

Het Betonoppervlak

Invloed van Betonsamenstelling en Uitvoeringstechniek

Axel Vansteenkiste
2006 / 2007

Het Betonoppervlak

Invloed van Betonsamenstelling en Uitvoeringstechniek

door Axel Vansteenkiste

Academiejaar 2006 - 2007

*Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Bouwkundige Constructies, Laboratorium Magnel voor Betononderzoek*

*Voorzitter Prof. Dr. ir. L. Taerwe
Promotor Prof. Dr. ir. G. De Schutter*

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van Burgerlijk Ingenieur Architect

Dankwoord

In de eerste plaats gaat mijn dank naar mijn promotor Prof. Dr. ir. Geert De Schutter, die mij heeft gesteund in de keuze voor het onderwerp van mijn thesis en mij de mogelijkheid heeft geboden gebruik te maken van de knowhow van het Laboratorium Magnel. Meer bepaald Dr. ir. Veerle Boel en ir. Emmanuel Annerel die met hun aanwijzingen mijn opzoekingen hebben bevorderd en nauwgezet de vordering van mijn werk hebben begeleid.

Bij het verzamelen van leesmateriaal werd ik in grote mate geholpen door de documentatiecentra van CERIB (Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton), FEBELCEM (Federatie van de Belgische Cementnijverheid) en FEBE (Federatie van de Betonindustrie). Meer in het bijzonder Mevr. Berbuto (CERIB) heeft mij bij mijn opzoekingen georiënteerd, waarvoor mijn dank.

Bureau Bouwtechniek, meer bepaald Prof. Jan Moens alsmede Mevr. Nadja Van Houten, hebben mij nuttige toelichting verschaft in verband met toepassingen van ter plaatse gestort beton aan de hand van praktijkervaring. Het bezoek aan een aantal betonbedrijven gaf mij een goed inzicht in de praktijk van de behandelingstechnieken toegepast op geprefabriceerd beton. Daarbij werd ik geholpen door Dhr. Johan Verwee van de firma DECOMO (Moeskroen), Mevr. Gilberte Vanhee van de firma SVK (Sint-Niklaas) en Dhr. Bart Faingnaert van de firma AGREF (Wetteren). Collega student Stijn Rolies ben ik dankbaar voor het ter beschikking stellen van fotomateriaal.

Tenslotte gaat mijn dank naar mijn ouders die mij enthousiast hebben gesteund in mijn keuze voor deze studierichting.

De auteur geeft de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

Overzicht

*Het Betonoppervlak: Invloed van Betonsamenstelling en Uitvoeringstechniek
door Axel Vansteenkiste*

Academiejaar 2006 - 2007

*Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Bouwkundige Constructies, Laboratorium Magnel voor Betononderzoek*

*Voorzitter Prof. Dr. ir. L. Taerwe
Promotor Prof. Dr. ir. G. De Schutter*

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van Burgerlijk Ingenieur Architect

Samenvatting

Deze studie is er op gericht de criteria te bespreken die van belang zijn om tot een goed resultaat te komen bij het toepassen van een behandeld betonoppervlak. Deze criteria zijn zowel van belang in de ontwerpfase, meer in het bijzonder wat betreft de betonsamenstelling, als in de uitvoeringsfase. De behandelde aspecten zijn zowel deze die algemeen geldend zijn als deze specifiek gerelateerd aan een bepaalde oppervlaktebehandelingstechniek. Andere technieken die het betonoppervlak niet bewerken maar toch een invloed hebben op het aspect van het betonoppervlak, zoals het gebruik van pigmenten of speciale bekistingsmallen, maakt hier ook deel van uit.

In laatste instantie wordt een aanzegt gegeven, aan de hand van een aantal casestudies, van wat mogelijk is door creatief om te gaan met deze oppervlaktebehandelingstechnieken en de eraan gerelateerde criteria. Aangezien de invloed van de architect, en zijn kennis terzake, veel groter is wanneer het gaat om toepassingen in situ, zijn deze casestudies hierop gericht.

Trefwoorden

betonoppervlak, betonsamenstelling, oppervlaktebewerking, architectonisch beton, schoon beton

Inhoudstafel

A1 Betonsamenstelling 1

1.1 Granulaten 2

- 1.1.1 Soorten 2
- 1.1.2 Korrelmaat 2
- 1.1.3 Korrelverdeling 3
- 1.1.4 Fijnheidsmodulus 4
- 1.1.5 Korrelvorm 4
- 1.1.6 Wateropsorping 7
- 1.1.7 Hardheid 7
- 1.1.8 Onzuiverheden 8
- 1.1.9 Alkali-reactiviteit 8

1.2 Cement 9

1.3 Hulpstoffen en toevoegingen 10

- 1.3.1 Plastificeerders 11
- 1.3.2 Superplastificeerders 11
- 1.3.3 Verhardingsvertragers 11
- 1.3.4 Polypropyleen vezels 12

1.4 Randzone 12

A2 Bekistingen & mallen 13

2.1 Principe 14

- 2.1.1 Naden 14
- 2.1.2 Centerpennen 15
- 2.1.3 Afstandshouders 16

2.2 Ontkistingsmiddelen 17

2.3 Bekistingsmateriaal 19

- 2.3.1 Naaldhout 19
- 2.3.2 Multiplex 20
- 2.3.3 Staal 20
- 2.3.4 Kunststof 20

2.4 Bekistingsmallen 21

- 2.4.1 Textuur en vorm met traditionele bekistingen 21
- 2.4.2 Textuur met bekledingen van de bekisting 22
- 2.4.3 Textuur en vorm met bekistingsmallen 22
- 2.4.4 Geëxpandeerd polystyreen (EPS) mallen 23
- 2.4.5 Harde mallen (glasvezel polyester, ABS, PVC) 23
- 2.4.6 Gelamelleerde MDF of Multiplex mallen 24
- 2.4.7 PVC elastomeer mallen 24

2.4.8 Polyurethaan elastomeer mallen 24

2.4.9 Fotogravure 27

A3 Kleur 29

3.1 Pigmenten 30

3.1.1 Kleur en intensiteit 32

3.1.2 Zwart 34

3.2 Betonsamenstelling 34

3.2.1 Cement 35

3.2.2 Granulaten 36

3.3 Uitvoering 36

3.4 Oppervlaktebewerking 37

3.5 Duurzaamheid 39

3.6 Lasuren 40

A4 Voorschrijven & uitvoering 43

4.1 Voorschrijven 44

4.1.1 Beton 44

4.1.2 Proefstukken 44

4.1.3 Beoordelingscriteria 48

4.1.4 Kostprijs 48

4.4 Uitvoering 49

4.4.1 Bekisten 49

4.4.2 Wapenen 49

4.4.3 Storten 50

4.4.4 Verdichten 50

4.4.5 Ontkisten en nabehandelen 52

A5 Onvolkomenheden & vervuiling 61

5.1 Onvolkomenheden 62

5.1.1 Overzicht 62

5.1.2 Aandachtspunten 62

5.2 Vervuiling 70

5.2.1 Betonoppervlak 70

5.2.2 Detaillering 71

5.2.3 Bescherming & onderhoud 73

5.2.4 Aandachtspunten 75

B1 Zuurbehandeling 77

1.1 Principe 78

1.2 Betonsamenstelling 80

1.3 Uitvoering 80

1.3.1 Zuuroplossing 82

1.3.2 Onderdompelen 83

1.3.3 Borstelen of vernevelen 84

1.3.4 Gel 84

1.3.5 Vakbekwaamheid 85

B2 Stralen 87

2.1 Principe 88

2.2 Betonsamenstelling 90

2.3 Uitvoering 90

2.3.2 Automatische installaties 92

2.3.2 Vakbekwaamheid 93

B3 Uitwassen 95

3.1 Principe 96

3.2 Betonsamenstelling 96

3.2.1 Granulaten 96

3.2.2 Cement 98

3.3 Uitvoering 98

3.3.1 Vakbekwaamheid 99

B4 Vertraagd uitwassen 101

4.1 Principe 102

4.2 Betonsamenstelling 103

4.3 Oppervlakteverhardingsvertragers 103

4.3.1 Als verflaag aangebracht op de bekisting 106

4.3.2 Verneveld op het verse beton 107

4.3.3 Op papier of film, aangebracht op de bekisting 107

4.4 Uitvoering 108

4.5 Alternatieve methodes 109

4.5.1 Storten in 2 fasen 109

4.5.2 Zandbed methode 110

4.5.3 Inwendig glijsysteem 110

4.5.4 Aggregate-transfer methode 111

B5 Polijsten 113

5.1 Principe 114

5.2 Betonsamenstelling 114

5.2.1 Granulaten 116

5.3 Uitvoering 117

5.3.1 Schuren 117

5.3.2 Eerste maal polijsten 117

5.3.3 Kitten 118

5.3.4 Fijn polijsten 118

5.3.5 Bescherming 118

5.4 Machines & materieel 121

5.4.1 Programmeerbare, automatische machines 122

5.4.2 Manuele toestellen 123

B6 Hameren 125

6.1 Principe 126

6.2 Betonsamenstelling 126

6.3 Uitvoering 127

6.3.1 Vakbekwaamheid 129

B7 Vlamstralen 131

7.1 Principe 132

7.2 Betonsamenstelling 133

7.3 Uitvoering 134

7.3.1 Vakbekwaamheid 135

B8 Splijten 137

8.1 Principe 138

8.2 Betonsamenstelling en uitvoering 138

B9 Recente ontwikkelingen 141

9.1 Inleiding 142

9.2 Fotogravure 142

9.3 Metaalprojectie 142

9.4 Fotokatalytisch TiO₂ 143

9.5 Ultra hoge sterkte beton 145

9.5.1 CRC 146

9.5.2 Ductal®	146
9.6 Translucent beton	147

C Casestudies 149

1 Inleiding	150
2 Schaulager	152
3 Kunstmuseum Liechtenstein	158
4 Psychiatrisch Ziekenhuis Yverdon	164
5 STUK	170
6 Universiteitsbibliotheek Utrecht	176
7 Experimenteel Beton	181

Referenties 188

Beeldreferenties 190

Inleiding

Vandaag is zichtbeton een in de architectuur veelvuldig toegepast en geapprecieerd materiaal. Het heeft echter in de tweede helft van de twintigste eeuw een evolutie doorgemaakt in de manier waarop het aangewend en aanzien werd.

Pas in de jaren zestig en zeventig wordt naakt beton als gevelafwerking voor het eerst op grote schaal toegepast, zowel in architecturaal uitdagende en vooruitstrevende projecten als in meer alledaagse bouwwerken. De in deze periode ontstane architectuurstijl van het Brutalisme is hiervan rechtstreeks afgeleid: “*béton brut*”, zoals Le Corbusier zijn voorkeursmateriaal beschreef. Aanvankelijk ging het vooral om onbehandeld beton, met als enige textuur deze van de bekisting waarin het gestort werd. Al snel werden oppervlaktebehandelingstechnieken ingezet om andere texturen van het betonoppervlak te verkrijgen.

Naar het einde toe van de twintigste eeuw kwam het behandelde beton wat in diskrediet in de architectuurwereld, ten voordele van het glad grijze beton. In de appartementenbouw en industriebouw daarentegen werden behandelde betonoppervlakken, zij het dan onder de vorm van geprefabriceerde elementen, als maar meer toegepast. Op het zelfde moment werd het glad grijze beton met de karakteristieke centerpenpatronen de standaard voor zichtbeton bij de avant-garde van de architectuurwereld.

Net zoals de trend van het glad grijze beton in jaren negentig gebaseerd was op een aantal inspirerende projecten, voornamelijk in Zwitserland en Japan, is er sinds het begin van de eenentwintigste eeuw een kentering gekomen in de manier waarop architecten omgaan met beton, dat opnieuw ingezet werd door een aantal markante projecten. Deze projecten doen meestal een beroep op de technieken voor het behandelen van het betonoppervlak die reeds bij het Brutalisme en nadien vooral in de ‘commerciële’ architectuur toegepast werden. Ze gaan echter verder door zeer specifieke eisen te stellen inzake betonsamenstelling en uitvoering, om zo tot een spectaculair resultaat te komen. Het is interessant op te merken dat veel van deze pioniersprojecten van de laatste jaren opnieuw terug te vinden zijn in Zwitserland.

Om tot een goed resultaat te komen bij het toepassen van zichtbeton zijn heel wat factoren belangrijk, zowel wat betreft betonsamenstelling als uitvoeringstechniek. Om tot een uitzonderlijk of spectaculair resultaat te komen is een goede basiskennis van deze factoren een minimumvereiste. Wanneer het gaat over een onbehandeld betonoppervlak, werd hierover reeds heel wat gepubliceerd; in België door Febelcem¹ en Febe² en in Nederland door het CUR³. Ook architecten zijn vandaag reeds vertrouwd met deze manier van uitvoeren en de randvoorwaarden die het met zich meebrengt.

1 *Federatie van de Belgische Cementnijverheid*

2 *Federatie van de Betonindustrie*

3 *Civiltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving*

De situatie is echter niet dezelfde wanneer het gaat over het behandelen van het betonoppervlak. Hier ligt de ervaring voornamelijk bij de prefabindustrie, waarbij verschillende behandelingsmethodes van het betonoppervlak uitgebreid gestandaardiseerd en deels geautomatiseerd werden. Aangezien deze manier van gebruik van beton in de architectuur vandaag terug aan een opmars bezig is, zowel geprefabriceerd als in situ, is het dus nuttig voor de geïnteresseerde architect om hierover een uitgebreide kennis te bezitten.

Deze studie is erop gericht de criteria te bespreken die van belang zijn om tot een goed resultaat te komen bij het toepassen van een behandeld betonoppervlak. Deze criteria zijn zowel van belang in de ontwerpfase, meer in het bijzonder wat betreft de betonsamenstelling, als in de uitvoeringsfase. De behandelde aspecten zijn zowel deze die algemeen geldend zijn als deze specifiek gerelateerd aan een bepaalde oppervlaktebehandelingstechniek. Andere technieken die het betonoppervlak niet bewerken maar toch een invloed hebben op het aspect van het betonoppervlak, zoals het gebruik van pigmenten of speciale bekistingsmallen, maakt hier ook deel van uit.

In laatste instantie wordt een aanzet gegeven, aan de hand van een aantal casestudies, van wat mogelijk is door creatief om te gaan met deze oppervlaktebehandelingstechnieken en de eraan gerelateerde criteria. Aangezien de invloed van de architect, en zijn kennis terzake, veel groter is wanneer het gaat om toepassingen in situ, zijn deze casestudies hierop gericht.

A1 Betonsamenstelling

- 
- [1] CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966
- [16] AAVV, Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006
- [19] APERS J., Het uiterlijk van beton, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000
- [21] ARQUIE G., TOURENQ C., Granulats, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Parijs, 1990, p. 78 - 91
- [26] BRANDT I., SCHOUENBORG B., Guidelines for Petrographical Micro-Analysis of Aggregates for Concrete, DTI, Taastrup, 1993
- [37] HUREZ M., Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Parijs, 2000
- [43] TAERWE L., Betontechnologie, Universiteit Gent
- [33] HAHN U., Farbiger Beton - die Natur hat den Zuschlag, in Betonwerk + Fertigteil-Technik, n°1, 1998, p. 78 - 88
- [30] DESMYTER J., VYNCKE J., WINNEPENINCKX E., Granulaten, in WTCB Tijdschrift, n°3, 2003, p. 50 - 68

1.1 Granulaten ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾⁽²⁶⁾⁽³⁰⁾⁽³³⁾⁽³⁷⁾⁽⁴³⁾

Granulaten worden beschreven aan de hand van een aantal kenmerken (soort, korrelmaat, korrelverdeling, fijnheidsmodulus, korrelvorm, wateropsorping, hardheid, onzuiverheden en alkali-reactiviteit). Bepaalde van deze kenmerken zijn bij een behandeld betonoppervlak in het bijzonder belangrijk, aangezien de granulaten hierbij zichtbaar worden aan het oppervlak.

Tabel A1.1 geeft een overzicht van in België regelmatig gebruikte granulaten voor architectonisch beton, met eigenschappen van de gesteenten waarvan ze afkomstig zijn.

1.1.1 Soorten ⁽¹⁶⁾⁽³³⁾

Men kan een eerste onderverdeling maken tussen fijne granulaten ($\emptyset < 2 \text{ mm}$) zoals rivierzand, groevezand of steengruis en grove granulaten ($2 \text{ mm} \leq \emptyset < 80 \text{ mm}$). Grove granulaten komen voor als grind of steenslag, ook soms respectievelijk benoemd als ronde en gebroken granulaten. De in België meest gebruikte granulaten zijn afkomstig van kwarts voor grind, porfier, kalksteen, kwarts, kwartsiet en zandsteen voor steenslag. Voor een behandeld beton met zichtbare granulaten wordt doorgaans echter gekozen uit een uitgebreider gamma aan steensoorten.

Het is belangrijk erop toe te zien dat de granulaten, gebruikt voor eenzelfde beton(oppervlak) in één project, constante eigenschappen vertonen. De beste garantie hiervoor is een voldoende grote voorraad te voorzien voor het hele project, met eenzelfde herkomst.

1.1.2 Korrelmaat ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽⁴³⁾

Aangezien de meeste granulaten een natuurlijk product zijn, zal men altijd te maken hebben met een mengsel van korrels met verschillende afmetingen. Een dergelijk mengsel wordt beschreven aan de hand van de korrelmaat; deze wordt bepaald door de verhouding d/D van de kleinste (d) en grootste (D) korrelafmeting. Voor gebruik in beton zal altijd een mengsel gebruikt worden van verschillende korrelmaten, van zowel fijne als grove granulaten.

De maximale korrelafmeting wordt bepaald door de afmetingen van het te storten element, de wapening en de betondekking. Dit om toe te laten dat alle korrels vrij kunnen bewegen tussen de wapeningstaven en tussen de wapening en het bekistingsoppervlak. Dit resulteert in volgende eisen:

- $D_{\max} \leq 0,2$ maal de kleinste afmeting van het te storten element
- $D_{\max} \leq 1$ maal de betondekking
- $D_{\max} \leq 0,75$ maal de kleinste tussenafstand van de wapeningstaven

1.1.3 Korrelverdeling ⁽¹⁶⁾⁽³⁰⁾⁽³³⁾

De korrelverdeling geeft een indicatie van de afmetingen van de granulaten die in een bepaalde korrelgradering terug te vinden zijn. De waarde van d en D wordt bepaald aan de hand van een granulometrische analyse. Voor het bepalen van d en D worden in de Europese norm twee reeksen zeven gedefinieerd; de basisset+1 en de basisset+2. Welke reeks van toepassing is wordt bepaald in de norm NBN 933-2:1996.

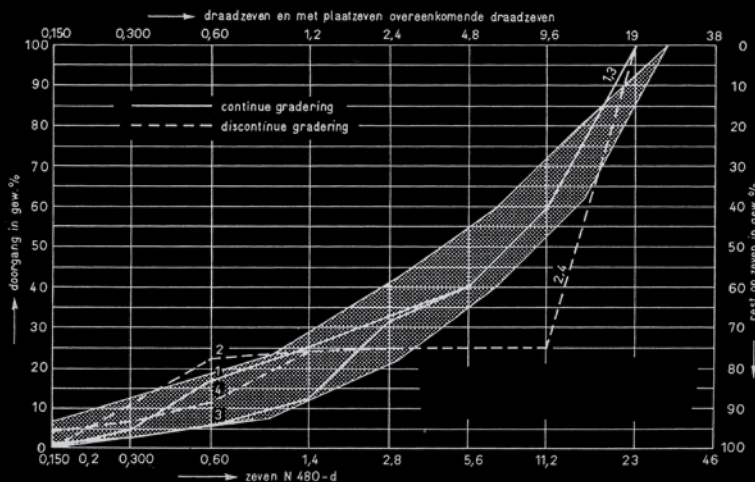
De granulaten worden gezeefd door de reeks zeven waarbij de zeef met de grootste opening zich bovenaan bevindt en deze met de kleinste opening onderaan. De korrels die op elke zeef blijven liggen (+ deze die door de laagste zeef vallen) worden gewogen.

Zeefrest R_i [g] = massa van de korrels op zeef i

Zeefrest R_i [%] = R_i [g] / M_i met M_i = de droge massa van de totale hoeveelheid granulaat

Gecumuleerde zeefrest $\sum R_i$ [%] = $\sum R_i$ [%]

Naargelang de oppervlaktebehandeling van het beton is eerder een continue of een discontinue korrelverdeling aangewezen: een continue korrelverdeling wordt aangeraden wanneer vooral de fijne granulaten zichtbaar worden zoals bij een zuurbehandeling of stralen (cfr. *B1 Zuurbehandeling*, *B2 Stralen*), een discontinue korrelverdeling wordt meestal toegepast wanneer de grove granulaten zichtbaar zijn zoals (vertraagd) uitwassen (cfr. *B3 Uitwassen*, *B4 Vertraagd uitwassen*). Bij een continue korrelverdeling zal de granulometrische curve een eerder lineair verloop vertonen (een grote variatie aan korrelafmetingen), bij een discontinue korrelverdeling zal de curve een meer getrapt verloop volgen (veel grote en kleine korrels, weinig afmetingen tussenin).



Afbeelding A1.1 - Granulometrische curves van een continue en discontinue korrelverdeling

1.1.4 Fijnheidsmodulus ⁽¹⁶⁾⁽³⁰⁾

Een hoog gehalte aan fijne deeltjes zal de watervraag van een betonmengsel doen toenemen voor eenzelfde water/cement-factor omwille van hun hogere relatieve specifieke oppervlakte (alle korrels worden met water omhuld). Deeltjes kleiner dan 0,150 mm hebben een minder belangrijke invloed op de watervraag aangezien zij tevens als smeermiddel werken. Een korrelverdeling met een hoog gehalte aan fijne deeltjes gaat echter ontmenging en waterafscheiding tegen en zal resulteren in een betonoppervlak met weinig kleurverschillen. Een laag gehalte aan fijne deeltjes zal meer kleurverschillen maar minder luchtblazen vertonen. De fijnheidsmodulus is een waarde die berekend wordt door de som te maken van de gecumuleerde zeefresten op de zeven met afmetingen 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm en deze som te delen door 100. ¹ Voor architectonisch beton wordt een fijnheidsmodulus M aangeraden van $1,9 \leq M \leq 2,8$. ²

1.1.5 Korrelvorm ⁽¹⁶⁾⁽³⁰⁾⁽³⁷⁾

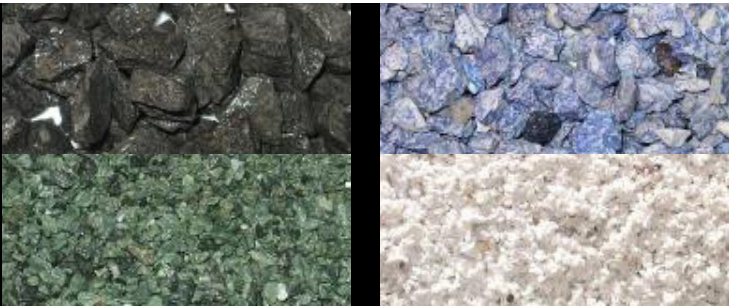
De korrelvorm geeft aan of de granulaten een equidimensionale of eerder platte vorm hebben. Deze eigenschap is vooral van belang bij behandelde betonoppervlakken, waarbij een groot deel van de grove granulaten zichtbaar is, zij het intact of doorgesneden (uitwassen, polijsten). Het is belangrijk granulaten met een platte vorm zoveel mogelijk te mijden aangezien deze een groot risico hebben om ontwricht te worden uit de cementmatrix bij de behandeling, waardoor holtes en onregelmatigheden ontstaan in het oppervlak. Dit hoger risico is te wijten aan het feit dat de platte granulaten de neiging hebben met hun lange kant tegen de bekisting te gaan liggen waardoor bij het wegnemen van de cementhuid weinig of geen aanhechting overblijft met de omliggende cementmatrix. Daarnaast heeft de korrelvorm ook nog invloed op het vloeigedrag en de verdichting van het onverharde beton. De korrelvorm van de grove granulaten wordt gedefinieerd aan de hand van de afplattingscoëfficiënt A . Voor het bepalen van de afplattingscoëfficiënt worden de fracties $d < 4$ mm en $D > 63$ mm uitgezeefd op een reeks staafzeven met een opening die de helft is van de, voor het bepalen van de korrelverdeling gebruikte, corresponderende plaatzeef.

$$A = 100 \cdot M_1 / M_2$$

Met M_1 de som van de zeefresten bij bepaling van de korrelverdeling, M_2 de som van de zeefresten bekomen met behulp van de staafzeven.

1 AAVV, *Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006, p. 82*

2 HUREZ M., *Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Parijs, 2000, p. 11, tabel 8*



Eigenschappen	Basalt, diabaas, dioriet, gabbro	Flint
Kleuren	blauw, grijs, zwart, groen, roze	wit, grijs, blauw, bruin, zwart
Korreltype	gebroken	gebroken
Werkelijke volumemassa ρ_s [kg/m ³]	2700 - 3000	1800 - 2650
Porositeit P [Vol %]	0,5 - 1,2	0 - 90,0
Wateropsorping W [Vol %]	0,2 - 0,4	0,3 - 25,0
Elasticiteitsmodulus E [N/mm ²]	70000 - 130000	-
Druksterkte [N/mm ²]	170 - 400	-
Hardheid [schaal van Mohs]	4 - 6	5 - 7
Opmerkingen		Sterke variatie in porositeit Sommige soorten potentieel alkali-reactief



Eigenschappen	Marmer, dolomiet	Porfier, Rhyoliet
Kleuren	wit, grijs, beige, bruin, geel, groen, zwart	rood, bruin, blauw, grijs, paars, geel, zwart
Korreltype	gebroken	gebroken
Werkelijke volumemassa ρ_s [kg/m ³]	2650 - 2850	2500 - 2800
Porositeit P [Vol %]	0,4 - 1,8	-
Wateropsorping W [Vol %]	0,3 - 1,1	0,2 - 0,7
Elasticiteitsmodulus E [N/mm ²]	50000 - 80000	20000 - 70000
Druksterkte [N/mm ²]	80 - 175	180 - 300
Hardheid [schaal van Mohs]	3 - 4	5 - 6
Opmerkingen		

*Graniet, Gneiss**Kwarts**Kalksteen*

wit, grijs, blauw, groen, geel, roze, rood

gebroken

2500 - 2800

0,4 - 1,5

0,2 - 0,5

10000 - 100000

160 - 230

5 - 7

wit, grijs, bruin, geel, beige

rond

2600 - 2800

0,4 - 1,5

0,2 - 0,5

30000 - 60000

160 - 230

5 - 7

Zeegrind kan onzuiverheden (chloriden, schelpdeeltjes, sulfaten) bevatten

wit, beige, grijs, geel, blauw, roze, bruin

gebroken

1500 - 2650

0,5 - 25,0

3,0 - 25,0

30000 - 40000

20 - 90

3 - 4

Structuur en mechanische eigenschappen kunnen sterk variëren

Kunnen aangetast worden door zuren

*Zandsteen, kwartsiet**Glas*

wit, geel, beige, roze, rood, grijs

rond of gebroken

2400 - 2700

1,0 - 5,0

1,3 - 2,0

8000 - 20000

30 - 145

2 - 7

Structuur en mechanische eigenschappen kunnen sterk variëren

wit, geel, groen, bruin, blauw,...

gebroken

2500

0

0

70000

400 - 900

6 - 7

Potentieel alkali-reactief

Enkel gecoate glaskorrels gebruiken

Tabel A1.1 - Overzicht van in België regelmatig gebruikte granulaten voor architectonisch beton, met eigenschappen van de gesteenten waarvan ze afkomstig zijn

Gegevens uit HAHN U., *Farbiger Beton - die Natur hat den Zuschlag*, in *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, n°1, 1998, p. 78 - 88; BRANDT I., SCHOUENBORG B., *Guidelines for Petrographical Micro-Analysis of Aggregates for Concrete*, Danish Technological Institute, Swedish National Testing and Research Institute, Taastrup, 1993; ARQUIE G., TOURENQ C., *Granulats*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1990, p. 78 - 91; HUREZ M., *Béton architectonique*, Techniques de l'ingénieur, Paris, 2000, p. 6, Tabel 3; BRESSON J., REBITZER C., *Les Traitements de Surface des Produit en Béton*, CERiB, Epéron, 1994, p. 57

De exacte meetmethode en categorieën voor de afplattingscoëfficiënt staan beschreven in de normen NBN EN 12620 en NBN EN 13242. Bij het toepassen van een oppervlaktebehandeling wordt de afplattingscoëfficiënt best beperkt tot $A \leq 20 (F_{l_{20}})^3$.⁴

1.1.6 Wateropslorping⁽¹⁶⁾⁽³⁰⁾⁽³⁷⁾

In eerste instantie is de wateropslorping van de granulaten belangrijk wat betreft de verwerkbaarheid en duurzaamheid van het beton. Deze heeft namelijk invloed op de water/cement-factor. Daarnaast is dit ook van belang bij een behandeld oppervlak, meer in het bijzonder inzake duurzaamheid en vervuiling, aangezien de granulaten rechtstreeks in contact komen met regen en vorst.

$$\text{Wateropslorping } W [\text{vol. \%}] = 1000 \cdot P / \rho_k$$

met porositeit P [vol. %] en werkelijke volumemassa ρ_k [kg/m³].

De wateropslorping van de granulaten wordt bij een behandeld betonoppervlak best beperkt tot $W \leq 1\%$.⁵

1.1.7 Hardheid⁽¹⁶⁾

De hardheid van de granulaten is voornamelijk van belang voor een gepolijst betonoppervlak. Harde granulaten zijn geschikt voor een hoogglans gepolijst oppervlak, terwijl zachte granulaten eerder geschikt zijn voor een mat gepolijst of geschuurd oppervlak.

De hardheid van de granulaten wordt meestal uitgedrukt volgens de schaal van Mohs. De Mohs hardheid van een vaste stof geeft op een schaal van 1 tot 10 aan hoe hard een materiaal is. De indeling van de schaal werd bepaald door de mogelijkheid van een materiaal om al dan niet een kras toe te brengen op een ander materiaal. De hoogste waarde is 10, die wordt toegekend aan diamant (met een diamant kan dus iedere andere stof gekrast worden). De laagste waarde is 1, wat overeen komt met talk. Courant gebruikte granulaten zoals kalksteen en kwarts hebben een hardheid van respectievelijk 3 à 4 en 5 à 7. De meeste granulaten voor gebruik in beton liggen hiertussenin.

3 'Flakiness index'

4 HUREZ M., *Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Parijs, 2000, p. 11, tabel 8*

5 HUREZ M., *Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Parijs, 2000, p. 11, tabel 8*

1.1.8 Onzuiverheden ⁽¹⁶⁾⁽³⁰⁾⁽³⁷⁾

Granulaten kunnen verschillende types onzuiverheden bevatten die schadelijk kunnen zijn voor de duurzaamheid of het uitzicht van het beton, in het bijzonder van belang bij een architectonisch beton.

Chloriden kunnen wapeningscorrosie veroorzaken en leiden tot een toename van kalkuitloging. Ze komen vooral voor in zeegrind (meestal onder de vorm van NaCl) en hun concentratie kan door een degelijk wasproces voldoende beperkt worden.

Een ander type onzuiverheden welke eveneens voornamelijk teruggevonden worden in zeegrind zijn schelpdelen. De aanwezigheid van schelpdelen in het beton vermindert de verwerkbaarheid en de vorstbestendigheid.

Sulfaten kunnen, wanneer ze in te grote concentraties aanwezig zijn in de betonsamenstelling, leiden tot ettringietvorming. Ettringietvorming is een expansief proces dat zich voordoet in het reeds verharde beton en vrij destructieve gevolgen kan hebben, met name een verspreid en vertakt scheurenpatroon aan het betonoppervlak. Het ontstaat bij de reactie van sulfaten (onder de vorm van Na_2SO_4 of MgSO_4) met de calciumaluminaten uit het cement. Sulfaten komen opnieuw voornamelijk voor in zeegrind.

Onzuiverheden zoals pyriet, steenkool, gips, mica, humus of andere organische materie in te grote hoeveelheden moeten zoveel mogelijk beperkt worden.

Meetmethodes en criteria voor het gehalte aan onzuiverheden in granulaten zijn opgenomen in de norm NBN EN 12620.

1.1.9 Alkali-reactiviteit ⁽¹⁶⁾⁽²⁶⁾⁽³⁷⁾

In bepaalde omstandigheden kunnen er chemische reacties optreden tussen in het beton aanwezige alkaliën en siliceuze granulaten (SiO_2), waarvan de structuur afwijkt van gewone kwartskorrels. De structuur is wanordelijker (cryptokristallijn) of ontbreekt (amorf), hetgeen niet het geval is bij gewone kwartskorrels (makro-kristallijn). De reactiviteit neemt toe naarmate de kristalliniteit afneemt. Door hun onregelmatige structuur hebben deze korrels een groter contactoppervlak met het alkalische poriënwater en dus een hogere reactiviteit. Het SiO_2 reageert met de alkaliën in het beton (Na_2O en K_2O) en de korrel wordt omgezet in een alkali-silicagel. Deze gel zal door absorptie van water expanderen en scheurvorming veroorzaken. Opdat er scheurvorming zou optreden, moet het beton zich in een vochtige omgeving bevinden (relatieve vochtigheid > 85% ⁶) zodanig dat de gel voldoende water kan absorberen.

Het kan ook gebeuren dat een zodanig grote hoeveelheid reactieve granulaten aanwezig is, dat de reactie op zoveel plaatsen tegelijk doorgaat, zodat overal slechts een kleine hoeveelheid reactieproduct (alkali-silicagel) gevormd wordt en dus een destructieve expansie optreedt.

De alkaliën kunnen intern in het beton aanwezig zijn, afkomstig uit de granulaten, cement,

aanmaakwater, toevoegsels of hulpstoffen of ze kunnen aangevoerd zijn van buitenaf, afkomstig uit dooizouten of zeewater.

De belangrijkste reactieve granulaten zijn voornamelijk en in dalende reactiviteit: glas, opaal (flint), chalcedoon (flint) en chert (flint).

Glaskorrels worden wel eens gebruikt als granulaat in een sierlaag van architectonisch beton. Het gaat hier om glaskorrels die gecoat worden om contact met de alkaliën in het beton te verhinderen.

1.2 Cement ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾⁽⁴³⁾

Tabel A1.2 Geeft een overzicht van in België geproduceerde cementen. Een cement wordt volgens de norm NBN En 197 gespecificeerd aan de hand van het cementtype, de normsterkteklasse ⁷ (32,5, 42,5 of 52,5) en de beginsterkteklasse ⁸ (N = normal, R = rapid) en bij een hoogovencement eventueel de aanduiding L (Low Strength). Bijvoorbeeld een portlandcement met normsterkteklasse 42,5 en een hoge sterkte op jonge leeftijd: CEM I 42,5 R.

In principe zijn al deze cementtypes geschikt voor gebruik in architectonisch beton, al dan niet met een behandeld betonoppervlak. Net zoals bij de granulaten is het echter belangrijk erop toe te zien dat eenzelfde cement (zowel qua type als fabrikant) gebruikt wordt voor eenzelfde beton in één project (of een deel van een project voor zover binnen één zichtvlak). Het belangrijkste verschil tussen de verschillende cementsoorten, voor toepassing in een architectonisch beton met een behandeld oppervlak, is de kleur: hoogovencement vertoont een lichtere grijskleur (met een lichte groene schijn, die na verloop van tijd verdwijnt) dan portlandcement. Voor een echt witte kleur moet men gebruik maken van wit cement.

De productie van wit cement gebeurt volgens een aantal strikte criteria

- Een strikte beperking van het gehalte kleurende oxiden zoals Fe_2O_3 , Cr_2O_3 en MnO_2 .
- Door de afwezigheid van Fe_2O_3 als smeltmiddel ligt de temperatuur van het sinterproces en de verblijfsduur hoger dan voor een gewoon cement.
- Het malen gebeurt in speciale kogelmolens met een keramische binnenbekleding en kogels om elke vervuiling met ijzerdeeltjes te vermijden.
- Wit cement ondergaat naast dezelfde kwaliteitscontrole als bij grijs cement, tevens een kleurcontrole.

⁷ De normsterkte van een cement is de drukweerstand volgens de norm NBN EN 196-1, gemeten na 18 dagen

⁸ De beginsterkte van een cement is de drukweerstand volgens de norm NBN EN 196-1, gemeten na 2 of 7 dagen

Type	Naam	Aanduiding	Klinker	Hoogovenslak	Kiezelachtig vliegias	Kalksteen	Nevenbestanddelen
I	Portlandcement	CEM I	95 - 100	-	-	-	0 - 5
II	Portlandvliegascement	CEM II / A-V	80 - 94	-	6 - 20	-	0 - 5
		CEM II / B-V	65 - 79	-	21 - 35	-	0 - 5
	Portlandkalksteencement	CEM II / A-L	80 - 94	-	-	6 - 20	0 - 5
	Portlandcomposietcement	CEM II / A-M	80 - 94	<	6 - 20	>	0 - 5
		CEM II / B-M	65 - 79	<	21 - 35	>	0 - 5
III	Hoogovencement	CEM III / A	35 - 64	36 - 65	-	-	0 - 5
		CEM III / B	20 - 24	66 - 80	-	-	0 - 5
		CEM III / C	5 - 19	81 - 95	-	-	0 - 5
V	Composietcement	CEM V / A	40 - 64	18 - 30	18 - 30	-	0 - 5

Tabel A1.2 - Overzicht van in België geproduceerde cementen met hun respectievelijke samenstelling
Uit ABC van Cement en Beton, Febelcem, Brussel (CD)

Deze specifieke criteria resulteren in een merkelijk hogere kostprijs van wit cement ten opzichte van grijs cement. Met uitzondering van de kleur zijn de eigenschappen van een wit cement identiek aan een zelfde type grijs cement.

1.3 Hulpstoffen en toevoegingen ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽⁴³⁾

Een belangrijk aspect bij het gebruik van eender welke hulpstof is dat het product geen invloed mag hebben op de uiteindelijke kleur van het verharde beton.

Hulpstoffen die van belang kunnen zijn voor het gebruik in een architectonisch beton zijn plastificeerders en superplastificeerders, die toelaten een zelfde verwerkbaarheid te behouden bij een lagere water/cement-factor; en verhardingsvertragers, meer bepaald onder de hoedanigheid van oppervlakte-verhardingsvertragers zoals toegepast bij vertraagd uitwassen (*cfr. B4 Vertraagd uitwassen*).

De dosering, gebruikswijze en doeltreffendheid van hulpstoffen varieert sterk naargelang de betonsamenstelling en het type product en de fabrikant. Daarom is het belangrijk steeds de aanwijzingen van de fabrikant te volgen. Voor het bepalen van het geschikte gehalte van een bepaalde hulpstof is het altijd aangewezen vooraf een proefstuk te maken.

Het toevoegen van polypropyleen vezels aan de betonsamenstelling is bij een architectonisch beton vooral aangewezen bij elementen met een complexe vorm of fijne profilering, zoals soms verkregen bij het gebruik van elastomeer structuurmatten (*cfr. A2 Bekistingen & mallen*), om beschadiging van deze fijne profileringen te vermijden. Ook bij het polijsten van geprofileerde elementen of elementen met scherpe hoeken worden polypropyleen vezels toegevoegd om beschadiging van de hoeken tijdens het polijsten te vermijden (*cfr. B5 Polijsten*).

1.3.1 *Plastificeerders* ⁽¹⁶⁾⁽⁴³⁾

Een plastificeerder laat toe, voor eenzelfde consistentie, het watergehalte - en dus de water/cement-factor - te verlagen of, voor eenzelfde watergehalte, de verwerkbaarheid te verbeteren. Deze producten hebben tevens een bindingsvertragend neveneffect. Producten aangewend als plastificeerder zijn lignosulfonaten, harszepen en zouten van gesulfoneerde koolwaterstoffen. De doeltreffendheid van plastificeerders neemt af met een toenemende omgevingstemperatuur.

De verlaging van het watergehalte bij gebruik van een plastificeerder levert volgende voordelen op: een grotere compactheid, een vermindering van de waterafscheiding en ontmenging, een verhoging van de duurzaamheid en een verhoging van de druksterkte. Daarnaast zal bij een overdosering een verhoogd luchtgehalte en vertraagde binding optreden.

Bij gebruik van plastificeerders die voldoen aan de norm NBN EN 934-2 moet het beton na 7 en 28 dagen 110% van de druksterkte van een referentiebeton, met dezelfde consistentie, bereiken. Het watergehalte bedraagt maximum 95% van het watergehalte van een referentiebeton, met dezelfde consistentie.

1.3.2 *Superplastificeerders* ⁽¹⁶⁾⁽⁴³⁾

Superplastificeerders hebben hetzelfde effect als plastificeerders, maar dan in sterkere mate. Producten aangewend als superplastificeerder zijn polycondensaten van gesulfoneerde melamine-formaldehyde, condensaten van gesulfoneerde naftaleenformaldehyde, vinylcopolymeren en polycarboxylethers.

Bij gebruik van superplastificeerders die voldoen aan de norm NBN EN 934-2 moet het beton na 1 dag 140% en na 28 dagen 115% van de druksterkte van een referentiebeton, met dezelfde consistentie, bereiken. Het watergehalte bedraagt maximum 88% van het watergehalte van een referentiebeton, met dezelfde consistentie.

1.3.3 *Verhardingsvertragers* ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽⁴³⁾

Naast de toepassing van oppervlakte-verhardingsvertragers bij een vertraagd uitgewassen betonoppervlak, laat het gebruik van een verhardingsvertrager in de massa toe stortnaden te vermijden, voor stortonderbrekingen van enkele uren tot 24 uur.

Een verhardingsvertrager, ook bindingsvertrager genoemd, stelt het begin van de binding of het begin van de verharding of beiden uit. Producten aangewend als verhardingsvertrager zijn lignosulfonaten, zouten van hydroxycarbozuren, natrium- en calciumgluconaten, koolstofhydraten en fosfaten.

Bij gebruik van verhardingsvertragers die voldoen aan de norm NBN EN 934-2 moet het beton na 7 dagen 80% en na 28 dagen 90% van de druksterkte van een referentiebeton bereiken. Het begin van de binding treedt 90 tot 360 minuten later op dan bij een referentiebeton.

1.3.4 Polypropyleen vezels ⁽¹⁶⁾

Het toevoegen van polypropyleen vezels vermindert in sterke mate de niet-structurele scheurvorming. Ze verminderen tevens het optreden van ontmenging en waterafscheiding. Daarnaast levert het gebruik van polypropyleen vezels een aantal voordelen op met betrekking tot het betonoppervlak: een hogere afslijtweerstand, een hogere weerstand tegen afbrokkelen en een lagere permeabiliteit. De dosering ligt doorgaans tussen 0,6 en 1 kg/m³ beton.

1.4 Randzone ⁽¹⁹⁾

Om te begrijpen op welke manier een oppervlaktebehandeling invloed heeft op het betonoppervlak is het belangrijk te weten waaruit dit oppervlak bestaat. De randzone net onder het oppervlak heeft namelijk andere eigenschappen dan de rest van de betonmassa. De dikte van deze zone bedraagt ongeveer de helft van de maximale korreldiameter. De belangrijkste oorzaak van dit verschil is het wandeffect: een minder dichte pakking van de granulaten langs het bekistingsoppervlak. Dit wandeffect impliceert dus dat de afmetingen van de korrels geleidelijk kleiner worden naarmate men de wand nadert. Dit betekent dat het oppervlak enkel uit de fijnste deeltjes bestaat. Ook het cementgehalte en het watergehalte stijgt naarmate men het oppervlak nadert.



Afbeelding A1.2 - Polypropyleen vezels

A2 Bekistingen & mallen

- 
- [1] CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966
 - [19] APERS J., Het uiterlijk van beton, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000
 - [20] ARNOLD P., The Art Of Texture In Concrete, in Concrete Products, Juli, 1986, p. 15 - 18, 42
 - [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994
 - [34] HEIN H., 7th Biennial Congress of the Glassfibre Reinforced Cement Association: Use of rubber moulds for surface detailing, GRCA, Maastricht, p. 301 - 311
 - [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002
 - [40] OUDE KEMPERS H., KÖHNE H., Schoon beton ... mooi werk. Leidraad voor projectspecificaties, uitvoering en beoordeling, ENCI, 's Hertogenbosch, 2001

2.1 Principe ⁽¹⁾⁽¹⁹⁾⁽³⁸⁾⁽⁴⁰⁾

Aan bekistingen en ontkistingsmiddelen worden een aantal eisen gesteld om een degelijk betonoppervlak te verkrijgen, onafhankelijk van welke oppervlakteafwerking men erop toepast. Het is in de eerste plaats de bekisting die de vorm, textuur en kleur van het betonoppervlak zal bepalen.

Ook in economisch opzicht verdient de bekisting bijzondere aandacht: een eenvoudige bekisting maakt ongeveer 30% uit van de kostprijs van een betonconstructie (3/4 van deze kost is het gevolg van de arbeid voor het stellen en ontkisten). Bij schoon beton, met een complexe vormgeving of profilering, kan dit oplopen tot meer dan 70% van de totale kostprijs!

Elke bekisting moet aan een aantal algemene basiseisen voldoen:

- Homogene kwaliteit: kleurverschillen van het betonoppervlak zijn het gevolg van het naast elkaar gebruiken van bekistingsmaterialen met een verschillend absorptievermogen. Een verschil in absorptievermogen kan het gevolg zijn van het gebruik van verschillende materialen of het zelfde materiaal, maar een verschillend aantal maal hergebruikt.
- Sterkte, stabiliteit en stijfheid: de bekisting moet voldoende stijf zijn om niet (merkbaar) te vervormen tengevolge de druk van de betonspecie of het trillen. Het vervormen van de bekisting kan leiden tot ontmenging, plaatselijke afwijkingen en kleurverschillen. Bij het trillen mogen geen grote amplitudeverschillen ontstaan over een bekistingsoppervlak of ter plaatse van naden tussen bekistingsoppervlakken.
- Waterdichtheid: lekken leiden tot grindnesten en kleurverschillen. Hiervoor moet men vooral aandacht besteden aan het dichten van naden (zowel plaatnaden als paneelnaden)

2.1.1 Naden ⁽¹⁾⁽¹⁹⁾⁽³⁸⁾⁽⁴⁰⁾

Naden in het bekistingsoppervlak kunnen vlak of geprofileerd uitgevoerd worden. Vlakke naden worden aan de buitenzijde afgesloten met een lat, een geprofileerde naad wordt aan de binnenzijde afgesloten met een lat. De naad zelf wordt waterdicht gemaakt met een schuimstofstrip. Een vlakke naad staat niet per definitie gelijk aan een onzichtbare naad: het kleinste waterlek zorgt voor de aftekening van de naad in het betonoppervlak. Bij het toepassen van een geprofileerde naad door middel van een profiellat in de bekisting moet de plaatsing en het patroon reeds in de ontwerpfase uitgewerkt worden. Het naden- en centerpennenpatroon kan dan op elkaar afgestemd worden.

Stortnaden zijn een bijkomend aandachtspunt bij ter plaatse gestort beton. Het is quasi onmogelijk een stortnaad vlak en onzichtbaar af te werken. Daarom is het aangewezen hier steeds gebruik te maken van een profiellat in de bekisting. Het is ook aangewezen net onder een

stortlat een rij centerpennen te voorzien. Op die manier kan de volgende bekisting verbonden worden via dezelfde centerpenopeningen. Ook hiermee moet rekening gehouden worden van in de ontwerpfase.

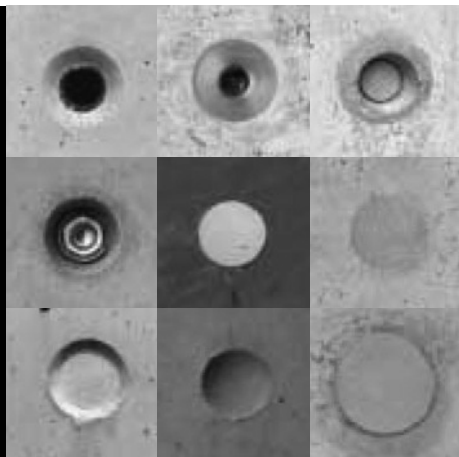
Ook hoeken van de bekisting moeten waterdicht afgewerkt worden. De eenvoudigste methode bestaat in het aanbrengen van een hoeklat in de bekisting. Wenst men een scherpe hoek dan moet de hoek afgeklemd worden aan de buitenzijde van de bekisting. Een dergelijke afwerking is moeilijk waterdicht te krijgen, en scherpe hoeken zijn ook veel gevoeliger voor beschadiging achteraf. Een goed alternatief voor het verkrijgen van een scherpe hoek is het gebruik maken van een profiellatje met een minimale afronding.

2.1.2 Centerpennen ⁽¹⁾⁽¹⁹⁾⁽³⁸⁾⁽⁴⁰⁾

Bij de bekisting van wanden in situ worden beide bekistingswanden doorgaans met elkaar verbonden door middel van centerpennen. Voor prefabelementen is dit niet het geval aangezien deze meestal horizontaal gestort worden.

De functie van deze centerpennen is enerzijds het opvangen van horizontale spatkrachten tengevolge van de speciedruk van het beton en anderzijds de afstand tussen de twee bekistingspanelen (en dus de wanddikte) constant houden. Indien men geen gebruik wenst te maken van centerpennen moet een zware externe achterconstructie zorgen voor de nodige stijfheid van de bekisting, wat meestal resulteert in grotere maatafwijkingen en een duurdere uitvoering. Het is dus van belang, indien mogelijk, van bij het ontwerp hiermee reeds rekening te houden en op een creatieve manier om te springen met dit constructief en economisch gegeven, door het centerpennenpatroon en de afwerking van de centerpenopeningen op te nemen in het totaalontwerp.

