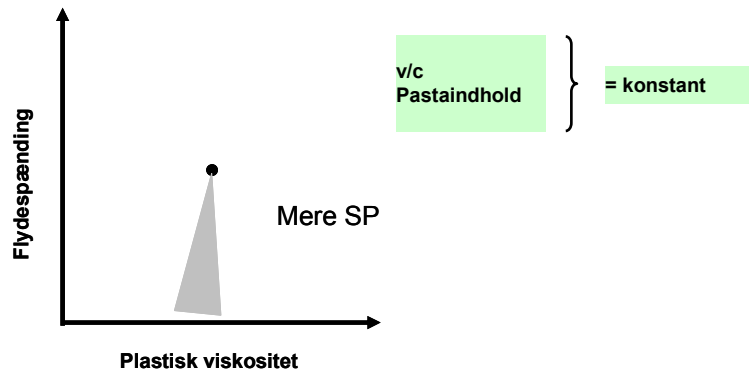
Beton	Cement:Mikrosilica (vol:vol)	v/c	SP (kg/m ³)	Flydespænding (Pa)	Plastisk viskositet (Pa S)
A	100:0	0.380	3.85	59	85
B	96:4	0.380	3.77	74	64
C	92:8	0.380	4.03	62	59
D	86:14	0.380	4.18	110	39
E	75:25	0.380	4.95	90	37

Nytænkning gennem 100 år

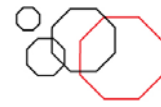
Superplast dosering



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Beton	SP dosering (% af pulver)	v/c	Flydespænding (Pa)	Plastisk viskositet (Pa S)
A	0.79	0.380	191	86
B	0.89	0.380	37	79
C	0.97	0.380	27	65

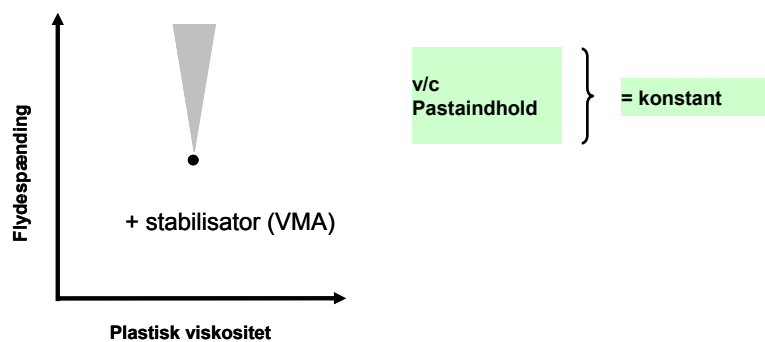


Nytænkning gennem 100 år

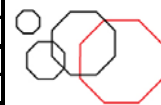
Stabilisator (VMA)



