

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 1

Opgave H 1: 1

$0,33 \cdot \text{cementmassa} = 102 \text{ kg} \rightarrow \text{bindmiddel uit vliegashouding} = 0,40 \cdot 102 = 41 \text{ kg}$
 $wbf = 150 / 351 = 0,43 \rightarrow \text{antwoord} = C$

Opgave H 1: 2

Antwoord C

Opgave H 1: 3

A:

In het basische milieu vormt zich een dun laagje ijzeroxide op het wapeningsstaal. Deze laag wordt de passiveringslaag genoemd. Deze laag voorkomt verdere corrosie van het betonstaal.

B:

De passiveringslaag kan door de twee volgende schademechanismen worden aangetast:

- Carbonatatie:
De pH van het poriewater in beton wordt verlaagd door inwerking van koolzuur (uit de lucht). Het koolzuur reageert met het ontstane Ca(OH)_2 (ontstaat tijdens het hydratatieproces), waarbij er CaCO_3 ontstaat.
Door deze reactie wordt het gehalte aan hydroxide-ionen (OH^-) verlaagd en hiermee samenhangend de pH van de oplossing. In volledig gecarbonateerd beton kan zodoende de pH van de oplossing dalen tot 8 á 9. Bij deze lage pH is de passiveringslaag niet stabiel, en zal verdwijnen. Hierdoor is het betonstaal zijn beschermende laag kwijt waardoor het corrosieproces weer plaats kan vinden (mits er voldoende water en zuurstof aanwezig is).
- Chloridegeïnitieerde corrosie:
De passiveringslaag kan ook worden aangetast door aanwezigheid van chloride-ionen. Chloride-ionen kunnen de passiveringslaag lokaal aantasten waarbij de pH daalt. Hierdoor wordt het wapeningsstaal aangetast, vaak zodanig agressief dat we spreken van putcorrosie.

C:

- In het ontwerp kiezen voor de juiste: dekking; milieuklasse en chlorideklasse.
- In het mengselontwerp voldoen aan de eisen ten aanzien van: wcf; minimumcementgehalte en het maximale chloridegehalte.
- In de uitvoering de juiste dekking realiseren en de betonspecie goed verdichten en nabehandelen.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 1

Opgave H 1: 4

Beperkte verzadiging van water op verticale oppervlakken waarbij doozouten worden gebruikt duidt op hoofdgroep XF. Verticale oppervlakken → XF1, XF2; doozouten → XF2

Blootstelling aan afvalwater met een pH van 5 en de aanwezigheid van opgeloste sulfaten duidt op hoofdgroep XA; pH = 5 → XA2; opgeloste sulfaten [300 mg/l] → XA1
XA2 is maatgevende milieuklasse in deze Hoofdgroep.

Van toepassing zijnde milieuklassen: XF2 en XA2

We hebben respectievelijk de volgende eisen gesteld aan de betonsamenstelling:

XA2: max wcf = 0,50; minimaal cementgehalte = 320 kg/m³
XF2 (geen LBV): max wcf = 0,45; minimaal cementgehalte = 300 kg/m³
XF2 (wel LBV): max wcf = 0,55; minimaal cementgehalte = 300 kg/m³

De eisen die aan de betonspeciesamenstelling worden gesteld zijn dus:

Geen toepassing van een luchtbelvormer:

- Maximale wcf = 0,45
- Minimum cementgehalte = 320 kg
- Cementsoort: geen speciale eisen.

Wel gebruik van een luchtbelvormer:

- Maximale wcf = 0,50
- Minimum cementgehalte = 320 kg
- Cementsoort: geen speciale eisen.

Er hoeft geen gebruik te worden gemaakt van sulfaatbestand cement! Echter i.v.m. aanwezigheid van opgeloste sulfaten is de keuze voor CEM III/B SR wel gerechtvaardigd (géén normeis).

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

Opgave H 2: 1

Voor dat we de antwoorden kunnen geven is het verstandig om eerst de samenstelling per m³ te bepalen.

Bepaling uitlevering mengsel A en B

Mengsel A

Totale massa = 2375 kg

Absoluut volume = 0,99 m³ → 1% lucht

Mengsel B

Totale massa = 2280 kg

Absoluut volume = 0,96 m³ → 4% lucht → hulpstof is hoogstwaarschijnlijk LBV

Water-cementfactoren mengsel A en B

Mengsel A: 0,500

Mengsel B: 0,500

Hoeveelheden fijn materiaal

Mengsel A

$112 + 0,03 \cdot 795 / 2,65 = 121$ liter

Mengsel B

$122 + 0,03 \cdot 730 / 2,65 + 10 \cdot (4 - 2) = 150$ liter

Druksterkte mengsel A en B

De gemiddelde 28-daagse ontwerpdruksterkte op basis van C30/37 berekenen we m.b.v.:

$$f_{cm,28} = \{37 + 8\} / 0,95^{(L-2)}$$

Hieruit volgt dat voor mengsel A (zonder LBV) de gemiddelde 28-daagse ontwerpdruksterkte 45 N/mm² bedraagt. Voor mengsel B (met 2% extra lucht) bedraagt de gemiddelde 28-daagse ontwerpdruksterkte 50 N/mm².

De te verwachten gemiddelde druksterkten zijn:

Mengsel A

$$f_{cm,28} = 0,80 \cdot 50 + 25 / 0,50 - 45 = 45,0 \text{ N/mm}^2$$

(u weet uit de BBT dat een luchtgehalte ≤ 2% geen invloed heeft op de druksterkte).

Mengsel B

$$f_{cm,28} = 45,0 \cdot 0,95^2 = 40,6 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie:

De gemiddelde druksterkte van mengsel A voldoet aan de druksterkteklasse.

De gemiddelde druksterkte van mengsel B voldoet niet.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

Voor het al dan niet voldoen aan de eisen t.a.v. de diverse milieuklassen kunnen we het volgende schema opstellen:

Milieuklasse	max wcf	min cement	min luchtgehalte	Mengsel A	Mengsel B
				Voldoet (J / N)	Voldoet (J / N)
XF1	0,55	300	-	J	J
XF2 + LBV	0,55	300	3,50%	N	J
XF2 geen LBV	0,45	300	-	N	N
XF3	0,5	300	-	J	J
XF4 + LBV	0,5	300	3,50%	N	J
XF4 geen LBV	0,45	320	-	N	N

De hoeveelheid fijn materiaal van mengsel A voldoet niet aan de wens van 135 liter. Mengsel B voldoet hier wel aan (t.g.v. luchtbelvormer).

Opgave H 2: 2

Vochtgehalte van de specie t.o.v. **natte** massa = $100\% * (6105 - 5641) / 6105 = 7,60\%$

Natte afweegstaat = 7140 kg → bevat 7,60% water t.o.v. natte massa = 543 kg

Water-cementfactor = $543 / 1020 = 0,53$

Opgave H 2: 3

We kunnen de formules herschrijven in termen van wcf:

Abrams:	$f_{cm} = K^{(1/wcf)}$	(N/mm ²)
Féret:	$f_{cm} = K * [1 / (1 + wcf + a/c)]^2$	(N/mm ²)
Bolomey:	$f_{cm} = K * [1 / (wcf + a/c) - 1/2]$	(N/mm ²)
Buist:	$f_{cm} = K + b/wcf$	(N/mm ²)

Indien we vervolgens het luchtgehalte verwaarlozen (a = 0) dan vereenvoudigen ze nog verder

Abrams:	$f_{cm} = K^{(1/wcf)}$	(N/mm ²)
Féret:	$f_{cm} = K * [1 / (1 + wcf)]^2$	(N/mm ²)
Bolomey:	$f_{cm} = K * [1 / (wcf) - 1/2]$	(N/mm ²)
Buist:	$f_{cm} = K + b/wcf$	(N/mm ²)

Invullen: $f_{cm} = 50$ bij $wcf = 0,50$ geeft de volgende waarden van K:

Abrams:	$K = \sqrt{50}$
Féret:	$K = 112,5$
Bolomey:	$K = 100 / 3$
Buist:	$K = 0$

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

De geschatte druksterkte bij $w_{cf} = 0,65$ worden nu achtereenvolgens:

Abrams:	$f_{cm} = \sqrt{50}^{(1/0,65)}$	= 20 N/mm ²
Féret:	$f_{cm} = 112,5 * [1 / (1 + 0,65)]^2$	= 41 N/mm ²
Bolomey:	$f_{cm} = (100 / 3) * [1 / 0,65 - 1/2]$	= 35 N/mm ²
Buist:	$f_{cm} = 25 / 0,65$	= 39 N/mm ²

Dezelfde antwoorden worden verkregen met behulp van de volgende redenering:

We gaan er van uit dat de pasta zorgt voor de sterkte (het TSM dient alleen als vulling). Op basis van de gegeven w_{cf} van 0,50 kunnen we de samenstelling van de pasta berekenen. We weten immers wat het luchtgehalte van 1m³ pasta is (20 liter), en we weten de verhouding van de cementmassa en watermassa. We kunnen deze bekende waarden invullen in de desbetreffende formules en vervolgens kan de waarde van K worden berekend. Hierna kunnen we een schatting maken van de druksterkte van de pasta bij een w_{cf} van 0,65. We krijgen op deze manier dezelfde antwoorden.

Opgave H 2: 4

- A: Ten gevolge hogere maalfijnheid zal de waterbehoefte toenemen en de verwerkbaarheid afnemen.
- B: Ten gevolge van de hogere maalfijnheid zal het hydratatieproces sneller plaatsvinden waardoor de betontemperatuur sneller / meer stijgt dan bij gebruik van dezelfde cement met een groffere maling.
- C: De 1 daagse sterkte neemt duidelijk toe.
De 28 daagse sterkte neemt merkbaar toe.
Het sterkteverschil na 5 jaar is nauwelijks merkbaar.
- D: Ten gevolge van de grotere warmteproductie is de kans op scheurvorming groter.

Opgave H 2: 5

Betonspecie in milieuklasse XF4 (op basis van LBV) moet een minimale hoeveelheid lucht bevatten. Dit luchtgehalte is afhankelijk van D_{max} :

- $D_{max} = 32 \text{ mm} \rightarrow$ minimaal luchtgehalte = 3,5%
- $D_{max} = 8 \text{ mm} \rightarrow$ minimaal luchtgehalte = 5,0%

Ten gevolge van de overstap naar een kleinere korrel (van 32 mm naar 8 mm) wijzigen de volgende zaken:

- De waterbehoefte van het mengsel wordt hoger.
- Het luchtgehalte van het mengsel moet worden verhoogd

Om de gewenste verwerkbaarheid; minimaal luchtgehalte en w_{cf} te bereiken moeten we het mengsel als volgt aanpassen:

- Verhoging waterbehoefte t.g.v. verkleining $D_{max} = 20 \text{ kg}$
- Verhoging waterbehoefte t.g.v. verhoging consistentieklasse = 15 kg
- Gebruik maken van plastificeerder (i.v.m. S3 \rightarrow F4)
- Verhoging luchtgehalte \rightarrow verlaging benodigde $w_{cf} \rightarrow$ verhoging cementgehalte

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

Met behulp van het basismengsel ($D_{\max} = 32$ mm; consistentieklasse S2; wcf = 0,48; luchtgehalte = 3,5%) en een bepaalde cementsoort is het mogelijk om de gemiddelde druksterkte van het mengsel te bepalen

Stel: Cementsoort = CEM III/B 42,5 N

$$N_{(\text{CEM III/B } 42,5 \text{ N})} = 58 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 3,5\%$$

$$\text{wcf} = 0,48$$

$$f_{\text{cm}} = (0,8 * 58 + 25 / 0,48 - 45) * 0,95^{1,5} = 49,5 \text{ N/mm}^2$$

In de nieuwe situatie geldt:

$$N_{(\text{CEM III/B } 42,5 \text{ N})} = 58 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 5,0\%$$

$$f_{\text{cm}} = (0,8 * 58 + 25 / \text{wcf} - 45) * 0,95^3 = 49,5 \text{ N/mm}^2$$

Hieruit volgt:

$$\text{wcf} = \frac{25}{49,5 / 0,95^3 - 0,8 * 58 + 45} = 0,444$$

Met behulp van het nieuwe watergehalte ($345 * 0,48 + 20 + 15 = 201$ kg) wordt het nieuwe cementgehalte: $201 / 0,444 = 453$ kg.

Een verhoging van 108 kg cement.

We hebben in dit voorbeeld gekozen voor CEM III/B 42,5 N. We hadden ook een andere cementsoort kunnen kiezen. Bij keuze van een andere cementsoort veranderd de normsterkte van het cement. We kunnen dezelfde som opstellen.

De invloed van de cementkeuze (normsterkte van het cement) op het nieuw te berekenen cementgehalte (o.b.v. watergehalte van 201 kg) wordt weergegeven in onderstaand overzicht:

N = 46	wcf = 0,379	C ~ 530 kg	
N = 50	wcf = 0,399	C ~ 505 kg	
N = 55	wcf = 0,425	C ~ 470 kg	
N = 60	wcf = 0,457	C ~ 440 kg	
N ≥ 63,3	wcf = 0,480*	C ~ 420 kg	*: max. toelaatbare wcf (milieuklasse)

Resumé:

Verandering betonspeciesamenstelling:

- Verhoging cementgehalte van minimaal circa 75 kg (afhankelijk van normsterkte cement)
- Verhoging watergehalte met 35 kg
- Verhoging luchtgehalte met 1,5%

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

Verandering eigenschappen betonspecie:

- Minder bleeding
- Verhoging plastische krimp

Verandering eigenschappen beton:

- Verhoging uitdrogingskrimp?
- Verhoging hydratatiewarmte
- Verhoging hydratatiekrimp
- Bij toepassing cement met lage normsterkte => toename autogene krimp

H 2: Opgave 7

We stellen allereerst de volgende tabel op:

consistentieklasse	waterbehoefte	watercementfactor	
		mengsel	
		A	B
C0	135	0,41	0,38
C1	150	0,45	0,42
S2	165	0,50	0,46
S3	180	0,55	0,50

Met beide mengsels kan worden voldaan aan de eisen voor milieuklasse XC3

Uit bovenstaande tabel concluderen we dat het antwoord op vraag A, met JA kan worden beantwoord. De enige waarde die tot discussie kan leiden is die van mengsel A met een watercementfactor van 0,55. Deze waarde is gelijk aan de maximale wcf van de desbetreffende milieuklasse. Indien we uitgaan van het ontwerpen van een betonmengsel dan moeten we rekening houden met een reductie van $\approx 0,02$ eenheden op de wcf. Indien we tijdens productiecontrole constateren dat de gemeten wcf 0,55 is dan voldoet deze waarde aan het gestelde criterium.

De sterkte-ontwikkeling van beide mengsels zal in de praktijk altijd wezenlijk verschillen

De druksterkte-ontwikkeling wordt met name gestuurd door de water-cementfactor en het cementgehalte. De afmetingen van de constructie spelen ook een significante rol. Uitgaande van het feit dat de afmetingen van de constructies gelijk zijn, luidt het antwoord op vraag B ook JA. De druksterkte-ontwikkeling van mengsel B zal hoger zijn dan die van mengsel A.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

Voor beide mengsels zal er een verschil van circa 10 MPa in 28 daagse kubusdruksterkte zijn tussen betonspecie in consistentieklasse C1 en S3

Voor het verschil in druksterkte kunnen we de volgende formule opstellen:

$$f_1 - f_2 = 25 * (1/wcf_1 - 1/wcf_2)$$

Voor mengsel A geldt dat het druksterkteverschil gelijk is aan:

$$25 * (1/0,45 - 1/0,55) = 10 \text{ N/mm}^2$$

Voor mengsel B geldt dat dit verschil gelijk is aan:

$$25 * (1/0,42 - 1/0,50) = 9,5 \text{ N/mm}^2$$

De uitdrogingskrimp van mengsel B is altijd groter dan die van mengsel A

De uitdrogingskrimp wordt met name bepaald door de hoeveelheid verdampbaar water. Uitgaande van het gegeven dat cement bij volledige hydratatie maximaal 40 m/m% water kan binden, wat dus betekent dat water-cementfactoren $> 0,40$ per definitie resulteren in uitdrogingskrimp, kunnen we concluderen dat mengsel B de laagste uitdrogingskrimp zal vertonen.

H 2: Opgave 8

- **Bereken de volumieke massa van de pasta en van de volledig verdichte mortelspecie na toevoeging van 100 kg droog zand**

Allereerst moeten we de samenstelling van de pasta weten. We gaan uit van de volgende samenstelling:

100 kg cement → 31,8 liter

45 kg water → 45 liter

Totaal: 76,8 liter

We nemen aan dat de pasta geen lucht bevat. De pastasamenstelling per 100 liter luidt dus:

Cement: $(100 / 76,8) * 100 = 130 \text{ kg}$

Water: $(100 / 76,8) * 45 = 59 \text{ kg}$

Totaal gewicht = 189 kg

Volumieke massa pasta = 1890 kg/m^3

Aan deze pasta voegen we toe: 100 kg droog zand

Het percentage holle ruimte van dit zand bedraagt $100 * (1 - 1400 / 2650) = 47\%$

100 kg droog zand heeft een losgestort volume van $100 / 1,4 = 71 \text{ liter}$

Van deze 71 liter bestaat dus 47% uit holle ruimte → 33,6 liter

We kunnen dus 33,6 liter pasta kwijt in de holle ruimten van het zand. De overgebleven hoeveelheid pasta zal zich vermengen met het zand.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

De volumieke massa van de ontstane mortel vinden we dus als volgt:

100 kg zand → 37,7 liter absoluut volume

100 liter pasta → hiervan gaat 33,6 liter tussen de korrels zitten

Totaal volume = $37,7 + 100 = 137,7$ liter

Totale massa = $100 + 189 = 289$ kg

Volumieke massa mortel = $289 / 137,7 \rightarrow 2099 \text{ kg/m}^3$

- **Bereken de volumieke massa van de pasta en van de volledig verdichte mortelspecie na toevoeging van 200 kg droog zand**

De berekeningen zijn analoog aan de voorgaande:

100 kg cement → 31,8 liter

45 kg water → 45 liter

Totaal: 76,8 liter

We nemen aan dat de pasta geen lucht bevat. De pastasamenstelling per 100 liter luidt dus:

Cement: $(100 / 76,8) * 100 = 130$ kg

Water: $(100 / 76,8) * 45 = 59$ kg

Totaal gewicht = 189 kg

Volumieke massa pasta = 1890 kg/m^3

Aan deze pasta voegen we 200 kg droog zand toe.

Het percentage holle ruimte in dit zand bedraagt $100 * (1 - 1400 / 2650) = 47\%$. 200 kg droog zand heeft een losgestort volume van $200 / 1,4 = 143$ liter. Van deze 143 liter bestaat dus 47% uit holle ruimte → 67,2 liter

We kunnen dus 67,2 liter pasta kwijt in de holle ruimten van het zand. De overgebleven hoeveelheid pasta zal zich vermengen met het zand.

De volumieke massa van de ontstane mortel vinden we dus als volgt:

200 kg zand → 75,5 liter absoluut volume

100 liter pasta → hiervan gaat 67,2 liter tussen de korrels zitten

Totaal volume = $75,5 + 100 = 175,5$ liter

Totale massa = $200 + 189 = 389$ kg

Volumieke massa mortel = $389 / 175,5 \rightarrow 2217 \text{ kg/m}^3$

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

- **Bereken de volumieke massa van de zo volledig mogelijk verdichte mortelspecie na toevoeging van totaal 500 kg droog zand**

De berekeningen zijn analoog aan de voorgaande:

500 kg droog zand heeft een losgestort volume van $500 / 1,4 = 357$ liter, Hierin zit 47% holle ruimte → 168 liter.

In deze situatie kan alle pasta zich in de holle ruimte plaatsen. Er blijft nog een hoeveelheid holle ruimte over van: 68 liter.

We krijgen dus de volgende waarden:

Zand:

- Massa = 500 kg
- Volume (los) = 357 liter
- Holle ruimte = 168 liter
- Volume opgevuld door pasta = 100 liter
- Overgebleven hoeveelheid holle ruimte = 68 liter

Pasta:

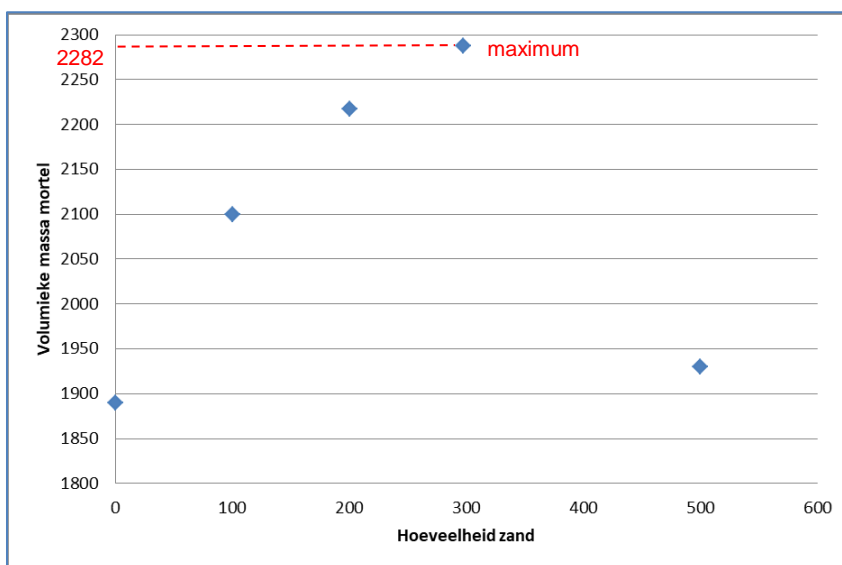
- Massa: 189 kg
- Volume: 100 liter (gaat in holle ruimte van het zand zitten)

Totaal gewicht: 689 kg

Totaal volume: 357 liter

Volumieke massa = 1930 kg/m^3

- **Teken de gevonden waarden in een grafiek, en geef een verklaring voor het verloop**



Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

Voor het geschetste verloop kan de volgende verklaring worden gegeven:

Aan cementpasta met een volumieke massa van 1890 kg/m^3 wordt zand met een volumieke massa van 2650 kg/m^3 toegevoegd. Het mengsel wordt dus zwaarder. Bij verdere toevoeging van zand komt er een moment dat alle holle ruimten gevuld zijn met pasta. De volumieke massa is nu het grootst. Voor het zand dat daarna wordt toegevoegd bedraagt de volumieke massa niet 2650 kg/m^3 maar 1400 kg/m^3 , omdat de overtollige holle ruimte niet meer wordt opgevuld. De volumieke massa daalt weer.

Het maximum berekenen we als volgt: er moet zoveel zand zijn dat de holle ruimten 100 liter bedraagt. We weten dat het percentage holle ruimte 47% bedraagt (van het losgestorte materiaal). 1000 liter zand bevat dus 470 liter holle ruimte. Hieruit volgt dat we $(100 / 470) * 1000 = 213$ liter losgestort zand nodig hebben, en dit komt overeen met $213 * 1,4 = 297$ kg droog zand.

In deze hoeveelheid losgestort zand past 100 liter pasta (met een totaal gewicht van 189 kg).

Het totale gewicht bedraagt dus: $297 + 189 = 486$ kg

Het totaal volume is 213 liter

Hiermee komt de maximale volumieke massa uit op: $486 \text{ kg} / 213 \text{ liter} \rightarrow 2282 \text{ kg/m}^3$

H 2: Opgave 9

Een mogelijke manier van oplossen van deze vraag is als volgt:

We gaan uit van 100 liter cement.

We weten dat we dan 600 liter TSM hebben.

100 liter cement weegt 295,0 kg.

We weten nu ook hoeveel water we hebben nl: $295,0 * 0,50 = 147,5$ liter

600 liter TSM weegt 1590,0 kg

Het totale volume van dit mengsel (zonder lucht) is: $100 + 147,5 + 600 = 847,5$ liter

Het totale volume van dit mengsel, met 1% lucht, is: $847,5 / 0,99 = 856$ liter.