De stijfheid van de bekisting hangt dus voor een groot deel af van het centerpennenpatroon: hoe meer centerpennen, hoe lager de spanningen per pen. Aangezien de openingen ter plaatse van



vlhr, vbno

Afbeelding A2.1 - Overzicht van centerpenconusafwerkingen

zonder verdere afwerking, open
ingestorte RVS conus
kunststof dop, verdiept
stalen moer, verdiept
gelijmde RVS plaat, in het vlak
mortelvulling
mortelvulling, in het vlak
mortelvulling, verdiept
mortelvulling, hol verdiept
mortelvulling, met opgelegde rozet

de centerpennen altijd zichtbaar zullen blijven, is het belangrijk hiermee rekening te houden vanaf de ontwerpfase. Veelal wordt dit aangegrepen om door middel van een oordeelkundige plaatsing een bepaalde ritmiek te geven aan de wand. Indien men toch geen sporen van centerpennen wil zien moet er geopteerd worden voor een bekisting zonder centerpennen, aangezien een volledig onzichtbare afwerking van de centerpenconus onmogelijk is.

De afwerking van de centerpenconus zelf kan op een aantal verschillende manieren, zoals weergegeven in Afbeelding A2.1.

Bij het toepassen van een oppervlaktebehandeling op een in situ gestort beton, zal een centerpenafwerking in veel gevallen nog duidelijker contrasteren met het omliggende beton dan bij een niet behandeld betonoppervlak. Dit zal vooral problematisch zijn bij grote behandelddieptes en een ruw oppervlak (uitwassen, hameren). Daarom kan het in dit geval aangewezen zijn gebruik te maken van een achterconstructie om de speciedruk op te vangen, in plaats van centerpennen.

In de hoeken van de bekisting is het moeilijk om de krachten op te nemen met centerpennen. Daarom is een bijzondere detaillering in de hoeken nodig om te vermijden dat de bekisting opgeduwd wordt. De eenvoudigste oplossing is gebruik te maken van een hoeklat of kunststofstrip die in de bekisting wordt gelegd, wat echter wel een afgeschuinde hoek oplevert. Een scherpe hoek is moeilijker te realiseren.

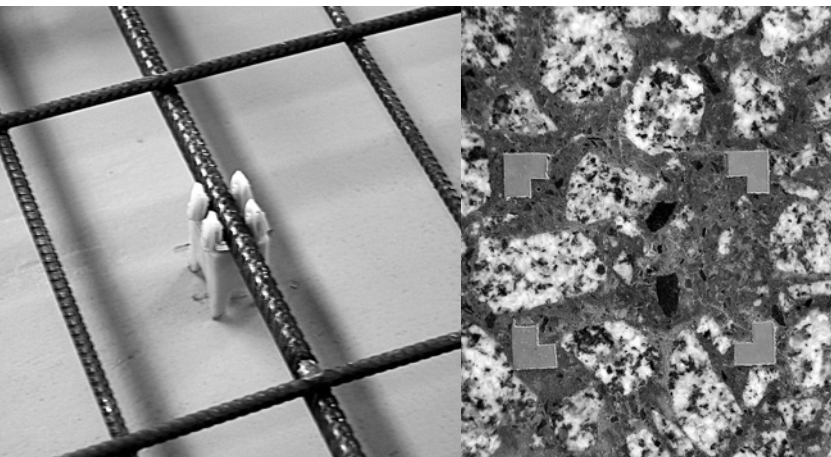
2.1.3 Afstandshouders ⁽¹⁾⁽¹⁹⁾⁽³⁸⁾⁽⁴⁰⁾

Om een constante betondekking van de wapening aan te houden wordt gebruik gemaakt van afstandshouders, die aan de wapening bevestigd worden en contact maken met de bekisting. Er is een grote diversiteit aan afstandshouders op de markt, zowel naar vorm als naar materiaal (kunststof, RVS, beton).

De meeste afstandshouders hebben een zo klein mogelijk contactoppervlak (punt- of bolvormig) met de bekisting, zodanig dat ze niet zichtbaar worden aan het betonoppervlak.

Voor in situ (buiten) toepassingen wordt de voorkeur gegeven aan RVS of beton afstandshouders, aangezien deze geen thermische spanningen veroorzaken met het omliggende beton. Voor prefab toepassingen worden meestal kunststof afstandshouders gebruikt. Bij gebruik van beton afstandshouders is het belangrijk deze 24 uur voor het storten met water te verzadigen om te vermijden dat ze water absorberen uit het verhardende beton en er krimp scheuren ontstaan rondom de afstandshouder. Het is ook belangrijk dat de betonsamenstelling van de afstandshouder dezelfde is als die van het omliggende beton.

Er moeten voldoende afstandshouders, en in een regelmatig patroon, geplaatst worden om de druk op elke afzonderlijke afstandshouders zoveel mogelijk te beperken. Een te hoge druk op een afstandshouder kan ervoor zorgen dat deze naar het oppervlak geduwd wordt en zichtbaar wordt aan het betonoppervlak. Hier moet in het bijzonder aandacht aan besteed worden wanneer (zachte) elastomeer structuurmatten gebruikt worden, aangezien een te hoge druk



vlhr

Afbeelding A2.2 - Kunststof afstandshouder voor het storten

Afbeelding A2.3 - Kunststof afstandshouder zichtbaar aan een gepolijst betonoppervlak (kleur benaderend)

het elastomeer materiaal snel zal indrukken. Om een overdreven aantal afstandshouders te vermijden, worden hier afstandshouders aangeraden met een groter contactoppervlak met de bekisting. Bij een behandeld betonoppervlak zal de keuze van de afstandshouders zeer belangrijk zijn, aangezien een deel van de afstandshouder onvermijdelijk aan het oppervlak zal komen te liggen. Hiervoor maakt men gebruik van beton of kunststof afstandshouders, vervaardigd in een kleur die de kleur van het behandelde betonoppervlak (cementmatrix + zichtbare granulaten) zoveel mogelijk benadert, en met een puntvormig contactvlak met de bekisting. In de praktijk is het nagenoeg onmogelijk afstandshouders in een benaderende kleur op te merken in een behandeld oppervlak. De keuze tussen kunststof of beton, en de exacte vorm van de afstandshouder, moet beoordeeld worden naargelang het soort oppervlaktebehandeling en de behandeldiepte. Zo is een beton afstandshouder geschikt voor een zuurbehandeld of gestraald oppervlak (de afstandshouder wordt op dezelfde manier aangetast als het omliggende beton, bij eenzelfde betonsamenstelling), maar niet voor een uitgewassen oppervlak (de afstandshouder wordt niet uitgewassen). Ook voor een gepolijst oppervlak is dit type afstandshouder niet geschikt aangezien deze geen grove granulaten bevat.

2.2 Ontkistingsmiddelen ⁽¹⁾

Door het vullen van micro-poriën en oneffenheden van het bekistingsoppervlak met cementsteen, ontstaat er een hechting tussen het beton en het bekistingsmateriaal. De bedoeling van ontkistingsmiddelen is dit te voorkomen door contact tussen het beton en de bekisting uit te sluiten door de vorming van een waterafstotend laagje op het bekistingsoppervlak. Kleurverschillen van het betonoppervlak ontstaan door verschillen in hechting tussen beton en bekisting. Daarom is het van belang het ontkistingsmiddel gelijkmatig en in een zo dun

mogelijke laag aan te brengen op de bekisting, om vlekken en verkleuringen te vermijden. Wanneer lucht niet kan ontsnappen in of doorheen het bekistingsmateriaal ontstaan er luchtblazen en zandstrepen langs het betonoppervlak. Ook wanneer de lucht kan ontsnappen langs het betonoppervlak zullen er zandstrepen ontstaan. De ernst van dit probleem hangt voor een groot deel af van het type ontkistingsmiddel, en kan verminderd worden door toevoeging van oppervlakte-actieve stoffen aan het ontkistingsmiddel, die een film vormen en het ontstaan van luchtblazen onderdrukken.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen zes verschillende types ontkistingsmiddelen (*cfr. Tabel A2.1*):

- 1 Zuivere olie, zonder toevoeging van oppervlakte-actieve stoffen: gelijkmatige kleur, meer kans op luchtblazen.
- 2 Zuivere olie, met toevoeging van een gecontroleerde hoeveelheid van een oppervlakte-actieve stof (ca. 2%, opgelet voor overdosering!): gelijkmatige kleur, weinig luchtblazen.
- 3 Water in olie-emulsie: olie is de continue fase en water wordt met behulp van een emulgator ¹ in opgeloste toestand gehouden. Het resultaat is een gelijkmatige kleur en weinig of geen luchtblazen (bij een uniforme verdeling van de emulgator).
- 4 Olie in water-emulsie: water is de continue fase en olie wordt met behulp van een emulgator in opgeloste toestand gehouden. Het resultaat is minder luchtblazen, maar sterke kleurverschillen en een poreus oppervlak.
- 5 Was, verf of lak op basis van olie of kunsthars, welke als coating of impregneermiddel worden gebruikt. Het resultaat is een gelijkmatige kleur, maar een toename van het aantal luchtblazen.
- 6 Chemische middelen op basis van organische zuren: door de reactie met het alkalische cement ontstaat aan het oppervlak een dunne film van onoplosbare kalkzouten. Deze zijn universeel toepasbaar, en de eigenschappen kunnen aangepast worden aan de eisen van de gebruiker.

¹ Een emulgator is een stof die zorgt voor de binding tussen stoffen die anders niet met elkaar binden, zoals olie en water. Deze stof bestaat meestal uit een hydrofiel en een lipofiel deel, waardoor het de water en olie met elkaar kan verbinden.

Type	Hechting	Luchtblazen	Kleurverschillen	Duurzaamheid Bekisting
Zuivere olie	vermindert	versterkt	vermindert	versterkt
Zuivere olie met oppervlakte-actieve stof	vermindert	vermindert	vermindert	versterkt
Water in olie-emulsie	vermindert	vermindert	vermindert	versterkt
Olie in water-emulsie	vermindert	vermindert	versterkt	versterkt
Was, verf, lak	vermindert	versterkt	vermindert	versterkt
Chemische middelen	vermindert	geen gegevens	geen gegevens	geen gegevens

Tabel A2.1 - Vergelijkend overzicht van de effecten van ontkistingsmiddelen
Gegevens uit CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966, p. 38, Tabel 2

2.3 Bekistingsmateriaal ⁽¹⁾⁽³⁸⁾

De keuze van het ontkistingsmiddel, en de ermee behaalde resultaten inzake kleurgelijkheid en luchtblaasvorming wordt in de eerste plaats bepaald door het absorberend karakter van het bekistingsmateriaal. Een absorberend bekistingsmateriaal (naaldhout, niet-gecoate multiplex) resulteert in een eerder donkere kleur, tengevolge van de daling in water/cement-factor en is aangewezen wanneer het vermijden van luchtblazen primeert over een gelijkmatige kleur. Een niet-absorberend bekistingsmateriaal (staal, kunststof, gecooate multiplex) resulteert in een lichtere kleur (geen daling water/cement-factor). Algemeen kan men stellen dat de luchtblaasvorming en kleurgelijkheid aan het betonoppervlak omgekeerd evenredig zijn met het absorptievermogen van de bekisting.

2.3.1 Naaldhout ⁽¹⁾⁽³⁸⁾

Bij het gebruik van naaldhout zijn kleurverschillen aan het betonoppervlak onvermijdelijk, enerzijds tengevolge van de verschillen in densiteit en absorptievermogen van de houtvezels en anderzijds door de aanwezigheid van organische bestanddelen die het verharderen van het cement kunnen verstoren.

Het is hier aan te raden geen ontkistingsmiddel te gebruiken, maar het hout volledig met water te verzadigen door het te besproeien of onder te dompelen. Op die manier worden kleurverschillen vermeden omdat geen verdere absorptie meer mogelijk is. Deze methode heeft als voordeel er tevens voor te zorgen dat het hout gaat zwellen, en de naden tussen de planken gedicht worden, en dat organische stoffen uit het hout verdund worden en hun invloed op het verhardingsproces grotendeels geneutraliseerd wordt.

2.3.2 *Multiplex* ⁽¹⁾⁽³⁸⁾

Voor niet-gecoate multiplex gelden dezelfde opmerkingen als voor naaldhout. Hierbij is het wel nuttig te vermelden dat het absorptievermogen stijgt met toenemende speciedruk, en daalt bij hergebruik. Dit kan leiden tot kleurverschillen bij hoge elementen waar een groot drukverschil tussen onder en boven bestaat. Het is ook aan te raden gebruik te maken van multiplexplaten van gelijke leeftijd zodat er geen te grote kleurverschillen bestaan tussen de bekiste oppervlakken.

Multiplex kan ook toegepast worden met een ontkistingsmiddel. Zoals eerder reeds aangegeven zal dit resulteren in een lichtere kleur en is de leeftijd van de platen minder van belang, maar zal de kans op luchtblaasvorming toenemen.

2.3.3 *Staal* ⁽¹⁾⁽³⁸⁾

Door zijn niet-absorberend karakter geeft een stalen bekisting aanleiding tot een gelijkmatige kleur, maar relatief veel luchtblaasvorming. Hierbij wordt meestal een ontkistingsmiddel gebruikt op basis van zuivere olie met een gecontroleerde hoeveelheid oppervlakte-actieve stof, aangezien deze de corrosie van het staal vermindert. Er ontstaat na verharding een dunne, onverharde cementfilm, die bij ontkisten achterblijft op de bekisting. Het resultaat is een betonoppervlak met een fijne porositeit en lichte kleur.

Indien men geen ontkistingsmiddel gebruikt ontstaat een donker, glad, cementrijk en dicht betonoppervlak, behalve daar waar aanhechting gebeurt met de bekisting, waar het betonoppervlak ruw en poreus is. Een stalen bekisting, zonder ontkistingsmiddel, kan slechts een drietal maal gebruikt worden vooraleer het betonoppervlak uitgesproken ruw wordt.

Daarom is het aangewezen om steeds een ontkistingsmiddel te gebruik. En daarenboven is een stalen bekisting relatief duur en enkel rendabel bij veelvuldig hergebruik.

2.3.4 *Kunststof* ⁽¹⁾⁽³⁸⁾

Het resultaat van een kunststof bekisting kan variëren van mat tot gepolijst glad. Hier wordt meestal aangeraden gebruik te maken van een ontkistingsmiddel op basis van een water in olie-emulsie. Verder gelden dezelfde opmerkingen als voor een stalen bekisting.

Bij het gebruik van rubberen structuurmatten in een bekisting, moet men vermijden ontkistingsmiddelen te gebruiken op basis van minerale oliën, om de duurzaamheid van het rubber te vrijwaren.

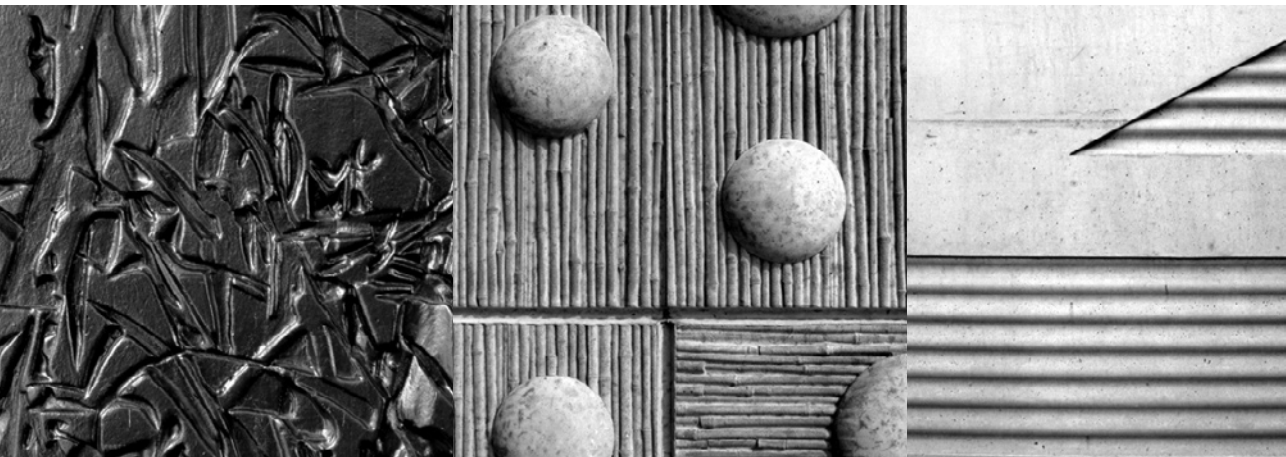
2.4 Bekistingsmallen ⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾⁽³⁴⁾

In de eerste plaats, vóór enige behandeling van het betonoppervlak, wordt de textuur van het betonoppervlak bepaald door de eigenschappen van de bekisting, meer bepaald de textuur en het absorptievermogen van het bekistingsoppervlak. Naast de veel voorkomende vlakke bekistingen is het ook mogelijk complexe vormen, patronen of profileringen te bekisten. Hiervoor kan men drie categorieën van bekistingsmethoden onderscheiden, namelijk traditionele bekistingen, bekistingen met een bekleding en bekistingsmallen.

Het gebruik van bekistingsmallen om een geprofileerd betonoppervlak te verkrijgen zal een invloed hebben op de betonsamenstelling, met name de korrelmaat van de granulaten. De afmetingen van de granulaten mogen niet te groot genomen worden ten opzichte van de afmetingen van de profilering van de bekistingsmal. Te grote korrels kunnen vast komen te zitten tussen de profileringen van de bekistingsmal, waardoor de korrel aan het oppervlak zichtbaar wordt en de mal op die plaats onvolledig gevuld is. Naarmate de profilering van de mal fijner en dieper is, zal deze eis inzake maximale korreldiameter strenger zijn. De maximale korreldiameter wordt doorgaans gespecificeerd door de fabrikant van de bekistingsmal.

2.4.1 Textuur en vorm met traditionele bekistingen ⁽²⁷⁾

Onder deze categorie vallen de traditionele bekistingen waarbij de textuur van het naakte bekistingsoppervlak zich aftekent op het betonoppervlak. De traditionele bekistingsmaterialen, zoals houten beplanking, multiplex en staalplaat, laten op zich reeds een vrij grote variatie in oppervlaktetextuur toe. Mallen, in staal of vezelversterkt polyester, zijn geschikt voor het bekisten van complexe vormen. Het gaat hier voornamelijk om series geprefabriceerde elementen zoals complexe gevelornamenten.



2.4.2 Textuur met bekledingen van de bekisting ⁽²⁷⁾

Het gaat hier om dunne soepele folies (film) die op het bekistingsoppervlak aangebracht worden, door het luchtledig zuigen ervan, zodat een uniform betonoppervlak verkregen wordt. Een andere mogelijkheid is het spannen van een absorberende bekleding (filter, vilt) over het bekistingsoppervlak. Door de hoge absorptie van de bekleding wordt een relatief ruw, mat betonoppervlak verkregen, vrij van luchtblazen.

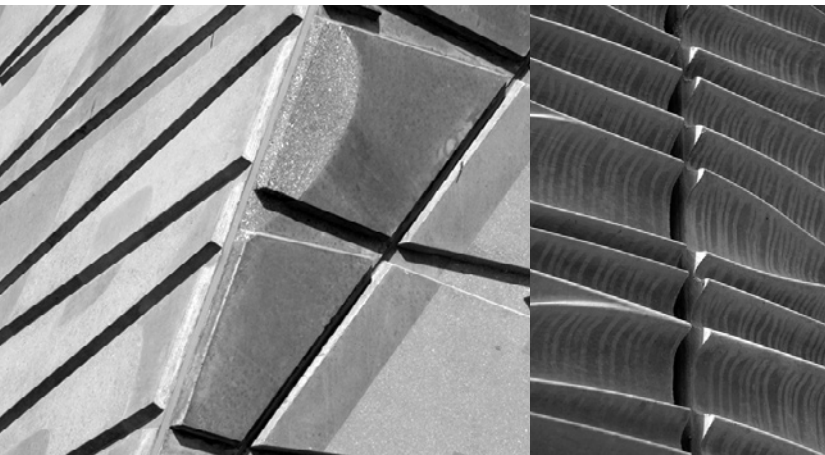
2.4.3 Textuur en vorm met bekistingsmallen ⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾

Bekistingsmallen kunnen op maat gemaakt worden of op catalogoog besteld worden. Veel standaardpatronen zoals baksteen-, natuursteen- of houttexturen zijn beschikbaar op catalogoog. Deze patronen worden vaak toegepast om andere, arbeidsintensieve en dus dure technieken te imiteren. Voorbeelden hiervan zijn plankenbekistingen, gehamerde of gebeitelde betonoppervlakken. Mallen op maat gemaakt laten quasi elke mogelijk vorm of patroon toe, met als enige beperking de creativiteit van de ontwerper.

De keuze van het materiaal voor de mal hangt vooral af van de mogelijkheid tot hergebruik en herhaling van het patroon en of er al dan niet gebruik gemaakt wordt van *undercuts* ².

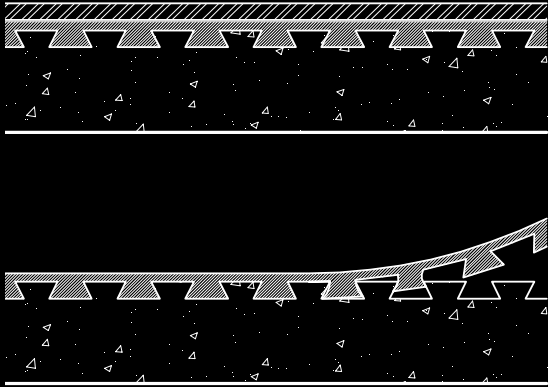
Het verschil in prijs met standaard patronen ligt enkel in een éénmalige kost voor het maken van de meestermal. Bij een groot hergebruik van dit patroon is deze meerkost te verwaarlozen t.o.v. deze van een standaardpatroon.

² Een undercut is een profilering van een bekistingsmal die verbreedt naar het beton toe, waardoor dit het ontkisten van de mal kan bemoeilijken en bij onvoorzichtigheid kan leiden tot beschadiging van het betonoppervlak.



vlnr

Afbeelding A.2.4, 5, 6, 7 & 8 -
Oppervlaktestructuren verkregen gebruik
makend van bekistingsmallen



Afbeelding A2.9 - Ontkisten van een elastische bekistingsmal met undercuts

2.4.4 Geëxpandeerd polystyreen (EPS) mallen ⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾

Dit type mallen is geschikt voor éénmalig gebruik. Ze zijn licht, stijf en laten het maken van quasi elke vorm toe. Het gebruik van een ontkistingsmiddel is absoluut noodzakelijk, en zelfs dan kan het moeilijk zijn de polystyreen mal van het beton te verwijderen (door het verbrokkelen van het polystyreen). Doorgaans wordt een chemisch ontkistingsmiddel gebruikt, wat resulteert in een ruw betonoppervlak, of bekleed met een film, wat een glad oppervlak oplevert. De mal wordt gekleefd of genageld op de bekisting. Uiteraard moet men dezelfde zorg besteden aan het dichten van de naden tussen de mal, als bij een gewone bekisting, om te vermijden dat cementmelk achter de mal lekt. De afmetingen van dergelijke mallen variëren tussen 1,25 en 2m². Door hun eenmalig gebruik en hoge kostprijs zijn ze niet geschikt voor het uitvoeren van grote oppervlaktes, zeker wanneer het gaat om repetitieve patronen.

Er bestaat tevens hoge densiteit geëxpandeerd polystyreen ($> 80 \text{ kg/m}^3$). In normale omstandigheden, en in combinatie met een ontkistingsmiddel kan een dergelijke mal een tiental maal gebruikt worden. De kostprijs ligt echter zo'n 2 à 3 maal hoger als deze van een polystyreen mal voor éénmalig gebruik.

2.4.5 Harde mallen (glasvezel polyester, ABS ³, PVC) ⁽²⁰⁾

Deze mallen laten gemiddeld een tiental hergebruiken toe. Ze zijn niet geschikt voor complexe vormen of patronen, vooral wanneer er *undercuts* in verwerkt zitten. Dit type mallen wordt gefabriceerd door middel van extrusie of vacuümvormen. Geëxtrudeerde mallen laten enkel lineaire patronen toe, vacuümgevormde mallen laten complexere patronen toe. Bij dit type mallen wordt meestal gebruik gemaakt van standaardpatronen om andere bekistingen of

3 Acrylonitril Butadien Styreen. Wordt o.a. gebruikt in autobumpers en LEGO® blokjes.

bewerkingen na te bootsen (naaldhout, gebeiteld, gehamerd,...). Het voordeel is een lagere kostprijs en kortere uitvoeringstijd, het resultaat is meestal een weinig realistische en esthetische imitatie. Daarenboven zijn deze harde mallen relatief broos en moeilijk te herstellen. Dergelijke mallen worden meestal door de fabrikant geleverd op een multiplex achterplaat. De platen overlappen 1 à 2 mm waardoor de voegen dicht geduwd worden bij de plaatsing van de platen. Het gebruik van een ontkistingsmiddel is noodzakelijk. De aankoopprijs per m² ligt zo'n 4 maal hoger dan deze van polystyreen mallen.

2.4.6 Gelamelleerde MDF of Multiplex mallen ⁽²⁰⁾

Deze methode bestaat erin MDF of multiplex mallen op elkaar te verlijmen en vervolgens met behulp van computergestuurde freestoestellen een patroon of vorm uit te frezen, en achteraf glad te schaven en eventueel te vernissen naargelang het gewenste resultaat. Vervolgens wordt de mal behandeld met een hars om deze waterdicht en niet-absorberend te maken en te verduurzamen. Deze techniek is geschikt voor complexe vormen en laat een hergebruik toe van 10 tot 30 maal. Aangezien het maken van deze mallen relatief arbeidsintensief en duur is, worden ze enkel gebruikt voor plaatselijke toepassingen.

2.4.7 PVC elastomeer mallen ⁽²⁰⁾

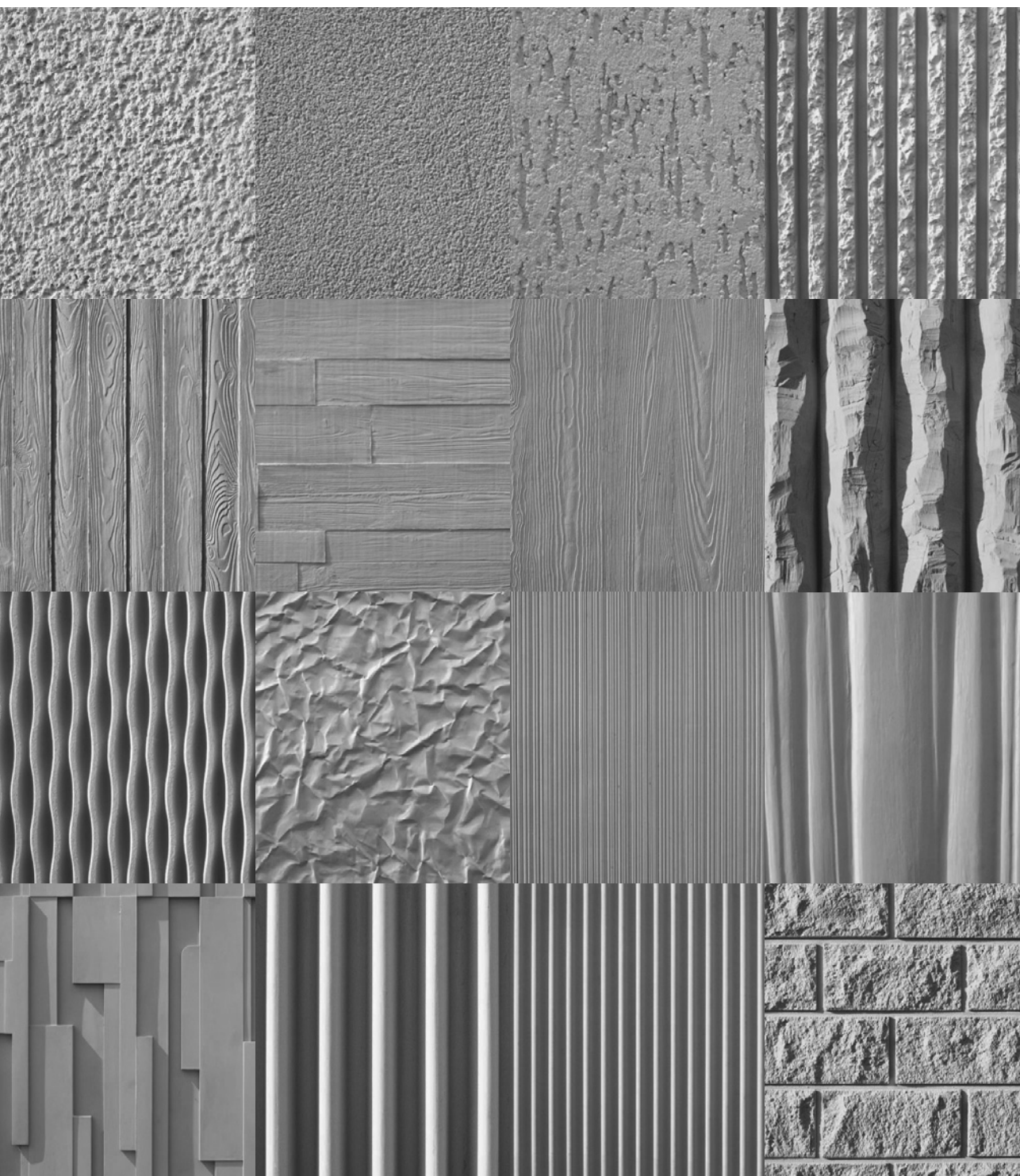
Deze elastische mallen kunnen tot 100 maal hergebruikt worden. Het elastisch gedrag laat ook toe de mal gemakkelijk te verwijderen van het verhard beton, zelfs bij een patroon met *undercuts*. Dit type mal is uitermate geschikt voor het reproduceren van complexe patronen met zeer fijne detaillering. Het gebruik van ontkistingsmiddelen is niet noodzakelijk, maar wel aan te raden voor een maximale levensduur van de mal. De voegen tussen de mallen worden gedicht door de randen van beide panelen samen te smelten met een heteluchtpistool. De aankoopprijs per m² ligt zo'n 10 maal hoger dan deze van polystyreen mallen.

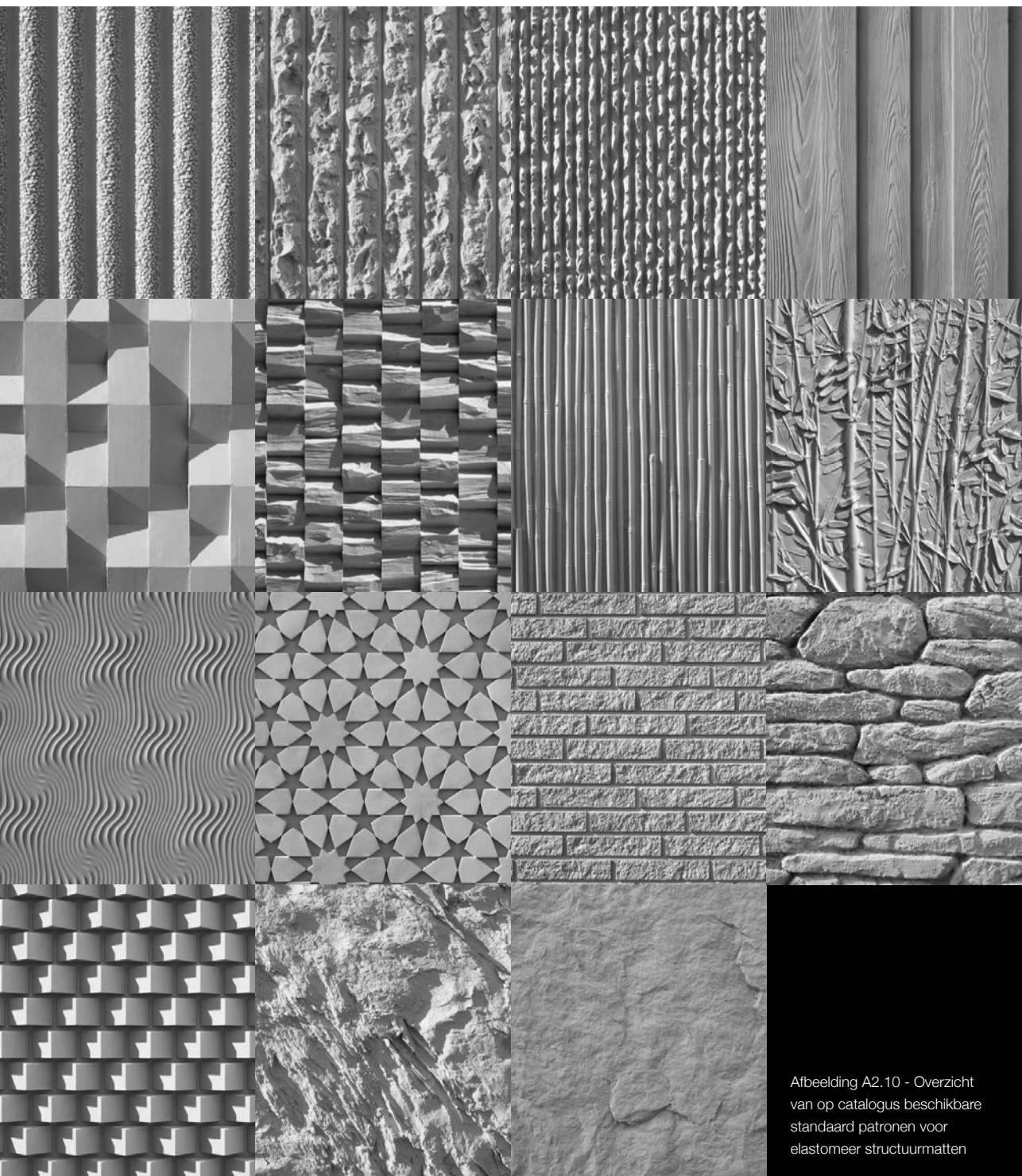
2.4.8 Polyurethaan elastomeer mallen ⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾⁽³⁴⁾

Elastomeren op basis van polyurethaan vertonen vele voordelen waardoor ze uiterst geschikt, en zeer veel gebruikt worden voor het vervaardigen van bekistingsmallen: mogelijkheid tot verkrijgen van fijne en nauwkeurige vormen, een krimpvrije uitharding, grote elasticiteit, hoge breukrek, UV-bestendigheid, hoge thermische stabiliteit en slijtvastheid.

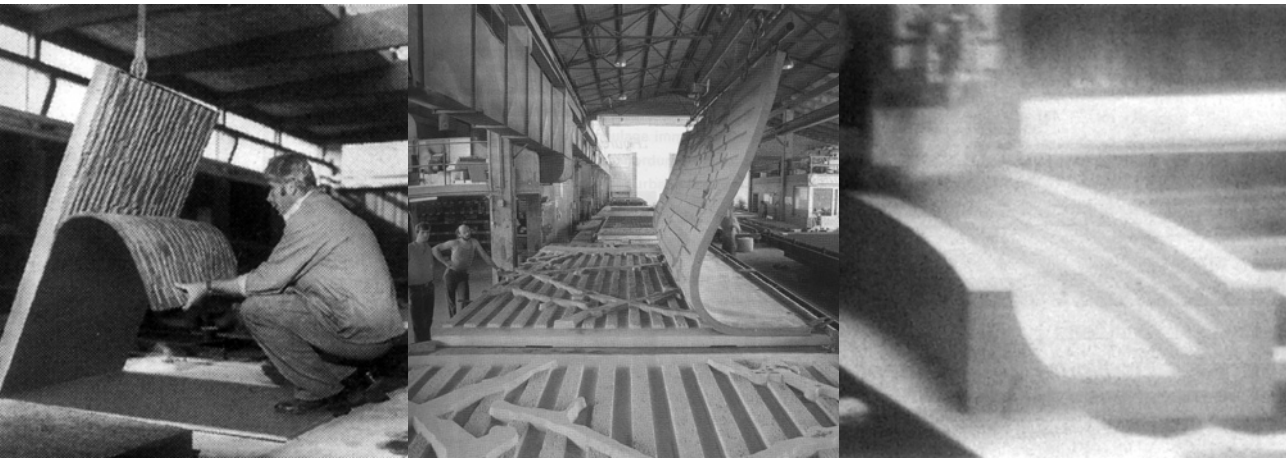
Het polyurethaan elastomeer kan variëren in hardheid van zacht elastisch tot hard flexibel. Voor een mal met sterke *undercuts* is een eerder zachte mal aangewezen, voor grote verticaal geplaatste mallen zal een harde mal een vlottere uitvoering toelaten.

De graad van hergebruik is ongeveer dezelfde als deze van PVC elastomeer mallen (80 à 100 maal). Deze mallen bestaan in een zeer grote variatie van patronen en formaten (standaard tot 3x7m). Dergelijke mallen, ook wel structuurmatten genoemd, worden geleverd op rol of





Afbeelding A2.10 - Overzicht
van op catalogus beschikbare
standaard patronen voor
elastomeer structuurmatten



als platte vellen bij diktes van meer dan 20mm. Ze worden gekleefd op de bekisting (vnl. voor dunne structuurmatten) of bevestigd met bouten welke ingewerkt zijn in de dikte van de mal. Beschadigingen aan de mal kunnen worden hersteld met een speciaal voor polyurethaan geschikte filler, waardoor na een wachttijd van ca. 1 uur de mal terug klaar is voor gebruik.

In tegenstelling tot PVC elastomeer mallen moet hier wel steeds een ontkistingsmiddel gebruikt worden, meestal door vernevelen omwille van de profilering van de mal. De aankoopprijs is ongeveer dezelfde als die van PVC elastomeer mallen, maar kan sterk variëren naargelang de dikte – en dus de hoeveelheid materiaal – van de mal. Voor structuurmatten met een grote dikte wordt ook wel gebruik gemaakt van polyurethaanschuim, wat resulteert in een lager gewicht en kostprijs.

Er bestaat een groot aantal standaard patronen (> 100) in dit type mal, met reliëfdieptes variërend van 1 tot 150mm. Deze mallen kunnen geleverd worden in groottes van 1 tot 40m². Bij grote reliëfdieptes zal vaak gebruik gemaakt worden van lichte elastomeren, en eventueel van fillermaterialen (anorganische, droge materialen zoals kwartszand, leiesteenstof of kalksteenstof) om respectievelijk gewicht en kostprijs te verminderen.



vlnr

Afbeelding A2.11 & 12 - Ontkisten van prefab panelen, gestort in een elastische bekistingsmal

Afbeelding A2.13 - Uittrezen van gelamelleerde MDF mal

Afbeelding A2.14 & 15 - Toepassing en textuur van een op maat gemaakte polyurethaan structuurmat voor 'fotogravure'

2.4.9 Fotogravure

De mogelijkheid van polyurethaan elastomeer structuurmatten tot het maken van zeer fijne profileringen of texturen wordt hierbij ten volle benut. Een digitale afbeelding wordt omgezet in een monochroom lijnenpatroon, waarvan de dikte varieert naargelang de helderheid op een bepaalde plaats van de afbeelding. Dit lijnenpatroon wordt uitgefreesd uit een houten mal die vervolgens zal dienen als negatieve mal voor de structuurmat (op zich het negatief van de uiteindelijke textuur van het betonoppervlak).

Dit lijnenpatroon kan tot de gewenste schaal vergroot worden, weliswaar beperkt tot de maximale productieafmetingen van de polyurethaan elastomeer mallen. Voor zeer grote toepassingen kan de afbeelding opgesplitst worden en uitgevoerd in verschillende naast elkaar geplaatste structuurmatten.

Deze techniek is een alternatief voor fotogravure door middel van oppervlakteverhardingsvertragers (*cfr. B4 Vertraagd uitwassen, B9 Recente Ontwikkelingen / 9.2 Fotogravure*).

A3 Couleur

- [5] Gekleurd Beton, in Betoniek, n°8/12, 1990, p. 1 - 8
- [9] Lasures béton: comment jouer avec les couleurs, in Les cahiers Techniques du Batiment, n°232, 2003, p. 75 - 79
- [12] The Colouring of Concrete: Processing Instructions, Lanxess, Krefeld, 2006
- [33] HAHN U., Farbiger Beton - die Natur hat den Zuschlag, in Betonwerk + Fertigteil-Technik, n°1, 1998, p. 78 - 88
- [35] HODSON R., KUSHNER D., Ingredients, Texture, and Integrally-colored Concrete, in Concrete International, n°9, 1992, p. 21 - 25
- [37] HUREZ M., Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Paris, 2000
- [42] TACK J., Gekleurd beton, De Nayer Instituut, Sint-Katelijne-Waver, 1999
- [44] VON SZADKOWSKI G., Bewitterung von farbigem Beton, in Betonwerk + Fertigteil Technik, n°11, 1991, p.50 - 62
- [48] ZIMMER J., Fabrication de béton coloré et noir conforme aux objectifs, in Préfa Béton International, n°5, 2005, p. 100 - 111

3.1 Pigmenten ⁽¹²⁾⁽³³⁾⁽³⁵⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁸⁾

Het in de massa kleuren van beton gebeurt door het toevoegen van pigmenten aan het betonmengsel. De pigmentdeeltjes omringen de cementkorrels waardoor het zand en de grove granulaten worden gevat in een gekleurde cementmatrix. De pigmentdeeltjes zitten fysisch verankerd in de gelporiën en capillaire poriën van de gehydrateerde calciumsilicaat matrix. Om geschikt te zijn voor het gebruik in beton, moeten de gebruikte pigmenten een aantal eigenschappen bezitten om een goed en duurzaam resultaat te verkrijgen:

- onoplosbaar in water,
- zuurbestendig (vooral belangrijk bij een eventuele zuurbehandeling van het oppervlak),
- alkalibestendig (alkalisch milieu van het beton),
- lichtecht en UV-bestendig,
- weersbestendig,
- geen invloed hebben op de eigenschappen van het beton,
- een groot kleurend vermogen bij een zo laag mogelijke dosering.

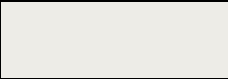
Synthetisch geproduceerde metaaloxiden voldoen aan al deze eisen, en zijn daarom uitermate geschikt voor het kleuren van beton. Er bestaan hierop een aantal uitzonderingen (chroom geel, lood wit, lood rood, cadmium rood,...) die niet bestand zijn tegen een alkalisch milieu. Sommige hiervan zijn vandaag trouwens verboden vanwege de milieu- en gezondheidsrisico's eraan verbonden. Natuurlijke anorganische pigmenten zijn te vermijden, aangezien de korrelgrootte – en dus de kleur – steeds varieert.

Organische pigmenten zijn meestal niet geschikt voor het gebruik in beton, aangezien deze geen duurzame kleur garanderen en ook een invloed kunnen hebben op de eigenschappen van het beton. Een uitzondering hierop is Carbon Black, dat gebruikt wordt in beton omwille van de intense zwarte kleur en hoog rendement (quasi 100% van het licht wordt geabsorbeerd), wat met een metaaloxide pigment niet kan bereikt worden. Aangezien de hechting met het cement minder goed is dan bij metaaloxide pigmenten, zal de intense kleur echter snel vervagen.

Tabel A3.1 geeft een overzicht van de belangrijkste metaaloxide pigmenten.

Kleur	Chemische formule	Triviale naam
Wit	TiO ₂	Titaandioxide
Groen	Cr ₂ O ₃	Chroomoxide groen
Blauw	CoAl ₂ O ₄	Kobalt Blauw
Rood	Fe ₂ O ₃	IJzeroxide rood
Geel	FeOOH	IJzeroxide geel
Zwart	Fe ₃ O ₄	IJzeroxide zwart
Bruin	Mengeling van Fe ₂ O ₃ of FeOOH met Fe ₃ O ₄	IJzeroxide bruin

Tabel A3.1 - Overzicht van de belangrijkste metaaloxide pigmenten

Portlandcement	Hoogovencement	Wit cement	
			Ongepigmenteerd
			Titaan A ® (Titaan wit)
			Bayferrox ® 330 (IJzeroxide zwart)
			HS 16825 (Carbon Black)
			Bayferrox ® 610N (IJzeroxide bruin)
			Bayferrox ® 920 (IJzeroxide geel)
			Bayferrox ® 960 (IJzeroxide geel)
			Bayferrox ® 130 (IJzeroxide rood)
			Bayferrox ® 180 (IJzeroxide rood)
			Kobalt LB 100 ® (Kobalt blauw)
			Chrome Oxide Green GN ® (Chroomoxide groen)

Tabel A3.2 - Indicatief kleurenpalet van de combinatie van verschillende pigmenten met constante dosering, met portlandcement, hoogovencement en wit cement

Gegevens uit OUDE KEMPERS H., KÖHNE H., Schoon beton ... mooi werk. Leidraad voor projectspecificaties, uitvoering en beoordeling, ENCI, 's Hertogenbosch, 2001, p. 38 - 39

3.1.1 Kleur en intensiteit ⁽¹²⁾⁽³³⁾⁽³⁵⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁸⁾

De basiskleur van een pigment wordt bepaald door de chemische samenstelling ervan, weergegeven in Tabel 2. De intensiteit van de uiteindelijke kleur van het beton wordt bepaald door de vorm en grootte van de pigmentkorrels en de hoeveelheid pigment toegevoegd aan het betonmengsel.

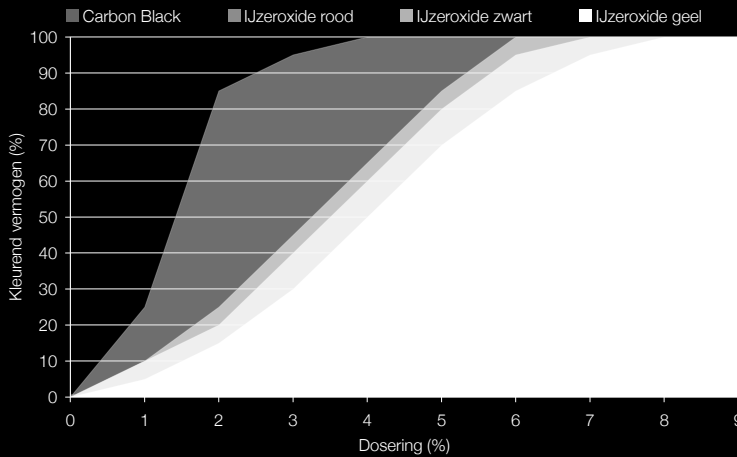
De deeltjesgrootte van pigmentkorrels is meestal kleiner dan 1 µm, wat slechts een tiende is van de afmeting van cementkorrels. Dit is de reden waarom deze pigmenten een zeer sterk kleurend vermogen hebben, en dus slechts in kleine hoeveelheden dienen gebruikt te worden om de overheersende kleur van het beton te bepalen. Fijnere korrels zullen een wat gele schijn aan de gebruikte kleur geven, grovere korrels een blauwe schijn ¹.

Het kleurend vermogen van een bepaalde pigmentsoort wordt in belangrijke mate bepaald door de afmetingen van de korrels; zo zal een Carbon Black pigment een kleurend vermogen vertonen dat gemiddeld 3 maal hoger ligt dan dat van een ijzeroxide zwart pigment, en dit omwille van de veel kleinere afmetingen van de korrels; kleinere korrels zullen voor een zelfde volume een veel grotere totale manteloppervlakte hebben (1 kg Carbon Black bevat 3 maal meer korrels als 1 kg ijzeroxide zwart).

De meeste pigmentdeeltjes zijn kubisch of bolvormig, met uitzondering van ijzeroxide geel, die naaldvormig zijn. Deze naaldvormige korrels zullen minder dicht bij elkaar zitten dan kubische of bolvormige korrels, waardoor het gebruik van een geel pigment een toename in watergebruik vergt die 3 à 4 maal hoger ligt dan voor een andere pigmentsoort.

De intensiteit van de uiteindelijke kleur van het beton wordt verder nog bepaald door het toegevoegde pigmentgehalte. De intensiteit van de kleur neemt toe naarmate meer pigment toegevoegd wordt; echter wel binnen minimum en maximum grenzen. Indien te weinig pigment toegevoegd wordt, resulteert dit niet zomaar in een minder intense kleur, maar zullen er kleurverschillen optreden aangezien niet alle cementkorrels omgeven zijn door pigment. Bij een bepaalde bovengrens zullen alle cementkorrels volledig met pigment omgeven zijn en zal dus een verzadiging optreden (verschillend naargelang de pigmentsoort). Verdere toevoeging van pigment heeft geen nadelig effect op het resultaat, maar is compleet zinloos. Het is echter wel voordelig een dosering dicht bij het saturatiegehalte toe te passen, omwille van de intensere maar ook meer constante kleur: fluctuaties in dosering hebben minder invloed op

¹ Licht dat op een oppervlak valt, is wit licht. Als het oppervlak bestanddelen van het invallende licht absorbeert, ontbreken bepaalde golflengten in het gereflecteerd licht. Dit gereflecteerd licht wordt dan als gekleurd waargenomen. Zo zal bijvoorbeeld het oppervlak rood kleuren indien het alle stralen uit het lichtspectrum absorbeert op die met een golflengte tussen 660 en 760 millimicron na. Voor oranje ligt dit tussen 610 en 660, geel tussen 560 en 610, groen tussen 510 en 560 en blauw minder dan 510. (APERS J., *Het uiterlijk van beton*, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000, p. 4)



Tabel A3.3 - Verhouding dosering /
kleurend vermogen van een aantal
pigmentsoorten
*Gegevens uit ZIMMER J., Fabrication
de béton coloré et noir conforme aux
objectifs, in Préfa Béton International, n°5,
2005, p. 10*

het kleurend vermogen.

De efficiëntie van een pigment kan dus gedefinieerd worden als zijn kleurend vermogen bij een bepaalde dosering. Een groot kleurend vermogen of verzadiging bij een lage dosering wijst dus op een efficiënt pigment. Hiermee moet men rekening houden bij de beoordeling van de kostprijs van een bepaald pigment: een efficiënt pigment is doorgaans duurder in aankoop, maar de benodigde hoeveelheid zal lager liggen.

Voor de meeste pigmenten wordt een pigmentgehalte van 3 – 7% (t.o.v. de cementhoeveelheid) aanbevolen om een volledige kleuring te verkrijgen.

