



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Beton

*Bolomeys og Neppers Formler*

Jensen, Jens Kristian Jehrbo

*Publication date:*  
1986

*Document Version*

Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Jensen, J. K. J. (1986). *Beton: Bolomeys og Neppers Formler*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. Aalborg Universitetscenter. Instituttet for Bygningsteknik. Report Nr. R8606

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

---

**INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK**  
INSTITUTE OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING  
AALBORG UNIVERSITETSCENTER · AUC · AALBORG · DANMARK

---

**BETON**  
**BOLOMEYS OG NEPPERS FORMLER**

---

JENS KR. JEHRBO JENSEN  
BETON: BOLOMEYS OG NEPPERS FORMLER  
APRIL 1986

---

ISSN 0105-7421 R8606

---



---

**INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK**  
INSTITUTE OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING  
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

---

**BETON**  
**BOLOMEYS OG NEPPERS FORMLER**

---

JENS KR. JEHRBO JENSEN  
BETON: BOLOMEYS OG NEPPERS FORMLER  
APRIL 1986

---

ISSN 0105-7421 R8606

---

**INDHOLD**

	side
<b>FORORD .....</b>	<b>1</b>
<b>INDLEDNING .....</b>	<b>2</b>
<b>FORMLER .....</b>	<b>2</b>
Bolomeys formel .....	2
Neppers formel .....	2
Modenhed .....	4
<b>ANVENDELSER .....</b>	<b>4</b>
Ændret lagringstid .....	4
Ændret cementtype .....	7
Ændret $\frac{V}{C}$ -forhold .....	7
<b>EKSEMPLER .....</b>	<b>9</b>
<b>SYMBOLISTE .....</b>	<b>10</b>
<b>LITTERATUR .....</b>	<b>10</b>

**FORORD**

I denne rapport er Bolomeys og Neppers formler bearbejdet med henblik på at lette beregningerne af betonstyrker, når forholdene afviger fra det normale. Rapporten omfatter dels diagrammer, dels eksempler på anvendelse af disse.

## INDLEDNING

Efter DS 411 skal styrkeprøvning af beton ske efter 28 døgn. Denne frist bliver af forskellige grunde ofte ikke overholdt, og da man herudover kan få lavet forkerte blandinger (f.eks. ændringer i cementtype og  $\frac{V}{C}$ -tal), er der behov for at kunne beregne styrken af den faktisk fremstillede beton. Til dette formål anvendes Neppers formel, og i det følgende er denne formel sammen med Bolomeys formel brugt som grundlag for en række diagrammer, som kan lette beregningerne.

## FORMLER

Bolomeys formel lyder

$$E(f_c) = K \left( \frac{1}{V/C} - 0,50 \right) \quad (1)$$

hvor  $E(f_c)$  er middelstyrken efter 28 døgn ved  $20^\circ C$  i  $MN \cdot m^{-2}$

$K$  er konstant =  $27 MN \cdot m^{-2}$  for PFC

og =  $29 MN \cdot m^{-2}$  for PC

$V/C$  er vand-cementforholdet

Formlen gælder for  $0,8 < \frac{V}{C} < 2,2$ .

Neppers formel lyder

$$\ln E(f_c) = A_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} + A_2 \cdot \frac{V}{C} + A_3 \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \cdot \frac{V}{C} + A_4 \quad (2)$$

hvor  $t$  er modenhedsalderen i døgn ved  $20^\circ C$

$V/C$  er vand-cementforholdet

$A$ 'erne er konstanter angivet i tabel 1.

Cementtype	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
PFC	- 0,7	- 1,8	- 1,4	+ 4,8
PC	- 0,5	- 1,8	- 1,0	+ 4,8

Tabel 1. A-værdier i Neppers formel.