We moeten echter 1000 liter betonspecie hebben. Indien we alle getallen vermenigvuldigen met: $1000 / 856 (= 1,1682)$, krijgen we de volgende hoeveelheden:

	Volume (liter)	Massa (kg)
Cement	116,8	345
Water	172,3	172
TSM	700,9	1857
Lucht	10	
Totaal	1000	2374

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

H 2: Opgave 10

We weten dat 3% extra lucht (boven de 2%) in een sterkteverlies resulteert van:

$$100\% * (1 - 0,95^3) = 14\%$$

We moeten dus ontwerpen op een gemiddelde druksterkte van $40 / 0,86 = 47 \text{ N/mm}^2$.

Hiervoor is een wcf nodig van: $25 / (47 - 0,80*N + 45)$

Een goede schatting van de normsterkte van het cement (N) halen we uit het gegeven dat bij een wcf van 0,52 een druksterkte werd gevonden van 40 N/mm^2 . We kunnen nu de normsterkte uitrekenen m.b.v.: $40 = 0,80*N + 25 / 0,52 - 45 \rightarrow N = 46 \text{ N/mm}^2$.

Deze waarde van N invullen in: $wcf = 25 / (47 - 0,80*N + 45)$ levert voor de nieuwe wcf de waarde: 0,453

Bij een gelijkblijvend watergehalte (166 liter) wordt het nieuwe cementgehalte: $166 / 0,453 = 366 \text{ kg}$ cement. Dit is een verhoging van circa 45 kg.

T.g.v. dosering LBV is het aannemelijk dat de verwerkbaarheid ongeveer gelijk is gebleven (kogellager effect van luchtbellens).

H 2: Opgave 11

Allereerst berekenen we het volume van het TSM-mengsel:

$$V_{\text{TSM}} = 1000 - 10 - 320*0,52 - 320 / 3,15 = 722 \text{ liter}$$

Het gehalte aan fijn materiaal afkomstig uit het cement bedraagt: $320 / 3,15 = 102 \text{ liter}$

Dit betekent dat uit het TSM-mengsel nog 48 liter fijn materiaal moet worden verkregen.

- Het aandeel fijn materiaal van Zand I bedraagt: 40%
- Het aandeel fijn materiaal van Zand II bedraagt: 4%

Tevens weten we dat de volumeverhouding Zand / Grind: 38 / 62 bedraagt (dus 38% zand en 62% grind)

Dit houdt in dat we dus:

$38*7,22 \text{ liter}$ zandmengsel (Zand I + Zand II) hebben = 274 liter zand en

$62*7,22 = 448 \text{ liter}$ grind

Ons zandmengsel bestaat uit Zand I (aandeel fijn materiaal = 40%) en Zand II (aandeel fijn materiaal = 4%)

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 2

Stel het aandeel Zand I op Z , hieruit volgt dat het aandeel Zand II dan $(1 - Z)$ bedraagt

We moeten nu dus oplossen:

$$Z \cdot 274 \cdot 40\% + (1 - Z) \cdot 274 \cdot 4\% = 48 \text{ liter fijn materiaal}$$

Hieruit volgt:

$$109,6Z + 10,96 - 10,96Z = 48$$

$$98,64Z = 37,04 \rightarrow Z = 38\%$$

We hebben dus:

- 38% Zand I
- 62% Zand II

De verhouding Zand I / Zand II bedraagt dus: 38 / 62 (volumebasis)
(Dit is toevallig ook gelijk aan de Zand / Grind verhouding)

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 1

Stap A: Inventarisatie: bestekseisen / uitvoeringstechnische eisen

Sterkteklasse is gegeven; Consistentieklasse is gegeven; milieuklassen zijn gegeven

Stap B: Materiaal keuze

Als grootste korrel is gekozen voor Grind 4/32 → zie zeefanalyse

We moeten nu nog de cementsoort kiezen.

Stap C: Berekening betonsamenstelling

Stap 1: Berekening van de benodigde gemiddelde druksterkte

Afhankelijk van het gebruik van wel of geen luchtbelvormer ontwerpen we op de volgende gemiddelde betondruksterkte:

Gebruik van LBV

Gem. ontwerpdruksterkte = 57 N/mm^2

Geen LBV

Gem. ontwerpdruksterkte = 53 N/mm^2

Stap 2: Bepalen normsterkte van het cement

Van de twee cementsoorten zijn deze waarden bekend.

Stap 3: Bepalen van de maximale water-cementfactor

We hebben te maken met twee situaties: wel of geen gebruik van luchtbelvormer.

De maatgevende milieuklasse levert een wcf op van 0,55 met gebruik van LBV (3,5% lucht) of een wcf van 0,45 (zonder LBV).

Gebruik van LBV

wcf (duurzaamheid) = 0,55

minimaal 3,5% lucht

Geen LBV

wcf (duurzaamheid) = 0,45

geen eis gesteld v.w.b. luchtgehalte

Voor wat betreft de sterkte hangt de maatgevende water-cementfactor ook af van de toegepaste cementsoort. We berekenen de maximale water-cementfactor, voor sterkte, met behulp van de volgende vergelijkingen:

$$57 = 0,8 \cdot N_{(28)} + 25/wcf - 45 \quad (\text{Toepassing van luchtbelvormer})$$

$$53 = 0,8 \cdot N_{(28)} + 25/wcf - 45 \quad (\text{Geen luchtbelvormer})$$

De normsterkten van de beide cementsoorten zijn:

- CEM I 52,5 R: 63 N/mm^2
- CEM III/B 42,5 N: 58 N/mm^2

We berekenen de 4 benodigde water-cementfactoren en vinden:

Gebruik van LBV

wcf (sterkte); CEM I = 0,48

wcf (sterkte); CEM III = 0,45

Geen LBV

wcf (sterkte); CEM I = 0,53

wcf (sterkte); CEM III = 0,48

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

We hebben dus de volgende 2 opties:

Gebruik van LBV

Ontwerp wcf = 0,48

Cementsoort: CEM I 52,5 R

Geen LBV

Ontwerp wcf = 0,43

Cementsoort: CEM III/B 42,5 N

Stap 4: Berekening toeslagmaterialenmengsel

We bepalen met behulp van:

$$P_z = \frac{M_x - G_x}{Z_x - G_x} * 100 \%$$

de waarde van Pz per zeefmaat.

We krijgen de volgende tabel:

Zeefmaat (mm)	Zeefdoorval (%)		Wens (Mx)	Pz
	Zand (Zx)	Grind (Gx)		
31,5	100	98	100	100%
16	100	60	88	70%
8	100	30	62	46%
4	99	10	49	44%
2	85	1	37	43%
1	70	0	28	40%
0.5	40	0	19	48%
0.25	10	0	11	110%
0.125	1	0	4	400%

We concluderen dat de 1 mm zeef maatgevend is en dat het maximaal toe te passen zandgehalte 40% bedraagt. Indien we kiezen voor het zandpercentage wat behoort bij de maatgevende zeef weten we zeker dat het mengsel in het ontwerpgebied valt.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Stap 5: Controle ontwerpgebied (ter volledigheid)

	Zand	Grind	Mengsel	graderingsgebied		mengsel Voldoet
	40%	60%		van	tot	
Zeefmaat	Doorval					J / N
31,5	100	98	99	95	100	J
16	100	60	76	60	88	J
8	100	30	58	37	62	J
4	99	10	46	22	49	J
2	85	1	35	13	37	J
1	70	0	28	7	28	J
0,5	40	0	16	4	19	J
0,25	10	0	4	2	11	J
0,125	1	0	0	0	4	J

Stap 6: Bepaling waterbehoefte

Waterbehoefte mengsel voor S2; N32 → 165 liter/m³

Stap 7: Berekening cementgehalte

Uit de waterbehoefte van het mengsel en de water-cementfactoren volgt:

Gebruik van LBV

Ontwerp wcf = 0,48

Cementsoort: 100% CEM I 52,5 R

Cementgehalte = 343 kg

Geen LBV

Ontwerp wcf = 0,43

Cementsoort: 100% CEM III/B 32,5 N

Cementgehalte = 384 kg

We kiezen voor het mengsel met 343 kg CEM I 52,5 R. Dit cementgehalte voldoet aan de minimale hoeveelheid van 300 kg/m³.

Stap 8: Uitleveringsberekening

343 kg CEM I 52,5 R 109 liter

165 kg water 165 liter

Lucht 35 liter

Voor het TSM-mengsel blijft over: 1000 – 165 – 109 – 35 = 691 liter

Het toeslagmateriaal bevat: 691 liter*40% zand = 276 liter zand = 734 kg droog zand
691 liter*60% grind = 415 liter grind = 1100 kg droog grind

We hebben dus:

- 343 kg CEM I 52,5 R 109 liter
- 165 kg water 165 liter
- Lucht 35 liter
- 734 kg droog zand 276 liter
- 1100 kg droog grind 415 liter

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Stap 9: Controleberekening

Hoeveelheid fijn materiaal: $109 + 10\% * 276 \text{ liter} + 15 \text{ liter (lucht)} = 152 \text{ liter}$
Deze hoeveelheid is groter dan de eis (115 liter).

Stap 10: Afweegstaat

$734 \text{ kg droog zand} = 734 * 1,04 = 763 \text{ kg nat zand (29 kg aanhangend water)}$
 $1100 \text{ kg droog grind} = 1100 * 1,02 = 1122 \text{ kg nat grind (22 kg aanhangend water)}$
 $\text{Aanmaakwater} = 165 - 29 - 22 = 114 \text{ kg}$

- 343 kg CEM I 52,5 R
- 114 kg aanmaakwater
- 763 kg nat zand
- 1122 kg nat grind
- LBV

Totaal 2342 kg

Opgave H 3: 2

We ontwerpen op een gemiddelde 28-daagse druksterkte van $55 + 8 = 63 \text{ N/mm}^2$

$$63 = 0,8 * 62 + 25 / \text{wcf} - 45 \rightarrow \text{wcf} = 0,43$$

De maximale water-cementfactor voor milieuklasse XF4 (zonder LBV) bedraagt 0,45.
Hiermee komt de ontwerp water-cementfactor uit op 0,43 en dit is dan ook het antwoord op deze vraag.

Betontechnologie

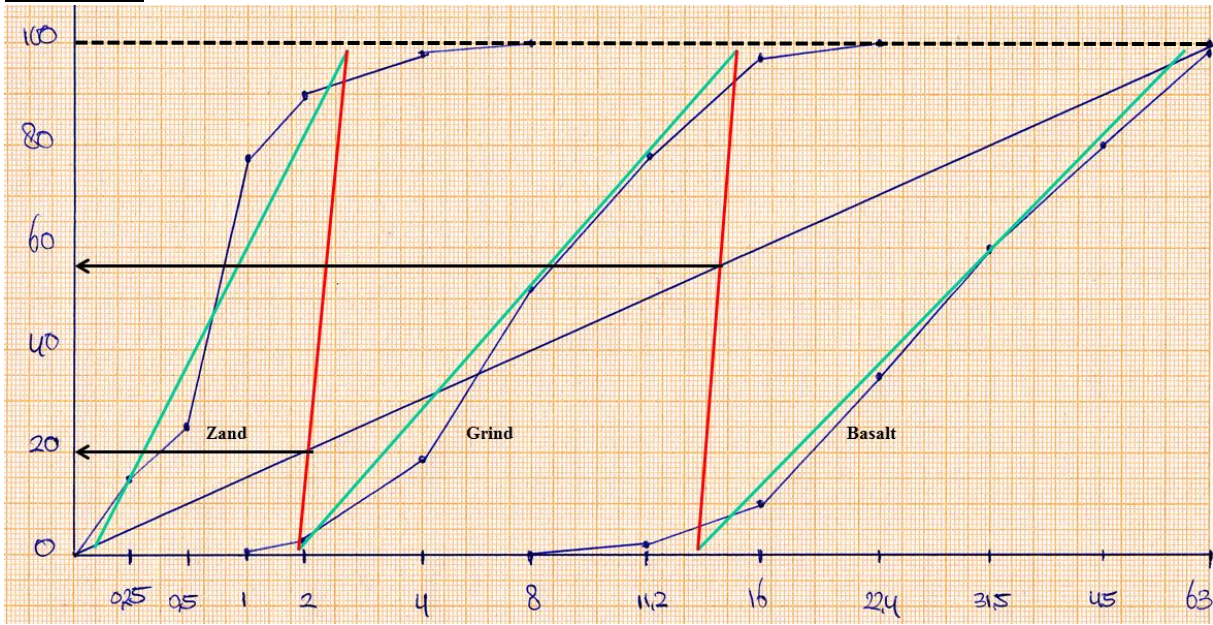
Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 3

We moeten het toeslagmaterialenmengsel zodanig ontwerpen, zo dat de gewenste gradering zo goed mogelijk wordt benaderd. We maken in deze uitwerking gebruik van de “grafische methode”. Let op: De zeefanalyses zijn gegeven als cumulatieve percentages zeefresten (i.p.v. doorval).

Antwoord:



Zand: 20% (m.b.v. computer 22%)
 Grind: 36% (m.b.v. computer 33%)
 Basalt: 44% (m.b.v. computer 45%)

Gradering TSM-mengsel

	20%	36%	44%			
Toeslagmateriaal	Zand	Grind	Basalt	Mengsel	Wens	Vershil
zeefmaat	cumulatieve zeefresten in procenten					
63	0	0	1	0	0	0
45	0	0	20	9	10	-1
31,5	0	0	40	18	20	-2
22,4	0	0	65	29	30	-1
16	0	2	90	40	40	0
11,2	0	22	98	51	50	1
8	0	48	100	61	60	1
4	2	81	100	74	70	4
2	10	97	100	81	80	1
1	22	100	100	84	85	-1
0,5	75	100	100	95	90	5
0,25	85	100	100	97	95	2
0,125	100	100	100	100	100	0
pan	100	100	100	100	100	0

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 4

Totale massa van 1 blok = 6000 kg
Volume 1 blok = $2 * 2 * 0,5 = 2 \text{ m}^3$

Benodigde volumieke massa = $3000 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$ volumieke massa beton $\sim 2350 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$ er is schroot nodig.

Stel volume aandeel schroot is X \rightarrow volume aandeel beton is (1-X)

$$7850 * X + \rho_{\text{beton}} * (1-X) = 3000$$

We moeten ρ_{beton} weten:

340 kg CEM I 32,5 R	= 108 liter
$340 * 0,55 = 187 \text{ kg}$ water	= 187 liter
0 kg lucht	= 20 liter
Totaal	= 315 liter

Blijft over voor TSM = 685 liter $\rightarrow \rho_{\text{rd}} = 2650 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$ Massa TSM = 1815 kg

Totale massa beton = $1815 + 340 + 187 = 2342 \text{ kg/m}^3 = \rho_{\text{beton}}$

$$7850 * X + \rho_{\text{beton}} * (1-X) = 3000$$

$$7850 * X + 2342 * (1-X) = 3000$$

$$7850 * X + 2342 - 2342 * X = 3000 \rightarrow X = 11,9\%$$

Dus per blok 11,9 v/v% schroot toevoegen \rightarrow 1870 kg schroot per blok

Opgave H 3: 5

Stap A: Inventarisatie: bestekseisen / uitvoeringstechnische eisen

Sterkteklasse is gegeven; consistentieklasse is gegeven (S2); milieuklasse is niet gegeven.

Stap B: Materiaal keuze

Beschikbare cementen zijn gegeven.

Grootste korrelafmeting = $4/32 \text{ mm}$.

Stap C: Berekening betonsamenstelling

Stap 1: Berekenen van de benodigde gemiddelde kubusdruksterkte

We ontwerpen op een gemiddelde druksterkte van 53 N/mm^2 (zonder LBV). Indien we gebruik maken van een luchtbelvormer ontwerpen we op een gemiddelde druksterkte van $53 / 0,95^{1,5} = 57 \text{ N/mm}^2$.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Stap 2: Bepalen van de normsterkte van het cement

De cementsoorten zijn bekend, De normsterkten dus ook.

Stap 3: Bepaling van de maximale water-cementfactor

Het betreft een kademuur in Vlissingen → mogelijke milieuklassen:

XC

XD

XF

XS

XC → XC4

XD → XD3 (uitgaande van het feit dat regenwater met hierin opgeloste dooizouten langs de kademuur afvloeien).

XF → XF4 (bovenkant kademuur is verzadigd met dooizouthoudend water).

XS → XS3

De maatgevende milieuklasse halen we uit onderstaande gegevens:

XC → XC4 = wcf = 0,50; 300 kg cement

XD → XD3 = wcf = 0,45; 300 kg cement

XF → XF4 = wcf = 0,50; 300 kg cement (gebruikmaken van LBV)

XF → XF4 = wcf = 0,45; 320 kg cement (geen gebruik van LBV)

XS → XS3 = wcf = 0,45; 320 kg cement

Hieruit volgt dat de maatgevende water-cementfactor 0,45 bedraagt (met of zonder LBV) en dat het minimale cementgehalte 320 kg/m^3 bedraagt.

Voor de bepaling van de maatgevende water-cementfactor op basis van sterkte hebben we te maken met twee situaties: wel of geen luchtbelvormer.

Benodigde water-cementfactor zonder LBV:

CEM I 32,5 R wcf = 0,42

CEM III/A 52,5 N wcf = 0,64

CEM III/B 42,5 N wcf = 0,48

Benodigde water-cementfactor met LBV:

CEM I 32,5 R wcf = 0,39

CEM III/A 52,5 N wcf = 0,58

CEM III/B 42,5 N wcf = 0,45

Tezamen met de eisen uit de milieuklasse volgt hieruit dat we bij toepassing van CEM III/A 52,5 N en CEM III/B 42,5 N een maximaal benodigde water-cementfactor van 0,43 dienen te hanteren. We hebben dus de keuze tussen CEM III/A 52,5 N en CEM III/B 42,5 N.

Onze keuze baseren we op de betere prestaties van CEM III/B 42,5 N v.w.b. chloridedifussie.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

We rekenen verder met CEM III/B 42,5 N en maken gebruik van een luchtbelvormer (want uit ervaring is gebleken dat beton met doelbewust ingebracht lucht beter bestand is tegen vorst-dooi wisselingen).

Stap 4: Berekening toeslagmaterialenmengsel

We kunnen het toeslagmaterialenmengsel niet op de traditionele manier samenstellen. Er zijn geen zeefanalyses gegeven. Derhalve kunnen we de controle op het ontwerpgebied niet uitvoeren. We ontwerpen het toeslagmaterialenmengsel a.d.h.v. de eisen gesteld aan het gewicht.

We gaan eerst door met stap 6:

Stap 6: Bepaling waterbehoefte

Consistentieklasse S2, ontwerpgebied I; grootste korrel = 32 mm

→ waterbehoefte = $165 - 20 = 145$ liter

Stap 7: Bepaling cementgehalte

Cementgehalte = $145 / 0,43 = 337 \text{ kg/m}^3$ → volume = $337 / 2,95 = 114$ liter

Stap 8: Uitleveringsberekening

We weten het volgende:

337 kg CEM III/B 42,5 N	= 114 liter	
Totaal water	= $145 - 4 = 140$ liter (4 liter correctie i.v.m. hulpstof)	*
Lucht	= 35 liter	
Hulpstof	= 4 liter	
Totaal	= 293 liter	

Blijft over voor TSM-mengsel 707 liter.

Totale massa cementpasta = $337 + 140 + 4 = 481$ kg

De volumieke massa van het beton, in ovdroge toestand, mag maximaal 2150 kg/m^3 bedragen. Het waterverlies t.o.v. de versie specie is gegeven en bedraagt 2,5%. Dit houdt in dat de volumieke massa in verse toestand gelijk is aan: $2150 / 0,975 = 2205 \text{ kg/m}^3$.

Het TSM-mengsel mag dus maximaal: $2205 - 481 = 1724$ kg wegen (in ssd toestand).

Het zandgehalte van het TSM-mengsel is gegeven: 34%

*: Altijd rekening houden met het watergehalte van de hulpstof

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Stap 10: Afweegstaat

Nat zand = $636 * 1,04 = 661$ kg (25 kg aanhangend water)

Nat grind = $990 * 1,02 = 1010$ kg (20 kg aanhangend water)

Verzadigd LichtTSM = 97 kg → dit komt overeen met 84 droog LichtTSM

84 kg droog LichtTSM komt overeen met $84 * 1,03 = 87$ kg nat LichtTSM

Dit laatste materiaal zal nog water absorberen: $97 - 87 = 10$ kg water

Dus extra aanmaakwater i.v.m. absorptie = 10 kg

- Cement: 337 kg CEM III/B 42,5 N
- Aanmaakwater: $145 + 10 - 25 - 20 - 4$ (i.v.m. hulpstof) = 106 kg
- Nat zand: 661 kg
- Nat grind: 1010 kg
- Nat lichtTSM: 87 kg
- Hulpstof: $1,3\% * 337 = 4,38$ kg ~ 4 liter

Totaal gewicht = 2205 kg

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 6

Stap A: Inventarisatie: bestekseisen / uitvoeringstechnische eisen

Alles is bekend

Stap B: Materiaal keuze

Alles is bekend.

Opmerking: indien de zeefanalyse is opgesteld door de leverancier van het TSM, dan voldoet technisch gesproken de korrelgradering van het materiaal niet aan die van Grind 4/32.

Stap C: Berekening betonsamenstelling

Stap 1: Berekening van de benodigde gemiddelde druksterkte

$$f_{cm(28)} = 33 \text{ N/mm}^2$$

Stap 2: Bepaling normsterkte van het cement

Cementsoort is gegeven en dus de normsterkte ook

Stap 3: Bepaling maximale water-cementfactor

Voor onderwaterbeton in milieuklasse X0 geldt een maximale water-cementfactor van 0,70.

De water-cementfactor voor de sterkte berekenen we als volgt:

$$f_{cm(28)} = 0,8 \cdot N_{(28)} + 25/wcf - 45 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$33 = 0,8 \cdot 48 + 25/wcf - 45 \rightarrow wcf = 0,63$$

Hieruit volgt dat de maatgevende water-cementfactor gelijk is aan 0,63

Stap 4: Berekening toeslagmaterialenmengsel

We nemen aan dat de 1 mm zeef de maatgevende zeefmaat is. (dit moeten we dus later controleren). We rekenen het zandpercentage in dit geval uit als 40%.

Stap 5: Controle ontwerpgebied

(in dit geval een eis vanwege aanname 1 mm zeef)

Toeslagmateriaal zeefmaat	40%	60%	mengsel	gebied I		voldoet J / N
	zand 0/4	Grind		van	tot	
	doorval in procenten					
31,5	100	99	99	95	100	J
16	100	69	81	60	88	J
8	100	35	61	37	62	J
4	95	8	43	22	48	J
2	88	1	36	13	37	J
1	70	0	28	7	28	J
0,5	40	0	16	4	19	J
0,25	8	0	3	2	11	J
0,125	0	0	0	0	4	J

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Stap 6: Bepaling waterbehoefte

Ontwerpgebied I; grootste korrel = 32 mm

De benodigde consisteklasse is hoger dan S3 en dit houdt in dat we gebruik moeten maken van een plastificerende hulpstof. We werken de verwerkbaarheid op van S2 naar F4. Hoeveel hulpstof we hiervoor nodig hebben is in dit geval niet relevant. Waterbehoefte consistentieklasse S2 = 165 liter.

Stap 7: Berekening cementgehalte

Cementgehalte = $165 / 0,63 = 262$ kg CEM III/B 32,5 N → 89 liter fijn

Stap 8: Uitleveringsberekening

We hebben tot dusver:

262 kg cement	= 89 liter	
Totaal water = 165 kg	= 165 liter	
Lucht = 0 kg	= 10 liter	
Totaal	= 264 liter	
Blijft over voor TSM	= 736 liter	
40% zand	= 294 liter	= 779 kg droog zand
60% grind	= 442 liter	= 1171 kg droog grind

Stap 9: Controle berekening

We kunnen alleen maar het gehalte aan fijn materiaal controleren

Cement	= 89 liter	
Fijn uit zand 8% van 294 liter	= 24 liter	
Totaal	= 113 liter	→ te weinig

We moeten fijn materiaal aanvullen met poederkoolvliegias (VLA). We moeten 47 liter fijn materiaal aanvullen. Er is dus $47 * 2,25 = 106$ kg VLA nodig. Door toevoeging van VLA blijft er minder volume over voor het TSM-mengsel. Tevens kunnen we het cementgehalte verlagen doordat VLA een bindmiddelfunctie ($k = 0,20$) bezit.

