

**REINFORCE project  
&  
Enkele schadegevallen gerelateerd aan de  
uitvoering van betonconstructies**

26 oktober 2023 - BBG

# Prenormatieve onderzoeksprojecten REINFORCE en REINFORCE II

# Context

- Betonconstructies vertonen vaak ongewenste scheurvorming
- Berekening volgens Eurocode 2 → minimum wapening ( $A_{s,min}$ )
  - Trekspanningen opvangen
    - Verhinderde krimp
    - Verhinderde thermische vervormingen
- $A_{s,min}$ 
  - Te weinig → scheurvorming
  - Te veel → overconsumptie
- $A_{s,min}$  niet altijd geschikt voor de werkelijke uitvoeringsomstandigheden
  - Invloed van o.a.
    - Betoneigenschappen
    - Betondikte
    - Betondekking
    - Bekistingseigenschappen
    - Ontkistingstijd
    - Nabehandeling

# Prenormatieve onderzoeksprojecten REINFORCE en REINFORCE II

- Doestellingen
  - Bestaande rekenregels onderzoeken
  - Rekenregels aanpassen
  - Beter inzicht werkelijke betoneigenschappen
  - Impact uitvoeringsomstandigheden evalueren
  - Grootteorde van de effecten?
- REINFORCE en REINFORCE II
  - Studie van de huidige rekenregels
  - Laboproeven
  - Monitoring van betonconstructies in uitvoering
  - Eindige elementenberekeningen

# Theoretische studie van de berekening van $A_{s,min}$ volgens Eurocode 2

Welke parameters hebben een invloed op  $A_{s,min}$ ?

- het beton
  - de uitvoering
- Binnen de uitvoeringstoleranties van de normen: invloed van 30 tot 200 % mogelijk (worst case scenario)!
- $A_{s,min}$  is maar een berekening, correcte uitvoering is ook van belang
- risico op scheuren nooit volledig uitgesloten

		1	2	3	4	5	6	7	8
		brosse breuk	scheurbeh. - buiging	scheurbeh. - trek	scheurbeh. - buiging wk=0,3	scheurbeh. - trek - wk=0,3	verh. verv. - wk = 0,3	verh. verv. - wk = 0,3	verh. verv. vrije rek - wk = 0,3
druksterkte beton	$f_{ck}$	X	X	X	X	X	X	X	XX
treksterkte beton	$f_{ctm}$	X	X	X	X	X	X	X	XX
ditke muur	$h$	X	X	X	X	X	X	X	X
kruijcoefficient	$\varphi$							XX	
betondekking	$c$	X			X	X	X	X	X
staafdiameter	$\phi_s$	X			X	X	X	X	X
vrije krimp	$\epsilon_{free}$								XX
termische gradient	$\Delta T$								XX
relatieve vochtigheid	RH							XX	XX
nabehandelingstijd	$t_s$							XX	XX

# Eurocode 2 vs. realiteit

Komen de berekeningsmodellen uit de EC overeen met de realiteit?

- Bepaling van de invloed van de betoneigenschappen
  - Krimpgedrag?
  - Sterkteontwikkeling?
  - Temperatuurverloop?
  - Evolutie op jonge leeftijd?
  - Nabehandelingsduur?

→ Proefprogramma opstellen

# Uitvoeren van laboproeven

- Betoneigenschappen die het scheurgedrag beïnvloeden
- Evolutie van deze eigenschappen op jonge leeftijd
- Beton van 4 verschillende betoncentrales, telkens C30/37 EE3 S4
- Metingen in labo en metingen van proefstukken van werven



Sterkte (druk/trek)



