

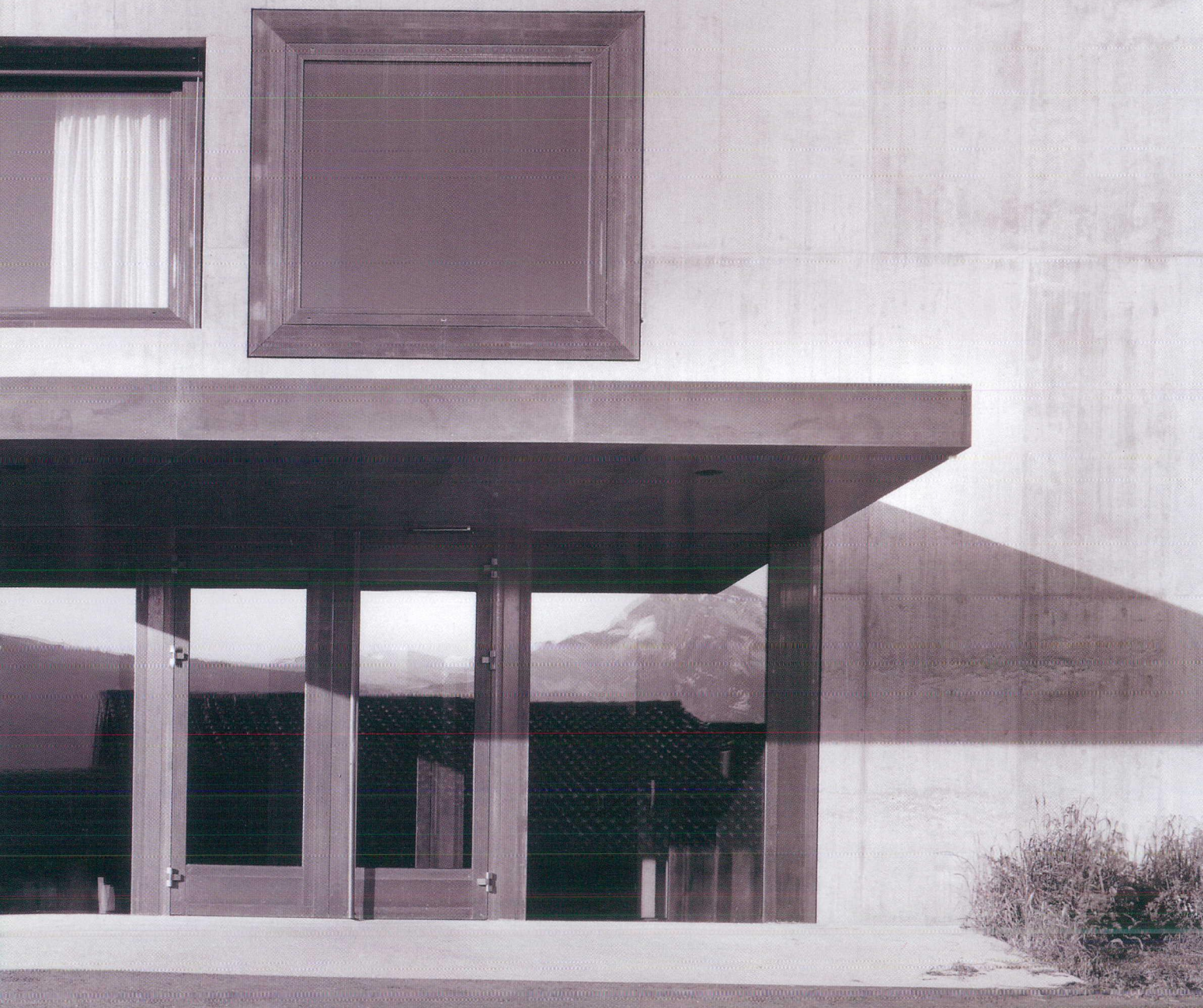
HET UITERLIJK VAN BETON

Het inwendige van beton zit verborgen achter een aan elkaar gekitte huid van cementdeeltjes. Deze huid verhuult de inwendige spanningen die het beton doen dragen en overspannen, en beschermt het tegen milieu-invloeden. Zij vormt het draagvlak van ontelbare functies en bakent ruimte af. Zij omhult zowel monolithische massa's als slanke, sierlijke en gedurfde vormen. Zij zorgt voor de constructieve en de plastische expressie. Zij reveleert het spel van kleur en licht en verleent het beton zijn decoratieve verfijning...

Verskillende ontwerpers hanteren het zichtbare beton als middel bij uitstek om hun ontwerpen te materialiseren. Het zichtbare beton vraagt echter specifieke kennis. Recente Belgische projecten tonen aan dat die kennis onvoldoende aanwezig is.

Dit bulletin heeft tot doel deze lacune op te vullen.

In dit artikel wordt alleen het zichtbaar gelaten stortklaar beton behandeld. Het accent ligt voornamelijk op het gladde grijze beton dat onbewerkt blijft. Eerst wordt algemene informatie verstrekt over de randzone en het oppervlak. Vervolgens worden verschillende eisen ten aanzien van de samenstelling, de bekisting, de verwerking, enz. geformuleerd. Het belangrijke aspect "gevelvervuiling" is niet behandeld. Hiervoor verwijzen we naar de literatuur^{1,2}.



ALGEMEEN

Randzone (oppervlaktezone, betonhuid) van beton

Het Duitse Beton-Verein³ definieert de randzone als de laag tussen de *oppervlakte* en de kern van het beton. Deze laag heeft een dikte die ongeveer gelijk is aan de helft van de maximale korreldiameter (fig. 1).

De eigenschappen van de randzone zijn verschillend van die van de kern. Verscheidene oorzaken liggen aan de grondslag hiervan. De belangrijkste is het wandeffect tegen de bekisting (fig. 3). Dit effect duidt op de minder dichte pakking van de granulaten in de nabijheid van een wand. Het wijst eveneens op de steeds fijner wordende bestanddelen van de mortel in de ruimte tussen de grove granulaten en de bekisting tot er in het oppervlak enkel de allerfijnste delen (voornamelijk cement) overblijven.

Stel dat het beton gesneden wordt in dunne schijfjes evenwijdig met het oppervlak. Indien van elk schijfje de samenstelling bepaald wordt, blijkt dat, naarmate de schijfjes dichter bij het oppervlak liggen, (fig. 4)⁴:

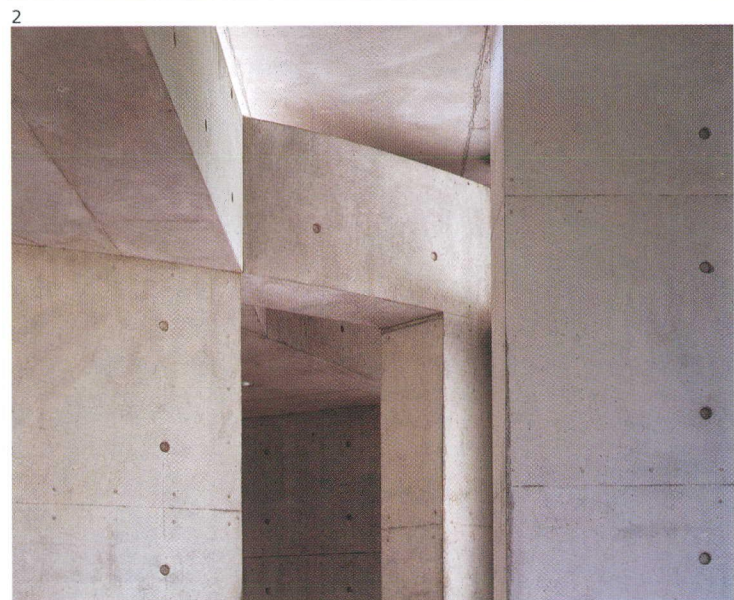
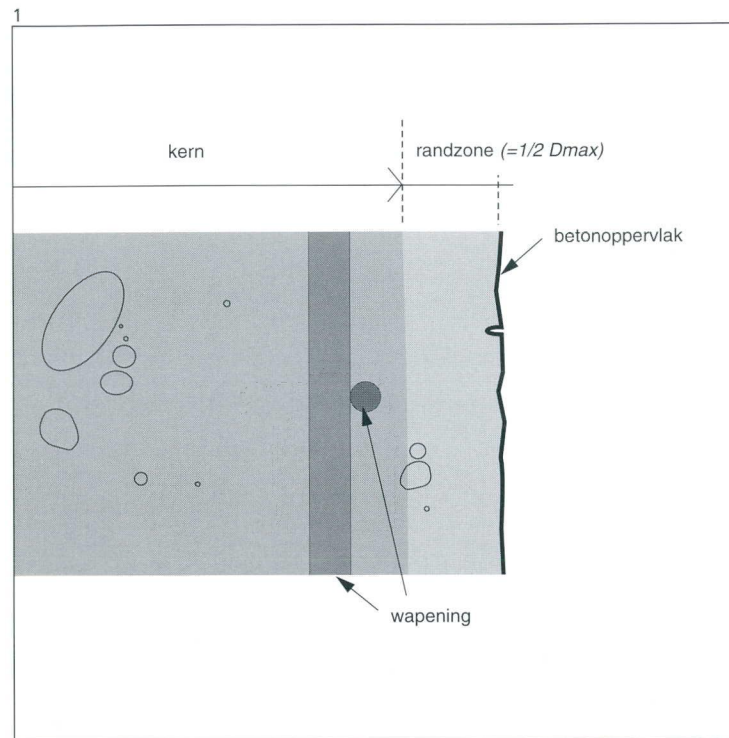
- het volume aan granulaten vermindert;
- het volume aan cementpasta (cement + water) vermeerderd;
- het volume aan 'fijne bestanddelen' toeneemt;
- de water-cementfactor (verhouding van water- tot cementgehalte) stijgt (op voorwaarde dat de contactbekisting geen aanmaakwater absorbeert) (fig. 3).

Bij ontmenging zullen de verschillen tussen randzone en kern nog toenemen. Dit fenomeen doet zich voor in de specie wanneer de korrelopbouw niet optimaal is en daardoor onvoldoende samenhang (cohesie) vertoont. Ontmenging kan ook het gevolg zijn van foutief storten en trillen (zie verder). Als de samenhang verdwijnt zullen de vaste delen zich onder invloed van de zwaartekracht naar beneden bewegen en verplaatsen water en fijne deeltjes zich naar boven. Eventueel vormt zich een waterlaagje op het oppervlak (bleeding). Onder invloed van de horizontale betonspeciedruk zal een horizontale beweging ontstaan: de druk perst de fijnere delen en het water naar de contactbekisting.

Ook de nabehandeling speelt een rol. Indien de randzone na ontlasting niet beschermd wordt tegen uitdroging bestaat het gevaar dat er onvoldoende water overblijft om te reageren met het cement. Door het vroegtijdig stoppen van de reactie zal de randzone poreuzer en dus minder duurzaam worden dan de kern.

Bovendien spelen zich tijdens de verhardingsfase specifieke fenomenen af in de randzone. Door het hogere cementgehalte zal de hydratatie aldaar gepaard gaan met meer warmteontwikkeling en meer chemische en plastische krimp dan in de kern. Een te hoge temperatuur- en vochtgradiënt kunnen aanleiding geven tot scheurvorming.

Het feit dat de samenstelling en dus ook de eigenschappen van de randzone verschillen van die van de kern is een fysisch gegeven. Verder zal de kwaliteit van de randzone afhangen van de samenhang van het mengsel en de verschillende verwerkingsfazen. Zij zullen de uiteindelijke permeabiliteit en dus ook de duurzaamheid van het beton bepalen (zie kader 'Permeabiliteit').



