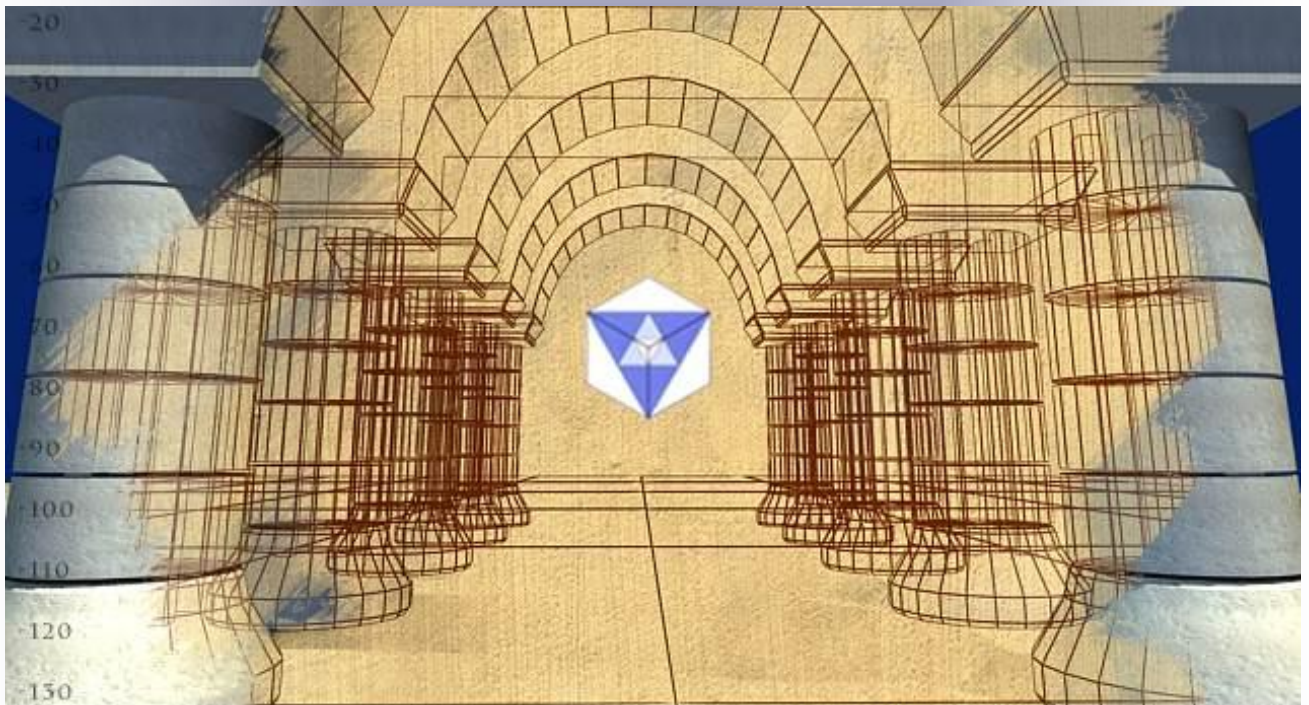


KOUDE GIETBOUW VERSUS WARME GIETBOUW.



STUBECO STUDIECEL C 08.

Koude gietbouw versus warme gietbouw.

Groene versie, 23 juni 2009

Stubeco studiecél C 08

J. Akkerman	EBC Beton
J. de Goede	BAM Woningbouw, Engineering & Consulting
J. Heuveling	Gietbouwcentrum/VOBN
P. Kraaijeveld	Doka Nederland
J. Nederstigt	Cementbouw Betonmortel (inmiddels Bouwk.adv. Needs)
J. Roeleveld	BAM Woningbouw, Engineering & Consulting

De Studievereniging Uitvoering Betonconstructies (Stubeco) en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze publicatie vervatte gegevens. Nochtans moet niet de mogelijkheid worden uitgesloten dat er zich toch onjuistheden in deze publicatie kunnen bevinden. Degene die van deze publicatie gebruik maakt, aanvaardt daarvan het risico. De Stubeco sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

Gehele of gedeeltelijke overname van de inhoud is alleen toegestaan met schriftelijke toestemming van het Stubeco-bestuur.

*Deze publicatie is verkrijgbaar bij:
Stubeco, Büchnerweg 3, Postbus 411, 2800 AK Gouda
tel.nr. (0182) 53 92 33, fax (0182) 53 75 10
e-mail: info@stubeco.nl - website: www.stubeco.nl*

Inhoudsopgave

1.	Inleiding en doelstelling.	4
2.	Bouwmethode.	5
3.	Randvoorwaarden voor warme en koude gietbouw.	7
3.1.	constructie en berekening	7
3.2.	bekisting	7
3.3.	betonmortel en logistiek	8
3.4.	uitvoering	11
4.	Procesbeheersing	12
4.1.	constructieve keuze en berekening	12
4.2.	bekisting	13
4.3.	betonmortel	14
4.4.	uitvoering	15
4.5.	veiligheid, arbo en milieu	17
4.6.	prijs van betonmortels	18
5.	Conclusies en aanbevelingen	18
5.1.	aanbevelingen	18
5.2.	conclusies	18
6.	Bijlagen	19
6.1.	aandachtspunten en betrokken partijen	19
6.2.	verschil koude gietbouw t.o.v. warme gietbouw	20
7.	Literatuurlijst	21

1. Inleiding en doelstelling.

Eisen en regelgeving kunnen innovatie stimuleren. Een voorbeeld hiervan is de toepassing van koude gietbouw. Hoewel betonmortel voor koude gietbouw al meer dan tien jaar geleden is ontwikkeld is de toepassing in 2006 pas op grotere schaal gestart. Dit rapport wil inzicht geven in de specifieke aandachtspunten bij toepassing van koude gietbouw. Dit in vergelijking met warme gietbouw. Hierbij is alleen naar de Nederlandse situatie gekeken.