E-modulus



Vrije krimp

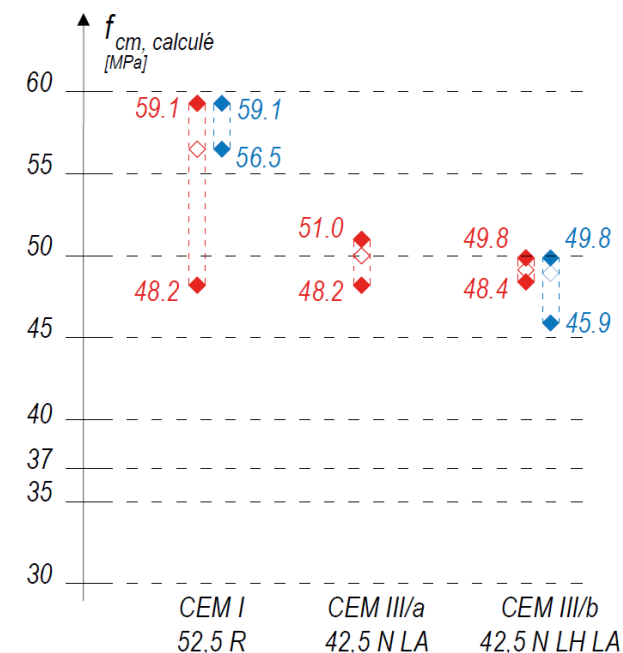


Relaxatie

# Resultaten van laboproeven

## Beton C30/37 EE3?

- Grote spreiding op druksterkte mogelijk
  - Verschillende betoncentrales = verschillende samenstellingen
  - Marge om druksterkte te garanderen
  - Simulatie op basis van gekende betonrecepten
    - Grote spreiding druksterktes
  - Als beton sterker is dan in berekening
    - Meestal ook grotere krimp → meer wapening nodig
    - Invloed op scheurgedrag!
- C30/37 is dus niet altijd “hetzelfde beton”





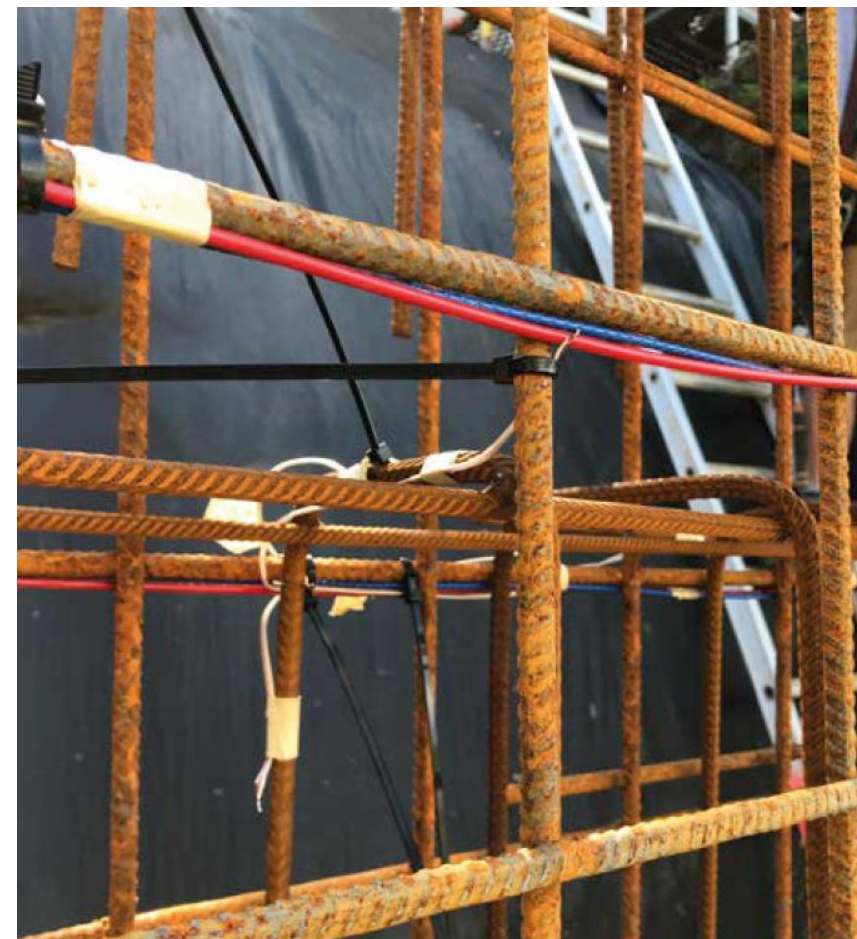
# Resultaten van laboproeven

## Treksterkte en krimp

- Globale karakteristieken op lange termijn
    - EC2 overeenkomstig met de realiteit
  - Jonge leeftijd (< 3 dagen)
    - Treksterkte: overschatting van de materiaalkarakteristieken door EC2
    - Krimp: groter op jonge leeftijd
- Er kunnen op jonge leeftijd kritieke omstandigheden ontstaan waardoor er een groter risico op scheuren bestaat.
- Aanpassing van de rekenregels nodig
  - Risico's bij vroegtijdige ontkisting
- Op niveau van het beton al veel moeilijk beheersbare factoren
- Bij de uitvoering extra aandacht nodig voor de aspecten waar er wel 'controle' over is