1.
Kern, randzone en oppervlak.

2.
Binnenzicht van conferentiepaviljoen te Weil-am-Rhein van Tadao Ando.

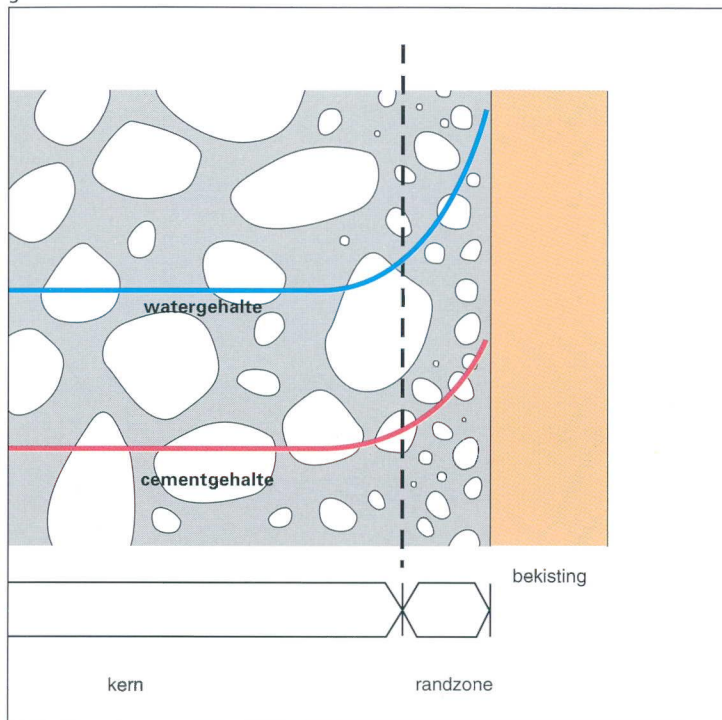
3.
Wandeffect.

4.
Betonsamenstelling in buitenste 5 mm. Gemiddelde van
3 betonsoorten: W/C = 0,5, 0,45 en 0,4.
Volgens prof. Kreijger⁴.

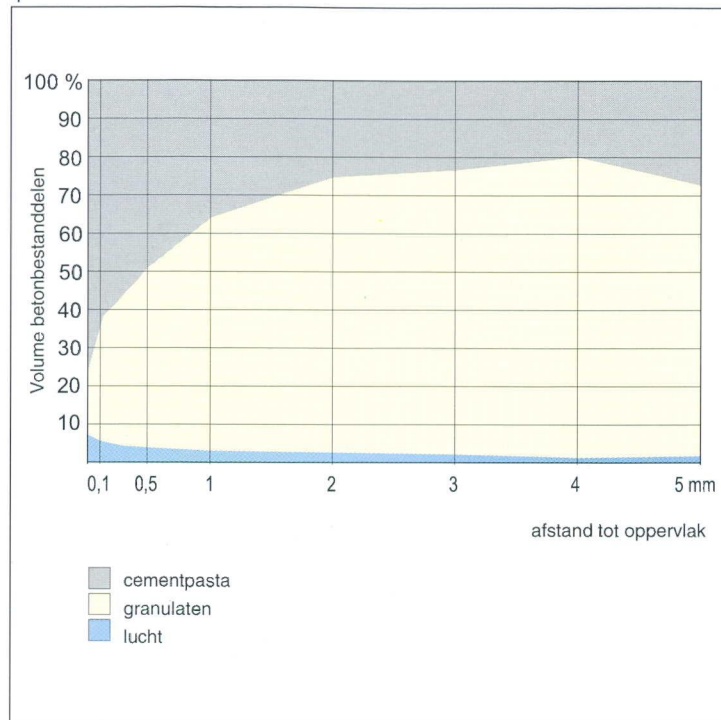
5.
Relatie tussen permeabiliteit en duurzaamheid (bestandheid tegen
agressieve stoffen, vorst, vervuiling, enz.).

6.
Vochtuitwisselingsgebied beperkt zich tot ± 2 cm.

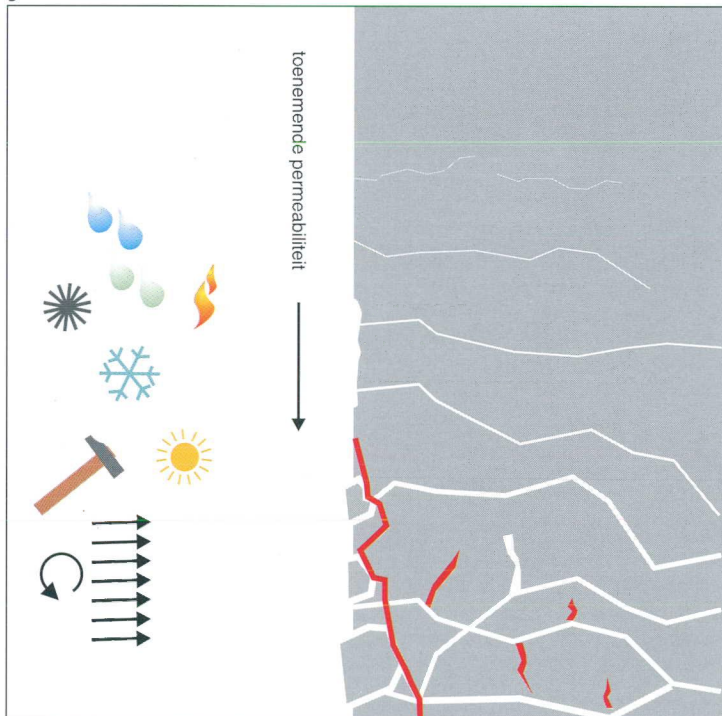
3



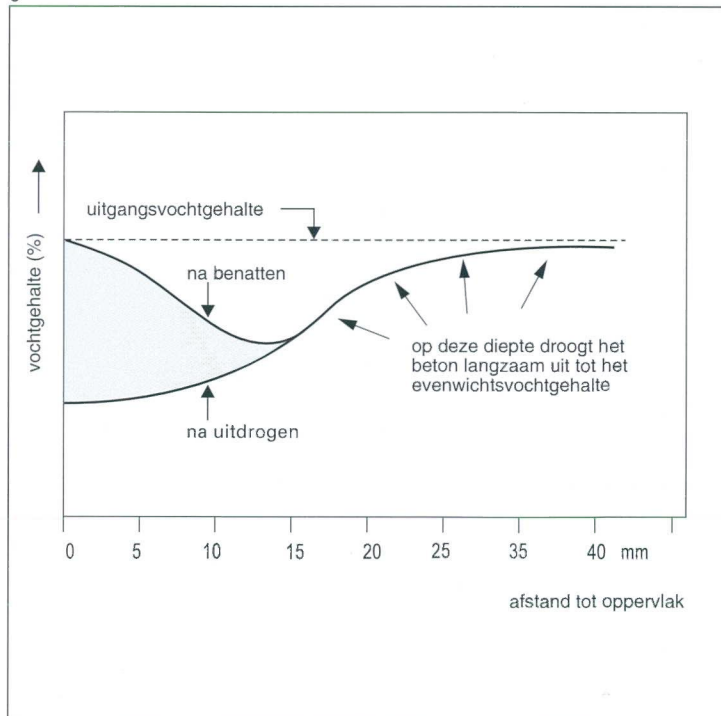
4



5



6



PERMEABILITEIT

Het gemak waarmee 'fluïda' kunnen binnendringen en bewegen door het poriënnetwerk van een materiaal, wordt algemeen aangeduid door de term 'permeabiliteit'. Het poriënsysteem van beton bestaat uit een netwerk van fijne tot uiterst fijne poriën. Hoe fijner de poriën, hoe moeilijker allerlei agressieve stoffen het beton kunnen penetreren en aantasten. Hoe nauwer de poriën, hoe duurzamer het materiaal dus. Vermits de penetratie gebeurt via de cement- en de betonhuid, is hun permeabiliteit bepalend voor de duurzaamheid van het beton (fig. 5). Het feit dat in een weinig permeabel, compact beton het vochttransport (drogen en benatten) hoofdzakelijk plaatsvindt in de buitenste 2 cm bewijst het belang van de randzone (fig. 6) ¹⁸.

Tussen de gemiddelde poriëndiameter en de water-cementfactor (de massaverhouding tussen de hoeveelheid water en cement) bestaat een verband. Een lagere factor heeft namelijk een kleinere diameter tot gevolg, en dus een geringere permeabiliteit en een hogere duurzaamheid. De norm schrijft daarom voor dat de water-cementfactor lager moet zijn naarmate de omgeving agressiever is voor het materiaal. Derhalve zijn in de norm NBN B15-001 verschillende type-omgevingen (milieuklassen) omschreven en voor elke klasse duurzaamheidseisen (met een maximale water-cementfactor). Zie verder kader 'Zichtbeton wordt als volgt omschreven'.

Door het wandeffect zal de water-cementfactor in de randzone altijd hoger zijn dan in de kern. Om te vermijden dat lokaal de factor nog hoger is, moet de verwerking en de nabehandeling met de grootste zorg gebeuren.

Oppervlakte (huid, cementshuid) van beton

Betonoppervlak is rijk aan cement

De kwaliteit van het oppervlak wordt bepaald door dezelfde parameters als die van de randzone. Wat echter het oppervlak specifiek maakt, is het hoge cementgehalte. Als voorbeeld verwijzen we naar figuur 4, waaruit blijkt dat de huid van drie betonsoorten samengesteld is uit gemiddeld 72 % (± 10 %) (v/v) cementsteen en 23 % (± 10 %) (v/v) ultrafijne deeltjes!

Kleur (grijstint)

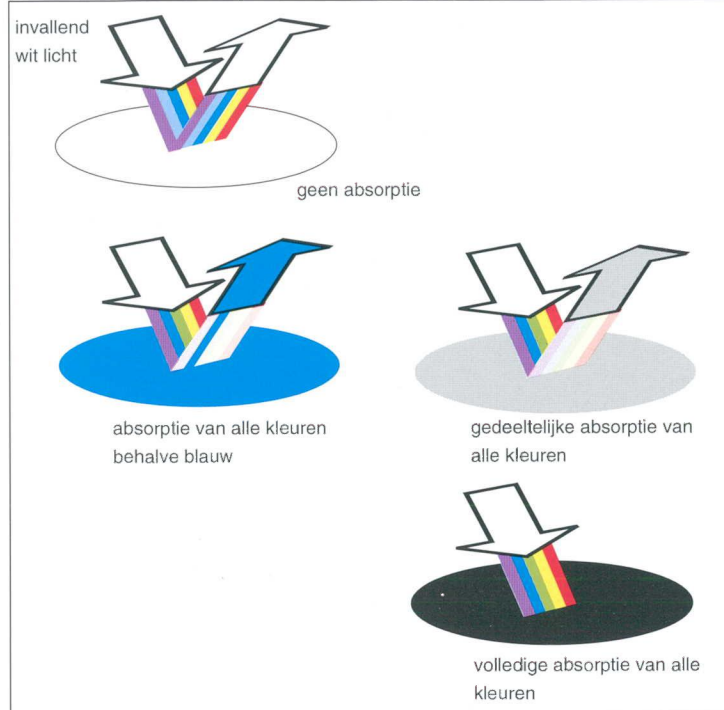
Het cement is een belangrijke kleurbepaler van het betonoppervlak. Wat is echter kleur? Licht dat op een oppervlak valt, is 'wit licht'. Als het oppervlak bestanddelen van het opvallende licht absorbeert, ontbreken bepaalde golflengten in het gereflecteerde licht. Dit gereflecteerde licht wordt dan als gekleurd waargenomen (fig. 7). Zo zal bijvoorbeeld het oppervlak rood kleuren indien het alle stralen uit het licht spectrum absorbeert op die met een golflengte tussen 660 en 760 millimicron na.