Bij toepassing van koude gietbouw is de verhardingstijd sterk afhankelijk van de prestatie van de betonmortel. Dit vraagt intensief overleg tussen toeleverancier en aannemer. Hier besteedt dit rapport aandacht aan. Stubeco studietoelating C 08 heeft de probleemstelling als volgt geformuleerd:

‘Bij tunnelgietbouw wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van betonmortel met een gewenste ontkistingssterkte, veelal 14 N/mm^2 , welke binnen een gewenste cyclustijd van 24 uur wordt gerealiseerd, de zogenoemde koude gietbouw. Dit als alternatief op het traditioneel van binnenuit verwarmen van de bekisting en dus de betonmortel, de zgn. warme gietbouw. Om een verantwoorde keuze te kunnen maken dient verder te worden onderzocht wat de invloeden zijn van beide systemen.’



2. Bouwmethode.

Tunnelgietbouw is in de zestiger jaren van de vorige eeuw ontwikkeld. Vele duizenden huizen zijn sindsdien gebouwd met dit systeem. Veelal als grondgebonden woningen in uitbreidingsgebieden maar ook in woontorens.

Kenmerken van tunnelgietbouw zijn vlakke wanden met een geringe nabewerking en een optimale prijs-kwaliteitverhouding voor het casco. Belangrijke keuze aspecten voor tunnelgietbouw waren en zijn; grote repetitie, strakke en voorspelbare planning, direct vrije ruimte voor afbouw en kostenefficiënt. Een uitgangspunt daarbij is wel dat er elke werkdag ontkist en weer gestort kan worden.



Om verantwoord en veilig te kunnen ontkisten dient in het vloerveld de voorgeschreven ontlastingsterkte te worden gerealiseerd. Om deze ontlastingsterkte binnen de gestelde verhardingstijd te bereiken wordt de tunnelbekisting aan voor-, achter- en bovenzijde afgesloten. Dit is voor zowel warme als koude gietbouw van toepassing. Bij warme gietbouw wordt vervolgens wordt met warmtebronnen vanuit de ruimte onder de bekisting het beton verwarmd. De warmte wordt hoofdzakelijk verkregen door gasbranders die worden gevoed uit een tijdelijke propaangastank op het bouwterrein. Binnen stedelijk gebied kan van aardgas gebruik worden gemaakt.

Bij koude gietbouw wordt optimaal gebruik gemaakt van de hydratatiewarmte die verhardend beton ontwikkelt. Door te isoleren wordt beton beschermd tegen afkoelen. Er wordt geen gebruik gemaakt van externe warmte bronnen.



De bouwmethode en tunnelbekisting zijn steeds mee ontwikkeld bij de veranderende vraag in de markt. Appartementen en woningen worden dieper en breder. Daarnaast kennen projecten meer woningtypen en wisselende beukbreedten. Met hogere eisen aan geluidwering zijn ook de wanden en vloeren in de loop der jaren dikker geworden, of zijn woningscheidende spouwmuren toegepast.

Naast bouwkundige eisen zijn ook regels en voorschriften t.a.v. van veiligheid en gezondheid aangescherpt. Ten behoeve van een veilige werksituatie zijn er diverse veiligheidsvoorzieningen in en aan de tunnelbekisting geïntegreerd. Werksteigers en uitrijsteigers zijn aangepast.

De wet Milieubeheer maakt het gebruik van propaangastanks binnen de bebouwde omgeving bij binnenstedelijke projecten moeilijk of zelfs onmogelijk. De wens om voor binnenstedelijke projecten "koude" gietbouw toe te passen, dus zonder gebruik te maken van extra warmte bronnen, lijkt steeds groter te worden.



3. Randvoorwaarden voor koude en warme gietbouw.

Het principe van koude gietbouw is gebaseerd op het optimaal gebruikmaken van de warmteontwikkeling in het verhardend beton.

Betonmortel bestaat uit toeslagmateriaal, cement, eventueel vul- en hulpstoffen en water. In de betoncentrale worden de hoeveelheden gedoseerd en gemengd. Cement en water vormen de cementlijm en na uitharding cementsteen. Bij de chemische reactie tussen cement en water komt warmte vrij.

De hoeveelheid warmte die de betonmortel ontwikkelt heeft een sterke invloed op de snelheid van verharding, vooral van de sterkte ontwikkeling in de eerste uren.