# Opvolging van werven in uitvoering

- Monitoring van temperatuur en vervormingen
  - Via optische vezels en thermokoppels
  - Meetgegevens tijdens volledige uitvoeringsproces
  - Geen invloed op het uitzicht van de structuur



# Opvolging van werven in uitvoering

Werf 1



Traditioneel bekiste wand  
*Winter 2020*



Werf 2



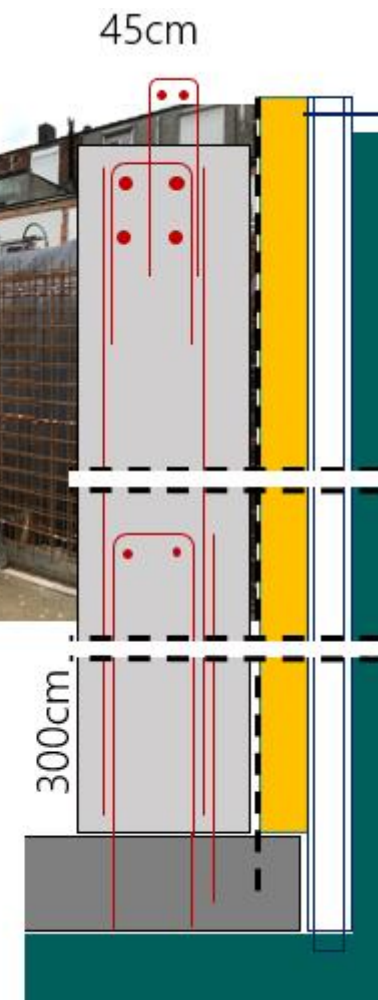
Kelderwanden tegen soilmix  
*Lente 2021*