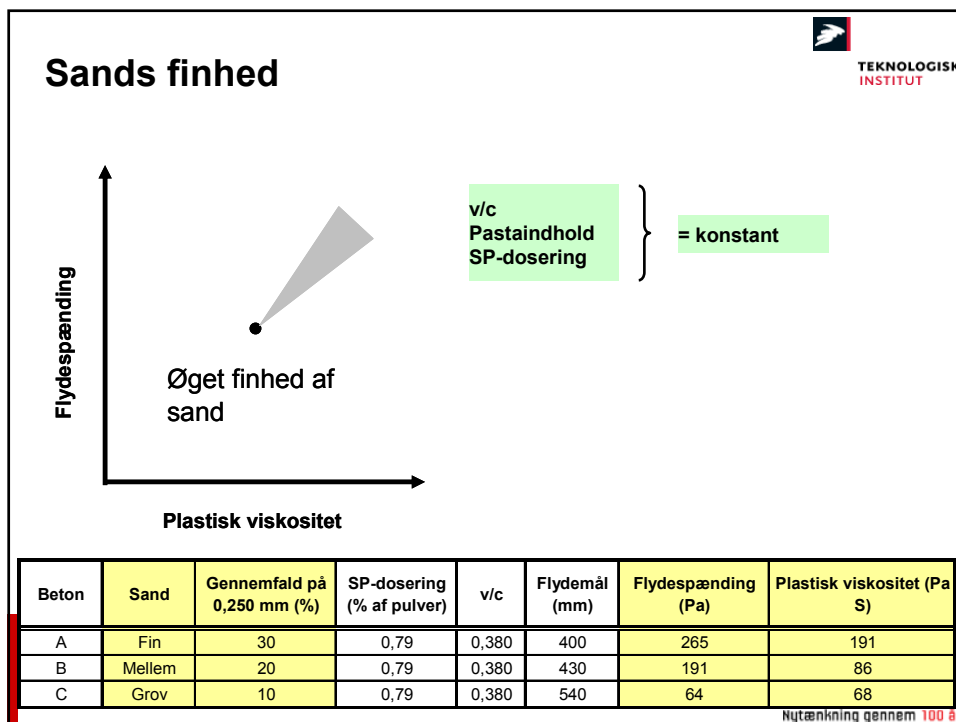
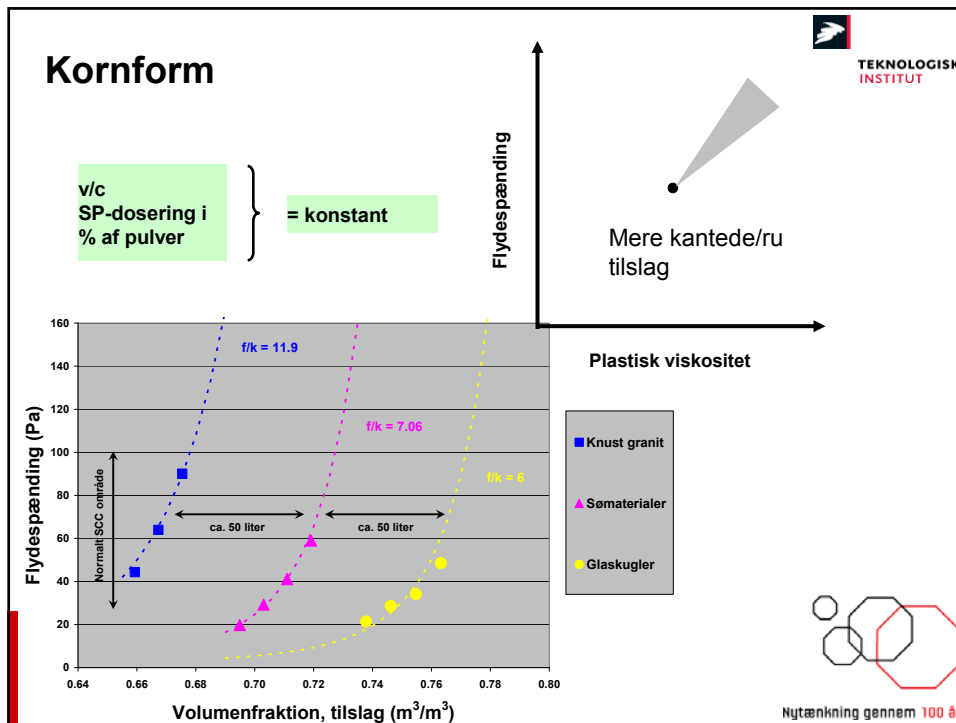
TEKNOLOGISK
INSTITUT



Beton	VMA (% af pulver)	v/c	Flydemål (mm)	Flydespænding (Pa)	Plastisk viskositet (Pa S)
A	-	0.59	615	33	24
A	0.20	0.59	570	48	30
B	-	0.42	575	46	62
B	0.30	0.42	480	110	65