Een speciale situatie ontstaat wanneer alle stralen volledig worden weerkaatst of geabsorbeerd. In het eerste geval kleurt het oppervlak wit, in het tweede zwart. Wanneer per golflengte naar verhouding eenzelfde fractie van het invallende licht wordt geabsorbeerd, ontstaat een grijstint. De grootte van die fractie hangt af van de aard van het absorberend materiaal en de textuur van het oppervlak. Naarmate de aard en de textuur variëren, zal de grijstintvariatie toenemen. Zie kader 'Grijstint van het betonoppervlak' voor meer informatie.

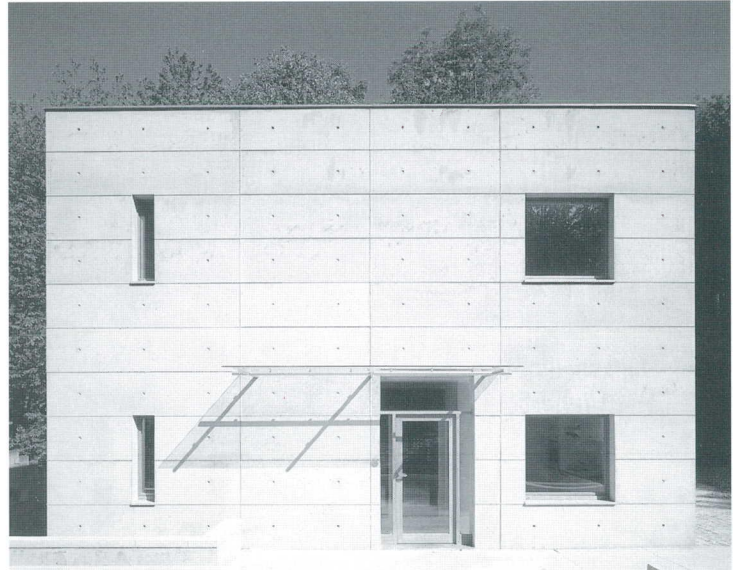
Textuur

De aard van de contactbekisting en de eventuele bewerking van het oppervlak bepalen de textuur. Het bewerken van het oppervlak wordt hier buiten beschouwing gelaten^{6, 7, 8}. Het meeste in het zicht gelaten beton heeft een glad oppervlak met eventueel een aftekening van de naden, de voegen en de centerpengaten. Een specifieke oppervlaktetextuur kan bekomen worden door een structuurmat te bevestigen op de contactbekisting (fig. 9).

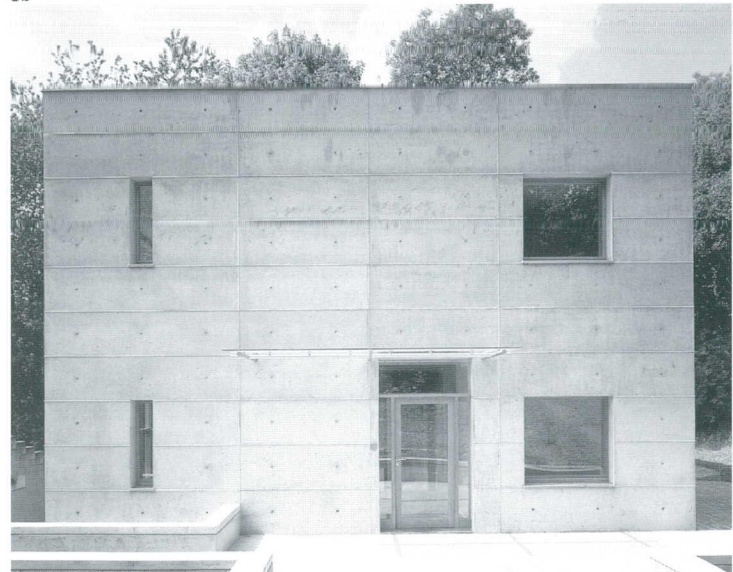
7



8a



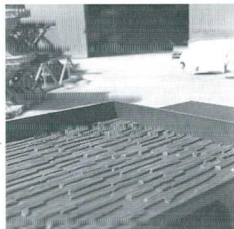
8b



9a



9b



9c



7.

Licht en kleur.

8a, 8b.

Gevel van Wuidarhuis (architect Charles Vandenhove).

Invloed van bezonning op grijstint.

9a, 9b, 9c.

Voorbeeld van structuurmat.

	lichter	donkerder
portlandcement.....:	weinig ijzeroxyde	veel ijzeroxyde
hoogovencement.....:	veel slakken	weinig slakken
W/C-factor.....:	hoog	laag
bekistingsmateriaal.....:	weinig absorberend	sterk absorberend
bekistingsoppervlak.....:	glad	ruw
bekistingstijd.....:	kort	lang
kalkuitslag.....:	veel	weinig
leeftijd.....:	jong	oud

10.

Invloed van enkele parameters op de grijs tint.

11.

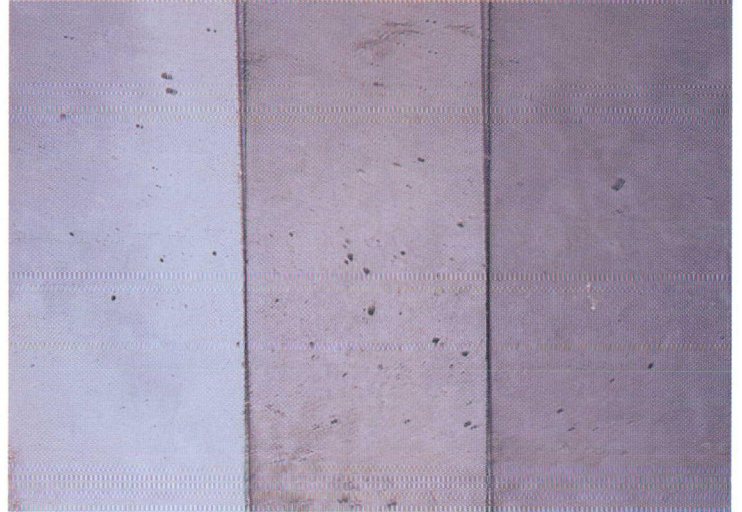
Invloed van enkele cementsoorten op de grijs tint:

Links: CEM III/C (81 tot 95 % hoogovenslakken).

Midden: CEM III/A (36 tot 65 % hoogovenslakken).

Rechts: CEM I (95 tot 100 % klinker).

11



GRIJS TINT VAN HET BETONOPPERVLAK

De grijs tint en haar variatie op het oppervlak hangen af van de volgende factoren (fig. 10):

(1) Aard van de bestanddelen.

– niet-gehydrateerd cement (fig. 11).

Portlandcement is donkerder naarmate het meer ijzeroxide bevat; hoogovencement wordt lichter naarmate het meer slakken bevat.

– gehydrateerd cement.

Cement wordt lichter in gehydrateerde vorm. Dit impliceert dat de hydratatiegraad en haar evolutie de grijs tint beïnvloeden. Soms vertoont het oppervlak na ontkisting een lichtgroenblauwe kleur. Deze kleur is het gevolg van het gebruik van hoogovencement, meer bepaald van de hierin aanwezige ijzer- en mangaansulfide. Door het contact met de lucht oxyderen de sulfiden en worden na een tijd kleurloos.

– andere zeer fijne delen.

Het gaat om de fijnste fractie van het zand en de toevoegsels met elk hun specifieke grijs tint. (Pigmenten worden hier buiten beschouwing gelaten.)

– kalkuitslag (calciumcarbonaat)^{19, 10}.

Tijdens de hydratatie komt portlandiet Ca(OH)_2 vrij. Een gedeelte van deze 'vrije kalk' komt terecht in het poriewater.

Aan het vochtfront (waar water en lucht elkaar ontmoeten) komt de kalk in contact met opgelost koolzuurgas (CO_2) uit de lucht en reageert tot calciumcarbonaat (CaCO_3) dat neerslaat. Zolang deze neerslag zich in de poriën afzet, wordt geen witte uitslag zichtbaar. Indien de vrije kalk met het poriewater naar het oppervlak migreert en zich na reactie daar afzet, ontstaat een witte sluier.

(2) Variatie in de samenstelling van het betonoppervlak.

Vermits elk bestanddeel een specifieke grijs tint bezit, zal elke wijziging van de betonsamenstelling in het oppervlak gepaard gaan met een verandering van de grijs tint. Bijgevolg moet de samenstelling zo veel mogelijk constant gehouden worden en elke ontmenging tijdens de verwerking vermeden. De samenhang van de specie mag niet verstoord worden door een onzorgvuldig storten of trillen.

(3) Variatie in de dichtheid van het betonoppervlak.

Variatie in de dichtheid is het gevolg van een variatie in de samenstelling en meer bepaald van een wisselende water-cementfactor. Waar de factor hoog is, bevat het poriënnetwerk meer brede poriën. Het betonoppervlak is daar dus minder dicht. Door de hogere permeabiliteit treedt er meer kalk naar buiten en kleurt het oppervlak lichter. Waar de water-cementfactor laag is, is het beton dichter en het oppervlak donkerder door de beperkte (of onbestaande) kalkuittreding. Dus enkel bij een gelijkmatig verspreide kalkstroom en -afzetting (dus bij een constante water-cementfactor en dichtheid) zal het oppervlak op een egale wijze lichter van kleur worden.

Pas op voor plaatselijk contact van het pas gestorte en het pas ontkiste beton met regen (infiltratie tussen bekisting en specie, plassen, enz.). De kalk zal vooral daar naar buitentreden tot verzadiging van het water bereikt is en neerslaan.

(4) Variatie in het absorptievermogen van de contactbekisting.

Waar de contactbekisting aanmaakwater opslorpt, is de water-cementfactor lager en het oppervlak dus donkerder. Zie verder het deel over 'te stellen eisen aan de bekisting'.

(5) Variatie in de oppervlakteruwheid.

Een ruwer oppervlak oogt meestal donkerder. Een deel van het opgevangen licht blijft als het ware gevangen in de dieper gelegen zones zodat er minder licht weerkaatst. Vaak is er een verband met de korrelgrootte. Het oppervlak van een grote korrel is dikwijls ruwer dan dat van een kleine en kleurt daarom donkerder.

Om die reden is er ook een verband met de samenstelling. Naarmate die meer varieert, ontstaan er zones met grotere korrels naast kleinere met meer grijs tint-variantie tot gevolg.

(6) Aantal, grootte en vorm van kleine holten en putjes.

Elk putje, elke holte is een donkere vlek op het oppervlak. Hun aanwezigheid is niet te vermijden. Het is wel mogelijk hun aantal en hun grootte te beperken.

(7) Evolutie in de tijd.

De waarneming van de grijs tint zal variëren in de tijd. Immers de lichtinval verandert, het hydratatieproces loopt verder, er is meer of minder witte uitslag, het oppervlak zal wisselend droog of nat worden, het gereflecteerde licht wijzigt door lichte erosie van het oppervlak en stofdeeltjes zetten zich vast.