Werf 3

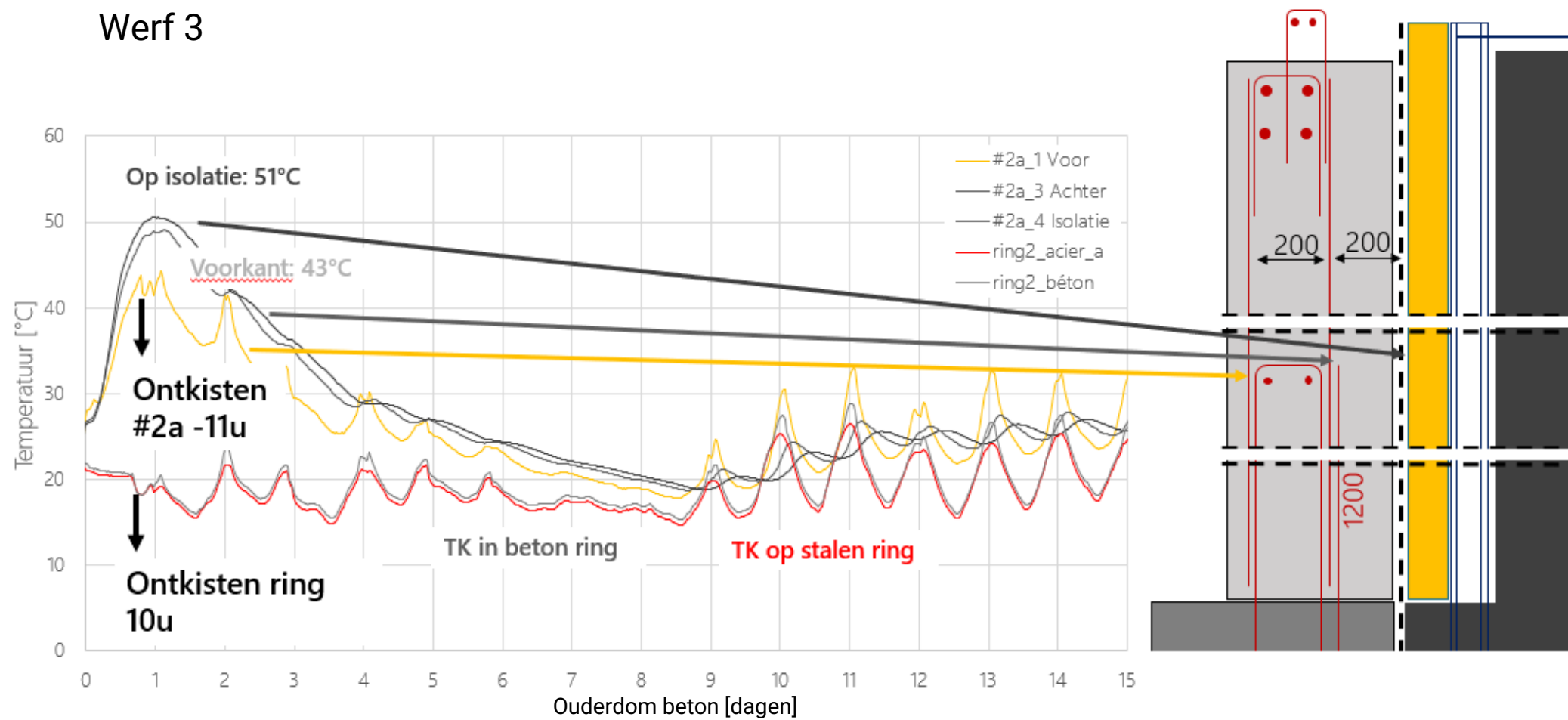


Kelderwanden Tegen berlinerwand  
Of dubbel bekist  
*Zomer 2021*



# Opvolging van werven in uitvoering

Werk 3





# Opvolging van werven in uitvoering



# Opvolging van werven in uitvoering

Ontstaan van scheuren bij werf 3

- Wapening was berekend voor een dikte van 30 cm
- Tijdens uitvoering beslist om de dikte te vergroten naar 45 cm (omwille van praktische overwegingen)
- Door isolatieplaat gedraagt wand zich alsof die 2x zo dik zou zijn