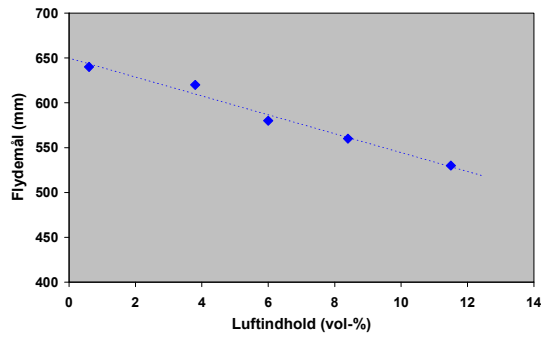
Nytænkning gennem 100 år



Luftindblanding 1

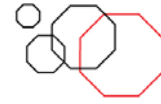


TEKNOLOGISK
INSTITUT



Udskiftning af pasta med luft giver lavere flydemål !
og antagelig højere plastisk viskositet !

v/c
Pasta + luft } = konstant

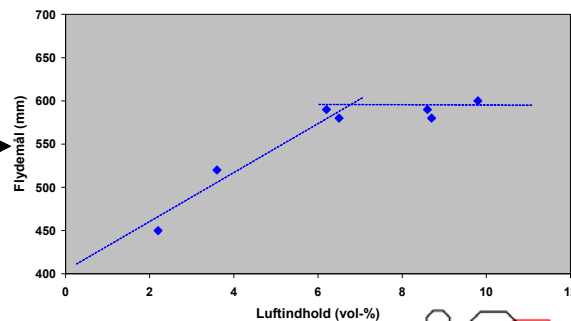
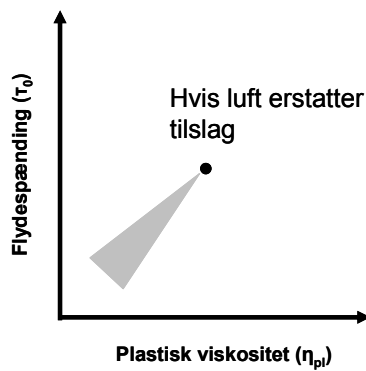


Nytænkning gennem 100 år

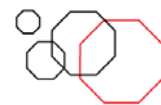
Luftindblanding 2



TEKNOLOGISK
INSTITUT



v/c
Pasta } = konstant



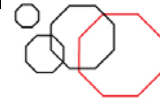
Nytænkning gennem 100 år

Flydeegenskaber - justering



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Receptændring	Flydespænding	Plastisk viskositet
Mere pasta (mindre tilslag)	↓	↓
Mere SP	↓	↓
Mere flyveaske	holdt konstant	↑
Mere mikrosilica	holdt konstant	↓
Stabilisator	↑	holdt konstant
Højere v/c-tal	holdt konstant	↓
Mere afrundet kornform	↓	↓
Finere sand	↑	↑



Nytænkning gennem 100 år

Materialemodel



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Rheologiske parametre – Oh et al. (Japan):