Aangezien pigmenten vrij dure producten zijn, is een nauwkeurige dosering, naargelang het gewenste resultaat, erg belangrijk. Er zijn ook grote prijsverschillen tussen de verschillende pigmenten: de prijs van kobalt blauw ligt ongeveer 60 maal hoger dan die van ijzeroxide rood.

Binnen een bepaalde pigmentsoort zijn er verschillende kleur- en kwaliteitsgradaties. Bepaalde types realiseren een zelfde kleurend vermogen met een lager pigmentgehalte, deze hebben dan ook een hogere kostprijs, waardoor men een prijs/kwaliteit afweging kan maken.

Het is ook belangrijk erop te wijzen dat de verschillende pigmentensoorten niet met elkaar mogen gemengd worden. Aangezien elk pigment een andere korrelgrootte heeft, zal een mengsel altijd kleurschakeringen vertonen. Indien een beton met kleurschakeringen een gewenste architecturale esthetiek is, kan dit echter wel een geschikte methode zijn om een dergelijk resultaat te bereiken.

Binnen een bepaalde pigmentsoort is het mogelijk om verschillende pigmenten, met vergelijkbare korrelgroottes, met elkaar te mengen (bijvoorbeeld ijzeroxide rood met ijzeroxide zwart). Het is echter niet aan te raden, aangezien fabrikanten doorgaans reeds een vrij uitgebreid gamma aan kleurnuances aanbieden binnen één pigmentsoort.

3.1.2 Zwart ⁽⁴⁸⁾

Een volledig zwart oppervlak moet 100% van het invallende licht absorberen, net zoals een volledig wit oppervlak 100% van het invallende licht reflecteert.

Zoals eerder aangehaald bestaan er zowel zwarte pigmenten op basis van ijzeroxiden (ijzeroxide zwart) als op basis van koolstof (Carbon Black). Door de kleine korrelgrootte bezit een Carbon Black pigment een kleurend vermogen dat ongeveer 3 maal hoger ligt dan dat van ijzeroxide zwart.

Om een betonoppervlak met een diep zwarte kleur te realiseren is een Carbon Black pigment dus meer aangewezen. Testen² hebben echter uitgewezen dat bepaalde Carbon Black pigmenten sneller hun kleurintensiteit verliezen bij atmosferische blootstelling dan ijzeroxide zwart pigmenten. Algemeen wordt gesteld dat de kleurintensiteit toeneemt met afnemende pigmentkorrelgrootte, terwijl de kleurstabiliteit afneemt met afnemende pigmentkorrelgrootte. De verklaring hiervoor ligt bij het feit dat grotere korrels beter mechanisch vastgehouden worden in het netwerk van gelporiën en capillaire poriën, korrelgroottes kleiner dan de diameter van de poriën (Carbon Black) zullen makkelijker uitgespoeld worden na verloop van tijd. De goede duurzaamheid en kleurvastheid van ijzeroxide zwart is hieraan te wijten.

Desalniettemin weegt deze mindere kleurvastheid van bepaalde Carbon Black pigmenten in de meeste gevallen niet op tegen de diep zwarte kleur die ermee gerealiseerd wordt, aangezien ijzeroxide zwart pigmenten reeds vanaf het begin een minder intense kleur opleveren. Het beste resultaat voor een intens zwart wordt dus verkregen met een Carbon Black pigment, in een dosering dicht bij het verzadigingsgehalte (in combinatie met een wit cement).

3.2 Betonsamenstelling ⁽¹²⁾⁽³³⁾⁽³⁵⁾⁽³⁷⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁸⁾

De kleur van een onbewerkt betonoppervlak wordt bepaald door de fijne bestanddelen die de cementhuid uitmaken: cement, fijn zand, fillers en pigmenten. De kleur van een bewerkt oppervlak daarentegen hangt in de eerste plaats af van de kleur van de grove granulaten. Hetzelfde geldt voor een onbewerkt oppervlak waarvan de granulaten zichtbaar worden door erosie na langdurige blootstelling aan weersinvloeden. Door te spelen met de bewerkingsdiepte, de kleur van de cementmatrix en de kleur van de granulaten kunnen verschillende aspecten verkregen worden; contrasterend of eerder homogeen. De door het menselijk oog waargenomen kleur van het oppervlak is een samenstelling van die van de granulaten en die van de cementmatrix.

² ZIMMER J., *Fabrication de béton coloré et noir conforme aux objectifs*, in *Préfa Béton International*, n°5, 2005, p. 100 - 111

3.2.1 Cement ⁽¹²⁾⁽³³⁾⁽³⁵⁾⁽³⁷⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁸⁾

De kleurintensiteit van een gekleurd beton zal toenemen wanneer men gebruik maakt van een lichtkleurig cement. De beste resultaten voor een intense kleur worden verkregen met een wit cement. Een beton vervaardigd met wit cement vertoont doorgaans ook minder kleurschakeringen en vlekken aan het oppervlak, dan een beton gemaakt met grijs cement. Men kan ook nog een onderscheid maken tussen portlandcement en hoogovencement; een beton vervaardigd met hoogovencement zal een lichtere kleur vertonen dan eenzelfde beton met portlandcement

Voor het realiseren van een helder en homogeen gekleurd beton is het aan te raden gebruik te maken van een wit cement, en daarenboven zand en grove granulaten van een gelijkaardige kleur als het gebruikte pigment (voor zover mogelijk). Bijvoorbeeld voor het verkrijgen van een wit beton maakt men gebruik van een wit cement, in combinatie met wit zand, witte granulaten en wit pigment (titaandioxide). Voor een zwart beton wordt tevens een wit cement gebruikt, in combinatie met zwart zand, donkere granulaten en zwart pigment (ijzeroxide zwart of Carbon Black).

Het verschil tussen een gepigmenteerd beton met wit en grijs cement is in droge toestand nauwelijks merkbaar bij donkere kleuren zoals zwart en bruin, en duidelijk merkbaar bij lichte kleuren als wit, groen en blauw. Bij berekening is het verschil altijd merkbaar, onafhankelijk van het gebruikte pigment.

Niettegenstaande het grote prijsverschil tussen een grijs en een wit cement, zijn het vooral de keuze en de hoeveelheid van het gebruikte pigment die zullen doorwegen op de kostprijs. Het heeft dus weinig zin te besparen op de kostprijs van een wit cement, wanneer men een helder en intens gekleurd beton wenst.

De water/cement-factor heeft ook een belangrijke impact op de tint (de intensiteit van de kleur) van het beton. De tint van het beton wordt lichter naarmate de water/cement-factor stijgt. Dit geldt zowel voor grijs als voor gepigmenteerd beton. Een hogere water/cement-factor draagt bij tot een poreuzer betonoppervlak, en aangezien deze fijne poriën het invallende licht sterker verspreiden dan het omliggende beton, vertoont een dergelijk beton een lichtere tint (*Ook de schuimkraag van een glas bier krijgt zijn kleur dankzij de belletjesstructuur* ³⁾). Om deze reden is het belangrijk ook rekening te houden met het vochtgehalte van de granulaten en met het feit dat het gebruik van pigmenten op zich de verwerkbaarheid wat doet dalen, omwille van de zeer kleine afmetingen van de korrels.

Andere factoren die de kleurintensiteit van het betonoppervlak eveneens beïnvloeden zijn de absorptiegraad van het bekistingsmateriaal, bekistingstijd, kalkuitslag, vervuiling en leeftijd. Over het algemeen geldt de regel: hoe poreuzer het betonoppervlak, hoe lichter de kleur.

Tabel A3.4 - Overzicht van factoren die de kleurintensiteit van een betonoppervlak beïnvloeden

Factoren	Lichter	Donkerder
Cement	Wit	Portland
Water/cement-factor	Hoog	Laag
Absorptiegraad bekisting	Laag	Hoog
Bekistingstijd	Kort	Lang
Kalkuitslag	Veel	Weinig
Leeftijd	Jong	Oud
Vervuiling	Weinig	Veel
Porositeit betonoppervlak	Hoog	Laag

3.2.2 Granulaten ⁽¹²⁾⁽³³⁾⁽³⁵⁾⁽³⁷⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁸⁾

Er is een zeer brede waaier aan kleuren beschikbaar qua granulaten. Voor bepaalde kleuren moet men gebruik maken van granulaten geïmporteerd uit het buitenland. Naast de kostprijs van deze speciale granulaten zelf, is het vooral de prijs van het transport die doorweegt. Een overzicht van in België regelmatig gebruikte granulaten met de kleuren waarin ze voorkomen wordt gegeven in *A1 betonsamenstelling, Tabel 1*.

3.3 Uitvoering ⁽⁵⁾⁽¹²⁾⁽⁴⁸⁾

De dosering van een pigment wordt doorgaans gespecificeerd in massapercentage van de cementhoeveelheid. Op die manier vermijdt men doseringsverschillen tengevolge verschillen in compactering van pigmentpoeder.

Pigmenten worden meestal gebruikt onder de vorm van poeder, pellets en slurry, waarbij het poeder in water is gedispergeerd. Zowel poeders als slurries laten een goede homogene verdeling toe. Het mengen van pellets (poeder samengeklonterd tot korrels) verloopt wat moeizamer aangezien de korrels tijdens het mengen moeten uiteenvallen. Ook bevat het bindmiddel gebruikt bij bepaalde van deze korrels chloriden, wat nadelig kan zijn voor de duurzaamheid van het beton (chloriden-geïnitieerde wapeningscorrosie!).

Slurries hebben het voordeel dat ze geen stofoverlast veroorzaken en makkelijker te transporteren zijn zonder verspilling van (duur) poeder. Slurries moeten tijdens het mengen regelmatig opgeroerd worden om bezinken van het poeder te vermijden.

Bij het gebruik van pigmenten is het belangrijk alle materieel achteraf grondig te reinigen om te vermijden dat achtergebleven pigmentresten een ongewenste invloed hebben op de kleur van een volgend beton.

Wanneer gebruik gemaakt wordt van verschillende pigmenten dienen deze op voorhand onderling gemengd te worden. Vervolgens wordt het pigment gemengd met de granulaten gedurende 15 à 20 s, dan wordt het cement toegevoegd en opnieuw gemengd gedurende 15 à 20 s en als laatste wordt het aanmaakwater toegevoegd en nogmaals gemengd gedurende 60 à 90 s.

Deze mengtijden zijn afhankelijk van de capaciteit van de betonmixer. ⁴

Wanneer de pigmenten rechtstreeks toegevoegd worden aan het cement kan dit leiden tot de vorming van pigmentnesten in het mengsel, aangezien het mengen van de pigmenten met het fijne cement veel moeilijker is.

Wanneer granulaten met een hoge waterabsorptie (kalksteen, zandsteen) gebruikt worden in combinatie met pigmenten onder vloeibare vorm zal een deel van de pigmenten door de granulaten geabsorbeerd worden en wordt het maximale kleurend vermogen niet gehaald.

Ook de omgevingstemperatuur tijdens het verharden van het beton heeft een invloed op de tint van het betonoppervlak. Hogere temperaturen resulteren in een lichtere (minder intense) tint van het beton. Bij normale buitentemperaturen voor het storten van beton in situ is dit verschil nauwelijks merkbaar. Deze invloed is wel merkbaar bij het stoomverharden van prefab elementen: stoomverharding moet dus vermeden worden wanneer men een intens gekleurd beton voor ogen heeft.

3.4 Oppervlaktebewerking ⁽³³⁾⁽³⁵⁾⁽⁴⁴⁾

Het effect van de kleur van de gebruikte granulaten op de kleurperceptie van het betonoppervlak wordt in de eerste plaats bepaald door de toegepaste oppervlaktebewerking. Zowel de mate waarin de korrels bloot komen te liggen, als het effect op het oppervlak van de korrel zelf, hebben een invloed op de wijze waarop het invallend licht weerkaatst en verspreid wordt, en dus op de tint van het oppervlak.

Bij een *zuurbehandeling* wordt het oppervlak slechts licht opgeruwd waardoor de tint van het oppervlak ietwat verbleekt. Ook zullen kalkuitlogingen die het onbewerkte oppervlak verbleken, verwijderd worden. Het resultaat qua kleur van een gezuurd oppervlak is te vergelijken met dat na erosie van een onbewerkt oppervlak, gedurende 6 jaar blootgesteld aan weersinvloeden. (*cfr. B1 Zuurbehandeling*)

Een *gezandstraald* oppervlak wordt over het hele oppervlak opgeruwd, waardoor meer licht gereflecteerd wordt en de globale tint lichter en minder intens wordt en de kleur van de

⁴ Richtwaarden voor mengtijden bij het gebruik van pigmenten. Uit *The Colouring of Concrete: Processing Instructions*, Lanxess, Krefeld, 2006, p. 6.

granulaten minder dominant is. Men moet er wel rekening mee houden dat bij een grotere bewerkingsdiepte een ruwer oppervlak verkregen wordt en dat schaduwvorming ook meer zal meespelen in de perceptie van de tint van het oppervlak. Dit geldt trouwens voor alle ruwe betonoppervlakken. Een zeer licht stralen (gommen) is bij een in de massa gekleurd beton in veel gevallen aangewezen om verkleuringen van het oppervlak (kalkuitlogingen, cementmelk, absorptieverschillen van het bekistingsoppervlak,...) uit te wissen. Het oppervlak vertoont dan een mattere textuur en een iets minder intense kleur. (*cfr. B2 Stralen*)

In een (*vertraagd*) *uitgewassen* oppervlak zal de natuurlijke kleur van de granulaten volledig tot zijn recht komen. De globale kleur van het oppervlak wordt hier zowel beïnvloed door de vorm en grootte van de zichtbare granulaten als door de kleur van de cementmatrix.

Een discontinue korrelverdeling (hoge densiteit aan grove granulaten aan het oppervlak) in combinatie met een kleine uitwasdiepte zal een eerder uniforme kleur geven aan het betonoppervlak. Een continue korrelverdeling (lagere densiteit aan grove granulaten aan het oppervlak) in combinatie met een grote uitwasdiepte zal een eerder contrasterend resultaat opleveren, waarbij vooral de kleur van de individuele korrels naar voor komt. (*cfr. B3 Uitwassen, B4 Vertraagd uitwassen*)

Een *gepolijst* oppervlak zal de kleur van de granulaten intensifiëren, in een mate die afhangt van de glans van het oppervlak, bepaald door de fijnheid van polijsten. De reden hiervoor is dat een gepolijst oppervlak minder licht reflecteert. Dit betekent dus ook dat de globale kleur van het oppervlak donkerder zal zijn. (*cfr. B5 Polijsten*)

Bij een *gehamerd* oppervlak worden zowel de granulaten als de cementmatrix afgekapte en wordt dus de natuurlijke kleur van beiden zichtbaar. (*cfr. B6 Hameren*)

Bij *vlamstralen* wordt het uitzicht, en de kleur, van de zichtbare granulaten bepaald door de hardheid van het gesteente waarvan ze afkomstig zijn. Harde granulaten zullen door de thermische schok doorbreken, waardoor hun natuurlijke kleur zichtbaar blijft. Zachte granulaten zullen bij de hoge temperaturen smelten, waardoor ze nog moeilijk te onderscheiden zijn van de rest van het oppervlak. Als dit smeltproces verder doorgaat tot het sinteren ⁵ van de granulaten, krijgt het oppervlak een zekere glans, zoals deze van keramische materialen. (*cfr. B7 Vlamstralen*)

5 Bij het sinteren worden materiaalkorrels verhit tot een temperatuur waarop enkel nog maar de buitenste schil van de korrel smelt. Op die manier smelten de korrels samen aan hun contactpunten, waardoor een zeer hard agglomeraat ontstaat.

<i>Tijd</i>	<i>Oorzaak</i>	<i>Resultaat</i>	
1 - 4 maanden	Kalkuitloging	Verbleken van het oppervlak	Tabel A3.5 - Invloed in de tijd van verwerking en vervuiling op de kleur van het betonoppervlak <i>Gegevens uit VON SZADKOWSKI G., Bewitterung von farbigem Beton, in Betonwerk + Fertigteil Technik, n°11, 1991, p.58</i>
18 - 36 maanden	Kalkuitloging verwijderd door begin erosie	Terugkeer naar de oorspronkelijke kleur	
3 - 6 jaar	Erosie	Zichtbaar worden van de kleur van de granulaten	
vanaf 5 jaar	Vervuiling	Ongelijke verdonkering van het oppervlak	
vanaf 10 jaar	Mosgroei	Groene, bruine of zwarte vlekken op het oppervlak	

3.5 Duurzaamheid ⁽¹²⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁸⁾

Zelfs indien de gebruikte pigmenten en granulaten lichtecht en weersbestendig zijn, zal blootstelling aan de weersomstandigheden (zonlicht, regen, temperatuur, vervuiling) op lange termijn toch een verzwakking van de kleur teweegbrengen. Dit kan verschillende oorzaken hebben:

- Door erosie van de cementhuid kunnen na verloop van tijd de grove granulaten deels zichtbaar worden. Als de kleur van de granulaten contrasteert met die van de gepigmenteerde cementmatrix, zal dit een invloed hebben op de globale kleur van het oppervlak. Dit erosieproces neemt gemiddeld zo'n 3 tot 6 jaar in beslag tot een evenwicht bereikt is. Een slechte verdichting en hoge water/cement-factor versnellen dit proces. Men dient hiermee rekening te houden bij de keuze van de granulaten voor een gekleurd beton, met name door granulaten te gebruiken van een gelijkaardige kleur als het gebruikte pigment.
- Kalkuitlogingen, alhoewel geen duurzaamheidsprobleem op zich, zullen duidelijker merkbaar zijn op een fel of donker gekleurd beton omwille van hun contrasterende witte kleur. Op een licht of wit gekleurd oppervlak daarentegen, valt dit weinig of niet op. Het voorkomen van kalkuitlogingen wordt voornamelijk bepaald door de porositeit van het oppervlak en wordt niet beïnvloed door het gebruik van pigmenten. Kalkuitlogingen doen zich zowel voor bij een behandeld als bij een onbehandeld betonoppervlak.
- Bij een te groot pigmentgehalte (voorbij verzadiging) bestaat er een risico op uitloging van de pigmenten. In dit geval zullen de fijnste pigmentdeeltjes eerst uitgespoeld worden, waardoor enkel de grovere achterblijven. Aangezien de korrelgrootte een invloed heeft op de kleurintensiteit, zal er een kleurverschil optreden.
- Ook de onvermijdelijke vervuiling van het betonoppervlak door atmosferische pollutie en beregening heeft een invloed op de intensiteit van de kleur. Alhoewel een gelijkmatige vervuiling elk gekleurd oppervlak beïnvloedt, is dit sneller merkbaar bij een licht gekleurd betonoppervlak.

Tabel 5 geeft een chronologisch overzicht van de invloed van verwerking en vervuiling op de

kleur van het betonoppervlak.

Erosie van de cementshuid gedurende de eerste 6 jaar doet zich niet voor bij een bewerkt betonoppervlak, aangezien de cementshuid meestal verwijderd wordt door de bewerking. Kalkuitlogingen blijven mogelijk, zelfs na het verwijderen van de cementshuid, maar zullen minder opvallend zijn dan op een onbehandeld, gepigmenteerd oppervlak.

3.6 Lasuren ⁽⁹⁾⁽³⁷⁾

Naast het kleuren van een beton in de massa door pigmenten vermengd in het beton, bestaat er ook de mogelijkheid het beton te kleuren door middel van een oppervlaktecoating. Deze behandeling wordt doorgaans lasuren genoemd, refererend naar de houtbehandeling waarvan deze techniek afkomstig is. Net zoals bij de houtbehandeling impliceert deze term zowel een decoratieve als beschermende functie van het product.

In tegenstelling tot verven, bevatten lasuren een lager gehalte aan pigmenten en fillers, waardoor ze een zekere transparantie hebben en de natuurlijke textuur en uitzicht van het betonoppervlak laten doorschijnen. Ze geven aan het betonoppervlak ook een zekere glans, gaande van mat tot hoog glanzend.

Een voordeel ten opzichte van gepigmenteerd beton is dat veel van deze producten beschikbaar zijn in RAL⁶ kleuren, waardoor een veel uitgebreider kleurengamma beschikbaar is dan bij het gebruik van pigmenten.

De meeste lasuren bestaan uit een tweelaags systeem: een primer en een toplaag (meestal op basis van een solvent en een acryl, vinyl of polyurethaan copolymeer). Afhankelijk van de fabrikant en het type, bieden veel lasuren ook een bescherming tegen vervuiling en graffiti en hebben ze een hoge SO₂- en CO₂-diffusieweerstand, waardoor carbonatatie vertraagd wordt. Ze worden geleverd in een verfachtige consistentie en worden aangebracht met een verfrol.

Er bestaan ook transparante lasuren die enkel een beschermende functie hebben, en de kleur en glans van het beton weinig of niet veranderen.

6 RAL is een coderingssysteem om kleuren van verfen andere coatings te definiëren. Het systeem is in 1927 in Duitsland ontwikkeld, RAL staat voor Reichsausschuss für Lieferbedingungen. De standaard wordt beheerd door het Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.

In het RAL Classic kleurencoderingssysteem zijn er thans 210 kleuren gedefinieerd. De kleuren werden fysiek vastgelegd, en met laboratorium-zorgvuldigheid gereproduceerd. Een bepaald kleurnummer heeft een unieke kleurnaam (d.w.z. uniek in deze lijst), en is vertaald in 6 talen (Duits, Engels, Frans, Spaans, Italiaans, Nederlands). Bijvoorbeeld: RAL 1012 Zitronengelb/Lemon yellow/Jaune citron/Amarillo limón/Giallo limone/Citroengeel.

Om het product goed en evenredig te kunnen aanbrengen op het betonoppervlak moet het oppervlak zoveel mogelijk vrij zijn van vlekken, vet, vuil of ontkistingsolie. Daarom kan het aangewezen zijn het betonoppervlak voordien licht te stralen (gommen).

Het gebruik van een lasuur in combinatie met een behandeld oppervlak waarvan de grove granulaten zichtbaar zijn, wordt afgeraden aangezien het moeilijk is het product hier evenredig aan te brengen op het oppervlak, ondermeer door het verschil in porositeit van de cementmatrix en de granulaten. Het aanbrengen van een lasuur op een element met een complexe vorm of profilering, bijvoorbeeld bij gebruik van structuurmatten, stelt op zich geen probleem maar zal meestal moeten gebeuren met een kwast of borstel in plaats van een verfrol, wat aanleiding geeft tot een langere behandel tijd.

Omwille van deze uitvoeringsomstandigheden worden de beste resultaten inzake homogeniteit behaald met prefabelementen, vooral wanneer het reeksen van dezelfde elementen betreft. Dit sluit echter niet uit dat even goede resultaten kunnen behaald worden in situ.

Aangezien lasuren slechts een oppervlaktekleuring zijn, is het belangrijk er rekening mee te houden dat zelfs lichte beschadigingen van het betonoppervlak, na het aanbrengen van de lasuur, de natuurlijke kleur (grijs) van het onderliggende beton zullen blootleggen.

A4 Voorschriften & uitvoering



- [1] CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966
- [15] Voorschriften van beton volgens de normen NBN EN 206-1:2001 & NBN B 15-001:2004, bulletin 34, FEBELCEM, Brussel, 2005
- [16] AAVV, Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006
- [19] APERS J., Het uiterlijk van beton, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000
- [37] HUREZ M., Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Parijs, 2000
- [40] OUDE KEMPERS H., KÖHNE H., Schoon beton ... mooi werk. Leidraad voor projectspecificaties, uitvoering en beoordeling, ENCI, 's Hertogenbosch, 2001

4.1 Voorschrijven ⁽¹⁵⁾⁽¹⁹⁾

4.1.1 Beton ⁽¹⁵⁾

De normen NBN EN 206-1:2001 en NBN B 15-001 beschrijven verschillende manieren om beton voor te schrijven. De belangrijkste en meest toegepaste is deze waarbij de voorschrijver prestatie eisen voor het beton opgeeft; vermeld in de normen als een beton met '*gespecificeerde eigenschappen*'. Deze methode garandeert dat het geleverde beton voldoet aan de opgegeven eisen, wat gewaarborgd wordt door een BENOR conformiteitsmerk.

Een andere methode is die waarbij de voorschrijver de exacte betonsamenstelling voorschrijft. In dit geval bestaat er geen garantie dat het geleverde beton voldoet aan bepaalde gewenste eigenschappen. Deze methode wordt dan ook weinig toegepast, ook omdat de methode met '*gespecificeerde eigenschappen*' een deel '*aanvullende eisen*' voorziet, wat toelaat specifieke eisen in verband met de betonsamenstelling te bepalen (soort en eigenschappen van granulaten, maximaal gehalte aan bepaalde onzuiverheden in de granulaten, korrelverdeling cementgehalte, water-cement/factor,...).

Hier wordt verder ingegaan op het voorschrijven van beton met '*gespecificeerde eigenschappen*'.

Deze methode voorziet vijf delen '*basiseisen*' en één deel '*aanvullende eisen*'. De eerste basis eis stelt dat het beton moet voldoen aan de normen NBN EN 206-1:2001 en NBN B 15-001. De vier andere basiseisen en de aanvullende eisen worden aangeduid met letters en zijn:

- A de gewenste karakteristieke druksterke, aangeduid door een sterkteklasse;
- B de gewenste duurzaamheid naargelang het gebruiksdomein en de omgevingsklasse;
- C de gewenste consistentie, aangeduid door een consistentieklasse;
- D de gewenste grootste nominale korrelafmeting van de granulaten;
- E de gewenste aanvullende eisen.

Een overzicht wordt gegeven in Tabel A4.1.

4.1.2 Proefstukken ⁽¹⁹⁾⁽⁴⁰⁾

Welke oppervlaktebewerking, kleuring, en bekisting men ook gebruikt, het is belangrijk altijd op voorhand één of meerdere proefstukken uit te voeren. Dit laat toe dat de bouwheer, architect en aannemer op voorhand bepaalde criteria vastleggen in verband met het gewenste resultaat en de methode om tot dit resultaat te komen. Een proefstuk moet minimum een oppervlakte hebben van 1 m²; echter om alle onderstaande aspecten te kunnen verwerken en

*A Gewenste sterkteklasse **

C8/10, C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105, C100/115

B1 Gewenste gebruiksdoel

OB	Ongewapend beton (toegelaten chloride-ionengehalte $\leq 1,0$ % Cl)
GB	Gewapend beton (toegelaten chloride-ionengehalte $\leq 0,40$ % Cl)
VB	Voorgespannen beton (toegelaten chloride-ionengehalte $\leq 0,20$ % Cl)

B2 Gewenste omgevingsklasse

E0	Niet schadelijk (enkel van toepassing op ongewapend beton)	
E1	Binnenomgeving (binnenkant van woningen en kantoren)	
EE1	Buitenomgeving	Geen vorst (fundering onder vorstgrens, ...)
EE2	Buitenomgeving	Vorst, geen contact met regen
EE3	Buitenomgeving	Vorst, contact met regen
EE4	Buitenomgeving	Vorst en dooizouten
ES1	Zeeomgeving	Geen vorst
ES2	Zeeomgeving	Vorst
ES3	Zeeomgeving	Contact met zeewater, ondergedompeld
ES4	Zeeomgeving	Contact met zeewater, Getijden- en spatzone
EA1	Agressieve omgeving	Zwak agressieve chemische omgeving
EA2	Agressieve omgeving	Matig agressieve chemische omgeving
EA3	Agressieve omgeving	Sterk agressieve chemische omgeving

C Gewenste consistentieklasse

Klasse	Zetmaat (Slump) [mm]	Klasse	Schokmaat (Flow) [mm]
S1	10 - 40	F1	≤ 340
S2	50 - 90	F2	350 - 410
S3	100 - 150	F3	420 - 480
S4	160 - 210	F4	490 - 550
S5	≥ 220	F5	560 - 620
		F6	≥ 630

D Gewenste nominale grootste korrelafmeting (D_{max}) [mm]

6, 8, 10, 11, 12, 14, 16, 20, 22, 32, 40, 45, 63

E Aanvullende eisen

- Met betrekking tot betonsamenstelling
- Met betrekking tot het verse beton
- Met betrekking tot de verwerking
- Met betrekking tot het verharde beton

* $C f_{ck,cyl} / f_{ck,cube}$
 $f_{ck,cyl}$: cilinderdruksterkte [N/mm²]
 $f_{ck,cube}$: kubusdruksterkte [N/mm²]

Proefstukken gedurende 28 dagen
bewaren bij (20±2) °C onder water
of in kamer met R.V. $\geq 95\%$

Tabel A4.1 - Eisen voor het voorschrijven van een beton met 'gespecificeerde eigenschappen' volgens de normen NBN EN 206-1:2001 en NBN B 15-001
Gegevens uit Voorschrijven van beton volgens de normen NBN EN 206-1:2001 & NBN B 15-001:2004, bulletin 34, FEBELCEM, Brussel, 2005, p. 10

beoordelen in een proefstuk zal het meestal nodig zijn een verdiepingshoog proefstuk met een breedte van een tweetal meter uit te voeren. In veel gevallen zullen verschillende proefstukken moeten uitgevoerd worden vooraleer alle aspecten een bevredigend resultaat opleveren.

Volgende punten zijn belangrijk bij het maken van een proefstuk:

- een proefstuk moet – voor zover mogelijk – op identiek dezelfde wijze vervaardigd worden als de elementen voor de werf. Dit slaat zowel op de betonsamenstelling (granulaten, cement, water, pigmenten, hulpstoffen) en de bekisting (inclusief structuurmatten, wapening, centerpennen, afstandshouders,...) als op de manier van storten, trillen en nabehandelen en op de toegepaste oppervlaktebewerking. Het is ook belangrijk dat eventuele complexe delen van het element (hoeken, profileringen, voegen tussen bekistingpanelen, voegen tussen structuurmatten,...) eveneens uitgevoerd worden in het proefstuk; dit is vooral van belang bij bepaalde oppervlakte bewerkingen zoals beitelen of uitwassen;
- het proefstuk moet minstens een leeftijd van 28 dagen bereikt hebben, alvorens men een definitieve beoordeling over het resultaat kan maken;
- indien er twijfel bestaat in verband met de keuze van een bepaalde oppervlaktebewerking of de manier van uitvoeren kan het nuttig zijn ter vergelijking een reeks gelijke proefstukken uit te voeren met één veranderlijke parameter;
- het opstellen van criteria inzake de aanvaardbaarheid van kleurverschillen, vlekken, luchtbellen en andere onvolkomenheden, welke kunnen opgenomen worden in het lastenboek;
- zelfs met een rigoureuze controle van de uitvoering, zullen er altijd wel herstellingen aan het oppervlak moeten uitgevoerd worden. Een proefstuk laat toe reparatiemethodes op voorhand uit te testen, en de meest geschikte methode vast te leggen in het lastenboek. Dit laat toe fouten tijdens de uitvoering onmiddellijk op de juiste manier te herstellen, zonder te moeten wachten op een eventuele tussenkomst van de architect omtrent de manier van herstellen.

Aangezien het resultaat van een behandeld betonoppervlak in vele gevallen in belangrijke mate afhangt van de vakbekwaamheid van de uitvoerder, zullen proefstukken in dit geval een nog grotere relevantie hebben. Naast de eerder vermelde algemene aspecten inzake betonsamenstelling en uitvoering, zijn er aan elke oppervlaktebewerking een aantal specifieke uitvoeringstechnische parameters gerelateerd die moeten bepaald worden door het testen op een proefstuk (*cfr. Tabel A4.4*):

Zuurbehandeling

- verhardingstijd (druksterkte)
- behandel diepte (behandeltijd en aantal behandelingen)

Stralen

- verhardingstijd (druksterkte)
- behandeldiepte (straaldruk en voortbewegingsnelheid) en type straalkorrels

Uitwassen

- behandeldiepte (manier van uitwassen en waterdruk)

Vertraagd uitwassen

- verhardingstijd (druksterkte)
- behandeldiepte (werkingsdiepte oppervlakte-verhardingsvertrager, manier van aanbrengen op de bekisting, manier van uitwassen en waterdruk)

Polijsen

- verhardingstijd (druksterkte)
- behandeldiepte (graad van polijsten: korrel slijpstenen)
- polijsten van profileringen of moeilijk bereikbare delen

Hameren

- verhardingstijd (druksterkte)
- behandelwijze (type beitelkop, manier van beitelen en beiteldiepte)
- hameren van fijne profileringen of complexe vormen

Vlamstralen

- verhardingstijd (druksterkte)
- behandeldiepte en temperatuur (voortbewegingssnelheid)

Splijten

- verhardingstijd (druksterkte en treksterkte: breuk langs of door de granulaten)
- bepaling van het splijtvlak

Vooraleer de proefstukken daadwerkelijk uitgevoerd worden, moeten alle partners overeenkomen in verband met de te hanteren beoordelingscriteria inzake de voor het proefstuk belangrijke aspecten. Alle voorschriften en criteria inzake betonsamenstelling, uitvoering en eventuele herstellingen, die getest werden op de proefstukken, moeten zo volledig mogelijk opgenomen worden in het lastenboek om het overeengekomen en gewenste resultaat ook in praktijk te verkrijgen.

Bij een uitvoering in situ kan het eventueel aan te raden zijn de proefstukken te verwerken in een deel van het gebouw wat na oplevering niet meer zichtbaar is. Op die manier worden extra kosten specifiek voor het maken van een proefstuk vermeden. Dit kan gebeuren in funderingswanden of wanden die later bekleed worden. Dit impliceert dat de eigenschappen

wapening, betonsamenstelling,... van het proefstuk minstens moeten voldoen aan de eisen van het constructiebeton van die wand. Deze manier van werken heeft echter wel gevolgen op de planning van het gehele project: er moet voldoende tijd voorzien worden om het proefstuk op langere tijd te kunnen beoordelen en indien het proefstuk niet voldoet aan de vooropgestelde wensen kan dit leiden tot vertragingen in de planning.

4.1.3 *Beoordelingscriteria* ⁽¹⁹⁾⁽⁴⁰⁾

Een architectonisch beton kan doorgaans beoordeeld worden op basis van vijf algemene criteria: kleur, structuur, oppervlakteonregelmatigheden, maattoleranties en afwerking van hoeken, naden,... Al deze criteria moeten op voorhand zo volledig mogelijk vastgelegd worden in het lastenboek en moeten objectief meetbaar zijn. Deze criteria kunnen beoordeeld worden uitgaande van een referentie, of in de meeste gevallen op basis van een specifiek voor dit project gemaakt proefstuk(ken) (*cfr. 4.1.2 Proefstukken*).

De kleur van het betonoppervlak kan beoordeeld worden aan de hand van een vooraf opgestelde kleurschaal (of grijschaal) die maximale afwijkingen definieert ten opzichte van een gewenste kleur. De kleur wordt ook beïnvloed door onvolkomenheden van het betonoppervlak zoals aftekeningen van stortnaden, wapening en afstandshouders en ook kalkuitslag. Kalkuitslag wordt doorgaans echter niet in aanmerking genomen als beoordelingscriterium, aangezien dit relatief eenvoudig verwijderd kan worden. (*cfr. A5 Onvolkomenheden & vervuiling*)

Ook voor maattoleranties en andere onvolkomenheden moeten grenzen opgesteld worden, en opgenomen in het bestek. (*cfr. A5 Onvolkomenheden & vervuiling*)

De structuur van het oppervlak wordt beoordeeld op basis van een goedgekeurd proefstuk. Afwerkingen van hoeken, naden, centerpenopeningen,... kunnen beschreven worden in het bestek en uitgetekend worden in detailplannen. Eventueel kan hiervoor ook verwezen worden naar reeds uitgevoerde referenties of goedgekeurde projectspecifieke proefstukken.

4.1.4 *Kostprijs* ⁽³⁷⁾

De kostprijs van een architectonisch beton varieert sterk naargelang de gebruikte betonsamenstelling (cement, granulaten, pigmenten,...), de gebruikte bekisting, de uitvoering (prefab of in situ) en de toegepaste oppervlaktebewerking. De kostprijs kan verschillende malen hoger liggen dan deze van een normaal constructiebeton.

De kostprijs van de gebruikte granulaten hangt af van 2 factoren: de prijs van het gesteente van herkomst (zeldzaamheid van het gesteente), en in belangrijker mate van de transportkosten (vooral bij geïmporteerde granulaten). Wanneer men dure granulaten wil aanwenden omdat deze door de toegepaste oppervlaktebewerking aan het oppervlak zichtbaar zijn kan eventueel geopteerd worden voor andere granulaten voor de massa dan voor het oppervlak. De speciale, dure, granulaten worden dan enkel gebruikt voor een dunne oppervlaktelaag, en voor de rest van het element wordt gebruik gemaakt van een normaal constructiebeton.

<i>Bewerking</i>	<i>Prijsfactor</i>	
Onbewerkt, ongekleurd	1	* Het gebruik van andere granulaten naargelang de bewerking werd niet ingerekend
Zuurbehandeling	1,05 - 1,15	** Het gebruik van wit cement werd ingerekend in de prijsfactoren van pigmenten
Stralen	1,05 - 1,15	
Uitwassen	1,05	
Vertraagd uitwassen	1,15	*** Combinaties van verschillende bewerkingen kunnen begroot worden door het optellen van hun respectievelijke prijsfactoren
Polijsten (geschuurd)	1,20 - 1,70	
Polijsten (mat)	1,30 - 1,90	
Polijsten (glanzend)	1,40 - 2,0	
Hameren	1,20 - 1,70	
Gepigmenteerd met IJzeroxide rood	1,50 - 2,00	Tabel A4.2 - Indicatieve prijszetting van verschillende oppervlakte behandelingen en pigmenteringen ten opzichte van een onbewerkt en ongekleurd architectonisch beton <i>Gegevens op basis van prijsgegevens uit verschillende bibliografische bronnen en praktijkinformatie</i>
Gepigmenteerd met IJzeroxide geel	1,50 - 2,70	
Gepigmenteerd met IJzeroxide bruin	1,10 - 1,40	
Gepigmenteerd met IJzeroxide zwart	1,50 - 2,00	
Gepigmenteerd met Carbon Black	1,10	
Gepigmenteerd met Titaandioxide wit	1,30	
Gepigmenteerd met Chroomdioxide groen	1,40	
Gepigmenteerd met Kobalt blauw	3,00 - 4,60	

(cfr. B4 *Vertraagd uitwassen* / 4.5 *Alternatieve methodes*)

Een indicatieve prijszetting van verschillende oppervlaktebehandelingen en pigmenteringen wordt gegeven in Tabel A4.2

4.4 *Uitvoering* ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾

4.4.1 *Bekisten*

Zoals reeds eerder besproken moet een bekisting aan drie belangrijke principes voldoen: homogeniteit van het bekistingsoppervlak; waterdichtheid; sterkte, stabiliteit en stijfheid. De eigenschappen en invloed op het betonoppervlak van de verschillende elementen van een bekisting, bekistingsmaterialen en ontkistingsmiddelen wordt besproken in A2 *Bekistingen & mallen*.

4.4.2 *Wapenen* ⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾

Er moet steeds een minimale betondekking aangehouden worden tussen de wapening en het betonoppervlak (bekistingsoppervlak). De belangrijkste functies van deze betondekking zijn de bescherming van de wapening tegen corrosie en brand en het voorzien van voldoende

beton om de hechtingskrachten over te brengen. Deze betondekking wordt gegarandeerd door gebruik te maken van afstandshouders (*cfr A2 Bekistingen & mallen / 2.1.3 Afstandshouders*). De minimale betondekking van terplaatse gestorte wanden in gewapend beton moet groter zijn dan de maximale korreldiameter, en moet voldoen aan de minimumbetondekking, naargelang de milieuklasse waarin de wand zich bevindt. Voor een behandeld betonoppervlak is het vaak aangewezen nog een bijkomende betondekking in te rekenen, omwille van de behandeldiepte of het ontstaan van microscheuren tengevolge de behandeling. De dikte is afhankelijk van het type oppervlaktebehandeling.

Om vlekken op het betonoppervlak te vermijden is het belangrijk dat binddraden naar binnen gedraaid worden en uitstekende stekuiteinden met folie bedekt worden of ingestreken met mortel.

4.4.3 Storten ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾

Bij het storten moeten een aantal maatregelen genomen worden om ontmenging en luchtinsluitingen te vermijden:

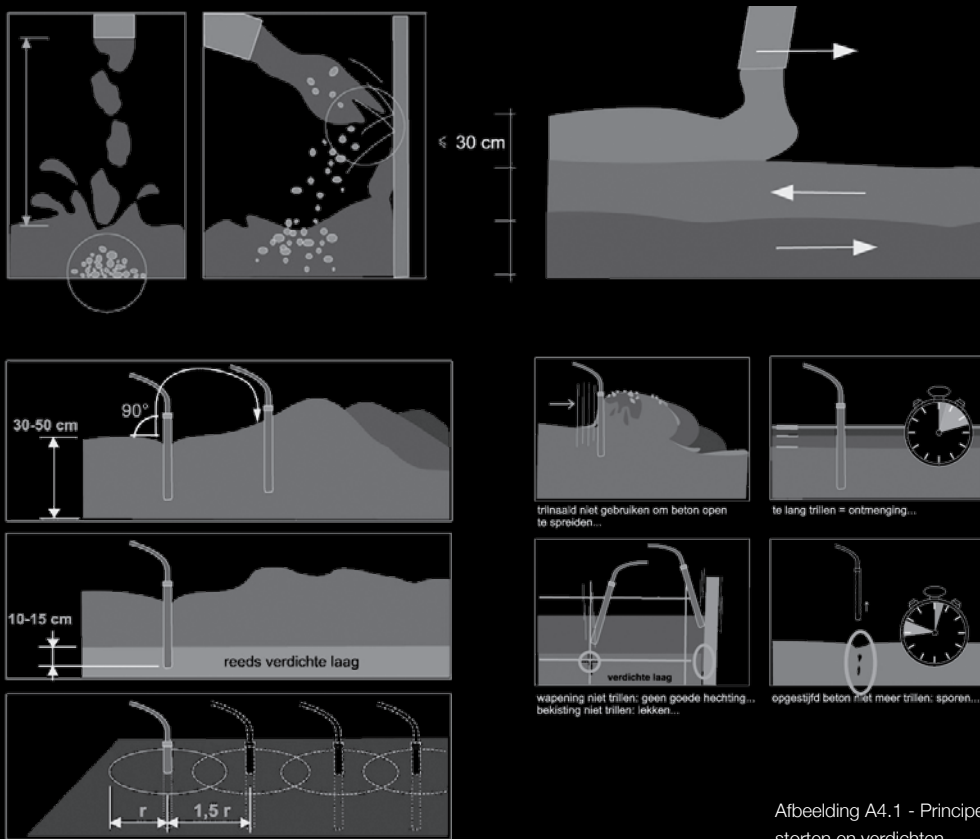
- beperking van de valhoogte tot maximaal 1 m (bij wanden kan hiervoor gebruik gemaakt worden van stortkokers),
- laagsgewijs vullen van de volledige bekisting met een maximale dikte van 30 cm,
- vermijden te storten tegen de wapening en bekisting,
- vermijden gespreid storten of het storten van te grote hoeveelheden ineens,
- een continue stortsnelheid aanhouden van minimum 2 m/h (in verticale richting)

Algemeen geldt dat de betonspecie langs het bekistingsoppervlak moet glijden om zo de lucht te verdrijven. Om het storten vlot te laten verlopen, rekening houdend met al deze maatregelen, is het dus belangrijk op voorhand een duidelijke stortplanning op te stellen.

4.4.4 Verdichten ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾

Een pas gestort beton bevat zo'n 15 à 20% ingesloten lucht; hetgeen zonder verdichting zou leiden tot een zeer poreus beton met een lage sterkte (een gemiddeld druksterkteverlies van 3 N/mm² per % ingesloten lucht! ¹). Het verdichten zorgt ervoor dat de luchtholtes in de betonspecie en tegen het bekistingsoppervlak zoveel mogelijk verwijderd worden, en alle wapening, afstandshouders,... volledig omhuld zijn. Voor prefab toepassingen wordt hiervoor meestal gebruik gemaakt van een triltafel, voor terplaatse gestort architectonisch beton gaat men meestal gebruik maken van een trilnaald. Het gebruik van een trilnaald verdient,

1 AAVV, *Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006, p. 402*



indien mogelijk, steeds de voorkeur op het gebruik bekistingstrillers, aangezien hiermee amplitudeverschillen in de bekisting niet te vermijden zijn. Voor het trillen met een trilnaald gelden een aantal maatregelen om tot een goed resultaat te komen:

- tijdens het storten wordt elke laag getrild;
- de trilnaald wordt tot 10 à 15 cm in de onderliggende, reeds verdichte, laag ingebracht;
- het trillen van een reeds opgestijfde laag is niet toegelaten, aangezien dit sporen zal achterlaten;
- het bereik van een trilnaald bedraagt gemiddeld 4 à 6 maal de diameter. De insteekpunten bevinden zich maximaal op 6 à 8 maal de diameter van elkaar, zodanig dat er een overlapping is;
- de trilnaald wordt snel (en verticaal) ingebracht en traag uitgehaald. Het te lang laten zitten van de trilnaald kan leiden tot ontmenging rond het insteekpunt;
- eens ingebracht in het beton, moet de frequentie van de trilnaald constant blijven. De

- beste resultaten worden verkregen met een hoge frequentie, doorgaans 200 Hz;
- elk contact van de trilnaald met de wapening moet vermeden worden, aangezien dit plaatselijke ontmenging veroorzaakt waardoor de wapening zich kan aftekenen aan het betonoppervlak;
- er moet steeds een voldoende afstand aangehouden worden tussen de trilnaald en de bekisting om het meetrillen van de bekisting te vermijden, aangezien dit plaatselijke ontmenging kan veroorzaken;
- de trilnaald mag niet gebruikt worden om de betonspecie te verplaatsen of te Verdelen.

Deze eisen zijn wat minder belangrijk wanneer gebruik gemaakt werd van een discontinue korrelverdeling, aangezien ingesloten lucht in dat geval gemakkelijker kan ontsnappen. Proefondervindelijk werd een formule² opgesteld om de optimale verdichtingstijd te berekenen. Dit laat toe op voorhand een schatting te maken van het verdichten op de stortplanning.

$$\text{Totale effectieve triltijd } T \text{ [s]} = 25/\emptyset \cdot \{100 \cdot (A+5)^{-1} + G\} \cdot \{0,1 \cdot V + 2,5\}$$

met diameter van de trilnaald $\emptyset$ [mm], zetmaat A [cm], korrelcoëfficiënt G [/], storttempo [m³/h], wapeningscoëfficiënt F [/].

G = 1 (gerold grind / rond zand), 3 (gebroken grind / rond zand), 5 (gebroken grind, gebroken zand).

F = 1,1 (gering gewapend) - 1,5 (zeer dicht gewapend).

4.4.5 Ontkisten en nabehandelen ⁽¹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾

Het te snel uitdrogen van jong beton heeft een belangrijke invloed zowel op de sterkte en duurzaamheid als op het uitzicht. De mate van verdamping is omgekeerd evenredig met de relatieve luchtvochtigheid van de lucht aan het betonoppervlak. Ook luchtcirculatie langs het betonoppervlak zal de verdamping versnellen. Het beton zal dus sneller uitdrogen op warme, droge, windrige dagen. Het beton zal beginnen uitdrogen vanaf de verdampingsnelheid de waterafscheidingsnelheid overschrijdt.

Nadelige gevolgen van het uitdrogen zijn het ontstaan van een poedervormig oppervlak door het stilvallen van de hydratatie aan het betonoppervlak en scheurvorming tengevolge plastische krimp en uitdrogingskrimp.

Het nabehandelen, met andere woorden het vermijden van vroegtijdige uitdroging, kan op een aantal manier gebeuren:

- laten staan van de bekisting;

- afdekken met kunststofzeilen;
- aanbrengen van met water verzadigde doeken op een kleine afstand van het bekistingsoppervlak;
- regelmatig besprenkelen met water;
- aanbrengen van een curing compound; een product dat een beschermende film vormt op het betonoppervlak;
- het opslaan van het element in een vochtige omgeving (enkel prefab).

In de meeste gevallen, en indien de planning het toelaat, blijft het laten staan van de bekisting de meest geschikte nabehandelingswijze. Over het algemeen wordt aangeraden terplaatse gestort architectonisch beton niet vroeger dan na 3 à 4 dagen te ontkisten ³. In deze periode van 3 à 4 dagen wordt het systeem van doorgaande capillairen omgezet in afgesloten capillairen, waardoor kalkuitloging veel minder voorkomt. Een sterk absorberende bekisting, zoals naaldhout planken, moet in dit geval wel regelmatig vochtig gehouden worden.

Bij toepassing van vertraagd uitwassen is het laten staan van de bekisting de enige mogelijk nabehandelingmethode, aangezien de werking van de oppervlakte-verhardings vertragers zeer snel afneemt na het ontkisten en bijgevolg het oppervlak onmiddellijk moet uitgewassen worden (*cfr. B4 Vertraagd uitwassen*). Ook bij geprofileerde oppervlakken, verkregen door gebruik te maken van structuurmatten (*cfr. A2 Bekistingen & mallen / 2.4 Bekistingsmallen*), is deze methode het meest aangewezen, om verschillen in uitdroging te vermijden.

Wanneer men gebruik maakt van kunststofzeilen of met water verzadigde doeken is het belangrijk deze niet rechtstreeks tegen het betonoppervlak aan te brengen maar op een kleinen tussenafstand, zodanig dat ze geen sporen achterlaten op het betonoppervlak. Op die manier wordt langs het betonoppervlak een luchtlaag met een hoge relatieve vochtigheid in stand gehouden. Het is wel belangrijk dat deze spleet onderaan en bovenaan afgesloten wordt om luchtverplaatsing - en de ermee gepaard gaande uitdroging - langs het betonoppervlak uit te sluiten.

Bij het nabehandelen door het regelmatig met water besprenkelen van het oppervlak, is het belangrijk dat het water homogeen over dat oppervlak afvloeit, om verschillen in uitdroging te vermijden. Deze methode kan dus niet toegepast worden op een geprofileerd oppervlak.