Om veilig te kunnen ontkisten is een minimale betondruksterkte noodzakelijk. Hoe groot deze druksterkte moet zijn, bepaalt de constructeur. In veel gevallen zal de minimale betondruksterkte van 14 N/mm², die genoemd wordt in NEN 6722:2002 en mits deze op tekening wordt aangegeven, worden aangehouden.

In verhardend beton vindt warmteontwikkeling plaats. Deze warmte wordt ook weer afgegeven aan de omgeving. Om de verharding te stimuleren dient de afkoeling zo veel mogelijk te worden vertraagd. Aan de diverse aspecten die warmte ontwikkeling en afkoeling beïnvloeden zijn ook randvoorwaarden verbonden.

Zowel voor koude als voor warme gietbouw gelden randvoorwaarden waar aan moet worden voldaan. Deze voorwaarden worden ingedeeld naar:

- Constructie en berekening
- Bekisting
- Betonmortel en logistiek
- Uitvoering

3.1 Constructie en berekening

In het ontwerp zijn de afmetingen van het casco en ook de wand- en vloerdikte vastgelegd. De berekening van de constructeur gaat in eerste instantie uit van de gebruiksfase van het bouwwerk. Het gangbare uitgangspunt voor de druksterkteklasse is C20/25 of C28/35. In sommige gevallen kan de keuze voor druksterkteklasse C35/45 of hoger, voor zowel warme als koude gietbouw, een besparing in de hoeveelheid wapening opleveren.

De gekozen prestatie van geluidwering in appartementen is in veel gevallen bepalend voor de wand en vloerdikte. Bij de keuze voor een zwevende dekvloer volgt de berekende dikte van constructieve vloer uit de overspanning.

Van invloed zijn ook de eventueel aan te storten elementen. Vooral prefab betonnen consoles, balkon- en galerijplaten zijn van invloed op de constructie in de ruwbouwfase.

3.2 Bekisting

Zowel voor warme als koude gietbouw is het van belang dat verlies van warmte uit het verhardend beton, in de fase van verharding, zoveel mogelijk wordt beperkt.

Voor warme gietbouw betekent dit dat warmteverlies optreedt bij eindwanden, kopschotten van wanden en vloeren en aan de bovenzijde van de vloer.

Anders dan bij warme gietbouw gaat bij koude gietbouw ook aan de binnenzijde van de tunnelbekisting warmte uit de betonmortel verloren, omdat van binnenuit geen warmte wordt toegevoegd.

De hoeveelheid warmte die verloren kan gaan is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen het verhardende beton en de buiten lucht. Maar ook de windsnelheid is van grote invloed. Naar mate het harder waait wordt er meer koele lucht langs de bekisting geblazen waardoor afkoeling sterk toeneemt.

Aan te storten (prefab) onderdelen vormen een onderbreking in de bekisting. Afhankelijk van vorm en uitvoering kan er mogelijk extra warmte verlies optreden. Toepassing van elementen met een koudebrug onderbreking kan een positieve bijdrage leveren.

De vormgeving en uitvoering van bekisting bij koude gietbouw is niet afwijkend t.o.v. warme gietbouw. Aanpassingen zijn niet nodig.

3.3 Betonmortel en logistiek

Cement met water leidt tot hydratatie. De mate van hydratatie, de hydratatiegraad, heeft een directe relatie met de sterkteontwikkeling van beton. Bij hydratatie komt warmte vrij. Het gecombineerde effect van temperatuursontwikkeling en tijd geeft een indicatie van de sterkteontwikkeling, ofwel de rijpheid. De karakteristiek van de warmteontwikkeling is verschillend per samenstelling van betonmortel. Invloedsfactoren zijn:

- Cementsoort, type en sterkteklasse
- Water bindmiddelfactor (wbf) en mortelsamenstelling
- Hulpstoffen
- Omgevingstemperatuur
- Morteltemperatuur

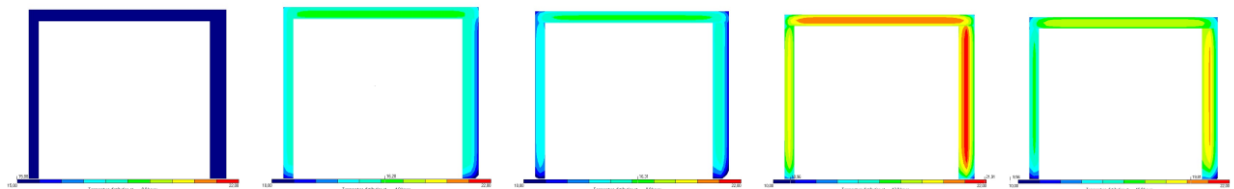
De betonmortelleverancier maakt gebruik van deze invloedsfactoren bij de samenstelling van betonmortel voor zowel warme als koude gietbouw. De samenstelling is voor een groot deel bepaald vanuit de constructieve- en bestekseisen. De voorgeschreven sterkteklasse en milieuklassen zijn bepalend voor de (minimum) hoeveelheid cement en de wbf. Er blijft echter voldoende speelruimte voor de betontechnoloog om een mengsel te ontwerpen dat de gewenste prestatie levert. Naast de genoemde bestekseisen moet de betonmortel goed verwerkbaar zijn, vastgelegd in een consistentieklasse. Hierbij moet rekening gehouden worden met:

- Vorm van transport op de bouwplaats
- Dichtheid van de wapening
- Aanrijtijd (betoncentrale – bouwplaats)
- Beschikbare verwerkingstijd
- Buitentemperatuur / betonmorteltemperatuur

Bij het mengselontwerp voor koude gietbouw beoordeelt de betontechnoloog de autonome temperatuursontwikkeling van de betonmortel de zogenaamde adiabaat. Iedere betonsamenstelling, waarbij de dosering van bindmiddelen en hulpstoffen veranderd wordt, heeft een andere adiabaat.