ZICHTBETON WORDT ALS VOLGT VOORGESCHREVEN:																						
Basisgegevens A:	kies de sterkteklasse: meestal C25/30 of C30/37 (indien beton in contact met buiten)																					
Basisgegevens B1:	kies het gebruiksdomein: geef aan of het beton ongewapend, gewapend of voorgespannen is																					
Basisgegevens B2:	kies de milieuklasse: 1 (binnen) of 2a (vochtig milieu zonder vorst) of 2b (vochtig milieu met vorst) of 3 (vochtig milieu met sterke blootstelling aan water, vorst en dooizouten) of 3S (vochtig milieu met matige blootstelling aan water, vorst en dooizouten) of 4a (zeewatermilieu zonder vorst) of 4b (zeewatermilieu met vorst) (of 5a, 5b, 5c - zwak, matig, sterk agressief milieu).																					
Basisgegevens C:	kies de consistentieklasse: meestal F3 (maar te bepalen in overleg met de aannemer naargelang de complexiteit van het element, de dichtheid van de wapening, de stortmethode, de verdichtingsmethode, enz.)																					
Basisgegevens D:	kies de nominale maximum korrelgrootte (Dmax): uit de reeks 7, 10, 14, 20, 28, 32, 40 mm en rekening houdend met de volgende voorwaarden (strenger dan in NBN B15-001) : Dmax ≤ 0,2 x de kleinste afmeting van het te storten bouwelement, ≤ tussenafstand van de wapeningsstaven, ≤ de minimum betondekking. Zij wordt bepaald naargelang de milieuklasse en vermeerderd met een tolerantie Δh : 5 mm < Δh < 10 mm. <table><tr><td>milieuklasse</td><td>1</td><td>2a</td><td>2b</td><td>3 en 3S</td><td>4a</td><td>4b</td></tr><tr><td>minimum betondekking voor gewapend beton (mm)*</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr><tr><td>voorgespannen beton*</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td></tr></table> * waarden van betondekking gelden enkel voor ter plaatse gestort beton, niet voor prefab beton	milieuklasse	1	2a	2b	3 en 3S	4a	4b	minimum betondekking voor gewapend beton (mm)*	15	20	25	40	40	40	voorgespannen beton*	25	30	35	50	50	50
milieuklasse	1	2a	2b	3 en 3S	4a	4b																
minimum betondekking voor gewapend beton (mm)*	15	20	25	40	40	40																
voorgespannen beton*	25	30	35	50	50	50																
Aanvullende gegevens E :	- Gehalte, eigenschappen (en herkomst) van de verschillende bestanddelen blijven constant. - Maximale W/C-factor: 0,5 - Minimaal cementgehalte: 320 kg/m³ - De granulaten zijn zuiver, niet-ijzerhoudend en bevatten geen organische bestanddelen. - Gehalte aan chloor-ionen < 0,4 % van cementmassa (geen chloorhoudende hulpstoffen) - Korrelverdeling: continu - Gehalte aan fijne deeltjes (≤ 0,250 mm; inclusief fijn zand, cement, toevoegsels, enz.) naargelang de maximale korreldiameter: <table><tr><td>Maximale korreldiameter (mm)</td><td>Aanbevolen gehalte aan fijne deeltjes (≤ 0,250 mm) in kg/m³</td></tr><tr><td>7</td><td>525</td></tr><tr><td>14</td><td>450</td></tr><tr><td>20</td><td>425</td></tr><tr><td>28</td><td>400</td></tr><tr><td>32</td><td>400</td></tr></table>	Maximale korreldiameter (mm)	Aanbevolen gehalte aan fijne deeltjes (≤ 0,250 mm) in kg/m ³	7	525	14	450	20	425	28	400	32	400									
Maximale korreldiameter (mm)	Aanbevolen gehalte aan fijne deeltjes (≤ 0,250 mm) in kg/m ³																					
7	525																					
14	450																					
20	425																					
28	400																					
32	400																					

EISEN TEN AANZIEN VAN DE SAMENSTELLING, HET AANMAKEN EN HET TRANSPORT

Een specie met te weinig of te veel samenhang is te mijden. In het ene geval is er gevaar voor ontmenging, in het andere voor een moeilijke verwerking. Ideaal is een krimparm beton met een lage water-cementfactor, een continue granulometrie en een voldoende hoog mortelgehalte met genoeg fijne deeltjes.

De norm NBN B15-001 laat de gebruiker toe de gewenste prestaties van het beton of een beton met *gespecificeerde eigenschappen* voor te schrijven. Meer informatie vindt men in bulletin nr. 19 ⁹. De gebruiker geeft 5 basisgegevens op en aanvullende gegevens. Zie kader op vorige bladzijde voor het voorschrijven van zichtbeton dat drager is van het BENOR-merk.

Plastificeerders en superplastificeerders moeten op voorhand beproefd worden om na te gaan of ze geen kleurverschillen veroorzaken. Luchtbelvormers verminderen wel de kans op bleeding, maar kunnen aanleiding geven tot een toename van het aantal kleine holten op het oppervlak. Ook de toevoeging van vliegash kan oorzaak zijn van kleurverschillen.

Voorafgaandelijk contact tussen de betoncentrale, aannemer en architect is wenselijk. Er dienen afspraken gemaakt te worden over het beoogde aspect (textuur en kleur), de transporttijd, doseernauwkeurigheid, eventuele aanvullende controles, enz. De betoncentrale moet voldoende dicht bij de werf gesitueerd zijn. De tijd tussen laden en lossen bedraagt hoogstens 100 minuten en wordt voor elke levering zo veel mogelijk constant gehouden. De specie wordt best vooraf in de centrale vermengd (constante mengtijden!) en met een roerwagen vervoerd. Om de kans op ontmenging zo veel mogelijk te beperken gebeurt het transport best met kleinere wagens (6 m³).



12.
Invloed van contactbekisting.
12a.
Ruw, mat oppervlak
(gebruikte contactbekisting:
planken).
12b.
Glad, glanzend oppervlak
(gebruikte contactbekisting:
staal).



TE STELLEN EISEN AAN DE BEKISTING

Bekistingsconstructie

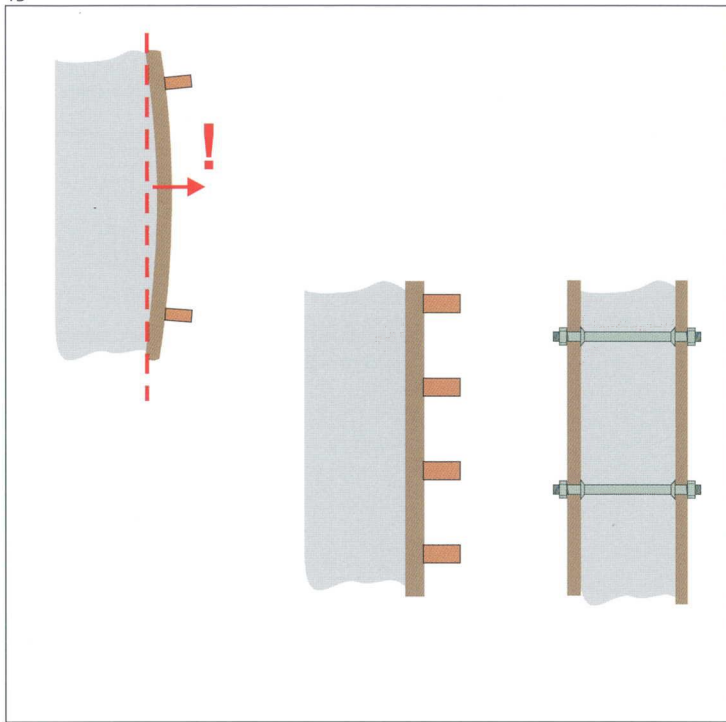
De bekisting bestaat uit een contactbekisting bevestigd op een ondersteuningsconstructie. De constructie is meestal van staal of aluminium, eventueel in combinatie met hout. De contactbekisting bepaalt de uiteindelijke vorm en textuur en beïnvloedt de kleur van het oppervlak. Daarom moet de ontwerper het contactbekistingsmateriaal kiezen.

Contactbekisting

De meest toegepaste materialen zijn planken (ruw of geschaafd; los of tot platen verzameld), multiplexplaten (al dan niet gecoat), staal en kunststof. Minder gebruikt zijn hardboard, spaanplaat en andere vezelmateriaal.

De waterabsorptie is een belangrijke parameter. Planken en niet gecoate multiplexplaten absorberen een gedeelte van het aanmaakwater dat zich nestelt in het contactvlak. Indien de geabsorbeerde hoeveelheid beperkt is en gelijkmatig verdeeld, is het effect positief (fig. 12a). De water-cementfactor vermindert waardoor de cementhuid sterker en duurzamer wordt en minder onderhevig aan krimp. Er zal dus ook minder gevaar zijn voor krimp- of haarscheurtjes. De absorptie reduceert ook lichte ontmengingen in het contactvlak, verhindert wolkvorming van fijne deeltjes en vermindert zo het aantal lokale grijsintverschillen. Een ongelijkmatig absorptievermogen leidt tot een variatie van de water-cementfactor en dus tot kleurverschillen. Wanneer de contactbekisting een aantal keer gebruikt is, zullen de poriën dichtslibben en vermindert de absorptie. Daarom is vermenging van veel met minder gebruikte platen te mijden. Te sterk absorberende panelen mogen niet aangewend worden. Daardoor zou er te weinig water overblijven in de cementhuid voor de hydratatie en gaat de huid 'verbranden'. De absorptie kan altijd tot een minimum herleid worden door vooraf de contactbekisting goed nat te maken. Het gebruik van natte planken naast drogere resulteert in afwijkingen.

Staal en kunststof absorberen geen water. De absorptie van multiplexplaten hangt af van de kenmerken van de aangebrachte beschermingslaag en haar duurzaamheid. Een niet-absorberende plaat kan na een aantal gebruikscycli zwak absorbeerbaar worden. Tussen de bekisting en de specie vormt zich een dun waterlaagje. Dat laagje geraakt verzadigd van kalk, aangevoerd vanuit de poriën. Die kalk zet zich na de ontkisting af op het oppervlak in de vorm van calciumcarbonaat en zorgt voor een lichtere grijsint. (Zie kader 'Grijsint van het betonoppervlak' en bulletin nr. 5 voor meer informatie omtrent kalkuitslag). Het waterlaagje ligt mede aan de basis van het gladde, vaak wat glanzend, spiegelend oppervlak (fig. 12b). De spiegelglans verdwijnt echter vlug na blootstelling aan de buitenlucht. Door de hogere water-cementfactor zal de huid meer onderhevig zijn aan krimp en is de kans op scheurvorming groter. Eventuele scheuren en kleurverschillen zullen door de gladheid meer zichtbaar zijn.



13.

Elke vervorming van de contactbekisting zal zich aftekenen.

14.

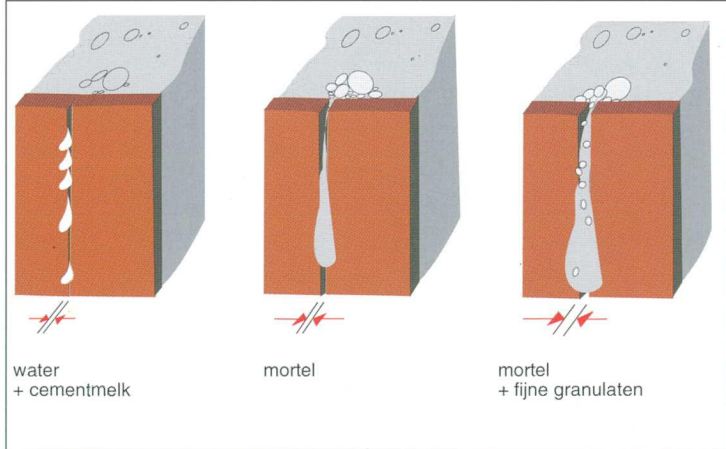
Voorbeeld van enkele contactbekistingspanelen.

15a, 15b.

Lekken tussen de bekistingspanelen tekenen zich af op het oppervlak.



15a



15b



De contactbekisting moet voldoende sterk, stabiel en stijf zijn (fig. 13). Wanneer zij te slap is, zal zij vervormen onder invloed van de speciedruk en het trillen. Dit leidt tot ontmenging, plaatselijke afwijkingen en kleurverschillen. De contactbekisting moet ook zuiver (elke onzuiverheid zal zich later aftekenen) en maatvast (binnen de tolerantie) zijn. Al de planken of platen worden op dezelfde wijze gestockeerd en bezitten hetzelfde vochtgehalte.