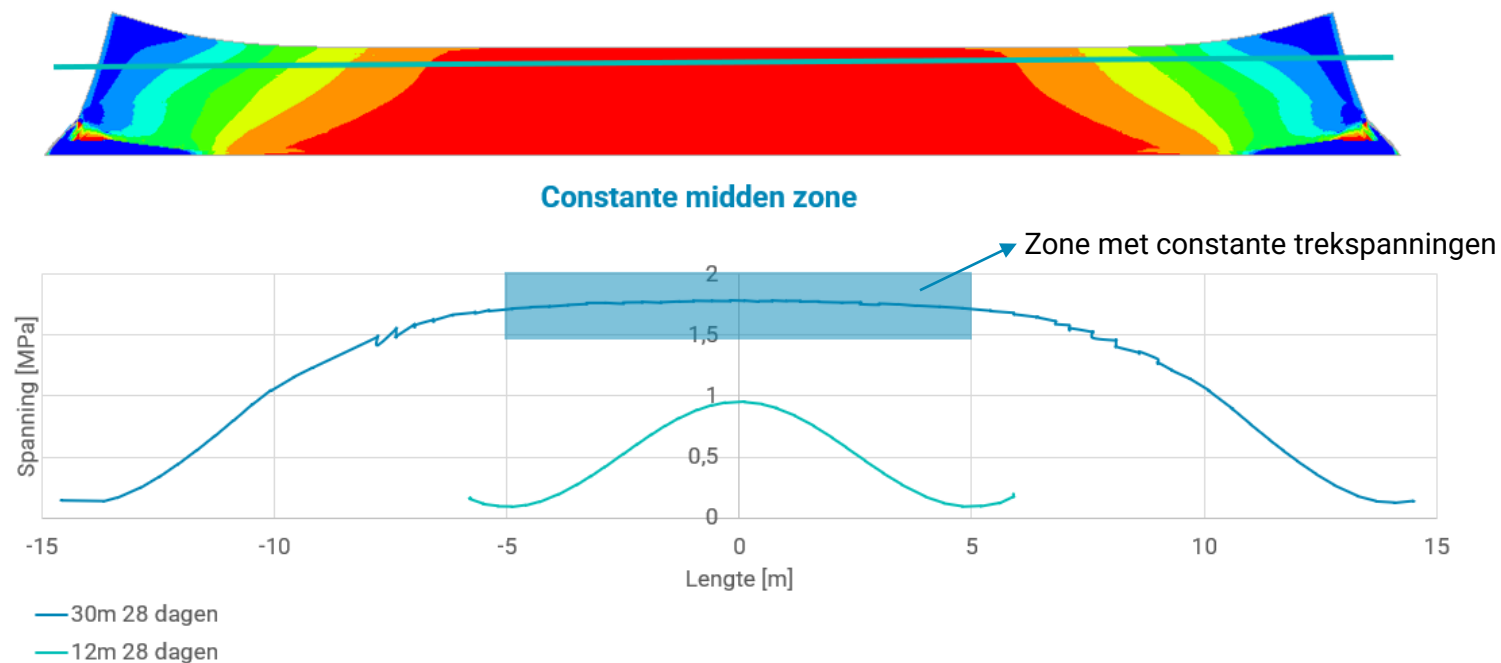
→ Wapening moest opnieuw berekend zijn

- Te snel ontkist (na 11u)
- Slechte weersomstandigheden (warm + veel wind)

→ Verschillende factoren die een rol spelen, maar “schijnbaar onschuldige” aspecten kunnen wel een grote invloed hebben

# EEM Modelling

- Modelling van de invloed van de omgevingscondities
  - Vooral in de tussenseizoenen (lente/herfst) grootste problemen verwacht
    - Wordt bestudeerd in REINFORCE 2
- Modelling van de invloed van de lengte van de stortmoten
  - EC2 rekent alles per m



