

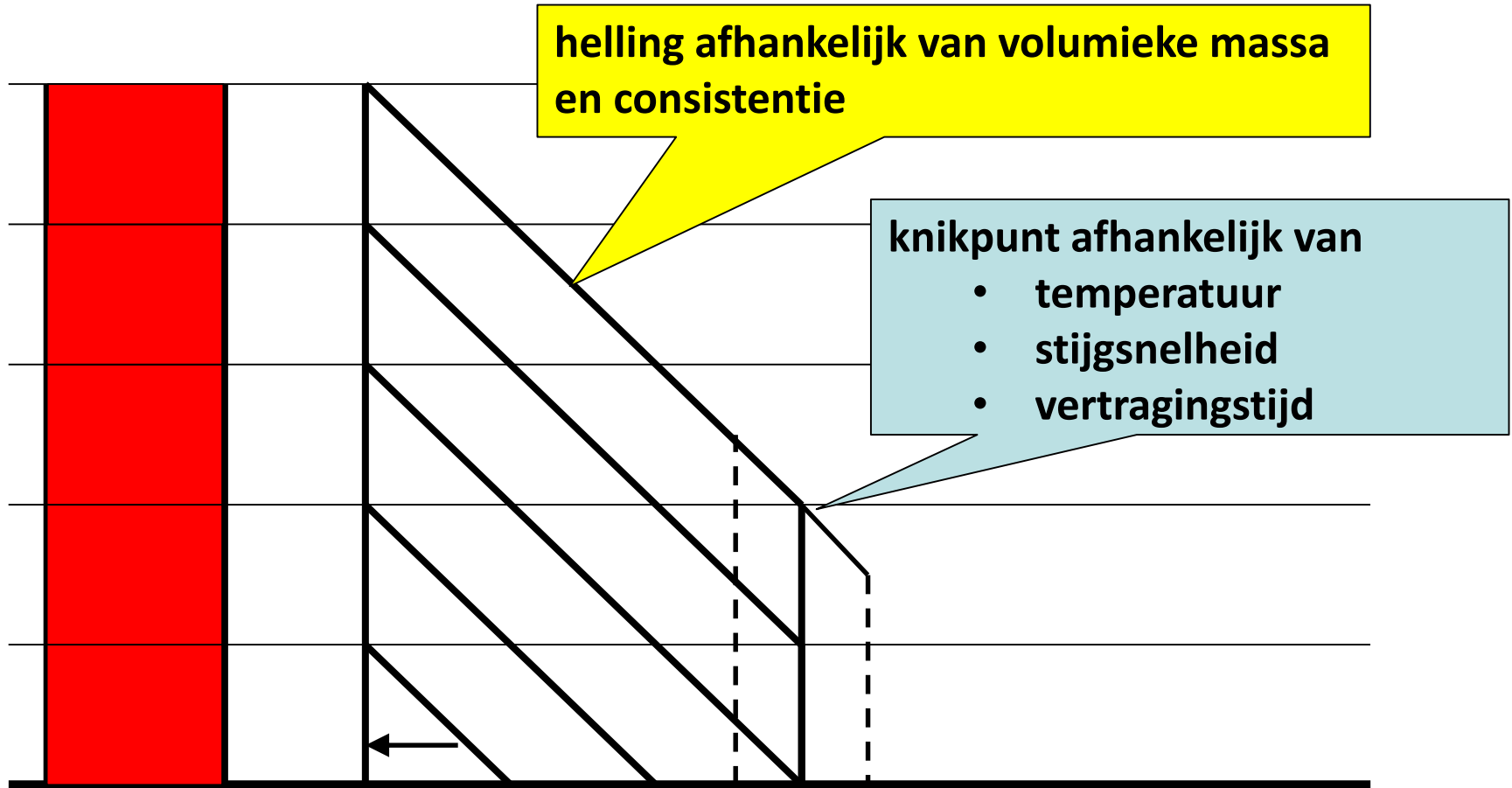
Hoofdstuk 4: Beton in de kist

- Horizontale speciedruk
- Gewogen rijpheid
- Temperatuurbeheersing
- Nabehandeling
- Ontkisten

Horizontale speciedruk op bekisting

- Hydrostatisch drukverloop
- Reactie cement met water
- Ontwerp bekisting door constructeur
- Invloed van betontechnoloog en van natuur

Horizontaal drukverloop



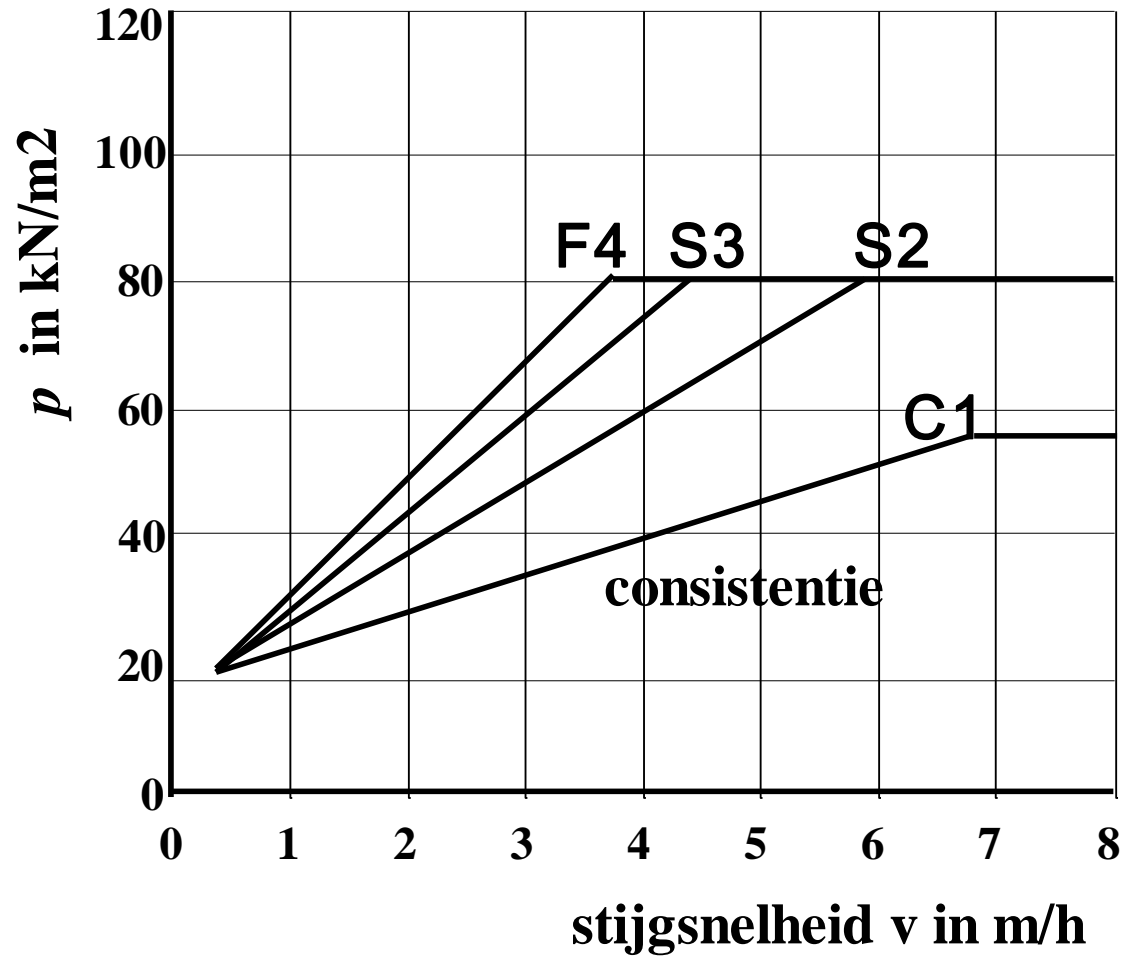
speciehoogte

horizontale speciedruk

Ontwerpen van bekisting

- Uitgangspunten in VBU (of NEN 6722)
- Grafiek met invloed van consistentie en stijgsnelheid