Curing compounds zijn harsen die zeer fijn over het betonoppervlak verneveld worden en een voldoende dikke film vormen om verdamping te verhinderen.

Een indicatie van de minimale nabehandelingsduur voor terplaatse gestort beton, naargelang de omgevingstemperatuur en sterkteontwikkeling van het beton, wordt gegeven in Tabel A4.3.

Bij het ontkisten is bijzondere voorzichtigheid geboden, en dan voornamelijk bij het ontkisten van scherpe hoeken, profileringen of complexe vormen. Bij het gebruik van structuurmatten

3 *CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966, p. 97*

Temperatuur aan het betonoppervlak t [°C]	Sterkteontwikkeling $(f_{cm2} / f_{cm2d}) = r$			
	snel ($r \geq 0,5$)	middelmatig ($r = 0,3$)	traag ($r = 0,15$)	zeer traag ($r < 0,15$)
$t \geq 25$	1	1,5	2	3
$25 > t \geq 15$	1	2	3	5
$15 > t \geq 10$	2	4	7	10
$10 > t \geq 5$	3	6	10	15

Tabel A4.3 - Minimale nabehandelingsduur
van terplaatse gestort beton (behalve
milieuklassen X0 en XC1)

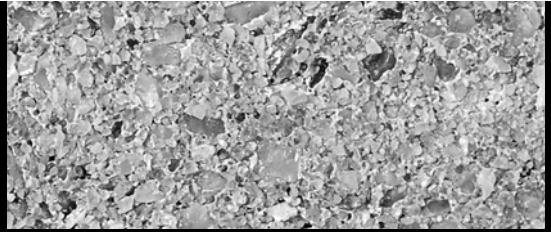
Gegevens uit NBN ENV 13670-1

* Minimale nabehandelingsduur uitgedrukt in dagen

** Interpolatie mogelijk tussen verschillende waarden

(cfr. A2 Bekistingen & mallen / 2.4 Bekistingsmallen) kan een geschikte keuze qua type structuurmat (elasticiteit) problemen bij het ontkisten van complexe vormen of profileringen vermijden.

Eens ontkist moeten scherpe hoeken beschermd worden met kantlatten. Uitstekende stekuiteinden van de wapening moeten afgedekt worden of ingestreken met mortel, om roestvlekken op het onderliggende beton te vermijden.

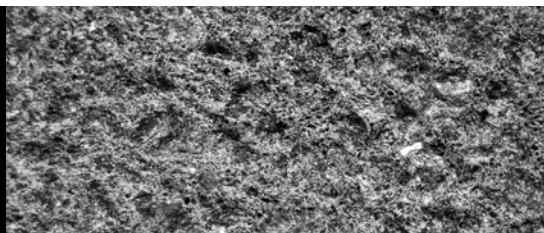
*Eigenschappen & criteria**Zuurbehandeling*

<i>Toepassing prefab</i>	Vaak
<i>Toepassing in situ</i>	Weinig (kleine oppervlakken)
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Vaak (opgelet voor luchtballen bij onderdompelen!)
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Zeer licht tot licht ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Fijne granulaten zichtbaar Glinstering van zandkorrels bij invallend zonlicht
<i>Betonsamenstelling</i>	Kalkhoudende granulaten aangetast Continue korrelverdeling Lage porositeit
<i>Minimale betondruksterkte</i>	30 N/mm ²
<i>Behandeldiepte</i>	≤ 1 mm
<i>Extra betondekking</i>	5 mm
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Gemiddeld: kleine verschillen in behandeltdijd geven een merkbaar verschillend resultaat, grondige voorbereiding en bescherming noodzakelijk
<i>Automatisatie</i>	Laag
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Hoog
<i>Opmerkingen</i>	Oppervlak vooraf verzadigen met water, achteraf afspoelen met water Onderdelen gevoelig voor zuuraantasting beschermen (raamkaders, metalen delen,...)

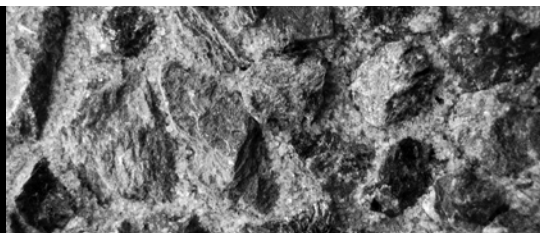
Uitvoeringsvolgorde

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten
2. Te behandelen oppervlak verzadigen met water (besproeien)
3. Afschermen zuurgevoelige onderdelen (metalen delen, raamkaders, materieel,...)
4. Onderdompelen in zuuroplossing of aanbrengen zuuroplossing op het te behandelen oppervlak
5. Na exacte behandeltdijd onmiddellijk afspoelen met water onder hoge druk
6. Herhalen of manueel nabehandelen tot gewenste resultaat

Tabel A4.4 - Vergelijkende overzichtstabel van oppervlaktebehandelingstechnieken met eigenschappen, criteria, opmerkingen en uitvoeringsvolgorde



Stralen

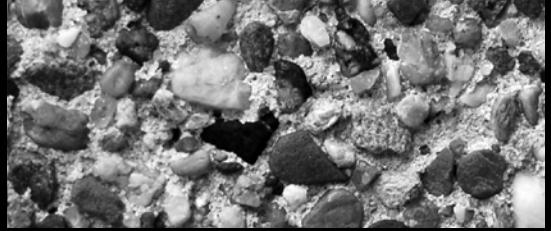


Uitwassen

Vaak	Mogelijk
Mogelijk (afscherming, nat stralen)	Mogelijk (enkel horizontale oppervlakken)
Mogelijk	Moeilijk
Licht ruw	Licht ruw tot ruw
Fijne tot grove granulaten zichtbaar, afhankelijk van behandeldiepte Mat uitzicht door erosie van het oppervlak van de granulaten	Fijn tot grove granulaten zichtbaar, afhankelijk van behandeldiepte Granulaten intact
Lage water/cement-factor voor ondiep stralen	Discontinue korrelverdeling $D/d \approx 2$. Lage water/cement-factor
14 N/mm ²	-
1 mm - 4 mm	1 mm - 30 mm
5 mm	Behandeldiepte
Hoog: het resultaat van de behandeling moet in real-time beoordeeld worden (bij manueel stralen)	Hoog: het resultaat wordt bepaald door afsputten
Afhankelijk van bedrijf	Laag
Ja	Ja
Hoog	Laag
Donkere straalkorrels kunnen sporen achterlaten op een lichtgekleurd betonoppervlak	Uitwasdiepte maximaal $d_{max}/2$

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten
2. Plaatsen van voorzieningen om straalkorrels en water op te vangen (in situ)
3. Stralen van het te behandelen oppervlak tot gewenste resultaat (voortbewegingsnelheid bepaalt diepte: real-time beoordeling!)
4. Afspoelen van het oppervlak om alle straalkorrels te verwijderen

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten
2. Te behandelen oppervlak op voorhand ontkisten (behalve bij vrij horizontaal oppervlak)
3. Uitwassen van cementmatrix vantussen de granulaten door borstelen of met water onder hoge druk
4. Na volledige verharding (betondruksterkte > 30 N/mm²), eventuele zuurbehandeling om cementafzetting op het oppervlak van de granulaten te verwijderen



Eigenschappen & criteria

Vertraagd uitwassen

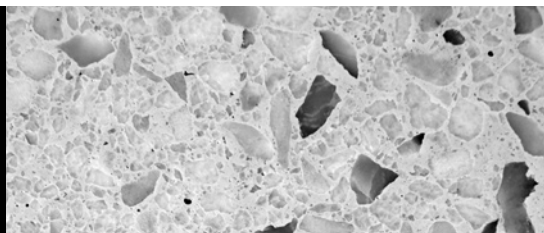
<i>Toepassing prefab</i>	Vaak
<i>Toepassing in situ</i>	Mogelijk
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Mogelijk
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Licht ruw tot ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Fijn tot grove granulaten zichtbaar, afhankelijk van behandeldiepte Granulaten intact
<i>Betonsamenstelling</i>	Discontinue korrelverdeling $D/d \approx 2$. Lage water/cement-factor vermindert werking oppervlakte-verhardingsvertrager (uitwasdiepte)
<i>Minimale betondruksterkte</i>	10 N/mm ²
<i>Behandeldiepte</i>	< 1 mm - 30 mm ($\leq D/2$)
<i>Extra betondekking</i>	Behandeldiepte
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Laag: het resultaat wordt bepaald door de verhardingsvertrager
<i>Automatisatie</i>	Afhankelijk van bedrijf (prefab), laag (in situ)
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Laag
<i>Opmerkingen</i>	Uitwasdiepte maximaal $D/2$ Werking oppervlakte-verhardingsvertrager vermindert snel na ontkisten Oppervlakte-verhardingsvertrager evenredig aanbrengen, laten drogen, afspoelen tijdens het storten vermijden (vooral bij verven) Bij special granulaten kunnen alternatieve methodes aangewezen zijn (cfr. B4 Vertraagd uitwassen / 4.5 Alternatieve methodes)

Uitvoeringsvolgorde

1. Bekisten
2. Aanbrengen van oppervlakte-verhardingsvertrager door middel van verven, vernevelen of papier/film
3. Laten drogen van verhardingsvertrager
4. Wapenen, storten, verdichten en ontkisten
5. Uitwassen van cementmatrix vantussen de granulaten door borstelen of met water onder hoge druk (zo snel mogelijk na ontkisten)
6. Na volledige verharding (betondruksterkte > 30 N/mm²), eventuele zuurbehandeling om cementafzetting op het oppervlak van de granulaten te verwijderen

Tabel A4.4 (vervolg) -

Vergelijkende overzichtstabel van oppervlaktebehandelingstechnieken met eigenschappen, criteria, opmerkingen en uitvoeringsvolgorde



Polijsten



Hameren

Vaak	Mogelijk
Weinig (zeer arbeidsintensief en duur)	Mogelijk (arbeidsintensief)
Moeilijk (manueel)	Mogelijk
Effen mat, satijnglanzend of hoogglanzend	Ruw tot zeer ruw
Doorsnede van de granulaten zichtbaar, in hetzelfde vlak als de cementmatrix	Doorsnede van grove granulaten zichtbaar
Gebroken granulaten in een continue korrelverdeling	Granulaten afkomstig van goed bewerkbare gesteenten als kalksteen
Harde granulaten geschikt voor hoog glans polijsten, zachte granulaten geschikt voor schuren of mat polijsten	
Gelijke hardheid van granulaten en cementmatrix	
30 N/mm ² bij behandeling, 50 N/mm ² na 28 dagen	30 N/mm ²
4 à 5 mm	Afhankelijk van de behandeling
5 mm	Behandeldiepte + 5 mm (microscheuren)
Hoog	Hoog
Hoog (prefab), laag (in situ)	Laag (pneumatische hamers in situ)
Ja	Ja
Laagst	Hoogst
Toevoeging van polypropyleen vezels om het polijsten van scherpe hoeken mogelijk te maken zonder beschadigingen	Voldoende hoge (trek)sterkte van het beton zodat breuk door de granulaten loopt bij het beitelen De bekisting (incl. hoeken en structuurmatten) moet aangepast zijn aan de toegepaste beitelmethode: het beitelen moet kunnen gebeuren zonder ongewenste beschadigingen van hoeken en profileringen

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten
2. Schuren
3. Eerste maal polijsten
4. Kitten
5. Fijn polijsten
6. Eventueel aanbrengen van bescherming

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten
2. Hameren



Eigenschappen & criteria	Vlamstralen
Toepassing prefab	Mogelijk
Toepassing in situ	Mogelijk
Complexe vormen of profileringen	Moeilijk
Textuur van het oppervlak	Ruw tot zeer ruw
Uitzicht van het oppervlak	Doorsnede van de grove granulaten zichtbaar
Betonsamenstelling	Lage water/cement-factor voor een lage porositeit (stoomopbouw) Gebroken granulaten met hoge hardheid (betere aanhechting)
Minimale betondruksterkte	30 N/mm²
Behandeldiepte	3 - 8 mm
Extra betondekking	Behandeldiepte + 10 mm
Invloed vakbekwaamheid	Hoog (voortbewegingsnelheid bepaalt warmtetoetreding en behandeldiepte). Een te lage voortbewegingsnelheid kan schade veroorzaken door verhitting van de wapening
Automatisatie	Laag (soms bij prefab)
Stoomverharding mogelijk	Ja
Gevoeligheid voor vervuiling	Hoog
Opmerkingen	Niet toepassen op voorgespannen elementen

Uitvoeringsvolgorde	1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten 2. Vlamstralen 3. Verwijderen van losliggende oppervlakte laag door borstelen of stralen
---------------------	---

Tabel A4.4 (vervolg) -
Vergelijkende overzichtstabel van
oppervlaktebehandelingstechnieken met
eigenschappen, criteria, opmerkingen en
uitvoeringsvolgorde



Splijten



Gebruik van pigmenten

Altijd	Vaak
Nooit	Moeilijk
Mogelijk	Onafhankelijk
Zeer ruw	Onafhankelijk
Breuk door de granulaten; doorsnede van grove granulaten zichtbaar	Gekleurd
Gebroken granulaten voor betere aanhechting met cementmatrix Treksterkte en aanhechting cementmatrix $\geq$ treksterkte granulaten	
Afhankelijk van soort granulaten, 9 x splijttreksterkte	Onafhankelijk
Afhankelijk van de heterogeniteit van het beton	In de massa
Behandeldiepte + 5 mm (indien van toepassing)	Onafhankelijk
Geen (volledig automatisch proces)	Geen
Volledig	Volledig (prefab)
ja	Nee
Hoogst	Hoog

Het splijten van een dubbel breed element levert twee afgewerkte elementen op

Het splijtvlak kan benaderend vastgelegd worden door groeflatten aan te brengen in de bekisting (breuk volgt zwakste weg)

1. Bekisten
2. Aanbrengen van groeflatten in de bekisting om het splijtvlak vast te leggen
3. Wapenen (indien van toepassing), storten, verdichten, ontkisten
4. Splijten

A5 Onvolkomenheden & vervuiling

- [1] CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966
- [4] Elementen in Architectonisch Beton, Technische Aanbevelingen, FEBE
- [10] Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
- [16] AAVV, Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006
- [31] GLADDINES F., Schoon beton: Verschijningsvormen en keuringscriteria, VNC / STUTECH, 's Hertogenbosch, 1990
- [37] HUREZ M., Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Parijs, 2000
- [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002
- [45] VOROBIEFF G., JONES I., KELL D., Weathering of Concrete Facades, in Constructional Review, n°3, Augustus 1992, p. 52 - 59

5.1 Onvolkomenheden ⁽¹⁾⁽³⁷⁾

Alhoewel een zichtbeton rechtstreeks uit de bekisting, zonder enig vorm van bewerking, op zich de goedkoopste oplossing is, vergt het een hoge graad van controle en nauwkeurigheid zowel op de uitvoering als op de betonsamenstelling, om te komen tot een esthetisch bevredigend resultaat. Een perfect uniform betonoppervlak bestaat niet: er zullen altijd onvolkomenheden en kleurschakeringen zijn.

5.1.1 Overzicht ⁽¹⁾⁽³⁷⁾

Tabel A5.1 geeft een overzicht van de belangrijkste onvolkomenheden en fouten die zich kunnen voordoen bij een onbehandeld betonoppervlak, evenals corresponderende oorzaken en preventiemaatregelen.

5.1.2 Aandachtspunten

Betonsamenstelling:

- Beperking van de water/cement-factor. Indien nodig verwerkbaarheid verbeteren met behulp van (super)plastificeerders.
- Vermijd een te hoog cementgehalte, gebruik kalkarme cement (hoogovencement) om kalkuitslag te vermijden.
- Zorg voor een korrelverdeling met voldoende fijne deeltjes.

Bekisting:

- Voorzie een voldoende sterke bekistingsconstructie en voldoende stijve bekistingsplaten om vervormingen tengevolge speciedruk (vooral bij hoge bekistingen), storten en trillen te vermijden.
- Voorzie indien nodig extra verstevigingen ter plaatse van naden en hoeken.
- Zorg voor een goede aansluiting en afdichting van naden en hoeken.
- Hou bij ontwerp rekening met stortnaden, bekistingsnaden, hoeken en centerpennen.
- Vermijd gebruik van beschadigde, onzorgvuldig herstellde of teveel hergebruikte bekistingsplaten.
- Vermijd verschillen in absorptie van de bekisting (verschillende graden van hergebruik, verschillende materialen).
- Niet of weinig absorberende bekistingen zullen het ontstaan van luchtbellen en zandstrepen bevorderen.
- Gebruik een aangepast ontkistingsmiddel naargelang het bekistingsmateriaal (*cfr.* A2 *Bekistingen & mallen*).

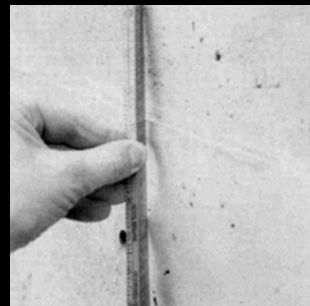
- Zorg voor gelijkmatig aanbrengen van het ontkistingsmiddel, kort voor het storten.
- Gebruik geschikte en voldoende afstandshouders.
- Maak op voorhand afspraken wat betreft de afwerking van centerpenopeningen.

Uitvoering:

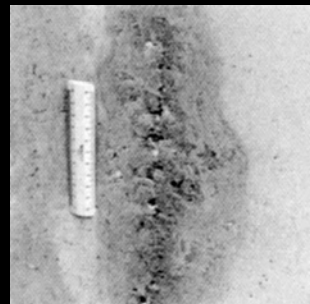
- Bescherm de bekisting tegen regen en wind en vermijd te storten bij regenweer.
- Beperk de stort- en valhoogte.
- Vermijd te storten tegen de bekisting of op dezelfde plaats.
- Zorg voor een gelijkmatige verdichting, vermijd te dicht bij de bekisting te trillen of de wapening te raken.
- Laat de bekisting lang genoeg staan, vermijd verschillen in ontkistingstijd (grijstintverschillen).
- Zorg voor een goede reiniging van de bekisting bij hergebruik.
- Bescherm hoeken en zichtvlakken na ontkisting tegen vervuiling of beschadiging.
- Bescherm het betonoppervlak na ontkisten tegen verdamping, zon en grote temperatuursverschillen.
- Voorzie nabehandeling; maak eventueel gebruik van een curing compound.

Onvlakheid

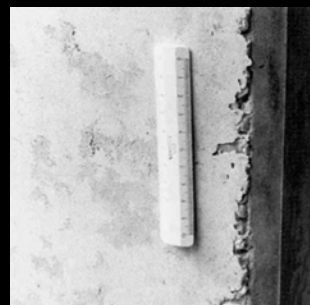
Oorzaken	Onvoldoende stijfheid bekistingspanelen of bekistingsconstructie Permanente vervormingen van de bekisting bij hergebruik Te hard aanspannen van centerpenen
Preventie	Degelijke berekening van de bekisting Beperking van tussenafstanden Lagere speciedruk door gebruik van een minder vloeibaar betonmengsel Beperking de bekistingshoogte en storthoogte per fase
Reparatie	Onvlakheid over gehele oppervlak niet te herstellen Plaatselijke onvlakheid kan opgevuld of weggeslepen worden Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid (globale onvlakheid)

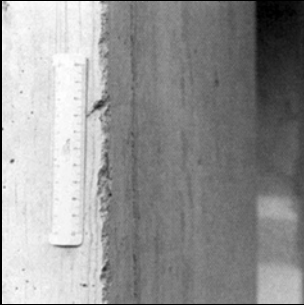
*Grijstintverschillen en ontbreken van fijne deeltjes*

Oorzaken	Weglekken van water en fijne deeltjes uit de betonspecie, ter hoogte van stortnaden of paneelnaden
Preventie	Goede detaillering en afdichting van alle naden (kunststofband) Naaldhouten bekistingen met water verzadigen voor het storten Bekistingsplaten schroeven in plaats van nagelen
Reparatie	Inwrijven met reparatiemortel Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid (afhankelijk van werkingsdiepte)

*Onregelmatige veilingkant*

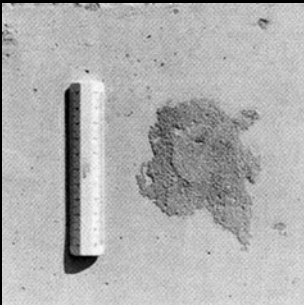
Oorzaken	Zetting van de bekisting ter plaatse de hoek door speciedruk of trillen Slecht aangebrachte hoeklat Lekken van water door slechte afdichting ter plaatse van de hoek
Preventie	Zettingen vermijden door versteviging van de bekisting aan de hoek Gebruik van kunststof hoeklat in plaats van houten hoeklat
Reparatie	Afslipen en bijwerken met reparatiemortel Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid (afhankelijk van werkingsdiepte en wijze van bewerken van hoeken)





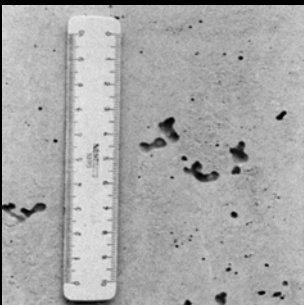
Onregelmatige scherpe hoek

- | | |
|-----------|--|
| Oorzaken | Zetting van de bekisting ter plaatse de hoek door speciedruk of trillen
Afbrokkelen van het beton door te vroeg ontkisten
Beschadiging na het ontkisten
Lekken van water door slechte afdichting ter plaatse van de hoek |
| Preventie | Zettingen vermijden door versteviging van de bekisting aan de hoek
Gebruik van een stalen mal met minimaal afgeronde hoeken
Bekisting (ter plaatse van de hoek) langer laten staan
Bescherming van de hoeken na het ontkisten |
| Reparatie | Afslippen of schuren en bijwerken met reparatiemortel
Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid (afhankelijk van wijze van uitvoering hoeken) |



Slecht afgewerkte centerpenopeningen

- | | |
|-----------|---|
| Oorzaken | Afwerking niet op voorhand vastgelegd en getest
Onzorgvuldige uitvoering |
| Preventie | Op voorhand afwerkingsmethode vastleggen en uittesten op proefstuk
Verschillende mogelijke afwerkingswijzen (cfr. A2 Bekistingen & mallen) |
| Reparatie | Moeilijk te herstellen: uitkappen en verdiept afwerken
Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid |

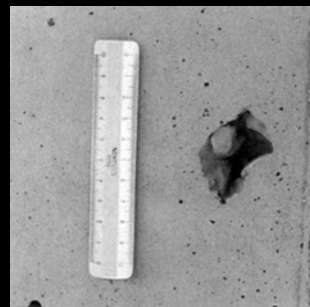


Luchtblazen ($\varnothing < 15 \text{ mm}$)

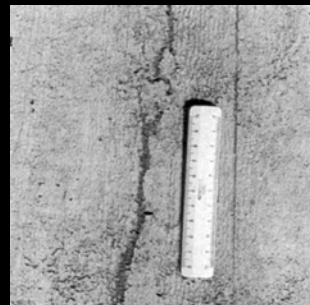
- | | |
|-----------|---|
| Oorzaken | Afhankelijk van betonsamenstelling, manier van storten en verdichten, type bekisting en type ontkistingsmiddel |
| Preventie | Beperking van storthoogte per fase
Gebruik van trilnaald met hoge frequentie
Gebruik van een superplastificeerder
Geschikte combinatie van bekisting (absorberend materiaal verminderd voorkomen van luchtblazen) en ontkistingsmiddel
(cfr. A2 Bekistingen & mallen) |
| Reparatie | Inwrijven met cementpasta van zelfde samenstelling
Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid (afhankelijk werkingsdiepte en grootte luchtblazen). Na bewerking kunnen interne luchtballen aan het oppervlak komen |

Grotere luchtinsluitingen ($\varnothing > 15 \text{ mm}$)

Oorzaken	Te hoge consistentie betonspecie Verkeerde wijze van storten en verdichten Ontwerp van de bekisting of mal (insluiten van lucht of water bij horizontale profileringen of schuine bekistingsvlakken)
Preventie	Goede verdichting, eventueel gebruik van bekistingstrillers op moeilijk bereikbare plaatsen Lagere consistentie betonspecie Beperking van storthoogte per fase
Reparatie	Inwrijven met cementpasta van zelfde samenstelling Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid (afhankelijk werkingsdiepte en grootte luchtblazen). Na bewerking kunnen interne luchtballen aan het oppervlak komen

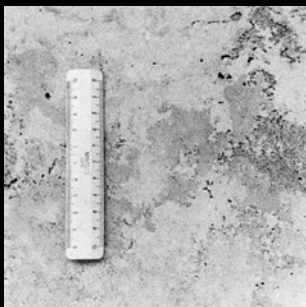
*Zandstrepen*

Oorzaken	Waterafscheiding langs bekistingsoppervlak door: te lage consistentie, te lang trillen, lage temperatuur
Preventie	Betonsamenstelling met voldoende fijne deeltjes Voorkom beregening van het bekistingsoppervlak, vermijd storten bij regenweer Verdichting aangepast aan consistentie
Reparatie	Niet mogelijk Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid

*Craquelé*

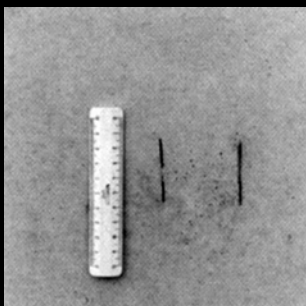
Oorzaken	Haarscheuren door krimpspanningen en spanningen tengevolge temperatuur- en vochtigheidswisselingen Duidelijker zichtbaar op lichtgekleurd beton
Preventie	Niet absorberende bekistingsmaterialen vermijden Hoog cementgehalte vermijden Uitdroging voorkomen Bekisting langer laten staan
Reparatie	Niet mogelijk Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid





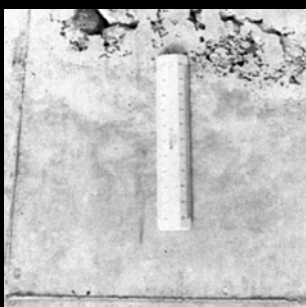
Onthechte toplaag door hechting cementhuid aan het bekistingsoppervlak

- | | |
|-----------|---|
| Oorzaken | <p>Geen of ongeschikt ontkistingsmiddel</p> <p>Ontkistingsmiddel te vroeg aangebracht of blootgesteld aan wind</p> <p>Beschadiging van het bekistingsoppervlak</p> <p>Te vroeg of onvoorzichtig ontkisten</p> |
| Preventie | <p>Gelijkmatig en niet te vroeg aanbrengen van geschikt ontkistingsmiddel</p> <p>Controleren of bekistingsoppervlak niet beschadigd is</p> <p>Bekisting langer laten staan</p> |
| Reparatie | <p>Niet mogelijk over grote oppervlaktes</p> <p>Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid (afhankelijk van werkingsdiepte en diepte van de beschadiging)</p> |



Aftekening van afstandshouders

- | | |
|-----------|---|
| Oorzaken | <p>Onvoldoende betondekking</p> <p>Onvoldoende betonspecie rondom de afstandshouders</p> <p>Ongeschikte afstandshouders</p> <p>Gebruik van te weinig of te slappe afstandshouders</p> |
| Preventie | <p>Afstandshouders met bol oppervlak gebruiken (minimaal raakvlak)</p> <p>Voldoende afstandshouders</p> <p>Betonnen ringen te verkiezen boven kunststof afstandshouders in buitenomstandigheden</p> |
| Reparatie | <p>Niet mogelijk</p> <p>Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid (verslecht het probleem: minder betondekking)</p> |

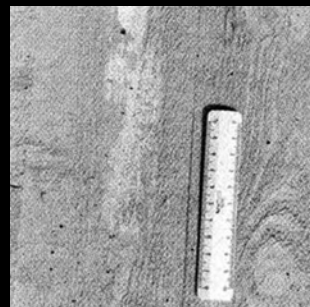


Grindnesten

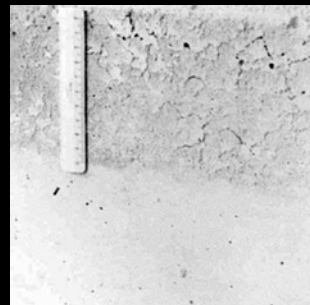
- | | |
|-----------|---|
| Oorzaken | <p>Hoog wapeningspercentage</p> <p>Onvoldoende fijne deeltjes</p> <p>Onvoldoende verdichting</p> <p>Ontmenging door beton te laten vallen van te grote hoogte</p> |
| Preventie | <p>Wapeningsconcentraties vermijden</p> <p>Voldoende fijne deeltjes</p> <p>Storthoogte en hoogte van stortlagen beperken</p> <p>Voldoende verdichting</p> |
| Reparatie | <p>Uitkappen, opvullen met reparatiemortel of spuitbeton naargelang de grootte van het probleem</p> <p>Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid (tenzij bij zeer grote werkingsdiepte)</p> |

Kalkuitslag en kalkstrepen

Oorzaken	Wegspoelen van aan het oppervlak aanwezige vrije kalk Ontstaan van calciumcarbonaat door reactie van vrije kalk met CO_2 Bevordert door vochtige omstandigheden en verdamping aan het oppervlak
Preventie	Afwisselend vochtige en droge omstandigheden vermijden Bescherm vers beton na het storten met plastic folie Aanbrengen van een curing compound Gebruik van kalkarme cementsoorten (hoogovencement) Weinig poreus betonoppervlak (lage water/cement-factor)
Reparatie	Verdwijnen vanzelf na verloop van tijd Afborstelen met water, eventueel lichte zuurbehandeling Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid

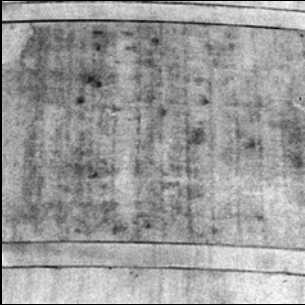
*Grijstintverschil bovenaan een wand*

Oorzaken	Plaatselijke verhoging van de water/cement-factor door waterconcentratie bovenaan de wand door waterafscheiding
Preventie	Lage consistentie betonspecie (minder waterafscheiding) Beperking van stort- en valhoogte Waterafscheiding verwijderen vooraleer verder te storten Bovenlaag opnieuw verdichten voor begin van de binding
Reparatie	Inwrijven met cementpasta Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid

*Vervuiling van het bekistingsoppervlak*

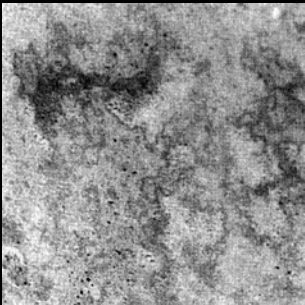
Oorzaken	Verontreinigingen terechtgekomen in de bekisting voor of tijdens het storten Stof en vuil aanhechting aan het ontkistingsmiddel door te lange wachttijd voor het storten Bekisting onvoldoende schoongemaakt voor het storten
Preventie	Bekisting goed reinigen: schoonspuiten, -spoelen of -blazen kort voor het storten (opgelet voor wegspuiten van ontkistingsmiddel) Voorkom vervuiling tijdens het storten
Reparatie	Stoomreinigen of schuren Grote verontreinigingen uitkappen Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid





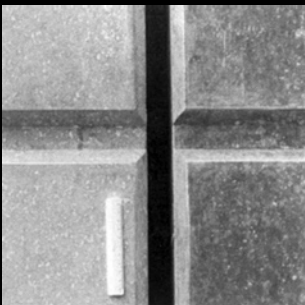
Aftekening van de wapening

Oorzaken	Meettrillen van de wapening bij trillen waardoor plaatselijk segregatie optreedt Onvoldoende betondekking
Preventie	Vermijd de wapening te raken met een trilhaad Voorzie voldoende betondekking met behulp van geschikte afstandshouders
Reparatie	Niet mogelijk Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid (verslecht het probleem: minder betondekking)



Bruine verkleuringen

Oorzaken	Teveel of ongelijkmatig aangebracht ontkistingsmiddel Ongeschikt ontkistingsmiddel naargelang het bekistingsmateriaal
Preventie	Homogeen en matig aanbrengen van ontkistingsmiddel
Reparatie	Vervaagt na verloop van tijd Afborstelen Probleem kan opgelost worden door verwijderen cementhuid



Algemene grijsintverschillen

Oorzaken	Grijsintverschillen zijn doorgaans te wijten aan een verschil in porositeit van het betonoppervlak door verschillen in: bekistingsmateriaal, ontkistingstijd of nabehandeling, betonsamenstelling of ouderdom Vooral zichtbaar bij vochtig weer en op een donker beton
Preventie	Kleine grijsintverschillen zijn niet te vermijden (grenzen op voorhand vastleggen met behulp van grijsschaal) Constante betonsamenstelling en bekistingstijd Bekisting gelijkmatig vullen, stort- en valhoogte beperken
Reparatie	Niet mogelijk Probleem kan NIET opgelost worden door verwijderen cementhuid (afhankelijk van het type oppervlaktebehandeling kunnen verschillen minder opvallen)

Tabel A5.1 (vervolg) - Overzicht van onvolkomenheden van een onbehandeld betonoppervlak, met oorzaken en preventieve maatregelen

5.2 Vervuiling ⁽⁴⁾⁽¹⁰⁾⁽³⁷⁾⁽⁴⁵⁾

De combinatie van water en wind met atmosferische vervuiling is de meest zichtbare aantasting van een betonoppervlak op lange termijn. Veel problemen inzake vervuiling van een geveloppervlak kunnen echter vermeden worden door een goede detaillering en een zorgvuldige keuze van materiaal, kleur en textuur. De esthetiek van een betonoppervlak op lange termijn wordt vandaag door architecten echter vaak verwaarloosd. Ook een regelmatig onderhoud van de betonoppervlakken van een gevel wordt vaak verwaarloosd; in tegenstelling tot de ramen of de binnenkant van een gebouw wordt het onderhoud van betonnen gevelelementen niet als vanzelfsprekend beschouwd.

Een belangrijk gegeven om de manier waarop een betonoppervlak zal vervuilen te kunnen voorspellen is de wijze waarop regenwater over het geveloppervlak zal lopen. De wijze waarop regenwater afloopt van een gevelvlak wordt ook beïnvloed door de wind, welke op zich voor een deel bepaald wordt door de vorm van het gebouw en de omliggende bebouwing. Ook de bezonning van een gevelvlak heeft een invloed; een hoge mate van bezonning zal een gevelvlak sneller doen drogen en de aanhechting van vuildeeltjes bevorderen. Daarom kan het ook nuttig zijn bij het ontwerp van de gevel van een gebouw de graad en wijze van vervuiling na te gaan van reeds bestaande naburige gebouwen.

5.2.1 Betonoppervlak ⁽⁴⁾⁽¹⁰⁾⁽³⁷⁾⁽⁴⁵⁾

Het verkleuren van een betonoppervlak onder invloed van vervuiling is te wijten aan de absorptie van vervuild regenwater door de cementmatrix aan het betonoppervlak. Het aflopen van regenwater langs de gevel gebeurt eens de cementmatrix volledig met water verzadigd is, en is dus afhankelijk van de porositeit van de cementmatrix, de hoeveelheid cementmatrix aan het betonoppervlak en zijn vochtgehalte vóór berekening.

Granulaten aan het betonoppervlak daarentegen hebben meestal een veel lagere absorptie, waardoor zij veel minder onderhevig zijn aan vervuiling, en een groot gehalte aan zichtbare granulaten een goede regenwaterafloop bevordert. Gebroken granulaten hebben een groter manteloppervlak - en dus een groter contactoppervlak met de omgeving - dan ronde granulaten, en zullen dus meer onderhevig zijn aan vervuiling. Bij een uitgewassen betonoppervlak met zichtbare granulaten zal de regenstroom echter hoofdzakelijk afstromen tussen de granulaten en over de cementmatrix, waardoor de vervuiling geconcentreerd wordt op de meer poreuze cementmatrix. Dit betekent dus dat bij vervuiling van een betonoppervlak met zichtbare granulaten de cementmatrix sterk zal verdonkeren en de kleur van de granulaten weinig zal veranderen. Dit kan er bijvoorbeeld toe leiden dat een betonoppervlak met initieel weinig kleurcontrast tussen cementmatrix en granulaten (lichtkleurige granulaten en cementmatrix) evolueert naar een sterk contrasterend oppervlak (lichte granulaten en een vervuilde, donkere cementmatrix). Bij een hoog gehalte aan granulaten aan het betonoppervlak zal het lage oppervlaktepercentage aan vervuilde cementmatrix echter te verwaarlozen zijn ten opzichte

van de weinig vervuilde granulaten; daarom zal op lange termijn een dergelijk betonoppervlak zijn oorspronkelijk aspect beter behouden dan een niet behandeld betonoppervlak, dat voor 100% bestaat uit cementmatrix.

Een gepolijst betonoppervlak zal door zijn gladheid en lage porositeit beduidend minder onderhevig zijn aan vervuiling dan eender welk ander betonoppervlak. Ook zal eventuele vervuiling veel eenvoudiger te verwijderen zijn.

Een licht ruw betonoppervlak, verkregen door een zuurbehandeling of licht zandstralen, zal eerder gevoelig zijn voor vervuiling. Door dit opruwen wordt de totale oppervlakte blootgesteld aan vervuiling vergroot, zonder het positieve effect van een hoog gehalte aan zichtbare grove granulaten zoals bij een uitgewassen oppervlak. Voor een zeer ruw oppervlak verkregen door bijvoorbeeld hameren geldt dit nog meer. De vervuiling van een zeer ruw oppervlak zal echter minder storend zijn dan van een licht ruw oppervlak omwille van de schaduwwerking en onregelmatigheid van het oppervlak.

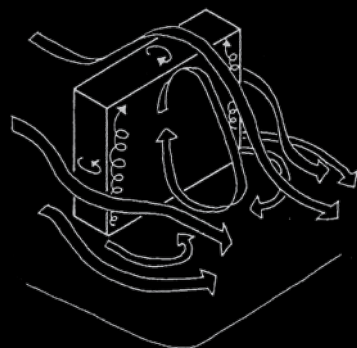
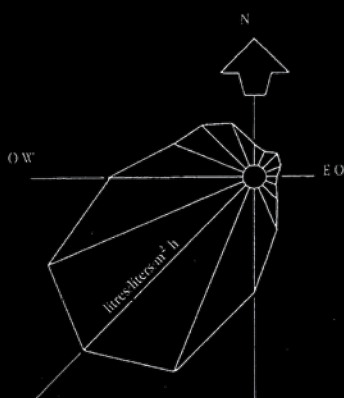
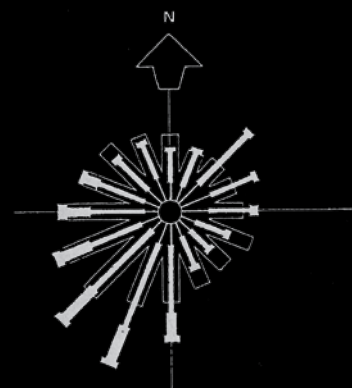
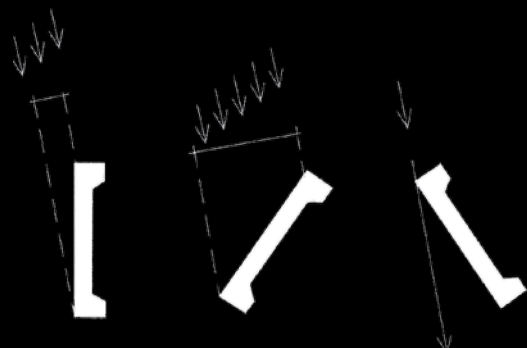
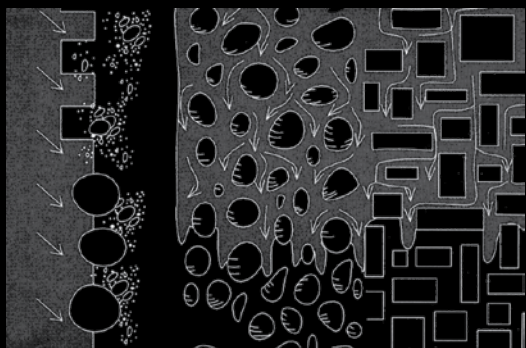
De gevoeligheid voor vervuiling van verschillende soorten behandelde betonoppervlakken kan als volgt gerangschikt worden volgens toenemende gevoeligheid: polijsten, (vertraagd) uitwassen, zandstralen, zuurbehandeling, niet behandeld, vlamstralen, hameren, splijten.

De porositeit van de cementmatrix kan wel beïnvloed worden door betonsamenstelling en uitvoering: een hoge betondruksterkte - door middel van een hoog cementgehalte en lage water/cement-factor - en een goede uitvoering inzake verdichting en nabehandeling kunnen de porositeit van de cementmatrix verminderen.

5.2.2 Detaillering ⁽⁴⁾⁽¹⁰⁾⁽⁴⁵⁾

Bij het ontwerpen van de detaillering van een gevelvlak moet men streven naar een gelijkmatige vervuiling van de gevel, een homogeen vervuild (gepatineerd) betonoppervlak is namelijk veel minder storend dan het contrast tussen sterk en weinig vervuilde delen van een gevelvlak. Dit verschil is het duidelijkst merkbaar op de grens tussen sterk beregende (schoon gewassen) en niet of weinig beregende (sterk vervuilde) oppervlakken. In de meeste gevallen is het echter niet mogelijk de volledige gevel af te screenen van de regen, daarom zullen het profiel en de detaillering van de gevel de manier van vervuilen bepalen. Een niet homogene vervuiling van een gevel kan evenwel de profilering van de gevel complementeren, zodat het effect minder storend is (bijvoorbeeld gevelpanelen met verticale ribben die op dezelfde manier vervuilen als de schaduwwerking tengevolge van deze ribben).

De mate waarin een gevel blootgesteld wordt aan regen, wind en zon hangt af van de oriëntatie. Een zuid-westgevel is het meest blootgesteld aan regen, wind en zon. De berekening aan de randzones van een gevelvlak zal hoger zijn dan in het midden; dit is te wijten aan turbulenties van de windstroming rond de hoeken van een gebouw. Ook de valrichting van de regen varieert, naargelang de invloed van de wind. Als vuistregel voor de hoek van regeninval kan een helling van 20% met de verticale gehanteerd worden. Dit betekent dat een horizontaal vlak vijf maal



vlmr, vbno

Afbeelding A5.1 - Regenwater loopt af op de cementmatrix tussen de granulaten

Afbeelding A5.2 - Een oppervlak vangt meer of minder water naargelang zijn helling

Afbeelding A5.3 - Gemiddelde windsnelheid naargelang oriëntatie in België

Afbeelding A5.4 - Gemiddelde regenhoeveelheid naargelang oriëntatie in België

Afbeelding A5.5 - Windstroming langs een gebouw en invloed op de regenval

Afbeelding A5.6 - Principe van absorptie en afwatering van een verticaal beregend betonoppervlak



meer regen ontvangt dan een verticaal vlak.¹

Bij het afstromen van regen langs het gevelvlak neemt het water steeds meer vuildeeltjes van op het oppervlak mee en zet deze lager af naargelang de porositeit van het betonoppervlak. Daarom zijn horizontale of licht hellende vlakken en verticale vlakken onder raamopeningen (accumulatie van vuil van op het glasvlak en de vensterbank) en onderaan de gevel meer onderhevig aan vervuiling.

5.2.3 Bescherming & onderhoud ⁽⁴⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁶⁾⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾

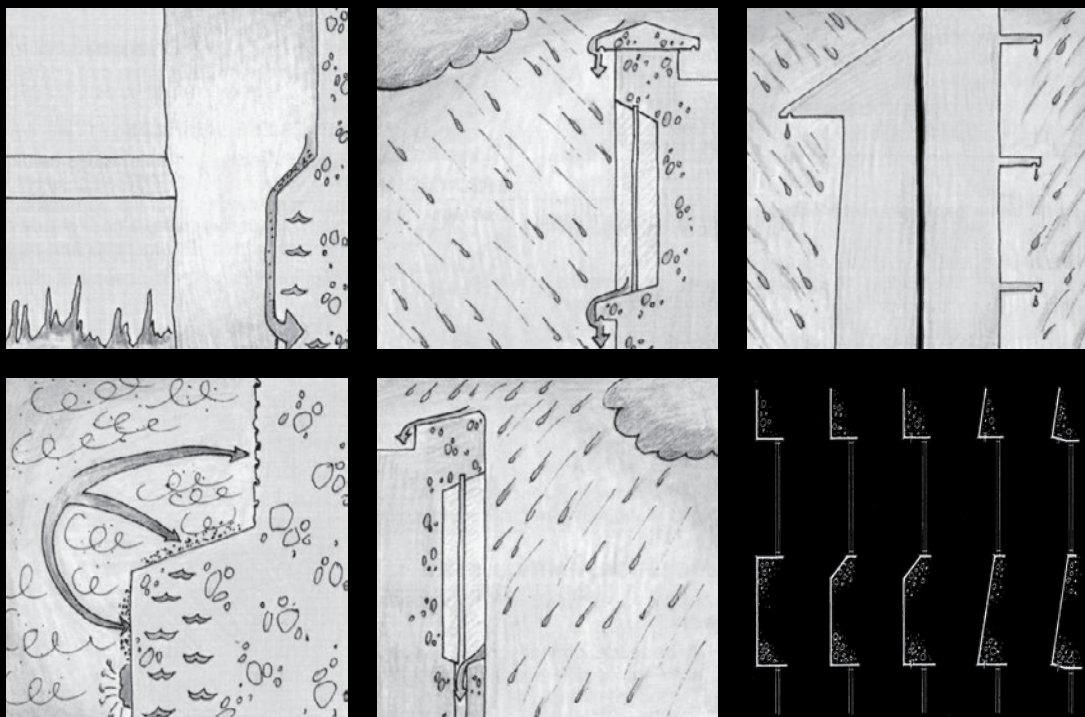
Zoals reeds eerder vermeld zijn veel problemen inzake de vervuiling van betonoppervlakken te vermijden door een regelmatig onderhoud van de gevel. Het aanbrengen van een oppervlaktescherming laat een eenvoudiger en economischer onderhoud toe. Een degelijke betonsamenstelling, uitvoering en detaillering moet echter altijd voorrang krijgen op een eventuele oppervlaktescherming naderhand.

Het principe van deze beschermingsproducten is gebaseerd op het verminderen van de waterabsorptie van het oppervlak, waardoor vermeden wordt dat vuildeeltjes zich vast zetten in de poriën van het oppervlak. Het systeem moet bij voorkeur dampopen zijn, zodanig dat dampdiffusie van binnen naar buiten niet verhinderd wordt. Een ander aspect bij de keuze van een oppervlaktescherming is de invloed op het uitzicht van het betonoppervlak; sommige coatings zijn onzichtbaar, andere verdonkeren de kleur van het oppervlak of geven het een matte of hoogglans. Andere eigenschappen zijn UV-bestendigheid en Alkali-bestendigheid. Er zijn verschillende coatings op de markt, speciaal ontwikkeld voor gebruik op beton, die aan deze criteria voldoen. Het is dan ook belangrijk de instructies van de fabrikant, inzake de manier van toepassen, te volgen. Men kan een onderscheid maken tussen 4 types beschermingen tegen vervuiling: hydrofoberen, oppervlakteversteving, coatings, en anti-graffiticoatings.

- 1 *Hydrofoberen* heeft tot doel het oppervlak ondoordringbaar te maken voor water in vloeibare toestand (dampdiffusie is nog steeds mogelijk). Het betonoppervlak wordt geïmpregneerd met een product dat waterafstotende componenten bevat, waardoor het contactoppervlak van een waterdruppel met het beton verkleint (parelvorming). Deze producten vullen de poriën niet en vormen ook geen film op het betonoppervlak, maar bekleden de poriënwanden met hydrofobe stoffen. De voornaamste producten zijn siliconaten, silanen, siloxanen en siliconenharsen.
- 2 *Oppervlakteversteving* vult de poriën van het betonoppervlak deels of volledig. Er bestaan 2 principes waardoor de poriën gevuld worden: door de vorming van zouten, ontstaan uit reactie van het product met de vrije kalk in het beton (silicaten) of door het verharden van het product zelf, eens geabsorbeerd in de poriën (epoxy of acrylaat harsen).

1 *Elementen in Architectonisch Beton, Technische Aanbevelingen, FEBE, p. 70*

- 3 *Coatings* zijn dunne (1 - 3 mm) filmlagen aangebracht over het volledige betonoppervlak. Ze hebben doorgaans een hoge diffusieweerstand waardoor ze de indringing van CO_2 verminderen en dus carbonatatie remmend werken. Ze worden ook vaak aangewend als bescherming tegen chemische aantasting. Voor de bescherming tegen vervuiling worden meestal coatings op basis van polyurethaan of acrylaat toegepast.
- 4 *Anti-graffiticoatings* zijn te vergelijken met normale coatings, maar men kan onderscheid maken tussen permanente en niet-permanente systemen. Ze bestaan meestal uit twee lagen. Een permanent systeem zal na het verwijderen van de graffiti, met een geschikt oplosmiddel, zijn eigenschappen behouden. Bij een niet-permanent systeem moet na het verwijderen van de graffiti de tweede laag plaatselijk opnieuw aangebracht worden.
- Hierbij is het nuttig rekening te houden met het feit dat vooral gladde en effen (onbehandeld, zuurbehandeld of gepolijst) oppervlakken geliefd zijn bij 'graffitikunstenaars'.



vlnr, vbno

Afbeelding A5.7, 8, 9, 10, 11 & 12 - Overzicht van een aantal geveldetailleringen, van belang voor het vermijden van (ongelijkmatige) vervuiling.

Een veel belovende oplossing voor de vervuiling van betonoppervlakken, die momenteel onderzocht wordt, is zelfreinigend beton door toevoeging van fotokatalytisch TiO_2 (cfr. B9 Recente ontwikkelingen / 9.4 Fotokatalytisch TiO_2).