Bij het inzetten van nieuwe planken en multiplexplaten (fig. 14) bestaat het gevaar dat sommige houtbestanddelen (zoals harsen) met een vertragend effect op de cementshydratatie uitlogen. Dit leidt tot 'verzanding' van het oppervlak en kleurverschillen. Ook de coating kan bij het eerste gebruik bepaalde stoffen afgeven die leiden tot vlekvorming. Daarom is het soms interessant om de contactbekisting eerst tweemaal ergens anders in te zetten of het oppervlak kunstmatig te 'verouderen' door het in te smeren met een cementmelk (water-cementfactor tussen 0,8 en 1,0). Kort na het aanbrengen dient de pasta met water of borstelen verwijderd te worden. Een bijkomend voordeel is dat de pasta de poriën gedeeltelijk sluit, wat later zal bijdragen tot een meer gelijkmatig oppervlak.

Naden en voegen

De contactbekisting moet dicht zijn (fig. 15). Elk lek zal zich aftekenen op het oppervlak. Afhankelijk van de grootte van het lek loopt er water, cementpasta of mortel uit. Naden zijn potentiële lekken. In de cementshuid ter plaatse van een lekkende naad daalt de water-cementfactor en vermindert de hoeveelheid fijne deeltjes. Daardoor ontstaat er een donkere strook met een ruwe en onregelmatige textuur (bramen). Deze aftekening is ontoelaatbaar. Daarom moeten de naden goed tegen elkaar aansluiten. Open naden zonder achterhout (aan de achterzijde geen ligger of stander) zijn niet toegestaan.

Zichtbeton zonder aftekening van de naden is haast onmogelijk, tenzij een stalen contactbekisting gebruikt wordt. Daarom is het beter om de afdruk van de naad op te nemen in het gevelontwerp (fig. 16, 17, 18). Met het oog op de kostprijs is het voordelig om de maatvoering af te stemmen op de in de handel beschikbare standaardmaten.

Een goed aangesloten open naad met achterhout zal vlug dichtslibben na infiltratie van water met fijne deeltjes. Een homogene en goede oppervlaktekwaliteit met duidelijke aftekening zal het resultaat zijn. Het is ook mogelijk om de naad te vullen met een elastisch materiaal, zoals een strip, schuimrubber of kit. Het materiaal moet wel uitstekend hechten, soepel zijn, verenigbaar met het ontkistingsmiddel en alkalibestendig.

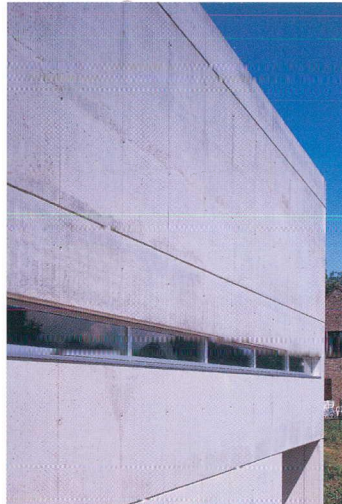
Het gebruik van een profiellat (fig. 19) leidt tot een meer uitgesproken profilering. De lat moet wel een vorm hebben die gemakkelijk ontkist. Bij het ontkisten wordt ze het best achtergelaten in het beton. De verwijdering gebeurt gemakkelijker en met minder gevaar voor afbrokkelingen eens het hout gedroogd en gekrompen is. De voorwaarde is evenwel dat de lat maar nauwelijks vasthangt aan de contactbekisting. Bij de bepaling van de betondekking moet rekening gehouden worden met de profieldiepte.

16a



16a.
Woning te Sint-Genesius-Rode van
architect Joël Cluisse,
16b.
Gevelfragment toont lichte
naadaftekening en geprofileerde
stortvoeg.

16b

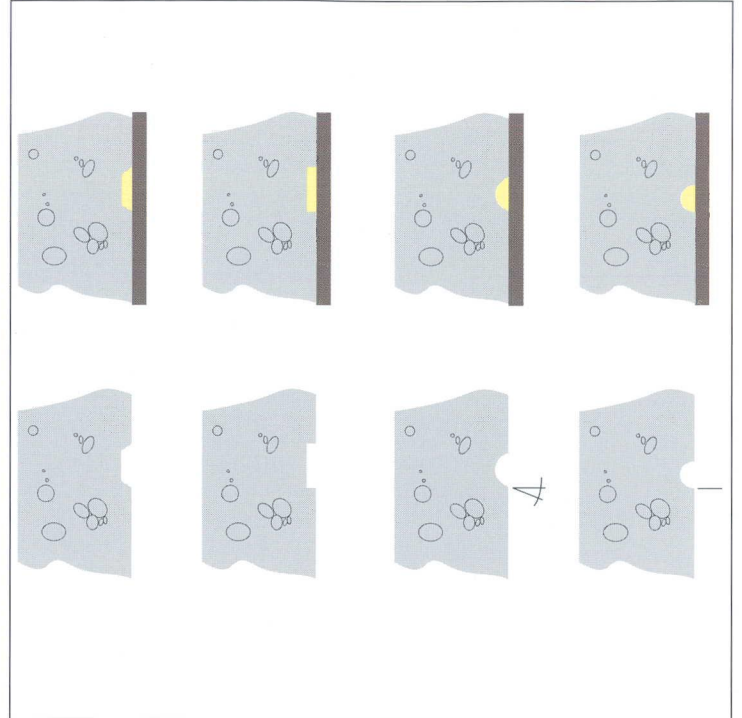


17

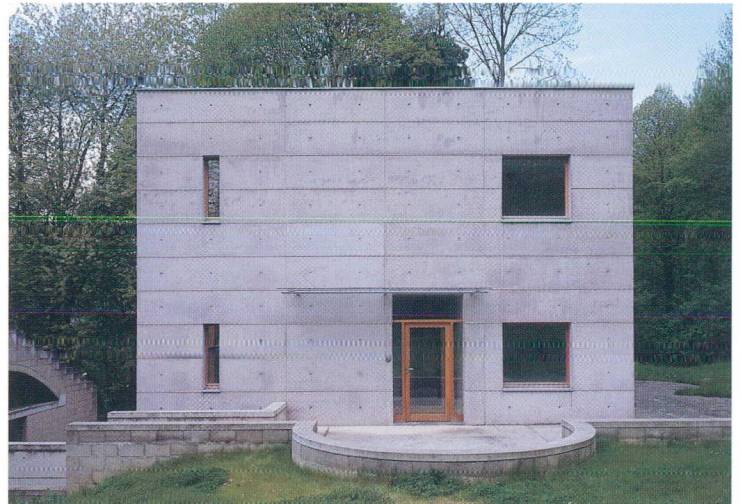


17.
Kantoorgebouw te Heerlen van
architect Wiel Arets.

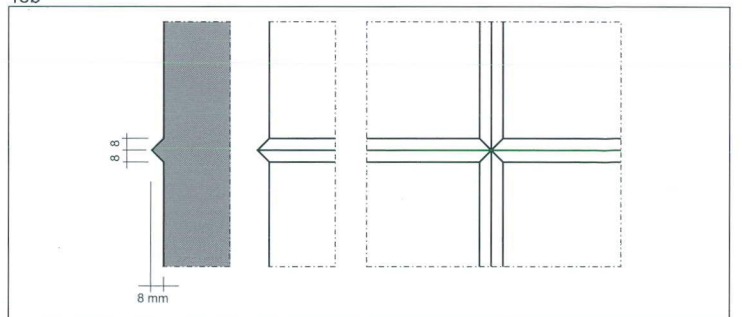
19



18a



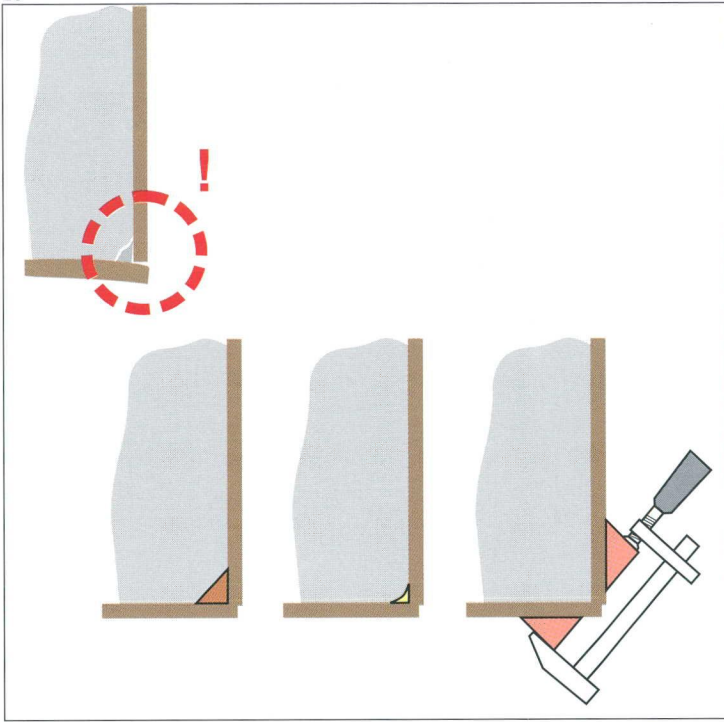
18b



18c



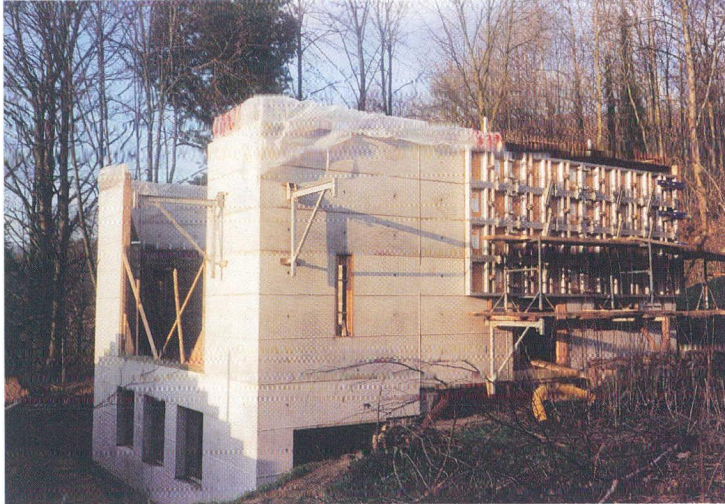
18a, 18b, 18c.
In de gevel van het Wuidarhuis zijn de
naden uitgewerkt als uitstekende voegen.
19.
Profiellatten met schuine afkanting
genieten de voorkeur.