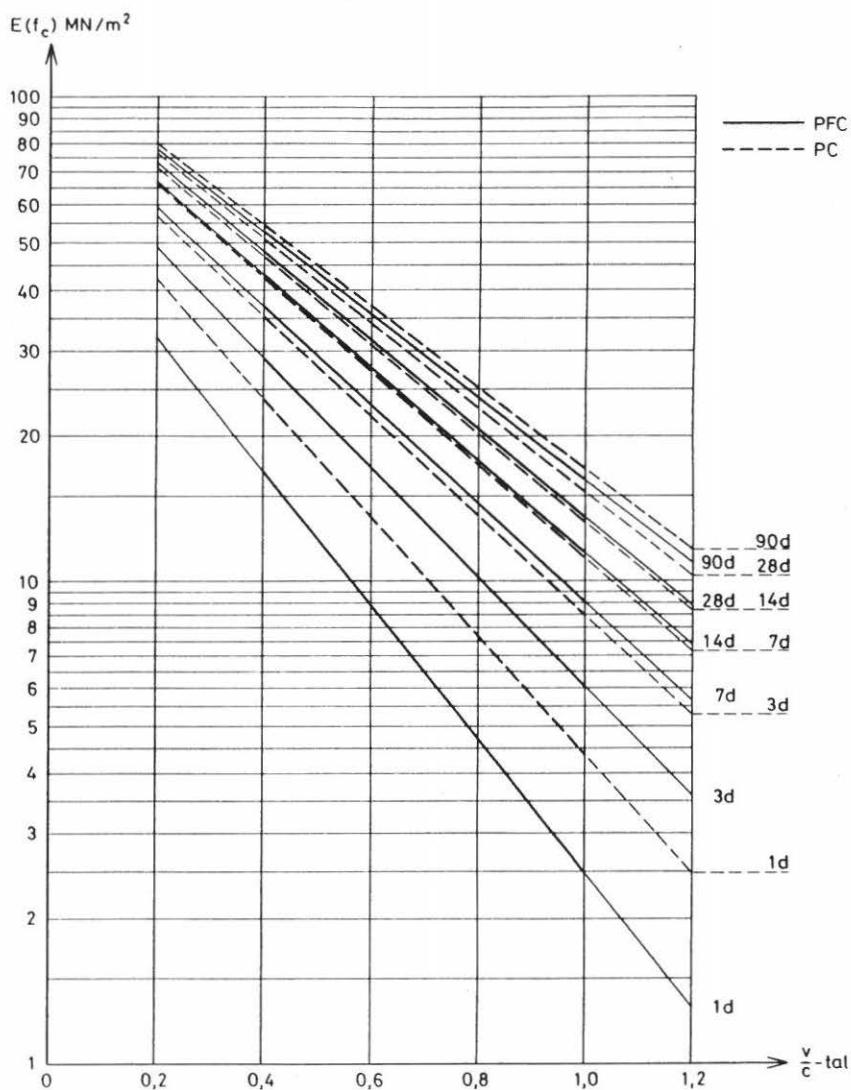
Neppers formel gælder i intervallet

$$0,4 \leq \frac{V}{C} \leq 1,0 \text{ og } 1 \text{ døgn} \leq t \leq 90 \text{ døgn}$$

Formlen er afbildet i figur 1 for de to cementtyper.

## NEPPERS FORMEL

$$\ln E(f_c) = A_1 \frac{1}{\sqrt{t}} + A_2 \cdot \frac{v}{c} + A_3 \frac{1}{\sqrt{t}} \cdot \frac{v}{c} + A_4$$



Figur 1. Neppers formel for PFC og PC.

### Modenhed

Ofte sker lagringen ikke ved konstant temperatur = 20°C. Det betyder, at modenheten ved 20°C skal beregnes i overensstemmelse med teorien for styrkeudviklingens temperaturlafhængighed. Hvis hærdningshastigheden ved 20°C sættes til 1, vil hærdningshastigheden H ved temperatur T°C være givet ved

$$H = \exp \left[ \frac{E}{8,314} \left( \frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]$$

hvor       $E = \begin{cases} 33500 + 1470 (20 - T) \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} & \text{for } T < 20^\circ\text{C} \\ 33500 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} & \text{for } T \geq 20^\circ\text{C}. \end{cases}$

Tabel 2 viser værdien af H for udvalgte værdier af T.