5.2.4 Aandachtspunten

- Regelmatige reiniging en onderhoud van de gevelvlakken is aan te bevelen.
- Onderzoek van de graad en wijze van vervuiling van naburige gebouwen kan helpen bij het voorspellen van de manier waarop een gevelvlak zal vervuilen.
- Vervuiling is minder zichtbaar op een donker gekleurd betonoppervlak.
- Een gepolijst betonoppervlak is het minst onderhevig aan vervuiling.
- Een betonoppervlak met een groot gehalte aan zichtbare grove granulaten is globaal minder onderhevig aan vervuiling.
- Gebroken granulaten zijn meer onderhevig aan vervuiling dan ronde granulaten.
- De vervuiling op een zeer ruw oppervlak is minder storend dan op een licht ruw oppervlak.
- Een betonoppervlak met een lage porositeit is minder onderhevig aan vervuiling.
- De hoogste graad van vervuiling doet zich voor onderaan een gevel (waar het oppervlak ook het meest rechtstreeks zichtbaar is) en onder raamopeningen. Het is aan te raden de keuze van het type betonoppervlak hierop af te stemmen. (*Afbeelding A5.7*)
- Vermijd vervuiling onder een raamopening door het voorzien van een geschikte druiplijst (niet te dicht van het gevelvlak). (*Afbeelding A5.8*)
- Vermijd, indien mogelijk, horizontale of lichthellende oppervlakken in het gevelvlak, waarop water en vuil kunnen stagneren. Voorzie dekstenen of dakrandprofielen met een geschikte druiplijst of voorzie een afwaterparcours zodanig dat de afwatering niet langs het gevelvlak gebeurt. (*Afbeeldingen A5.8, 9, 10 & 11*)
- Vermijd afloop op gevelvlakken die niet rechtstreeks beregend worden.
- Vervang combinaties van horizontale en verticale vlakken indien mogelijk door een hellend vlak. (*Afbeelding A5.12*)
- Verticale ribben laten toe de regenafloop te kanaliseren. De schaduwwerking zorgt ervoor dat de vervuiling niet storend is.

B1 Zuurbehandeling

- [10] Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
- [13] Traitement des surfaces de béton à l'acide, in Bulletin du ciment, n°21, 1977
- [18] ACI COMMITTEE 303, Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice, ACI, Detroit, 1991, p. 20 - 23
- [19] APERS J., Het uiterlijk van beton, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000
- [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994
- [32] GUDGEON A., Precast Concrete: a selection guide for surface finishes, in Constructional Review, n°4, 1987, p. 52 - 59
- [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002

1.1 Principe ⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾

Deze techniek bestaat in het behandelen met een zuuroplossing van het verharde betonoppervlak na ontlasting. De kalkverbindingen (CaCO_3), die het grootste deel van de cementsteen uitmaken, worden snel door het zuur aangevallen en opgelost. De silicaatverbindingen zijn hiertegen beter bestand. Op deze manier worden de fijne granulaten zichtbaar aan het betonoppervlak, voor zover de zandkorrels zelf niet worden aangetast door het zuur. (cfr. *A1 Betonsamenstelling*) Met een meer doorgedreven behandeling is het eveneens mogelijk om grotere granulaten bloot te leggen.

Door deze methode zullen het dus vooral de eigenschappen van het gebruikte zand en fijne granulaten zijn die de kleur en textuur van het behandelde beton zullen bepalen. De techniek laat een gradatie in textuur toe; van een zeer fijne korrel (welke het uitzicht van natuursteen benadert) tot een wat grovere korrel (het resultaat benaderend, verkregen door ondiep vertraagd uitwassen)

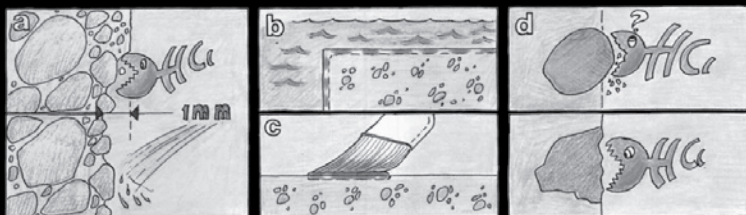
Het is een techniek die veel wordt toegepast, voornamelijk bij prefabelementen. In het geval van complexe bekistingsvormen is deze techniek ook meer aangewezen dan bijvoorbeeld vertraagd uitwassen of stralen. De reden hiervoor is dat het product niet op de bekisting moet worden aangebracht, maar rechtstreeks op het betonoppervlak, wat voor complexe vormen meestal een groot voordeel is.

Bij het toepassen op grote oppervlakken of grote reeksen elementen is het echter moeilijk om steeds exact hetzelfde resultaat te verkrijgen, vooral bij een fijnkorrelig resultaat; omdat hier slechts zeer korte foutenmarges qua blootstellingsduur hanteerbaar zijn.

De zuurbehandeling kan ook worden toegepast in combinatie met andere technieken zoals stralen of uitwassen. Het zorgt dan voor een bijkomende glans op reeds blootliggende granulaten, die niet door het zuur aangetast worden (kwarts, basalt, porfier, silex, ...)

Naast het verkrijgen van een specifieke oppervlaktestructuur om esthetische redenen, wordt een zuurbehandeling ook toegepast voor het elimineren van vlekken of kleurverschillen van een betonoppervlak, tengevolge kalkuitlogingen of andere oorzaken.

Een licht zuurbehandeld oppervlak biedt in veel gevallen een waardig alternatief voor een glad betonoppervlak, aangezien van op een zekere afstand het oppervlak als effen waargenomen wordt, met minder vlekken en kleurschakeringen.



Afbeelding B1.1 - Principeschema



vlnr, vbno

Afbeelding B1.2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 & 10 - Zuurbehandelde betonoppervlakken

1.2 Betonsamenstelling ⁽¹³⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁷⁾

Om te vermijden dat het zuur te diep in het beton binnendringt (en de cementmatrix ontbindt) is een goede verdichting en een lage porositeit (lage W/C-factor) belangrijk.

Over het algemeen moet het beton een minimale druksterkte bereikt hebben van 30 N/mm² alvorens de behandeling te starten. ¹

Aangezien met een zuurbehandeling doorgaans een vrij fijnkorrelige oppervlaktetextuur wordt beoogd is het belangrijk een continue korrelverdeling te hebben, met voldoende fijne korrels. Kalkhoudende granulaten of granulaten afkomstig van leisteen worden aangetast door de zuuroplossing, in sommige gevallen met dezelfde snelheid als de cementmatrix, waardoor een effen en homogeen oppervlak ontstaat. Granulaten op basis van gesteenten zoals kwarts, basalt, porfier of silex zijn ongevoelig voor zuuraantasting, wat zal resulteren in een wat korreliger oppervlak. Hun uitzicht en kleur worden door de behandeling zelfs geaccentueerd, zoals reeds vermeld.

Door de zuurbehandeling komen de fijne granulaten (zandkorrels) bloot te liggen aan het oppervlak, zonder dat het oppervlak van de korrels zelf aangetast wordt. Hierdoor kan bij zoninval op het oppervlak een glinstering waargenomen worden. Dit effect doet zich voornamelijk voor bij een zuurbehandeld oppervlak, en in veel mindere mate bij een gestraald oppervlak aangezien daar het oppervlak van de korrels opgeruwd wordt waardoor een mat effect verkregen wordt.

Het gebruik van verhardingsversnellers is indien mogelijk te vermijden, aangezien dit tot gevolg heeft dat zeer snel na het storten met de behandeling moet gestart worden om te vermijden dat de zuurbehandeling te lang duurt omdat het beton reeds te hard is.

1.3 Uitvoering ⁽¹³⁾⁽²⁷⁾⁽³²⁾

De wachttijd na het storten, vooraleer men met de behandeling kan beginnen varieert doorgaans van 24 tot 72 uur, rekening houdend met een minimale druksterkte van het beton van 30 N/mm². Deze ruime marge heeft te maken met een aantal factoren die invloed hebben op de verhardingssnelheid: cementtype, W/C-factor, verhardingsversnellers, omgevingstemperatuur. Langer dan 72 uur leidt doorgaans tot een zeer trage inwerking van het zuur. Na minder dan 24 uur zijn er nog vrij grote verschillen in hardheid van verschillende zones van eenzelfde oppervlak, wat tot grote verschillen kan leiden in het uiteindelijke resultaat.

¹ GUDGEON A., *Precast Concrete: a selection guide for surface finishes, in Constructional Review*, n°4, 1987, p. 58

Vooraleer de zuurbehandeling te starten is het belangrijk het oppervlak volledig met water te verzadigen om een ongelijke of te diepe absorptie van de zuuroplossing te vermijden.

Het behandelen van het betonoppervlak met een zoutzuur oplossing laat na de behandeling chloridehoudende zouten achter op het oppervlak. Indien het oppervlak nadien niet grondig met water onder hoge druk wordt gereinigd om deze zouten te verwijderen, kan dit leiden tot een versnelde wapeningscorrosie, geïnitieerd door chloridenpenetratie. Om een goede duurzaamheid te garanderen is het dan ook aangewezen een extra betondekking van 5 mm te voorzien bovenop de normale dekking.

Het toevoegen van 1 à 2% CaCO_3 (marmerstof) aan de zuuroplossing zal ervoor zorgen dat al het zuur opreageert en geen residu van chloriden achterlaat op het oppervlak.²

Bij een zuurbehandeling door borstelen of vernevelen of met een gel is het van belang erop toe te zien dat de zuuroplossing niet afloopt langs het oppervlak om druiptoren te vermijden.

Om het resultaat na een behandeling te beoordelen moeten eerst de zouten op het oppervlak afgewassen worden, en moet men wachten tot het oppervlak volledig droog is. Pas dan kan men beslissen of een volgende behandeling noodzakelijk is.

Bij een toepassing in situ is het belangrijk alle onderdelen van een gevelvlak die aangetast kunnen worden door het zuur (raamkaders, metalen delen, gevelde delen, planten,...) zorgvuldig af te plakken met plastic folie. Dit geldt ook voor delen van een oppervlak die niet behandeld mogen worden, of voor het onderdompelen van prefab elementen (bevestigingen,...).

² GUDGEON A., *Precast Concrete: a selection guide for surface finishes*, in *Constructional Review*, n°4, 1987, p. 58

1.3.1 Zuuroplossing ⁽¹³⁾

De intensiteit van de werking van het zuur kan op drie manieren geregeld worden: de sterkte van het zuur aanpassen (de concentratie of het soort zuur), het aantal behandelingen aanpassen, of de duur van een behandeling aanpassen. Hierbij dient echter vermeld te worden dat na het starten van de behandeling het zuur zeer snel zal geneutraliseerd worden, omdat de reactie stilvalt door de vorming van zouten op het betonoppervlak. Bij gebruik van een HCl oplossing zijn de gevormde zouten oplosbaar in water, en dus achteraf eenvoudig te verwijderen. Dit impliceert dus ook dat het oppervlak telkens moet afgewassen worden alvorens een nieuwe behandeling te starten.

Het meest geschikte, en ook meest toegepaste, zuur voor het behandelen van betonoppervlakken is zoutzuur (HCl). Het is in de handel in verschillende volumeconcentraties te verkrijgen (10% - 20% - 30%); voor het onderdompelen wordt het terplaatse nogmaals verdund met water tot een volumeconcentratie verkregen wordt van ca. 7%, voor het manueel behandelen wordt meestal een wat hogere concentratie aangewend (ca. 10%). Het is courant te verkrijgen, goedkoop en verdund relatief ongevaarlijk, op een onaangename geur na.

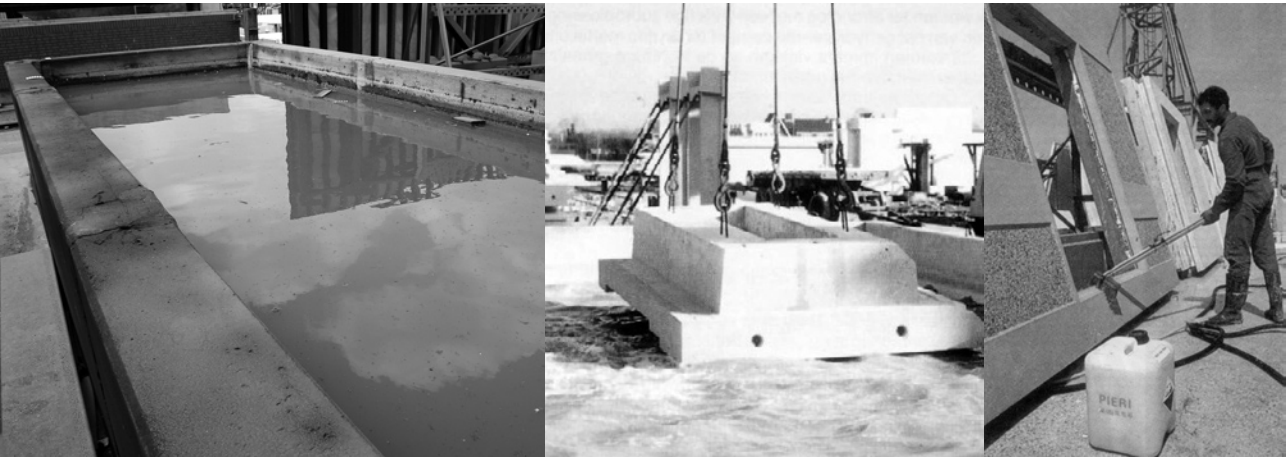
In bepaalde gevallen wordt ook gebruikt gemaakt van een waterstoffluoride (HF) oplossing: een sterk en gevaarlijk zuur, zelfs verdund. Wanneer een uitgewassen betonoppervlak ook nog een zuurbehandeling krijgt (met HCl) kunnen vrijgekomen silicaatverbindingen een laagje vormen op de zichtbare granulaten (*cfr. B3 Uitwassen, B4 Vertraagd uitwassen*). Indien dit niet onmiddellijk kan verwijderd worden met een 2^{de} behandeling met HCl, zal men hiervoor gebruik moeten maken van een HF oplossing. Zuren als salpeterzuur (HNO₃) en zwavelzuur (H₂SO₄) kunnen niet gebruikt worden aangezien ze het beton in de diepte aantasten.

Na een zuurbehandeling heeft het resulterende betonoppervlak een ruwere textuur, die het gevolg is van het verschil in zuurbestendigheid van de verschillende bestanddelen aanwezig aan het oppervlak. Het betonoppervlak zal ook een wat donkerdere tint krijgen, doordat alle kalkverbindingen aan het oppervlak opgelost zijn.

De zuuroplossing kan op verschillende manieren aangebracht worden op het betonoppervlak.

Tabel B1.1 - Invloed van de concentratie van de gebruikte zoutzuur oplossing op de werkingsdiepte van de behandeling
Gegevens uit Traitement des surfaces de béton à l'acide, in Bulletin du ciment, n°21, 1977, p. 2, Tableau 1

Zuuroplossing	Gehalte HCl (g/cm ³)	Hoeveelheid CaCO ₃ opgelost (mg/cm ²)	Werkingsdiepte (mm)
Geconcentreerd zoutzuur	0,4	30	0,1
Zoutzuur, verdund met water 1:5	0,08	6	0,02
Zoutzuur, verdund met water 1:10	0,04	3	0,01



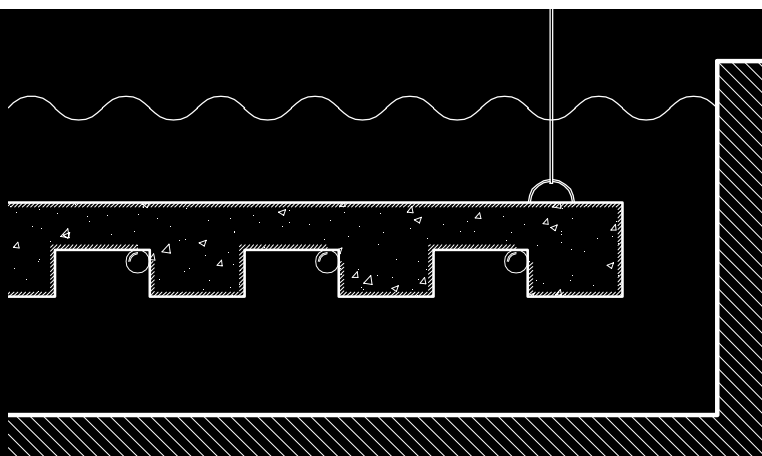
1.3.2 Onderdompelen ⁽¹³⁾⁽²⁷⁾

Deze techniek kan enkel toegepast worden op prefabelementen, en wordt voornamelijk gebruikt voor gevelpanelen van grote afmetingen. Hierbij wordt het element ondergedompeld in een groot bad gevuld met de verdunde zuuroplossing. De diepte van een zuurbad is er meestal op voorzien dat de elementen verticaal ondergedompeld kunnen worden over hun volledige hoogte, wat bijkomende kraanbewerkingen vermijdt. De lengte en breedte zijn afgestemd op de maximale afmetingen van de bekistingen gebruikt door het bedrijf.

Het is belangrijk om vooraf een aantal testen te doen die de juiste onderdompeltijd, temperatuur en zuurgraad (pH) te bepalen, voor het gewenste uitzicht. Deze onderdompeltijd varieert meestal van 30 seconden tot 2 à 3 minuten. Het spreekt dus voor zich dat een tijdsverschil van slechts enkele seconden kan resulteren in een merkbaar verschil in resultaat.

Na het onderdompelen worden de elementen rechtop geplaatst om ze met water onder hoge druk grondig te reinigen en al het resterende zuur en neergeslagen zouten te verwijderen van de ondergedompelde oppervlakken. Delen die eventueel onvoldoende behandeld zijn kunnen achteraf manueel opnieuw met een borstel worden behandeld en afgewassen. In veel gevallen wordt het volledige oppervlak nogmaals manueel behandeld om een gelijkmatig resultaat te verkrijgen.

Een probleem wat zich kan stellen bij het onderdompelen is het vormen van luchtballen onder het element waardoor op die plaats geen contact ontstaat met de zuuroplossing. Dit probleem stelt zich voornamelijk bij elementen met een complexe vorm waar gemakkelijk luchtballen kunnen gevangen blijven. Deze techniek is dan ook minder geschikt voor dergelijke complexe vormen of profileringen.



vlm

Afbeelding B1.11 & 12 - Bad met
zuuroplossing voor het onderdompelen
van prefab panelen

Afbeelding B1.13 - Zuurbehandeling van
prefab panelen door borstelen

Afbeelding B1.14 - Vorming van
luchtballen onder een ondergedompeld,
geprofileerd element

1.3.3 Borstelen of vernevelen ⁽¹³⁾⁽²⁷⁾

Hierbij wordt de verdunde zuuroplossing aangebracht met een borstel of verneveld. Het betonoppervlak wordt vooraf nat gemaakt, waardoor eventuele verschillen in porositeit van het oppervlak worden geneutraliseerd en wordt vermeden dat het zuur te ver indringt. Achteraf wordt opnieuw het oppervlak onder hoge druk afgespoeld.

1.3.4 Gel ⁽¹³⁾⁽²⁷⁾

Een gel is een product waarin het zuur reeds is verdund met de juiste concentratie. De gel wordt aangebracht met een borstel op het oppervlak nadat het nat gemaakt werd. Ook hier wordt het oppervlak achteraf onder hoge druk afgespoeld. Deze routine kan eventueel een aantal keer herhaald worden om een homogeen oppervlak te verkrijgen.

Het gebruik van een gel laat meestal toe een fijnere korrel en een meer homogeen oppervlak te verkrijgen, t.o.v. de techniek van het onderdompelen.

Deze techniek wordt voornamelijk toegepast op kleinere elementen en complexe vormen, of plaatselijke toepassing op grotere elementen. Vooral bij profileringen waarbij een risico bestaat op aflopen of stagneren van een vloeibare zuuroplossing is een gel aangewezen. Ze is wel aanzienlijk arbeidsintensiever en dus duurder dan het onderdompelen van volledige prefabelementen.

1.3.5 Vakbekwaamheid ⁽¹³⁾⁽²⁷⁾

Het toepassen van deze techniek vereist geen specifieke technische kennis, maar wel een aantal strikte veiligheidsmaatregelen en bescherming. Het onvoorzichtig omgaan met het zuur kan leiden tot brandwonden en overmatige corrosie van materieel. Alle materieel of bekistingen uit metaal welke in contact kunnen komen met het zuur moeten beschermd worden tegen corrosie door deze te verzinken, te beschermen met een bitumineuze laag, of met kunststof bescherming bestand tegen zuren.

Door de korte behandelzeiten, voornamelijk bij onderdompelen, zal een klein verschil in behandelzeit onmiddellijk een duidelijk merkbaar verschil in uitzicht opleveren. Daarom is een grondige voorbereiding en goede vakbekwaamheid uiteraard bijzonder belangrijk.

Ook de verhardingstijd van elk element moet nauwkeurig bijgehouden worden, om verschillen in hardheid, en dus verschillen wat betreft het uitzicht, van een reeks elementen te vermijden. Dit is ook weer vooral van toepassing bij onderdompelen, aangezien deze techniek het meeste toegepast wordt voor reeksen prefab elementen.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Zuurbehandeling</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Vaak
<i>Toepassing in situ</i>	Weinig (kleine oppervlakken)
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Vaak (opgelet voor luchtbellen bij onderdompelen!)
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Zeer licht tot licht ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Fijne granulaten zichtbaar Glinstering van zandkorrels bij invallend zonlicht
<i>Betonsamenstelling</i>	Kalkhoudende granulaten aangetast Continue korrelverdeling Lage porositeit
<i>Minimale betondruksterkte</i>	30 N/mm ²
<i>Behandeldiepte</i>	≤ 1 mm
<i>Extra betondekking</i>	5 mm
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Gemiddeld: kleine verschillen in behandel tijd geven een merkbaar verschillend resultaat, grondige voorbereiding en bescherming noodzakelijk
<i>Automatisatie</i>	Laag
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Hoog
<i>Opmerkingen</i>	Oppervlak vooraf verzadigen met water, achteraf afspoelen met water Onderdelen gevoelig voor zuuraantasting beschermen (raamkaders, metalen delen,...)

Uitvoeringsvolgorde

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten
2. Te behandelen oppervlak verzadigen met water (besproeien)
3. Afscheren zuurgevoelige onderdelen (metalen delen, raamkaders, materieel,...)
4. Onderdompelen in zuuroplossing of aanbrengen zuuroplossing op het te behandelen oppervlak
5. Na exacte behandel tijd onmiddellijk afspoelen met water onder hoge druk
6. Herhalen of manueel nabehandelen tot gewenste resultaat

B2 Stralen

- 
- [10] Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
 - [18] ACI COMMITTEE 303, Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice, ACI, Detroit, 1991, p. 20 - 23
 - [19] APERS J., Het uiterlijk van beton, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELOCEM, Brussel, 2000
 - [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994
 - [32] GUDGEON A., Precast Concrete: a selection guide for surface finishes, in Constructional Review, n°4, 1987, p. 52 - 59
 - [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002
 - [39] KURU K., Automatisierte Nachbehandlung von Oberflächen, in Betonwerk + Fertigteil-Technik, n°10, 1992, p. 61 - 70

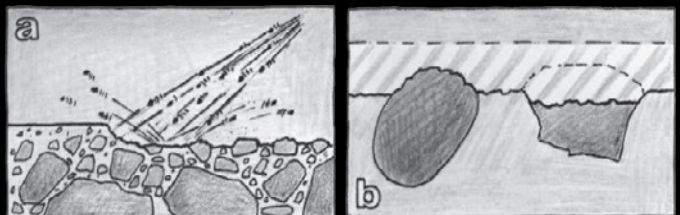
2.1 Principe ⁽¹⁰⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾

Het stralen bestaat erin het betonoppervlak te bestralen met fijne, schurende korrels (vroeger meestal zand); geprojecteerd met behulp van lucht (droog) of water (nat) onder hoge druk. Het verharde betonoppervlak wordt afgeschuurd door de impact en de wrijving van de korrels. De diepte waarin de cementmatrix kan worden weggeschuurd varieert van minder dan 1 mm, waarbij enkel fijne granulaten (zand) zichtbaar worden, tot ca. 4 mm, indien men grovere granulaten wil bloot leggen.

Deze behandelingsmethode is erg flexibel, laat een grote variatie toe qua uitzicht, en is goed toepasbaar op alle vormen en afmetingen van betonelementen, zowel prefab als in situ. Door haar lage kostprijs en grote flexibiliteit in vergelijking met uitwassen of zuren wordt stralen veel toegepast, vooral wanneer het gaat om grote oplagen prefab elementen. Door te werken met plaatselijke beschermingen (het laten zitten van een deel van de mal of bekisting, of het aanbrengen van een beschermingsplaat) is het eveneens mogelijk enkel welbepaalde delen van een oppervlak te behandelen. Ze wordt ook vaak toegepast in combinatie met andere technieken als uitwassen of polijsten of het gebruik van structuurmatten of mallen om speciale textuurcombinaties te verkrijgen.

Het stralen met zeer fijn zand wordt vaak toegepast als extra behandeling na een zuurbehandeling (*cfr. B1 Zuurbehandeling*) of uitwassen (*cfr. B3 Uitwassen, B4 Vertraagd uitwassen*) of rechtstreeks op glad bekist beton; om verschillen in kleur en textuur, vlekken, of oneffenheden in een betonoppervlak weg te werken. Het stralen kan echter ook bepaalde diepere gebreken accentueren zoals grindnesten en barsten in het oppervlak.

Wanneer diep wordt gestraald zodat grotere granulaten zichtbaar worden, wordt het oppervlak van deze granulaten door het stralen ook opgeruwd, waardoor deze een mat uitzicht krijgen (in tegenstelling tot een zuurbehandeling).



Afbeelding B2.1 - Principeschema



vlr, vbno

Afbeelding B2.2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 & 10 - Gezandstraalde betonoppervlakken

2.2 Betonsamenstelling ⁽²⁷⁾

De mate waarin het oppervlak opgeruwd wordt hangt grotendeels af van de hardheid van de granulaten en de cementmatrix.

Bij ondiep stralen, is het vooral de kleur van de fijne granulaten (zand) die het algemeen uitzicht bepaalt. Deze techniek wordt veel toegepast op beton met geel of wit zand als fijn granulaat om het uitzicht van een natuursteen na te bootsen.

Bij diep stralen zijn het de grotere granulaten die het uitzicht bepalen. Wanneer men gebruik maakt van granulaten afkomstig van zachte gesteenten (kalkachtig), zullen deze door het stralen sterk geërodeerd worden. Hierdoor zal ook de kleur lichter zijn dan de oorspronkelijke kleur van de granulaten.

Ook het type cement is belangrijk. Een wit cement laat de kleur van de granulaten beter tot zijn recht komen. Voor ondiep stralen is een hard betonoppervlak nodig, en dus een lage water/cement-factor. Voor diep stralen is een wat zachter oppervlak aangewezen.

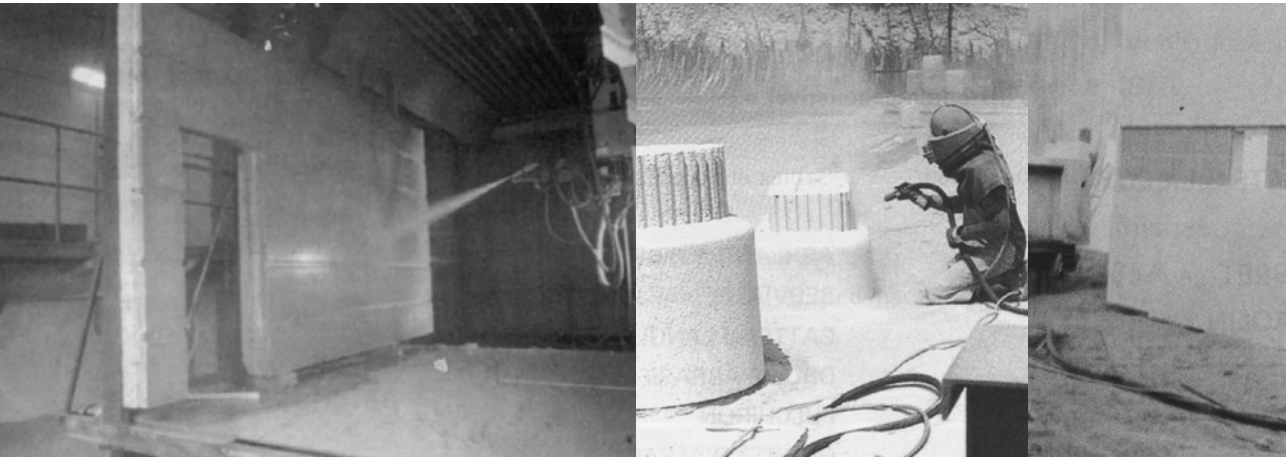
Alvorens te starten met het stralen moet het beton een druksterkte van minstens 14 N/mm² bereikt hebben.

2.3 Uitvoering ⁽¹⁸⁾⁽²⁷⁾

De wachttijd na het storten alvorens met het stralen te starten bedraagt ca. 24 uur (bij 15°C) voor diep stralen. Voor ondiep stralen is een grotere hardheid van het oppervlak nodig waardoor de wachttijd oploopt tot 48 uur. Hoe langer men wacht, hoe hoger de druksterkte (en de hardheid van het oppervlak) en hoe fijner de textuur van het oppervlak. De hardheid kan worden bepaald met een sclerometer ¹.

De behandeling kan gestart worden wanneer het beton een druksterkte bereikt heeft van minstens 14 N/mm².

¹ Een sclerometer laat toe de hardheid van beton te meten, zonder het aan destructieve proeven te onderwerpen. Het toestel bestaat uit een stalen hamer die door een veer wordt aangespannen. Wanneer de veer wordt losgelaten, slaat de hamer met een vaste snelheid een metalen stootstang binnen een hol geleidingsstuk tegen het betonoppervlak. De terugslagafstand van deze hamer is dan een maat voor de oppervlaktehardheid van het beton.



Algemeen kan men een visueel onderscheid maken tussen 4 verschillende graden van stralen, naargelang de behandeldiepte: ²

- Gommen: voldoende voor het verwijderen van de oppervlakteglans maar ook vlekken, oneffenheden en kleurverschillen, zonder een merkbaar verschil in oppervlaktetextuur teweeg te brengen.
- Licht: voldoende om de fijne granulaten en af en toe de grove granulaten bloot te leggen (1,5 mm).
- Medium: net voldoende om alle grove granulaten bloot te leggen (6 mm).
- Zwaar: alle grove granulaten worden bloot gelegd tot op 1/3 van hun diameter (6 – 12 mm).

Het stralen van een betonoppervlak waarvan de verharding vertraagd werd (in plaats van het wegsprengen of borstelen) laat toe snel en diep weg te schuren, zonder het oppervlak van de granulaten zelf aan te tasten (*cfr. B4 Vertraagd uitwassen*).

Bij de keuze van de korrels voor het stralen wordt bij voorkeur geopteerd voor ronde granulaten, doorgaans natuurlijk zand. Wat betreft de granulometrie van de straalkorrels gelden beperkingen op de spreiding ($D/d \leq 2$) en op de maximale afmetingen ($D \leq 0,2x$ diameter straallans).

Naast zand wordt vandaag ook steeds meer gebruik gemaakt van andere fijne granulaten zoals hoogovenslakkorrels, staalgrind of glaskorrels; rekening houdend met eerder vermelde

² ACI COMMITTEE 303 , *Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice*, ACI, Detroit, 1991, p. 21



vlnr

Afbeelding B2.11 - Geautomatiseerd (nat)
stralen van prefab panelen

Afbeelding B2.12, 13 & 14 - Manueel
zandstralen van prefab elementen

voorwaarden. In theorie produceren sommige van deze alternatieve straalkorrels minder stof, alhoewel de grootste hoeveelheid stof afkomstig is van de cementhuid en niet van de straalkorrels. Donkere korrels zoals hoogovenslak kunnen echter sporen achter laten op een beton van lichte kleur. In de meeste gevallen wordt nog steeds de voorkeur gegeven aan natuurlijk zand. In sommige situaties waar het residu van straalkorrels een probleem vormt, kan men opteren voor bevroren koolstofdioxide korrels, welke bij het raken van het betonoppervlak onmiddellijk sublimeren. Deze techniek vereist echter een zeer gespecialiseerde en dure installatie, en is weinig milieuvriendelijk.

Het stralen gebeurt met een druk van ca. $0,5 \text{ N/mm}^2$, een afstand tot het betonoppervlak tussen 30 en 100 cm, en de straallans maakt een hoek met het betonoppervlak van 60° tot 80° . Stralen met een lagere druk is ook mogelijk, wat een grotere straallansdiameter toelaat en bijgevolg een meer uniform resultaat.

De meest cruciale factor voor het bereiken van het gewenste resultaat is de voortbewegingsnelheid van het stralen; een te trage, en dus diepere, behandeling leidt er onvermijdelijk toe het hele element op deze diepte te stralen.

2.3.2 Automatische installaties ⁽³⁹⁾

Er bestaan ook geautomatiseerde installaties voor het stralen van prefab elementen. Hierbij bevindt de operator zich in een controlekamer van waaruit hij een zicht heeft op het te behandelen element en de straalrobot kan bedienen.

Een dergelijke installatie laat toe gebruik te maken van een straallans met grotere diameters dan mogelijk bij manueel stralen. Dit resulteert in een veel groter bereik en dus kortere behandelingsduur, wat vooral doorweegt bij elementen met grote afmetingen. Een ander voordeel is de mogelijkheid om op een snelle en eenvoudige manier de straalkorrels te recupereren, doordat men werkt in een afgesloten kamer.

De nieuwste generatie geautomatiseerde straalinstallaties zijn voorzien van een *workflow-automation* systeem: de operator behandelt een eerste element, waarna de robot de verschillende uitgevoerde handelingen opslaat in zijn geheugen en deze vervolgens kan herhalen op alle volgende elementen, zonder menselijke tussenkomst.

Een andere voordeel van deze technologie is de mogelijkheid verschillende programma's op te slaan, naargelang het gewenste resultaat. Op die manier is het mogelijk betonoppervlakken uit een catalogus of proefstukken op een accurate wijze te reproduceren. Ook het achteraf afwassen van het betonoppervlak is opgenomen in het geautomatiseerde proces. Eenzelfde robot kan, mits het vervangen van een opzetstuk, ook gebruikt worden voor andere behandelingen zoals vertraagd uitwassen (cfr. *B4 Vertraagd uitwassen*) of het afwassen van een betonoppervlak na een zuurbehandeling (cfr. *B1 Zuurbehandeling*).

2.3.2 Vakbekwaamheid ⁽²⁷⁾⁽³²⁾

Tijdens het stralen is het reeds behandelde deel van het oppervlak verborgen door een gordijn van zand en water; dit betekent dat de operator pas kan oordelen over het resultaat eens de straal verplaatst wordt (droog stralen laat een betere zichtbaarheid toe maar is meestal niet toegelaten omwille van de stofproductie en de daarmee verbonden gezondheidsrisico's). De straal moet met een continue snelheid over het oppervlak bewegen – meestal in een cirkelvormige beweging – om er voor te zorgen dat het oppervlak evenredig bestraald wordt. Bij geprofileerde oppervlakken is ook de hoek tussen de straal en het oppervlak erg belangrijk: alle vlakken van een geprofileerd oppervlak moeten evenredig behandeld worden.

Bij veel prefabfabrikanten wordt nog steeds manueel gestraald. In dit geval is het wel mogelijk droog te stralen, aangezien gewerkt wordt in een afgesloten cabine waarbij de operator de nodige beschermende kledij draagt. Op die manier is het ook mogelijk de straalkorrels op eenvoudige wijze te recycleren.

Dit alles vergt een grote vakbekwaamheid van de operator, aangezien deze in *real-time* en in relatief moeilijke werkomstandigheden het resultaat moet beoordelen en tegelijk een gelijkmatige behandeling van het volledige oppervlak moet aanhouden. Het stralen is dus een techniek waarvan het resultaat voor een groot deel afhangt van vakmanschap. Een zeer licht of licht gestraald oppervlak vergt een bijzonder grote vakbekwaamheid en ervaring van de operator aangezien dit bepaalde oppervlaktefouten als luchtblazen kan accentueren.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Stralen</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Vaak
<i>Toepassing in situ</i>	Mogelijk (afscherming, nat stralen)
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Mogelijk
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Licht ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Fijne tot grove granulaten zichtbaar, afhankelijk van behandeldiepte Mat uitzicht door erosie van het oppervlak van de granulaten
<i>Betonsamenstelling</i>	Lage water/cement-factor voor ondiep stralen
<i>Minimale betondruksterkte</i>	14 N/mm ²
<i>Behandeldiepte</i>	1 mm - 4 mm
<i>Extra betondekking</i>	5 mm
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Hoog: het resultaat van de behandeling moet in real-time beoordeeld worden (bij manueel stralen)
<i>Automatisatie</i>	Afhankelijk van bedrijf
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Hoog
<i>Opmerkingen</i>	Donkere straalkorrels kunnen sporen achterlaten op een lichtgekleurd betonoppervlak

Uitvoeringsvolgorde

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten
2. Plaatsen van voorzieningen om straalkorrels en water op te vangen (in situ)
3. Stralen van het te behandelen oppervlak tot gewenste resultaat (voortbewegingsnelheid bepaalt diepte: real-time beoordeling!)
4. Afspoelen van het oppervlak om alle straalkorrels te verwijderen

B3 Uitwassen

- 
- 
- [2] CUR Rapport 71: Uitwassen van betonconstructies, CUR, Gouda, 1975
 - [10] Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
 - [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epemnon, 1994
 - [32] GUDGEON A., Precast Concrete: a selection guide for surface finishes, in Constructional Review, n°4, 1987, p. 52 - 59
 - [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002

3.1 Principe ⁽¹⁰⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾

Deze eenvoudige techniek bestaat erin de granulaten bloot te leggen door het wegspuiten of borstelen van het verse betonoppervlak, onmiddellijk na het verdichten. Het is dan ook enkel toepasbaar op niet-bekiste oppervlakken zoals vlakken van horizontaal gestorte prefab gevelpanelen of horizontale oppervlakken in situ (deze techniek wordt ook veel toegepast op straatmeubilair en tegels).

De granulaten worden zichtbaar door het wegspuiten of borstelen van enkele mm mortel (fijne granulaten en cement). De mate waarin wordt uitgewassen wordt bepaald door de hoeveelheid verwijderd fijn materiaal.

3.2 Betonsamenstelling ⁽²⁾⁽²⁷⁾

Bij het uitwassen of vertraagd uitwassen (*cfr. B4 Vertraagd uitwassen*) van een betonoppervlak zijn de eigenschappen van de gebruikte granulaten en dan vooral de grove granulaten bijzonder belangrijk, aangezien zij het grootste deel van het zichtbare oppervlak zullen uitmaken.

3.2.1 Granulaten ⁽²⁾⁽²⁷⁾

Belangrijk voor series elementen zoals gevelpanelen is de regelmaat in de eigenschappen, en dan vooral de kleur van de granulaten. Om deze regelmaat te garanderen kan het nuttig zijn om voor een reeks gevelementen vooraf de nodige hoeveelheid granulaten te mengen en op te slaan onder dezelfde omstandigheden.

De granulaten (zowel zand als grove granulaten) die stoffen bevatten die onderhevig zijn aan oxidatie zoals pyriet of metaalresten, zullen roestvlekken op het uitgewassen betonoppervlak veroorzaken. Het is doorgaans echter onmogelijk om granulaten te verkrijgen, volledig vrij van dergelijke vervuilingen.

De zuiverheid van de granulaten (zowel zand als grove granulaten) is ook van belang: vervuiling met organisch materiaal of kleiresten kunnen leiden tot een minder goede hechting in de cementmatrix en lokale kleurverschillen.

Ook de stabiliteit van de kleur van de granulaten zelf is belangrijk. De kleur van sommige zachte granulaten (donkere kalksteensoorten of groene leisteensoorten) kan evolueren door erosie van het oppervlak van de korrel.

Doorgaans wordt beoogd een maximaal gehalte aan zichtbare granulaten te verkrijgen aan het oppervlak. Hiervoor wordt aangeraden gebruik te maken van granulaten met ongeveer gelijke afmetingen in een discontinue korrelverdeling. Dit impliceert een hoog gehalte aan grove granulaten en een laag gehalte aan fijne granulaten, voor zover de verwerkbaarheid



vlnr

Afbeelding B3.1 & 2 - Uitgewassen
betonoppervlakken

aanvaardbaar blijft. De uitdaging bestaat erin tot een evenwicht te komen inzake betonsamenstelling waarbij een hoog gehalte aan grove granulaten beschikbaar is en de verwerkbaarheid toch aanvaardbaar blijft.

Een continue verdeling is ook mogelijk, maar zal resulteren in een grote variatie aan afmetingen van de zichtbare granulaten, en dus ook grote variaties in uitzicht van verschillende zones, wat doorgaans niet resulteert in een esthetisch bevredigend resultaat.

De vorm van de granulaten moet zodanig zijn dat deze een goede hechting in de cementmatrix toelaat (lange, platte granulaten vermijden). Ook een te verspreide korrelverdeling ($D/d > 3$), in combinatie met een ongunstige vorm van de granulaten, kan leiden tot het loskomen van granulaten uit de cementmatrix. Doorgaans wordt een korrelverdeling aanbevolen met verhouding $D/d \approx 2$ (bijvoorbeeld korrelmaat 2/4 mm, 3/8 mm, 8/12 mm, ...). Een meer verspreide korrelverdeling of combinaties van granulaten met een verschillende korrelverdeling worden ook toegepast, maar zijn enkel van nut bij ondiep uitwassen. Indien te diep uitgewassen wordt, worden de meeste kleine korrels ook weggewassen, wat resulteert in een lage densiteit aan korrels aan het oppervlak.

Gebroken granulaten laten toe een grote dichtheid aan korrels te verkrijgen aan het uitgewassen oppervlak, op voorwaarde dat niet te diep uitgewassen wordt.

Ronde granulaten worden ook vaak toegepast omwille van een aantal belangrijke voordelen: gunstige vorm (weinig of geen lange platte granulaten), grote zuiverheid, duurzaamheid en kleurvastheid. Zowel ronde als gebroken granulaten komen voor in een grote diversiteit aan kleuren. Vaak wordt gekozen voor een mengeling van granulaten van verschillende kleur, vorm en afmetingen.

Naast het uitzicht, zijn ook de betondekking en eventuele profilering van een element (een fijne profilering vraagt om kleinere granulaten) bepalend voor de maximale diameter van de granulaten.

3.2.2 Cement ⁽²⁷⁾

De volumeverhouding cementmatrix/granulaten dient zo laag mogelijk gehouden te worden ($1/4 - 1/3$) om segregatie te beperken en een hoog gehalte aan grove granulaten aan het zichtvlak te verkrijgen.

Het cementgehalte moet echter vrij hoog genomen worden ($350 - 400\text{kg/m}^3$ beton), om te vermijden dat de granulaten bij het uitwassen ontwricht worden uit de cementmatrix. Een lager cementgehalte is toelaatbaar wanneer de gebruikte granulaten een hoge compactheid vertonen (hoekige gebroken granulaten, granulaten in een verspreide korrelverdeling of een combinatie van verschillende korrelverdelingen, granulaten van grote afmetingen).

De kleur van het gebruikte zand en cement zal bepalend zijn voor het uiteindelijke aspect. Men kan kiezen voor een kleur aansluitend bij deze van de granulaten, of eerder een kleur contrasterend met deze van de granulaten waardoor deze meer 'uitkomen'.

Algemeen is dus een lage water/cement-factor aan te bevelen, voornamelijk om het risico op segregatie zo laag mogelijk te houden.

3.3 Uitvoering ⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾⁽³²⁾⁽³⁸⁾

De uitwasdiepte moet beperkt worden tot $1/3$ à $1/2$ van de diameter van de granulaten om het loskomen van de granulaten te vermijden. De verkregen uitwasdiepte hangt echter af van verschillende factoren: de korrelverdeling, de mortelsamenstelling (zand & cement) op het moment van het uitwassen, en de uitvoeringsomstandigheden (afstand tussen de spuitopening en het oppervlak, hoek tussen de spuit en het oppervlak, vorm en verdeling van de straal, druk en debiet van de straal).

In veel gevallen dient men reeds bij de conceptie van de mal of bekisting en de manier van ontkisten rekening te houden met het later uitwassen van het element in kwestie. Grote elementen moeten vaak deels bekist blijven tijdens het uitwassen om vervormingen van het element te vermijden. Daarom is het belangrijk een bekisting te voorzien die deels demonteerbaar is.

De voorziene betondekking moet minstens vermeerderd worden met de toegepaste uitwasdiepte van het element. Doorgaans wordt een extra betondekking van minstens 5 mm voorzien.

Deze techniek is toepasbaar bij stoomverharding. ¹

1 GUDGEON A., *Precast Concrete: a selection guide for surface finishes*, in *Constructional Review*, n°4, 1987, p. 55

3.3.1 Vakbekwaamheid ⁽²⁷⁾⁽³²⁾

Het uitwassen gebeurt enkele seconden tot minuten na het storten en ontkisten in het geval van een machinaal procédé of enkele minuten tot uren in het geval van een manueel procédé. Bij manueel uitwassen is een hoge graad van vakbekwaamheid en ervaring noodzakelijk, onder meer om een oordeel te kunnen vellen over bovenstaande criteria in verband met uitvoeringsomstandigheden en toestand van het beton op het ogenblik van het begin van de behandeling.

Het inschattingsvermogen van de vakman is ook van belang aangezien de tijd tussen het ontkisten en het begin van de behandeling afhangt van verschillende factoren: de afmetingen van de te behandelen oppervlakken, het aantal elementen, de complexiteit van de vorm, de gewenste uitwasdiepte, de weersomstandigheden, en het te gebruiken materieel.

Aangezien vakmanschap en ervaring een rol spelen in zoveel criteria, is het zeer moeilijk een fijn, nauwkeurig en reproduceerbaar resultaat te verkrijgen.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Uitwassen</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Mogelijk
<i>Toepassing in situ</i>	Mogelijk (enkel horizontale oppervlakken)
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Moelijk
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Licht ruw tot ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Fijn tot grove granulaten zichtbaar, afhankelijk van behandeldiepte Granulaten intact
<i>Betonsamenstelling</i>	Discontinue korrelverdeling $D/d \approx 2$. Lage water/cement-factor
<i>Minimale betondruksterkte</i>	-
<i>Behandeldiepte</i>	1 mm - 30 mm
<i>Extra betondekking</i>	Behandeldiepte
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Hoog: het resultaat wordt bepaald door afsputten
<i>Automatisatie</i>	Laag
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Laag
<i>Opmerkingen</i>	Uitwasdiepte maximaal $d_{max}/2$

Uitvoeringsvolgorde

1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten
2. Te behandelen oppervlak op voorhand ontkisten (behalve bij vrij horizontaal oppervlak)
3. Uitwassen van cementmatrix vantussen de granulaten door borstelen of met water onder hoge druk
4. Na volledige verharding (betondruksterkte $> 30 \text{ N/mm}^2$), eventuele zuurbehandeling om cementafzetting op het oppervlak van de granulaten te verwijderen

B4 Vertraagd uitwassen

- 
- [1] CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966
 - [2] CUR Rapport 71: Uitwassen van betonconstructies, CUR, Gouda, 1975
 - [10] Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
 - [18] ACI COMMITTEE 303 , Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice, ACI, Detroit, 1991, p. 20 - 23
 - [19] APERS J., Het uiterlijk van beton, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000
 - [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produits en Béton, CERIB, Epervon, 1994
 - [32] GUDGEON A., Precast Concrete: a selection guide for surface finishes, in Construction Review, n°4, 1987, p. 52 - 59
 - [38] KIND-BARSKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002

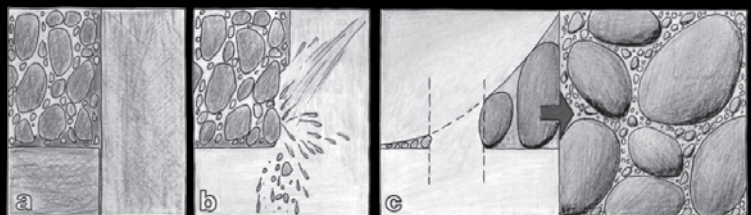
4.1 Principe ⁽¹⁰⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾

Deze techniek bestaat in het uitwassen van het betonoppervlak waarvan de verharding uitgesteld wordt met behulp van een zogenaamde verhardingsvertrager, en dit over een diepte aangepast aan de gewenste 'uitwasdiepte'. Op deze manier worden de interne granulaten deels zichtbaar aan het uitgewassen oppervlak.

Deze techniek heeft een aantal welbepaalde voordelen (t.o.v. uitwassen van beton in niet-verharde toestand):

- de mogelijkheid tot het uitwassen van een bekist oppervlak zonder de noodzaak tot onmiddellijk ontkisten;
- het uitwassen van een geprofileerd oppervlak, bijvoorbeeld zoals verkregen bij het gebruik maken van elastomeer structuurmatten in de bekisting;
- het uitwassen van grote verticale oppervlakken na voldoende verharding en ontkisting;
- betere controle over de uitwasdiepte en het loskomen van granulaten (de uitwasdiepte hangt af van de gebruikte verhardingsvertrager en niet van het uitwassen zelf), met een meer uniform resultaat tot gevolg;
- kleinere uitwasdieptes, en dus fijnere oppervlakte texturen mogelijk;
- het aanbrengen van verhardingsvertragers op bepaalde delen van het oppervlak laat toe relatief complexe patronen te verkrijgen door een combinatie van vlakke zones met uitgewassen zones, al dan niet over verschillende dieptes.

Eventuele nadelen van deze techniek liggen vnl. in de meerkost gelegen in de aankoop en het aanbrengen van de benodigde (oppervlakte-)verhardingsvertragers, alsook een moeilijker en meer nauwgezette reiniging van de gebruikte bekisting.



Afbeelding B4.1 - Principeschema

4.2 Betonsamenstelling ⁽²⁾

Wat betreft de betonsamenstelling gelden over het algemeen dezelfde eisen als voor het uitwassen zonder oppervlakte-verhardingsvertragers (*cfr. B3 Uitwassen*).