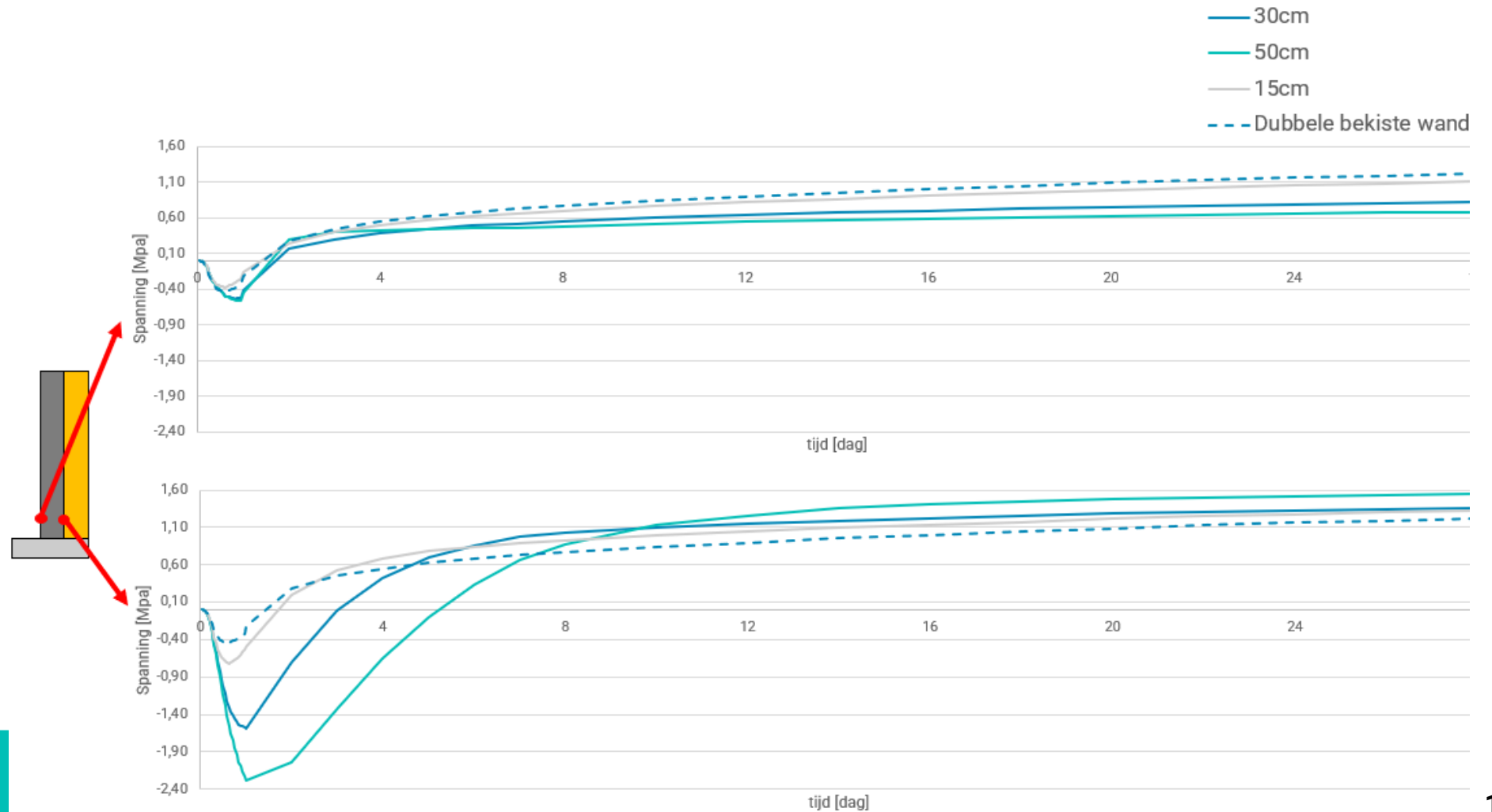
# EEM Modelling

- Wanneer volgende stortmoot uitvoeren?
  - TV 247: “Het is dus aangewezen om de termijn tussen twee opeenvolgende betonneringsfasen zo kort mogelijk te houden”
  - correct?
  - Te snel storten na vorige moot
    - Wand zal zich als één grote wand gedragen
    - Vermijden dat de bestaande wand nog in de fase van de temperatuurpiek zit
  - Te lang wachten
    - Bestaande wand zal beweging van nieuwe wand verhinderen
  - Huidig advies
    - Dikke wanden, opvolging temperatuurpiek belangrijk
    - Dunnere wanden, minder risico, volgende moot kan sneller gestort worden
  - Nog verder te onderzoeken in REINFORCE 2



# EEM Modelling

- Dikte van de wand



# Berekening van $A_{s,min}$ : herziening van de formules

Belangrijkste invloedsparameters voor beperking van de scheurwijdte?

## Huidige Eurocode 2

Gemiddelde waarden en standaard afwijkingen van de testplaat of literatuur :

• $f_{ctm} = 2,97$ MPa	$\sigma_{fctm} = 0,24$ Mpa	22 $f_{c,cube}$ tests	37%	Druksterkte en staalspanning
• $\sigma_s = 320$ Mpa	$\sigma_{fyk} = 32$ Mpa	10% ?	<b>54%</b>	
• $b_t = 1000$ mm	$\sigma_{bt} = 10$ mm	out of JCSS	1%	
• $h = 250$ mm	$\sigma_{bt} = 10$ mm	out of JCSS	9%	

## Herziening Eurocode 2 (in voorbereiding)

Average values, standard deviations of the test slab, source and ratio:

• $f_{ctm} = 2,97$ MPa	$\sigma_{fctm} = 0,24$ Mpa	22 $f_{c,cube}$ tests	7%	Betondekking
• $\sigma_s = 320$ Mpa	$\sigma_{fyk} = 32$ Mpa	10% ?	10%	
• $b_t = 1000$ mm	$\sigma_{bt} = 10$ mm	out of JCSS	0%	
• $c = 30$ mm	$\sigma_{bt} = 10$ mm	out of JCSS	<b>83%</b>	
• $\emptyset = 10$ mm	$\sigma_{bt} = 0,01$ mm	out of JCSS	0%	

# Enkele schadegevallen gerelateerd aan de uitvoering van betonconstructies

# Dunne wanden met hoge wapeningsdensiteit

Dmax: vermijd blockage van het beton in de bekisting

- het beton moet bij het storten de wapening volledig kunnen omsluiten
- Het is gebruikelijk om D niet groter te kiezen dan:
  - *1/5 van de kleinste afstand tussen de bekistingswanden*
  - *1/5 van de vloerdikte*
  - *3/4 van de kleinste tussenruimte tussen de wapeningstaven*
  - *2/5 van de opstortlaag van een samengestelde vloer*
  - *de betondekking.*





# Hoeveelheid beton

- Te weinig beton besteld en betoncentrale al gesloten...
- Waterdichtheid van de stortnaad?
- Herstelbaar bij waterinfiltraties?