$$\eta_{concrete} = \eta_{paste} (A_{\eta} \cdot \Gamma^{-B_{\eta}} + 1)$$

$$\tau_{0,concrete} = \tau_{0,paste} (A_{\tau} \cdot \Gamma^{-B_{\tau}} + 1)$$

$$\Gamma = \frac{1 - \varphi / \varphi^*}{f/k \cdot \varphi}$$

$\eta_{concrete}$, er plastisk viskositet af beton

η_{paste} , er plastisk viskositet af pasta

$\tau_{0concrete}$, er flydespænding af beton

τ_{0paste} , er flydespænding af pasta

A_{η} , A_{τ} , B_{η} , B_{τ} , er konstanter

Γ , er den relative pastatykkelse

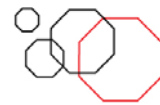
φ , er volumenfraktion af tilslaget

φ_{max} , er max volumenfraktion af tilslaget

f/k , er en formfaktor

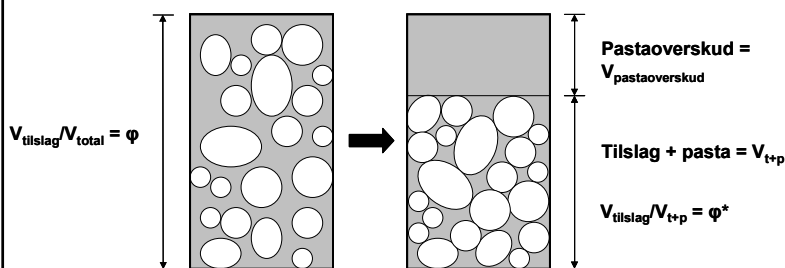
f/k (kugle) = 6

$f/k > 6$ for alle andre former

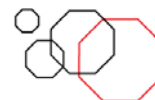
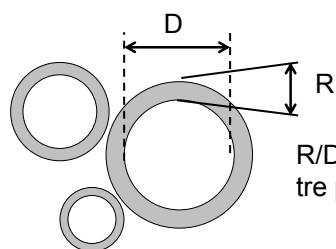


Nytænkning gennem 100 år

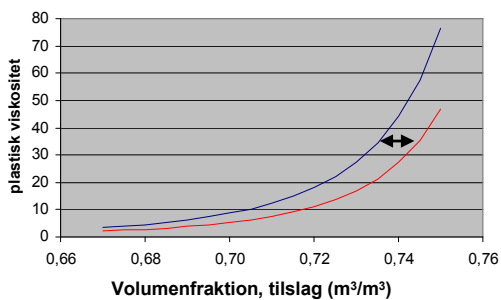
Relativ pastatykkelse



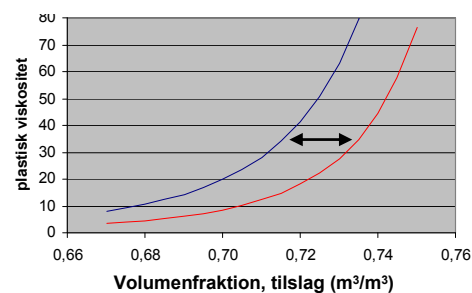
Pastaoverskudet fordeles omkring hver partikel således at R/D er konstant for alle partikler