De temperatuursontwikkeling van een betonsamenstelling wordt mede beïnvloed door de omgevingstemperatuur. Koude buitenlucht, harde wind, maar ook soms zeer koude (stalen) bekisting kan de temperatuursontwikkeling, en dus de verharding, nadelig beïnvloeden. De temperatuur van de betonmortel op het moment van storten is een factor die wordt meegewogen. Met behulp van specifieke computerprogramma's kan inzicht worden verkregen over de te verwachten temperatuursontwikkeling en verharding van de betonmortel-samenstelling.



Temperatuursontwikkeling na:

0 uur

4 uur

8 uur

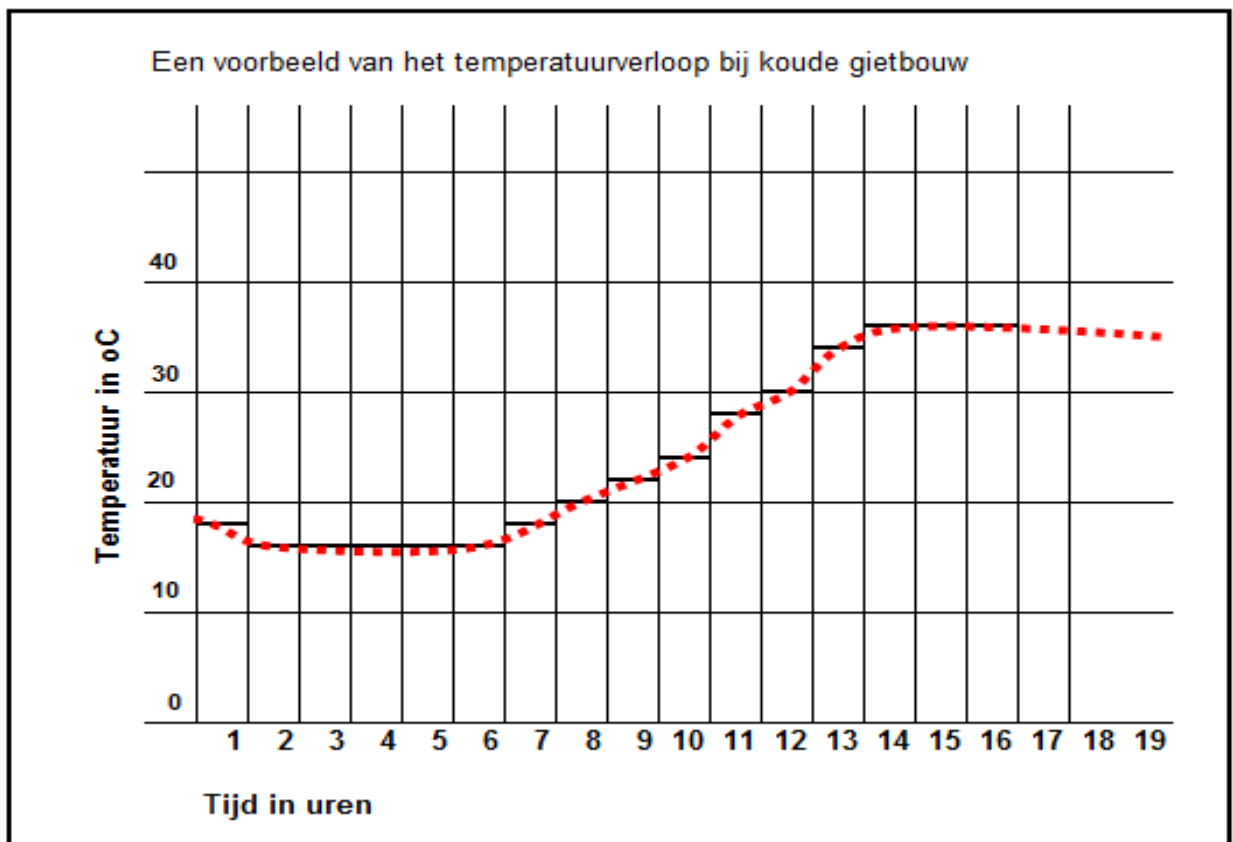
12 uur

16 uur



Bij koude gietbouw wordt ook gebruikgemaakt van de rijpheidcomputer. De rijpheidcomputer meet de temperatuursontwikkeling in de constructie en berekent de opgebouwde rijpheid. Er zijn geen gasbranders in de tunnel.

Hieronder een voorbeeld van het temperatuurverloop in een gestort bouwdeel.



3.4 Uitvoering

Alle hiervoor genoemde aspecten komen samen op het moment van uitvoering.