T°C	0	5	10	15	20	25	30	40	50
H	0,15	0,29	0,50	0,75	1,00	1,26	1,57	2,41	3,59

Tabel 2. Hærdningshastigheder.

Modenheden ved 20°C udregnes som produktsummen af hærdningshastigheden og det antal døgn, hvor temperaturen har været konstant.

### ANVENDELSE

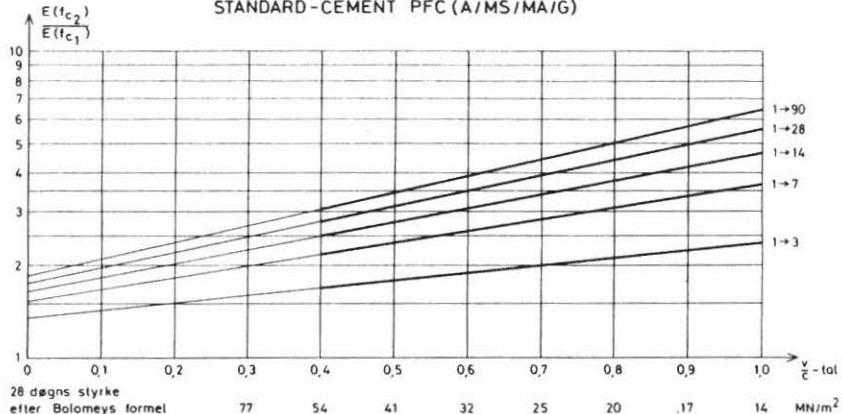
#### Ændret lagringstid

I mange tilfælde er man interesseret i at kunne beregne styrken ved en ændring i lagringstiden. Betragtes en beton med et givet  $\frac{V}{C}$ -tal på to tidspunkter  $t_1$  og  $t_2$  fås følgende udtryk for styrkeforholdet

$$\ln \frac{E(f_{c2})}{E(f_{c1})} = \frac{\sqrt{t_1} - \sqrt{t_2}}{\sqrt{t_1 \cdot t_2}} \cdot (A_1 + A_3 \cdot \frac{V}{C}) \quad (3)$$

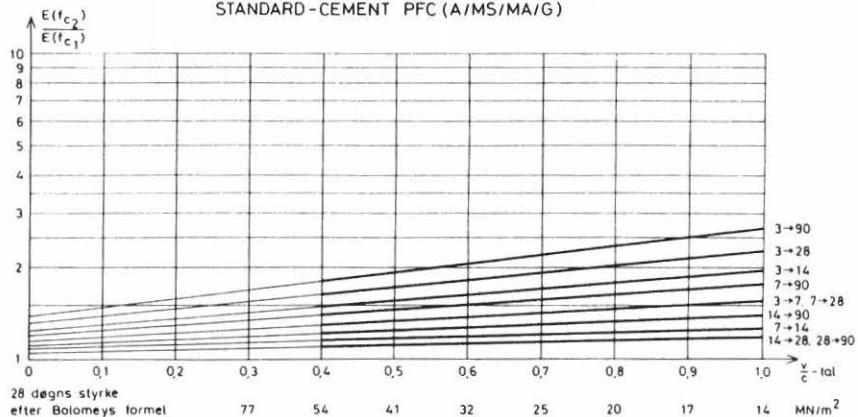
Denne formel er afbildet i figur 2 og 3 for PFC og figur 4 og 5 for PC. På alle 4 figurer er anført den 28 døgns styrke, man vil opnå efter Bolomeys formel (1). Der er valgt en række kombinationer af  $t_1$  og  $t_2$ , men i øvrigt kan formel (3) anvendes ved andre ( $t_1$  og  $t_2$ )-værdier.