Horizontale belasting algemeen



Ontwerpen van bekisting

- Uitgangspunten in VBU
- Grafiek met invloed van consistentie en stijgsnelheid
- Invloedsfactoren

Invloedsfactoren speciedruk

Uitgangspunten in VBU:

- **Verdichten** met trilnaalden tot 1 m
- **Temperatuur** specie en omgeving 15 °C
- Geen **vertrager**
- **Volumieke massa** 2400 kg/m³
- **Hydrostatisch verloop** als maximum

Invloedsfactoren speciedruk

- Verdichten
anders dan 1 m diep of met andere apparatuur:
→ hydrostatisch
- Specietemperatuur
druk verhogen met 3 % voor elke °C lager dan 15 °C
druk verlagen met 3 % voor elke °C hoger dan 15 °C
- Omgevingstemperatuur
druk verhogen met 3 % voor elke °C lager dan 15 °C
hogere temperatuur heeft geen invloed

Invloedsfactoren speciedruk

- Gebruik vertrager

consistentie	vermenigvuldigingsfactor	
	5 h vertraging	15 h vertraging
S2	1,15	1,45
F3 of S3	1,25	1,80
F4 of S4	1,40	2,15

- Volumieke massa

vermenigvuldigingsfactor

$$\frac{\rho_a}{2400}$$

Rekenvoorbeeld speciedruk

- Wandhoogte 3 m
- Consistentieklasse S2
- Stijgsnelheid 2 m/h
- Temperatuur specie 12 °C
- Temperatuur omgeving 10 °C
- Vertragingstijd 10 h
- Volumieke massa 2000 kg/m³

Rekenvoorbeeld

- Volgens grafiek $p = 39 \text{ kN/m}^2$
- Specietemperatuur $3 \times 3 \% = 9 \%$
- Luchttemperatuur $5 \times 3 \% = 15 \%$
- Totaal 24%
- $p = 1,24 \times 39 = 48,4 \text{ kN/m}^2$

Rekenvoorbeeld

- Vertragingstijd 10 h

$$p = \frac{1,15 + 1,45}{2} \times 48,4 = 62,9 \text{ kN/m}^2$$

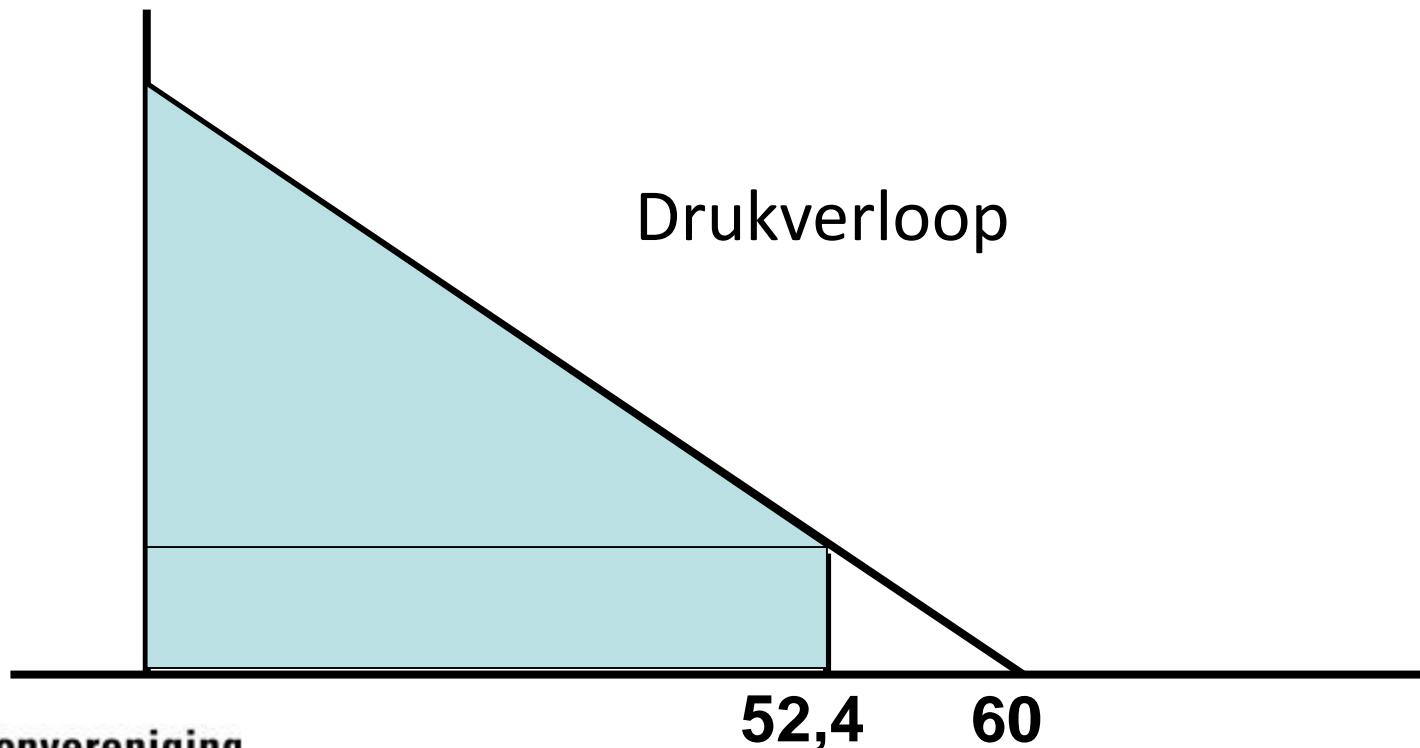
- Volumieke massa

$$p = \frac{2000}{2400} \times 62,9 = 52,4 \text{ kN/m}^2$$

Rekenvoorbeeld

Hydrostatisch verloop:

$$p = 0,01 \times \rho_a \times h = 0,01 \times 2000 \times 3 = 60 \text{ kN/m}^2$$