Tunnelgietbouw is een dagcyclus met veel partijen. Om dit proces te beheersen moeten alle betrokkenen samenwerken en informatie uitwisselen. Dit geldt voor koude gietbouw nog meer dan bij warme gietbouw.

Voor de dagelijkse voortgang en de veiligheid moet de ontkistingssterkte van het beton worden gerealiseerd. Daarbij moet rekening worden gehouden met seizoen- en weersinvloeden.

Afhankelijk van de weersomstandigheden wordt de samenstelling van betonmortel regelmatig aangepast.

In de uitvoering wordt de sterkteontwikkeling gevolgd en gecontroleerd. Hiervoor wordt de methode 'Gewogen rijpheid' gebruikt. Voor het instellen van de rijpheidcomputer wordt gebruik gemaakt van een ijkgrafiek die de betonmortelleverancier aanlevert. Elke betonsamenstelling heeft andere eigenschappen, daarbij hoort dus ook een andere ijkgrafiek. Dit betekent dat de instelling van de rijpheidcomputer moet worden aangepast bij wisseling van betonsamenstelling.

Voor toepassing van de methode Gewogen rijpheid wordt verwezen naar:

- NEN 5970
- Betoniek 6/20
- CB 5 Praktische Betonkennis

4. Procesbeheersing

Het doel van dit rapport zoals in de inleiding beschreven: **Om een verantwoorde keuze te kunnen maken dient verder te worden onderzocht wat de invloeden zijn van beide systemen.** Dit geldt ook voor de verwerking, de nabehandeling en de kwaliteit van de betonmortel.

Omdat invloeden van verwerking, nabehandeling en kwaliteit het gevolg zijn van eerder gemaakte keuzes worden de procesaspecten in volgorde behandeld:

- Constructieve keuze en berekening
- Bekisting

4.1 Constructieve keuze en berekening

Voor de optimalisatie van de berekening is informatie over de keuze tussen warme of koude gietbouw niet direct noodzakelijk. In kritische gevallen kan de constructeur er echter wel zijn voordeel meedoen.

In het constructief ontwerp dienen de constructieve uitgangspunten te worden vastgelegd.

- Betonsterkteklasse
- Milieuklasse(n). Voor het casco is dit veelal XC1

Bij warme (tunnel)gietbouw is de gangbare druksterkteklasse van beton C20/25. Bij koude gietbouw is de warmteontwikkeling in de betonmortel de basis voor het realiseren van de ontkistingsdruksterkte. Hoewel hiermee een extra prestatie wordt gevraagd van de verhardingstijd van betonmortel, is het zeker niet vanzelfsprekend dat de karakteristieke sterkte (op 28 dagen volgens controleproef) hoger wordt dan de vereiste sterkteklasse C20/25.

Een vooraf bepaalde sterkteklasse C28/35 of hoger kan gunstig zijn in de uitwerking van de constructie en bepaling van wapening; dit geldt met name voor slanke constructies. In veel gevallen zal de vereiste ontkistingssterkte bepalend zijn voor de betonsamenstelling. Door een hogere betonsterkte kan de constructie meer worden uitgenut. Constructieve ervaringsdeskundigheid in tunnelgietbouw is een pré.

1

Constructief is het instorten van voorzieningen en aanstorten van prefab balkons en dergelijke niet anders dan bij warme gietbouw. In het algemeen is het aanstorten van prefab elementen een onderdeel waaraan extra aandacht moet worden besteed.

Ontwikkelingen in woning- en appartementenbouw laten grotere beukbreedten, overspanningen, zien. Ook worden soms grote uitkragende balkons, zonder console of kolom, aan de vloerrand gekoppeld of moeten geveldragers het metselwerk van het buitenspouwblad dragen.

Ten aanzien van randbelastingen kunnen daarom aanvullende eisen worden gesteld.

Gerealiseerde projecten, uitgevoerd in koude gietbouw, laten zien dat de direct optredende vervorming ten opzichte van warme gietbouw, substantieel minder is. Nader onderzoek zou de oorzaak hiervan kunnen aantonen.



Voor aan te storten elementen, waarvan één nok zich in het veld bevindt, moet overwogen worden om de bekisting minder 'door te zetten'.

Zie ook 4.2: toog

4.2 Bekisting

Voor zowel warme als koude gietbouw dienen de eindwanden, kopschotten en randbekisting te worden voorzien van warmte isolerend materiaal. Bij koude gietbouw wordt van het isoleren van de binnenzijde van de tunnelbekisting een positief effect verwacht. Ervaringen zijn echter nog zeer beperkt en meetgegevens zijn niet bekend. Door mogelijke hinder door isolatiemateriaal en te verwachten overmatige corrosie, door het opsluiten van vocht, van de bekisting is dit –nog– niet toegepast. Het probleem van roestvorming is al wel bekend door toepassing van geïsoleerde eindwanden. Het goed sluiten van de koppen van de tunnelbekisting met behulp van geïsoleerde zeilen is noodzakelijk.

De bovenzijde van de gestorte vloervelden moeten worden geïsoleerd en beschermd tegen weer en wind. Hiervoor kunnen geïsoleerde kappen en/of geïsoleerde dekzeilen worden gebruik.