Het minimum bindmiddelgehalte moet 262 kg bedragen. Dit bindmiddel is opgebouwd uit C kg cement + $0,20 * 0,33 * C$ bindmiddel uit het poederkoolvliegias. Totaal: $1,066 * C$. Hieruit volgt dat C minimaal: $262 / 1,066 = 246$ kg bedraagt. Het maximale gehalte aan poederkoolvliegias komt hiermee op $246 / 3 = 82$ kg.

Voor de uitlevering kunnen we het volgende opstellen:

246 kg cement	= 83 liter
82 kg VLA	= 36 liter
Totaal water = 165 kg	= 165 liter
Lucht = 0 kg	= 10 liter
Totaal	= 294 liter
Blijft over voor TSM	= 706 liter

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Hoeveelheid fijn materiaal uit zand = $706 * 40% * 8% = 23$ liter
Totaal fijn materiaal = $83 + 36 + 23 = 142$ liter.

We komen in dit geval toch nog wat fijn materiaal te kort. Dit komt omdat we zoveel vliegas hebben toegepast dat we het maximale bindmiddelgehalte uit het vliegas hebben gehaald. We mogen meer vliegas doseren maar het meerdere mogen we niet meetellen als bindmiddel.

We doseren nog 18 liter extra vliegas. Dit komt overeen met 41 kg.
Hierdoor zal het gehalte aan TSM met 18 liter worden verminderd => $706 - 18 = 688$ liter.
Indien we de verhouding Zand/Grind ongewijzigd laten zal het TSM-mengsel nog steeds in het ontwerpgebied liggen.

We krijgen de volgende volumes:

- 246 kg cement = 83 liter
- 123 kg VLA = 55 liter
- Totaal water = 165 kg = 165 liter
- Lucht = 0 kg = 10 liter
- TSM = 688 liter
- Totaal = 1001 liter (afronding)

Controle gehalte fijn:

- Cement = 83 liter
- Poederkoolvliegas = 55 liter
- Fijn materiaal uit zand = $688 * 40% * 8%$ = 22 liter
- Totaal = 160 liter

Stap 10: Afweegstaat

Volume droog zand = $688 * 40% = 275$ liter → 729 kg droog zand
→ 757 kg nat zand (28 kg water).

Volume droog grind = $688 * 60% = 412$ liter → 1092 kg droog grind
→ 1113 kg nat grind (21 kg water).

- CEM III/B 32,5 N = 246 kg
- Vliegas = 123 kg
- Aanmaakwater = $165 - 28 - 21 = 116$ kg
- Nat zand = 757 kg
- Nat grind = 1113 kg
- Hulpstof Pm

- Totaal = 2355 kg

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 7

Stap A: Inventarisatie: bestekseisen / uitvoeringstechnische eisen

Alle gegevens zijn bekend.

Stap B: Materiaal keuze

Alle gegevens zijn bekend.

Stap C: Berekening betonsamenstelling

Stap 1: Berekening van de benodigde gemiddelde druksterkte

We ontwerpen op een gemiddelde druksterkte van $25 + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$.

Stap 2: Bepalen normsterkte van het cement

Cementsoort is gegeven. De normsterkte is dus bekend.

Stap 3: Bepaling maximale water-cementfactor

Water-cementfactor voor druksterkte:

$$33 = 0,8 \cdot 48 + 25/wcf - 45 \rightarrow wcf = 0,63$$

Water-cementfactor voor duurzaamheid:

milieuklasse XC1 \rightarrow wcf is maximaal 0,65

Hieruit volgt dat de maatgevende water-cementfactor 0,63 bedraagt.

Stap 4: Berekening toeslagmaterialenmengsel

We maken in dit geval gebruik van de begrensde gebieden (we hebben immers de zeefanalyses van de TSM gekregen).

We gaan uit van het gegeven dat de 1 mm zeef maatgevend is.

Gewenste zeefdoorval 1 mm TSM-mengsel = 28%

Doorval zand 1 mm = 75%

Doorval grind 1 mm = 0%

Doorval menggranulaat 1 mm = 0%

Het maakt in dit geval voor de groffe fractie niet uit wat de verdeling is van granulaat / grind. Immers de doorval op de 1 mm zeef is in dit geval 0%.

We kunnen dus gebruik maken van de vertrouwde formule:

$$P_z = \frac{M_x - G_x}{Z_x - G_x} * 100 \%$$

$M_x = 28$; $G_x = 0$; $Z_x = 75$

$P_z = 37,3\% \rightarrow$ groffe fractie = 62,7%

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

We mogen conform NEN 8005 onder voorwaarden maximaal 20 V/V% van het groffe TSM vervangen door menggranulaat. Dit houdt in dat het volume aandeel aan menggranulaat:

$20\% * 62,7\% = 12,5\%$ bedraagt.

Hiermee komt het aandeel grind op: $62,7\% - 12,5\% = 50,2\%$

We hebben nu de volgende gegevens:

V/V% droog zand = 37,3%

V/V% droog grind = 50,2%

V/V% droog menggranulaat = 12,5%

Stap 5: Controle ontwerpgebied

	37,3%	50,2%	12,5%				
toeslagmateriaal	Zand	Grind	Granulaat	mengsel	Gradering		Voldoet
zeefmaat	doorval in procenten				van	tot	J / N
31,5	100,0	99,0	99,0	99	95	100	J
16	100,0	69,0	48,0	78	60	88	J
8	100,0	36,0	19,0	58	37	62	J
4	99,0	2,0	2,0	38	22	48	J
2	97,0	0,0	0,0	36	13	37	J
1	75,0	0,0	0,0	28	7	28	J
0,5	48,0	0,0	0,0	18	4	19	J
0,25	12,0	0,0	0,0	4	2	11	J
0,125	5,0	0,0	0,0	2	0	4	J

Stap 6: Bepaling waterbehoefte

Consistentieklasse S2; Ontwerpgebied I; grootste korrel = 32 mm → waterbehoefte = 165 kg.

Stap 7: Bepaling cementgehalte

Cementgehalte = $165 / 0,63 = 262 \text{ kg/m}^3$. Dit voldoet.

Stap 8: Uitleveringsberekening

We hebben dus:

Cementgehalte = 262 kg CEM I 52,5 R	→ 83 liter
Watergehalte = 165 kg	→ 165 kg
Lucht = 0 kg	→ 20 liter
Totaal	→ 268 liter
Blijft voor het TSM over	→ 732 liter

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Volume droog zand = $37,3\% * 732 = 273$ liter → 723 kg droog zand

Volume droog grind = $50,2\% * 732 = 367$ liter → 973 kg droog grind

Volume droog menggranulaat = $732 - 273 - 367 = 92$ liter → 207 kg droog menggranulaat

Resumé

Cement	= 262 kg
Water	= 165 kg
Droog zand	= 723 kg
Droog grind	= 973 kg
Droog menggranulaat	= 207 kg

Stap 9: Controle berekeningen

Hoeveelheid fijn materiaal:

- Zand → $273 * 12\% = 33$ liter
- Cement → 83 liter

Totaal: 116 liter

→ voldoet

- Cementgehalte = 262 kg → is groter dan of gelijk aan 260 kg → voldoet
- wcf = 0,63 → is kleiner dan 0,65 → voldoet
- 20V/V% menggranulaat → voldoet

Stap 10: Afweegstaat

723 kg droog zand → 759 kg nat zand (36 kg aanhangend water)

973 kg droog grind → 1002 kg nat grind (29 kg aanhangende water)

207 kg droog granulaat → 219 kg nat granulaat (12 kg water)

207 kg droog granulaat absorbeert maximaal 9% water → 19 kg water

Afweegstaat voor de mengmeester

- 262 kg CEM I 52,5 R
- 759 kg nat zand
- 1002 kg nat grind
- 219 kg nat granulaat
- 107 kg aanmaakwater

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 8

a)

Laten we eens uitgaan van 1000 liter toeslagmaterialenmengsel.

Deze 1000 liter bestaat uit:

- 400 liter zand → 1060 kg
- 600 liter basalt → 1830 kg

1830 kg losgestort basalt neemt een volume in van $1830 / 2,05 = 893$ liter losgestort materiaal. Het percentage holle ruimte bedraagt 32,8%. Hiermee komt het totaal volume aan holle ruimte in deze 893 liter losgestort basalt uit op 293 liter. Dit houdt in dat we 293 liter losgestort zand kwijt kunnen tussen de basaltkorrels. Het zand tussen de korrels bevat nog steeds een percentage aan holle ruimte.

1060 kg losgestort zand neemt een volume in van: $1060 / 1,45 = 731$ liter losgestort materiaal. Het percentage holle ruimte bedraagt 45,3%.

Van de 731 liter losgestort zand kunnen we 293 liter (= 425 kg) kwijt tussen de basaltkorrels. Het overige (438 liter) niet. Het zand tussen de korrels bevat nog steeds een percentage aan holle ruimten van 45,3%. Hetzelfde geldt voor het overtollige zand.

We hebben nu de volgende situatie:

893 liter los basalt, met hierin (in de holle ruimte) 293 liter zand
Het totaal gewicht bedraagt: $893 * 2,05 + 293 * 1,45 = 2256$ kg

Het overtollige zand bedraagt: 438 liter (635 kg)

Hiermee komt het totale gewicht uit op: $2256 + 635 = 2891$ kg
Het totale volume bedraagt: $893 + 438 = 1331$ liter

Het volume aan holle ruimte is gelijk aan:
 $45,3\%$ van 293 liter + $45,3\%$ van 438 liter = 331 liter

$$\%HR = 100\% * (331 / 1331) = 25\%$$

b)

In werkelijkheid zal het percentage holle ruimte in het toeslagmaterialenmengsel groter zijn, omdat de zandkorrels nooit precies alle holle ruimten tussen de basaltkorrels zullen opvullen. De wandeffecten spelen hierbij een rol.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 9

Stap A: Inventarisatie: bestekseisen / uitvoeringstechnische eisen

Alle gegevens zijn bekend

Stap B: Materiaal keuze

Alle gegevens zijn bekend

Stap C: Berekening betonsamenstelling

Alle gegevens zijn bekend.

Stap 1: Berekening van de benodigde gemiddelde druksterkte

We ontwerpen op een gemiddelde druksterkte van $45 + 8 = 53 \text{ N/mm}^2$.

Stap 2: Bepalen normsterkte van het cement

Cementsoort is gegeven en dus is de normsterkte ook bekend.

Stap 3: Bepaling van de maximale water-cementfactor

Water-cementfactor op basis van sterkte:

$$f_{cm(28)} = 0,8 \cdot N_{(28)} + 25/wcf - 45 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$53 = 0,8 \cdot 49 + 25/wcf - 45 \rightarrow wcf = 0,43$$

Water-cementfactor op basis van duurzaamheid:

Milieuklasse XD3 \rightarrow maximale wcf = 0,45

Maatgevende wcf = 0,43

Stap 4 en stap 5: Berekening toeslagmaterialenmengsel en controle ontwerpgebied

Geen gegevens.

Stap 6: Bepaling waterbehoefte

Grootste korrel = 16 mm; ontwerpgebied I; consistentieklasse S2 \rightarrow waterbehoefte = 175 kg.

Stap 7: Berekening cementgehalte

Cementgehalte = $175 / 0,43 = 407 \text{ kg/m}^3$ en voldoet.

Hiermee zijn we aan het gewenste antwoord gekomen.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 10

We moeten van het toegepaste cement de waterbehoefte (β_p) berekenen.

We maken hiervoor gebruik van de relatie die bestaat tussen de relatieve vloeimaat en de waterbehoefte.

We kunnen van de 4 uitgevoerde proeven de relatieve vloei maten bepalen:

Proef 1 → gemiddelde vloei maat = 169 mm → rel.vloei maat = $1,69^2 - 1 = 1,86$

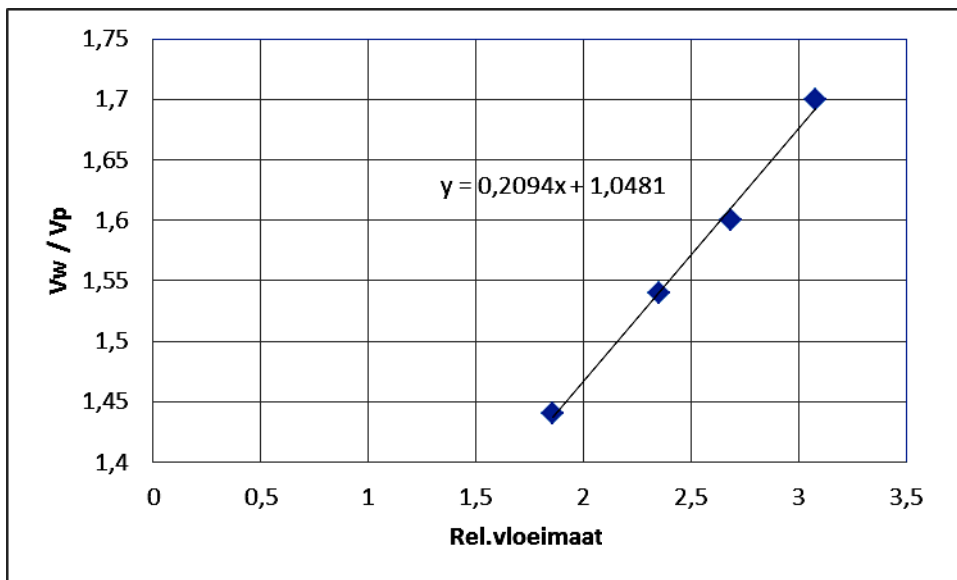
Proef 2 → gemiddelde vloei maat = 183 mm → rel.vloei maat = $1,83^2 - 1 = 2,35$

Proef 3 → gemiddelde vloei maat = 192 mm → rel.vloei maat = $1,92^2 - 1 = 2,69$

Proef 4 → gemiddelde vloei maat = 202 mm → rel.vloei maat = $2,02^2 - 1 = 3,08$

We maken nu een grafiek met op de X-as de relatieve vloei maat, en op de Y-as de verhouding V_w/W_p . Vervolgens bepalen we het snijpunt met de Y-as, waarbij geldt: $X(\text{rel.vlm}) = 0$.

We krijgen dan de volgende grafiek:



De waterbehoefte van het gebruikte cement is dus 1,05.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 11

Voor de wcf geldt dat dit gelijk is aan $M_{\text{water}}/M_{\text{cement}}$. Voor het bepalen van de waterbehoefte moeten we overschakelen naar volumes. De formule voor de wcf wordt nu:

$$\text{wcf} = \frac{V_{\text{water}} * 1}{V_{\text{cem}} * \rho_{\text{cem}}} = \frac{V_{\text{water}}}{V_{\text{cem}}} * \frac{1}{\rho_{\text{cem}}}$$

Hieruit volgt dat $V_w / V_p = V_w / V_{\text{cem}} = \text{wcf} * \rho_{\text{cem}}$

Berekening van de relatieve spreidmaten levert de volgende tabel op:

wcf * ρ_{cem}	Relatieve spreidmaat
0,51*3 = 1,53	1,84
0,54*3 = 1,62	2,33
0,56*3 = 1,68	2,67
0,58*3 = 1,74	3,06

m.b.v. rekenmachine → waterbehoefte = 1,21.

Opgave H 3: 12

De aantastingsmechanismen van beton zijn:

- aantasting door weersinvloeden (of fysische aantasting);
- chemische aantasting;
- corrosie van beton- en/of voorspanstaal door carbonatatie en/of chloriden.

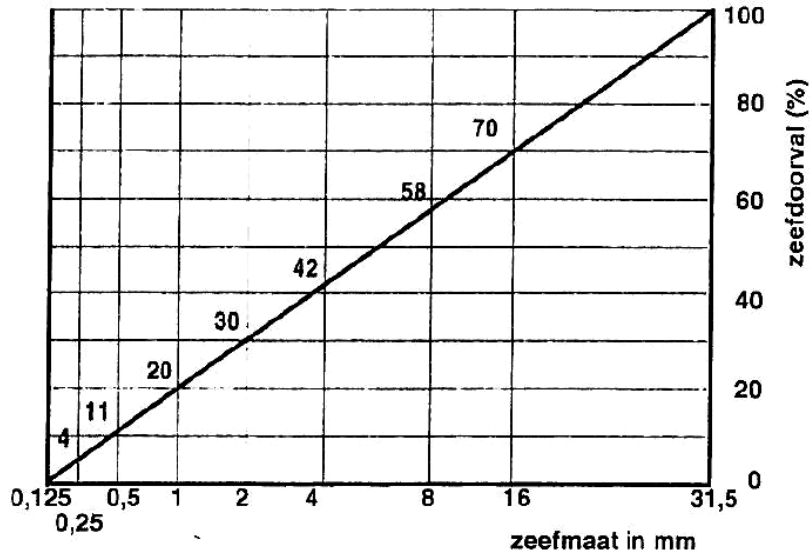
Betontechnologie

Antwoorden

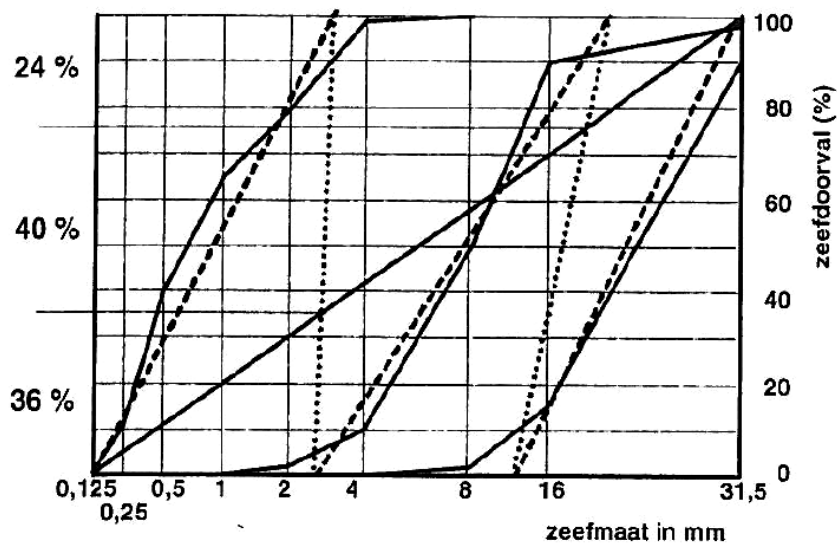
Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 13

De gegevens van de ideale gradering zijn in een grafiek gezet, met de ideale gradering als een rechte lijn. De zeefmaten zijn daarna ingevuld.



Vervolgens zijn in die grafiek de zeefanalyses van de 3 materialen ingetekend. Deze zijn vervolgens vervangen door vervangende rechte lijnen en de uiteinden van die lijnen zijn met elkaar verbonden. De snijpunten van die verbindinglijnen met de ideale gradering bepaalt de mengverhouding.



Het mengsel bestaat dus uit:

- 36 % zand
- 40 % fijn grind
- 24 % basalt

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 14

Ook voor hoge sterkte beton geldt de wet van de wcf, dus heeft HSB een zeer laag watergehalte en bovendien nog een hoog fijngehalte.

Dergelijke species ontlenen hun vloeibaarheid aan het gebruik van grote hoeveelheden superplastificeerders.

Opgave H 3: 15

De volgende factoren zijn van invloed op de indringingsdiepte:

- oppervlaktespanning van de vloeistof;
- viscositeit van de vloeistof;
- belastingduur;
- capillaire absorptie van het beton.

Opgave H 3: 16

Stap A: Inventarisatie

Sterkteklasse is niet gegeven, milieuklasse is niet gegeven, consistentiegebied is wel gegeven.

Stap B: Materiaal keuze

Cementsoort is bekend; grootste korrel is onbekend.

Stap 1: Berekenen van de benodigde gemiddelde betondruksterkte

We kunnen geen gemiddelde druksterkte berekenen.

Stap 2: Bepalen normsterkte van het cement of de gebruikte bindmiddelcombinatie.

De cementsoort is gegeven, en heeft een normsterkte van 48 N/mm^2 .

Stap 3: Bepaling van de maximale water-cementfactor.

Er is geen milieuklasse opgegeven. Er wordt, impliciet, een maximale water-cementfactor opgegeven van $185 / 350 = 0,53$

Stap 4: Bereken het toeslagmaterialenmengsel

We kunnen de samenstelling van het toeslagmaterialenmengsel niet berekenen m.b.v. de gebruikelijke manieren zoals bijv. methode van begrensd gebied, grafische methode, methode Fuller etc. Het toeslagmaterialenmengsel wordt ontworpen aan de hand van het maximaal toelaatbare gewicht. Controle van het ontwerpgebied kan ook niet worden uitgevoerd, want er zijn geen zeefanalyses gegeven.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Voor de berekening van de samenstelling van het toeslagmaterialenmengsel maken we gebruik van de tot onze beschikking zijnde gegevens:

Grondstof	Massa	Volume
Cement	350 kg	119 liter
Water	185 kg	185 liter
Lucht	- kg	50 liter
Totaal	535 kg	354 liter

De volumieke massa, in verse toestand, mag maximaal $1600 / 0,96 = 1667 \text{ kg/m}^3$ bedragen.

Er blijft dus voor het (verzadigde ssd) toeslagmaterialenmengsel over: $1667 - 535 = 1132 \text{ kg}$.
Deze hoeveelheid heeft een volume van $1000 - 354 = 646$ liter.

Stel:

Ik ga uit van het gegeven dat het TSM-mengsel volledig bestaat uit zand. Het gewicht van dit TSM-mengsel bedraagt in dit geval: $0,646 * 2650 = 1712 \text{ kg}$.

Stel:

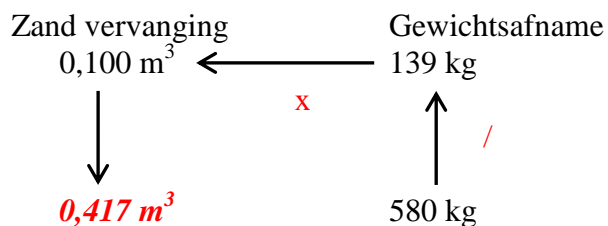
Ik vervang van dit zandmengsel 100 liter door verzadigd lichtgewicht TSM.
[De volumieke massa in ssd toestand van dit materiaal bedraagt: $1100 * 1,15 = 1265 \text{ kg/m}^3$].

Het aangepaste TSM-mengsel heeft een gewicht van:
 $(0,646 - 0,100) * 2650 + 0,100 * 1265 = 1573 \text{ kg}$.

T.g.v. vervanging van 100 liter zand door 100 liter lichtgewicht TSM is het mengsel:
 $1712 - 1573 = 139 \text{ kg}$ lichter geworden.

Het totaalgewicht moet echter: $1712 - 1132 = 580 \text{ kg}$ lichter worden.

We berekenen het vervangingsgehalte van het zand nu als volgt



$$(580 / 139) * 0,100 \text{ m}^3 = 0,417 \text{ m}^3$$

We moeten dus $0,417 \text{ m}^3$ zand vervangen door verzadigd licht TSM.

Controle:

Massa TSM-mengsel = $(0,646 - 0,417) * 2650 + 0,417 * 1265 = 1134 \text{ kg}$ (afronding).

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Stap 5: Controle ontwerpgebied

Kan niet worden uitgevoerd.

Stap 6: Bepaling waterbehoefte.

De waterbehoefte was gegeven: 185 liter.

Stap 7: Berekenen van het cementgehalte

Het cementgehalte is gegeven: 350 kg.

Stap 8: Uitleveringsberekening

We hebben tot dusver gevonden:

• Water	185 kg	185 liter
• Cement	350 kg	119 liter
• Lucht	0 kg	50 liter
• Droog zand	607 kg	229 liter
• Droog licht TSM	459 kg	417 liter
Totaal	1601 kg	1000 liter

Stap 9: Controleberekeningen.

- Gehalte fijn materiaal:
Cement: → 119 liter fijn
Lucht: → 30 liter fijn
Totaal: 149 liter en voldoet aan de eis.
- Het bindmiddelgehalte is niet te controleren.
- Chloride- en alkalibalans zijn niet uit te voeren wegens afwezigheid van beschikbare gegevens.