Følsomhed

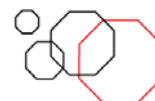


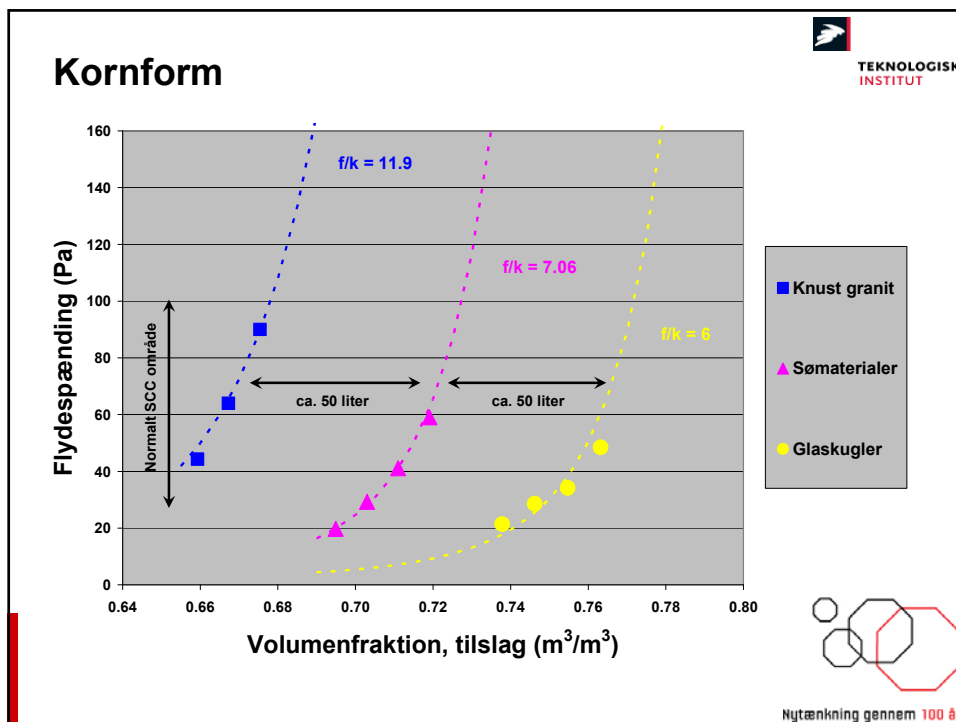
Indflydelse af f/k



Indflydelse af pastaviskositet

Fra 1 til 2,5





Materialemodellens forudsigelser

Receptændring	Flydespænding	Plastisk viskositet	Materialemodellen forudsiger
Mere pasta (mindre tilslag)	↓	↓	✓
Mere SP	↓	↓	✓
Mere flyveaske	holdt konstant	↑	✓
Mere mikrosilica	holdt konstant	↓	✓
Stabilisator	↑	holdt konstant	✓?
Højere v/c-tal	holdt konstant	↓	✓
Mere afrundet kornform	↓	↓	✓
Finere sand	↑	↑	Nej ?

TEKNOLOGISK INSTITUT

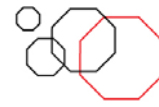
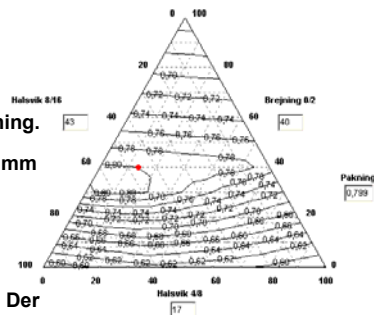
Nytænkning gennem 100 år

Proportionering - koncept



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Bestem egenpakning af tilslagsfraktionerne.
- Beregn pakningsdiagram og vælg tilslagssammensætning.
- Væg et passende pastaoverskud – Til opnåelse af 550 mm flydemål vil et godt udgangspunkt være 140 l/m³ for afrundede materialer, 180 l/m³ for knuste materialer. Beregn tilslagssammensætningen.
- Fastlæg pulverkombination – ud fra krav til miljø- og styrkeklasse kan maksimalt ækvivalent v/c findes. Man Der vil ofte blive anvendt andre pulvere end cement. Der opstilles ligninger for m_v , m_{fa} , m_c , etc.
- Beregn pulversammensætning ved at løse ligningssystem.
- Fastlæg additiv doseringer ved prøveblanding.



Nytænkning gennem 100 år

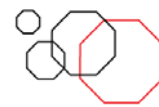
Proportionering - eksempel



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Forudsætninger:

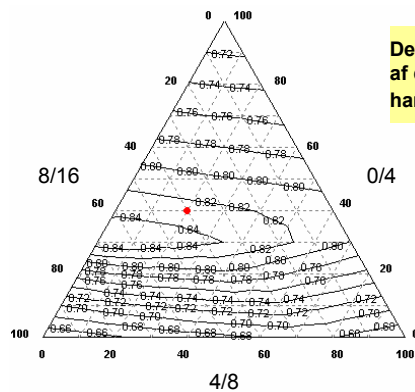
- Styrkeklasse C25
- Vandcementtal = 0,59
- Der anvendes rapidcement ($\rho_c = 3160 \text{ kg/m}^3$)
- Der anvendes flyveaske ($\rho_{fa} = 2300 \text{ kg/m}^3$ og $K_{fa} = 0,5$), $x_{fa} = 0,667$, dvs. 2:3 fordeling mellem flyveaske og cement på vægtbasis
- Flydemål = 550 mm
- Luftindhold i den friske beton = 1,5 %, dvs. ingen luftindblanding
- Tilslagsmaterialer (afrundede): 0/4 (densitet_{VOT} = 2643 kg/m³), 4/8 (densitet_{VOT} = 2682 kg/m³), 8/16 (densitet_{VOT} = 2648 kg/m³)