Afdekkappen worden opgelegd op de randen van de kimbekisting

Vooraf bij koude gietbouw moet aandacht besteed worden aan de afdichting ter plaatse van de randen van vloeren en wanden. Isolatielekken rond aan te storten onderdelen en kinnen moeten worden voorkomen.

Ten aanzien van de in te stellen toog in de tunnelbekisting dient vooral gekeken te worden naar de vervorming door de stortbelasting en aansluitend de direct optredende vervorming tijdens het ontlasten. De ervaring tot heden (naar aanleiding van recente projecten) is, dat voor koude gietbouw de vervorming, het zakken van het vloerveld na ontlasten, ten opzichte van de ingestelde toog minder is dan bij warme gietbouw.

2

De studiecél zou graag zien dat er praktijkonderzoek wordt gedaan naar het fenomeen toog in tunnelbekisting, rekeninghoudend met praktijksituaties. Hiermee kan inzicht worden verkregen in aan te houden toleranties welke dienen als basis voor detaillering.

In een meetprotocol zouden de rekenkundige benadering, praktische factoren voor het instellen van de toog en de controle + nastellen opgenomen moeten.

4.3 Betonmortel

De basisinformatie voor de betontechnoloog bij toepassing van gietbouw, is de vereiste druksterkte in relatie tot de ontlastingsdruksterkte en de beschikbare verhardingstijd. Bij het opstellen van de betonsamenstelling voor koude gietbouw wordt rekening gehouden met alle verhardingsomstandigheden zoals de isometrie en isolatiewaarden van de bekisting, de afmetingen van de te storten wanden en vloeren als ook de weersomstandigheden. Tevens zijn van invloed de tijd tussen productie van de betonmortel als het tijdstip waarop de mortel verwerkt is.

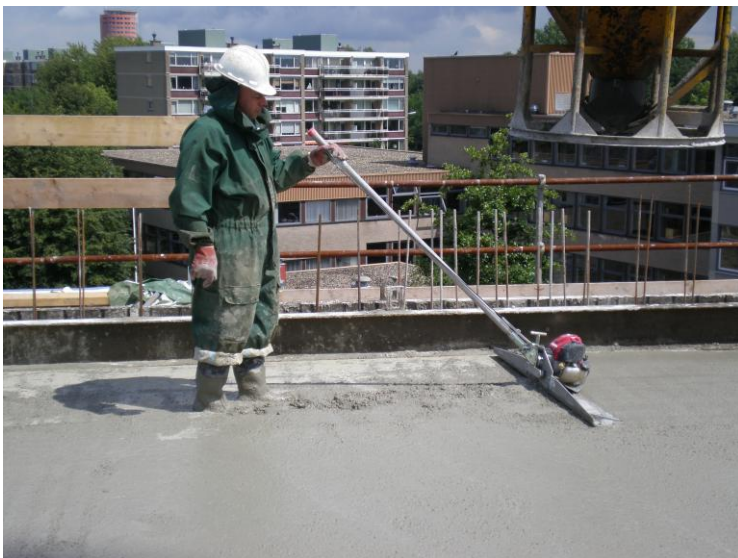
3

Bij koude gietbouw dienen partijen extra alert te zijn op (plotselinge) weersveranderingen tijdens de 24-uurscyclus. Weersveranderingen gedurende de looptijd van het project vragen ook aanpassing van de betonsamenstelling.

Afspraken ten aanzien van verantwoordelijkheden over het realiseren van de vereiste ontlastingssterkte dienen te worden vastgelegd.

4.4 Uitvoering

De gewenste verwerkbaarheid is in principe niet anders dan bij warme gietbouw. Bij hogere dagtemperaturen is de verwerkingstijd van de betonmortel voor warme gietbouw kritischer. Dit stelt eisen aan de momenten van afroep en aflevering. De logistiek in aanvoer en verwerking dient strak(ker) te worden gepland.



Verdichting van de vloerrand is noodzakelijk, zeker rond stekken en verankeringen

4

In het verhardingsproces van beton(mortel) is de (verhardings)krimp aantoonbaar minder dan bij warme gietbouw. Door het ontbreken van externe verwarming in koude gietbouw is het temperatuursverschil ΔT lager waardoor lineaire uitzetting en krimp kleiner zijn dan bij warme gietbouw. Ten aanzien van uitdrogingskrimp, die mogelijk in een stadium na het ontkisten optreedt, is er (te) weinig bekend. Nader onderzoek naar scheurvorming en uitdrogingskrimp wordt wenselijk geacht.

De eis t.a.v. nabehandelen van beton volgens NEN 6722:2002 art. 12.9.2, stelt dat beton blootgesteld aan milieuklasse XC1 minimaal een halve dag (12 uur) nabehandeld dient te worden.

Voor betonconstructies blootgesteld aan alle andere milieuklassen geldt dat nabehandeld moet worden tot een druksterkte in het oppervlak is bereikt van min. 50% van de voorgeschreven betondruksterkte (na 28 dagen). Bij toepassing van beton met een sterkteklasse C20/25 of C28/35 wordt hieraan in grote mate voldaan, mits afdekkappen of isolatiezeilen worden toegepast. Zie hiervoor ook CUR Aanbeveling 31, Nabehandeling en bescherming van beton.