Horizontale speciedruk

- Betontechnologische aspecten

plastificeerder → hogere consistentie → hogere druk

vertrager → langer verwerkbaar → hogere druk

lagere temperatuur → langer verwerkbaar → hogere druk

Overleg tussen betontechnoloog en uitvoerder nodig

Beton in de kist

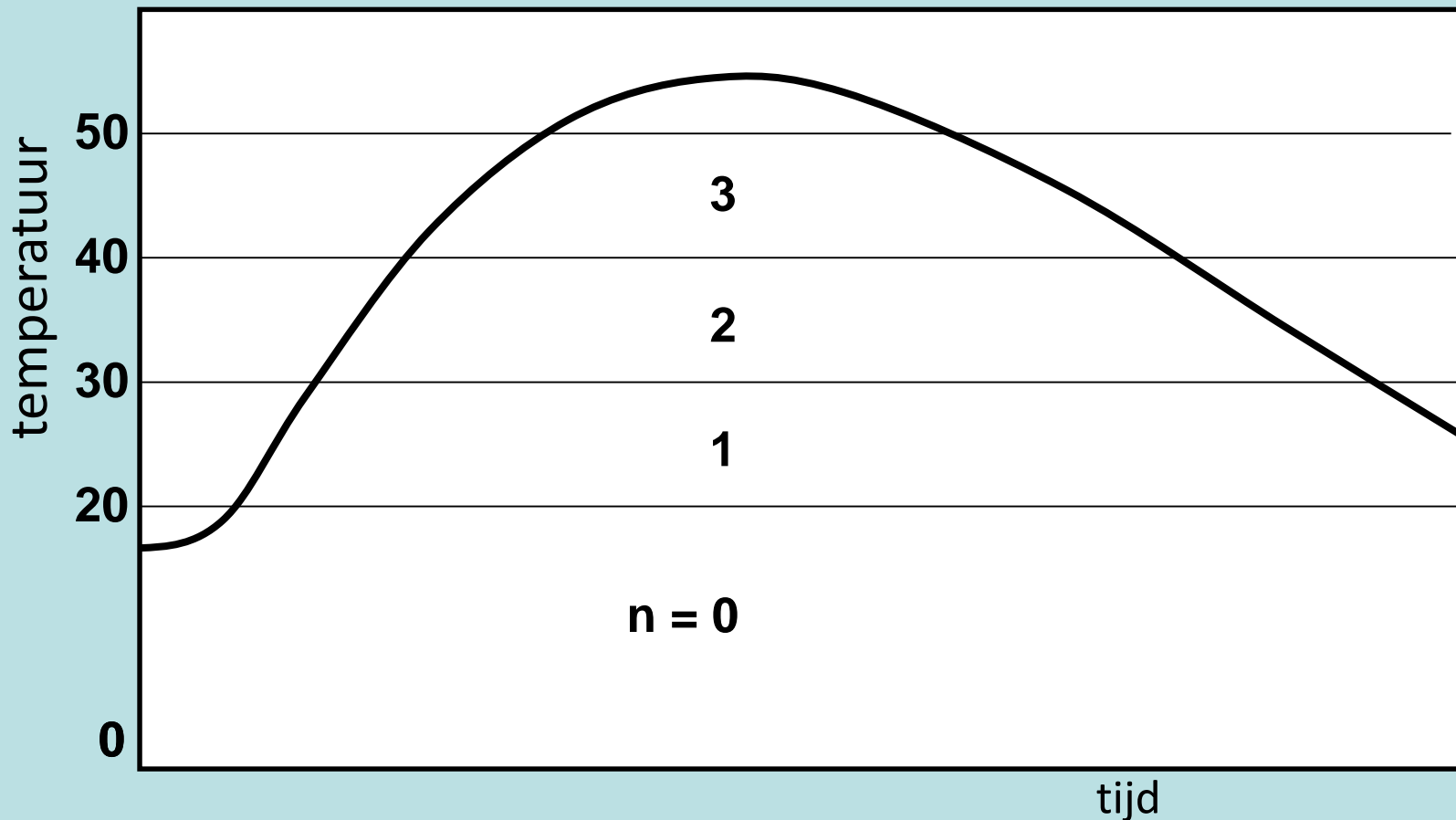
Rijpheid

- Relatie tussen temperatuurverloop en sterkte
- Volgens Saul
oppervlak temp x tijd vanaf $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Niet erg betrouwbaar:
 - Hogere temperaturen hebben meer invloed
 - Verschil in cementsoort

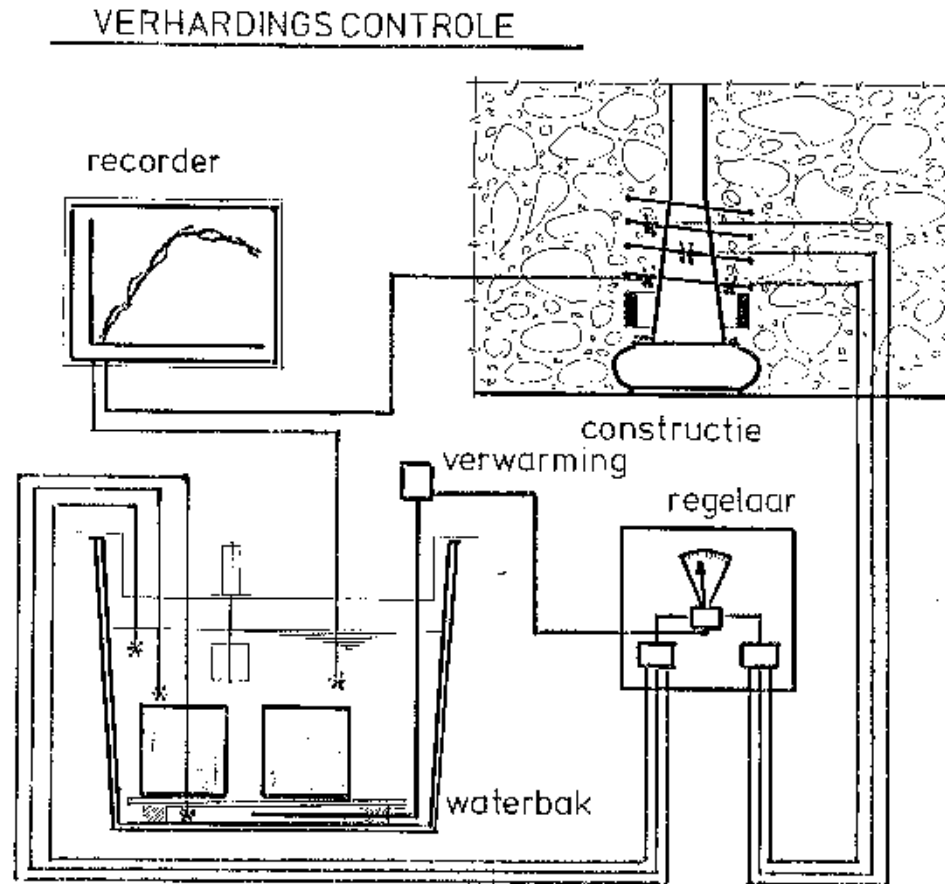
Rijpheid Oosterscheldekering

- Uitgebreid onderzoek bij bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde
- Gelijktijdig onderzoek bij ENCI in IJmuiden door R. de Vree
- Methode van [Papadakis](#) met zeer betrouwbare resultaten gebruikt bij SVKO