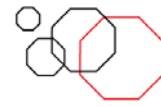
Nytænkning gennem 100 år

Proportionering - eksempel

Egenpakning af de tilslagsfraktioner tre tilslagsfraktioner blev bestemt til 0,700 (0/4 fraktion), 0,663 (4/8 fraktion) og 0,643 (8/16 fraktion)



Den valgte kombination af tilslag symboliseret af den røde prik (40% 0/4, 20% 4/8 og 40% 8/16) har en pakningsgrad ϕ^* på 0,828



Proportionering - eksempel

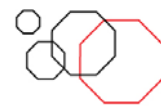
Da der er tale om afrundede tilsalgsmaterialer vælges et pastaoverskud på 140 l/m³.

$$V_{\text{tilsl}} = (1 - V_{\text{pastaoverskud}}) \cdot \phi_{\text{max}} = (1 - 0,140) \cdot 0,828 = 0,712 = 712 \frac{l}{m^3}$$

Fordelt på fraktioner bliver det til 284,8, 142,4 og 284,8 l/m³ for henholdsvis 0/4, 4/8 og 8/16.

Volumenet af pasta udgør:

$$V_v + V_c + V_{fa} = 1 - V_{\text{tilsl}} - V_{\text{luft}} - V_{\text{add}} = 1 - 0,712 - 0,015 - 0,005 = 272,5 \frac{l}{m^3}$$



Proportionering - eksempel



TEKNOLOGISK
INSTITUT

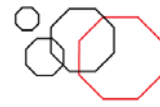
$$m_c = \frac{1 - V_{tilsl} - V_{luft} - V_{add}}{\left(\frac{v}{c}\right)_{\text{ækv}} \frac{(1 + K_{fa} x_{fa})}{\rho_v} + \frac{1}{\rho_c} + \frac{x_{fa}}{\rho_{fa}}}$$

Udledning af formel
beskrevet i håndbog !

$$m_c = \frac{1 - 0,712 - 0,015 - 0,0005}{\frac{0,59 \cdot (1 + 0,5 \cdot 0,667)}{1000} + \frac{1}{3160} + \frac{0,667}{2300}} \frac{m^3}{m^3} = \frac{0,2725}{0,001393} = 195,6 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_v = m_c \left(\frac{v}{c}\right)_{\text{ækv}} (1 + K_{fa} x_{fa}) = 195,6 \cdot 0,59 \cdot (1 + 0,5 \cdot 0,667) = 153,8 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{fa} = x_{fa} m_c = 0,667 \cdot 195,6 = 130,4 \frac{kg}{m^3}$$



Nytænkning gennem 100 år

Proportionering - eksempel

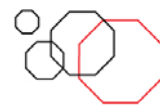


TEKNOLOGISK
INSTITUT

På basis af prøveblanding blev doseringen af superplast fastlagt til 2,0 kg/m³

Materiale	VOT [kg/m ³]
Rapidcement	195,6
Flyveaske	130,4
Vand	153,8
Sand 0/4	754
Sten 4/8	382
Sten 8/16	753
Superplast	2,0
Luft (l/m ³)	15
v/c-tal	0,59
Flydemål (mm)	550
Flydespænding (Pa), 4C-Rheometer	57
Plastisk viskositet (Pa s), 4C-Rheometer	37

Endelig SCC-recept inklusive
flydeegenskaber !



Nytænkning gennem 100 år



Konklusion

- Materialemodellen forudsiger korrekt indflydelsen af de fleste ændringer i sammensætning af SCC
- Ved at tage udgangspunkt i materialemodellen kan man på skrivebordet lave mix design der er tæt på at kunne sættes i produktion – færre trial and error tests i produktionen
- Med ubegrænset materialevalg kan en SCC sammensættes med stort set til en hvilken som helst kombination af flydeegenskaber
- Restriktioner på materialevalget kan betyde at man må gå på kompromis i forhold til de ønskede flydeegenskaber

Alt hvad jeg har præsenteret står i håndbøgerne !