Door de constructeur te bepalen minimale ontkistingssterkte in verhouding tot minimale nabehandeling:

Minimum ontkistingssterkte	($\geq 14 \text{ N/mm}^2$)
Minimum nabehandeling (NEN 6722)	50% van 25 = $12\frac{1}{2} \text{ N/mm}^2$
50% van 35 = $17\frac{1}{2} \text{ N/mm}^2$	

Bij koude gietbouw dient de door de betonmortel ontwikkelde warmte zoveel mogelijk in de constructie vastgehouden te worden. Goed sluitende kopzeilen zijn een voorwaarde om de ontkistingssterkte binnen de gewenste tijd te realiseren. Ook de isolatie en afdekking van aan de bovenzijde vraagt extra aandacht. Bij het isoleren van de bovenzijde van de vloer zijn de ervaringen ten aanzien van geïsoleerde dekzeilen of geïsoleerde kappen niet overal gelijk.

Geïsoleerde dekzeilen hebben als nadeel dat er ongewenst indrukken van de rol in de pas gestorte vloer kunnen achterblijven.



Fout

Stekken ter plaatse van de kim en/of bouwmuur verstoren de aansluiting van afdekzeilen of afdekkappen



Goed

Zowel bij warme als bij koude gietbouw dient de afdekking ook over de stekken te worden aangebracht

4.4.1 Voor en nadelen van afdekkappen en afdekzeilen:

Afdekkappen

voordelen:

- + maatvast, snel te leggen na het storten
- + geen afdrukken in de vers gestorte beton, kap ligt vrij
- + ligt vast op de kim
- + kan niet wegwaaien

nadelen:

- kosten op kleinschalige projecten zijn (te) hoog
- ombouwen naar andere maat is duur/ soms onmogelijk
- nemen veel (bouwplaats) ruimte in door tussentijdse opslag
- extra kraanhandeling(en) ten opzichte van zeilen
- indien geen kimmten worden gebruikt moeilijk te plaatsen/combineren met stekken.
- Vraagt veel zorg bij het aanbrengen
- bij veel wind moeilijk of niet aan te brengen
- als de 'flappen' niet goed aansluiten is er kans op een 'schoorsteeneffect' waardoor het oppervlak van het beton uitdroogt en er scheuren kunnen ontstaan aan de bovenzijde van de vloer

Afdekzeilen:

voordelen:

- + flexibel in gebruik, door overlap te combineren in diverse beukmaten
- + geen kraan benodigd voor plaatsen en verwijderen
- + geen opslagruimte benodigd, zeil blijft boven op de tunnel
- + lage kosten op kleinschalige projecten
- + zeil ligt "koud" op het beton waardoor minder warmteverlies

nadelen:

- gevoeligheid voor afdrukken
- gevoelig voor wegwaaien bij onvoldoende verankering (hoogbouw!!)
- beperkt bruikbaar (afschrijving over enkele projecten)
- financieel vaak (?) niet interessant.

4.5 Veiligheid, arbo en milieu

Onder deze kop zijn de volgende verschillen en overeenkomsten te noemen:

- Het bouwen zonder gebruik te maken van een gasinstallatie sluit een risico uit voor de bebouwde omgeving en de bouwplaats medewerkers. Dit komt de veiligheid dus ten goede.
- Bij koude gietbouw vervallen handelingen als het verplaatsen van de gastank, het aansluiten van de slangen en het aansteken van de installatie. Dit leidt tot minder fysieke belasting van de medewerkers in de tunnelploeg.

Het verwerken van de betonmortel is nauwelijks verschillend tussen warme of koude gietbouw. Het niet verbranden van fossiele brandstoffen is positief voor het milieu. Daar tegenover staat een aangepaste betonsamenstellingen opzichte van traditionele gietbouw. Of er een relevant

milieuvoordeel (CO₂ uitstoot) in de volledige bouwcyclus van koude boven warme gietbouw zal zijn is door deze studiecél niet te bepalen en beoordelen.

4.6 Prijs van betonmortel

De inkoopprijs van betonmortel voor koude gietbouw is hoger, mede afhankelijk van de weersomstandigheden. Andere aspecten worden verschillend gewaardeerd. Zie ook tabel 6.2

Naast prijs dient ook het aspect duurzaamheid betrokken te worden in de overweging. De gewenste druksterkte ontwikkeling is gebaseerd op de cementshoeveelheid in kg, cementsoort CEM I, portlandcement en CEM III, hoogovencement, en het klinkergehalte in CEM III die gebruikt worden in de betonmortel. Deze cementkeuzes zijn van invloed op CO₂ uitstoot.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1 Aanbevelingen

Studiecél C 08 zou graag zien dat:

1. Er nader onderzoek wordt gedaan naar de effecten van de verhinderde direct optredende vervorming bij koude gietbouw;
2. Er praktijkonderzoek wordt gedaan naar het fenomeen toeg in tunnelbekisting, waarbij ook gekeken naar krimp en kruip;
3. Indien de betonmortelleverancier voor koude gietbouw een ontkistingssterkte na een bepaalde tijd garandeert er hiervoor randvoorwaarden en een procedure moet worden vastgelegd;
4. Er onderzoek naar uitzetting en krimp wordt uitgevoerd.