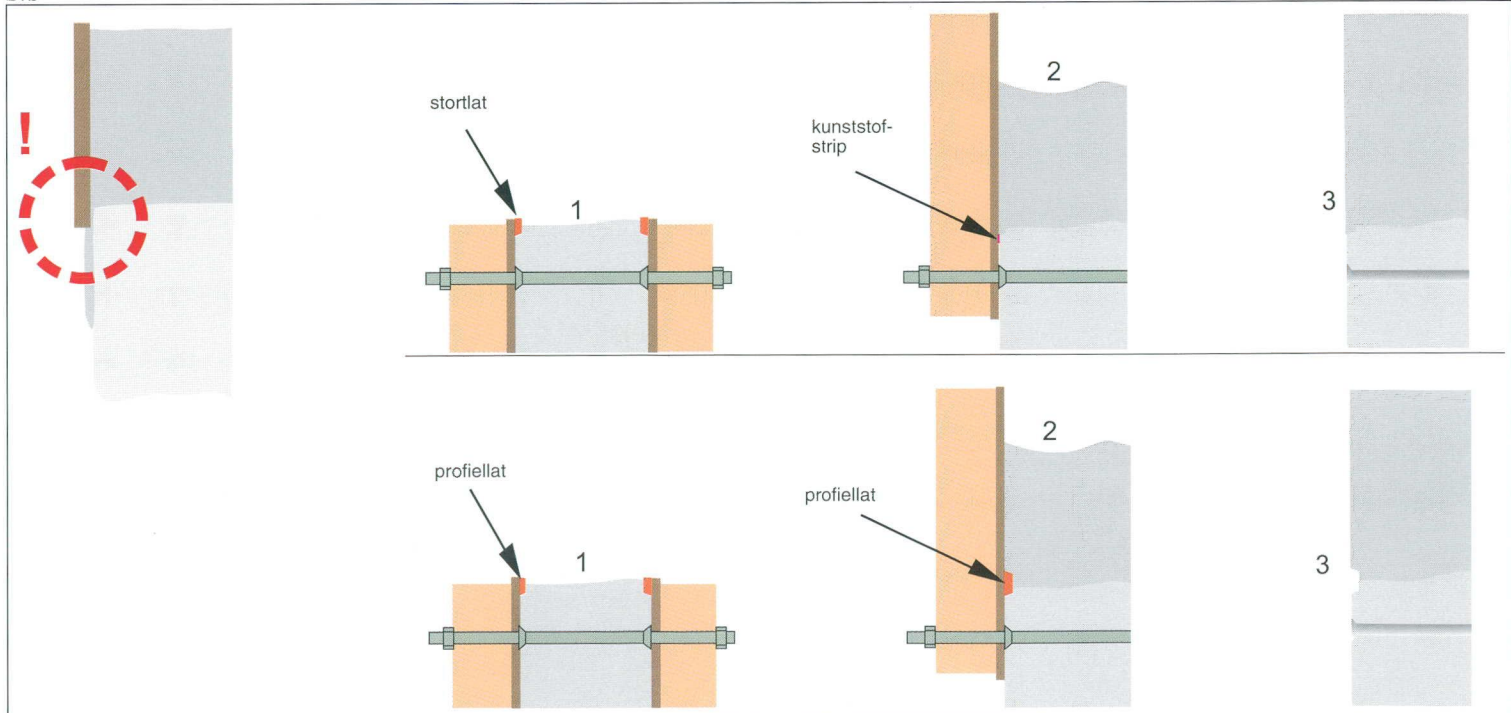
Hoeknaden (fig. 20) verdienen speciale aandacht. In de hoeken zijn de krachten ten gevolge van het storten en het trillen moeilijker met centerpennen op te vangen. Een speciale detaillering is nodig om te verhinderen dat de krachten de naden open duwen. Een hulpmiddel is het voorzien van een hoeklat of kunststofstrip. Vaak weigeren ontwerpers deze elegante oplossing omdat op die manier de kanten afgeschuind worden. Mooie scherpe kanten zijn moeilijk te maken. Het beste resultaat wordt bereikt met een stalen bekisting met minimaal afgeronde hoeken¹⁰.

Stortvoegen (fig. 21a) zijn niet te mijden. Hun aftekening is niet te verhinderen. Er zijn twee mogelijkheden: de stortvoeg verbergen (bijvoorbeeld in de schaduwzone) of beklemtonen door verdiepte profilering. Ter hoogte van de voeg is het erg moeilijk om de krachten op te nemen en lekken te vermijden. Een handige oplossing bestaat erin om de bekisting te bevestigen aan het pas ontkiste betonelement (fig. 21b). De aangespannen centerpennen door de bestaande centerpengaten houden de bekisting wel dicht. Deze methode beïnvloedt de maatvoering van de aftekening van de naden en de voegen. Dus hiermee moet op voorhand rekening gehouden worden.

21a



21b



20.

Krachtname ter hoogte van hoeknaden.

21a, 21b.

*Krachtname ter hoogte van stortvoegen.**Voorbeeld: gevel van Wuidarhuis (architect Charles Vandenhove).*

22a, 22b, 22c.

Centerpengat en de dichting ervan.

23a.

Bekistingsplaat van Cometal, geïnspireerd op betonarchitectuur van Tadao Ando.

23b.

Binnenzicht (23a) van Conferentiepaviljoen van Tadao Ando te Weil-am-Rheim.

Centerpengaten, afstandhouders, enz.

Centerpennen (fig. 22) zijn nodig om de horizontale speciedrukken op te vangen. Na het verwijderen van de centerpennen met de conische eindstukken blijven er holten over. Zij kunnen met specie of met isolatie (minerale wol) opgevuld worden en afgesloten met afdekdopjes of ingelijmde vulpropjes. De conusholten zodanig opvullen met specie dat hun aftekening verdwijnt, is quasi onmogelijk. Het is aanbevelingswaardig om de afwerking en het patroon van de conusholten op te nemen in het ontwerp.

Het is spijtig dat de plaats van de gaten, voorzien in de meeste bestaande bekistingssystemen, louter bepaald is op basis van een efficiënte krachtsoverdracht zonder aandacht voor de implicatie op de vormgeving. Cometal, de enige Belgische producent van bekistingen, maakt hierop een uitzondering. Zij heeft in haar gamma panelen opgenomen, geïnspireerd op de betonarchitectuur van Tadao Ando (fig. 23).

Indien het bestek geen aftekening van conusholten toelaat, moeten de horizontale krachten door schoren tegen de bekistingconstructie opgevangen worden.

Ontkistingsmiddel

Het ontkistingsmiddel moet afgestemd zijn op het absorptievermogen van de contactbekisting. Een proef vooraf is wenselijk. Voor een sterk-waterabsorberende contactbekisting is een olie-in-water-emulsie aan te raden. Voor de andere geven minerale oliën met oppervlakte-actieve stoffen en nieuwe middelen op basis van was goede resultaten^{11, 12}. Voor niet-absorberende contactbekistingen hebben producten die na het aanbrengen eerst moeten drogen, de voorkeur¹³.

Een onjuist gebruik leidt tot vlekken en verschillen in grijsint. Met de hand aangebrachte middelen laten vaak veegsporen na. Vloeibare ontkistingsmiddelen worden best beneveld op de bekisting en dan met een doek uitgewreven. Het product moet gelijkmatig en in een dunne laag aangebracht worden. Naarmate de laag dikker is, kan het vuil zich gemakkelijker vastzetten en later kleven op het beton. Er is ook een toenemend gevaar voor het ontstaan van oppervlakte-holten.

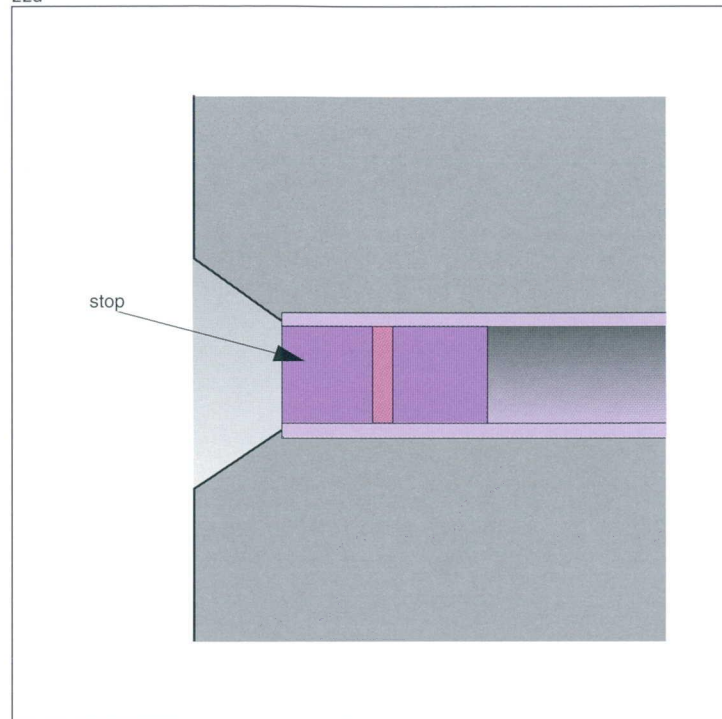
Wapening

Er is een tendens naar slankere constructies. Indien een slanke constructie ook een grote last moet dragen impliceert dit een hoog wapeningspercentage. De combinatie van toenemende slankheid en meer wapening bemoeilijkt het storten en het trillen. Er is dus meer kans op ontmenging en dus op overdreven kleurverschillen en onregelmatigheden.

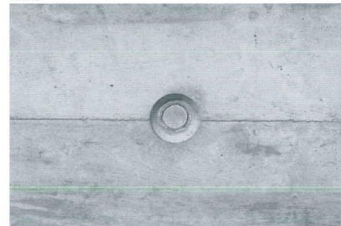
De afstand tussen de wapeningsstaven moet groter zijn dan de maximale korreldiameter. Afdrup van wachtstaven op zichtbeton leidt tot roestvlekken en moet dus vermeden worden. Roestdeeltjes op de bekistingbodem afkomstig van de wapening zullen zich aftekenen op het oppervlak.

Er moeten voldoende afstandhouders geplaatst worden, liefst in een cementgebonden materiaal.

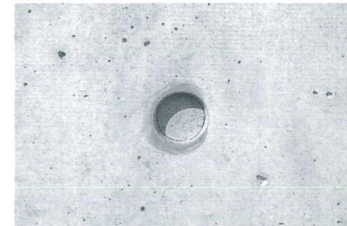
22a



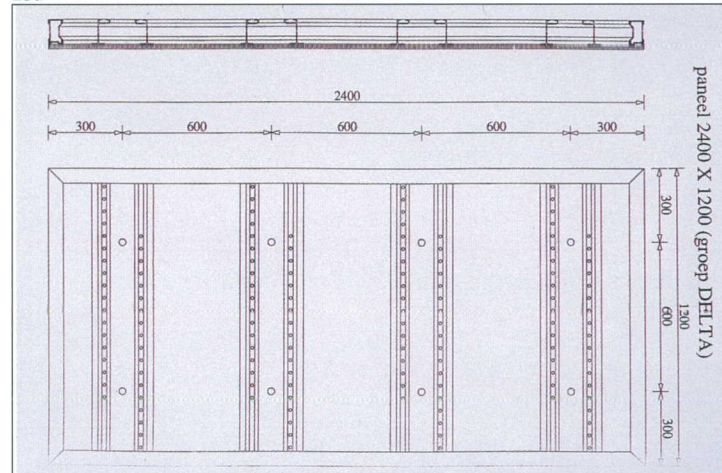
22b



22c



23a



23b



TE STELLEN EISEN AAN DE VERWERKING

Storten (fig. 24).

Enkel arbeiders met voldoende kennis en ervaring kunnen de delicate stortoperatie tot een goed einde brengen. Een goed stortplan en duidelijke afspraken met de betoncentrale over de transporttijd en de continuïteit van de leveringen zijn onontbeerlijk.

De eerste speciehoeveelheid (ongeveer 300 liter) die uit de wagen komt, heeft meestal niet de vereiste samenstelling en wordt beter niet verwerkt. De valhoogte dient beperkt te worden tot maximaal 1,5 m om overdreven luchtinsluiting te vermijden. De stortsnelheid is laag en constant. Er wordt laagsgewijs (30 cm) of op vaste punten met beperkte tussenafstand (van 1 tot 1,5 m) gestort. Zeker voor hoge wanden is het interessant om vooraf een 15 cm dikke laag uit plastisch, fijn beton te gieten. Het bevat alleen de fijne bestanddelen en heeft dezelfde water-cementfactor als de daarop ingebrachte specie. Enerzijds fungeert het als een soort 'valkussen', anderzijds zullen de fijne deeltjes zich nestelen in het contactvlak en zo bijdragen tot de homogeniteit van het oppervlak¹³.