RELATIVT STYRKEFORHOLD VED ÆNDRING I LAGRINGSTID ( $t_1 \rightarrow t_2$  døgn)  
STANDARD-CEMENT PFC (A/MS/MA/G)



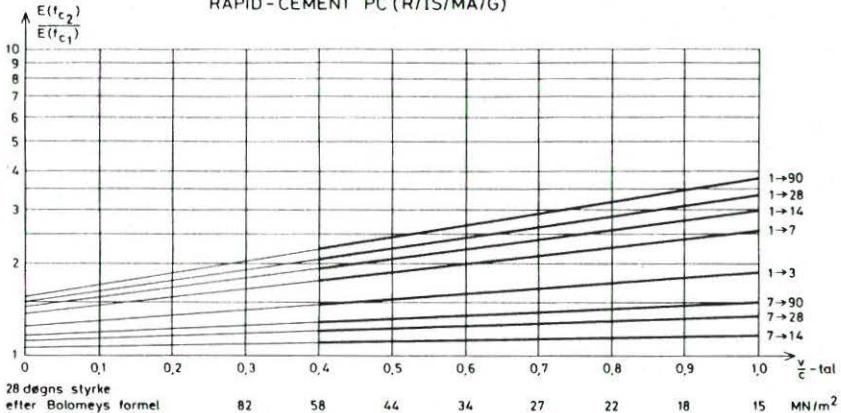
Figur 2. Ændret lagringstid (PFC).

RELATIVT STYRKEFORHOLD VED ÆNDRING I LAGRINGSTID ( $t_1 \rightarrow t_2$  døgn)  
STANDARD-CEMENT PFC (A/MS/MA/G)



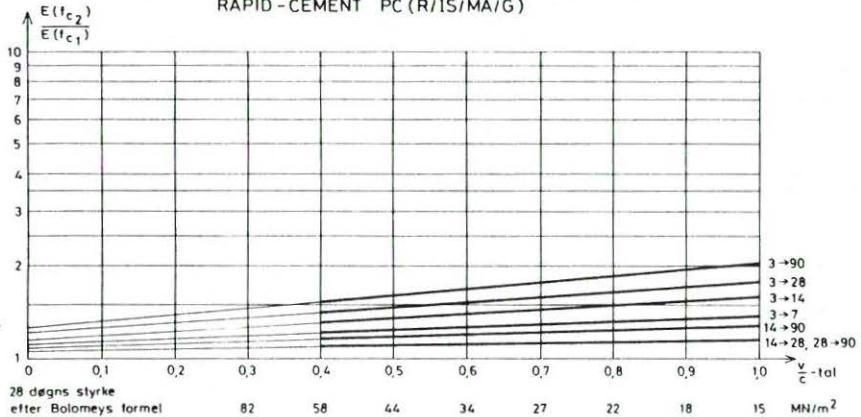
Figur 3. Ændret lagringstid (PFC).

RELATIVT STYRKEFORHOLD VED ÆNDRING I LAGRINGSTID ( $t_1 \rightarrow t_2$  døgn)  
RAPID-CEMENT PC (R/IS/MA/G)



Figur 4. Ændret lagringstid (PC).

RELATIVT STYRKEFORHOLD VED ÆNDRING I LAGRINGSTID ( $t_1 \rightarrow t_2$  døgn)  
RAPID-CEMENT PC (R/IS/MA/G)



Figur 5. Ændret lagringstid (PC).

### Ændret cementtype

Hvis man har lavet sin beton med en anden cementtype end antaget, vil styrkeforholdet til en given prøvningstermin ved overgang fra PFC til PC være givet ved

$$\ln \frac{E(f_c^{PC})}{E(f_c^{PFC})} = \frac{1}{\sqrt{t}} \cdot (\Delta A_1 + \Delta A_3 \cdot \frac{V}{C}) \quad (4)$$

hvor       $\Delta A_1 = A_1 (PC) - A_1 (PFC) = 0,2$   
 $\Delta A_3 = A_3 (PC) - A_3 (PFC) = 0,4$