Stap 10: Maken afweegstaat/opgave mengmeester.

Omrekenen droge gewichten naar natte gewichten:

607 kg droog BEZ → 628 kg nat BEZ (21 kg aanhangend water)

459 kg droog Licht TSM → 473 kg Licht TSM (14 kg geabsorbeerd water)

Totale waterabsorptie Licht TSM = $459 \cdot 15\% = 69$ kg.

Totaal aanmaakwater = $185 - 21 - 14 + 69 = 219$ kg water

Hiermee luidt de afweegstaat:

- 350 kg CEM III/B 32,5 N LH
- 628 kg nat BEZ
- 473 kg nat Licht TSM
- 219 kg aanmaakwater

Totaal = 1670 kg → 4% verdamping → 1603 kg/m³
Akkoord.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Opgave H 3: 17

Stap A: Inventarisatie

Sterkteklasse is bekend; consistentieklasse is bekend; milieuklasse is niet gegeven.

Stap B: Materiaal keuze

Cementsoort is bekend; grootste korrel is bekend.

Stap C: Berekening betonsamenstelling

Stap 1: Berekenen van de benodigde gemiddelde betondruksterkte

We ontwerpen op een gemiddelde druksterkte van 55 N/mm^2 .

Het luchtgehalte is hoger dan gebruikelijk $\rightarrow 5\% \rightarrow$ we moeten dus rekening houden met sterkteverlies $\rightarrow 55 / 0,95^3 = 64 \text{ N/mm}^2$.

Stap 2: Bepalen normsterkte van het cement of de gebruikte bindmiddelcombinatie.

De cementsoort is gegeven en heeft een normsterkte van 58 N/mm^2 .

Stap 3: Bepaling van de maximale water-cementfactor.

Er is geen milieuklasse opgegeven. Laten we daarom eerst eens kijken naar de benodigde water-cementfactor voor sterkte:

$$f_{\text{cm}(28)} = 0,8 \cdot N_{(28)} + 25/\text{wcf} - 45$$
$$64 = 0,8 \cdot 58 + 25/\text{wcf} - 45 \rightarrow \text{wcf} = 0,40$$

Omdat deze water-cementfactor lager is dan 0,45 voldoet de te ontwerpen betonspecie o.b.v. de sterkte-eis aan alle milieuklassen. Omdat gebruik wordt gemaakt van een sulfaatbestendige cementsoort voldoet de betonspeciesamenstelling tevens aan milieuklasse XA3.

Stap 4: Bereken het toeslagmaterialenmengsel

We maken gebruik van de methode van Fuller.

Het toeslagmaterialenmengsel moet op de $500\mu\text{m}$ en 2mm de Fullerlijnen raken.

Voor de Fullerkromme geldt:

- Percentage doorval op zeef $d = \sqrt{d/D_{\text{max}}} * 100\%$

$$D_{\text{max}} = 8$$

Voor de $500 \mu\text{m}$ zeef geldt $d = 0,5$

Voor de 2 mm zeef geldt $d = 2$

We krijgen dus de volgende waarden van P

$$P_{500\mu\text{m}} = \sqrt{0,5/8} * 100\% = 25\%$$

$$P_{2\text{mm}} = \sqrt{2/8} * 100\% = 50\%$$

We maken weer gebruik van de formule:

Betontechnologie Antwoorden

Hoofdstuk 3

$$P_z = \frac{M_x - G_x}{Z_x - G_x} \times 100 \%$$

Voor de 2 mm zeef geldt:

- $M_x = 50$
- $G_x = 10$
- $Z_x = 90$

Hieruit volgt $P_z = 50\%$

Voor de 0,500 mm zeef geldt:

- $M_x = 25$
- $G_x = 0$
- $Z_x = 50$

Hieruit volgt eveneens $P_z = 50\%$

We krijgen in dit geval 2 maal hetzelfde zandpercentage. Dit betekent dat in dit geval de Fullerkromme op de 2 mm en 0,50 mm geraakt wordt.

Het toeslagmaterialenmengsel bestaat dus uit 50% MEZ + 50% Grind 2/8.

Stap 5: Controle ontwerpgebied

	50,0%	50,0%				
Toeslagmateriaal	zand 0/2	grind 2/8	mengsel	Gebied I		Voldoet J/N
zeefmaat	doorval in procenten			van	tot	
16	100	100	100,0	100	100	J
8	100	96	98,0	95	100	J
4	99	50	74,5	57	85	J
2	90	10	50,0	34	57	J
1	82	0	41,0	17	41	J
0,5	50	0	25,0	9	28	J
0,25	15	0	7,5	2	15	J
0,125	3	0	1,5	0	5	J

Het TSM-mengsel valt in Gebied I (0-8 mm):

Stap 6: Bepaling waterbehoefte.

Grootste korrel = 8 mm, consistentieklasse C1, Ontwerpgebied I → waterbehoefte = 170 liter

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Stap 7: Berekenen van het cementgehalte

Cementgehalte = $170 / 0,40 = 425$ kg CEM III/B 42,5 N LH SR. Dit cementgehalte voldoet aan de normen.

Stap 8: Uitleveringsberekening

We hebben tot dusver gevonden:

• Water	170 kg	170 liter
• Cement	425 kg	145 liter
• Lucht	0 kg	50 liter
Totaal		365 liter

Blijft er over voor het TSM-mengsel: 635 liter.

Dit wordt ingenomen door 317 liter Grind 2/8 en 318 liter MEZ.

Omgerekend naar droge gewichten vinden we nu:

- 843 kg droog MEZ
- 840 kg droog Grind 2/8

We hebben de volgende gegevens verzameld:

- 425 kg CEM III/B 42,5 N
- 843 kg droog MEZ
- 840 kg droog Grind 2/8
- 170 kg aanmaakwater

Stap 9: Controleberekeningen.

- Gehalte fijn materiaal:
Cement: → 145 liter fijn
MEZ: → $318 * 15\% = 48$ liter fijn
Lucht: → geen bijdrage aan het fijn gehalte (ingesloten lucht)
Totaal: 193 liter en voldoet aan de eis.
- Het bindmiddelgehalte was reeds gecontroleerd.
- Chloride- en alkalibalans zijn niet uit te voeren wegens afwezigheid van beschikbare gegevens.
- Het toeslagmaterialenmengsel voldoet aan de Fullerkromme v.w.b. de opgegeven zeven, en valt in Gebied I.

Stap 10: Maken afweegstaat/opgave mengmeester.

Omrekenen droge gewichten naar natte gewichten:

843 kg droog MEZ → 881 kg nat MEZ (38 kg aanhangend water).

840 kg droog Grind 2/8 → 861 kg nat Grind 2/8 (21 kg aanhangend water).

Totaal aanmaakwater = $170 - 38 - 21 = 111$ kg water.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 3

Hiermee luidt de afweegstaat:

- 425 kg CEM III/B 42,5 N
- 881 kg nat MEZ
- 861 kg nat Grind 2/8
- 111 kg aanmaakwater

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

Opgave H 4:1

Allereerst:

Bij betontemperaturen boven de 27°C is de gewogen rijpheid bij een C-waarde van 1,25 kleiner dan de gewogen rijpheid bij een C-waarde van 1,65 (zie hiervoor de tabellen).

Tijdens het “tunnelen” bereikt het beton een temperatuur van circa 60°C. Voordat deze temperatuur is bereikt duurt het ongeveer 5 tot 12 uren.

Indien de juiste beoogde rijpheid (bij een C-waarde van 1,65) wordt gehaald bij een C-waarde van 1,25 houdt dit in dat de herberkende rijpheid bij een C-waarde van 1,65 groter is dan de beoogde rijpheid.

Met andere woorden: Men kan zonder problemen ontkisten, want het beton heeft zijn sterkte ruimschoots gehaald (mits de ijklijn is opgesteld bij een C-waarde van 1,65, en mits dit een recente ijklijn is).

Een tweede optie is de rijpheid te berekenen met de juiste C-waarde. Men heeft dan in dit geval het temperatuurverloop van het beton nodig.

Opgave H 4:2

Antwoord C

Opgave H 4:3

Het bepalen van de C-waarde van cement doen we het eenvoudigst door gebruik te maken van een spreadsheet programma.

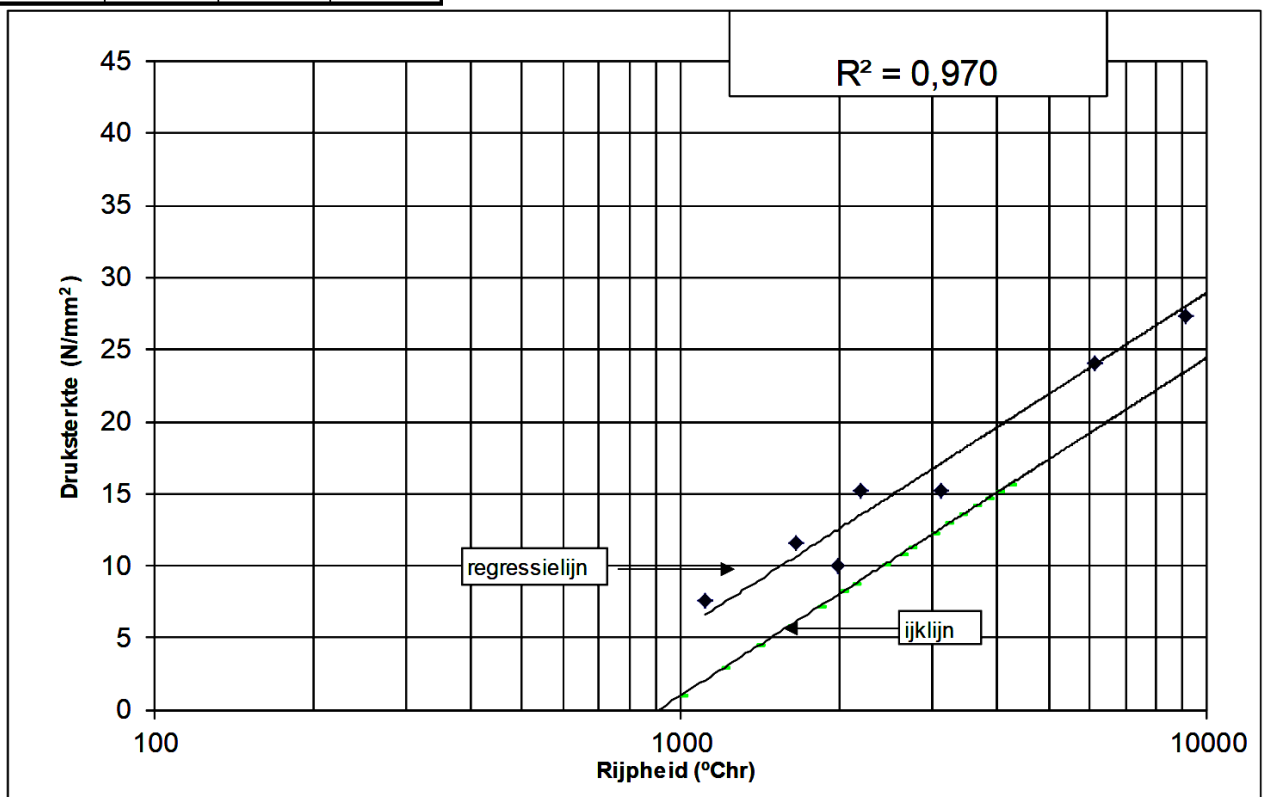
Indien we als C-waarde de waarde van 1,65 aannemen dan krijgen we de volgende regressielijn (en ijklijn) → zie volgende pagina.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

C-waarde = 1,65			
Op basis van onderstaande waarden is de regressielijn bepaald (a = 0)			
tijd (div.temp)	rijpheid °Chr	ln rijpheid	sterkte N/mm ²
15 (50°)	1991	7,60	10,0
24 (50°)	3111	8,04	15,2
48 (50°)	6097	8,72	24,1
48 (20°)	1110	7,01	7,6
72 (50°)	9084	9,11	27,3
72 (20°)	1654	7,41	11,6
96 (50°)	12070	9,40	32,1
96 (20°)	2198	7,70	15,2
168 (20°)	3829	8,25	21,5



We zien in deze grafiek dat er wat spreiding tussen de meetwaarden en de regressielijn is. De correlatiecoëfficiënt (R^2) bedraagt in dit geval 0,970 → (97%).

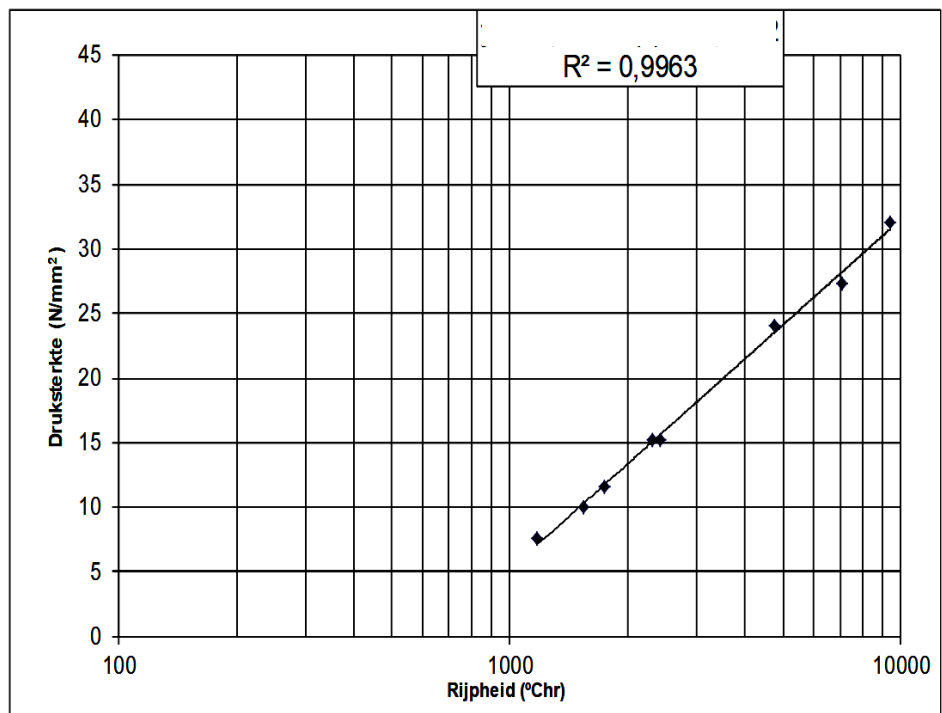
Indien we als C-waarde de waarde van 1,45 nemen dan krijgen we de volgende grafiek:

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

C-waarde = 1,45			
Op basis van onderstaande waarden is de regressielijn bepaald (a = 0)			
tijd (div.temp)	rijpheid °Chr	ln rijpheid	sterkte N/mm ²
15 (50°)	1551	7,35	10,0
24 (50°)	2423	7,79	15,2
48 (50°)	4750	8,47	24,1
48 (20°)	1173	7,07	7,6
72 (50°)	7076	8,86	27,3
72 (20°)	1748	7,47	11,6
96 (50°)	9402	9,15	32,1
96 (20°)	2322	7,75	15,2
168 (20°)	4046	8,31	21,5



De correlatiecoëfficiënt bedraagt nu 99,6% → de punten liggen dicht tegen de regressielijn aan. Een grotere of kleinere C-waarde resulteert nu in een kleinere correlatiecoëfficiënt. Hiermee hebben we de C-waarde bepaald als zijnde 1,45.

Opgave H 4:4

Er wordt van ons gevraagd eerst een ijkgrafiek op te stellen. De kubussen zijn bij een constante temperatuur van 21°C bewaard in de waterbak. De C-waarde van het cement is gegeven en bedraagt 1,65. Uit de tabel (gegeven in “Algemene Gegevens Betontechnologie”) leiden we af dat de gewogen rijpheid per uur bij 21°C en een C-waarde van 1,65 → 24°C*hr is.

We kunnen nu de ouderdom in dagen omrekenen naar gewogen rijpheden. Hieronder volgt de berekening van de rijpheid bij 24 uur verharding bij 20°C:

$$1 \text{ uur} = 24^\circ\text{C}\cdot\text{hr} \rightarrow 24 \text{ uur} = 24 * 24^\circ\text{C}\cdot\text{hr} = 576^\circ\text{C}\cdot\text{hr}$$

Als we de andere ouderdomstijdstippen uitrekenen vinden we de volgende waarden.

dagen	rijpheid °C*hr	druksterkte (N/mm ²)
1	576	3,2
2	1152	9,2
3	1728	15
4	2304	19,4
5	2880	20,1
7	4032	24,4

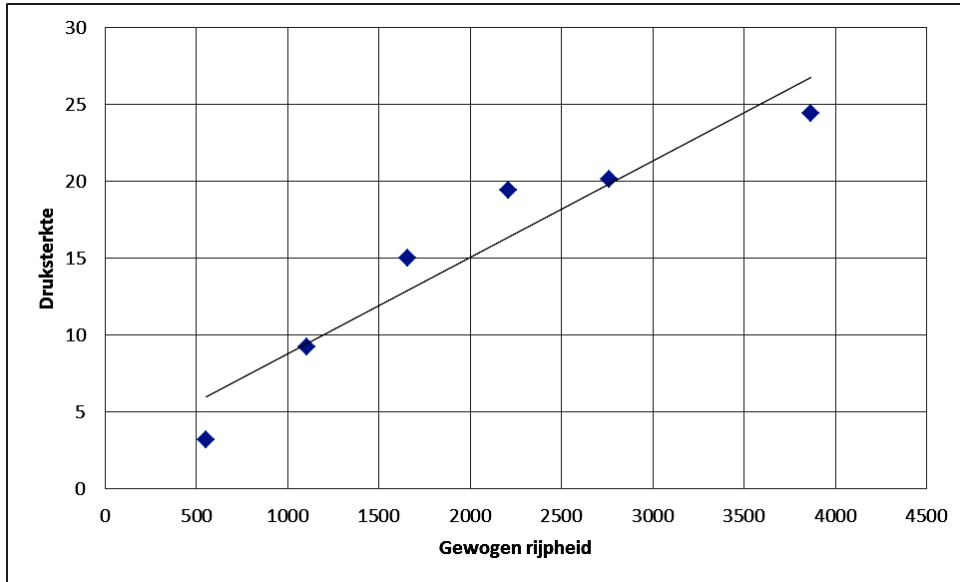
Betontechnologie

Antwoorden

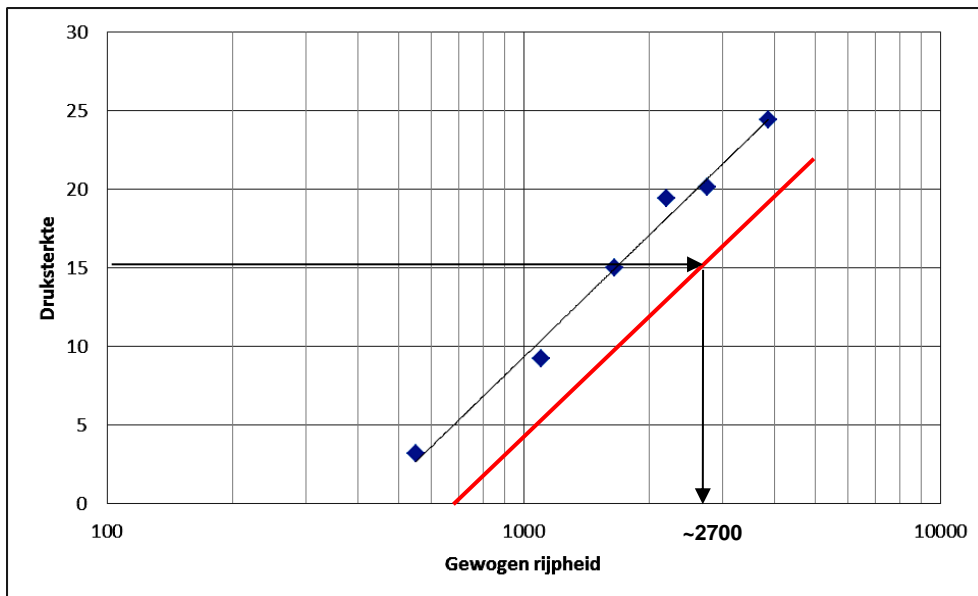
Hoofdstuk 4

We kunnen nu de regressielijn schetsen.

Indien we de regressielijn tekenen, met de X-as, op een lineaire schaalverdeling dan krijgen we de volgende grafiek:



We zien dat de punten niet op een rechte lijn liggen. Als we de X-as een logaritmische schaalverdeling geven krijgen we de volgende grafiek:



Uit bovenstaande grafiek lezen we af dat we voor de benodigde druksterkte van 15 N/mm^2 , een rijpheid nodig hebben van circa $2700^\circ\text{C}\cdot\text{uur}$.

Met behulp van de rekenmachine vinden we: $2716^\circ\text{C}\cdot\text{uur}$.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

Met behulp van onderstaande tabel concluderen we dat deze rijpheid wordt bereikt na circa 44 uren.

tijd		gemiddelde temperatuur	rijpheid		
van	tot		(per uur)	(per 2 uur)	cum
0	2	20	23	46	46
2	4	21	24	48	94
4	6	22	26	52	146
6	8	24	27	54	200
8	10	27	35	70	270
10	12	32	47	94	364
12	14	35	55	110	474
14	16	37	62	124	598
16	18	42	81	162	760
18	20	43	86	172	932
20	22	44	91	182	1114
22	24	45	95	190	1304
24	26	44	91	182	1486
26	28	43	86	172	1658
28	30	43	86	172	1830
30	32	42	81	162	1992
32	34	40	73	146	2138
34	36	38	65	130	2268
36	38	37	62	124	2392
38	40	35	55	110	2502
40	42	33	49	98	2600
42	44	31	44	88	2688
44	46	28	37	74	2762
46	48	26	33	66	2828
48	50	26	33	66	2894
50	52	24	29	58	2952

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

Opgave H 4:6

A:Factoren die van invloed zijn op de temperatuur van verhardend beton:

- De warmteontwikkeling als gevolg van het hydratatieproces van het toegepaste cement.
- De afmetingen van de constructie, met name de verhouding tussen inhoud en oppervlak van de constructie.
- De mate waarin de constructie is geïsoleerd, door gebruik van bijvoorbeeld een stalen of een houten bekisting.
- De specieteratuur die aanzienlijk kan variëren afhankelijk van het jaargetijde.
- De weersomstandigheden zoals omgevingstemperatuur en zoninstraling tijdens het storten en verharderen van beton.

B:Temperatuurgradienten in constructies ontstaan door:

- Jong aan oud; het storten van een nieuw betonnen constructiedeel aan een reeds verhard constructiedeel. Het verharde deel is al afgekoeld terwijl het nieuwe deel door het hydratatieproces eest opwarmt en vervolgens weer afkoelt.
- Dik aan dun; een massief constructiedeel dat direct aan een veel minder massief deel wordt gestort. Het dikke deel zal veel meer warmte ontwikkelen dan het dunne deel.
- De vormgeving van zeer massieve constructiedelen die in de kern zeer hoge temperaturen ontwikkelen terwijl aan het oppervlak afkoeling plaatsvindt.
- De mate van isolatie of opwarming, bijvoorbeeld door zoninstraling, aan een zijde van een constructieonderdeel, terwijl de andere zijde vrij kan afkoelen.

C:Het gevaar van temperatuurgradienten in beton:

- Tijdens het verharderen van beton kunnen door bovenstaande factoren temperatuurgradienten ontstaan. Opwarmen en afkoelen gaan gepaard met uitzetten of krimpen van de constructie. Als dit uitzetten of krimpen verhinderd wordt, in een fase dat het beton als een zekere sterkteontwikkeling heeft doorgemaakt, leidt dit tot spanningen in de constructie. Die spanningen kunnen zo groot worden dat de treksterkte van het beton wordt overschreden waardoor er scheuren ontstaan.