Papadakis met vermenigvuldigings-factor A^n
voor hoogovercement met $A = 1,4$

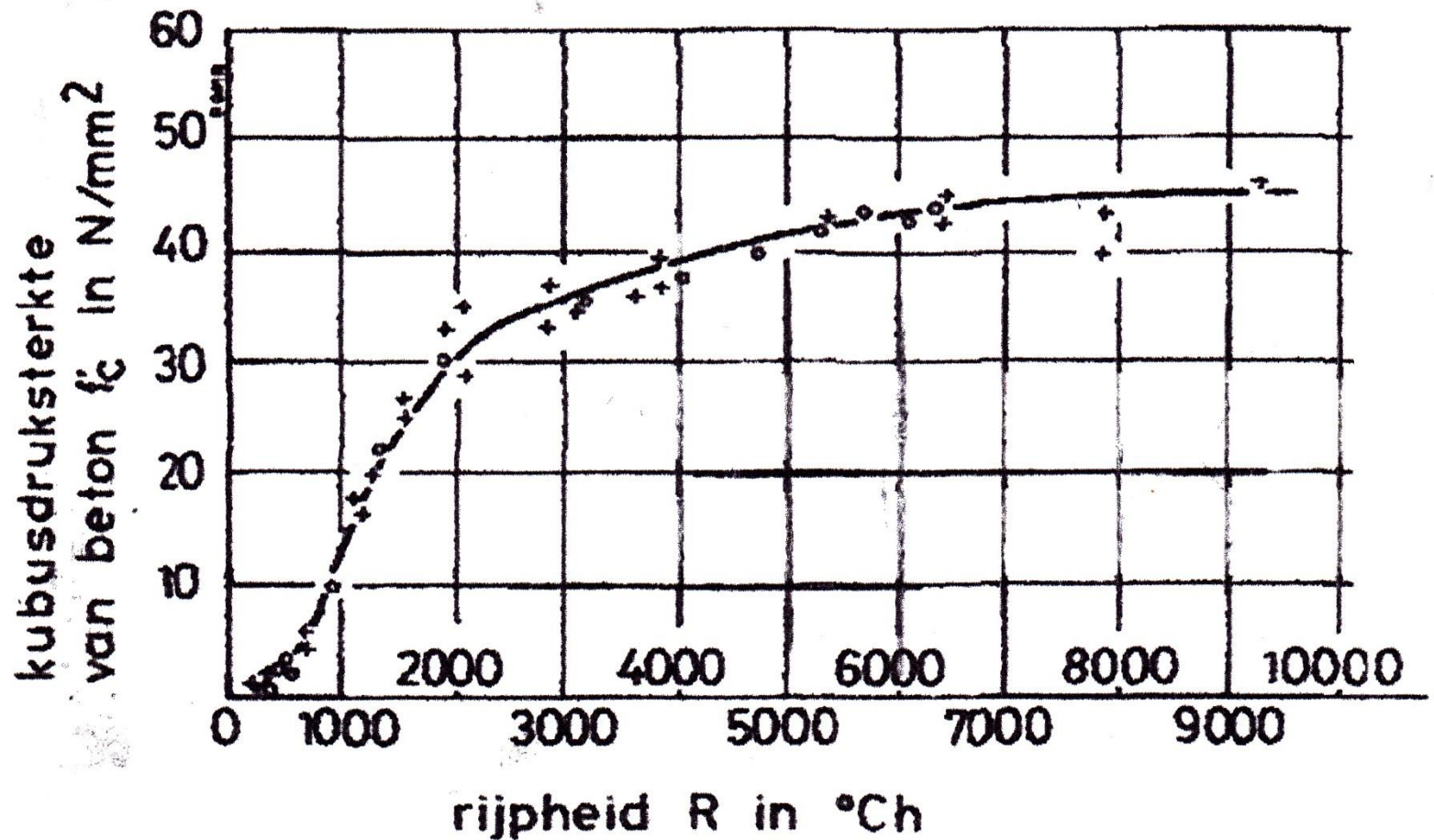


Rijpheid Oosterscheldekering



Rijpheid Oosterscheldekering

Rijpheidsgrafiek



Gewogen rijpheid

- Ervaringen Stormvloedkering 1980
- Onderzoek bij ENCI 1980
- Betoniek 6.20 1984
- CUR-Aanbeveling 9 1984
- Stutech-rapport 19 1998
- NEN 5970 2001

Gewogen rijpheid

- Onderzoek bij ENCI te IJmuiden
methode R. de Vree

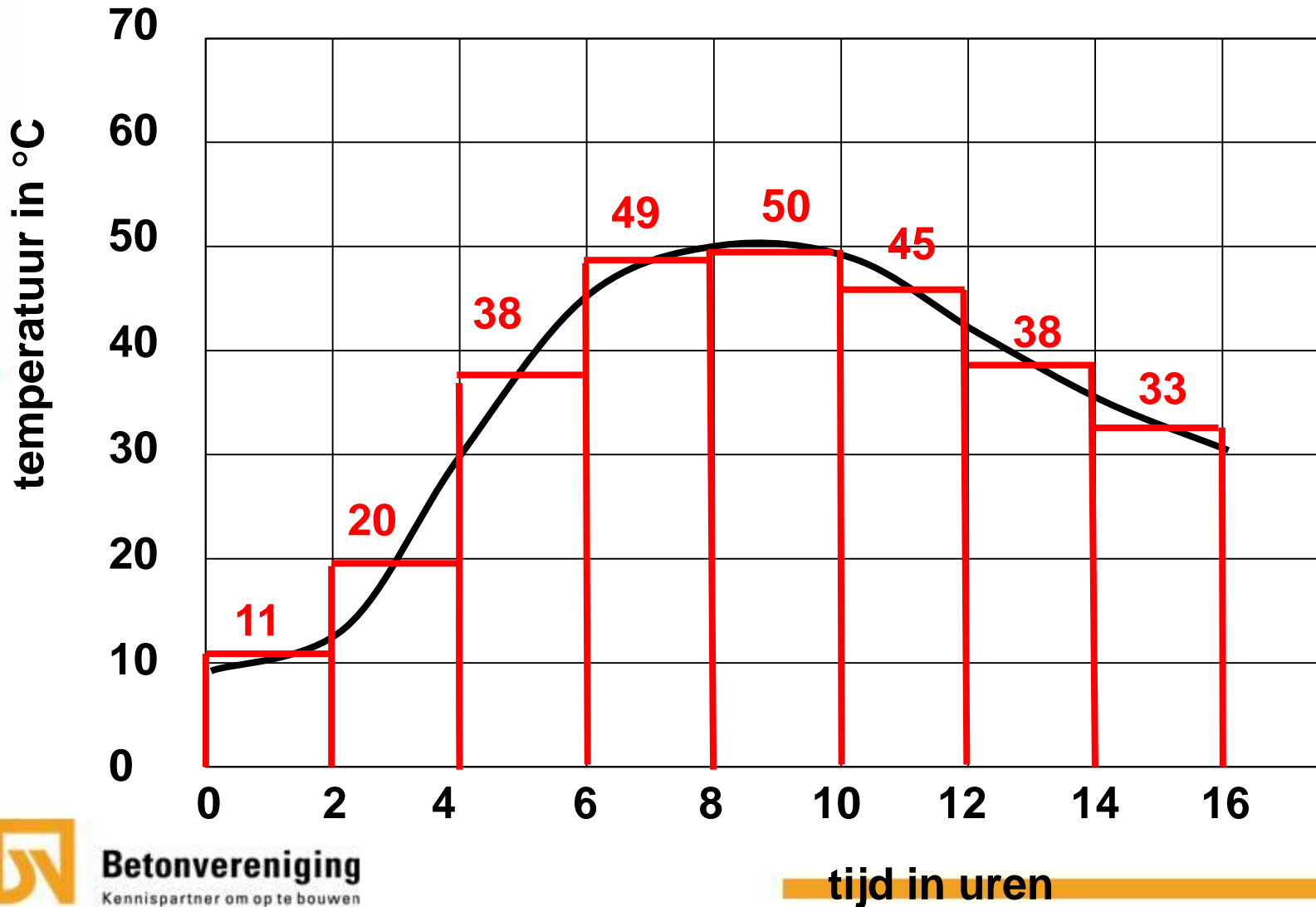
$$R_g = 10 \times \frac{(C^{(0,1T - 1,245)} - C^{2,245})}{\ln C} \quad \text{per uur}$$