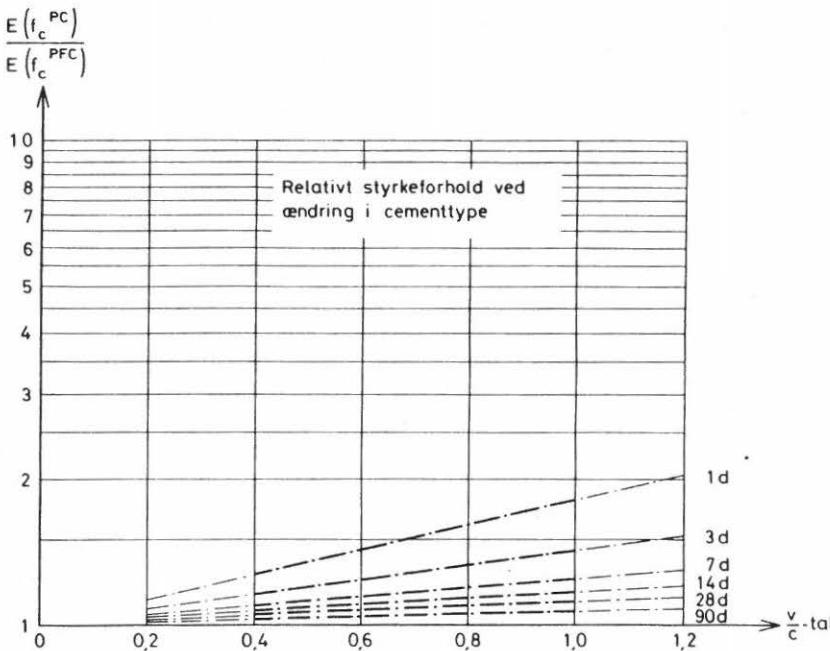
Denne formel er afbildet i figur 6.

### Ændret $\frac{V}{C}$ -forhold

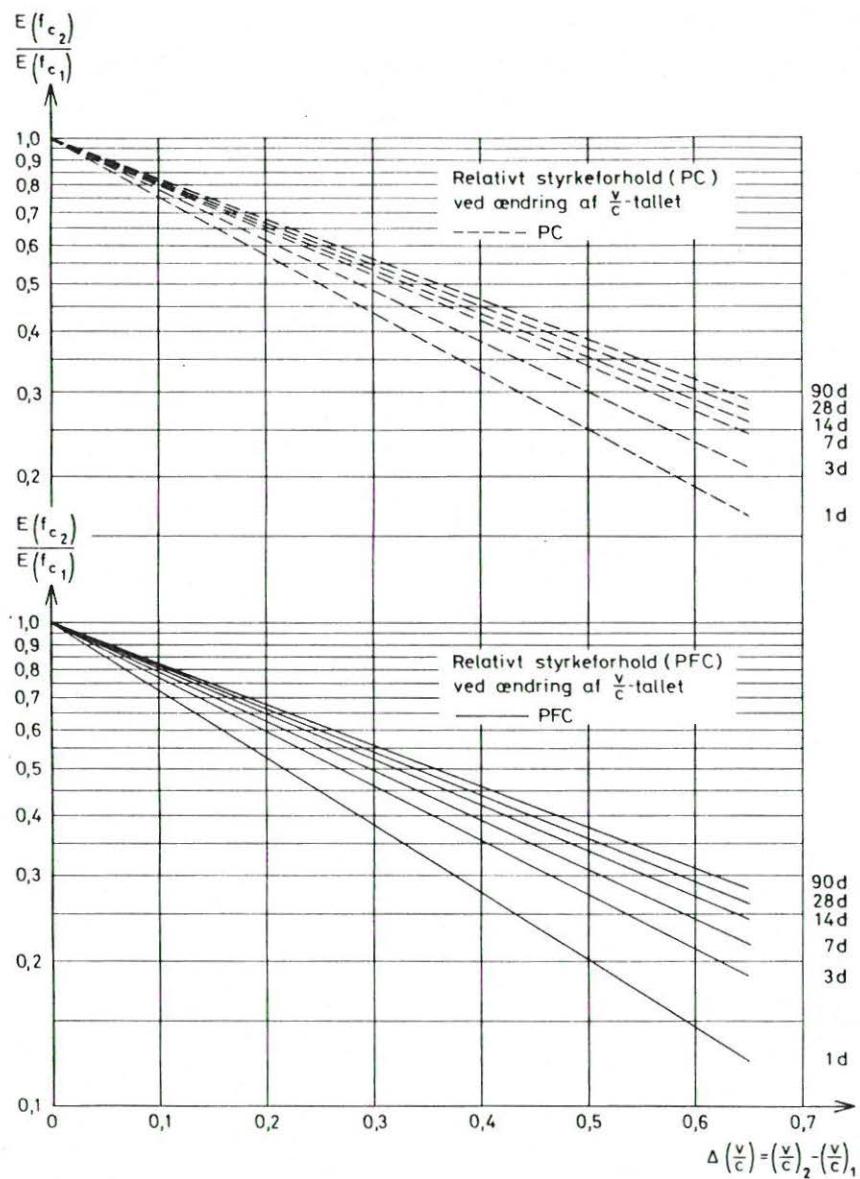
Hvis man har lavet sin beton med et andet  $\frac{V}{C}$ -tal end antaget, vil styrkeforholdet til samme tidspunkt t være givet ved