Meer specifiek is een lage water/cement-factor hier in het bijzonder van belang, onder meer omdat de consistentie van het beton niet te plastisch mag zijn wegens het gevaar voor uittredend water dat de oppervlakte-verhardingsvertrager kan afspoelen. Men moet er ook rekening mee houden dat een lage water/cement-factor bijdraagt tot een hogere druksterkte en dus de werking van de oppervlakte-verhardingsvertrager wat zal verminderen.

4.3 Oppervlakteverhardingsvertragers ⁽²⁾⁽²⁷⁾⁽³²⁾

Verhardingsvertragers zijn hulpstoffen die een vertragend effect hebben op de verharding van het beton. Wanneer men spreekt over oppervlakte-verhardingsvertragers zijn dit verhardingsvertragers, aangebracht op het verse betonoppervlak, wat resulteert in een bepaalde werkingsdiepte vanaf het contactoppervlak tussen beton en product (bekistingsoppervlak). Deze diepte kan variëren van ca. 0,5 mm tot 30 mm.

Indien gebruik gemaakt wordt van oppervlakte-verhardingsvertragers, fungeren deze tegelijk als ontkistingsmiddel, aangezien het beton in contact met de bekisting niet gaat verharden. Er moet dan ook geen ander ontkistingsmiddel gebruikt worden.

Verscheidene producten kunnen onder verscheidene vormen worden aangebracht:

- vloeibaar, met de viscositeit van een coating. Deze wordt als een verflaag aangebracht op de bekisting, mal of structuurmat;
- zeer vloeibaar, wordt verneveld op het vers ontkiste beton;
- papier of kunststof-folie, waarop een dunne film is aangebracht. Deze methode laat toe complexe patronen of afbeeldingen over te brengen op de bekisting. Deze techniek wordt vandaag het meeste toegepast, voornamelijk omdat ze een nauwkeurige uitvoering en goed controleerbaar resultaat oplevert.

Al deze producten hebben doorgaans een specifieke kleur naargelang hun werkingsdiepte. Elk product wordt door de fabrikant gespecificeerd op basis van zijn werkingsdiepte of op basis van de grootste korreldiameter van de zichtbare granulaten (waarbij gerekend wordt met een werkingsdiepte gelijk aan 1/3 van de grootste korreldiameter D). Aangezien de werkelijke uitwasdiepte ook afhangt van de betonsamenstelling en uitvoeringsomstandigheden, is de door de fabrikant opgegeven werkingsdiepte enkel indicatief.

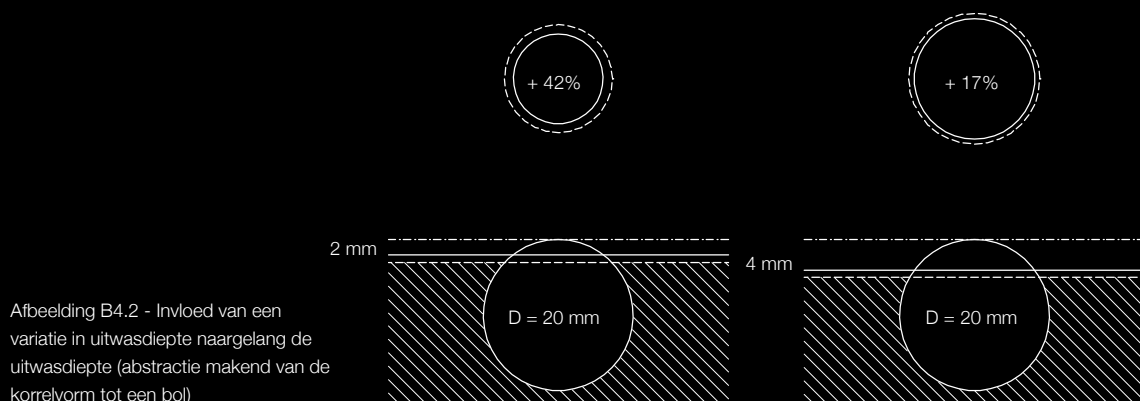
De werkings- en dus ook uitwasdiepte moet worden gekozen op basis van de werkelijke gemiddelde afmeting van de granulaten welke men zichtbaar wil maken.

Deze diepte is doorgaans kleiner of gelijk aan de helft van de gemiddelde korreldiameter. Een te kleine diepte (minder dan een derde van de gemiddelde korreldiameter) kan vrij grote variaties tot gevolg hebben wat betreft het resultaat. Bijvoorbeeld (abstractie van de korrelvorm tot een bol): bij een korreldiameter $D=20$ mm, en een uitwasdiepte van 2 mm, resulteert een variatie van 1 mm qua diepte in een variatie van 42% qua zichtbare oppervlakte. Bij een uitwasdiepte van 4 mm is dit slechts 17% (cfr. Afbeelding 2).

De werking van de verhardingsvertragers wordt beïnvloed door enkele parameters welke bepalend zijn voor de sterkte-evolutie van het gestorte beton. Algemeen kan worden gesteld dat de werkzaamheid van de aangebrachte oppervlakte-verhardingsvertrager omgekeerd-evenredig zal zijn met de druksterkte van het verharde beton op het moment van behandeling. Men moet er dus rekening mee houden dat een lange wachttijd tussen het storten en het uitwassen van het oppervlak het effect van de verhardingsvertrager, en dus ook de uitwasdiepte, zal beperken. Parameters die de werking van de oppervlakte-verhardingsvertrager verminderen zijn dus: een hoge hydratatiesnelheid, lage water/cement-factor, het gebruik van bepaalde additieven zoals (super)plastificeerders en verhardingsversnellers en een hoge omgevingstemperatuur tijdens de verharding.

De op de bekisting aangebrachte verhardingsvertragers beginnen pas te werken wanneer ze in oplossing gaan. Hierin kan men een onderscheid maken tussen 2 types: deze die oplossen in contact met water (en na opdrogen beschermd moeten worden tegen vocht en regen) en deze die oplossen in contact met alkalisch water (cement-water).

Het uiteindelijke uitzicht na de behandeling zal afhangen van de samenstelling van het beton. Deze parameters worden besproken in (cfr. B3 Uitwassen, B4 Vertraagd uitwassen). Een hoog gehalte aan fijne granulaten kan ook de werking van de oppervlakte-verhardingsvertrager verminderen.





vlnr, vbno

Afbeelding B4.3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 & 11 - Vertraagd uitgewassen betonoppervlakken

4.3.1 Als verflaag aangebracht op de bekisting ⁽²⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁷⁾⁽³²⁾

Een voorafgaande grondige reiniging van de bekisting is noodzakelijk om resten van beton, ontkistingsolie, of verhardingsvertragers te verwijderen.

Het aanbrengen van de verhardingsvertrager kan gebeuren met behulp van een een fijnharige borstel of rol, of kan worden verneveld op de bekisting. Het is belangrijk dat het volledige bekistingsoppervlak behandeld wordt met het product. Daarom is het aanbevolen een tweede laag aan te brengen na het opdrogen van de eerste. Wanneer het volledige bekistingsoppervlak evenredig bedekt is, heeft de dikte van de aangebrachte laag geen invloed op de werkingsdiepte.

Naden tussen bekistingspanelen dienen vooraf afgeplakt te worden en evenredig behandeld als de rest van het bekistingsoppervlak, om te vermijden dat de naden zich aftekenen door een verminderde uitwasdiepte.

De benodigde hoeveelheid voor het bestrijken varieert doorgaans tussen 6 à 12m²/l, afhankelijk van het type bekisting (absorptie van de bekisting).

Na het aanbrengen van het product moet rekening gehouden worden met een droogtijd van 5 tot 30 minuten, afhankelijk van de omgevingsomstandigheden, om te vermijden dat het product meegesleurd wordt tijdens het storten. Bij gebruik op een verticaal geplaatste bekisting is een langere droogtijd aan te raden om bij het instorten van het beton te vermijden dat het product wordt afgespoeld en vermengd in de massa van het verse beton. Dit is vooral een probleem bij profileringen in het betonoppervlak waar de verhardingsvertrager kan accumuleren, waardoor delen van het oppervlak minder sterk uitgewassen worden dan andere.

Bij het storten moet vermeden worden al te veel wrijving uit te oefenen op het bekistingoppervlak (bijvoorbeeld door te storten tegen de bekisting), waarbij het aan te raden is de bekisting gelijkmatig te vullen en niet te blijven storten op één plaats. Daarom is het ook belangrijk dat het verse beton overal contact maakt met de bekisting (en dus met de verhardingsvertrager) alvorens men begint te trillen.

Om dezelfde reden is bij het verdichten van het beton, indien mogelijk, het extern trillen van de bekisting te verkiezen boven het gebruik van een trilnaald. Het onvoorzichtig gebruik van een trilnaald, te dicht bij het bekistingsoppervlak, kan de film van verhardingsvertrager op het betonoppervlak beschadigen en verhardingsvertrager vermengen in de massa van het verse beton.

Het storten en verdichten van één element moet uitgevoerd zijn vooraleer de oppervlakte-verhardingsvertrager volledig in werking treedt, om te vermijden dat het product zich in het beton vermengt. Daarom is het aangewezen de afmetingen van de uit te wassen elementen te beperken.

Het product blijft in de bekisting doorgaans werkzaam voor 3 à 4 dagen. Het gebruik van verhardingsversnellers in het beton of het uitvoeren bij warm weer kunnen de werkzame periode verkorten.

Voor het uitwassen van het onverharde betonoppervlak met water onder hoge druk moet het beton een minimale druksterkte van 10 N/mm² hebben bereikt.¹

Na het ontkisten moet zo snel mogelijk worden overgegaan tot het uitwassen, aangezien bij contact met de lucht de werking van het product zeer snel afneemt, als gevolg van verdamping. Bij uitvoering in situ impliceert dit dat de planning van ontkisten en uitwassen perfect op elkaar moet afgestemd zijn.

4.3.2 Verneveld op het verse beton ⁽²⁷⁾

Deze producten worden verneveld op het verse beton, op een vrij horizontaal oppervlak of net na het ontkisten van een bekist oppervlak. Deze techniek, in combinatie met voorgaande, laat toe één element, in verschillende fasen, alzijdig uit te wassen.

Bij deze methode is het moeilijker een evenredige verdeling van het product te verkrijgen, alhoewel de kleuring van het product toch een goed overzicht toelaat. Het rendement van deze methode ligt rond 4 à 6m² per liter product. Deze producten zijn doorgaans slechts werkzaam gedurende 6 à 12 uur.

Deze methode wordt niet zo vaak toegepast, aangezien een gelijkaardig resultaat kan verkregen worden door uitwassen zonder gebruik te maken van verhardingsvertragers, wat uiteraard voordeliger is wat betreft de kostprijs.

4.3.3 Op papier of film, aangebracht op de bekisting ⁽²⁾⁽²⁷⁾

Deze film of papieren vellen zijn doorgaans voorzien van een klevend oppervlak aan de achterzijde, indien dit niet het geval is wordt het papier bevestigd op de bekisting met behulp van dubbelzijdige plakband op regelmatige afstanden (ca. 30 cm). Bij het kleven op de bekisting - vooral wanneer deze een grillige vorm heeft - moet men er op toezien dat er geen plooien of luchtballen in het vel ontstaan.

Deze producten worden doorgaans geleverd in vellen (20x20cm ... 100x100cm) of op rollen met een breedte van 100 of 150 cm en een lengte tot 100m. Ook hier worden verschillende kleuren gebruikt naargelang de 'sterkte' (werkzame diepte) van het product.

Door gebruik te maken van producten met verschillende werkingsdieptes kan men complexe patronen aanbrengen op het betonoppervlak. Dit kan door combinatie van vellen van verschillende werkingsdiepte op of naast elkaar, of door een patroon, bestaande uit zones van verschillende sterkte, rechtstreeks aan te brengen op één vel papier of film. Op deze manier is het mogelijk te 'printen' op beton, door een digitale afbeelding om te zetten in een *half-tone*

¹ ACI COMMITTEE 303, *Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice*, ACI, Detroit, 1991, p. 21

patroon ², en vervolgens dit patroon in verhardingsvertrager aan te brengen op een film (*cfr. B10 Recente Ontwikkelingen*).

4.4 Uitvoering ⁽²⁾⁽²⁷⁾⁽³²⁾

Het uitwassen van het niet-verharde laagje beton kan op een aantal verschillende manieren:

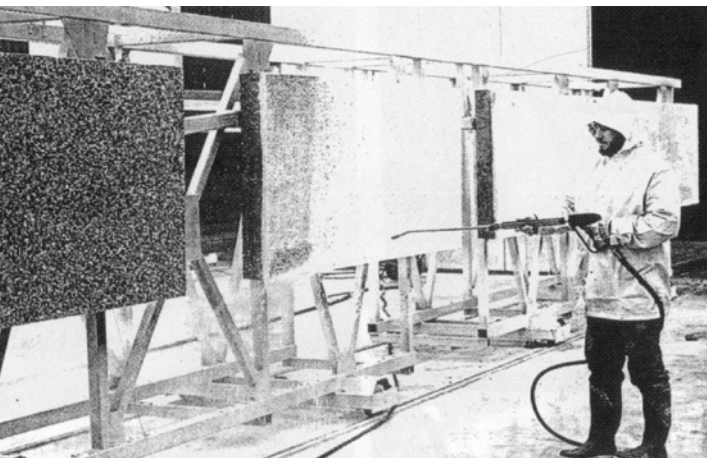
- door middel van water onder hoge druk;
- door middel van water, met behulp van een manuele of mechanische borstel;
- met behulp van een droge borstel, en achteraf afspoelen met water;
- door middel van stralen onder lage druk.

De keuze voor een bepaalde methode wordt bepaald door de gewenste uitwasdiepte en de bereikbaarheid en afmetingen van het betonoppervlak. Bij een geringe uitwasdiepte en een groot betonoppervlak is het uitwassen met water onder hoge druk doorgaans de meest geschikte methode. Bij een grotere uitwasdiepte of een delicaat betonoppervlak (bvb. bij gebroken granulaten) is het gebruik van een borstel aangewezen, omdat men op deze manier een betere controle heeft over het verkregen aspect.

Bij series prefabelementen, zelfs grote oppervlakken, kunnen bovenstaande technieken ook worden geautomatiseerd uitgevoerd met behulp van aangepaste machines. Deze methode heeft doorgaans een verbruik (10 - 15 l/m²) dat de helft lager ligt dan bij manuele methodes (20 - 30 l/m²).

Vaak blijven er na het uitwassen nog resten over aan het oppervlak van gehydrateerd cement. Deze zorgen voor vlekken op de zichtbare granulaten en bijgevolg een mat uitzicht. Om deze vlekken uit te wissen, wordt vaak nog het oppervlak behandeld met een waterige zuuroplossing om de natuurlijke kleur terug tot uiting te brengen. Wanneer deze afwerking wordt toegepast is het van belang er rekening mee te houden dat kalkhoudende granulaten worden aangetast door zuren en dus mat zullen worden of een lichte kleurverandering ondergaan (*cfr. B1 Zuurbehandeling*). In dat geval is het aangewezen kalkhoudende granulaten te mijden.

² Een halftone patroon is een patroon, gemaakt op basis van een afbeelding, bestaande uit zwarte stippen van verschillende grootte, aangepast aan de helderheid van de oorspronkelijke afbeelding. Van op afstand lijkt het halftone patroon voor het menselijke oog quasi hetzelfde als de oorspronkelijke afbeelding. Laserprinters zijn gebaseerd op dit principe.



Deze techniek is toepasbaar bij stoomverharding. Eventuele condensatievlekken op de granulaten kunnen eveneens verwijderd worden met een lichte zuurbehandeling (*cfr. B1 Zuurbehandeling*)³.

4.5 Alternatieve methodes ⁽¹⁾

Indien gebruik gemaakt wordt van speciale, dure of zeldzame granulaten kan het aangewezen de kosten te drukken door gebruik te maken van één van volgende methodes, die toelaten enkel een deklaag uit te voeren met deze speciale granulaten, en de rest van de wand in gewoon constructiebeton.

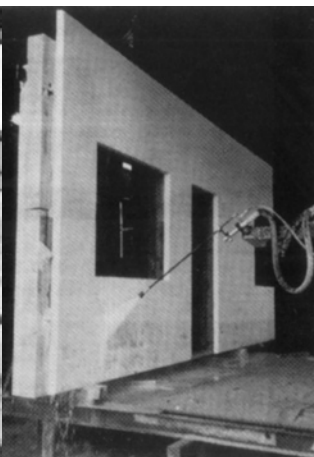
Bepaalde van deze methodes zijn ook geschikt voor het instorten van uitzonderlijk grote granulaten of stukken, zichtbaar aan het betonoppervlak.

4.5.1 Storten in 2 fasen ⁽¹⁾

Deze techniek is enkel toepasbaar bij prefab gevelementen die in de fabriek horizontaal gestort worden op een triltafel.

Na het aanbrengen van de verhardingsvertrager op het bekistingsoppervlak, wordt eerst een onderste laag (zichtkant na ontkisten) gestort in een beton met de speciale granulaten. De dikte van deze laag bedraagt twee maal de grootste korreldiameter. Na 60 s trillen wordt de bekisting verder gevuld met gewoon constructiebeton, waarna nogmaals 60 s getrild wordt.

³ GUDGEON A., *Precast Concrete: a selection guide for surface finishes*, in *Constructional Review*, n°4, 1987, p. 55



vlnr

Afbeelding B4.12, 13 & 14 - Manueel
uitwassen van prefab elementen

Afbeelding B4.15 - Automatisch
uitwassen van prefab elementen

4.5.2 Zandbed methode ⁽¹⁾

Deze techniek is eveneens enkel toepasbaar bij prefab gevelelementen die in de fabriek horizontaal gestort worden op een triltafel.

In de bekisting wordt een zandlaag gestrooid, met een dikte die afhankelijk is van welk deel van de korrels zichtbaar moet zijn aan het betonoppervlak, echter wel met een maximum gelijk aan $1/3$ van de grootste korreldiameter.

De granulaten worden in het zandbed gestrooid of gelegd (vooral bij grote korrels of stukken) en aangedrukt zodanig dat ze de bekisting raken. Vervolgens worden de granulaten en het zand bevochtigd en het beton gestort en verdicht met de triltafel. Na het ontkisten wordt het zand afgeborsteld met water.

Deze methode is het meest aangewezen bij het gebruik van uitzonderlijk grote granulaten of bij het instorten van 'grote elementen' (geen gewone granulaten). Ze wordt ook vaak toegepast voor het instorten van baksteenstrips of natuursteenplaten in een prefab gevelpaneel.

4.5.3 Inwendig glijsysteem ⁽¹⁾

Deze techniek is toepasbaar bij verticaal gestorte wanden, prefab of in situ.

De methode bestaat erin een stalen tussenschot in de bekisting aan te brengen wat een scheiding vormt tussen de zichtkant en de achterkant van de bekisting. Deze stalen platen hebben meestal een dikte van 2,5 mm en een hoogte van 45 cm, wat toelaat telkens een laag van 30 cm te storten. De stalen platen worden tegen de verticale wapeningstaven geplaatst die fungeren als geleiding (dit impliceert dat de horizontale wapeningstaven achter de verticale moeten worden geplaatst!).

Aan de zichtkant wordt het beton met de speciale granulaten gestort, aan de achterkant wordt gelijktijdig het gewone constructiebeton gestort. Vervolgens wordt de plaat omhoog getrokken. De dikte van de deklaag aan de zichtkant moet minstens 4 maal de grootste korreldiameter

bedragen, waardoor deze techniek eerder geschikt is bij het gebruik van kleinere granulaten.

4.5.4 *Aggregate-transfer methode* ⁽¹⁾

Het voordeel van deze methode is echter wel dat ze toelaat de te gebruiken hoeveelheid speciale granulaten tot een absoluut minimum te beperken.

De granulaten worden gelijmd op een plaat die bevestigd wordt op het bekistingsoppervlak, waarna de bekisting gevuld wordt met gewoon constructiebeton. Vervolgens wordt de bekisting op de triltafel getrild gedurende 60 s.

De gebruikte lijm moet watervast zijn en de hechting moet voldoende zijn om loswrikken van de granulaten tijdens het storten te vermijden. De hechting van de lijm met het bekistingsoppervlak moet lager zijn dan de hechting tussen de granulaten en de cementmatrix, zodat het oppervlak kan ontkist worden zonder granulaten los te wrikken uit het betonoppervlak en zonder het bekistingspaneel te beschadigen. Hiervoor wordt meestal een in water oplosbare lijm aangeraden: een kleefmiddel wordt vermengd met water en een filler (zand) tot een roomachtige consistentie ontstaat. Epoxy of polyester lijmsoorten zijn niet geschikt, aangezien zij een te hoge hechting realiseren.

De lijm wordt in een gelijkmatige laag aangebracht op de plaat, waarna onmiddellijk de granulaten in de lijm gelegd of gestrooid worden. De gebruikte granulaten moeten allemaal van vrij gelijke afmetingen zijn, een droog oppervlak hebben en geen platte korrels bevatten; dit om voldoende hechting te hebben zowel met de lijmlaag als met de cementmatrix. De verhouding tussen de dikte van de lijmlaag en de diameter van de korrels zal bepalen hoe diep de korrels in het betonoppervlak ingebed zitten en welk deel van de korrels zichtbaar zal zijn, met een maximale dikte van de lijmlaag gelijk aan $1/3$ van de grootste korreldiameter.

Na het inleggen van de granulaten in de lijmlaag moet men deze 24 uur laten drogen alvorens de plaat aan de bekisting te bevestigen en het storten te starten. Net voor het storten wordt het oppervlak van de granulaten bevochtigd om een goede hechting met de cementmatrix te verkrijgen.

Na het storten moet een wachttijd van ca. 5 dagen in acht genomen worden alvorens te ontkisten. Dit om er zeker van te zijn dat de hechtsterkte tussen de granulaten en de cementmatrix voldoende is. De wachttijd kan eventueel nauwkeuriger bepaald worden indien de sterkte van het beton en van de lijm op voorhand getest werden.

Men moet hier wel rekening houden met het feit dat de cementmatrix, zichtbaar tussen de granulaten, deze zal zijn van het achterliggende constructie beton. Indien specifieke eisen worden gesteld aan de kleur van de cementmatrix, zoals het gebruik een duur wit cement en pigmenten, is deze methode wellicht niet de meest geschikte.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Vertraagd uitwassen</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Vaak
<i>Toepassing in situ</i>	Mogelijk
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Mogelijk
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Licht ruw tot ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Fijn tot grove granulaten zichtbaar, afhankelijk van behandeldiepte Granulaten intact
<i>Betonsamenstelling</i>	Discontinue korrelverdeling $D/d \approx 2$. Lage water/cement-factor vermindert werking oppervlakte-verhardingsvertrager (uitwasdiepte)
<i>Minimale betondruksterkte</i>	10 N/mm ²
<i>Behandeldiepte</i>	< 1 mm - 30 mm ($\leq D/2$)
<i>Extra betondekking</i>	Behandeldiepte
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Laag: het resultaat wordt bepaald door de verhardingsvertrager
<i>Automatisatie</i>	Afhankelijk van bedrijf (prefab), laag (in situ)
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Laag
<i>Opmerkingen</i>	Uitwasdiepte maximaal $D/2$ Werking oppervlakte-verhardingsvertrager vermindert snel na ontkisten Oppervlakte-verhardingsvertrager evenredig aanbrengen, laten drogen, afspoelen tijdens het storten vermijden (vooral bij verven) Bij special granulaten kunnen alternatieve methodes aangewezen zijn (cfr. B4 Vertraagd uitwassen / 4.5 Alternatieve methodes)

Uitvoeringsvolgorde

1. Bekisten
2. Aanbrengen van oppervlakte-verhardingsvertrager door middel van verven, vernevelen of papier/film
3. Laten drogen van verhardingsvertrager
4. Wapenen, storten, verdichten en ontkisten
5. Uitwassen van cementmatrix vantussen de granulaten door borstelen of met water onder hoge druk (zo snel mogelijk na ontkisten)
6. Na volledige verharding (betondruksterkte > 30 N/mm²), eventuele zuurbehandeling om cementafzetting op het oppervlak van de granulaten te verwijderen

B5 Polijsten

- [10] Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
- [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994
- [32] GUDGEON A., Precast Concrete: a selection guide for surface finishes, in Constructional Review, n°4, 1987, p. 52 - 59
- [36] HUBERTY J.M., Gepolijst Beton, FEBE, Brussel, 1990
- [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002

5.1 Principe ⁽¹⁰⁾⁽²⁷⁾⁽³⁶⁾⁽³⁸⁾

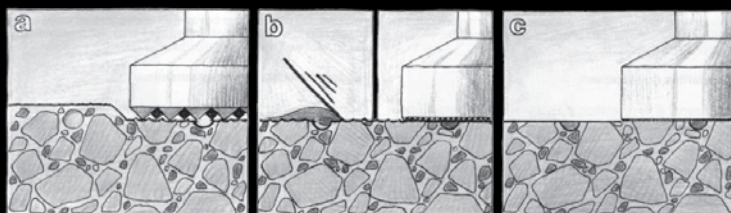
Deze behandeling bestaat erin het betonoppervlak over enkele mm volledig te verwijderen, zowel cementmatrix als granulaten. Hierbij worden de granulaten doorgeslepen, waardoor het inwendige karakter van de granulaten zichtbaar wordt aan het oppervlak. De behandeling gebeurt in verschillende stappen waarbij het betonoppervlak steeds fijner en gladder gepolijst wordt, door bij elke stap gebruik te maken van een fijnere slijpsteen. Het slijpen gebeurt onder constante toevoer van water. De slijpstenen bestaan uit een agglomeraat van schurende korrels (waaronder diamant)

5.2 Betonsamenstelling ⁽¹⁰⁾⁽²⁷⁾⁽³⁶⁾⁽³⁸⁾

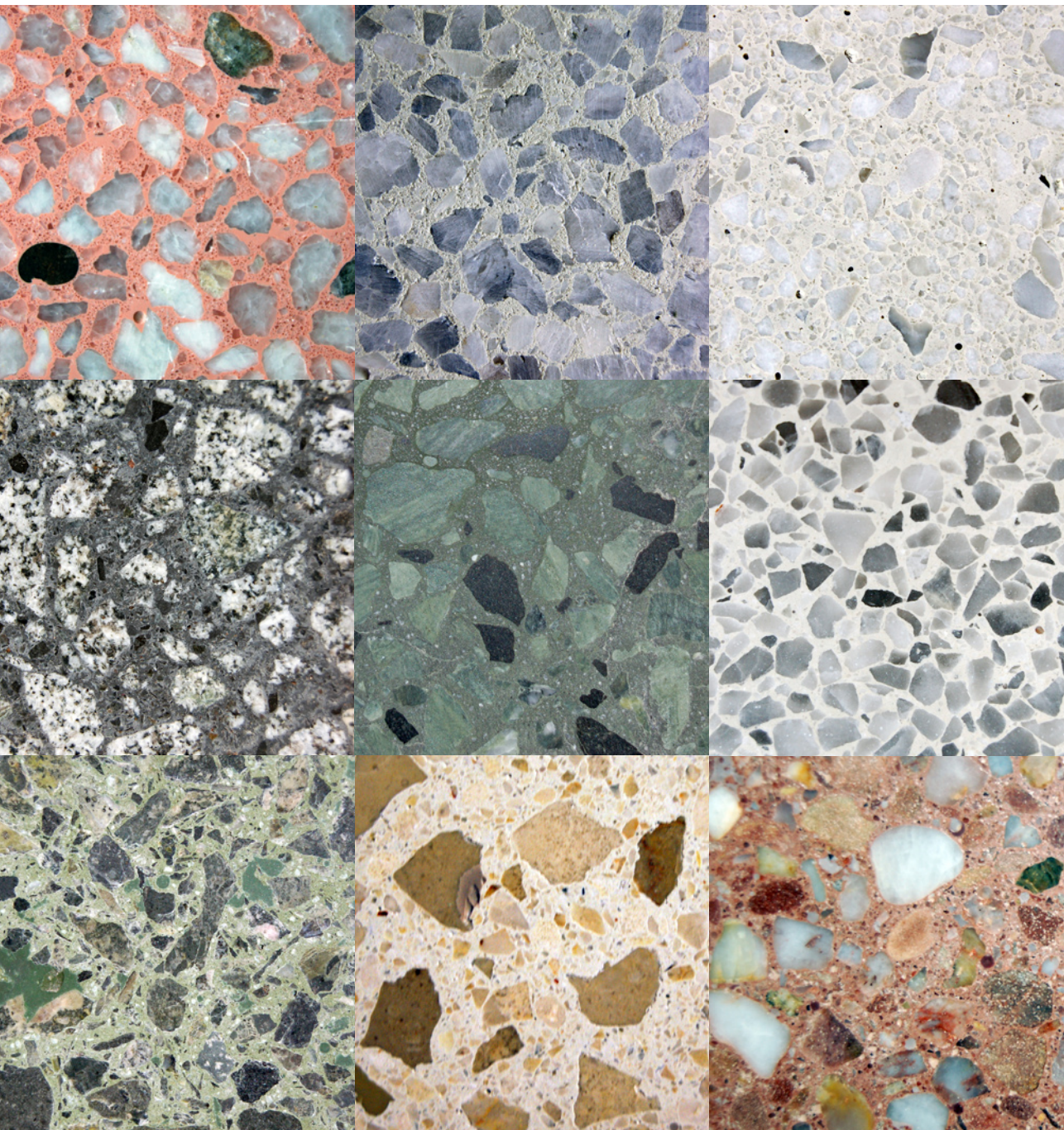
Naast de algemene voorschriften inzake betonsamenstelling, zijn er een aantal criteria die voor gepolijst beton van bijzonder belang zijn.

- De cementmatrix in het beton moet zoveel mogelijk beperkt worden, maar wel nog voldoende om alle granulaten volledig in cementsteen te vatten. Een cementgehalte van 375 - 450kg/m³ beton is een goed streefcijfer.
- Een zo laag mogelijke porositeit en hoge druksterkte (minimum 30N/mm²) op korte termijn zijn noodzakelijk om met het polijsten te kunnen starten. Om de duurzaamheid van het gepolijste beton te garanderen is ook een hoge sterkte op lange termijn noodzakelijk (minimum 50N/mm² na 28 dagen).
- Om het polijsten van scherpe hoeken of profileringen mogelijk te maken zonder beschadigingen, kan het aangewezen zijn gebruik te maken van een toevoeging van polypropyleen vezels.

Deze criteria resulteren in een relatief moeilijk verwerkbaar beton, wat vooral problematisch kan zijn bij het storten van zwaar belaste en/of slanke structurele elementen met hoge wapeningspercentages, complexe vormen of geprofileerde elementen.



Afbeelding B5.1 - Principeschema



vlnr, vbno

Afbeelding B5.2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 & 10 - Gepolijste betonoppervlakken

5.2.1 Granulaten

Er wordt doorgaans gebruik gemaakt van gebroken granulaten in enkelvoudige korrelmaat, gecombineerd in een continue of discontinue verdeling, naargelang het gewenste esthetische resultaat. Het beste resultaat wordt doorgaans verkregen met een continue korrelverdeling om aldus een zo groot mogelijke densiteit aan granulaten te verkrijgen aan het gepolijste oppervlak.

Aangezien de doorsnede van de grove granulaten het grootste deel van een gepolijst oppervlak uitmaken, wordt de kleur van het betonoppervlak in de eerste plaats bepaald door de kleur van de granulaten. De kleur van de fijne granulaten en het cement maakt dan het uiteindelijke aspect uit: sterk contrasterende kleuren geven een gepointilleerd oppervlak, weinig contrasterende kleuren een eerder effen, als geschilderd, oppervlak. Donkere kleuren komen enkel tot hun recht bij een doorgedreven gepolijst, glanzend oppervlak. Voor lichte kleuren volstaat schuren of een mat gepolijst oppervlak.

Granulaten afkomstig van enigszins doorschijnende steensoorten zullen een afwijkende kleur vertonen, afhankelijk van de kleur van het gebruikte cement en de fijne granulaten. Granulaten afkomstig van poreuze steensoorten moeten voldoende gepolijst zijn, anders zullen zij bij beregning water opslorpen en verdonkeren. Deze verdonkering is vooral nadrukkelijk zichtbaar bij donkere steensoorten, bij lichtgekleurde steensoorten is dit nauwelijks merkbaar.

Zachte steensoorten (hardheid 3 à 4)¹; calciumcarbonaten (calciet, harde kalksteensoorten zoals arduin) en marmers, komen voor in een uitgebreid kleurengamma. Door hun geringe hardheid en opaciteit kan men enkel een hoge glans bekomen bij zeer doorgedreven polijsten. Daarom zijn ze minder aangewezen voor hoogglans polijsten. Ze zijn echter wel geschikt wanneer de eindafwerking een minder doorgedreven gepolijst of geschuurd oppervlak vereist. De glans is ook zeer fragiel bij buitentoepassingen, daar de kalksteen aangetast wordt door zure regen. In bepaalde gevallen is het na verloop van tijd zelfs mogelijk dat de granulaten aan het oppervlak, onder invloed van zuren in een agressieve omgeving, uitgehold worden uit de cementmatrix.

Harde steensoorten (hardheid 6 à 7); kwartsen (kiesel) en siliciumaluminaten (graniet, basalt, porfier, silex), hebben een minder rijk kleurengamma dan de kalksteensoorten. Door hun kristalstructuur zijn ze enigszins doorschijnend, en door hun hardheid zijn ze meer geschikt

1 Op basis van hardheidschaal van Mohs. De Mohs hardheid van een vaste stof geeft op een schaal van 1 tot 10 aan hoe hard een materiaal is. De indeling van de schaal werd bepaald door de mogelijkheid van een materiaal om al dan niet een kras toe te brengen op een ander materiaal. De hoogste waarde is 10.0, die wordt toegekend aan diamant (met een diamant kan dus iedere andere stof gekrast worden). De laagste waarde is 1.0, wat overeen komt met talk.

voor het verkrijgen van een hoge glans en zijn ze tevens bestand tegen een agressieve omgeving. Door hun hardheid en korreltextuur kunnen granulaten afkomstig van deze steensoorten bij het schuren afsplinteren of loskomen uit de cementmatrix.

Over het algemeen worden de beste resultaten verkregen wanneer de hardheid van de granulaten en die van de cementmatrix overeenstemmen. Op die manier wordt het volledige oppervlak gelijkmatig weggeschuurd en bestaat er geen risico dat de granulaten tijdens het polijsten ontwricht worden uit de cementmatrix.

5.3 *Uitvoering* ⁽²⁷⁾⁽³⁶⁾

Het polijsten gebeurt in verschillende opeenvolgende fasen: schuren, eerste maal polijsten, kitten, fijn polijsten en eventueel beschermen.

5.3.1 *Schuren*

Schuren houdt het blootleggen in van de doorsnede van de grove granulaten door het afslijpen van enkele mm beton met behulp van een diamantslijpsteen of klassieke grove slijpsteen (nog zelden toegepast). De aldus gevormde vlakken kunnen niet meer gecorrigeerd worden door de hierop volgende bewerkingen! Er moet een evenwicht gevonden worden tussen de hardheid van de granulaten en die van de cementmatrix. Bij zachte granulaten moet de behandeling gebeuren binnen de 48 uur na het storten om te vermijden dat de cementmatrix te hard is. Voor harde granulaten mag de behandeling pas na 5 dagen (tot 10 dagen voor zeer harde granulaten) gebeuren zodanig dat de granulaten niet loskomen uit de cementmatrix bij het schuren. Uiteraard resulteert een hoge hardheid in een langere behandeltijd en snellere slijtage van de slijpstenen.

Voor een lichtkleurige beton kan deze behandeling volstaan, en spreekt men van *geschuurd beton*. Bij een donkerder beton is verdere behandeling (eerste maal polijsten, kitten en fijn polijsten) aangewezen voor het wegwerken van groeven op de granulaten en aan het oppervlak blootliggende luchtblazen, welke hier veel duidelijker zichtbaar zijn dan bij lichtkleurig beton.

5.3.2 *Eerste maal polijsten*

Hierbij worden de groeven op de granulaten uitgegomd door het beton in verschillende stappen te polijsten: eerst met een grove slijpsteen (korrel 120) en daarna met een fijnere (korrel 220 of 320).

5.3.3 Kitten

Vooraleer over te gaan tot het fijne polijsten, moet men een hoog kwalitatief betonoppervlak verkrijgen. Dit houdt in het opvullen van luchtblazen, kleine scheurtjes, en afschilferingen en het versterken van de cementmatrix aan het oppervlak. Hiervoor gaat men het volledige oppervlak insmeren met een (met hars verrijkte) cementmortel of zuivere harsmortel, op een dikte van ongeveer 0,5 mm. Het voordeel van een cementmortel (ten opzichte van een zuivere harsmortel) is dat het oppervlak niet droog moet zijn voor het aanbrengen ervan, het nadeel is dat het verharden meer tijd in beslag neemt.

Na verharden (24 uur voor cementmortel, enkele uren voor harsmortel) wordt het oppervlak schoongemaakt met een fijne slijpsteen (korrel 220 of 320). Het resultaat is dat alle luchtblazen en poriën aan het betonoppervlak volledig opgevuld zijn. Het aldus behandelde beton wordt doorgaans *gezoet beton* genoemd, wat inhoudt dat het oppervlak vrij is van schuursporen maar zonder glans.

5.3.4 Fijn polijsten

Bij deze laatste bewerking wordt het oppervlak eerst gepolijst met een zeer fijne slijpsteen (korrel 400 of 600) om een matte glans te verkrijgen. Hierna kan men, indien gewenst, een hoge glans verkrijgen door het polijsten met een vilt (een zachte slijpsteen of echte vilt).

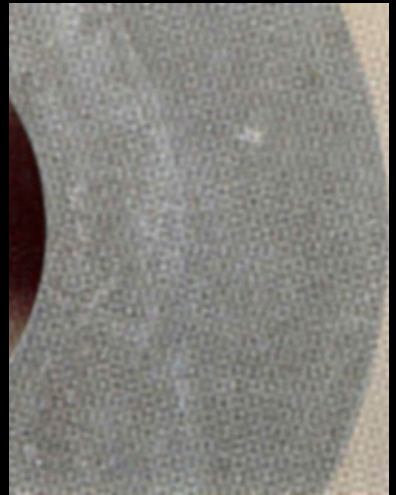
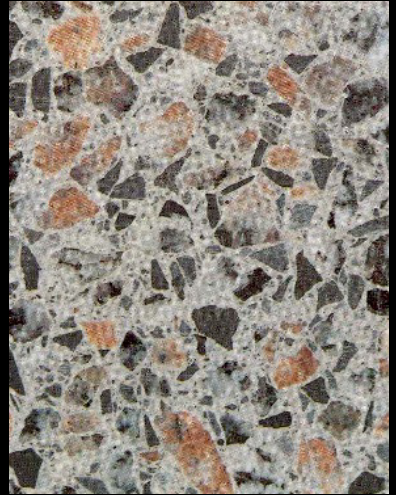
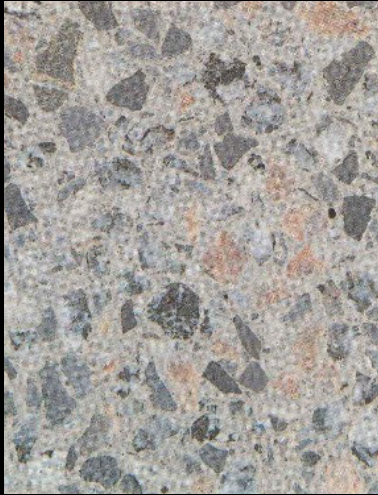
Het fijne polijsten vereist een zo hoog mogelijke oppervlaktehardheid van het beton. Het is dan ook aangewezen zo lang mogelijk te wachten met deze behandeling (voor zover organisatorisch mogelijk).

5.3.5 Bescherming

Deze laatste stap maakt geen deel uit van de techniek van het polijsten op zich, maar wordt hierbij wel vaak toegepast. Men gaat het gepolijste oppervlak beschermen door de porositeit aan het oppervlak te verminderen: partieel door impregnatie of volledig door filmvorming. De redenen kunnen divers zijn: het verhinderen van vochtopname bij beregening, het geven van een hoge glans aan een onvoldoende gepolijst oppervlak, het beschermen van kalksteengranulaten tegen zure regen, of het beschermen van het betonoppervlak tegen graffiti.

Hierbij moet opgemerkt worden dat deze coating het betonoppervlak verdonkert en een hogere glans geeft, wat betekent dat men het volledige oppervlak moet behandelen om verschillen in aanblik te vermijden.

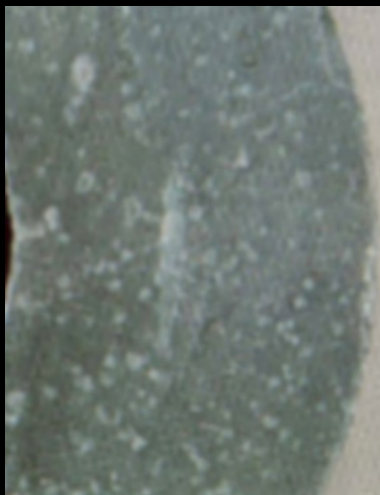
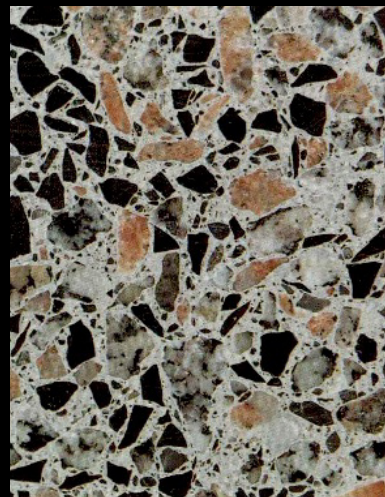
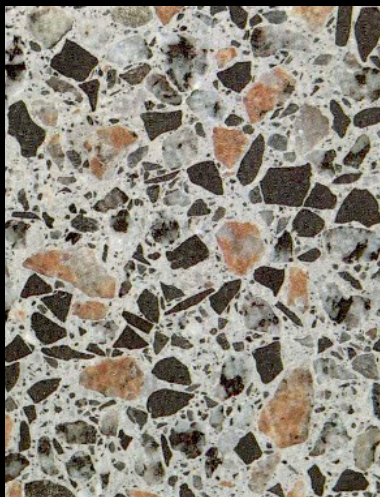
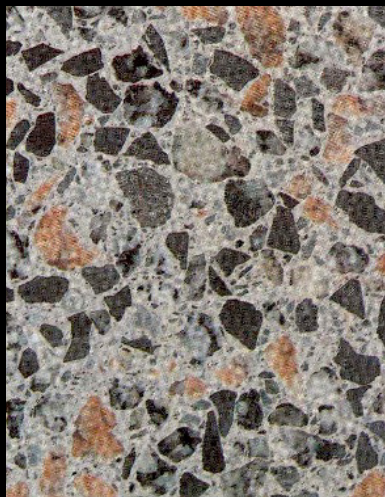
Deze opeenvolging van bewerkingen leidt ertoe dat polijsten een relatief trage en ook dure techniek is. Het mechanisch polijsten, m.b.v. een machine met beweegbare koppen, van 1m² betonoppervlak neemt gemiddeld 75 minuten in beslag: 30 minuten schuren, 15 minuten eerste polijsten, 15 minuten kitten, 15 minuten fijn polijsten.



1. Schuren met een diamantslijpsteen

2A. Eerste polijsten met slijpsteen korrel 120

2B. Eerste polijsten met slijpsteen korrel 220

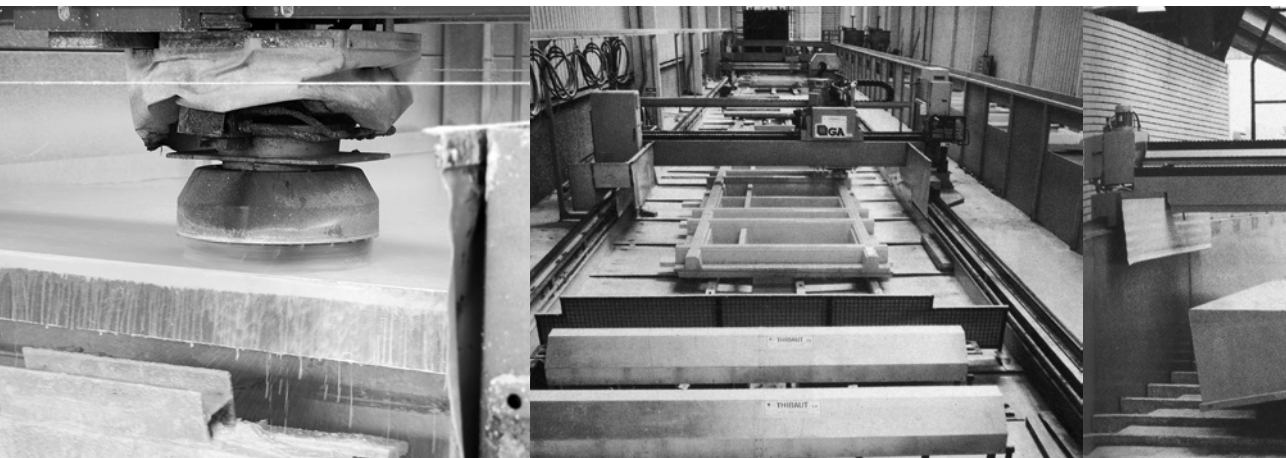


3. Kitten en polijsten met slijpsteen korrel 320

4A. Fijn polijsten met slijpsteen korrel 600

4B. Fijn polijsten met vilt (hoge glans)

Afbeelding B5.7 - Overzicht verschillende fasen in het polijsten van eenzelfde betonoppervlak en de daarbij gebruikte slijpstenen (Schaal 1/1)



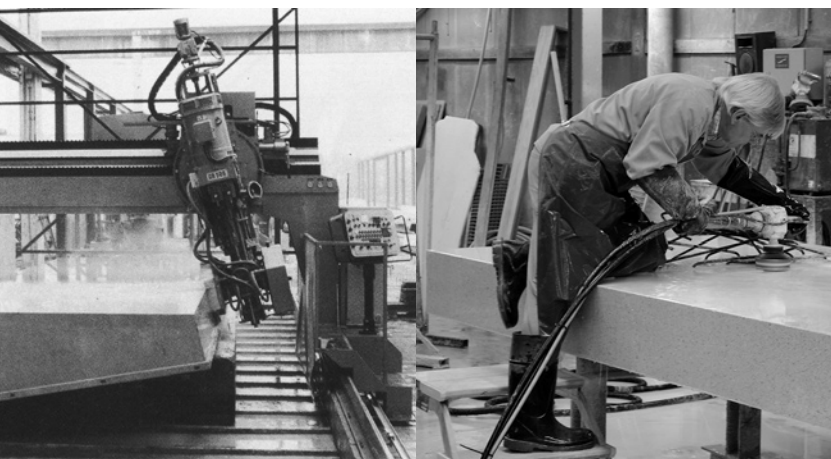
Indien men gebruik maakt van machines met meervoudige koppen, zoals gebruikelijk voor het polijsten van grote geprefabriceerde elementen, kan deze tijd aanzienlijk minder zijn: tot 5 maal sneller. Voor manueel polijsten moet men rekenen met meer dan het dubbele, namelijk 150 minuten! Manueel polijsten wordt doorgaans enkel toegepast voor kleinere details zoals afschuiningen, geprofileerde stukken, ... of bij het polijsten van moeilijk bereikbare oppervlakken in situ.

Deze techniek is toepasbaar bij stoomverharding.²

5.4 Machines & materieleel ⁽²⁷⁾⁽³²⁾

De machines gebruikt voor het polijsten variëren naargelang de afmetingen van het te behandelen element, de uit te voeren behandelingen, de complexiteit qua vorm, het gewenste resultaat, de graad van automatisatie (snelheid), en de werkomstandigheden (prefab of in situ). Voor grote prefab elementen bestaan er programmeerbare, geautomatiseerde machines en manuele machines. Het is hierbij aangewezen om bij het ontwerp van een element de detaillering zo te voorzien dan manueel polijsten tot een minimum kan beperkt worden om tijd te winnen en de kostprijs te drukken. Bovendien is het niet eenvoudig om de met de hand gepolijste delen zodanig uit te voeren dat er geen verschil merkbaar is met de automatisch gepolijste vlakken. Het polijsten in situ is veel minder gebruikelijk, maar kan niettemin toegepast worden; echter enkel met behulp van manuele machines, wat uiteraard een belangrijke impact heeft op de kostprijs.

² GUDGEON A., *Precast Concrete: a selection guide for surface finishes, in Constructional Review*, n°4, 1987, p. 58



vlnr

Afbeelding B5.8, 9 & 10 -
Geprogrammeerd automatisch polijsten
van prefab elementen

Afbeelding B5.11 - Manueel polijsten van
een prefab element

5.4.1 Programmeerbare, automatische machines

Deze machines zijn bijzonder geschikt voor het polijsten van grote prefab platen, maar ook voor kolommen of balken. Ze laten toe zeer lange elementen, of verschillende elementen na elkaar, te polijsten (tot 50m), met een breedte tot 4,60m.

Het te polijsten element blijft liggen op de polijstbank, en de machine beweegt op geleidingsrails. Dergelijke machines hebben een zeer hoge capaciteit: tussen 2 en 10 m²/h, afhankelijk van verschillende parameters zoals de afmetingen en complexiteit van het element, het gewenste uitzicht en de hardheid van het beton. Ze hebben tevens een zeer hoge precisie (< 1mm), wat het snel en nauwkeurig polijsten toelaat van bijvoorbeeld slechts een deel van een element of complexe vormen.

Door het vooraf programmeren van een machine is het mogelijk volledig automatisch een reeks elementen op dezelfde manier te behandelen. Bepaalde machines zijn zelfs uitgerust met ultrasone detectors welke toelaten automatisch de vorm van het element te volgen, zodanig dat het vooraf programmeren van de vorm en afmetingen van een element niet meer nodig is, wat de snelheid van de behandeling van reeksen elementen uiteraard ten goede komt.