C = factor die temperatuurgevoeligheid van cement weergeeft

Gewogen rijpheid

- Gebruik **tabel** voor berekenen van gewogen rijpheid
- C-waarde volgens opgave leverancier (alleen in Nederland)
- Anders zelf te bepalen volgens **NEN 5970**
- Meer slak geeft hogere C-waarde

Gewogen rijpheid



Gewogen rijpheid

Ingekorte tabel

	C-waarde							
temp		1,2	1,25	1,3		1,6	1,65	1,7
11		17	16	16		13	12	12
20		27	26	25		23	23	22
33		43	44	44		49	49	50
38		51	52	53		63	65	67
45		63	66	68		91	95	100
49		70	74	78		111	118	125
50		72	76	81		117	124	133

Gewogen rijpheid

Berekening m.b.v. tabel

$C = 1,65$

tijd	gem. temperatuur	gewogen rijpheid uit tabel	gewogen rijpheid
0 – 2	11	$2 \times 12 =$	24
2 – 4	20	$2 \times 23 =$	46
4 – 6	38	$2 \times 65 =$	130
6 – 8	49	$2 \times 118 =$	236
8 – 10	50	$2 \times 124 =$	248
10 – 12	45	$2 \times 95 =$	190
12 – 14	38	$2 \times 65 =$	130
14 - 16	33	$2 \times 49 =$	98
	gewogen rijpheid na 16 uren		1102

Gewogen rijpheid

Rijpheidscomputer



Gewogen rijpheid

Van gewogen rijpheid naar gemiddelde sterkte

- gebruik van ijkgrafiek
- **per betonsamenstelling te maken**
- **5 kubussen** laten verharden in waterbak
- drukken na verschillende dagen, zoals na 1, 2, 3, 4 en 7 dagen
- per kubus gewogen rijpheid te berekenen
- uitzetten in grafiek

Gewogen rijpheid

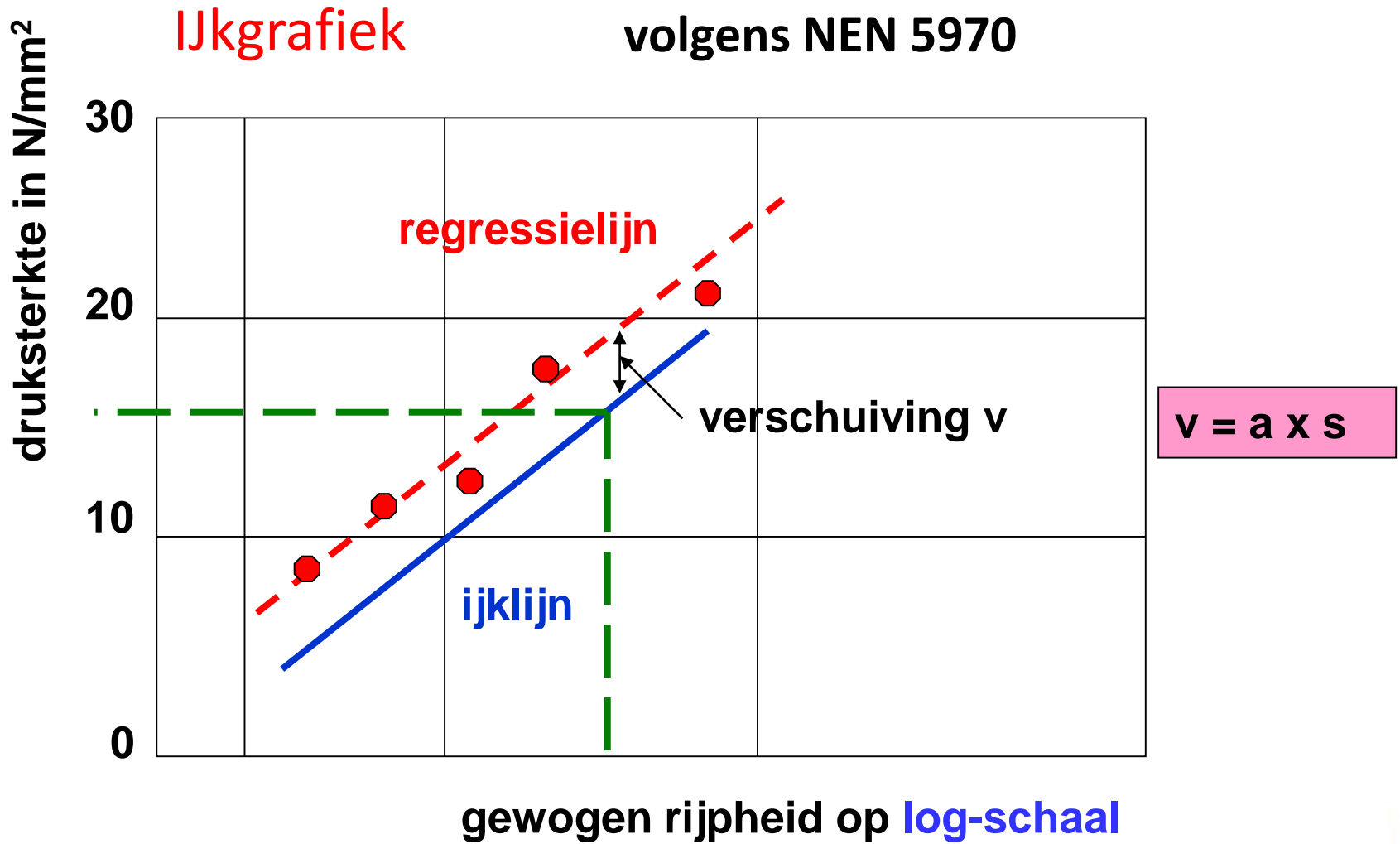
Berekenen gewogen rijpheid

Na 1 dag bij 20 °C: $24 \times 23 = 552$ °Ch

Na 2 dagen: $48 \times 23 = 1104$ °Ch

enz.