Storten tegen de bekisting heeft ontmenging tot gevolg. Het is aan te bevelen om 5 tot 10 cm hoger te storten en deze waterrijke laag na het trillen weg te nemen. Storten bij regenweer is niet toegestaan. Na het storten wordt de bekisting bovenaan goed afgedekt om insijpeling van regen in het contactvlak te vermijden.

Trillen

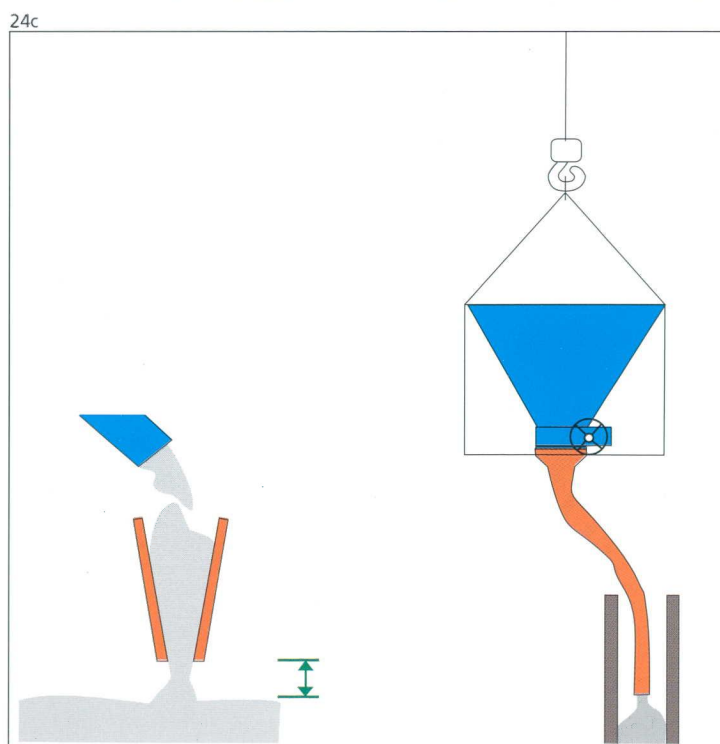
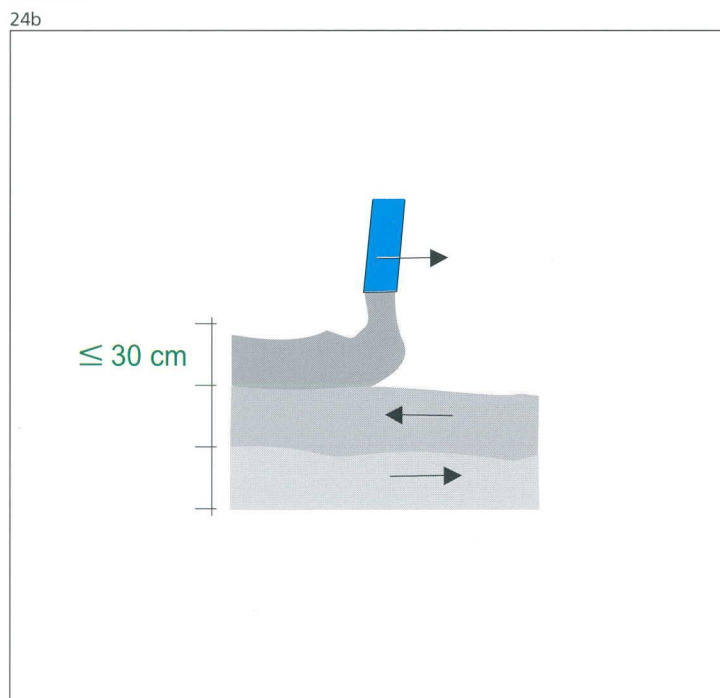
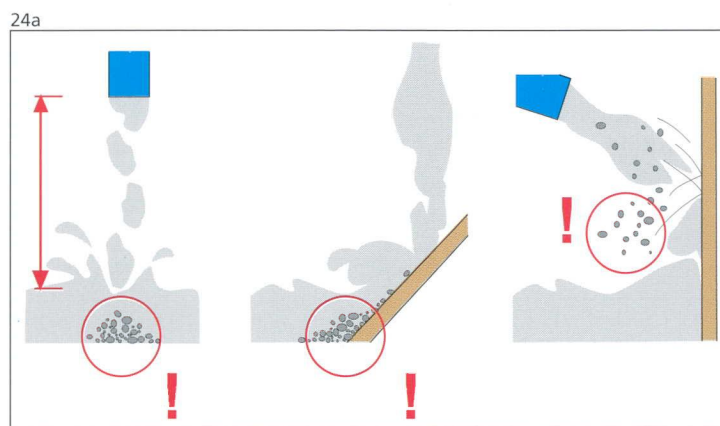
Trillen (fig. 25) is een moeilijke operatie die de nodige kennis en ervaring vraagt. Eens in het beton moet de trilfrequentie van de naald constant blijven. De trilnaald wordt snel ingeduwd, voldoende lang in het beton gehouden en traag uitgehaald. De tussenafstand van de insteekpunten wordt gekozen in functie van het trilbereik ($\pm 10 \times$ diameter) en zodanig dat de afstanden elkaar deels overlappen. Om de onderlinge lagen goed te vermengen is het nodig om de trilnaald door te steken tot in de reeds getrilde laag. De vibraties die ontstaan in de bekisting of de wapening bij contact met de trilnaald, leiden tot ontmenging en kleurverschillen. Aftekening van de wapening op het oppervlak is hierdoor mogelijk.

Ontkisten

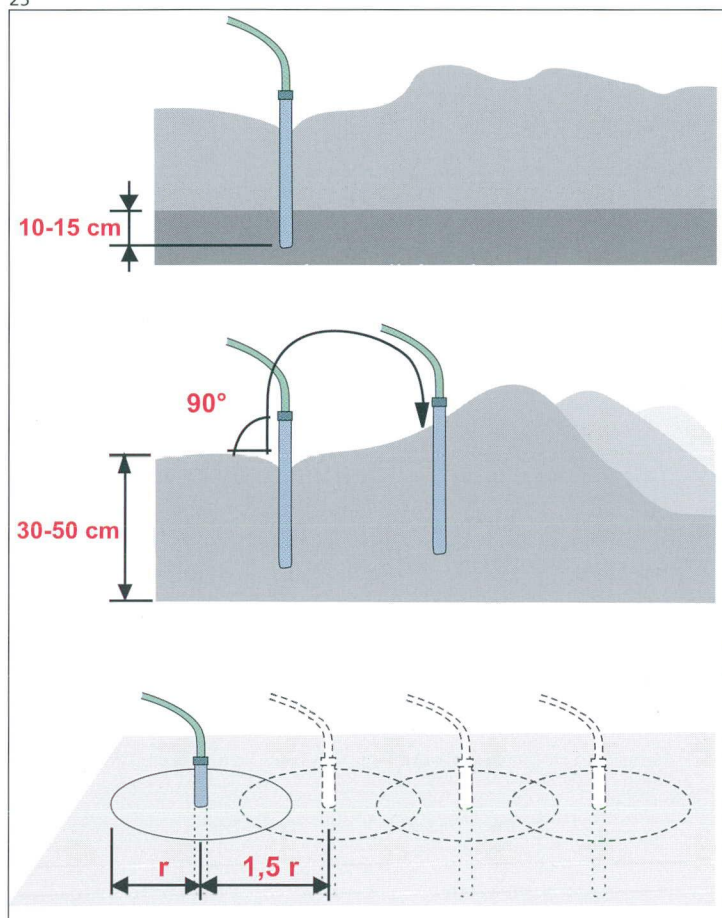
Vaak blijft beton maar één dag in de bekisting. Een verlenging van die periode zal de kwaliteit van het zichtbeton bevorderen. Verschil in ontkistingstijd leidt tot kleurverschillen en moet dus vermeden worden. Breekijzers of andere werktuigen worden niet aangewend bij het ontkisten. Ontkiste elementen moeten nabehandeld worden en beschermd tegen stoten.

Nabehandelen

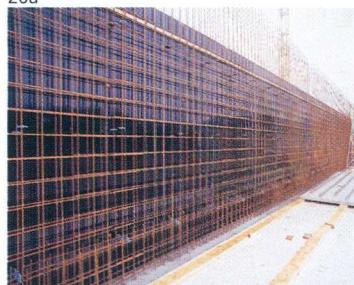
Na ontkisting moet het oppervlak beschermd worden tegen uitdroging. Dit is zeker nodig bij warm, winderig weer en bij een lage luchtvochtigheid (zie tabel op volgende bladzijde). Besproeien met water of bedekken met folie leidt tot kalkuitslag. Het is beter om op geringe afstand van het oppervlak natte zeilen of doeken te hangen ¹³ (fig. 26). De opening moet bovenaan wel afgesloten worden om luchtcirculatie ('schouw-effect') te vermijden.



25



26a



26b



26c



24a.

Grote valhoogte en storten tegen verticale of schuine wand leiden tot ontmenging.

24b.

Aanbevolen: laagsgewijs storten.

24c.

Aanbevolen: vertragen van stortsnelheid.

25.

Aanbevelingen voor het trillen.

26a, 26b, 26c.

Binnenmuren in zichtbeton (onderdeel van 'staatsarchief en multifunctionele hall' te Mons van architect II. Guechez en studie bureau Greisch).

Minimum nabehandelingstijden (in dagen) van het verse beton voor de blootstellingsklassen 2 en 5a volgens de norm NBN B15-001: ⁽¹⁾

	Sterkte-ontwikkeling van beton ⁽²⁾	Snel			Gemiddeld			Traag		
	Temperatuur van het beton tijdens de nabehandeling boven ...°C	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Omgevingsomstandigheden tijdens de nabehandeling		Minimum nabehandelingstijden in dagen								
	I - Geen rechtstreekse zonneschijn en de relatieve vochtigheid van de omgevingslucht is nooit lager dan 80 %	2	2	1	3	3	2	3	3	2
	II - Blootgesteld aan gematigde zonneschijn of gemiddelde windsnelheid of relatieve vochtigheid nooit lager dan 50 %	4	3	2	6	4	3	8	5	4
	III - Blootgesteld aan sterke zonneschijn of hoge windsnelheden of relatieve vochtigheid beneden 50 %	5	4	3	8	6	5	10	8	5

(1) Voor de blootstellingsklassen 3, 3S, 4, 5b en 5c moeten de minimum nabehandelingstijden met 2 dagen verlengd worden.

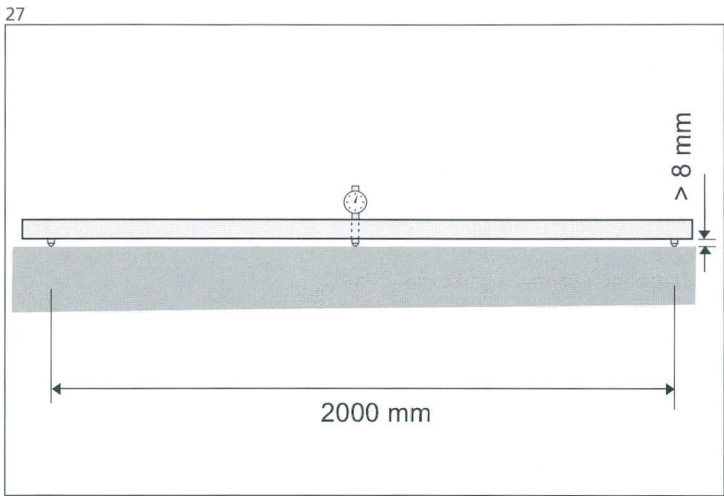
(2) De sterkte-ontwikkeling van het beton kan worden afgeleid uit de volgende tabel:

Sterkte-ontwikkeling van het beton	Water-cementfactor	Sterkteklasse van het cement
Snel	< 0,5	42,5 – 52,5
Gemiddeld	0,5 – 0,6	42,5
Traag	> 0,6	32,5 – 42,5

PLANNEN, BESTEK EN TOLERANTIES

De bekistingsplannen en het bestek moeten volledig zijn. Zij bevatten gegevens over de gewenste vlakgeleding, zoals: de afmetingen van de contactbekisting, de plaats, soort en vorm van naden en voegen, het profiel van de ribben en randen (scherp, afgeboord met hoeklat, enz.), de positie en soort van centerpennen met conische eindstukken. Zij vermelden de gewenste grijs tint of kleur en met betrekking tot de textuur de aard van de contactbekisting.