D:Verschillen in temperatuur zijn te voorkomen door:

- Het isoleren van het verhardende constructiedeel. Hierdoor wordt minder warmte afgestaan aan de omgeving en zijn de temperatuurverschillen tussen buitenkant en kern klein. Hetzelfde kan men bereiken met toepassing van een knuffelkist.
- Het inwendig koelen van het verhardende beton door middel van ingestorte koelbuizen waar koud water door wordt gepompt.
- In één keer storten van de gehele constructie. Hierdoor wordt voorkomen dat een jong constructiedeel wordt gestort op een reeds verhard en afgekoeld deel.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

Opgave H 4:7

a. Terugslagher

Dit is een methode waarmee globaal de sterkte in het werk kan worden bepaald. De methode wordt door een groot aantal factoren beïnvloed. Naast ervaring met deze methode is het hebben van een betrouwbare correlatiegrafiek nodig. Zonder aanvullende metingen geeft de methode geen goed beeld van de werkelijke sterkte van het beton in de constructie. Een uitspraak over de te verwachten sterkte zal daarmee ook onbetrouwbaar zijn. Alleen bij hele grote afwijkingen, bijvoorbeeld in geval het verkeerde cement zou zijn afgewogen en daardoor een veel lagere sterkte wordt gevonden, kan geconcludeerd worden dat ook de te verwachten sterkte (veel) lager zal zijn.

b. Gewogen rijpheid

Deze methode kan alleen functioneren wanneer tijdens het storten thermokoppels zijn ingestort. Tevens dient een geldige ijkgrafiek beschikbaar te zijn, gebaseerd op het geleverde mengsel. Met de methode kan in dat geval een betrouwbaar beeld worden verkregen van de beginsterkteontwikkeling in de constructie. Doseerfouten in de centrale zullen op basis van deze methode nooit worden gevonden. Per slot van rekening wordt alleen de temperatuur van het verhardende beton gemeten. Indien er onduidelijkheid bestaat over de afgewogen hoeveelheden kan de methode gewogen rijpheid dus nooit worden gebruikt.

c. Geboorde cilinders

De methode geeft over het algemeen betrouwbare resultaten over de actuele sterkte van het beton in de constructie.

d. Registratie van de betoncentrale

Deze was onbetrouwbaar en dus niet bruikbaar.

e. Kubussen van de controleproef

Deze methode geeft een betrouwbaar beeld van de sterkte die het beton in potentie heeft. De methode doet geen uitspraak over de sterkte van het beton in het werk.

f. Kubussen van de verhardingsproef

Als we er van uitgaan dat de verhardingskubussen op een representatieve plaats zijn bewaard, kan de sterkte van de verhardingskubus op dezelfde manier worden beoordeeld als die van geboorde cilinders.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

Opgave H 4: 8

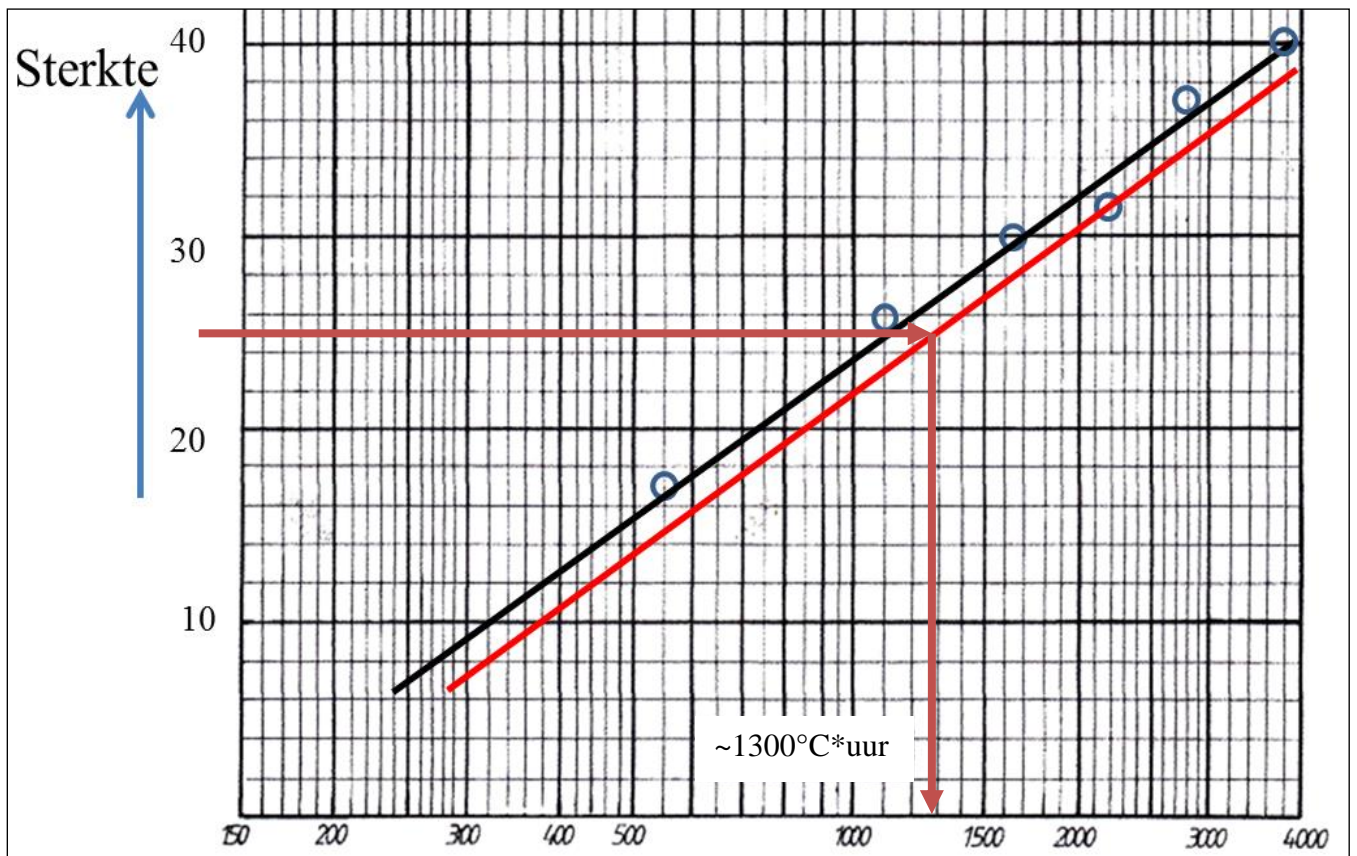
Verhardingscondities betonelementen:

Eerste 5 uren een temperatuurtoename van 6°C per uur, daarna constante temperatuur van 45°C.

We zetten de volgende tabel op:

tijd		rijpheid		
van	tot	gem temp	(per uur)	cum
0	1	18	20	20
1	2	24	29	49
2	3	30	42	91
3	4	36	59	150
4	5	42	81	231
5	6	45	95	326
6	7	45	95	421
7	8	45	95	516
8	9	45	95	611
9	10	45	95	706
10	11	45	95	801

De druksterkte van 25 N/mm² wordt bereikt bij een rijpheid van: 1302 °C*uur (met behulp van de rekenmachine).



Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

Benodigde tijd = $231 + 95 \cdot t = 1302 \rightarrow t = 11\frac{1}{4}$ uur \rightarrow totale tijd = $11\frac{1}{4} + 5 = 16\frac{1}{4}$ uur.

De antwoorden van de examencommissie zijn respectievelijk:

Benodigde rijpheid voor de sterkte = $1400 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{uur}$.

Benodigde tijd = $17\frac{1}{2}$ uren .

(dit komt met name omdat het opwarmtraject in zijn geheel is gemiddeld).

Opgave H 4:9

Antwoord: een lagere volumieke massa.

Opgave H 4:10

Belangrijke invloedsfactor op de bekistingsdruk	Maatregel om de horizontale bekistingsdruk te verminderen
1 Consistentie van de betonspecie en de snelheid waarmee de verwerkbaarheid terugloopt (opstijft).	<i>Consistentie:</i> een lagere consistentie geeft een lagere speciedruk bij ongewijzigde stijgsnelheid. <i>Teruglopen verwerkbaarheid:</i> door het teruglopen van de verwerkbaarheid zal de speciedruk afnemen; een sneller opstijvende betonspecie levert dus een lagere bekistingsdruk.
2 De stijgsnelheid tijdens het vullen van de bekisting	Door de stortsnelheid te verlagen (lager dan de ontwerper heeft aangenomen) zal de speciedruk afnemen.
3 De hoogte van de bekisting	Een lagere bekisting zal ook een lagere speciedruk veroorzaken. In de praktijk is de bekistingshoogte natuurlijk niet te kiezen: wel kan de betonspecie laagsgewijs worden ingebracht en verdicht.
4 Wijze van verdichten	<i>Wijze van verdichten:</i> als in het ontwerp is uitgegaan van het verdichten met trilnaalden van de bovenste laag, zal een wijziging daarvan zorgen voor een hogere druk. Als meer dan alleen de bovenste laag wordt verdicht, neemt de druk toe. Dat gebeurt ook bij het gebruik van bekistingstrillers. In die gevallen moet rekening worden gehouden met een hydrostatisch drukverloop over de volle hoogte. Om de speciedruk te beperken heeft dus het verdichten met trilnaalden en het laagsgewijs verdichten de voorkeur.
5 Volumieke massa van de specie	Deze is recht evenredig met de horizontale speciedruk: een lagere volumieke massa veroorzaakt een lagere speciedruk. In de praktijk kan de volumieke massa meestal niet worden gewijzigd.

Opgave H 4:11

Antwoord B

Opgave H 4:12

Ontwerp van de samenstelling

- Voor het maken van een schatting van de druksterkte moet men zich realiseren dat de relatie normsterkte - druksterkte anders is. De vertrouwde formule gaat in dit geval niet op.
- Licht toeslagmateriaal is niet altijd in alle korrelgroepen voorhanden. Het is niet altijd mogelijk een continue korrelgradering te realiseren op basis van alleen licht toeslagmateriaal. Wellicht moet men kiezen voor een discontinue verdeling.
- Het beton moet vaak zodanig worden ontworpen dat een bepaalde volumieke massa wordt verkregen.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

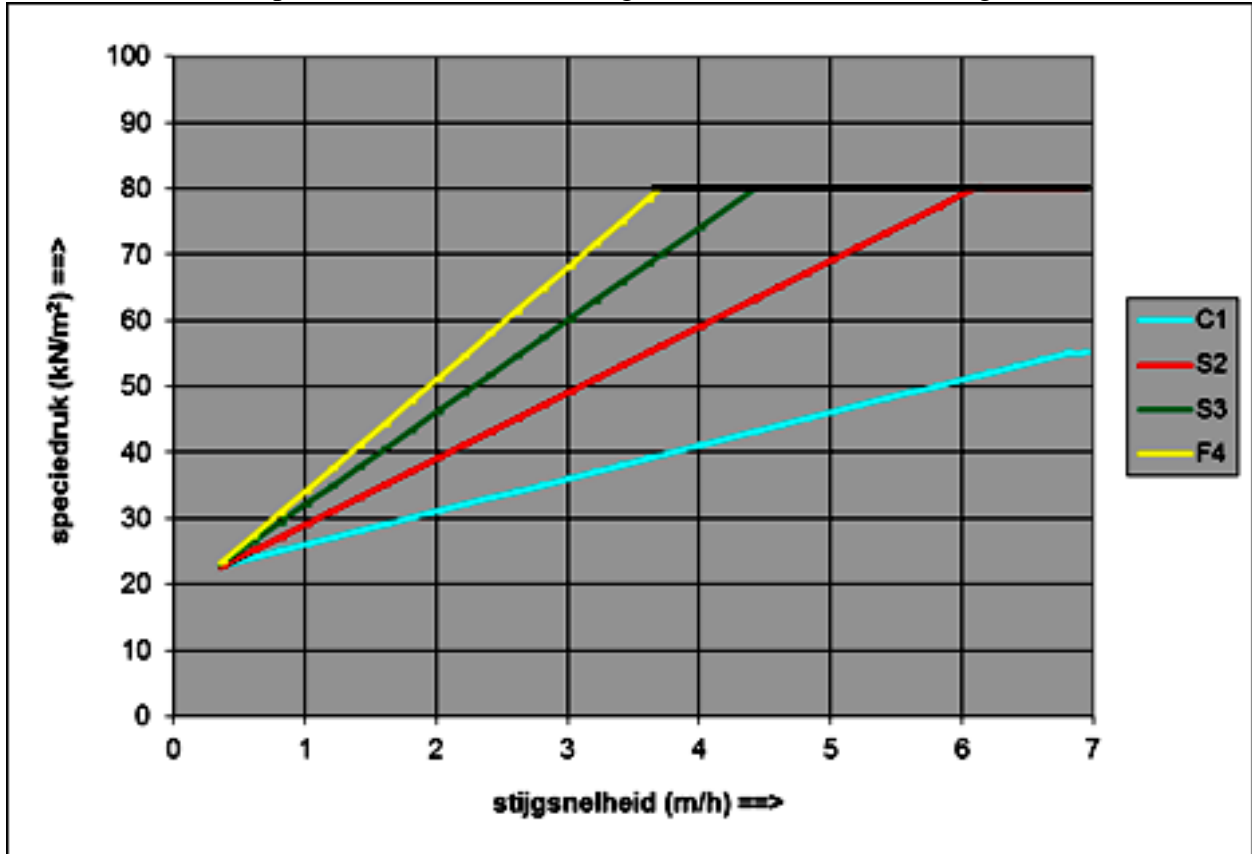
- Bij het ontwerpen van de samenstelling moeten we rekening houden met geabsorbeerd en geadsorbeerd water (adsorptie + absorptie = totaal watergehalte).
- Om vast te stellen of aan de gestelde eisen wordt voldaan is het uitvoeren van een geschiktheidsonderzoek noodzakelijk. Meer nog dan bij traditionele samenstellingen het geval is omdat het zeer specifieke eisen betreft waaraan moet worden voldaan
- Het toeslagmateriaal is zeer licht en heeft de neiging tot opdrijven in de specie. Ook zijn de korrels niet altijd geheel verzadigd met water. De cementpasta moet voldoende taai zijn om te voorkomen dat de korrels gaan opdrijven en de specie ontmengt.

Vervaardiging en controle

- De volumieke massa van de specie moet worden gecontroleerd of deze aan de gespecificeerde eisen voldoet.
- Het luchtgehalte in de specie kan niet met de gebruikelijke methode met het luchtvat worden gecontroleerd, deze moet worden bepaald met behulp van de verdringingsmethode.
- De hoeveelheid aanmaakwater moet gecorrigeerd worden, rekening houdend met de mate waarin het toeslagmateriaal is verzadigd.
- Bij doseren en mengen van licht beton moet rekening worden gehouden met de mate waarin het lichte toeslagmateriaal water heeft geabsorbeerd.

Opgave H 4:13

We kunnen nu niet op basis van onderstaande figuur de horizontale bekistingdruk aflezen



Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

We nemen daarom een stijgsnelheid aan, en hiermee samenhangend een speciedruk:

Stijgsnelheid = v

Speciedruk = p

Deze speciedruk p moet worden gecorrigeerd voor onder andere de volgende afwijkingen:

1. Andere verdichtingswijze (indien niet met trilnaalden wordt gewerkt)
2. Andere betontemperatuur (indien betontemperatuur afwijkt van 15°C)
3. Andere buitentemperatuur (indien buitentemperatuur afwijkt van 15°C)
4. Eventueel gebruik van vertragers
5. Andere volumieke massa van de betonspecie (indien deze afwijkt van 2400 kg/m³)

De hydrostatische druk bedraagt maximaal:

$$P_{\text{hyd}} = \rho * g * H * 10^{-3} = 2350 * 10 * 3,75 * 10^{-3} = 88 \text{ KN/m}^2$$

Uit de opgave kunnen we concluderen dat we geen correctie hoeven door te voeren voor de manier van verdichten, want er wordt gebruik gemaakt van een trilnaald.

We hoeven ook geen correctie door te voeren voor het gebruik van vertragers.

Voor de overige punten (2, 3 en 5) moeten we wel correctiefactoren doorvoeren:

- Punt 2:
Correctie op horizontale speciedruk = $6 * -3\% = -18\%$
- Punt 3:
Correctie op horizontale speciedruk = 0%
- Punt 5:
Correctie op horizontale speciedruk = $2310 / 2400$

We kunnen nu de horizontale betonspeciedruk bepalen:

$$\text{Maximale betonspeciedruk} = p * 0,82 * 2310 / 2400 = 50 \text{ KN/m}^2.$$

Hieruit volgt dat p maximaal 63,4 KN/m² mag bedragen (en deze is lager dan de maximale hydrostatische druk).

Uitgaande van het gegeven dat gestort wordt in consistentieklasse S3 lezen we in de figuur de maximale stijgsnelheid af → $v \sim 3,25$ meter per uur.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 4

Opgave H 4:14

Bepaling van volumes cement, lucht en water:

Cement: $340 / 3,15 = 108$ liter
Lucht: $= 10$ liter
Water: $0,52 * 340 = 177$ liter
Totaal $= 295$ liter

Blijft over voor TSM = 705 liter

Opbouw TSM-mengsel:

37% zand: $0,37 * 705 = 261$ liter droog zand
Licht TSM: $705 - 261 = 444$ liter

De twee fracties worden opgesplitst in de verhouding 2:1

Licht 4/8: $= 444 / 3 = 148$ liter droog 4/8 mm
Licht 8/16 $= 444 - 148 = 296$ liter droog 8/16 mm

Resumé:

Cement:	108 liter	340 kg
Lucht:	10 liter	0 kg
Water	177 liter	177 kg
Droog zand	261 liter	691 kg
Droog 4/8	148 liter	133 kg
Droog 8/16	296 liter	222 kg

Omrekenen droge gewichten naar natte gewichten:

691 kg droog zand => 715 kg nat zand (24 kg totaal water; 3 kg absorptiewater)
133 kg droog 4/8 => 141 kg nat 4/8 (8 kg totaal water; 16 kg absorptiewater)
222 kg droog 8/16 => 235 kg nat 8/16 (13 kg totaal water; 37 kg absorptiewater)

Totaal water in TSM-mengsel $= 24 + 8 + 13 = 45$ kg
Waterabsorptie TSM-mengsel $= 3 + 16 + 37 = 56$ kg
Aanmaakwater $= 177 - 45 + 56 = 188$ kg

Resumé:

Cement:	340 kg
Aanmaakwater	188 kg
Nat zand	715 kg
Nat 4/8	141 kg
Nat 8/16	235 kg
Totaal:	1619 kg

Absorptiewater = verdampbaarwater = 56 kg

Ovendroge volumieke massa is 1563 kg/m^3 ($1619 - 56$) → voldoet aan klasse D1,6

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 5

Opgave H 5: 1

Op deze vraag zijn vele antwoorden mogelijk:

A: Keuze water-cementfactor, cementfabrikaat, cementsoort.

B: Verdichting, aard en structuur van de bekisting, gelijkmatigheid waarmee de bekistingsolie is aangebracht, dichtheid bekistingsnaden, wijze van afwerken.

C: Bleeding, nabehandeling, verhardingsomstandigheden, blauwe kleur (hoogovencement), witte uitslag, vervuiling.

Opgave H 5: 2

Een verhoging van het cementgehalte met behoud van de water-cementfactor leidt tot een verhoging van het watergehalte van betonspecie en daarmee tot vergroting van de uitdrogingskrimp.

Opgave H 5: 3

Plastische krimp is de volumeverandering die optreedt door verdampen van water uit vers gestorte betonspecie. Deze wordt bevorderd door:

- a) Een grotere hoeveelheid verdampbaar water aan het oppervlak, door te natte specie ofwel door waterafscheiding door een hiertoe gevoelige specie.
- b) Drogende omstandigheden, dus bij het achterwege blijven van nabehandeling vooral bij een lage luchtvochtigheid. Zonbestraling en wind kunnen het nog verergeren.

Opgave H 5: 4

- Verwerken van zo droog mogelijke specie.
- Gebruik van zeer fijn cement.
- Vergroten van het totale specifiek oppervlak. Dus behalve door cementkeuze ook verhogen van het cementgehalte of toevoegen van een ander fijn materiaal.
- Goede korrelverdeling, waardoor met een minimale hoeveelheid water kan worden volstaan.
- Gebruik van hulpstoffen zoals versneller, plastificeerder of luchtbelvormer. Ook het vermijden van overmatige verdichtingsenergie, dus afstemming verdichting en verwerkbaarheid, geldt als een bijdrage ter voorkoming van bleeding.

Opgave H 5: 5

- Gelporiën. Ontstaan ten gevolge van de hydratatie van cement. Doorsnede circa 0,000001 mm.
- Capillaire poriën. Het doorlopend kanalenstelsel waarin zich oorspronkelijk het aanmaakwater bevindt. Gemiddelde doorsnede circa 0,0001 mm.
- Zeer fijne luchtbelletjes. Ontstaan tijdens mengen van de specie. De hoeveelheid wordt sterk opgevoerd door gebruik van een luchtbelvormer. Gemiddelde doorsnede circa 0,1 mm.
- Toevallige holten. Meestal grotere ruimten aanwezig door onvolledig verdichten. Gemiddelde doorsnede > 1 mm.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 5

Opgave H 5: 6

- a. Bij het storten van een wand op een reeds verharde vloer ontstaan spanningen dit het gevolg zijn van temperatuurkrimp van beton.

- b. De betonvloer is 4 weken geleden gestort en zal een temperatuur hebben die gelijk is aan de gemiddelde omgevingstemperatuur. Daarop wordt een wand gestort. De temperatuur in de wand zal als gevolg van het hydratatieproces gaan stijgen. De wand zal willen uitzetten maar dit wordt door de vloer verhinderd. In dit stadium leidt dit tot geringe drukspanningen in het onderste deel van de wand omdat het plaatsvindt bij een lage E-modulus van het beton in de wand. Op een gegeven moment gaat de wand weer afkoelen. Afkoelen gaat gepaard met krimpen van de wand. Ook nu wordt de wand hierbij verhinderd door de vloer. De E-modulus heeft zich inmiddels verder ontwikkeld. De trekspanningen die het gevolg zijn van de krimp overstijgen de treksterkte van het beton en dit leidt tot verticale scheurvorming in de wand.

Opgave H 5: 7

Principe	Maatregel	Nadelen
Verlaging van het watergehalte eventueel door vermindering van de waterbehoefte	Gebruik van minder water of verlagen van de consistentie	De verwerkbaarheid van de specie neemt af
	Toepassen van een (super)plast bij een lager watergehalte	Mogelijk sneller teruglopen van de verwerkbaarheid.
	Verbeteren van de korrelverdeling met lagere waterbehoefte	Geen nadelig effect
Verkort de "open tijd"	Gebruik van een snel(ter) verhardend cement.	Versnelde reactie, dus meer kans op warmteontwikkeling en als gevolg van een grotere temperatuurgradiënt meer kans op scheurvorming
	Gebruik van een versneller	Idem
Verbeter de samenhang/vergroot specifiek oppervlak	Keuze voor een fijner gemalen cement.	Meer cement leidt ook tot meer warmteontwikkeling en dus tot een grotere kans op scheurvorming. Het gebruik van meer fijn materiaal kan ook aanleiding zijn tot een grotere waterbehoefte of afname van de verwerkbaarheid
	Vergróting van het specifiek oppervlak door meer cement, extra fijn zand, poederkoolvliegas of andere vulstof	
	Gebruik een luchtbelvormer	Sterkteverlies
	Gebruik een waterretentiemiddel	Sterkteverlies en verminderde verwerkbaarheid

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 5

Opgave H 5: 8

- a. *Wat is er aan de hand?*
- Plastische krimp-scheuren; De vloer is in de nog plastische fase (1 tot 4 uur na storten) te sterk uitgedroogd (temperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid). Door een beperkte bleedingcapaciteit van het mengsel zal weinig of geen water naar het oppervlak gevoerd worden en gaat verdamping van water door tot in de poriën hetgeen onherroepelijk zal leiden tot scheurvorming aan het oppervlak.
 - Minder voor de hand in vloeren met geringe dikten liggen zettingsscheuren. We vinden ze wel op plaatsen waar een vloer wordt gestort aan een in de vloer opgenomen balk. In de nog plastische fase willen onder invloed van de zwaartekracht grotere en dus zwaardere delen uitzakken. Scheuren ontstaan wanneer de sedimentatie plaatselijk tot stilstand komt terwijl die er vlak naast nog doorgaat.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 5

b. *Welke maatregelen kunnen nog worden genomen om deze vloer te herstellen?*

- Ondiepe plastische krimpscheuren kan men nog trachten dicht te schuren. Het is echter niet te controleren of de scheuren daadwerkelijk over de volle diepte zijn dichtgeschuurd. Als in een later stadium de vloer verder uitdroogt kunnen nog aanwezige plastische scheuren onder het oppervlak opnieuw aanleiding zijn voor scheurvorming aan het oppervlak. Het is dan ook de vraag of er in dit stadium nog afdoende maatregelen te nemen zijn om scheurvorming te voorkomen.
- Treden zettingsscheuren kort na het storten op dan kunnen door naverdichting en opnieuw afwerken van het oppervlak scheuren worden voorkomen.

c. *Welke maatregelen kunnen in het vervolg worden genomen om deze scheurvorming te voorkomen?*

- Plastische scheurvorming

betontechnologisch:

Een mengsel ontwerpen dat een grotere bleeding-capaciteit heeft zonder dat het mengsel aanleiding geeft tot overmatige ontmenging.