Gewogen rijpheid



Temperatuurbeheersing

Algemeen

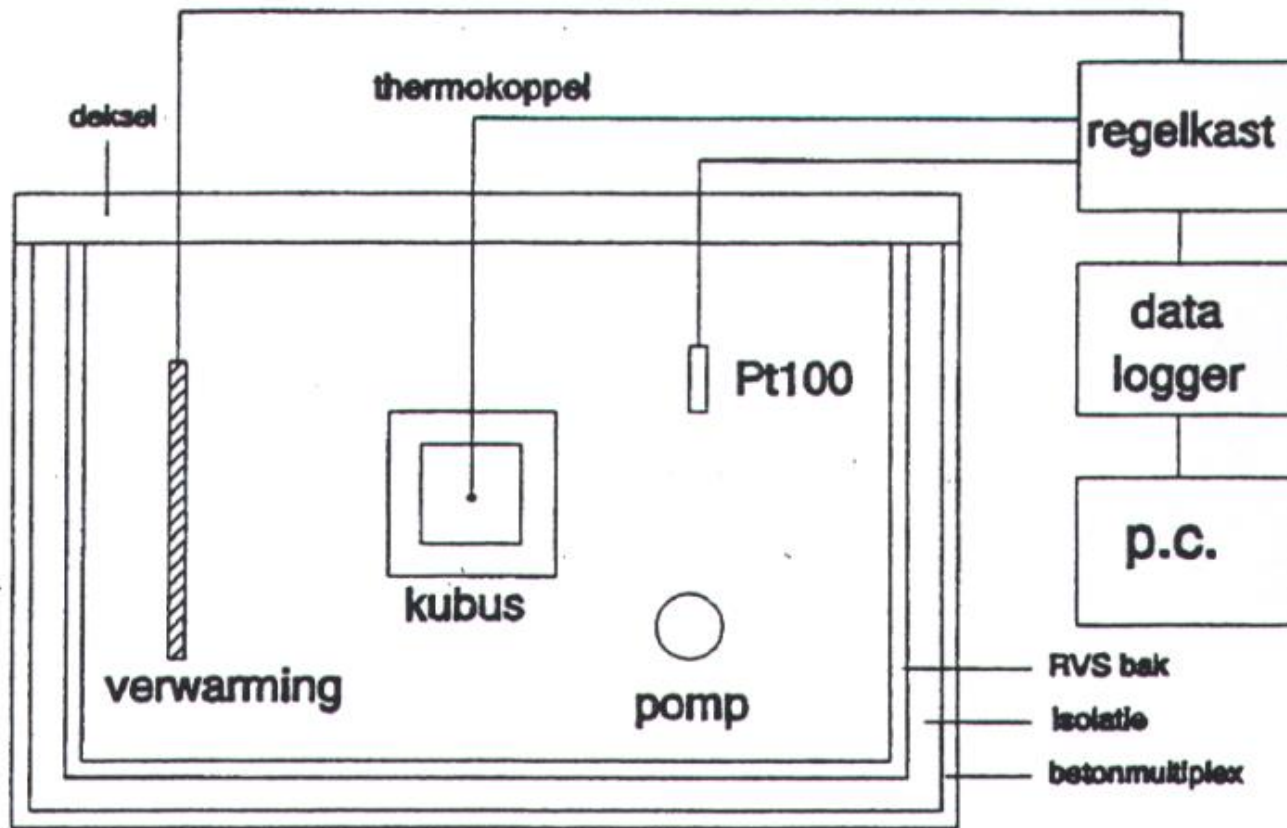
- door hydratatie warmteontwikkeling
- temperatuurverschillen geven inwendige spanningen
- gevaar voor scheurvorming
- duurzaamheid constructie in gevaar

Temperatuurbeheersing

- Beheersmaatregelen
 - isolatie
 - koeling grondstoffen
 - koeling beton tijdens verharden
 - verwarmen oude beton (theoretisch)
- Rekenprogramma's
 - temperaturen goed te voorspellen
 - uit te breiden naar berekening van spanningen