$$\ln \frac{E(f_{c_2}^{PC})}{E(f_{c_1}^{PFC})} = ((\frac{V}{C})_2 - (\frac{V}{C})_1) (A_2 + \frac{A_3}{\sqrt{t}}) \quad (5)$$

Denne formel er afbildet i figur 7, øverst for PC, nederst for PFC.



Figur 6. Ændret cementtype.



Figur 7. Ændret  $\frac{V}{C}$ -forhold.

## EKSEMPLER

En beton er fremstillet med  $\frac{V}{C} = 0,6$  og PFC.

Hvor stor er styrken efter 1 døgn og 7 døgn?

$$\text{Figur 1 giver } E(f_{c_1}^{\text{PFC}}) = \underline{9 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

$$\text{og } E(f_{c_7}^{\text{PFC}}) = \underline{23 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Det relative styrkeforhold er da 2,56, hvilket kan aflæses af figur 2, som også giver 28 døgns styrken = 32 MN · m<sup>-2</sup>.

Hvis man har anvendt PC i stedet for, er styrkeforholdet til  $t = 1, 7$  og  $28$  døgn henholdsvis  $1,42, 1,14$  og  $1,07$  (figur 6). Det betyder, at

$$E(f_{c_1}^{\text{PC}}) = 1,42 \cdot 9 = \underline{13 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

$$E(f_{c_7}^{\text{PC}}) = 1,14 \cdot 23 = \underline{26 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

$$E(f_{c_{28}}^{\text{PC}}) = 1,07 \cdot 32 = \underline{34 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Er betonen fremstillet med et højere  $\frac{V}{C}$ -tal end forudsat, bliver styrken mindre. Ved en differens på  $0,1$  vil styrkeforholdet ved  $1, 7$  og  $28$  døgn være  $0,72, 0,79$  og  $0,83$  (PFC, figur 7).

Der kan derfor forventes følgende styrker

$$E(f_{c_1}^{\text{PFC}}) = 0,72 \cdot 9 \sim \underline{6,5 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

$$E(f_{c_7}^{\text{PFC}}) = 0,79 \cdot 23 \sim \underline{18,0 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

$$E(f_{c_{28}}^{\text{PFC}}) = 0,83 \cdot 32 \sim \underline{26,5 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

**SYMBOLLISTE**

$A_1$  til  $A_4$ : Konstanter i Neppers formel (tabel 1)

$E(f_c)$ : Betonens middeltrykstyrke i  $MN/m^2$ , normalt efter 28 døgn ved  $20^\circ C$

H: Hærdningshastighed

K: Konstant i Bolomeys formel, især afhængig af cementtype og lagringstid

PFC: Portland flyveaske cement, som er almindelig hærdnende

PC: Rapidcement, som er hurtighærdnende

t: Modenhed ved  $20^\circ C$

$\frac{V}{C}$ : Forholdet mellem vandmængde i l og cementmængde i kg

**LITTERATUR**

Betonbogen

Aalborg Portland, 2. udgave 1985

ISBN 87-980916-0-8