Dit wordt bereikt door het toepassen van meer water in het mengsel.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 5

Verkort de plastische fase en zorg ervoor dat snel enige sterkte wordt ontwikkeld, bijvoorbeeld door een sneller cement of toepassing van hulpstof zonder vertragende eigenschappen

Toepassen van kunststofvezels, daardoor vermindert de kans op plastische krimpscheuren.

uitvoeringstechnisch:

Zorg er voor dat het water niet uit de nog plastische betonspecie kan verdampen door een adequate nabehandeling, zoals afdekken met folie, curing compound en/of regelmatig nat houden.

- Zettingsscheuren

betontechnologisch:

Gebruik geen hogere consistentie dan strikt noodzakelijk. Beperking van het watergehalte door een goede korrelgradering en gebruik van plastificerende hulpstoffen. Zorg voor een goede samenhang van de specie door voldoende fijn materiaal.

uitvoeringstechnisch:

De bekisting dient allereerst voldoende sterk, stabiel en stijf te zijn. Stort in beperkte laagdikten en verdicht deze voldoende alvorens de volgende laag aan te brengen.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Opgave H6:1

Antwoord D

Opgave H6:2

In beide gevallen zal een gedeelte van de proefresultaten een lagere sterkte opleveren. Het gevolg is dat de gemiddelde druksterkte verlaagd wordt, en dat de spreiding tussen de resultaten vergroot wordt.

Opgave H6:3

Zie Powerpointpresentatie.

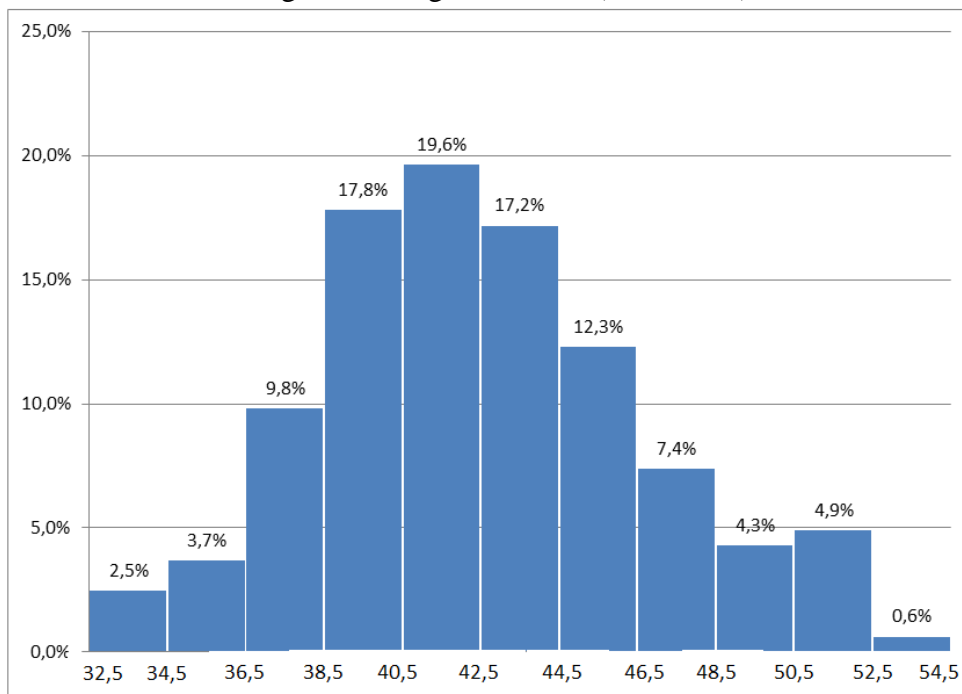
We kunnen de percentages ook nauwkeuriger bepalen en krijgen dan het volgende overzicht:

k	percentage waarnemingen tussen $\mu - k \cdot \sigma$ en $\mu + k \cdot \sigma$
1	68,3%
2	95,4%
3	99,7%

Opgave H6:4

Aantal waarnemingen = 163 \rightarrow wortel(163) = 12,8 \rightarrow in eerste instantie 12 á 13 klassen
Klassebreedte = $(54,5 - 32,7) / 13 = 1,68 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ hier maken we 2 N/mm^2 van.

We kunnen nu het volgende histogram maken (11 klassen):



Gemiddelde $\sim 41,5 \text{ N/mm}^2$

Standaardafwijking $\sim (54,5 - 32,5) / 6 = 3,7 \text{ N/mm}^2$

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Opgave H6:5

Om te beoordelen of de steekproef voldoet bekijken we eerst nog even het stappenplan

Aanvangsproductie: (Methode A)

1. Toetsing individuele druksterkte
2. Toetsing gemiddelde druksterkte per serie van 3 (al dan niet overlappend)
3. Verzamel op deze manier 35 geldige waarnemingen

Vanaf hier de volgende opties:

- Doorgaan met methode A
- Doorgaan met methode B
- Doorgaan met methode C

Er zijn klaarblijkelijk al minimaal 35 geldige waarnemingen verzameld want er is een processtandaardafwijking berekend. Dit houdt in dat de aanvangsproductie is voltooid. De processtandaardafwijking $\sigma = S_{35} = 2,4 \text{ N/mm}^2$. Alhoewel $\sigma 2,4 \text{ N/mm}^2$ bedraagt moeten we met een minimale waarde van σ van $2,5 \text{ N/mm}^2$ rekenen.

Omdat in dit geval S_{35} berekend is gaan we er van uit dat we voor de vervolproductie overstappen op methode B.

(Indien we voor methode A hadden gekozen hadden we niet de moeite hoeven te nemen om de S_{35} te berekenen, want in dat geval toetsen we het gemiddelde van series van 3 (al dan niet overlappend))

Methode B (niet overlappende series):

1. Berekening van S_{35} (σ) $\rightarrow \sigma = S_{35} = 2,5 \text{ N/mm}^2$
2. Verzamelen van n (minimaal 15) aanvullende waarnemingen
(we hebben 15 meetresultaten verzameld. Dit is één serie van 15.
We beoordelen deze serie van 15 in dit geval dus "niet overlappend")
3. Toetsing individuele druksterkte
Alle waarden zijn groter dan of gelijk aan 21 N/mm^2
4. Berekening gem. druksterkte (niet overlappend)
Gemiddelde = $31,0 \text{ N/mm}^2$
5. Toetsing of $f_{cm(n)} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$?

$$31,0 \geq 25 + 1,48\sigma ?$$

$$31,0 \geq 25 + 1,48 \cdot 2,5 ?$$

$$31,0 \geq 28,7 \rightarrow \text{voldoet}$$

6. Berekening S_n over de 15 waarnemingen
Standaardafwijking = $S_{15} = 3,46 \text{ N/mm}^2$
7. Toetsing of S_n niet teveel afwijkt van σ
(voor $n = 15$ geldt: $0,63\sigma \leq S_{15} \leq 1,37\sigma$)
 $0,63 \cdot 2,5 \leq 3,46 \leq 1,37 \cdot 2,5 \rightarrow 1,58 \leq 3,46 \leq 3,43 \rightarrow$ Voldoet niet

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Dit houdt in dat voor de volgende serie van 15 waarnemingen met een nieuwe waarde van S_{35} moet worden gerekend. Deze waarde kan niet worden bepaald.

Methode B (overlappende series):

We hebben slechts 1 serie van 15 waarnemingen. We kunnen dus niet op basis van overlappende series toetsen.

Methode C (Aangepaste Shewartkaart)

Deze manier is niet mogelijk omdat we te weinig informatie hebben.

Opgave H6:6

Om te beoordelen of de steekproef voldoet bekijken we eerst nog even het stappenplan

Aanvangsproductie: (Methode A)

1. Toetsing individuele druksterkte
2. Toetsing gemiddelde druksterkte per serie van 3 (al dan niet overlappend)
3. Verzamel op deze manier 35 geldige waarnemingen

Vanaf hier de volgende opties:

- Doorgaan met methode A
- Doorgaan met methode B
- Doorgaan met methode C

Er zijn klaarblijkelijk al minimaal 35 geldige waarnemingen verzameld want er is een processtandaardafwijking berekend. Dit houdt in dat de aanvangsproductie is voltooid. De processtandaardafwijking $\sigma = S_{35} = 2,8 \text{ N/mm}^2$.

Omdat in dit geval S_{35} berekend is gaan we er van uit dat we voor de vervolproductie overstappen op methode B.

(Indien we voor methode A hadden gekozen hadden we niet de moeite hoeven te nemen om de S_{35} te berekenen, want in dat geval toetsen we het gemiddelde van series van 3 (al dan niet overlappend))

Methode B (niet overlappende series):

1. Berekening van S_{35} (σ) $\rightarrow \sigma = S_{35} = 2,8 \text{ N/mm}^2$
2. Verzamelen van n (minimaal 15) aanvullende waarnemingen (we hebben 15 meetresultaten verzameld. Dit is één serie van 15. We beoordelen deze serie van 15 in dit geval dus “niet overlappend”)
3. Toetsing individuele druksterkte
Alle waarden zijn groter dan of gelijk aan 21 N/mm^2
4. Berekening gem. druksterkte (niet overlappend)
Gemiddelde = $30,1 \text{ N/mm}^2$
5. Toetsing of $f_{cm(n)} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma$?

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

$$30,1 \geq 25 + 1,48 * \sigma ?$$

$$30,1 \geq 25 + 1,48 * 2,8 ?$$

$$30,1 \geq 29,1 \rightarrow \text{voldoet.}$$

6. Berekening S_n over de 15 waarnemingen

$$\text{Standaardafwijking} = S_{15} = 4,3 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing of S_n niet teveel afwijkt van σ

$$(\text{voor } n = 15 \text{ geldt: } 0,63\sigma \leq S_{15} \leq 1,37\sigma)$$

$$0,63 * 2,8 \leq 4,3 \leq 1,37 * 2,8 \rightarrow 1,76 \leq 4,3 \leq 3,84 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

Dit houdt in dat voor de volgende serie van 15 waarnemingen met een nieuwe waarde van S_{35} moet worden gerekend.

Methode B (overlappende series):

We hebben slechts 1 serie van 15 waarnemingen. We kunnen dus niet op basis van overlappende series toetsen.

Methode C (Aangepaste Shewartkaart)

Deze methode kan niet worden uitgevoerd omdat we te weinig informatie hebben.

Betontechnologie Antwoorden

Hoofdstuk 6

Opgave H 6: 7

Consistentie:

Beoogde consistentieklasse = F 4

Conformiteitscriteria voor consistentie, lucht en overige eigenschappen van zelfverdichtend beton (groep 1)

eigenschap	toegestane afwijking t.o.v.		opmerking
	ondergrens	bovgrens	
schudmaat	- 10 mm	+ 10 mm	algemeen
	- 20 mm	+ 20 mm	bij begin lossen van truckmixer (Transportbeton)

eigenschap	eis		tolerantie	
	van	tot	van	tot
Consistentie = F4	490 mm	550 mm	470 mm	570 mm

Waarneming 3 valt buiten de tolerantiegrenzen → geen conformiteit

Cementgehalte:

Beoogd cementgehalte = 300 kg/m³

Conformiteitscriteria voor wbf c.q. wcf, minimaal cement-/bindmiddelgehalte, volumieke massa en gehalte aan vezels (groep 2)

eigenschap	toegestane afwijking t.o.v.	
	ondergrens	bovgrens
wbf c.q. wcf	-	+ 0,02
minimaal gehalte cement/bindmiddel	- 10 kg	-

Aantal aanvaardbare afwijkingen (AQL = 4 %) voor wbf c.q. wcf, minimaal cement-/bindmiddelgehalte, volumieke massa en gehalte aan vezels

aantal beproevingsresultaten	aanvaardbaar aantal afwijkingen
1 - 12	0
13 - 19	1
20 - 31	2

Het aantal waarnemingen lager dan 300 kg maar groter of gelijk aan 290 kg bedraagt: 2
Totaal aantal waarnemingen = 30 → AQL-tabel: aanvaardbaar aantal afwijkingen = 2 → conformiteit

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Water-cementfactor:

Beoogde water-cementfactor = 0,55

Conformiteitscriteria voor wbf c.q. wcf, minimaal cement-/bindmiddelgehalte, volumieke massa en gehalte aan vezels (groep 2)

eigenschap	toegestane afwijking t.o.v.	
	ondergrens	bovengrens
wbf c.q. wcf	-	+ 0,02
minimaal gehalte cement/bindmiddel	- 10 kg	-

Aantal aanvaardbare afwijkingen (AQL = 4 %) voor wbf c.q. wcf, minimaal cement-/bindmiddelgehalte, volumieke massa en gehalte aan vezels

aantal beproevingsresultaten	aanvaardbaar aantal afwijkingen
1 - 12	0
13 - 19	1
20 - 31	2

Het aantal waarnemingen groter dan 0,55 maar kleiner of gelijk aan 0,57 bedraagt: 2
Totaal aantal waarnemingen = 30 → AQL-tabel: aanvaardbaar aantal afwijkingen = 2 → conformiteit

Druksterkte:

Om te beoordelen of de steekproef voldoet bekijken we eerst nog even het stappenplan

Aanvangsproductie: (Methode A)

1. Toetsing individuele druksterkte
2. Toetsing gemiddelde druksterkte per serie van 3 (al dan niet overlappend)
3. Verzamel op deze manier 35 geldige waarnemingen

Vanaf hier de volgende opties:

- Doorgaan met methode A
- Doorgaan met methode B
- Doorgaan met methode C

Er zijn klaarblijkelijk al minimaal 35 geldige waarnemingen verzameld want er is een processtandaardafwijking berekend. Dit houdt in dat de aanvangsproductie is voltooid.
De processtandaardafwijking $\sigma = S_{35} = 4,0 \text{ N/mm}^2$

Omdat in dit geval S_{35} berekend is gaan we er van uit dat we voor de vervolproductie overstappen op methode B.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

(Indien we voor methode A hadden gekozen hadden we niet de moeite hoeven te nemen om de S_{35} te berekenen, want in dat geval toetsen we het gemiddelde van series van 3 (al dan niet overlappend))

Methode B (niet overlappende series):

1. Berekening van S_{35} (σ) $\rightarrow \sigma = S_{35} = 4,0 \text{ N/mm}^2$
2. Verzamelen van n (minimaal 15) aanvullende waarnemingen
(we hebben 30 meetresultaten verzameld. Dit zijn 2 series van 15.
We beoordelen elke serie van 15 in dit geval dus “niet overlappend”)
3. Toetsing individuele druksterkte
Alle waarden zijn groter dan of gelijk aan 21 N/mm^2
4. Berekening gem. druksterkte (niet overlappend)
Gemiddelde 1^e serie = $33,5 \text{ N/mm}^2$
Gemiddelde 2^e serie = $32,9 \text{ N/mm}^2$
5. Toetsing of $f_{cm(n)} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$?

1^e Serie:

$$33,5 \geq 25 + 1,48 \cdot 4,0 ?$$

$$33,5 \geq 30,9 ? \rightarrow \text{Voldoet}$$

6. Berekening S_n over 1^e serie waarnemingen
Standaardafwijking = $S_{15} = 3,53 \text{ N/mm}^2$
7. Toetsing of S_n niet teveel afwijkt van σ
(voor $n = 15$ geldt: $0,63\sigma \leq S_{15} \leq 1,37\sigma$)
 $0,63 \cdot 4,0 \leq 3,53 \leq 1,37 \cdot 4,0 \rightarrow 2,52 \leq 3,53 \leq 5,48 \rightarrow \text{Voldoet}$

Dit houdt in dat voor de volgende serie van 15 waarnemingen met de waarde van S_{35} mogen door blijven rekenen.

2^e Serie:

$$32,9 \geq 25 + 1,48 \cdot 4,0 ?$$

$$32,9 \geq 30,9 ? \rightarrow \text{Voldoet}$$

6. Berekening S_n over 2^e serie waarnemingen
Standaardafwijking = $S_{15} = 1,98 \text{ N/mm}^2$
7. Toetsing of S_n niet teveel afwijkt van σ
(voor $n = 15$ geldt: $0,63\sigma \leq S_{15} \leq 1,37\sigma$)
 $0,63 \cdot 4,0 \leq 1,98 \leq 1,37 \cdot 4,0 \rightarrow 2,52 \leq 1,98 \leq 5,48 \rightarrow \text{Voldoet niet}$

Dit houdt in dat voor de volgende serie van 15 waarnemingen met een nieuwe waarde van S_{35} moet worden gerekend. Deze waarde kan niet worden bepaald.

nummer	druksterkte
1	30,1
2	32,4
3	33,4
4	35,6
5	44,3
6	32,1
7	29,8
8	34,5
9	34,0
10	32,1
11	29,9
12	35,6
13	33,6
14	31,4
15	33,3

nummer	druksterkte
16	34,5
17	32,3
18	36,3
19	32,4
20	29,8
21	30,4
22	30,0
23	34,5
24	35,3
25	32,4
26	31,5
27	34,4
28	33,3
29	32,1
30	34,5

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Methode B (overlappende series):

Omdat we in dit geval meer dan 15 resultaten hebben kunnen we o.b.v. voortschrijdende series van 15 toetsen. Dit principe wordt hierna schematisch weergegeven, maar er wordt uitdrukkelijk geadviseerd om dit niet op het examen te doen.

	waarneming	sterkte							
	1	30,1							
	2	32,4							
	3	33,4							
	4	35,6							
	5	44,3							
	6	32,1							
	7	29,8							
	8	34,5							
	9	34,0							
	10	32,1							
	11	29,9							
	12	35,6							
	13	33,6	Overlappend gem.	$f_{ck} + 1,48\sigma$	Gem. $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	S_{15}	$0,63 \cdot S_{35}$	$1,37 \cdot S_{35}$	S ₁₅ ligt tussen deze grenzen (J / N)
	14	31,4			(Ja / Nee)				
	15	33,3	33,5	30,9	Ja	3,53	2,52	5,48	J

	waarneming	sterkte							
	1	30,1							
	2	32,4							
	3	33,4							
	4	35,6							
	5	44,3							
	6	32,1							
	7	29,8							
	8	34,5							
	9	34,0							
	10	32,1							
	11	29,9							
	12	35,6							
	13	33,6	Overlappend gem.	$f_{ck} + 1,48\sigma$	Gem. $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	S_{15}	$0,63 \cdot S_{35}$	$1,37 \cdot S_{35}$	S ₁₅ ligt tussen deze grenzen (J / N)
	14	31,4			(Ja / Nee)				
	15	33,3	33,5	30,9	Ja	3,53	2,52	5,48	J
	16	34,5	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

waarneming	sterkte							
1	30,1							
2	32,4							
3	33,4							
4	35,6							
5	44,3							
6	32,1							
7	29,8							
8	34,5							
9	34,0							
10	32,1							
11	29,9							
12	35,6							
Overlappend gem.	$f_{ck} + 1,48\sigma$	Gem. $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	S_{15}	$0,63*S_{35}$	$1,37*S_{35}$	S_{15} ligt tussen deze grenzen (J / N)		
		(Ja / Nee)						
13	33,6	33,5	30,9	Ja	3,53	2,52	5,48	J
14	31,4	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
15	33,3	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
16	34,5							
17	32,3							

waarneming	sterkte							
1	30,1							
2	32,4							
3	33,4							
4	35,6							
5	44,3							
6	32,1							
7	29,8							
8	34,5							
9	34,0							
10	32,1							
11	29,9							
12	35,6							
Overlappend gem.	$f_{ck} + 1,48\sigma$	Gem. $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	S_{15}	$0,63*S_{35}$	$1,37*S_{35}$	S_{15} ligt tussen deze grenzen (J / N)		
		(Ja / Nee)						
13	33,6	33,5	30,9	Ja	3,53	2,52	5,48	J
14	31,4	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
15	33,3	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
16	34,5							
17	32,3							
18	36,3	34,0	30,9	Ja	3,47	2,52	5,48	J

Betontechnologie Antwoorden

Hoofdstuk 6

waarneming	sterkte							
1	30,1							
2	32,4							
3	33,4							
4	35,6							
5	44,3							
6	32,1							
7	29,8							
8	34,5							
9	34,0							
10	32,1							
11	29,9							
12	35,6							
		Overlappend gem.	$f_{ck} + 1,48\sigma$	Gem. $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$ (Ja / Nee)	S_{15}	$0,63*S_{35}$	$1,37*S_{35}$	S_{15} ligt tussen deze grenzen (J / N)
13	33,6							
14	31,4							
15	33,3	33,5	30,9	Ja	3,53	2,52	5,48	J
16	34,5	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
17	32,3	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
18	36,3	34,0	30,9	Ja	3,47	2,52	5,48	J
19	32,4	33,7	30,9	Ja	3,46	2,52	5,48	J

waarneming	sterkte							
1	30,1							
2	32,4							
3	33,4							
4	35,6							
5	44,3							
6	32,1							
7	29,8							
8	34,5							
9	34,0							
10	32,1							
11	29,9							
12	35,6							
		Overlappend gem.	$f_{ck} + 1,48\sigma$	Gem. $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$ (Ja / Nee)	S_{15}	$0,63*S_{35}$	$1,37*S_{35}$	S_{15} ligt tussen deze grenzen (J / N)
13	33,6							
14	31,4							
15	33,3	33,5	30,9	Ja	3,53	2,52	5,48	J
16	34,5	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
17	32,3	33,8	30,9	Ja	3,41	2,52	5,48	J
18	36,3	34,0	30,9	Ja	3,47	2,52	5,48	J
19	32,4	33,7	30,9	Ja	3,46	2,52	5,48	J
20	29,8	32,8	30,9	Ja	2,03	2,52	5,48	N

Vanaf hier: Herberekening van S_{35} (niet mogelijk) & nieuwe serie van 15 waarnemingen verzamelen.

Methodes C (Aangepaste Shewartkaart)

Deze methode kan niet worden uitgevoerd omdat we te weinig informatie hebben.