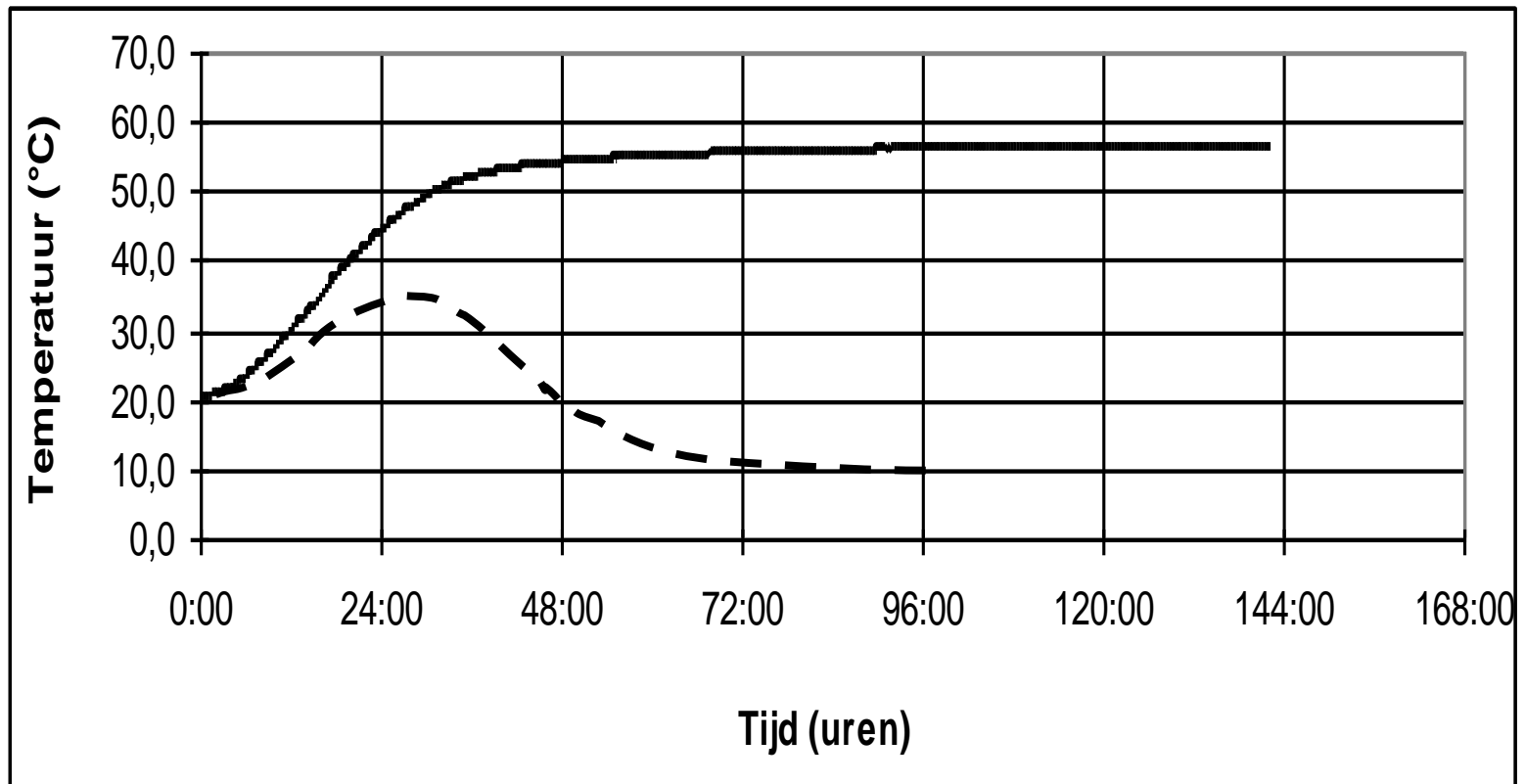
Temperatuurbeheersing

Adiabatische proefopstelling



Temperatuurbeheersing

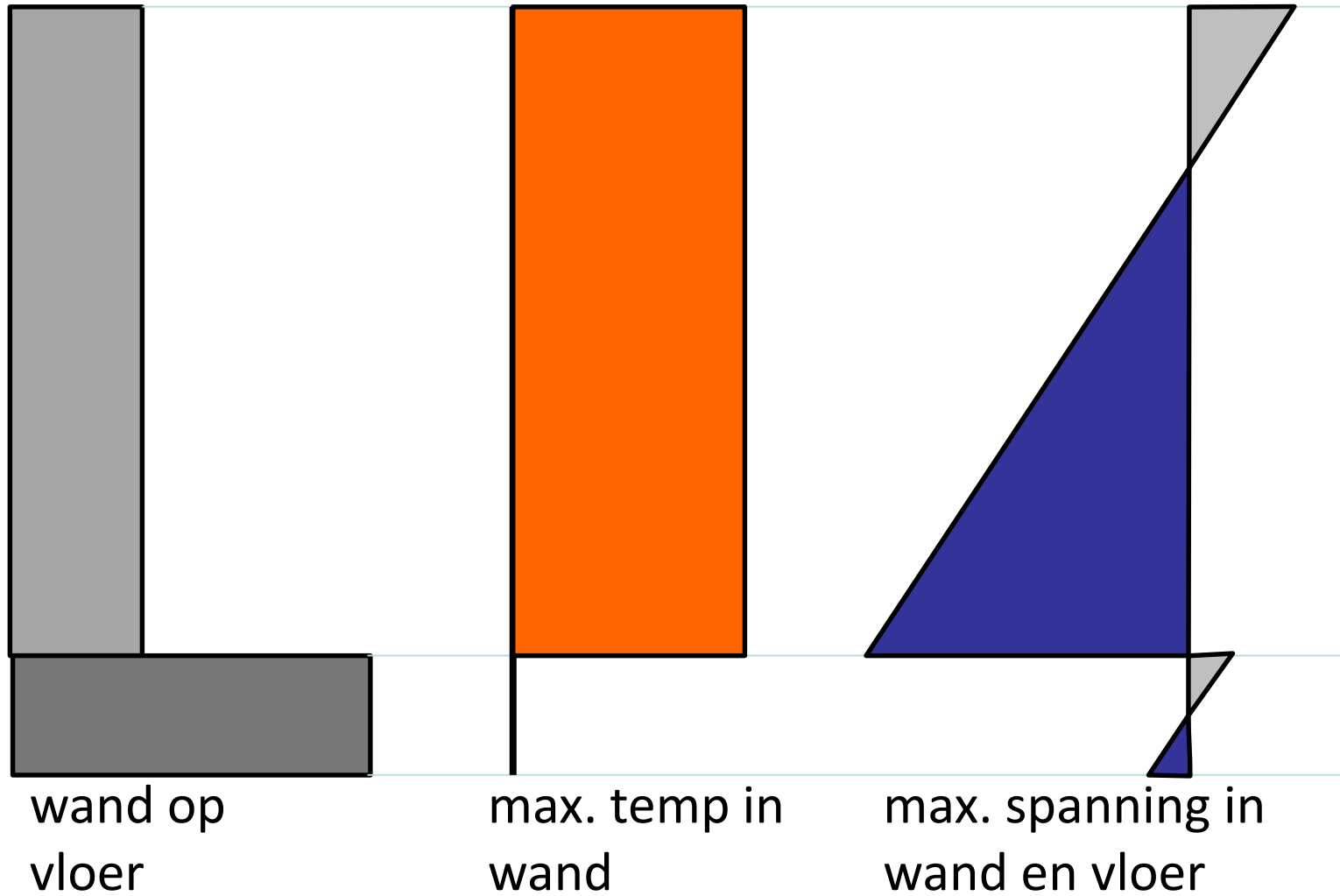
Adiabatische en praktijkmeting



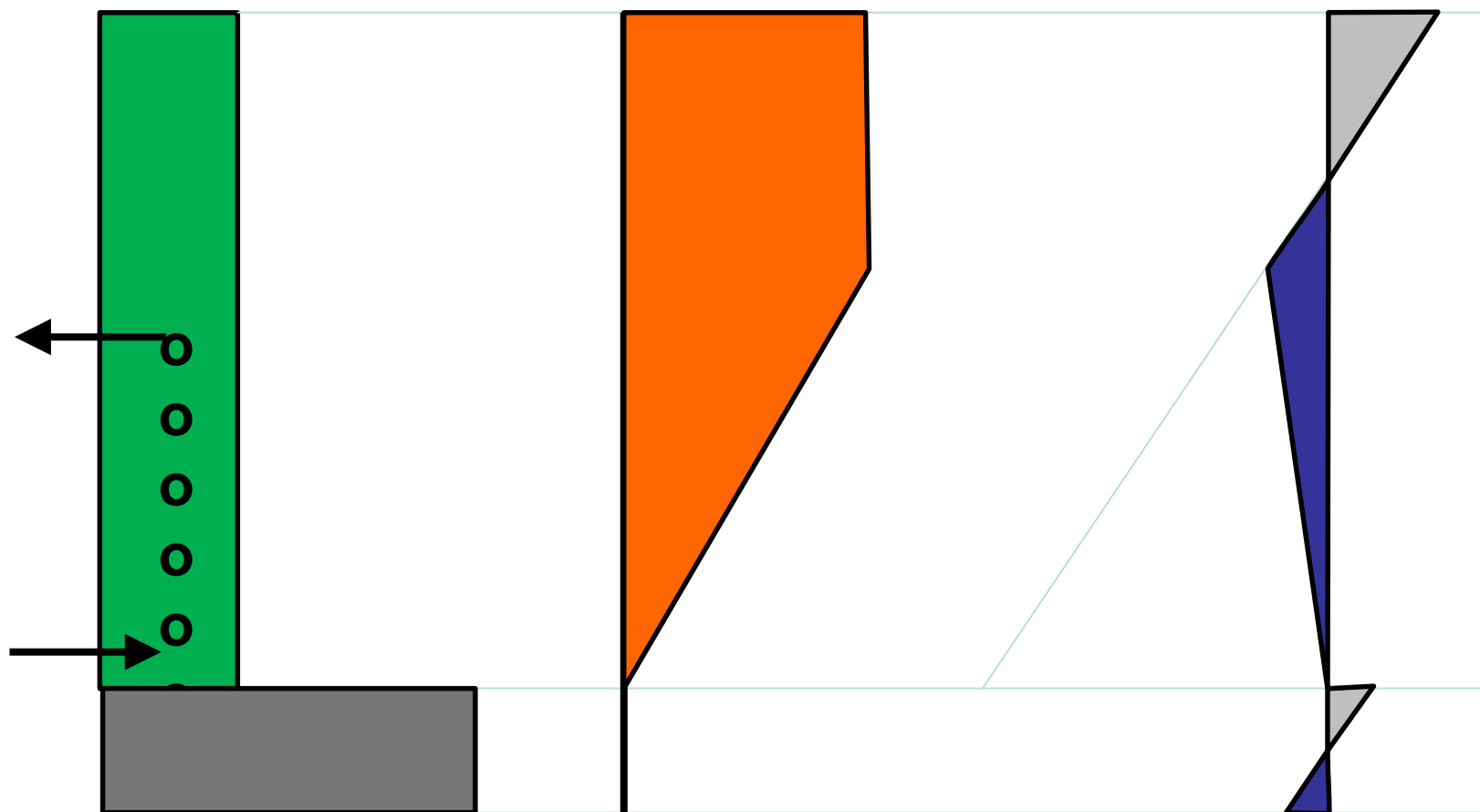
Temperatuurbeheersing

- Temperatuurgradiënten zien te voorkomen
 - inwendige spanningen
 - per constructiedeel
 - bij nieuw op oud beton
- Keuze van bekisting
 - hout isoleert meer dan staal

Wand zonder koeling



Wand met koeling

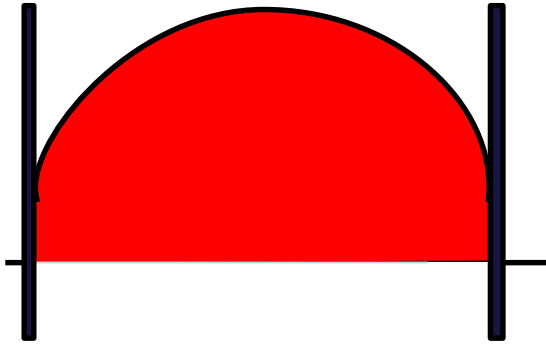


wand op
vloer

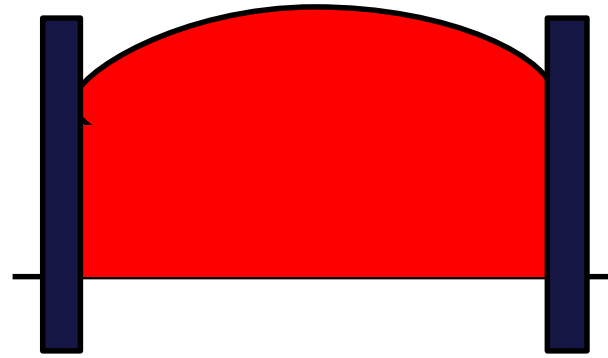
max. temp in
wand

max. spanning in
wand en vloer

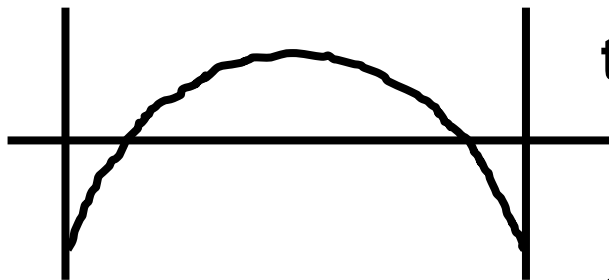
Temperatuurverloop over dikte



zonder isolatie

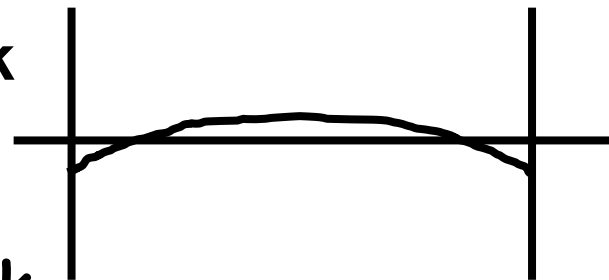


met isolatie



trek

druk



Spanningsverloop

Temperatuurbeheersing

- Versnellen van verharding
 - gebruik van klimaatkamer
 - stomen van beton
 - convectiewarmte/gasverwarming
 - hete luchtverwarming
 - verwarming met elektrische draden in beton
 - verwarming via bekisting

Beton in de kist

- Nabehandeling van beton
 - verdamping water voorkomen
 - plastische scheuren voorkomen
 - voldoende sterkte betonoppervlak
 - voldoende duurzaamheid dekking

Nabehandeling van beton

Verdamping van water ontstaat door

- zonbestraling
- buitentemperatuur
- relatieve vochtigheid
- windsnelheid

Nabehandeling van beton

Methoden van nabehandeling

- bekisting laten staan
- dampdichte folie
- natte bekleding
- water op beton
- curing compound

Nabehandeling van beton

- Nabehandelingsduur
 - afhankelijk van sterkte (gewogen rijpheid)
 - afhankelijk van tijdsduur
 - afhankelijk van nabehandelingsklasse volgens NEN-EN 13670 (zie project-specificatie)