Elk toestel, manueel of geautomatiseerd, verbruikt een bepaalde hoeveelheid water tijdens het polijsten voor koeling en reiniging van de slijpsteen. Bij een dergelijke automatische machine ligt het waterverbruik relatief tussen 1 en 15m³/h. Dit water wordt in de meeste gevallen dan ook gerecycleerd.

Het polijsten van geprofileerde elementen is ook mogelijk met automatische machines, voor zover het polijsten in één vlak gebeurt. De dieper gelegen delen van de profilering worden opgevuld met een isolatie materiaal zodanig dat de slijpsteen over een effen oppervlak kan 'glijden'. Uiteraard kunnen de dieper gelegen delen van een geprofileerd oppervlak niet worden gepolijst. Indien de dieper gelegen delen relatief klein zijn van afmetingen, bijvoorbeeld bij een getand oppervlak met korte tussenafstanden, is het zelfs mogelijk de tanden te polijsten

zonder de tussenruimtes op te vullen met isolatie. Aangezien in dit geval een vrij hoog risico bestaat op het afbreken van hoeken wordt hierbij nog altijd de voorkeur gegeven aan manueel polijsten.

5.4.2 Manuele toestellen

Deze manueel gehanteerde toestellen worden voornamelijk gebruikt voor het polijsten van complexere vormen of randen en details van grotere elementen. Ook indien men in situ wil polijsten moet men gebruik maken van manuele toestellen.

Men kan een onderscheid maken tussen 2 types manuele machines: elektrische toestellen, met een laag vermogen, en hydraulische toestellen met een hoger vermogen.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Polijsten</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Vaak
<i>Toepassing in situ</i>	Weinig (zeer arbeidsintensief en duur)
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Moelijk (manueel)
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Effen mat, satijnglanzend of hoogglanzend
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Doorsnede van de granulaten zichtbaar, in hetzelfde vlak als de cementmatrix
<i>Betonsamenstelling</i>	Gebroken granulaten in een continue korrelverdeling Harde granulaten geschikt voor hoog glans polijsten, zachte granulaten geschikt voor schuren of mat polijsten Gelijke hardheid van granulaten en cementmatrix
<i>Minimale betondruksterkte</i>	30 N/mm ² bij behandeling, 50 N/mm ² na 28 dagen
<i>Behandeldiepte</i>	4 à 5 mm
<i>Extra betondekking</i>	5 mm
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Hoog
<i>Automatisatie</i>	Hoog (prefab), laag (in situ)
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Laagst
<i>Opmerkingen</i>	Toevoeging van polypropyleen vezels om het polijsten van scherpe hoeken mogelijk te maken zonder beschadigingen

<i>Uitvoeringsvolgorde</i>	1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten 2. Schuren 3. Eerste maal polijsten 4. Kitten 5. Fijn polijsten 6. Eventueel aanbrengen van bescherming
----------------------------	---

B6 Hameren

- 
- [10] Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
- [18] ACI COMMITTEE 303, Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice, ACI, Detroit, 1991, p. 20 - 23
- [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994
- [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002
- [41] RICHARDSON J.G., Formwork for tooled concrete, in Concrete Construction, n°4, 1984, p. 397 - 401

6.1 Principe ⁽¹⁰⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾

Deze techniek is afkomstig uit het domein van de natuursteenbewerking, en wordt daar veelvuldig toegepast. Ze bestaat erin het betonoppervlak, na een lange verharding, te gaan bewerken met verschillende types beitels, om de buitenste laag weg te kappen over een diepte van enkele millimeters tot centimeters (afhankelijk van het gebruikte werktuig). Hierbij wordt zowel de cementmatrix als de granulaten weggekapt. Zeer fijn gebeitelde oppervlakken zullen weliswaar door erosie van de cementhuid na enkele jaren veel van hun oorspronkelijk patroon verloren hebben. Naast de diepte van uitkappen, is het voornamelijk de korrelverdeling van de granulaten die het uitzicht van het resultaat zal bepalen.

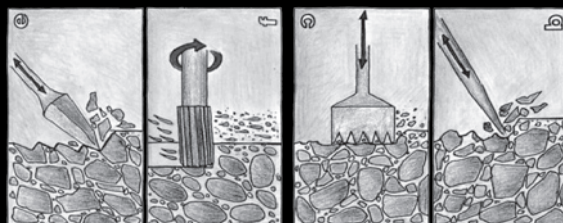
Het gewenste reliëfpatroon zal bepalen met welk type en afmetingen van beitels men werkt, alsook de nodige slagkracht. Hieronder worden de belangrijkste opgesomd:

- een bouchardhamer: een beitel met een platte, getande kop, die het volledige betonoppervlak verbrijzelt,
- een punthamer: een spitse beitel waarmee men een onregelmatig oppervlak bekomt,
- een beitel, waarmee parallelle groeven aangebracht kunnen worden,
- ronddraaiende diamantfreen: hiermee kunnen groeven van allerlei vormen, diepte en breedte kunnen worden aangebracht.

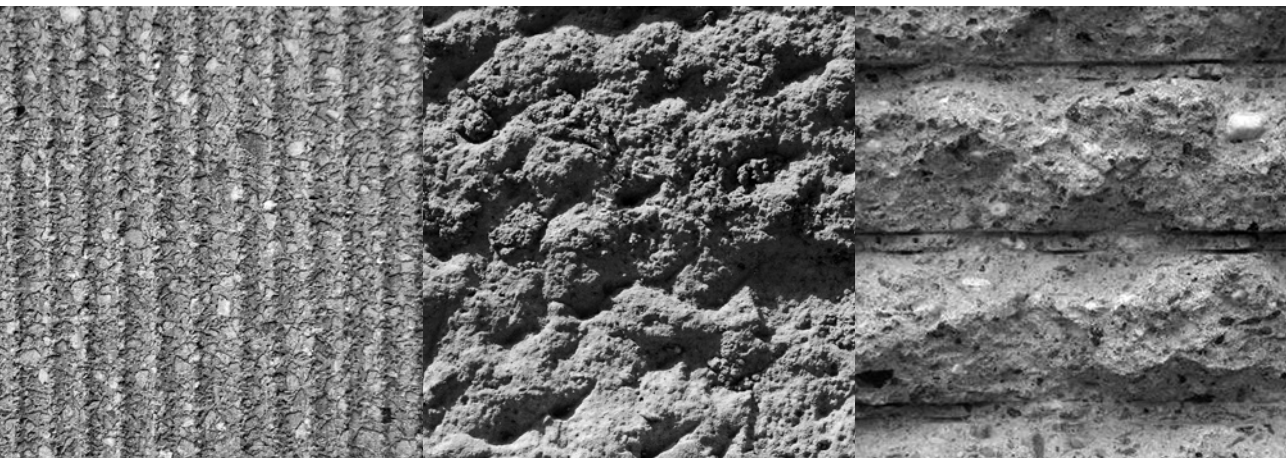
6.2 Betonsamenstelling ⁽²⁷⁾

Om het hoger vermelde effect te verkrijgen waarbij zowel de cementmatrix als de granulaten afgebeiteld worden, moet het beton reeds een minimale druksterkte bereikt hebben van 30 N/mm² alvorens de bewerking te starten¹. Daarom is doorgaans een minimale verhardingsperiode

¹ ACI COMMITTEE 303, *Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice*, ACI, Detroit, 1991, p. 22



Afbeelding B6.1 - Principeschema



van ca. een week vereist alvorens men kan beginnen met het beitelen. Indien het beton een te lage sterkte heeft bij het beitelen, zal het breukvlak van het beitelen langs de granulaten lopen in plaats van erdoor, wat niet het gewenste resultaat oplevert. Bij de keuze van de granulaten zijn deze afkomstig van goed bewerkbare gesteenten, zoals kalksteen, te verkiezen boven gesteenten zoals kwarts of silex welke splijten bij impact. Ook hier is de homogeniteit van het beton een belangrijke factor, aangezien alle grindnesten of concentraties van granulaten zichtbaar worden na het weggakken van de oppervlaktelaag. Om dit te vermijden is een goede verdichting en waterdichte bekisting ook hier absoluut vereist.

Alle gebreken die zich enkel vertonen aan het betonoppervlak (vlekken, verkleuringen, zandstrepen, luchtblazen, kalkuitlogingen) zijn daarentegen onbelangrijk aangezien deze worden weggekappt.

6.3 *Uitvoering* ⁽¹⁰⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾⁽⁴¹⁾

Het afkappen van betonoppervlak leidt tot het ontstaan van microscheuren die dieper in het beton doorlopen. Deze microscheuren kunnen eventueel leiden tot een plaatselijk verhoogde indringing van vocht en chloridenpenetratie, wat uiteindelijk kan leiden tot wapeningscorrosie. Daarom is het af te raden om deze techniek te gaan toepassen op belangrijk gewapende of voorgespannen structurele elementen.

Desalniettemin moet altijd (na het hameren!) de minimale betondekking gegarandeerd blijven en is een wat hogere betondekking (ten minste gelijk aan de bewerkingsdiepte) aan te bevelen om duurzaamheidsproblemen te vermijden. De voorziene betondekking kan aangeduid worden door het aanbrengen van een profiellat in de bekisting.

Bij het ontwerp van de bekisting moet bijzondere aandacht besteed worden aan de manier waarop hoeken en uiteinden zullen worden uitgevoerd. Het beitelen nabij een hoek kan



vlnr

Afbeelding B6.2, 3 & 4 - Gehamerde betonoppervlakken

Afbeelding B6.5 - Een natuursteenoppervlak (links) en betonoppervlak (rechts) op dezelfde manier bewerkt, naast elkaar in eenzelfde gevelvlak

Afbeelding B6.6 - Bewerking met pneumatische hamers

leiden tot het onregelmatig afspringen van het beton op de hoek. Hiervoor bestaan een aantal oplossingen:

- Het voorzien van een reef op 20 – 50 mm van de rand (door het aanbrengen van een regel in de bekisting), en het beitelen laten stoppen aan deze reef.
- Het voldoende afschuinen of afronden van de hoek zodat het beitelen kan doorgaan over de hoek.
- Het aanbrengen van zwaluwstaartlatten (2 trapeziumvormige hoeklatten) zodat er een even grote verdieping van de hoek ontstaat als de beiteldiepte, en aldus een scherpe hoek in het gebeitelde vlak verkregen wordt.

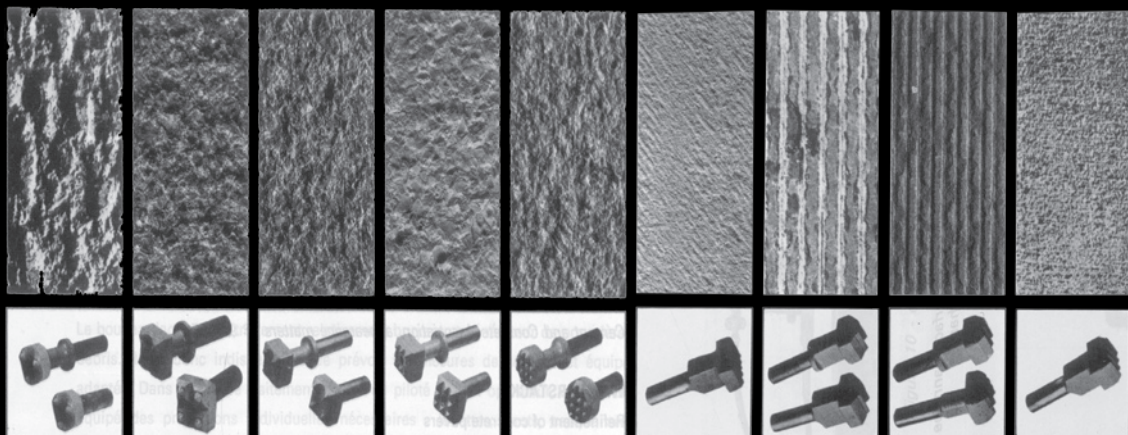
In sommige gevallen, bijvoorbeeld bij een zeer ruw gebeiteld oppervlak, kan een onregelmatige hoek wel aanvaardbaar zijn, indien dit deel uitmaakt van de algemene architecturale esthetiek van het gebouw. Het aanbrengen van profiellatten in de bekisting kan ook aangewend worden om, indien nodig, een duidelijke grens af te bakenen tussen delen van het oppervlak die al dan niet moeten gebeiteld worden. Dergelijke latten kunnen ook als referentie dienen voor de gewenste beiteldiepte en tegelijk een voldoende betondekking garanderen tussen de lat en de wapening.

vlnr

Afbeelding B6.7 - Aanbrengen van een profiellat in de bekisting ter aanduiding van de voorziene betondekking

Afbeelding B6.8 - Mogelijke beschadiging van te fijn gedimensioneerde profileringen





Afbeelding B6.9 - Overzicht verschillende beitelskoppen en de corresponderende oppervlaktetextuur

Wanneer hameren gecombineerd wordt met een geprofileerd betonoppervlak, bijvoorbeeld door gebruik te maken van bekistingsmallen, moeten de afmetingen van de profilering afgestemd worden op mate waarop ze afgekapt zullen worden. Een te slanke profilering loopt het risico volledig af te breken tijdens het beitelen.

6.3.1 Vakbekwaamheid⁽¹⁸⁾

Het beitelen kan met de hand gebeuren, maar hiervoor worden vandaag bijna altijd pneumatische hamers gebruikt waarvan de beitelskop kan gekozen worden naargelang het gewenste resultaat.

Het handmatig beitelen is echter wel nog steeds aangewezen wanneer een natuurlijk, en onregelmatig oppervlak beoogd wordt. Een pneumatisch gehamerd oppervlak zal steeds een zekere regelmaat vertonen door herkenbare sporen van de beitelskop.

Het handmatig (pneumatisch) beitelen heeft een relatief laag rendement van 3 à 4 m²/h. Voor grote oppervlaktes en/of oplagen kan men gebruik maken van geautomatiseerde machines met meervoudige beitels, met een rendement tussen 10 en 25 m²/h. Deze techniek wordt bij prefab elementen vrijwel altijd toegepast, maar kan ook in situ toegepast worden.

Aangezien het handmatig beitelen een techniek is die een grote vakbekwaamheid vergt, is het aangewezen om aan elkaar grenzende delen of indien mogelijk het volledige project door éénzelfde vakman te laten uitvoeren om een zo uniform mogelijke uitvoering te verkrijgen.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Hameren</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Mogelijk
<i>Toepassing in situ</i>	Mogelijk (arbeidintensief)
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Mogelijk
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Ruw tot zeer ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Doorsnede van grove granulaten zichtbaar
<i>Betonsamenstelling</i>	Granulaten afkomstig van goed bewerkbare gesteenten als kalksteen
<i>Minimale betondruksterkte</i>	30 N/mm ²
<i>Behandeldiepte</i>	Afhankelijk van de behandeling
<i>Extra betondekking</i>	Behandeldiepte + 5 mm (microscheuren)
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Hoog
<i>Automatisatie</i>	Laag (pneumatische hamers in situ)
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Hoogst
<i>Opmerkingen</i>	Voldoende hoge (trek)sterkte van het beton zodat breuk door de granulaten loopt bij het beitelen De bekisting (incl. hoeken en structuurmatten) moet aangepast zijn aan de toegepaste beitelmethode: het beitelen moet kunnen gebeuren zonder ongewenste beschadigingen van hoeken en profileringen

<i>Uitvoeringsvolgorde</i>	1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten
	2. Hameren

A detailed microscopic image of a concrete aggregate. The background is a light-colored, fine-grained matrix. Scattered throughout are numerous dark, irregularly shaped particles of various sizes, representing the aggregate. A thin white diagonal line runs from the top right corner towards the center of the image.

B7 Vlamstralen

- [3] CUR Rapport 89: Vlamstralen van beton, CUR, Gouda, 1989
- [27] BRESSON J., C. REBITZER, Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994
- [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002

7.1 Principe ⁽³⁾⁽³⁸⁾

Deze techniek, eveneens behorend tot het domein van de natuursteenbewerking, bestaat erin de interne structuur van de steen, of in dit geval het beton, zichtbaar te maken. Dit gebeurt door afspringen van het oppervlak ingevolge het creëren van thermische spanningen met behulp van een vlam op het betonoppervlak.

Het principe van vlamstralen steunt op het, in zeer korte tijd, plaatselijk inbrengen van een grote hoeveelheid warmte in het betonoppervlak. Praktisch wordt het betonoppervlak opgewarmd tot 1500°C en weer afgekoeld tot 250°C binnen 10 seconden. Door deze korte thermische schok blijft de toegevoerde warmte geconcentreerd in de buitenste zone van 2 à 3 mm dik., en ontstaat er een zeer steile temperatuursgradiënt in deze zone. De inwendige spanningen die hiervan het gevolg zijn, leiden tot het afspringen van deze oppervlakte laag. Het resulterende oppervlak is zeer ruw van structuur waarvan die diepte vrij veel varieert, van ca. 3 mm tot 8 mm.

Het afspringen van het betonoppervlak wordt tevens bevorderd door het plots ontstaan van een hoge interne druk afkomstig van de verdamping van het poriënwater, ingevolge de plotse opwarming van het beton. Dit principe doet zich tevens voor bij het gedrag van beton bij brand.¹

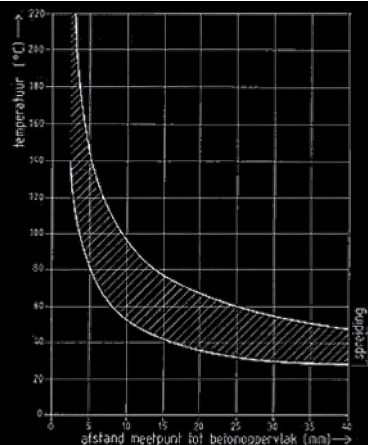
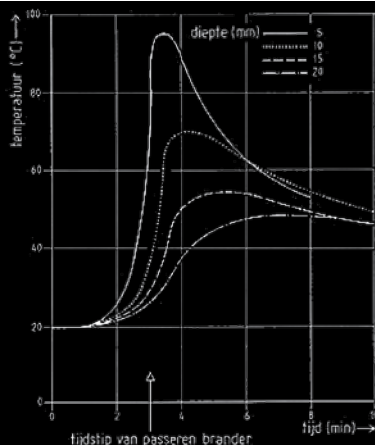
¹ 'Spalling': het afspringen van scherven beton doordat het tot stoom verhitte poriënwater niet snel genoeg kan ontsnappen.

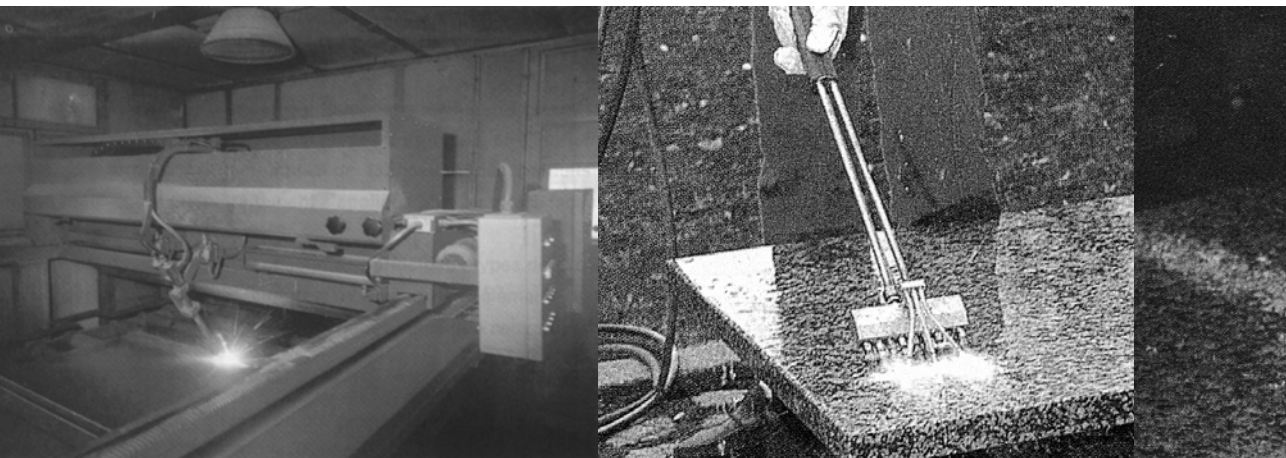
(CUR publikatie 172: Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies, CUR, Gouda, 1994, p. 226)

vlnr

Afbeelding B7.1 -
Temperatuurverloop op verschillende
afstanden van het betonoppervlak
(aanvangstemperatuur 20 °C,
voortbewegingssnelheid brander 1,0
m/min)

Afbeelding B7.2 - Maximale
betontemperatuur als functie van de
afstand tot het oppervlak (20 °C, 1,0
m/min)





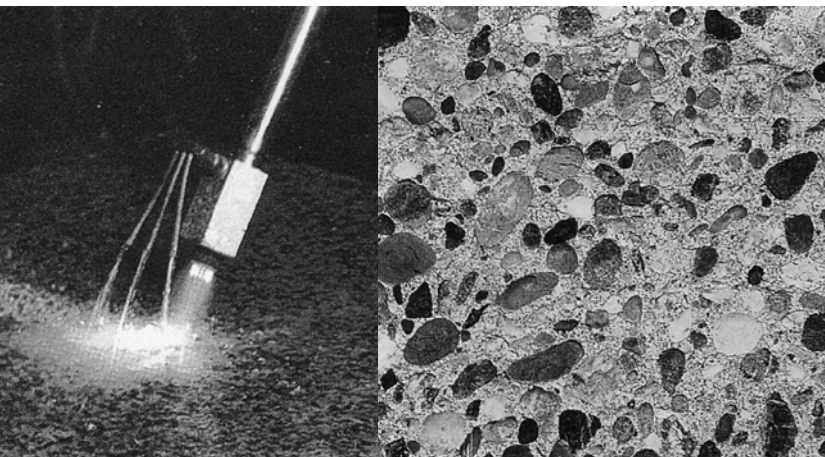
Aangezien de losgekomen laag op veel plaatsen nog vast hangt aan het onderliggende beton, zal het nodig zijn deze op mechanische wijze te verwijderen; door middel van roterende staalborstels, stralen of beitelen. Moeilijk bereikbare delen kunnen handmatig met een staalborstel afgeborsteld worden.

7.2 Betonsamenstelling ⁽²⁷⁾

Om een vlot afspringen van het betonoppervlak te verkrijgen is een beton gewenst met een lage porositeit zodat er zich voldoende interne druk kan opbouwen door de verdamping van het poriënwater. De behandeling kan gestart worden wanneer het beton een druksterkte bereikt heeft van minstens 30N/mm^2 , wat ongeveer overeen komt met een leeftijd van een week.

Het is ook van belang dat het verhard beton voldoende water bevat, om optimaal gebruik te kunnen maken van de druk van de waterdamp. Daarom is het aangewezen bij een ouder, en droger, beton vooraf het betonoppervlak te bevochtigen.

Granulaten afkomstig van harde steensoorten zijn hier te verkiezen. Dergelijke granulaten splijten relatief gemakkelijk onder invloed van thermische schokken. Op die manier bekomt men een breukvlak door de granulaten. Om dit resultaat te verkrijgen is een goede hechting tussen de granulaten en de cementmatrix ook van belang. Dit impliceert een hoog cementgehalte en goed gereinigde granulaten. Gebroken granulaten krijgen de voorkeur aangezien hun aanhechting met de cementmatrix beter is dan bij ronde granulaten.



vlnr

Afbeelding B7.3 - Geautomatiseerd
vlamstralen van prefab elementen

Afbeelding B7.4 & 5 - Manueel
vlamstralen van een betonoppervlak

Afbeelding B7.6 - Gevlamstraald
betonoppervlak

7.3 Uitvoering ⁽³⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾

De thermische schok, waarop het principe van vlamstralen steunt, vergt een hoogenergetische vlam. Om een dergelijke vlam met een hoge temperatuur te verkrijgen wordt als brandgas doorgaans gebruik gemaakt van acetyleen of een menggas van methylacetyleen en propadieen (MAPP, tetreen, APACHI). De temperatuur verkregen met acetyleen ligt iets hoger (5 à 10%), maar beide types brandgassen zijn geschikt voor het vlamstralen van beton.

De vlamstralen zelf kan gebeuren met behulp van handbranders of machinale branders. Handbranders variëren in breedte tussen 50 en 250 mm, machinale branders hebben een breedte van 500 mm of 750 mm. Voor verticale oppervlakken maakt men vrijwel altijd gebruik van handbranders, tenzij voor grote geprefabriceerde gevelpanelen, die horizontaal gestort worden.

Een manuele brander haalt een rendement van ca. 12 m²/h met een gasverbruik van 4m³/h. Geautomatiseerde branders halen een rendement tussen 20 en 30 m²/h met een gasverbruik van 10 à 15 m³/h.

De dikte van de verwijderde laag hangt in de eerste plaats af van de voortbewegingsnelheid van de brander, en dus van de vakbekwaamheid en ervaring van de uitvoerder. De dikte van de verwijderde laag, bij een zekere voortbewegingsnelheid, hangt af van de druktsterkte en vochtgehalte van het behandelde beton.

Er valt geen lineair verband af te leiden tussen de kubusdruksterkte van het beton en de dikte van de verwijderde laag bij een bepaalde voortbewegingsnelheid. Algemeen kan wel gesteld worden dat de dikte van de verwijderde laag groter is bij een beton met lagere kubusdruksterkte.

Het vochtgehalte van het beton speelt ook een rol. Aangezien de warmtecapaciteit van water veel hoger ligt dan die van lucht, is voor het verkrijgen van een zelfde temperatuursgradiënt, bij een vochtig beton tot 30% meer warmtetoevoer nodig dan bij een zelfde droog beton.

Dit impliceert dan ook een lagere voortbewegingsnelheid. Anderzijds zal de grotere stoomontwikkeling in het vochtige beton het afspringen van de buitenlaag bevorderen.

Een mogelijk gevaar bij vlamstralen is het overmatig toevoeren van warmte, bij een te lage voortbewegingsnelheid, of wanneer de brander stil gehouden wordt. Om dit te vermijden wordt een minimale voortbewegingsnelheid van 0,5 m/min opgelegd.

Bij Vlamstralen van beton is het uitermate belangrijk om een voldoende betondekking te behouden na de behandeling, enerzijds om de duurzaamheid van het beton op lange termijn te garanderen, maar vooral om tijdens het vlamstralen verhitting van de wapening te vermijden. Een overmatige verhitting van het wapeningsstaal kan leiden tot een verlies van hechting met het omringende beton.

Voor elementen in gewapend beton, welke gevlamstraald worden, moet een extra betondekking van 10 mm voorzien worden bovenop de normale betondekking. Het vlamstralen van voorgespannen elementen wordt afgeraden, omwille van de ernstige gevolgen van het eventueel oververhitten van de voerspandraden.

7.3.1 Vakbekwaamheid ⁽³⁾⁽²⁷⁾

Aangezien de diepte van de verwijderde laag in de eerste plaats afhangt van de voortbewegingsnelheid, vergt dit een grote vakbekwaamheid, en is dit een techniek die enkel kan uitgevoerd worden door daartoe opgeleid, ervaren personeel.

Bij het manueel branden moet aangepaste bescherming voorzien worden, om de gebruiker te beschermen tegen het afspringen van betonbrokken.

Er dient ook vermeld te worden dat het branden veel lawaai veroorzaakt, iets waar rekening dient mee gehouden te worden bij toepassing in situ.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Vlamstralen</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Mogelijk
<i>Toepassing in situ</i>	Mogelijk
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Moelijk
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Ruw tot zeer ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Doorsnede van de grove granulaten zichtbaar
<i>Betonsamenstelling</i>	Lage water/cement-factor voor een lage porositeit (stoomopbouw) Gebroken granulaten met hoge hardheid (betere aanhechting)
<i>Minimale betondruksterkte</i>	30 N/mm ²
<i>Behandeldiepte</i>	3 - 8 mm
<i>Extra betondekking</i>	Behandeldiepte + 10 mm
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Hoog (voortbewegingsnelheid bepaalt warmtetoetreding en behandeldiepte). Een te lage voortbewegingsnelheid kan schade veroorzaken door verhitting van de wapening
<i>Automatisatie</i>	Laag (soms bij prefab)
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	Ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Hoog
<i>Opmerkingen</i>	Niet toepassen op voorgespannen elementen

<i>Uitvoeringsvolgorde</i>	1. Bekisten, wapenen, storten, verdichten, ontkisten 2. Vlamstralen 3. Verwijderen van losliggende oppervlakte laag door borstelen of stralen
----------------------------	---

B8 Splijten



- [16] AAVV, Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006, p. 179 - 180
 - [27] BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994
 - [38] KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002
- 

8.1 Principe ⁽¹⁶⁾⁽²⁷⁾⁽³⁸⁾

Het doel van deze techniek is het zichtbaar maken van de interne structuur van het beton door het splijten in een vlak van een geprefabriceerd element. Dit betekent uiteraard dat deze techniek niet toepasbaar is in situ. Ook wordt ze meestal toegepast op kleine prefab elementen, gezien het veel moeilijker is bij grote elementen een recht splijtvlak te verkrijgen. Deze techniek wordt ook wel toegepast op geprofileerde elementen, waarbij ze een alternatief biedt voor het hameren (*B6 Hameren*) van een in een bekistingsmal (*A2 Bekistingen & mallen / 2.4 Bekistingsmallen*) gestort element.

Aangezien de interne structuur van het beton zichtbaar wordt gemaakt, zijn alle bestanddelen van belang voor het uiteindelijke uitzicht.

8.2 Betonsamenstelling en uitvoering ⁽¹⁶⁾⁽²⁷⁾

Door het variëren van type en kleur van granulaten en cementmatrix kan een zeer uiteenlopend aspect van het breukvlak verkregen worden. Vooral de interne kleur en textuur van de granulaten is hier bijzonder belangrijk, aangezien het breukvlak doorheen de granulaten zal lopen. Daarom is het belangrijk voor het maken van een keuze inzake de te gebruiken granulaten, deze vooraf te splijten om hun interne structuur te kunnen beoordelen.

Het breukvlak bij splijten komt overeen met dat van een breuk tengevolge het overschrijden van de treksterkte van het beton. De kracht nodig voor het splijten van een betonelement is dan ook evenredig met de (splijt)treksterkte van het beton en met de grootte van het splijtvlak. Het splijten zelf gebeurt op dezelfde wijze als bij een splijttrekproef.

De splijttreksterkte kan berekend worden met volgende formule ¹:

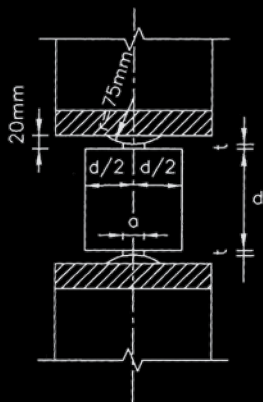
$$f_{ct,sp} = (2 \cdot F_{max}) / (\pi \cdot l \cdot d) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

met F_{max} = breukbelasting bij het splijten [N], l en d = afmetingen van het element [mm].

De dikte van het te splijten betonblok bedraagt het dubbele van het uiteindelijke element, en er wordt een reef voorzien in het midden van het element zodanig dat het breukvlak ongeveer door het midden gaat (het breukvlak volgt de zwakste weg). De twee helften hebben een complementair breukvlak en kunnen dus beiden gebruikt worden.

Daarom is het van belang dat het breukvlak door de granulaten en niet erlangs loopt. Wat betreft de betonsamenstelling is het dus belangrijk dat de splijttreksterkte ($f_{ct,sp}$) van de cementmatrix

1 AAVV, *Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006*, p. 179 (NBN EN 12390-6)



Afbeelding B8.1 - Principe van splijtproef

en de hechting tussen de matrix en de granulaten hoger is dan de treksterkte van de granulaten zelf. Het is aan te raden gebruik te maken van gebroken granulaten aangezien deze door hun ruwer (en dus groter) oppervlak een betere aanhechting bieden met de cementmatrix. Bij het gebruik van granulaten met een hoge sterkte (kwarts, porfier, dioriet, ...) zal dus een beton van voldoende hoge treksterkte nodig zijn om voldoende splijttreksterkte te bekomen, zodat de breuk door de granulaten loopt.

Een indicatie van de minimale druksterkte (en dus de leeftijd) van het beton alvorens het splijten uit te voeren kan bepaald worden met volgende formule ²:

$$f_{c,cub} \approx 10 \cdot f_{ct} \approx 9 \cdot f_{ct,sp} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

met f_{ct} = rechtstreekse treksterkte [N/mm²], $f_{c,cub}$ = kubusdruksterkte [N/mm²]

Doorgaans wordt hiervoor een wachttijd na het storten in acht genomen van 7 tot 12 dagen. Een homogeen beton en een goede verdichting zijn belangrijk om grote afwijkingen van het breukvlak te vermijden. In bepaalde gevallen echter, indien men een meer onregelmatig breukvlak wenst, kan een zekere heterogeniteit aanvaardbaar zijn. Het breukvlak zal dan afwijken op plaatsen waar de sterkte van het beton lager is. In dit geval is het belangrijk het breukvlak te begrenzen door de bekisting te voorzien van inkepingen aan de randen van het element.

Aandachtspunten

<i>Eigenschappen & criteria</i>	<i>Splijten</i>
<i>Toepassing prefab</i>	Altijd
<i>Toepassing in situ</i>	Nooit
<i>Complexe vormen of profileringen</i>	Mogelijk
<i>Textuur van het oppervlak</i>	Zeer ruw
<i>Uitzicht van het oppervlak</i>	Breuk door de granulaten; doorsnede van grove granulaten zichtbaar
<i>Betonsamenstelling</i>	Gebroken granulaten voor betere aanhechting met cementmatrix Treksterkte en aanhechting cementmatrix $\geq$ treksterkte granulaten
<i>Minimale betondruksterkte</i>	Afhankelijk van soort granulaten, 9 x splijttreksterkte
<i>Behandeldiepte</i>	Afhankelijk van de heterogeniteit van het beton
<i>Extra betondekking</i>	Behandeldiepte + 5 mm (indien van toepassing)
<i>Invloed vakbekwaamheid</i>	Geen (volledig automatisch proces)
<i>Automatisatie</i>	Volledig
<i>Stoomverharding mogelijk</i>	ja
<i>Gevoeligheid voor vervuiling</i>	Hoogst
<i>Opmerkingen</i>	Het splijten van een dubbel breed element levert twee afgewerkte elementen op Het splijtvlak kan benaderend vastgelegd worden door groeflatten aan te brengen in de bekisting (breuk volgt zwakste weg)

Uitvoeringsvolgorde

1. Bekisten
2. Aanbrengen van groeflatten in de bekisting om het splijtvlak vast te leggen
3. Wapenen (indien van toepassing), storten, verdichten, ontkisten
4. Splijten

B9 Recente ontwikkelingen

- 
- [7] Innovation: les premiers bétons autolavables, in Les Cahiers Techniques du Bâtiment, n°218, 2001, p. 76 - 77
- [11] Métallisez vos bétons, in BTP Magazine, n°135, 2000, p. 32
- [14] Une nouvelle génération de ciment pour un béton autonettoyant, in Préfa Béton International, n°6, 2005, p. 78 - 81
- [23] BEELDENS A., KNAPEN E., VAN GEMERT D., Fotokatalytisch actieve materialen voor de bestrijding van luchtverontreiniging, in Cement, n°5, 2006, p. 62 - 65
- [24] BENNETT D., The art of precast concrete. Colour, texture expression, Birkhäuser, Basel, 2005, p. 14 - 19
- [29] DECLERCK P., LADANG C., Ontwikkeling van cement met fotokatalytische eigenschappen, in Cement, n°5, 2006, p. 45 - 47
- [37] HUREZ M., Béton architectonique, Techniques de l'ingénieur, Paris, 2000
- [46] WALRAVEN J.C., Ultra-hogesterkiet beton: een materiaal in ontwikkeling, in Cement, n°5, 2006, p. 57 - 61

9.1 Inleiding

De hierna beschreven recent ontwikkelde technieken en betonsoorten zijn momenteel in onderzoeksfase of werden recent op de markt gebracht. Niettegenstaande de momenteel hoge kostprijs van veel van deze nieuwe technieken, bieden zij bepaalde voordelen die in de toekomst interessante toepassingen kunnen hebben op het gebied van architectonisch beton.

9.2 Fotogravure ⁽³⁷⁾

Dit procédé, gelijkaardig aan zeefdrukken / halftone ¹ printen, laat toe een foto of afbeelding op een gewenste schaal aan te brengen op een betonoppervlak. Van een digitale afbeelding wordt eerst een negatief gemaakt en vervolgens omgezet in een monochroom halftone patroon. De aldus verkregen afbeelding wordt met een speciale printer in verhardingsvertrager geprint op een film of papier.

Hierna wordt dezelfde methode toegepast als deze van het vertraagd uitwassen (*cfr. B4 Vertraagd uitwassen*).

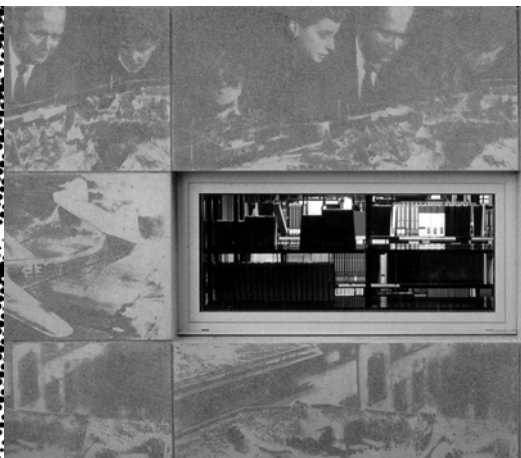
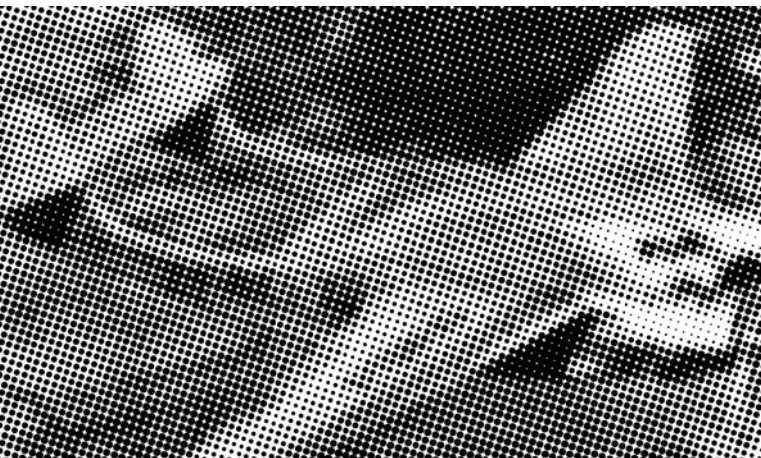
9.3 Metaalprojectie ⁽¹¹⁾⁽³⁷⁾

Deze methode bestaat erin, met behulp van een speciale brander, een laagje vloeibaar metaal of polymeer op het betonoppervlak af te zetten. Het vloeibaar materiaal wordt op het oppervlak geprojecteerd met een snelheid van 150 m/s en vormt een laag met een dikte van 100 tot 300 µm, afhankelijk van het gebruikte materiaal.

Naast de aldus verkregen bijzondere textuur en kleur, moet dit oppervlaktelaagje ook de duurzaamheid van het beton verbeteren door de poriën te dichten en het oppervlak af te schermen van de lucht, vervuiling en weersinvloeden. De duurzaamheid van deze experimentele techniek wordt op dit moment nog getest; onder meer inzake de laagdikte, kleurvastheid, slijtvastheid en diffusieweerstand.

Deze techniek maakt thans reeds gebruik van de metalen koper, aluminium, messing en brons en van de polymeren polyethyleen, polypropyleen en polyamide.

¹ Een halftone patroon is een patroon, gemaakt op basis van een afbeelding, bestaande uit zwarte stippen van verschillende grootte, aangepast aan de helderheid van de oorspronkelijke afbeelding. Van op afstand lijkt het halftone patroon voor het menselijke oog quasi hetzelfde als de oorspronkelijke afbeelding. Laserprinters zijn gebaseerd op dit principe.



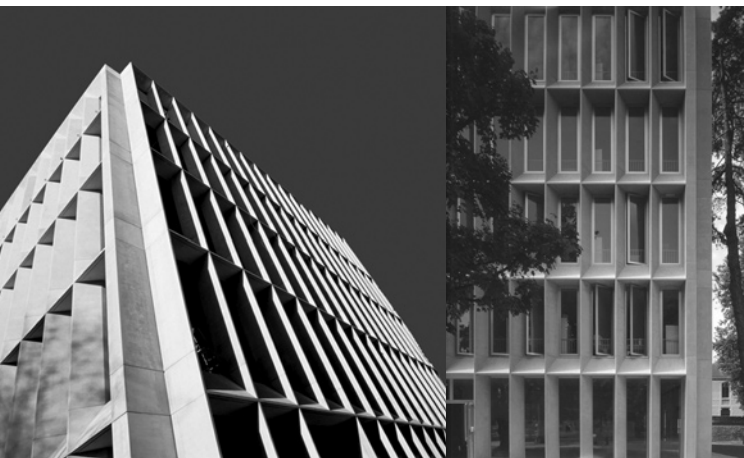
9.4 Fotokatalytisch TiO_2 ⁽⁷⁾⁽¹⁴⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾

Na de ontwikkeling van zelfreinigende verf, tegels en glas is er vandaag ook zelfreinigend beton op de markt. Deze toepassing kan heel wat voordeel opleveren, voornamelijk bij de toepassing van architectonisch beton in stedelijke omgevingen, waardoor dure en repetitieve gevelreinigingen overbodig worden. Lichtgekleurd architectonisch beton toegepast in een stedelijke omgeving verliest vandaag al na enkele jaren veel van zijn oorspronkelijke kleur en esthetiek tengevolge atmosferische vervuiling, afkomstig van uitlaatgassen, fijn stof, industriële uitstoot en de vorming van micro-organismen zoals algen en mossen.

Deze zelfreinigende eigenschappen worden verkregen door de toevoeging van TiO_2 aan het gebruikte cement. Het titaandioxide wordt echter onder een andere vorm aangewend dan het witte TiO_2 pigment. Het verschil ligt op het niveau van de molecuulordening waarbij het TiO_2 onder anataas ² vorm wordt gebruikt in plaats van onder rutiel ³ vorm, zoals dit het geval is bij het TiO_2 pigment. De reden hiervoor ligt in de veel hogere fotokatalytische capaciteit van anataas TiO_2 ten opzichte van rutiel TiO_2 . Toch vertoont een beton gepigmenteerd met rutiel TiO_2 een zeker zelfreinigend karakter, alhoewel minder sterk. De dosering bedraagt 1 tot 5% van het betongewicht (een veel hogere dosering dan bij het gebruik van rutiel TiO_2 als pigment). Een cement (type CEM I 52.5) met toevoeging van TiO_2 werd op de markt gebracht in 1999 door cementfabrikant *Italcementi* onder de merknaam *TX Millenium* en verkreeg in 2004 een CE merk.

Het principe van zelfreiniging is gebaseerd op fotokatalyse, waarbij het TiO_2 werkt als katalysator en dus zelf niet deelneemt aan de reactie. Onder invloed van de invallende UV-straling versnelt de katalysator de oxidatiereactie van de organische vervuiling op het

2, 3 TiO_2 komt in de natuur voor onder drie verschillende kristallijne vormen: rutiel, anataas en brookiet. Voor industriële toepassingen wordt meestal rutiel TiO_2 gebruikt.



vlhr

Afbeelding B9.1 - Foto omgezet in zwart/wit halftone patroon

Afbeelding B9.2 - Toepassing van fotogravure op een betonoppervlak

Afbeelding B9.3 & 4 - Cité de la Musique et des Arts, Chambéry (Galfetti, Keromnes & Cusson). Beton op basis van TX Millennium cement met fotokatalytisch TiO_2

oppervlak (atmosferische vervuiling in stedelijke milieus, mosvorming,...) waardoor deze degradeert en de natuurlijke kleur van het betonoppervlak hersteld wordt. Deze degradatie van de vervuiling doet zich bij een gewoon beton ook voor, maar aan een veel te lage snelheid waardoor de vervuiling kan toenemen. Het zelfreinigend effect treedt op wanneer de snelheid waarmee deze oxidatiereactie plaatsvindt hoger ligt dan de snelheid waarmee vervuiling zich vastzet op het betonoppervlak.

De beste resultaten worden gehaald in combinatie met een lage water/cement-factor, en dus een lage porositeit van het betonoppervlak. De zelfreinigende eigenschappen blijven hun werkzaamheid behouden in combinatie met elke oppervlaktebehandeling. De werking impliceert echter wel een contact tussen de vervuiling en de cementmatrix; wat betekent dat het aanbrengen van een lasuur de werking teniet doet. Ook de vervuiling van het oppervlak van de granulaten zelf, bij een behandeld betonoppervlak, zal niet worden verhinderd.

Aangezien het TiO_2 een katalysator is en dus zelf niet deel neemt aan de reactie is het zelfreinigend vermogen permanent en neemt het niet af in de tijd. Dit is een garantie voor een duurzaam uitzicht van het betonoppervlak. Momenteel worden de eerste realisaties met dit type cement nog steeds opgevolgd om de duurzaamheid van het proces te onderzoeken.

Naast het zelfreinigende effect van het gebruik van TiO_2 als fotokatalysator, wordt er vandaag ook onderzoek gedaan naar het luchtzuiverend effect; door afbraak van stikstofoxiden, koolmonoxide en zwaveldioxide uit de lucht. Dit luchtzuiverend effect is uiteraard een bijkomende troef in deze dagen van toenemend ecologisch bewustzijn.

Recent werd ook fotokatalytisch TiO_2 op de markt gebracht als wit pigment. Dit betekent dat men gebruik kan maken van eender welk cement, en door toevoeging van het pigment een fotokatalytisch effect kan bereiken. De prijs ligt echter wel exponentieel hoger dan die van normaal TiO_2 wit pigment.



9.5 Ultra hoge sterkte beton ⁽²⁴⁾⁽⁴⁶⁾

De laatste tien jaar werd onder andere in Denemarken en Frankrijk onderzoek verricht naar ultra hoge sterkte beton. Het resultaat van dit onderzoek zijn ultra-hoge-sterkte betonsoorten met theoretische druksterktes van 100 tot 400 N/mm². De in de praktijk gehaalde druksterktes liggen echter bijna altijd onder 250 N/mm². Deze betonsoorten kunnen op dezelfde manier verwerkt worden als een klassiek beton voor de fabricage van prefab elementen. Het principe achter deze zeer hoge betondruksterkte is het controleren van de korrelverdeling van het cement, zodanig dat capillaire poriën en holten tussen de korrels tot een minimum herleid worden. Dit wordt gerealiseerd door de toevoeging van fijne fillers of silica fume die de holtes en poriën opvullen.

De betonsamenstelling van een dergelijk beton wordt gekarakteriseerd door een zeer lage water/cement-factor (0,2 - 0,3) en de afwezigheid van grove granulaten. Om een aanvaardbare verwerkbaarheid te verkrijgen met zo een lage water/cement-factor en hoog gehalte aan zeer fijne deeltjes worden er ook superplastificeerders aan de samenstelling toegevoegd.

Naast de zeer hoge druksterkte, ligt ook de elasticiteitsmodulus hoger (40000 - 100000 N/mm²). Ook de massadichtheid is hoger dan die van een klassiek beton (2600 - 3000 kg/m³). Dankzij de toevoeging van staalvezels ligt ook de treksterkte veel hoger dan die van een conventioneel ongewapend beton. Deze combinatie van eigenschappen laat toe elementen te maken met zeer kleine diktes, voornamelijk door het verminderen van extra wapening. Een ander voordeel is een zeer glad, homogeen en hard betonoppervlak, wat veel toepassingen toelaat in het domein van prefab gevelbekledingen en ook voordeel biedt inzake duurzaamheid.

De vandaag reeds uitgevoerde toepassingen van deze betonsoorten variëren van prefab uitkragende balkonelementen, trappen en gevelpanelen tot bruggen. De twee belangrijkste fabrikanten van dit type beton zijn *Aalborg Portland* in Denemarken met *CRC (Compact Reinforced Concrete)* en *Lafarge* in Frankrijk met *Ductal®*.



vlnr

Afbeelding B9.5, 6 & 7 - Toepassingen
van Ductal®

Afbeelding B9.8 & 9 - Toepassingen van
CRC

9.5.1 CRC⁽²⁴⁾⁽⁴⁶⁾

De druksterkte van dit beton kan in theorie variëren van 100 tot 400 N/mm², afhankelijk van de eisen van de toepassing. Een typische betonsamenstelling voor 1m³ CRC beton met een druksterkte van 200 N/mm² is: 1000 kg CRC binder (cement + fillers), 1290 kg zand, 180 kg staalvezels, 150 kg water. Een dergelijke betonsamenstelling bereikt bij een temperatuur van 20°C reeds 16 uur na het storten een druksterkte van 60 N/mm². Door de consistentie van dit beton kunnen wapeningstaven zeer dicht bij elkaar geplaatst worden, wat toelaat zeer dunne structurele elementen te maken zoals trappen of balkonelementen.

De CRC binder heeft een hogere kostprijs dan een gewoon cement, en ook de toevoeging van staalvezels draagt bij tot een hoge kostprijs. Toch kan het gebruik ervan rendabel zijn voor bepaalde toepassingen, aangezien het totale betonvolume van een element in sommige gevallen kan herleid worden tot een derde in vergelijking met een conventioneel beton.

9.5.2 Ductal®⁽²⁴⁾⁽⁴⁶⁾

De druksterkte van dit beton kan variëren van 100 tot 200 N/mm². De betonsamenstelling bestaat uit cement, fijne fillers (silica fume), fijn zand, vezels en plastificeerders. Door deze samenstelling kan de hydratatie volledig doorgaan met een minimum aan water, met name een water/cement-factor van 0,2. Om een minimum aan holtes in de 'cement' matrix te verkrijgen varieert de korrelgrootte van het mengsel van 0,1 µm tot 600 µm. Deze eigenschappen resulteren in een minimum aan interne en externe onvolkomenheden, met name een glad, homogeen en zeer weinig poreus betonoppervlak.