Betontechnologie

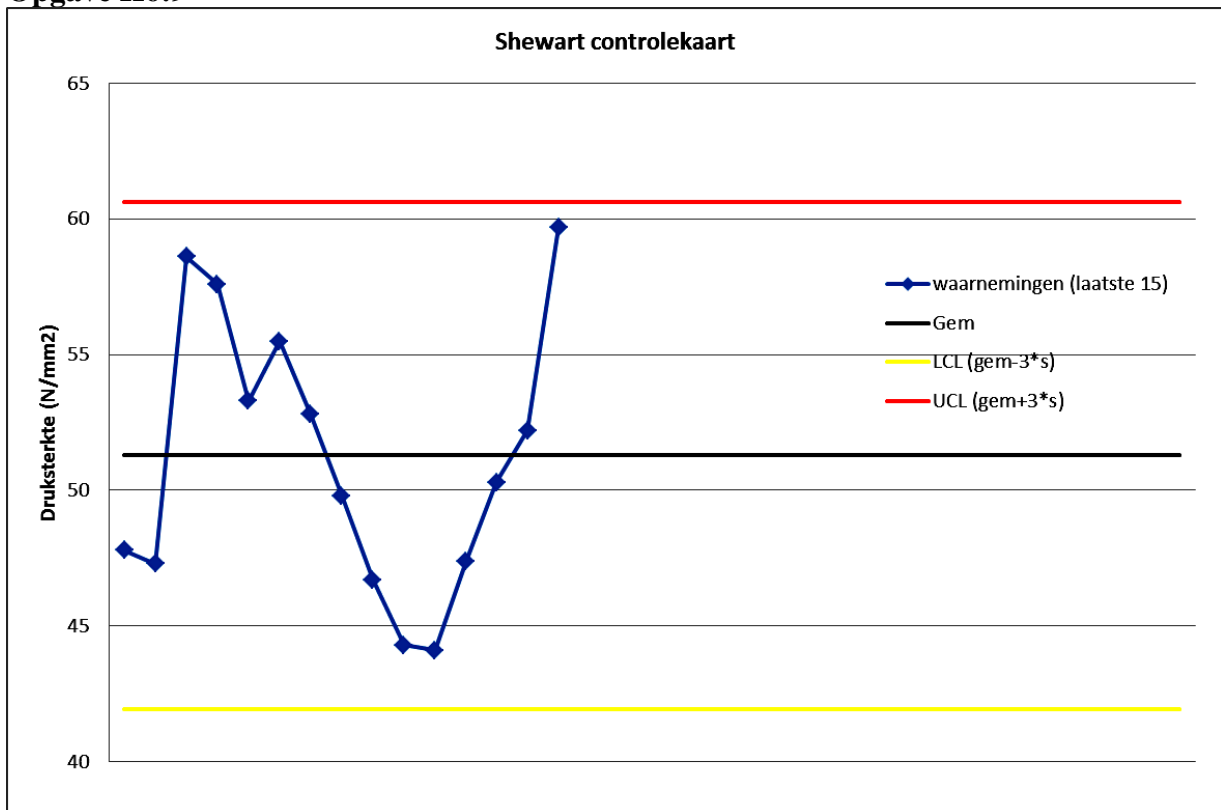
Antwoorden

Hoofdstuk 6

Opgave H6:8

- Gemiddelde = $51,3 \text{ N/mm}^2$.
- Standaardafwijking = $3,1 \text{ N/mm}^2$.
- LCL = $51,3 - 3 \cdot 3,1 = 42,0 \text{ N/mm}^2$.
- UCL = $51,3 + 3 \cdot 3,1 = 60,6 \text{ N/mm}^2$.

Opgave H6:9



Het proces is statistisch niet beheerst (er is een duidelijk patroon zichtbaar, er komen zogenaamde runs voor).

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Opgave H6:10

Allereerst bepalen we van de eerste 15 waarnemingen het gemiddelde en de standaardafwijking. We vinden de volgende waarden:

$$\text{Gemiddelde} = 40,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Standaardafwijking} = 2,98 \text{ N/mm}^2$$

No	Waarde	Vrts.Gem
1	37,9	
2	39,4	
3	40,1	
4	38,9	
5	38,4	
6	44,5	
7	41,9	
8	38,6	
9	44,8	
10	34,7	
11	38,4	
12	36	
13	43,6	
14	42,2	
15	41,5	40,1
16	41,1	40,3
17	41,9	40,4
18	43,3	40,7
19	40,8	40,8
20	43,7	41,1
21	45,2	41,2
22	36,9	40,8
23	39,3	40,9
24	37,2	40,4
25	44,7	41,1
26	36,8	40,9
27	41,7	41,3
28	39,8	41,1
29	35,8	40,6
30	39,9	40,5
31	40,8	40,5
32	42,8	40,6
33	41,2	40,4
34	43,4	40,6
35	46,5	40,8
36	39,5	40,4
37	39,5	40,6
38	35,9	40,4
39	42,5	40,7
40	37,3	40,2
41	43,5	40,7
42	43,7	40,8
43	42,2	41,0
44	43,7	41,5
45	44,1	41,8

Hierna zetten we de volgende tabel op:

Vervolgens berkenen we de waarden van de regelgrenzen:

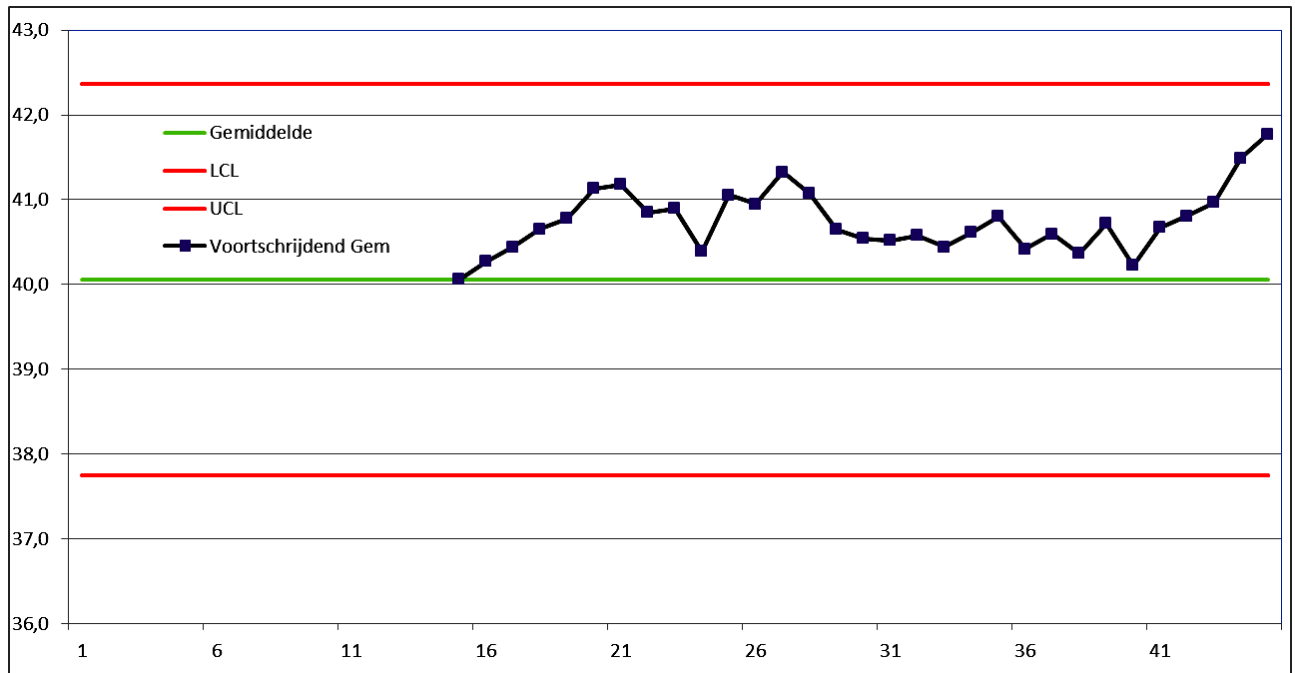
$$\text{LCL} = 40,1 - 3 \cdot (2,98 / \sqrt{15}) = 37,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{UCL} = 40,1 + 3 \cdot (2,98 / \sqrt{15}) = 42,4 \text{ N/mm}^2$$

We zijn nu in staat om van de voortschrijdende gemiddelden (n=15) een Shewart Controle kaart op te zetten:

Betontechnologie Antwoorden

Hoofdstuk 6



We concluderen dat het proces statistisch niet in evenwicht is (er worden nog geen actiegrenzen overschreden, maar alle waarnemingen liggen boven het gemiddelde, en er komen zogenaamde runs voor).

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

CUSUM Controle kaart

Het intekenen van de waarden t.b.v. de CUSUM controle kaart vindt plaats op basis van de volgende tabel:

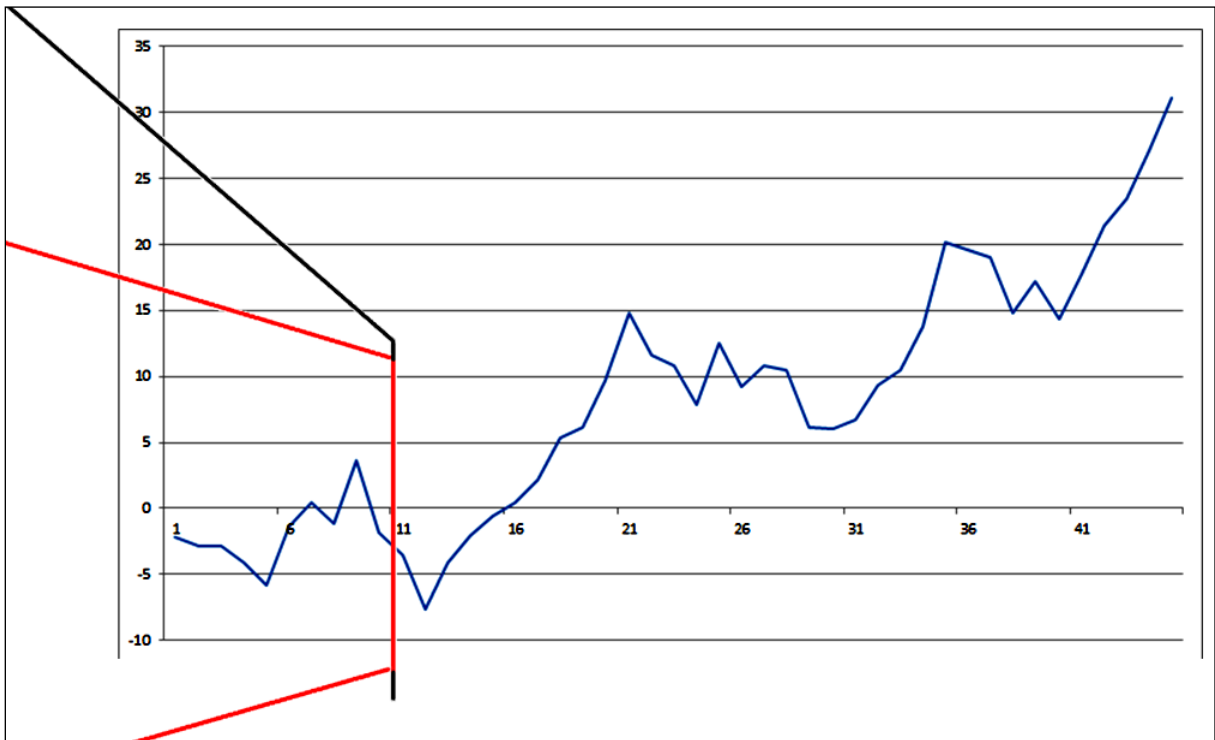
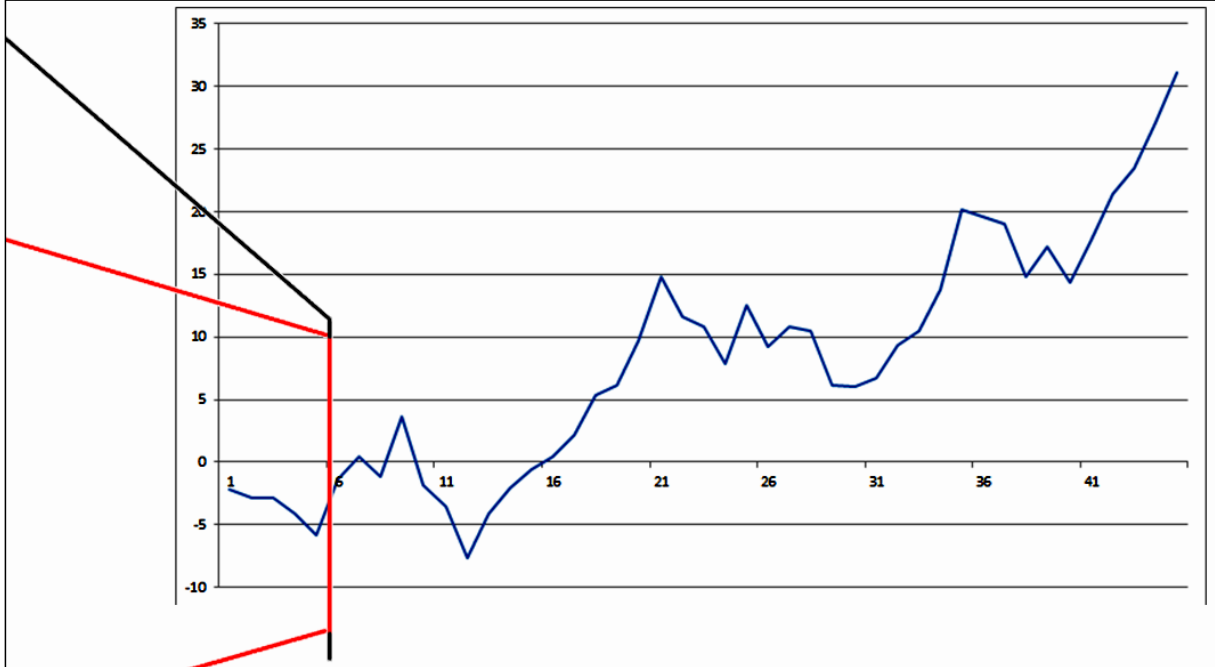
No	Waarde (X)	X - 40,1	CUM
1	37,9	-2,2	-2,2
2	39,4	-0,7	-2,9
3	40,1	0	-2,9
4	38,9	-1,2	-4,1
5	38,4	-1,7	-5,8
6	44,5	4,4	-1,4
7	41,9	1,8	0,4
8	38,6	-1,5	-1,1
9	44,8	4,7	3,6
10	34,7	-5,4	-1,8
11	38,4	-1,7	-3,5
12	36	-4,1	-7,6
13	43,6	3,5	-4,1
14	42,2	2,1	-2
15	41,5	1,4	-0,6
16	41,1	1	0,4
17	41,9	1,8	2,2
18	43,3	3,2	5,4
19	40,8	0,7	6,1
20	43,7	3,6	9,7
21	45,2	5,1	14,8
22	36,9	-3,2	11,6
23	39,3	-0,8	10,8
24	37,2	-2,9	7,9
25	44,7	4,6	12,5
26	36,8	-3,3	9,2
27	41,7	1,6	10,8
28	39,8	-0,3	10,5
29	35,8	-4,3	6,2
30	39,9	-0,2	6
31	40,8	0,7	6,7
32	42,8	2,7	9,4
33	41,2	1,1	10,5
34	43,4	3,3	13,8
35	46,5	6,4	20,2
36	39,5	-0,6	19,6
37	39,5	-0,6	19
38	35,9	-4,2	14,8
39	42,5	2,4	17,2
40	37,3	-2,8	14,4
41	43,5	3,4	17,8
42	43,7	3,6	21,4
43	42,2	2,1	23,5
44	43,7	3,6	27,1
45	44,1	4	31,1

Betontechnologie

Antwoorden

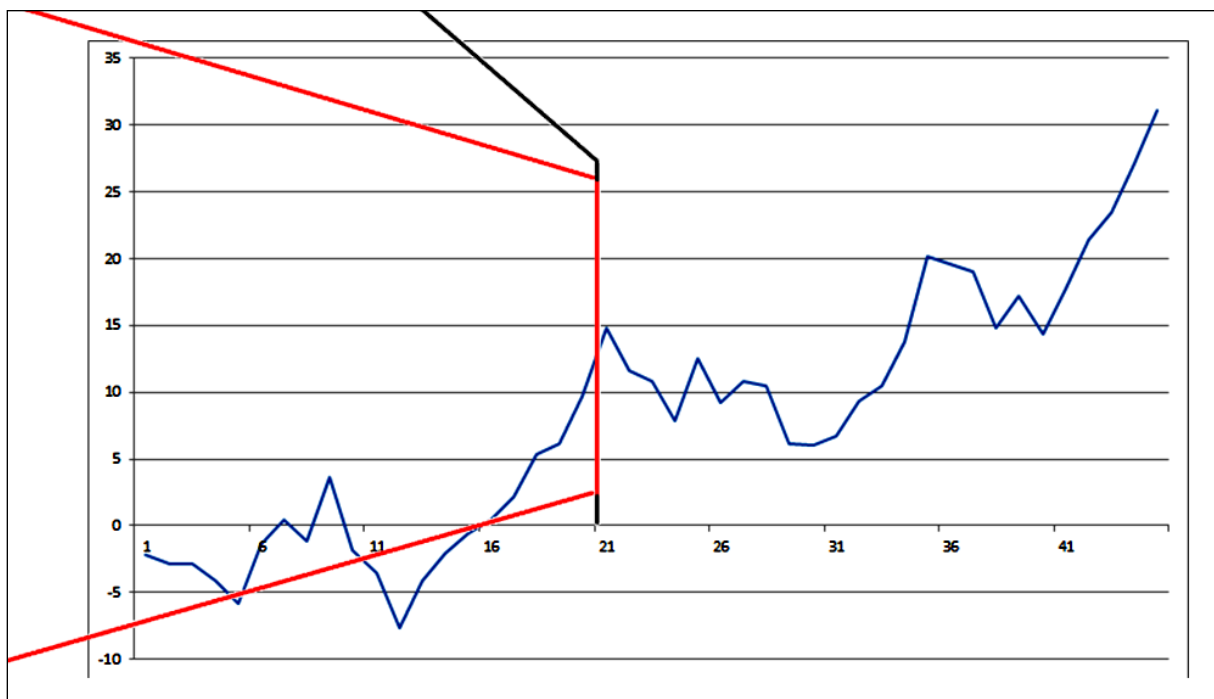
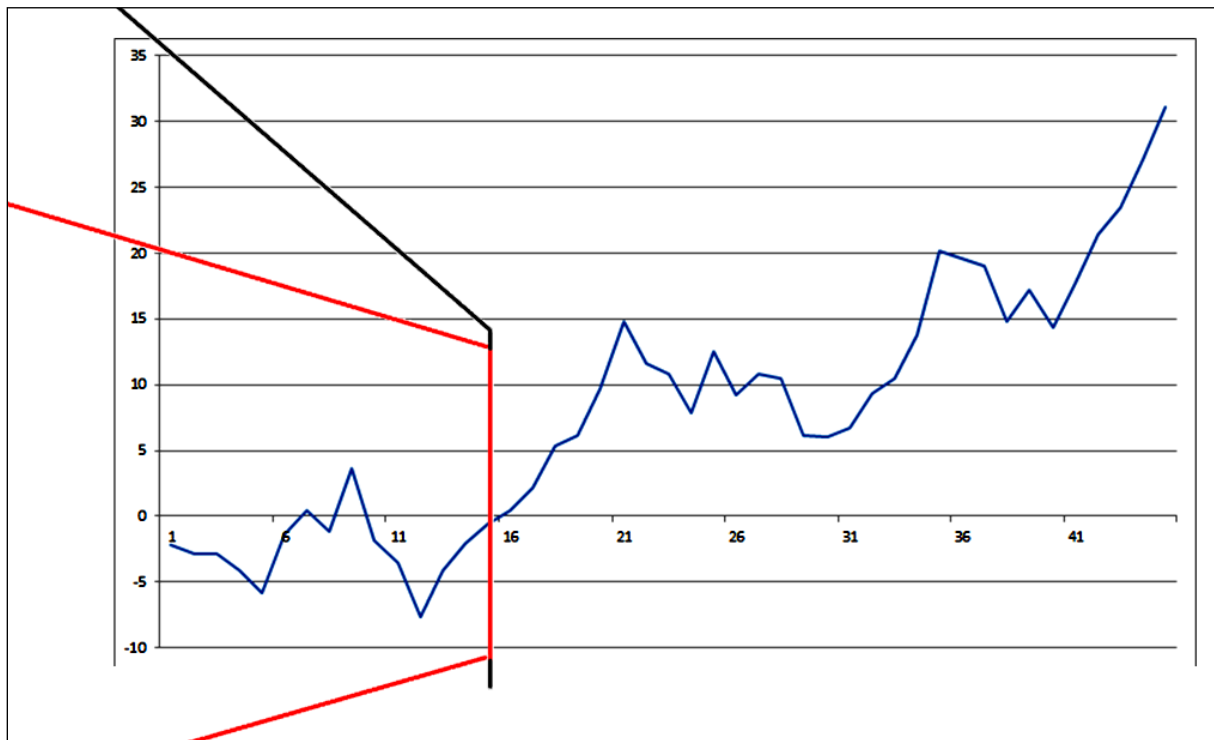
Hoofdstuk 6

Het V-Masker wordt berekend aan de hand van een standaardafwijking van 3 N/mm^2 .
Intekenen van het Masker in de kaart levert de volgende grafieken op:



Betontechnologie Antwoorden

Hoofdstuk 6



We concluderen dat ook nu het proces statistisch niet in evenwicht is (de onderste **waarschuwingsgrens** wordt overschreden → het gemiddelde wordt hoger).

Betontechnologie

Antwoorden

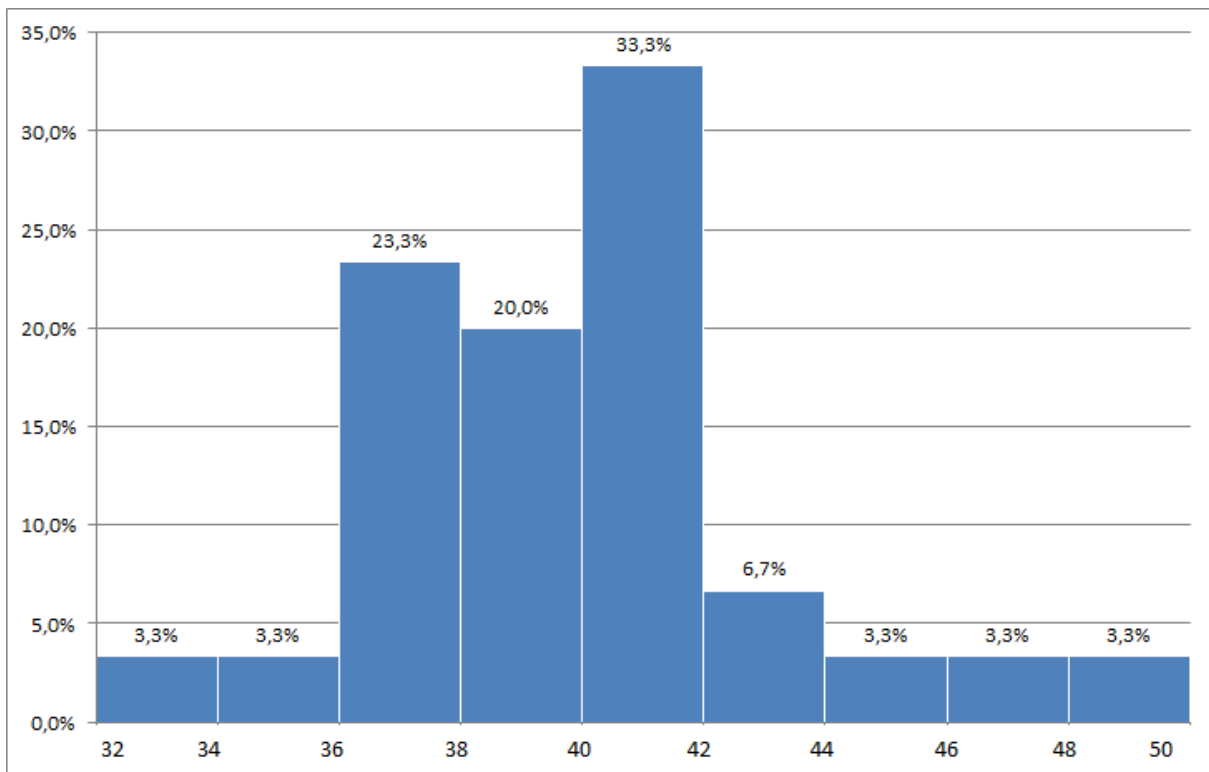
Hoofdstuk 6

Opgave H 6:11

De berekende standaardafwijking is $4,6 / 2,9 = 1,59$ x hoger. Om te kunnen blijven rekenen met de $\sigma = 2,9 \text{ N/mm}^2$ mag de standaardafwijking niet meer afwijken dan $1,37 \cdot \sigma$.