Nabehandeling

- Nabehandelingsduur

NEN-EN 13670

Nabehandelingsklasse	Periode	Percentage van kar. sterkte na 28 dagen
1	12 uren	nvt
2	nvt	35%
3	nvt	50%
4	nvt	70%

Nabehandelingsduur

Voor nabehandelingsklasse 3

Temperatuur van het oppervlak ° C	Periode van nabehandeling		
	Sterkte-ontwikkeling van beton $r = \frac{f_{cm2}}{f_{cm28}}$		
	snel $r \geq 0,50$	gemiddeld $0,50 > r \geq 0,30$	traag $0,30 > r \geq 0,15$
$T \geq 25$	1,5	2,5	2,0
$25 > T \geq 15$	2,0	4	3,5
$15 > T \geq 10$	2,5	7	7
$10 > T \geq 5$	3,5	9	10

Beton in de kist

- Ontkisten van beton
 - eigen gewicht van constructie dragen
 - externe belasting (wind op wand)
 - bij prefab voldoende sterk voor transport
 - voorgeschreven volgorde

Ontkisten van beton

- Constructeur bepaalt bij voorkeur minimale ontkistingssterkte
- Onderscheid in dragend en niet-dragend
- In NEN 6722:
 - Niet-dragend min. $3,5 \text{ N/mm}^2$
 - Dragend min. 14 N/mm^2

Ontkisten van beton

- Tijdstip van ontkisten m.b.t. sterkte zonder opgaaf van constructeur

betonsterkteklasse	minimale gemiddelde ontkistingssterkte N/mm ²
C12/15	18
C20/25	25
C30/37	35
C35/45	40
C45/55	47
C55/67	56

Ontkisten van beton

- Bepalen ontkistingssterkte
 - methode gewogen rijpheid
 - verhardingskubussen met temperatuurregeling
 - verhardingskubussen
- Ter indicatie
 - terugslaghamer
 - ultrasoonmeting
 - combinatie van beide

Ontkisten van beton

- Tijdstip van ontkisten m.b.t. verhardingstijd zonder meting van sterkte

sterkteklasse cement	niet- dragende bekisting [dagen]	dragende bekisting	
		≤ 3 m [dagen]	> 3 m [dagen]
32,5	3	8	20
42,5	2	5	10
52,5	1	3	6

Dagen met gem. temperatuur < 4 °C tellen niet mee