Het bestek vereist dat voorafgaandelijk aan de werken een proefstuk wordt gemaakt dat na goedkeuring dient als referentiemonster. Het heeft een oppervlak van minimum 1 m². Een 2 m brede, verdiepingshoge wand is echter een idealer proefstuk voor zowel de kleur, de textuur als de geleding (naden, conusholten, enz.). De vergelijking dient te gebeuren op een vooraf te bepalen minimale afstand en onder identieke omstandigheden. De besteksbepalingen moeten wel realistisch zijn. Eisen zoals 'volledige homogeniteit', 'volledige kleurgelijkheid', 'zonder enige kalkuitslag en poriën', zijn onuitvoerbaar en dus onaanvaardbaar.



België heeft geen norm met oppervlakte-eisen voor stortklaar beton. Er bestaat wel een norm voor architectonisch prefab beton (recent vervangen door een PTV¹⁵). Een interessante basis blijft het in 1975 gepubliceerde CIB rapport nr. 24¹⁶. De Franse norm P18-503 'Surfaces et parements de béton. Eléments d'identification' is er op gebaseerd. Het 'Handboek Bekistingen' van Stubeco geeft een goed overzicht van de Nederlandse richtlijnen (zie tabel hieronder). Een Oostenrijkse norm¹⁷ definieert 'Sichtbetonklassen' met daaraan gekoppeld eisen in verband met kleur, textuur en oppervlakteporiën (zie tabel op volgende bladzijde). Ook het Duitse Beton-Verein verwijst er naar in zijn Merkblatt over 'Sichtbeton'.

Oppervlakte-beoordeling van betonwerk volgens NEN 6722 (uittreksel). De volgende beoordelingscriteria worden gehanteerd:					
Te beschouwen aspecten:	Oppervlakte-beoordelingsklasse ⁽¹⁾				
	I (glad oppervlak)			II (ruw oppervlak)	
	A	B	C	A	B
Aftekening structuur bekistingsmateriaal toegestaan	nee	nee	ja	nee	nee
Plaatselijke oneffenheden en afwijkingen door bekistingsmateriaal (o.a. plaatbeschadigingen, bramen en bekistingsnaden) in mm	≤ 2	≤ 3	≤ 4	≤ 2	≤ 4
Afwijkingen van de vlakheid van gehele oppervlakken in mm:					
– onder 0,4 mm lange rei	≤ 2	≤ 2	≤ 3	≤ 2	≤ 4
– onder 2 m lange rei ⁽²⁾	≤ 3	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 7
– bij grotere onderdelen per m (gemeten met de draad)	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 3,5	≤ 2,5	≤ 3,5
– met een maximum over het totale oppervlak van	10	15	25	15	25
Maatafwijkingen bij hoeknaden (o.a. hoeken van kolommen en balken) in mm	≤ 2 ⁽³⁾	≤ 4 ⁽⁴⁾	≤ 4 ⁽⁴⁾	≤ 4 ⁽⁴⁾	≤ 4 ⁽⁴⁾
Luchtbellen toegestaan ⁽⁵⁾	ja	ja	n.v.t.	ja	n.v.t.
(1) Klasse IA: glad oppervlak zonder nabewerking (hoge eisen) Klasse IB: glad oppervlak zonder nabewerking (normale eisen) Klasse IC: glad oppervlak met nabewerking Klasse IIA: ruw oppervlak zonder nabewerking Klasse IIB: ruw oppervlak met nabewerking (2) De 2 m lange rei is uitgevoerd met stelpootjes en een meetklokje (zie figuur 27). (3) Uitvoering zodanig dat geen nadere bewerkingen van de profilering nodig zijn. (4) Plaatselijke afwijkingen van de profilering bijwerken. (5) Gedeelten van meer dan 1000 mm²/m² zijn niet toelaatbaar. Gedeelten van meer dan 3000 mm² per 10 m² zijn niet toelaatbaar. Eventuele beschadigingen bijwerken.					

BESLUIT EN ENKELE AANBEVELINGEN

Ontwerp, bestek, betonspecificatie, samenstelling, aanmaken, transport, bekisting, storten,... Elk aspect is belangrijk en vormt een cruciale schakel in het proces met als einddoel het verkrijgen van een zichtbaar gelaten beton dat beantwoordt aan alle esthetische en constructieve eisen. Het succes hangt af van de ontwerper, de ingenieur, de aannemer en de betoncentrale. Hun kennis en ervaring en vooral hun bereidheid tot onderlinge samenwerking en het maken van werkzame afspraken vormen de sleutel tot het succes.

27.
2 m lange rei
(volgens NEN 6722).

28.
Le Balloir te Luik
van architect Charles Vandenhove.



Oppervlakte-beoordeling volgens ONORM B 2211. De norm bepaalt de volgende zichtbetonklassen:	
Kleurgelijkheid	Eisen - Eigenschappen
Klasse F1	Vlekkerige verkleuringen veroorzaakt door roest, vermenging van verschillende soorten contactbekisting, verkeerde voorbehandeling van contactbekisting, ondeskundige nabehandeling van beton, granulaten van verschillende oorsprong, lijnvormige verkleuringen (afdrukken van wapening) zijn niet toegelaten. Verdere eisen met betrekking tot de gelijkmatigheid van kleur worden niet gesteld.
Klasse F2	Zoals F1, maar als bijkomende eisen zijn verkleuringen te wijten aan het vermengen van cement en toevoegsels van verschillende soort en oorsprong ontoelaatbaar. De kleurverschillen die ontstaan ondanks het naleven van deze voorschriften en ondanks een deskundige verwerking worden als onvermijdelijk aanzien en toegelaten.
Structuur	Eisen
Klasse S1	Glad, gesloten betonoppervlak. Naden moeten zo dicht zijn dat uitlogende cementpasta en/of fijne delen stroken van maximaal 1 cm breedte aftekenen op het oppervlak. Bramen (lijnvormige ongelijkheden ter hoogte van naad) zijn toegestaan.
Klasse S2	Zoals S1, maar de naden moeten zo dicht zijn dat er praktisch geen cementpasta en/of fijne delen uitlogen. De aftekening beperkt zich tot een dunne lijn. Bramen zijn niet toegestaan.
Klasse S1 A	Zoals S1, maar bepaling van specifieke contactbekisting: bijv. multiplexplaat met bepaalde coating, geschaafde, dicht aansluitende planken, staal, enz.
Klasse S2 A	Zoals S2, maar bepaling van specifieke contactbekisting: bijv. multiplexplaat met bepaalde coating, geschaafde, dicht aansluitende planken, staal, enz.
Klasse S3	Gestructureerd of plastisch gevormd betonoppervlak: bijv. uitgewassen beton, speciaal patroon met behulp van structuurmat, enz. De naden zijn vlak en dicht. Geen uitloging van cementpasta en/of fijne delen zijn toegestaan.
Oppervlakteporiën	Eisen
Klasse P	Het aandeel van open oppervlakteporiën, gemeten op een proefvlak van minstens 50 cm x 50 cm, mag hoogstens 0,3 % van het vlak bedragen. Poriën met een diameter kleiner dan 1 mm worden niet in rekening gebracht. De grootste poriëndiameter mag 15 mm bedragen. De meting gebeurt op 2 proefvlakken per 'lot' (bouwwerk of belangrijk onderdeel ervan). Als proefvlakken worden vlakken gekozen die representatief zijn voor een optische totale indruk.



dit bulletin is een publicatie van:
FEBELCEM - Federatie van
de Belgische Cementnijverheid
Voltastraat 8
1050 Brussel
tel. 02/645 52 11
fax 02/640 06 70
http://www.febelcem.be
e-mail: info@febelcem.be

auteur:
ir. arch. J. Apers

tekeningen:
ir. arch. N. Naert

lay-out:
arch. D. Nihoul

verantw. uitgever:
J.P. Jacobs

wettelijk depot:
D/2000/0280/04

Bibliografie

- 1 VAN LEERDAM B.F. ; VERHOEF L.G.W.
Kijk op gevels van beton
Den Bosch : Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 1984
- 2 APERS J.
Gevelvervuiling, een beheersbaar proces
Vademecum voor architecten
Gevels, Studiedag georganiseerd door de Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging
25 maart 1990
- 3 *Betonoberfläche - Betonrandzone*
DBV (Deutscher Beton-Verein), Sachstandbericht, November 1996
- 4 KREIJGER P.C.
Inhomogeneity in concrete and its effect on degradation: a review of technology
Proceedings of the International Conference on Protection of Concrete
University of Dundee, Scotland, UK, 11-13 September 1990
- 5 LINDER R.
Poren, Lunker und Holzeinschlüsse bei Sichtbeton-, Beschichtungs- und Nutzflächen
Betonwerk + fertigteil-Technik, 5 - 6/1992
- 6 *Technische aanbevelingen voor het ontwerpen, fabriceren en monteren van elementen in architectonisch beton*
Brussel: FeBe (Federatie van de Betonindustrie), 1993
- 7 *Memento van architectonisch beton*
Brussel: FeBe, 2de uitgave, 1996
- 8 APERS J.
Architectonisch beton: duizend-en-een mogelijkheden qua vorm, kleur en textuur
Prefabricage van betonnen gebouwen, Studiedag Technologisch Instituut, Genootschap Civiele Techniek,
Antwerpen, 19 maart 1998
- 9 *Voorschrijven van beton volgens de norm NBN B 15-001. Met voorbeelden van betonspecificaties en type-bestektekst*
Dossier Cement, bulletin 19,
Brussel: FEBELCEM, in samenwerking met FSBP (Federatie van Stortklaar Beton), augustus 1999
- 10 *Schoon beton*
Den Bosch: VNC (Vereniging Nederlandse Cementindustrie), mei 1990
- 11 *ibid.*
- 12 *Trennmittel für Beton*
DBV (Deutscher Beton-Verein), Merkblatt, März 1997
- 13 EBELING K.
Planungs- und Ausführungshinweise. Der aufgabenbereich des Betoningenieurs
BETON, 4/1998
- 14 *ibid.*
- 15 *Technische voorschriften (PTV) 21-601:*
Geprefabriceerde elementen van Sierbeton, Probeton, 1999
- 16 *Tolerances on blemishes of concrete*
CIB (Conseil International du Bâtiment), Report nr. 24, 1973
- 17 *ÖNORM B 2211: Beton und Stahlbetonarbeiten*
Werkvertragsnorm, 07.86
- 18 *Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies*
CUR rapport nr. 172
Gouda : Stichting CUR, juli 1994
- 19 *Uitbloeiing en uitslag*
Dossier Cement, bulletin 5
Brussel: FEBELCEM.

Foto's en illustraties

Cover : School te Paspels (Switzerland), architect Valerio Olgiati : © Atelier Kinold

2, 23b : © Christian Richters Fotograf

8a, 8b : © Atelier Kim Zwarts

9a, 9b, 9c : documenten Noeplast

11, 12a, 12b, 14, 15b, 22b, 22c : documenten Febelcem

16a, 16b : © Serge Brison fotograaf

17, 18a, 18c, 28 : © Atelier Kinold

21a, 23a : documenten Cometal

26a, 26b, 26c : © A. Nullens