In dit geval moet de standaardafwijking opnieuw worden berekend uit de laatste 35 resultaten. Dat is met de beschikbare gegevens niet mogelijk.

Opgave H 6: 12



- Het gemiddelde bedraagt circa 40 N/mm^2 .
- De standaardafwijking bedraagt circa: $(50 - 32) / 6 = 3 \text{ N/mm}^2$.
- De karakteristieke sterkte bedraagt circa: $40 - 1,65 \cdot 3 = 35 \text{ N/mm}^2$ (of als we hem aflezen uit het histogram met het gegeven dat 5% van de waarnemingen beneden de karakteristieke waarde ligt $\rightarrow \sim 35 \text{ N/mm}^2$).

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Opgave H 6: 13

Om te beoordelen of de steekproef voldoet bekijken we eerst nog even het stappenplan

Aanvangsproductie: (Methode A)

1. Toetsing individuele druksterkte
2. Toetsing gemiddelde druksterkte per serie van 3 (al dan niet overlappend)
3. Verzamel op deze manier 35 geldige waarnemingen

Vanaf hier de volgende opties:

- Doorgaan met methode A
- Doorgaan met methode B
- Doorgaan met methode C

Er zijn klaarblijkelijk al minimaal 35 geldige waarnemingen verzameld want er is een processtandaardafwijking berekend. Dit houdt in dat de aanvangsproductie is voltooid. De processtandaardafwijking $\sigma = S_{35} = 3,0 \text{ N/mm}^2$.

Omdat in dit geval S_{35} berekend is gaan we er van uit dat we voor de vervolproductie overstappen op methode B.

(Indien we voor methode A hadden gekozen hadden we niet de moeite hoeven te nemen om de S_{35} te berekenen, want in dat geval toetsen we het gemiddelde van series van 3 (al dan niet overlappend))

Methode B (niet overlappende series):

1. Berekening van S_{35} (σ) $\rightarrow \sigma = S_{35} = 3,0 \text{ N/mm}^2$
2. Verzamelen van n (minimaal 15) aanvullende waarnemingen (we hebben 15 meetresultaten verzameld. Dit is één serie van 15. We beoordelen deze serie van 15 in dit geval dus "niet overlappend")
3. Toetsing individuele druksterkte
Alle waarden zijn groter dan of gelijk aan 21 N/mm^2
4. Berekening gem. druksterkte (niet overlappend)
Gemiddelde = $29,5 \text{ N/mm}^2$
5. Toetsing of $f_{cm(n)} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$?

$$29,5 \geq 25 + 1,48 \cdot \sigma ?$$

$$29,5 \geq 25 + 1,48 \cdot 3,0 ?$$

$$29,5 \geq 29,4 \rightarrow \text{voldoet.}$$

6. Berekening S_n over de 15 waarnemingen
Standaardafwijking = $S_{15} = 3,44 \text{ N/mm}^2$
7. Toetsing of S_n niet teveel afwijkt van σ
(voor $n = 15$ geldt: $0,63\sigma \leq S_{15} \leq 1,37\sigma$)
 $0,63 \cdot 3,0 \leq 3,44 \leq 1,37 \cdot 3,0 \rightarrow 1,89 \leq 3,44 \leq 4,11 \rightarrow \text{Voldoet}$

Dit houdt in dat voor de volgende serie van 15 waarnemingen met de oude waarde van S_{35} (3,0) mag worden worden gerekend.

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

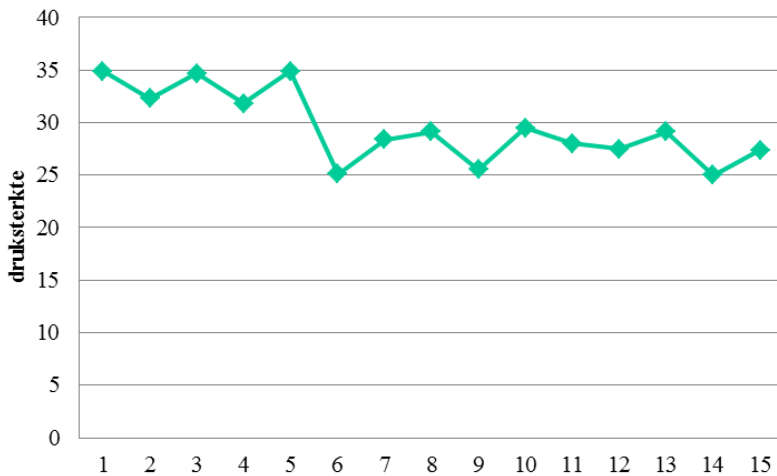
Methode B (overlappende series):

We hebben slechts 1 serie van 15 waarnemingen. We kunnen dus niet op basis van overlappende series toetsen.

Methode C (Aangepaste Shewartkaart)

Deze methode kan niet worden uitgevoerd omdat we te weinig informatie hebben.

Een visuele weergave van de 15 waarnemingen ziet er als volgt uit:



Het gemiddelde van de eerste 5 resultaten bedraagt: $33,7 \text{ N/mm}^2$

Het gemiddelde van de laatste 10 resultaten bedraagt: $27,5 \text{ N/mm}^2$

Indien dit verschil in druksterkte te wijten is t.g.v. verschil in normsterkte van het toegepaste cement, dan kunnen we het volgende stellen:

$$33,7 = 0,8 * N_{(H)} + 25 / wcf - 45$$

$$N_{(H)} = \text{Normsterkte oorspronkelijk cement}$$

$$27,5 = 0,8 * N_{(L)} + 25 / wcf - 45$$

$$N_{(L)} = \text{Verlaagde normsterkte cement}$$

Beide vergelijkingen van elkaar aftrekken:

$$6,2 = 0,8 * [N_{(H)} - N_{(L)}] \text{ en dit vereenvoudigd tot: } 7,75 = [N_{(H)} - N_{(L)}]$$

We concluderen dat de normsterkte van het cement met $7,75 \text{ N/mm}^2$ is gedaald. Om dit druksterkteverlies te compenseren moeten we de water-cementfactor verlagen. De benodigde verlaging van de water-cementfactor berekenen we als volgt:

Van de eerste 5 resultaten is bekend dat de watercementfactor: $180 / 265 = 0,68$ bedraagt.

Met dit gegeven berekenen we de normsterkte van het cement als volgt:

$$33,7 = 0,8 * N_{(H)} + 25 / 0,68 - 45 \rightarrow N_{(H)} = 52,4 \text{ N/mm}^2$$

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 6

Vervolgens weten we dat de normsterkte van het cement is gedaald naar:
 $52,4 - 7,75 = 44,65 \text{ N/mm}^2$

Om nu opnieuw een gemiddelde druksterkte van $33,7 \text{ N/mm}^2$ te halen hebben we een verlaagde water-cementfactor nodig:

$$33,7 = 0,8 * 44,65 + 25 / \text{wcf} - 45 \rightarrow \text{wcf} = 0,58$$

Bij een gelijkblijvend watergehalte van 180 liter wordt het nieuwe cementgehalte:
 $180 / 0,58 = 310 \text{ kg/m}^3$

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 7

Opgave H 7: 1

Het vochtgehalte van de betonspecie t.o.v. de natte massa bedraagt:

$$100\% * (5000 - 4619) / 5000 = 7,6\%$$

De totale natte afweegstaat heeft een massa van 2363 kg.

Het vochtgehalte (t.o.v. nat) is nog steeds 7,6% → $7,6\% * 2363 = 180$ kg water

Het bindmiddelgehalte bedraagt: $300 + 0,20 * 60 = 312$ kg

De waterbindmiddelfactor komt hiermee op: 0,58

Opgave H 7: 2

Laten we mengsels A en B controleren op de samenstelling:

Mengsel A:

225 kg CEM I 32,5 R → 71 liter

466 kg nat zand → 448 kg droog zand + 18 kg water → 169 liter droog zand + 18 liter water

673 kg nat grind → 660 kg droog grind + 14 kg water → 249 liter droog grind + 14 liter water

Totaal water = $18 + 14 + 67 = 99$ liter water

Totaal volume (zonder lucht) = $71 + 169 + 249 + 99 = 588$ liter

Totaal volume met 1% lucht = $588 / 0,99 = 594$ liter

wcf = $99 / 225 = 0,44$

Cementgehalte per $m^3 = 225 / 0,594 = 379$ kg

Watergehalte per $m^3 = 379 * 0,440 = 167$ liter

Mengsel B:

240 kg CEM I 32,5 R → 76 liter

563 kg nat zand → 541 kg droog zand + 22 kg water → 204 liter droog zand + 22 liter water

813 kg nat grind → 797 kg droog grind + 16 kg water → 300 liter droog grind + 16 liter water

Totaal water = $22 + 16 + 67 = 105$ liter water

Totaal volume (zonder lucht) = $76 + 204 + 300 + 105 = 685$ liter

Totaal volume met 1% lucht = $685 / 0,99 = 692$ liter

wcf = $105 / 240 = 0,44$

Cementgehalte per $m^3 = 240 / 0,692 = 347$ kg

Watergehalte per $m^3 = 347 * 0,44 = 152$ liter

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 7

We stellen de volgende tabel op:

Mengsel	A	B
Cementgehalte	379	347
Watergehalte	167	152
Water-cementfactor	0,44	0,44
Pasta volume	293	268
Volume lucht	10	10
Volume TSM	697	722

Aan de hand van bovenstaande tabel beoordelen we de verschillen in eigenschappen tussen de twee mengsels:

- Mengsel A heeft meer water dan mengsel B → consistentie van mengsel A zou op basis van dit gegeven groter zijn dan mengsel B. Eveneens is het pastavolume van mengsel A groter dan die van mengsel B (bij gelijkblijvende wcf). Hierdoor ondervinden de korrels van het TSM minder onderlinge wrijving, waardoor de consistentieklasse van mengsel A hoger uitvalt dan van mengsel B.
- Op basis van de standaard formule voor de berekening van de gemiddelde druksterkte, zouden beide mengsels een gelijke druksterkte moeten bezitten. Echter.. Het aandeel pasta is in mengsel A groter, waardoor mengsel A waarschijnlijk een iets lagere druksterkte zal hebben*.
- Het porievolume van mengsel A is groter dan die van mengsel B. De reden hiervoor is dat bij gelijke wcf het porievolume wordt bepaald door het gehalte aan cementsteen. Dit is in mengsel A groter (het pasta-aandeel is groter).
- De gemiddelde geschatte druksterkte van de beide mengsels zijn nagenoeg gelijk (zie *) en zijn: $0,80 \cdot 48 + 25/0,44 - 45 \sim 50 \text{ N/mm}^2$. De druksterkte voldoet hiermee aan de gestelde eisen.
- Voor wat betreft de eisen gesteld aan de milieuklassen, kunnen we stellen dat mengsel A ruimschoots voldoet. Ook mengsel B voldoet aan de gestelde eis.

Mengsel A	
Consistentie	Groter dan mengsel B
Kubusdruksterkte	Waarschijnlijk lager dan mengsel B
Totaal porievolume	Groter dan bij mengsel B

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 7

Opgave H 7: 3

We hoeven in dit geval enkel en alleen maar het chloridegehalte t.o.v. het cementgewicht te bepalen, want de water-cementfactor is al gegeven (0,48) en deze voldoet aan de eis voor milieuklasse XC4.

Hiervoor hebben we nodig de massa van het TSM-mengsel.

340 kg CEM III/B 42,5	= 115,3 liter cement
Hoeveelheid water = $340 * 0,48$	= 163 liter
Hoeveelheid lucht	= 15 liter
Totaal	= 293,3 liter

Blijft over voor TSM = 706,7 liter

Zandgehalte = 35% → 247,3 liter = 656 kg droog zand = 679 kg nat zand

Grindgehalte = 65% → 459,3 liter = 1217 kg droog grind = 1235 kg nat grind

Aanmaakwater = $163 - (679 - 656) - (1235 - 1217) = 122$ kg

Chloride uit zand = $656 * 0,06\%$	= 0,394 kg
Chloride uit grind = $1217 * 0,03\%$	= 0,365 kg
Chloride uit cement = $340 * 0,04\%$	= 0,136 kg
Chloride uit aanmaakwater = $122 * 0,02\%$	= 0,024 kg
Totaal	= 0,919 kg

Chloridegehalte t.o.v. cement = 0,27%

Dit gehalte is te hoog voor voorgespannen beton → het mengsel voldoet niet aan de eisen.

Opgave H 7: 4

Antwoord C

Opgave H 7: 5

- Klaarblijkelijk heeft het lichtgewicht materiaal water (regenwater) geabsorbeerd. Hierdoor raken de korrels verzadigd met water waardoor het losgestort soortelijk gewicht toeneemt.
- Het losgestort soortelijk gewicht bedroeg in de oude situatie 910 kg/m^3 . Dit betekent dat er qua volume $735 / 910 = 0,808 \text{ m}^3$ losgestort toeslagmateriaal werd gedoseerd. In de nieuwe situatie willen we eveneens deze hoeveelheid toeslagmateriaal (v.w.b. volume) doseren. Dit houdt in dat we nu $0,808 * 980 = 792$ kg nat toeslagmateriaal moeten doseren. Het gewichtsverschil ($792 - 735 = 57$ kg water) moeten we dus reduceren met het aanmaakwater.

Resumé:

- Doseren 792 kg nat toeslagmateriaal
- Reductie in aanmaakwater = 57 kg

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 7

Opgave H 7: 6

- a)
- Nieuwe functie van de constructie
 - Bij / na brand
 - Bij gebrek aan geldige druksterkteresultaten
 - Indien afgesproken
 - Bij twijfel
- b)
- Directe methode
 1. boren van kernen
 - Indirecte methoden:
 1. Terugslaghamer
 2. Ultrasoonmeting
 3. Uittrekkraft

Opgave H 7: 7

- a. Het volume van het verplaatste water (dit is gelijk aan het volume van het proefstuk) bedraagt: $2255 - 1404 = 851$ ml. Hiermee komt de volumieke massa uit op: $2255 / 851 = 2,65$ gr/liter $\rightarrow 2650$ kg/m³.
- b. De volumieke massa valt in de categorie zwaar beton.

Opgave H 7: 8

We weten dat 5000 gram natte specie na droging 4545 gram droge specie oplevert. Dit houdt in dat 2342 kg natte specie na droging een massa heeft van: $(2342 / 5000) * 4545 = 2129$ kg.

Hiermee komt het watergehalte in de natte specie dus uit op: $2342 - 2129 = 213$ kg.

Er is echter sprake van absorptie. We zullen dus moeten weten hoeveel droog zand en droog kalksteen in het mengsel aanwezig is.

Droog zand = $739 / 1,045 = 707$ kg \rightarrow absorptie = 3 liter

Droog kalksteen = $1084 / 1,021 = 1062$ kg \rightarrow absorptie = 16 liter

Totaal = 19 kg water absorptie

Water-cementfactor = $(213 - 19) / 360 = 0,54$

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 7

Opgave H 7: 9

Het bovenwatergewicht bedraagt: 4160 gram.

Stel het natte toeslagmateriaal bevat X gram water. Dan blijft over voor het droge bovenwatergewicht: $(4160 - X)$ gram.

Dit droge bovenwatergewicht heeft een volume ter grootte van $(4160 - X) / 2,65$ ml.

Dit betekent dat de onderwatermassa gelijk is aan $(4160 - X) - (4160 - X) / 2,65$ gram. We kunnen dit vereenvoudigen tot:

$$4160 - X - 4160 / 2,65 + X / 2,65 \rightarrow 2590,2 - 0,623X$$

Dit gewicht is gelijk aan 2490 gram.

$$\text{Oplossen: } 2590,2 - 0,623X = 2490 \rightarrow -100,2 = -0,623X \rightarrow X = 161$$

Oplossing:

Nat gewicht = 4160 gram.

Droog gewicht = $4160 - 161 = 3999$ gram.

Vochtgehalte = $100\% * (161 / 3999) = 4,0\%$.

Opgave H 7: 10

Antwoord C

Opgave H 7: 11

1073 kg nat zand (watergehalte = 4%) \rightarrow droog zand = 1032 kg; watergehalte = 41 kg.

1697 kg nat grind (watergehalte = 2%) \rightarrow droog grind = 1661 kg; watergehalte = 33 kg.

Totaal watergehalte = $174 + 41 + 33 = 248$ kg.

Voor milieuklasse XF1 geldt dat de maximale ontwerp-wbf 0,53 mag bedragen.

De k-factor voor poederkoolvliegias (VLA) in combinatie met CEM I 42,5 N bedraagt 0,40.

Stel we doseren C kg cement. Hieruit volgt dat het maximale aandeel aan VLA waarover we een bindmiddel functie mogen tellen gelijk is aan $0,33 * C$. Het bindmiddel gehalte uit deze hoeveelheid VLA bedraagt 0,40. We hebben dus in dit geval als totaal bindmiddelgehalte:

$$\text{Bindmiddelgehalte} = C + 0,4C * 0,33 = 1,132 * C$$

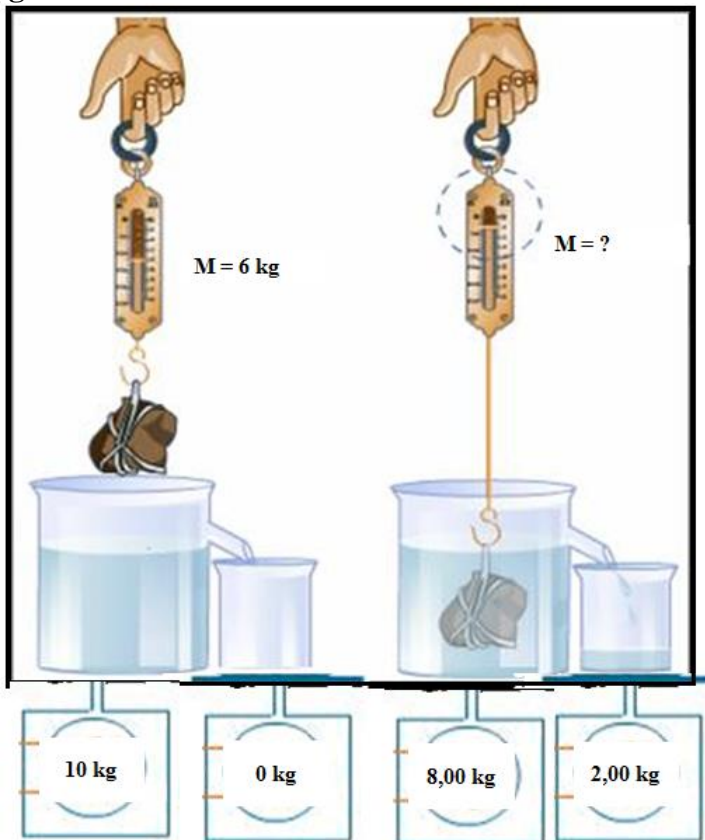
Hierbij geldt als randvoorwaarde dat $0,33 * C \leq 177$ kg $\rightarrow C \leq 531$ kg (het cementgehalte mag niet meer zijn dan 531 kg).

Betontechnologie

Antwoorden

Hoofdstuk 7

Opgave H 7: 12



$$\rho = m / v = ?$$

Volumieke massa
vloeistof = 1200 kg/m³

Het volume van de verplaatste vloeistof = 2,00 / 1,20 = 1,67 liter.

Dit betekent dat het volume van het monster dus ook 1,67 liter bedraagt

→ vol.massa = 3593 kg/m³ (6 kg / 1,67 l).

De waarde voor M bedraagt: 6 – massa verplaatste vloeistof (= 2 kg) = 4 kg.

Opgave H 7: 13

Het droge monster weegt: 545 / 1,04 = 524 gram (boven water). Onder water is het 169 gram lichter geworden. Dit houdt in dat er dus 169 ml waterverplaatsing heeft plaatsgevonden.

Hieruit concluderen we dat het volume van het droge monster dus 169 ml is. Hiermee komt de volumieke massa van het monster uit op: 524 gr / 169 ml → 3100 kg/m³.

Opgave H 7: 14

Antwoord

Voor sterkteklasse C35/45 is de eis voor de minimale karakteristieke kubusdruksterkte in het werk ($f_{ck, is\ cube}$) $0,85 \times 45 = 38 \text{ N/mm}^2$. Aan deze eis wordt voldaan.

Toelichting: De eisen aan de karakteristieke sterkte in het werk zijn niet gelijk aan de eisen voor de van toepassing zijnde sterkteklasse volgens NEN-EN 206. De minimale karakteristieke sterkte in het werk moet groter zijn dan $0,85 \times$ de karakteristieke sterkte overeenkomende met de sterkteklasse volgens NEN-EN 206. De correctiefactor 0,85 is gebaseerd op de correctiewaarden, zoals gehanteerd in NEN-EN 13791. De correctie wordt gebruikt omdat de norm al rekening houdt met de invloed van uitvoering en verhardingsomstandigheden die uiteraard niet overeenkomen met de geconditioneerde manier van vervaardigen en verharden van proefstukken voor de controleproef.

Betontechnologie

Antwoorden

Algebra

1	5	6	9
2	5	7	4,5
3	-1	8	0,8
4	-22	9	0,4
5	-24	10	288
11	11,67	16	$10a + 35$
12	$x = 3 / 5$	17	$10a + 7ab$
13	$x = -1/3$	18	$-10p + 3px$
14	$x = 16$	19	$-x - y$
15	$x = 0$ of $x = -2$	20	$v = m/\rho$

21 $\beta = V_w$

22

$$V_{\text{cem}} = \frac{\beta_{\text{vulstof}}}{\rho_{\text{cem}} * w_{\text{cf}} + \beta_{\text{vulstof}} - \beta_{\text{cem}}}$$

23 $V = (1/6) \pi d^3$

24 2,567

25: A start \rightarrow op tijdstip $t=t$ is de afgelegde afstand gelijk aan $4,25*t$
B start 2 uur later \rightarrow op tijdstip $(t-2)$ is de afgelegde afstand gelijk aan $5,5(t-2)$
Randvoorwaarde: $t > 2$
Als A wordt ingehaald door B, dan hebben ze dezelfde afstand afgelegd.
 $4,25t = 5,5(t-2) \rightarrow t = 8,8$ uur
De afgelegde afstand bedraagt: $4,25*8,8 = 37,4$ km

26: $\text{conc} = d = V*c/(V+W)$
Hierin is W het toegevoegde water
Hieruit volgt: $W = V(c-d)/d$

27: percentage brildragend = $100\% * 3/8 = 37,5\%$
Stel: N leerlingen
Aantal brildragers = $0,375N$
Aantal niet brildrager = $0,625N$
Het verschil = $0,25N = 245 \rightarrow N = 980$

Betontechnologie

Antwoorden

Algebra

- 28: Atleet B loopt 1,1667*sneller dan A
Stel: snelheid B = 1,1667v → snelheid A = v
Tijdstip van aankomst atleet A = 10/v minuten
Tijdstip van aankomst atleet B = 10/(1,1667V)
Het tijdsverschil is $\left| \frac{10}{1,1667V} - \frac{10}{v} \right| = 5$ minuten
Hieruit volgt v = 17,14 km/uur
- 29: Arend € 73
Brenda € 46
Christiaan € 85
- 30: We moeten de volgende vergelijkingen oplossen:
Stel volume aandeel schoonwater is X → volume aandeel slib = (1-X)
- Volume slibwater = 1m³:
X schoonwater + (1-X) slib = 1
- Massa slibwater = 1070
1000*X + 2100*(1-X) = 1070
- Bovenstaande vergelijking uitschrijven levert op:
- $$1000*X + 2100 - 2100*X = 1070$$
- Na vereenvoudigen:
- $$-1100*X = -1030$$
- Hieruit volgt: X = 0,936 m³
- 1 m³ spoelwater bevat dus 936 liter schoonwater en 64 liter slib
- Als er 600 kg spoelwater wordt afgewogen komt dit overeen met:
600 / 1,07 = 560 liter spoelwater → 524 liter schoonwater
- 31: Y = a + b*X → gemiddelde druksterkte = a + b/wcf
- a = 2,7
b = 22,5
- wcf = 0,60 → gemiddelde druksterkte = 40,2 N/mm²
1/wcf = 0 → gemiddelde druksterkte = 2,7 N/mm² (wat vindt u van dit antwoord ?)