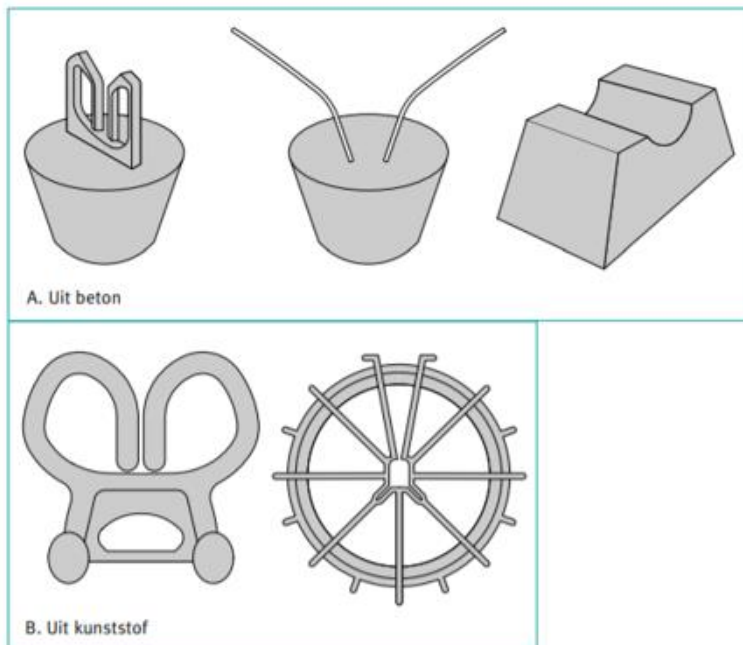
# Hulp voor de correcte betonspecificatie

betonapp.buildwise.be  
of smartphone app

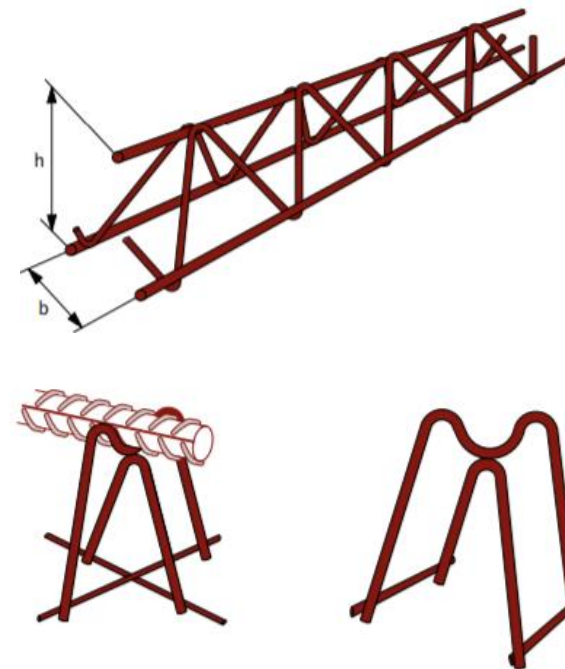
The screenshot shows the Buildwise 'BETON' application interface. At the top, the Buildwise logo is displayed. Below it, the word 'BETON' is written in large, bold letters, accompanied by a small icon of a concrete mixer truck. To the right of the 'BETON' text is a language selection dropdown menu showing 'NL' and a downward arrow. Below the 'BETON' header, the text 'Applicatie voor de specificatie van beton' is centered. Underneath, a paragraph explains that the application provides all data needed for the bill of materials and orders, which must be specified by answering a series of questions about the project. A large orange button with the text 'Start' and a right-pointing arrow is positioned below the text. At the bottom of the interface, a row of logos for various industry organizations is displayed, including FEDBETON, GBB, BBG, FEDERATIE VAN ALGEMENE BOUWAANNEMERS, ABEF, BE CERT, BENOR, FEBELCEM, and ADEB VBA.