5.2 Conclusies

1. Koude gietbouw is een volwaardig alternatief voor warme gietbouw;
2. De communicatie tussen alle betrokken partijen, in calculatie, werkvoorbereiding en tijdens de uitvoering, vraagt extra aandacht;
3. Als de keuze voor koude gietbouw vroegtijdig bij de constructeur wordt aangegeven, zijn er mogelijkheden om de afstemming beton en wapening beter uit te nutten;

6.1 Bijlagen

Onderdeel	Warme gietbouw	Koude gietbouw	Betrokken partijen
Constructie	Mogelijke optimalisatie wapening bij hogere betondruksterkte	Mogelijke optimalisatie wapening bij hogere betondruksterkte	A – B – C
Berekening	Bepaling ontkistingsdruksterkte	Bepaling ontkistingsdruksterkte	A – B – C
	Aanvullende eisen, maatregelen in verband met aan te storten prefab elementen	Aanvullende eisen, maatregelen in verband met aan te storten prefab elementen	A – C
Bekisting	Isoleren van eindwanden, kopschotten en randbekisting	Extra isoleren van eindwanden, kopschotten en randbekisting	A – T
		Isoleren van de binnenzijde van de tunnelbekisting	A – T
	Zeilen voor afsluiting van de tunnelbekisting	Zeilen voor afsluiting van de tunnelbekisting	A – T
	Isoleren van de bovenzijde van de vloervelden met: -afdekkappen of geïsoleerde dekzeilen	Isoleren van de bovenzijde van de vloervelden met: - afdekkappen of geïsoleerde dekzeilen	A – T
	Afsluiten en/of isoleren rond aan te storten onderdelen	Afsluiten en/of isoleren rond aan te storten onderdelen	A – T
	Bepaling toog in de bekisting	Bepaling toog in de bekisting	A – B – C – T
Betonmortel	Vaststellen van sterkteklasse en milieuklasse(n)	Vaststellen van sterkteklasse en milieuklasse(n)	A – B – C – T
	Bepalen betonmortelsamenstelling en ijklijn ten behoeve van rijpheidcomputer	Bepaling betonmortelsamenstelling per weefase + ijklijn	B
	Verantwoordelijkheid en beslissing ontkisten	Verantwoordelijkheid en beslissing ontkisten	A
		Dagelijks terugkoppeling info rijpheidscomputer	A – B
	Bepaling gewenste consistentieklasse	Bepaling gewenste consistentieklasse	A – T
Uitvoering	Wijze van betonmorteltransport naar en op de bouwplaats	Wijze van betonmorteltransport naar en op de bouwplaats	A – T
	Controle op afspraken en randvoorwaarden	Controle op afspraken en randvoorwaarden	A
		Direct melden van afwijkingen in de voortgang waardoor niet wordt voldaan aan overeengekomen verhardingstijd en/of isolatiemaatregelen	A – B

Aandachtspunten en betrokken partijen

- A Aannemer, onderaannemer
- B Betonmortelleverancier
- C Constructeur
- T Tunnelbekistingsleverancier, materieeldienst

6.2 Integrale kosten beoordeling Koude gietbouw t.o.v. Warme gietbouw

Onderdeel	Warme gietbouw	Koude gietbouw	Kostenindicatie *)
Constructie, berekening	Bij berekening op basis van hogere sterkteklasse mogelijk voordeel t.a.v. wapening	Bij berekening op basis van hogere sterkteklasse mogelijk voordeel ten aanzien van wapening	-
Bekisting		Minder vervorming door lagere temperatuur. Minder slijtage, langere levensduur (?) Minder toeg per overspanning	- -/+
Betonmortel		Complexer en kritischer mengsels Hogere prijs per m ³ Betonmortel aanpassen aan weerfase	+ +
Uitvoering		Geen propaangasinstallatie Besparing huur installatie, gas en handling Gladder, strakker oppervlak Minder beschadigingen aan de randen van wanden en trapgatsparingen Minder wandafwerking Minder kans op uitdrogingskrimp?	- - -/+

*)

- = lagere kosten

+ = hogere kosten

7. Literatuurlijst:

- | | | | |
|---|--|--|----------------------------|
| - | Handboek Uitvoering Betonwerken | Stubeco | 2005 |
| - | CUR-Aanbeveling 31 | CUR | 1993 |
| - | Betoniek 6/20 - Gewogen rijpheid
7/8, 8/21, 8/25,10/22 (Uitdrogings)krimp | VNC/Aeneas
VNC?Aeneas | 1984
diverse jaargangen |
| - | NEN 5970 | NEN | |
| - | NEN 6722:2002 | NEN | |
| - | NEN EN 13670 | NEN | *) |
| - | Lexicon | www.betonvereniging.nl | / Lexicon **) |

*) Tijdens het werk van deze studiecél is de norm van kracht geworden. De inhoud van dit rapport is niet afgestemd op deze norm.

**) Woordenlijst voor beton(technologische) begrippen, met toelichting en verwijzingen