# Plaatsing van de wapening

Gebruik de juiste afstandhouders



≠



wapeningsafstandhouders

Dekkingsafstandhouders

- Mortel, beton of kunststof
- Geen hout, staal of puin







# Gebruik van ruwhouten bekistingen

- Aandacht voor de waterabsorptie
  - Planken voldoende bevochtigen voorafgaand aan het betonstorten





# Invloed van de uitvoeringsomstandigheden op de duurzaamheid

- C35/45 EE4 met CEM III/A 42,5 N
  - Goede vorstweerstand nodig wegens gebruik van dooizouten op de trap
- Bovenzijde traplichaam met tegenkist
- Betonning bij tamelijk warm weer
- Tegenkist verwijderd na 24u
  - Om schade aan de hoeken te vermijden
- Veel luchtbellens na ontkisten
  - Esthetische bijwerking met R2 herstelmortel



# Invloed van de uitvoeringsomstandigheden op de duurzaamheid

- Mogelijkheid om luchtbelen tegen de sluitkist volledig te vermijden?
- Invloed op kwaliteit bovenste betonlaagje?



# Nabehandeling van het beton

- Tegenkist na 24u weggenomen
- Geen verdere nabehandeling
- Nabehandeling zou minstens 3 à 4 dagen moeten geduurd hebben
- Kwaliteit van het betonoppervlak?

**Tabel 8.2** Evolutie van de betonsterkte in functie van het cementtype volgens de norm NBN B 15-400 [B40], indien er geen toevoegsels van type II zijn (bv. vliegas).

Cementtype	Evolutie van de betonsterkte
CEM I 52,5 N of R	Snel
CEM II/A-S, -D of -LL 42,5 N of R	
CEM II/A-S, -D of -LL 52,5 N of R	
CEM I 42,5 N of R	Gemiddeld
CEM II/A-S, -D of -LL 32,5 R	
CEM II/A-V of -M 32,5 R, 42,5 N of 42,5 R	
CEM II/B-S, -LL, -M of -V 42,5 N of R of 32,5 R	
CEM III/A 52,5 N of 42,5 N	Langzaam
CEM II/A-S, -D, -V, -M of -LL 32,5 N	
CEM II/B-S, -LL, -M of -V 32,5 N	
CEM III/A 32,5 N	
CEM III/B 42,5 N of 32,5 N	
CEM III/C 32,5 N	
CEM V/A 32,5 N	Zeer langzaam
Overgesulfateerd cement	

**Tabel 9.1** Minimale nabehandelingsduur.

Minimale nabehandelingsduur					
Omgevingsomstandigheden	Temperatuur aan het betonoppervlak	Evolutie van de betonsterkte			
		Snel	Gemiddeld	Langzaam	Zeer langzaam
GOED Geen rechtstreekse blootstelling aan zon en wind Relatieve luchtvochtigheid $\geq 80\%$	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 dag 2 dagen	2 dagen 4 dagen	3 dagen 5 dagen	4 dagen 6 dagen
NORMAAL Gemiddelde bezonning en/of relatieve luchtvochtigheid $\geq 50\%$	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	2 dagen 4 dagen	3 dagen 6 dagen	4 dagen 8 dagen	6 dagen 12 dagen
SLECHT Sterke bezonning en/of sterke wind en/of relatieve luchtvochtigheid $< 50\%$	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	3 dagen 5 dagen	4 dagen 8 dagen	7 dagen 10 dagen	10 dagen 15 dagen



# Blootstelling van het beton aan dooizouten

- Ernstige vorstschade
- Kwaliteit van de toplaag onvoldoende
- (Bij gebruik van dooizouten valt enige schade nooit uit te sluiten gezien het om een extreme belasting gaat)



# Technisch 100% in orde maar esthetisch??

- Betonvloer afgedekt met dampdichte folie
- Perfect nabehandeld
- Onverwijderbare kalkvlekken door condensatie tegen de folie
- Bij betonelementen waar de bouwheer esthetische verwachtingen heeft, aandacht voor de uitvoeringswijze
  - Opmerking: geen esthetische eisen voor structureel beton en betonvloeren, wel voor zichtbeton volgens NBN B 15-007 en architectonisch beton volgens PTV 21-601