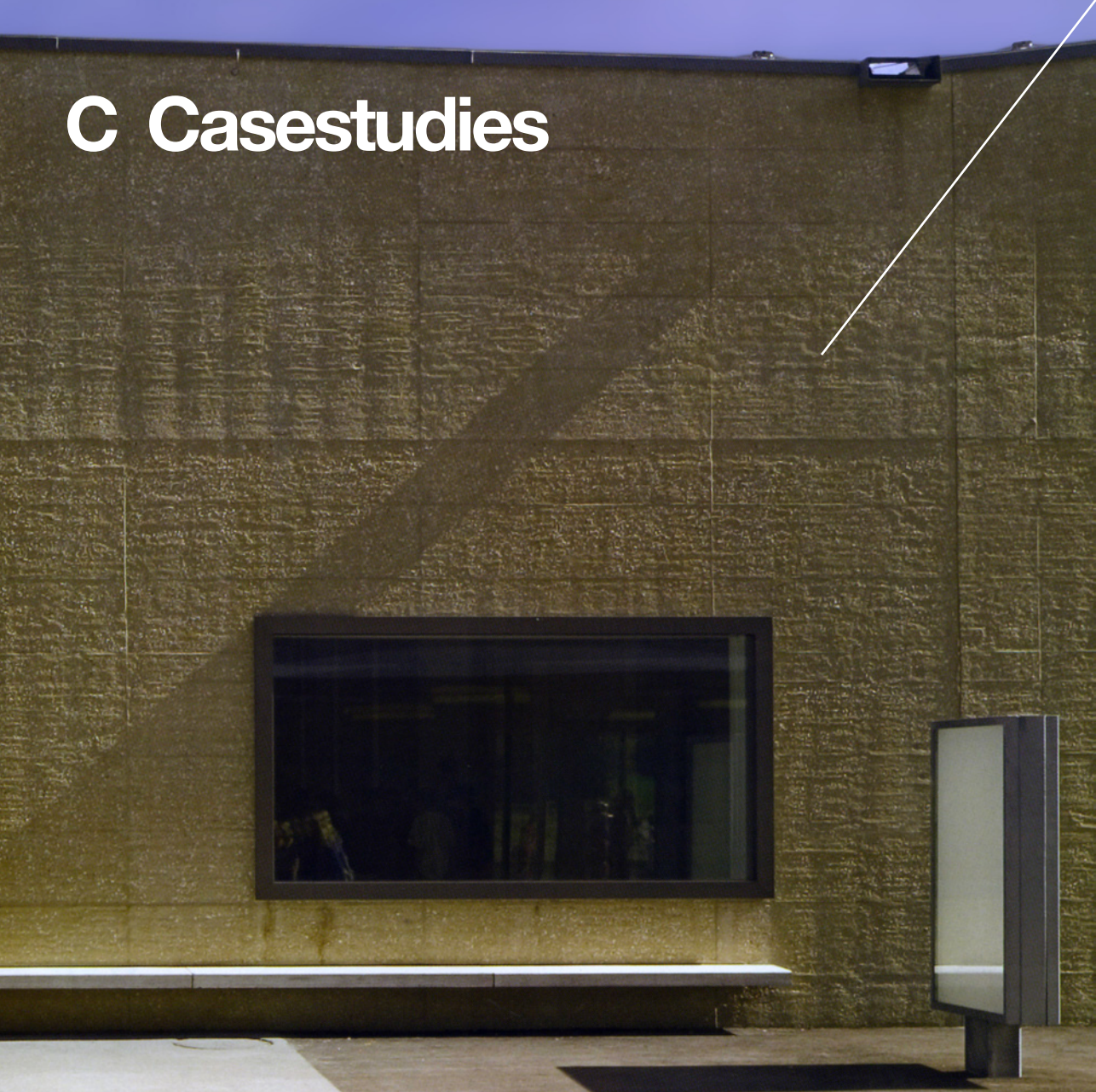
Voor structurele toepassingen worden staalvezels toegevoegd (Ductal®-FM), bij esthetische toepassingen zoals gevelpanelen worden polypropyleen vezels gebruikt (Ductal®-FO). Door de zeer vloeibare consistentie (dankzij plastificeerders) en hoge sterkte is dit materiaal bijzonder geschikt voor complexe vormen met zeer fijne profileringen en details.

9.6 *Translucent beton*

Het gaat hier op zich niet om een technologische innovatie inzake betonsamenstelling. Het principe achter lichtdoorlatend beton is het instorten van glasvezels. Door het polijsten van het betonoppervlak komen de uiteinden van de vezels zichtbaar aan het betonoppervlak waardoor het invallende licht aan het ene uiteinde van een vezel zichtbaar wordt aan het andere uiteinde. Door voldoende van deze vezels in het beton in te storten krijgt het beton op die manier een zekere graad van lichtdoorlatendheid. De vezels worden in de bekisting gespannen waarna een vloeibaar beton ertussen gestort wordt.

Dit product wordt vandaag gecommercialiseerd onder het merk Litracon® onder de vorm van betonblokken met beperkte afmetingen. Door de manier van uitvoeren en de risico's wat betreft duurzaamheid die verbonden zijn aan het instorten van doorlopende elementen (glasvezels die dwars door het element lopen) wordt deze techniek niet toegepast op grotere of gewapende elementen.

C Casestudies



- [6] Herzog & de Meuron 2002:2006, in El Oroquis n°129/130, 2006, p. 126 - 145
- [8] Kunstmuseum Lichtenstein, in A+U, n°370, 2001, p. 153 - 157
- [17] AAVV, Bouwen met Beton, Febelcem, Brussel, 2006, p. 24 - 31
- [22] BAKKER S., Experimenteel Beton, bureaubakker, Delft, 2006
- [25] BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005
- [28] CISAR H., De zwarte Liechtensteiner monoliet, in Cement, n°7, 2002, p. 38 - 40
- [47] WAPPEROM H., Leermoment in zwart beton, in Cement, n°8, 2004, p. 28 - 33

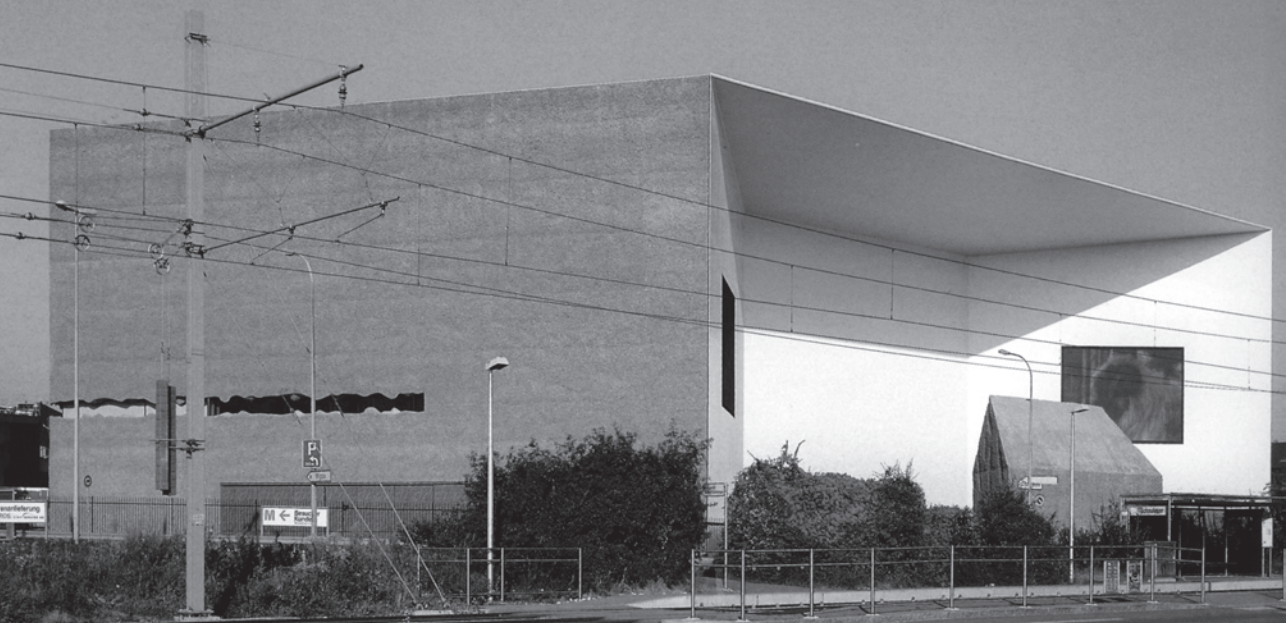
1 Inleiding

De in dit werk besproken oppervlaktebehandelingsmethoden worden vandaag in de prefabindustrie veelvuldig toegepast. Dergelijke technieken zijn door deze bedrijven dan ook gestandaardiseerd en voor een groot deel geautomatiseerd. De architect die in zijn ontwerp wenst gebruik te maken van prefab betonelementen kan dan ook eenvoudigweg aan de hand van een referentie of stalencatalogus een offerte vragen voor een element met een bepaalde oppervlaktebehandeling (behandeling, kleur en granulaten). De fabrikant doet dan een aantal voorstellen tot, in overeenkomst met de architect, het gewenste resultaat verkregen wordt. De architect komt nog weinig of niet tussen in het productieproces; wat ook niet noodzakelijk is, aangezien deze bedrijven doorgaans over de nodige kennis en ervaring beschikken om de opdracht tot een goed einde te brengen.

De situatie ligt heel anders wanneer het gaat over het toepassen van een oppervlaktebehandelingsmethode op een terplaatsse gestort beton. Toepassingen in situ doen zich minder vaak voor, en het gaat meestal over eerder architecturaal uitdagende toepassingen, waarbij zeer specifieke eisen gesteld worden aan het gewenste resultaat. Vaak worden de limieten van een techniek ook tot het uiterste gedreven of op een andere manier toegepast om een bijzonder resultaat te bekomen. In de meeste gevallen heeft de aannemer ook geen specifieke kennis of ervaring met de toe te passen techniek, en de eraan gerelateerde eisen inzake betonsamenstelling en uitvoeringstechniek.

Dit betekent dat men meestal niet kan terugvallen op standaardisatie of ervaring van de uitvoerder. Daarom is het in dit geval belangrijk dat de architect een zekere voorkennis heeft van de bestaande technieken en hun randvoorwaarden naar uitvoering en betonsamenstelling toe. Deze voorkennis is zowel belangrijk in de ontwerpfase als in de uitvoeringsfase van een ontwerp, en dan meer in het bijzonder de controletaak van de architect.

Dit moet tevens een basis zijn om toe te laten de grenzen van een techniek tot het uiterste te drijven of te verleggen, hetgeen aan de hand van de hieropvolgende casestudies geïllustreerd wordt.



Schaulager

<i>Architect</i>	Herzog & de Meuron
<i>Locatie</i>	Münchenstein, Basel, Zwitserland
<i>Jaar</i>	2003
<i>Betonsamenstelling</i>	-

2 Schaulager ⁽⁶⁾⁽²⁵⁾

De gevel van het gebouw refereert met zijn aardkleur en grove textuur aan een steengroeve, waar tevens de granulaten voor het beton gewonnen worden. Om deze aarde bruine kleur te bekomen werd gebruik gemaakt van een bruin gepigmenteerd beton met gele ronde grove granulaten. Het meest interessante aspect is echter de textuur van het beton. De intentie was een zeer ruw en onregelmatig oppervlak te realiseren.

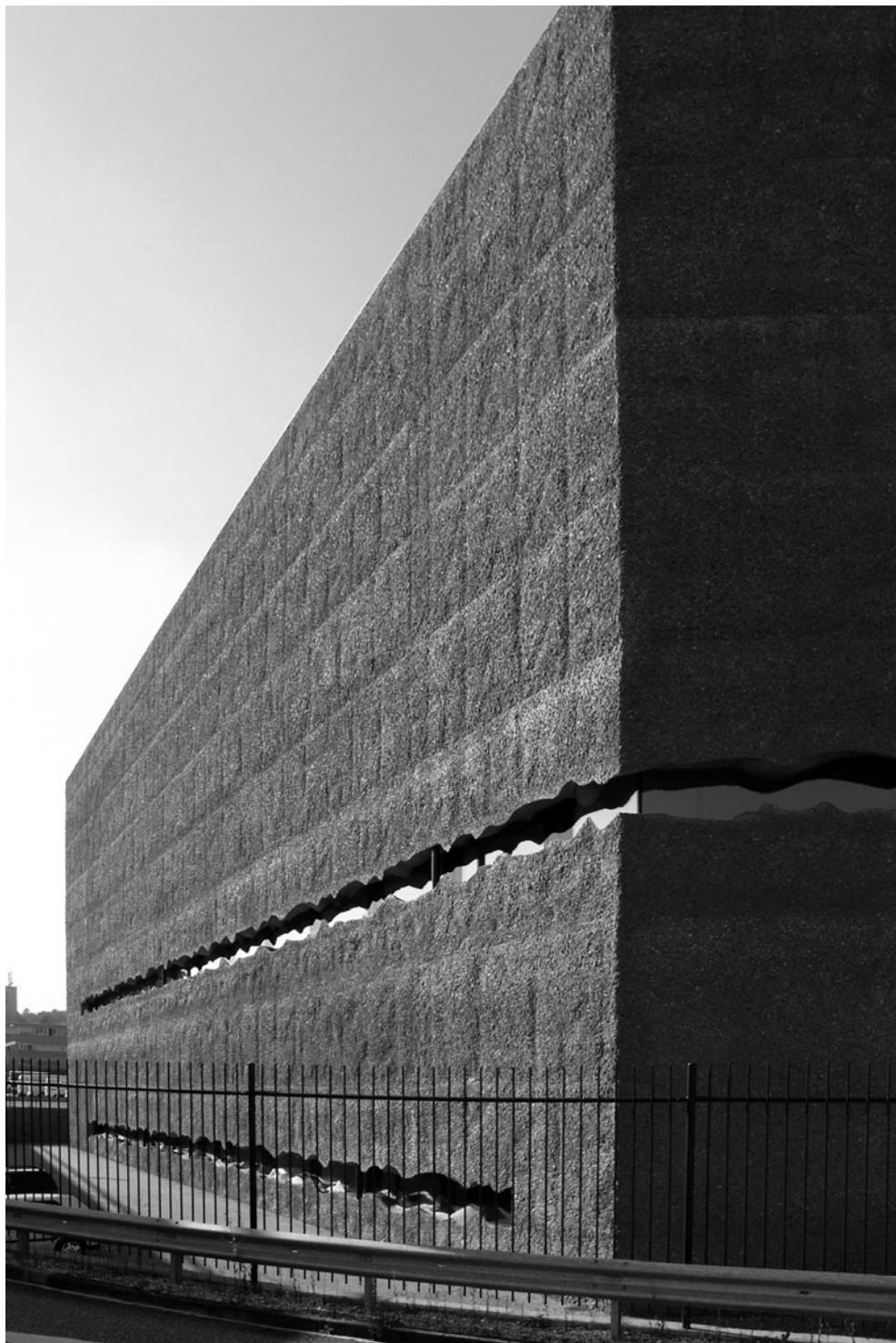
Eerst werd in de bekisting een zware kunststof folie aangebracht. Door de plooiën in deze stugge plasticfolie krijgt het onbewerkte oppervlak al een zekere golving en onregelmatigheid. Op die manier zal het latere hameren van het oppervlak minder diep moeten gebeuren om een grote variatie in diepte te krijgen over het hele geveloppervlak.

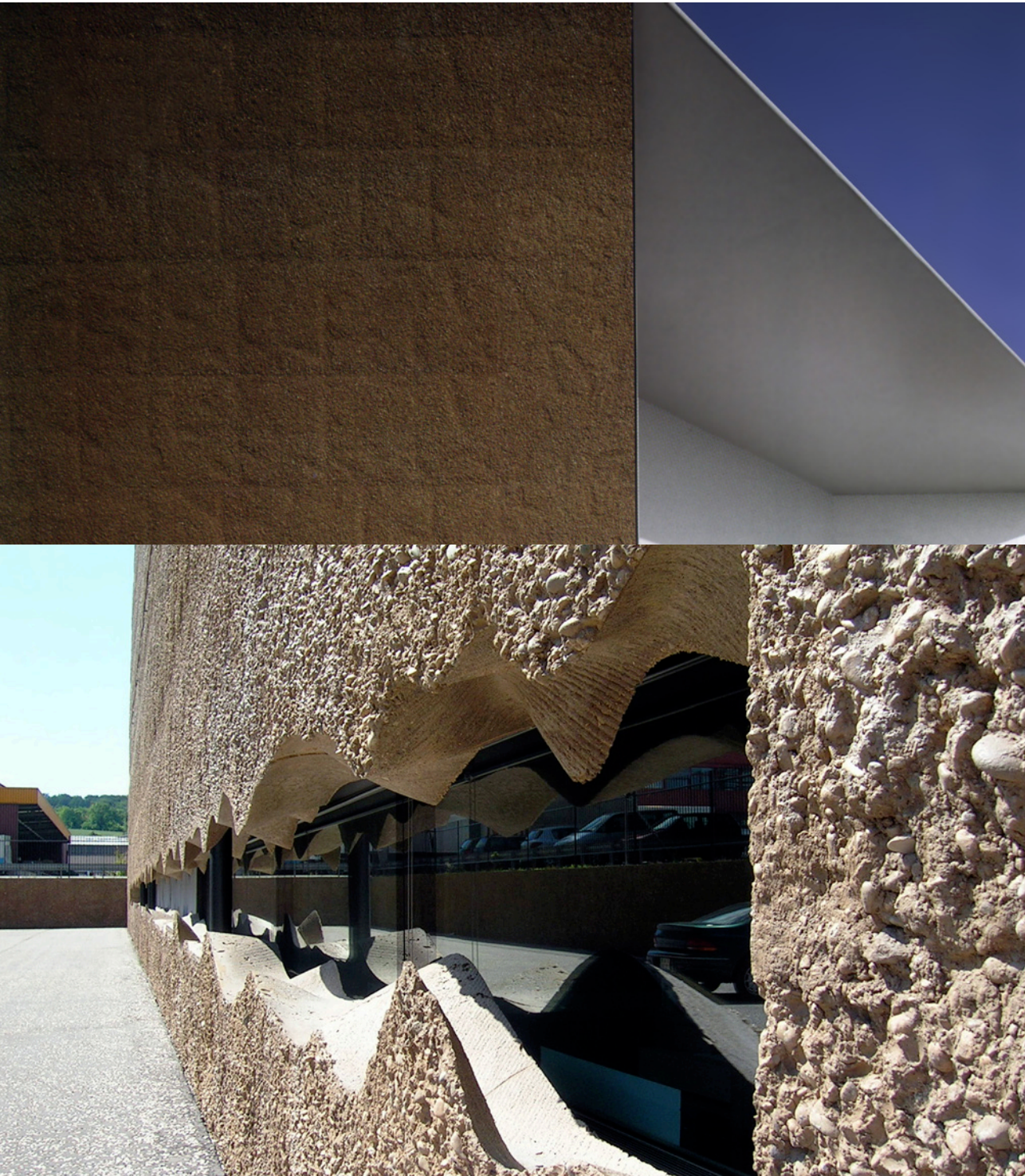
Vervolgens werd het oppervlak volledig manueel afgebeiteld. Het nastreven van een zo groot mogelijke graad van onregelmatigheid is de reden waarom niet geopteerd werd voor pneumatische hamers met meervoudige beitelkoppen. Het spreekt voor zich dat dit een belangrijke invloed heeft op de arbeidstijd en kostprijs. Om het manueel beitelen te vergemakkelijken werd elke stortfase onmiddellijk na het ontkisten uitgebeiteld. Een te lange wachttijd (en overeenkomstige toename in druksterkte) zou het manueel beitelen onmogelijk maken. Door de korte wachttijd en het manueel beitelen wordt een breukvlak verkregen langs de granulaten. In combinatie met de gele ronde granulaten en de bruine cementmatrix levert dit echter een resultaat op wat volledig in de lijn ligt van het uitgangspunt; de groeve waar de granulaten gewonnen werden.

Een laatste aspect zijn de raamopeningen. Om het ruwe en grove karakter van de gevel te behouden, werd gebruik gemaakt van gefreesde EPS mallen om een golvende profilering te geven aan de raamopeningen. Deze werden pas ontkist na het beitelen van het onder- of bovenliggende betonoppervlak, waardoor een scherpe en gave hoek verkregen wordt.









Kunstmuseum Liechtenstein

<i>Architect</i>	Morger & Degelo Architekten
<i>Locatie</i>	Städtle 32, Vaduz, Liechtenstein
<i>Jaar</i>	2000
<i>Betonsamenstelling</i>	gebroken basalt 32/64, 16/32, 8/16; rond riviergrind en zand 0 - 8 mm CEM I 275 kg/m ³ , Vliegas 50 kg/m ³ , W/C = 0,43 superplastificeerder, ijzeroxide zwart 5%

3 *Kunstmuseum Liechtenstein* (8)(26)(28)

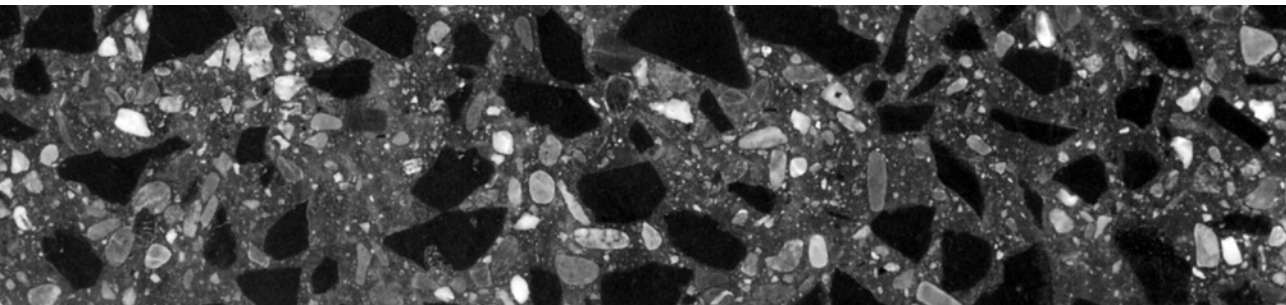
Het aspect van het gebouw is dat van een zwart massief blok beton, van 60 x 25 x 16 m, zonder enige uitzettingsvoeg. Om ondermeer de betonsamenstelling en uitvoeringstechnische aspecten te beoordelen - meer in het bijzonder het polijsten - werd vóór de start van de werken een proefstuk op schaal 1/1 uitgevoerd van een hoek van het gebouw, over een hoogte van 8 m.

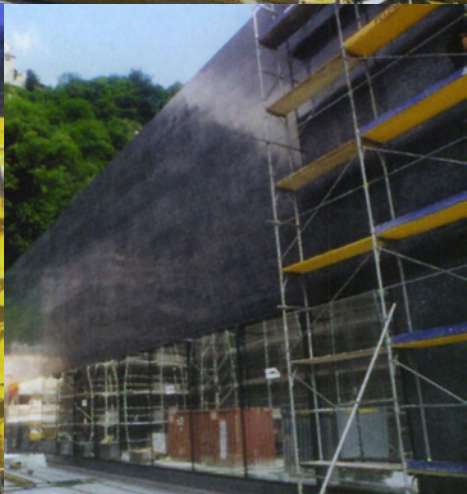
Oorspronkelijk werd een betonmengsel voorgeschreven met een water/cement-factor van 0,6 en enkel gebroken zwarte basalt granulaten. De testen op het proefstuk hebben echter uitgewezen dat een water/cement-factor van 0,6 te hoog was om het oppervlak degelijk te kunnen polijsten. Om een lagere water/cement-factor te verkrijgen (0,43), maar toch een aanvaardbare verwerkbaarheid te behouden, werd het deel van de gebroken basalt granulaten met een korrelmaat kleiner dan 8 mm vervangen door rond riviergrind en zand. Het verwerken van een deel grijze granulaten met de zwarte basalt granulaten geeft aan het gepolijste betonoppervlak ook een wat minder effen en gevarieerd aspect. Om de zwarte kleur van de granulaten te ondersteunen werd de cementmatrix gekleurd door toevoeging van 5% (ten opzichte van het cementgewicht) ijzeroxide zwart pigment.

Voor de bekisting van de 40 cm dikke muren werd gebruik gemaakt van stalen bekistingsplaten met een hoogte van 8 m. Om stornaden zoveel mogelijk te vermijden werd de volledige hoogte van het gebouw van 16 m in twee fasen van 8 m gestort. Elke fase van 8 m werd in één dag gestort; 4 m in de voormiddag, 4 m in de namiddag.

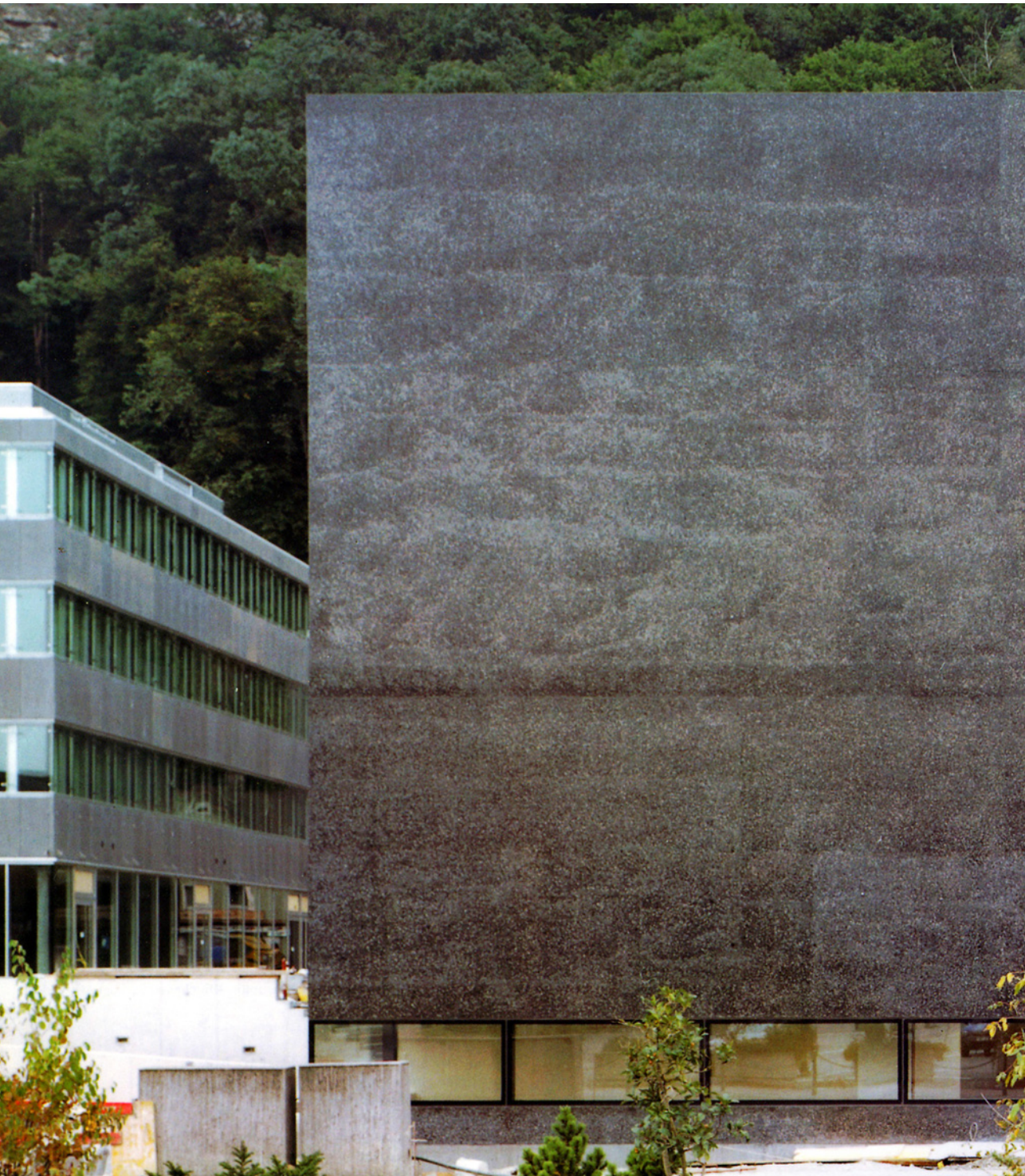
Het volledige geveloppervlak werd manueel gepolijst. De in situ installatie van een geautomatiseerd polijsttoestel zou in principe mogelijk geweest zijn, maar de ietwat onregelmatige glans van een manueel gepolijst oppervlak behoorde tot de door de architecten gewenste esthetiek. In totaal werd door de verschillende bewerkingen die het polijsten omvat 8 mm van het betonoppervlak verwijderd (in totaal 40 ton beton, door 10 arbeiders, gedurende 5 maanden). Op die manier wordt de doorsnede van zelfs de grootste basalt granulaten blootgelegd.

Na het polijsten werd het oppervlak nog met hars geïmpregneerd waardoor het betonoppervlak zijn uiteindelijke glas bekwam. De letters op de gevel werden na het polijsten gebeiteld in het betonoppervlak.













Psychiatriesch Ziekenhuis Yverdon

Architect

Devanthery & Lamunière

Locatie

Avenue des Sports 12, Yverdon-les-Bains, Zwitserland

Jaar

2003

Betonsamenstelling

-

4 *Psychiatrisch Ziekenhuis Yverdon* ⁽²⁵⁾

De gevel van het gebouw vertoont een gekleurde gelaagdheid refererend aan de gelaagdheid van de aardkorst waar die blootgelegd werd door de erosie van wind en water. Daarnaast moet dit ook het vloeibare karakter van het materiaal beton zichtbaar maken.

De gevel is enkel zelfdragend en heeft dus maar een dikte van 15 cm. Aangezien de gevel dus geen vloerplaten hoeft te dragen was het mogelijk de storthoogtes af te stemmen op de aanzet van de ramen. De gevel werd volledig massief opgebouwd zonder uitzettingsvoegen over een lengte van 40 m, hetgeen opgevangen wordt door de volledige bewegingsvrijheid van de zelfdragende gevel ten opzichte van de andere delen van het gebouw.

Voor de betonsamenstelling werd gebruik gemaakt van een wit cement en verschillende pigmenten en pigmentdoseringen (ijzerioxide rood en ijzerioxide geel) naargelang de kleurlaag. Aangezien voor alle kleuren dezelfde betonsamenstelling gebruikt werd, op de dosering en het type pigment na, werden de pigmenten op de werkplaats met het beton vermengd.

Voor de bekisting werd gebruik gemaakt van een stalen bekistingspaneel (0,5 x 2,5 m) waarop geschaafde houten planken bevestigd werden. Op die manier verkrijgt men een wat ruwer oppervlak, wat het esthetische concept moet versterken.

Om de massiviteit van het gebouw te versterken werd geen profilering voorzien ter hoogte van stortonderbrekingen. Daarom werd door de aannemer bijzondere aandacht besteed aan het nauwkeurig plaatsen en afdichten van de bekisting. Dit is ook belangrijk omwille van de vele korte stortonderbrekingen wanneer een andere kleurlaag aangezet wordt. Binnen een storfase worden 3 verschillende betonkleuren gestort, telkens met enkele uren tussentijd. De eerste betonkleur van een storfase is ook telkens dezelfde als de laatste kleur van de vorig storfase. Op die manier worden scherpe onderbrekingen tussen twee kleuren vermeden, en treedt er een zekere menging op tussen de kleuren waardoor een zachtere overgang verkregen wordt.





- ① bordeaux, D168 35%
- ② borque, D119 35%
- ③ orange, D118 35%
- ④ sentine, D148 25% + D118 15%







STUK

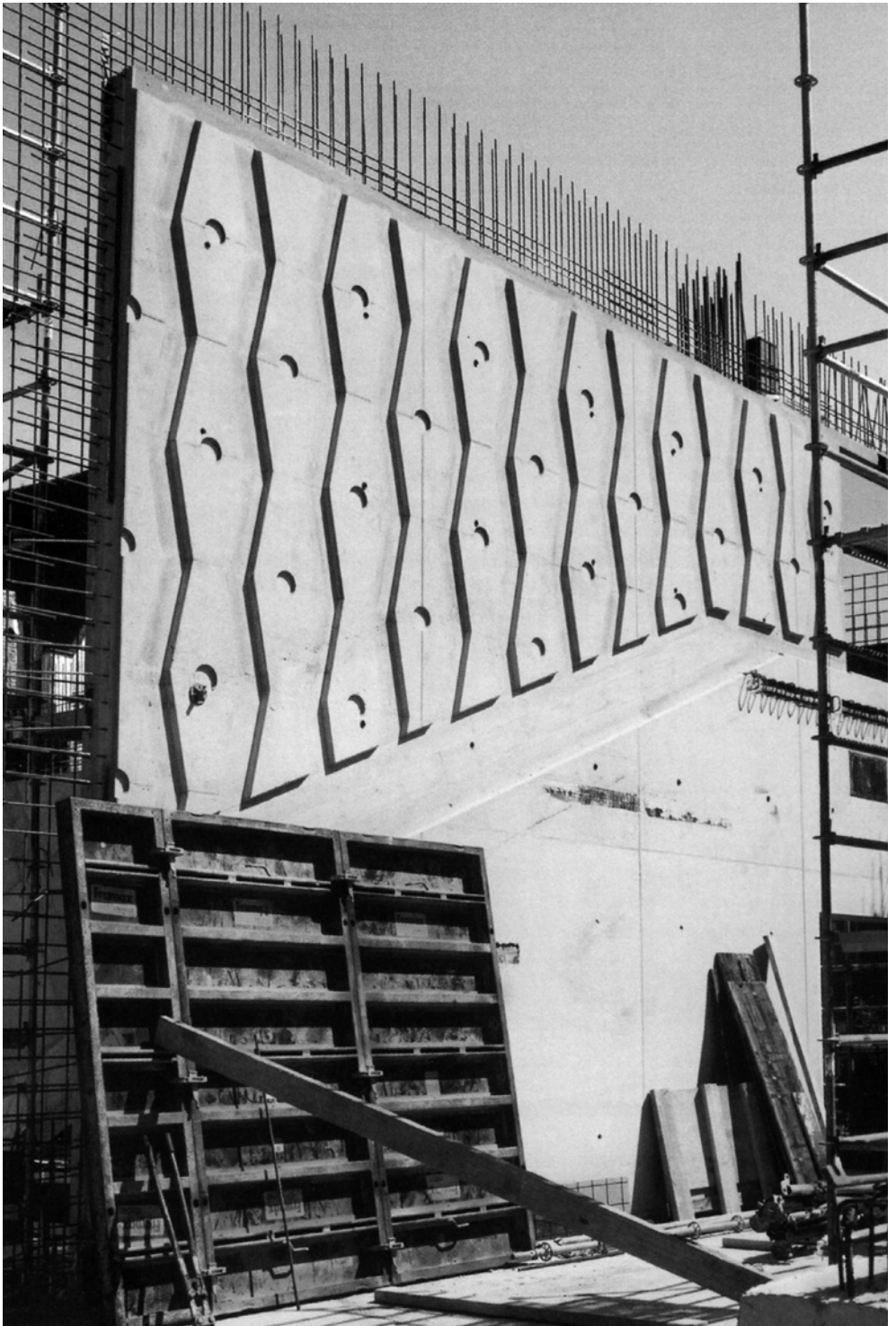
<i>Architect</i>	Neutelings Riedijk architecten
<i>Locatie</i>	Naamsestraat 96, Leuven, België
<i>Jaar</i>	2002
<i>Betonsamenstelling</i>	-

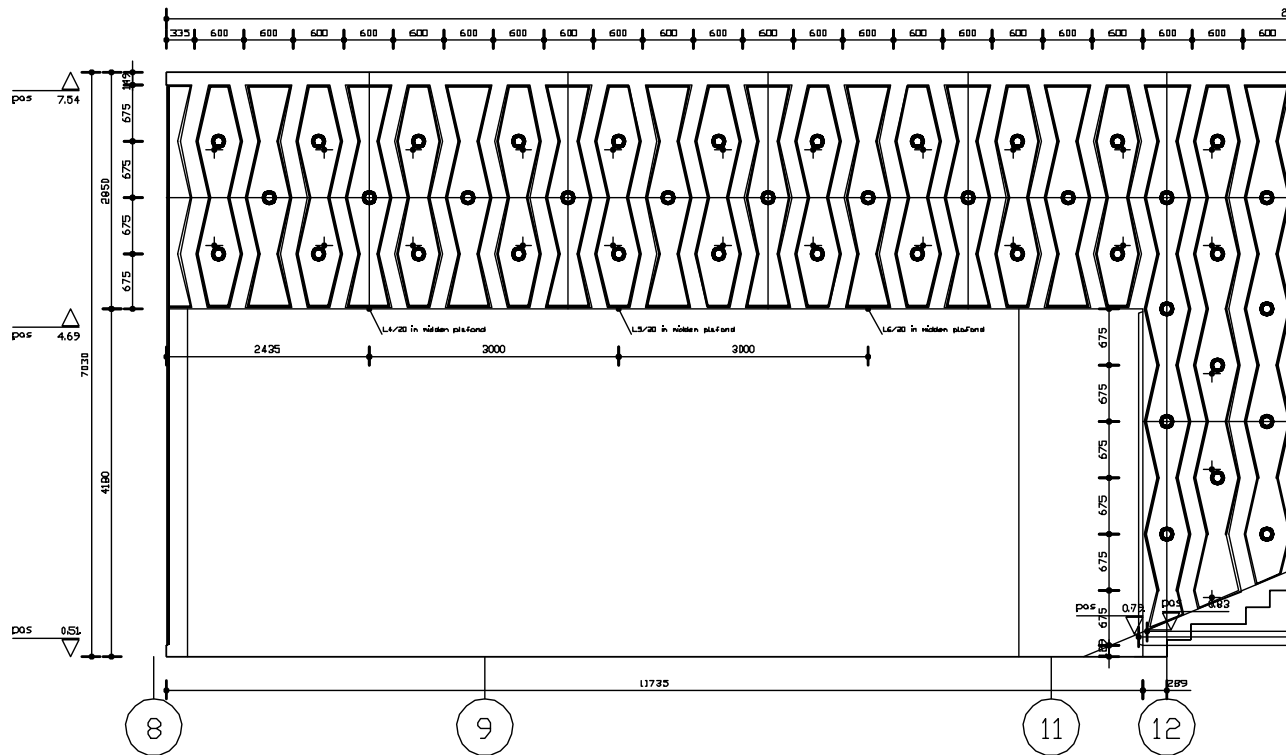
5 *STUK* ⁽²⁵⁾

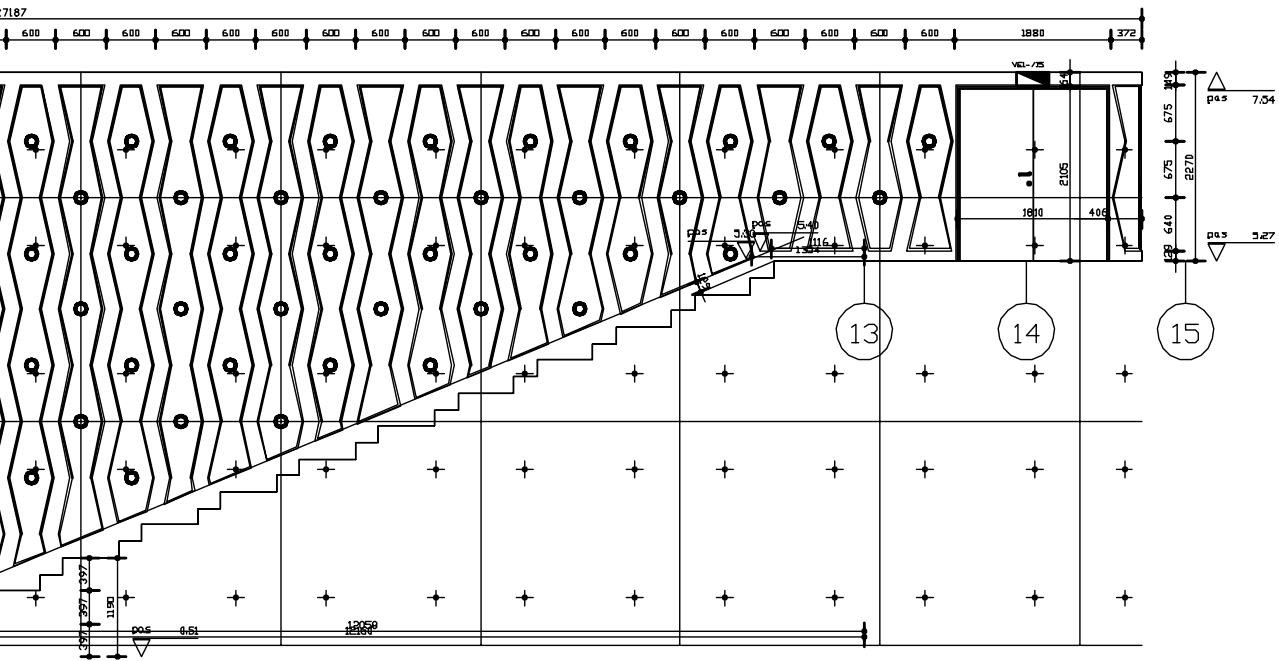
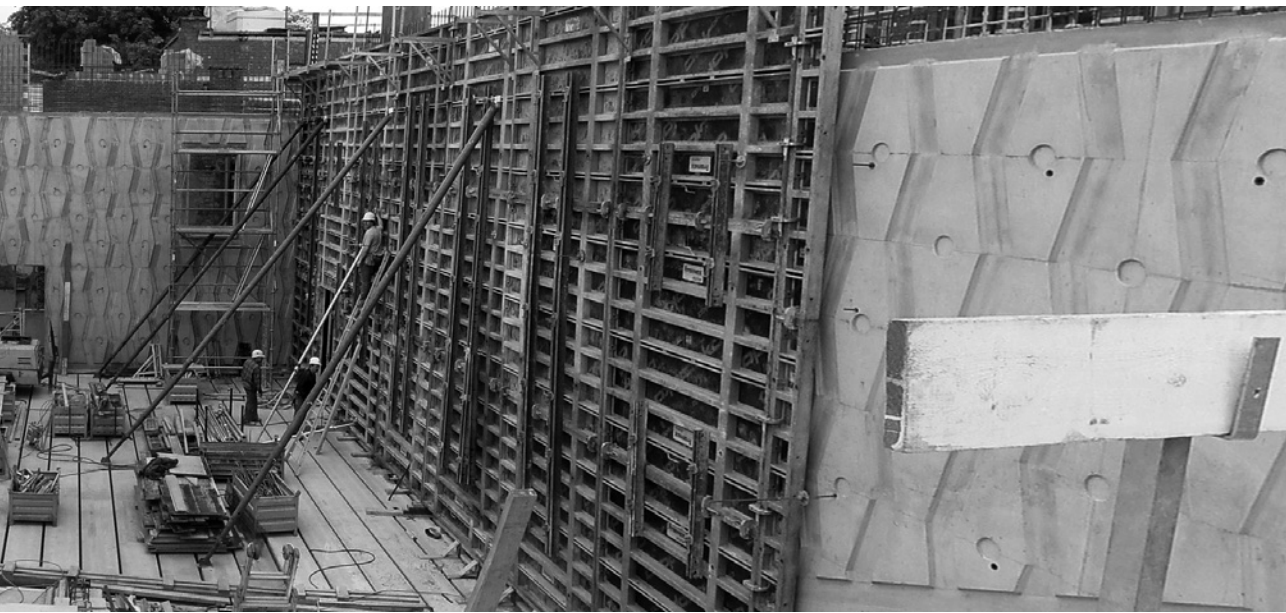
De grote zaal van kunstencentrum STUK werd uitgevoerd in onbehandeld grijs zichtbeton. De architecten wilden de wanden een reliëf geven door middel van een gestileerd gordijnpatroon. Oorspronkelijk werd voorzien dit uit te voeren met behulp van polystyreen mallen, aangebracht in de bekisting. Tegelijk werd ook een alternatief voorzien door middel van inlegstukken vervaardigd uit geschaafd hout. Een proefstuk op schaal 1/1 werd uitgevoerd in de ter plaatse gestorte kelderwanden. Hieruit bleek dat het met behulp van een polystyreen mal, onder invloed van de speciedruk, niet mogelijk was de scherpe hoeken van de profilering uit te voeren. Daarom werd uiteindelijk geopteerd voor het bevestigen van inlegstukken uit geschaafd hout op de bekisting.

Er werd gebruik gemaakt van gladde multiplex bekistingspanelen. Er werd op toegezien dat de naden van de bekistingspanelen afgelijnd werden op de assen van het reliëfpatroon. Helaas werden de centerpenopeningen niet voorzien in de verdiepte ronde profileringen, maar er net naast. Deze worden namelijk later ingelegd met koperplaatjes, die een centerpenopening zouden afdekken. De reden hiervoor ligt wellicht in de uitvoeringsvolgorde van het bekisten: dit zou impliceren dat de centerpennen reeds moeten aangebracht worden vooraleer de inlegstukken op de bekisting worden bevestigd worden, zodanig dat de ronde schijfjes over de centerpen kunnen geschoven worden. Deze manier van uitvoeren zou ook moeilijkheden opgeleverd hebben in verband met het afdichten van de centerpenopening: een slecht afgedichte of afgewerkte centerpenopening zou echter niet opvallen aangezien ze verborgen zou zitten achter een koperplaatje. De centerpenopeningen werden afgewerkt met een mortelvulling in het vlak.









Universiteitsbibliotheek Utrecht

Architect

Wiel Arets

Locatie

Heidelberglaan 3, Utrecht, Nederland

Jaar

2004

Betonsamenstelling

6 *Universiteitsbibliotheek Utrecht* ⁽¹⁷⁾⁽⁴⁷⁾

De gevel van de bibliotheek wordt gearticuleerd door een intens zwart reliëfbeton.

In het gebouw werden zowel gladde terplaatse gestorte wanden toegepast, waar het centerpen- en nadenpatroon bepalend is voor het uitzicht, als getextureerde wanden waarbij het uitzicht bepaald wordt door gebruik van een polyurethaan structuurmat. Voor de bekisting werden verdiepingshoge panelen gebruikt, telkens ingevuld met drie gladde multiplex platen.

Het patroon van de structuurmatten is gebaseerd op een foto van wilgentakken. Op basis van deze foto werd een polystyreen contramal gemaakt, waaruit vervolgens een gips moedermal en de uiteindelijke polyurethaan mallen werden gefabriceerd. De structuurmatten hebben een afmeting van 1,60 x 3,50 m, en worden aan de bekisting bevestigd, van elkaar gescheiden door nadrukkelijke voegen. De afmetingen en patroon van de matten vindt men ook terug in de zeefdruk op het glas van het gebouw. Er werden vooraf drie proefwanden uitgevoerd, die ondermeer invloed hebben gehad op de bevestigingswijze van de matten op de bekisting. Oorspronkelijk werden de matten rechtstreeks op de bekisting geschroefd, maar uiteindelijk heeft men geopteerd voor het bevestigen van de mat op een plaat, die vervolgens los in de bekisting werd gehangen. Op die manier wordt de ontkistingstijd drastisch verminderd.

Het architecturale concept voorzag in zwart gekleurd beton. Hier werd echter niet geopteerd voor het in de massa kleuren van het beton door middel van ijzeroxide zwart pigment, maar voor het achteraf zwart verven van het betonoppervlak. Op die manier wordt een effen, gelijkmatige en intensere zwarte kleur verkregen zonder mogelijke intensiteitsverschillen tussen verschillende stortfasen, wat niet zonder belang is bij een project van deze omvang. Ook eventuele vlekvorming of kalkslag worden op die manier gemaskeerd. Op de proefstukken werden verschillende combinaties ontkistingsmiddelen en verf getest, en de invloed van het ontkistingsmiddel op de aanhechting van de verf.

Ook de reparatiemethodes werden getest op de proefstukken: het gebruik van een reparatiemortel voor het herstellen van grindnesten moet compatibel zijn met de aanhechting van de verf. Een verschil in absorptie van het oppervlak kan namelijk een invloed hebben op de manier waarop de verf aanhecht. Dit impliceert ook dat alle reparaties moeten uitgevoerd zijn voor het verven.

De betonplaten aan de gevel werden geprefabriceerd, echter op dezelfde manier als de terplaatse gestorte wanden binnenin het gebouw. Door het gebruik van dezelfde structuurmatten, de nadrukkelijke voegen tussen de matten en het aanbrengen van de dekkende zwarte verflaag is het verschil tussen prefab en terplaatse gestorte elementen nauwelijks merkbaar.

Ook enkele deuren werden uitgevoerd in beton met hetzelfde patroon, meer bepaald een glasvezel-hogesterktebeton - wat een geringere dikte toelaat - bevestigd op een stalen frame.

Het dient vermeld te worden dat deze manier van uitvoeren zijn invloed heeft op het onderhoud van het gebouw: een eerste volledige reiniging van het interieur werd reeds uitgevoerd om al het stof van de profilering ter verwijderen, en een nieuwe verfbeurt van de gevel staat ook op het programma.









7 Experimenteel Beton ¹

Inleidende tekst

Het initiatief voor de Prefab Concrete Casestudies komt voort uit het streven naar een meer intensieve, uitdagende en vruchtbare communicatie tussen producenten van prefab beton en ontwerpers. De Casestudies zijn zo opgebouwd dat deze beoogde communicatie gericht is op de ontwikkeling van het product - prefab beton. Zodoende staat een innovatieve benadering van ontwerp, toepassing en productie centraal.

Beton wordt dikwijls gezien als een economische optie, waarbij een esthetisch minder spannend uiterlijk op de koop toe wordt genomen. Ondanks het groeiend aantal zeer uitgesproken en aansprekende voorbeelden, waarin beton juist wordt ingezet voor de esthetische kwaliteiten komen de meeste ontwerpers niet in aanraking met deze 'Zwitserse' en 'Japanse' kunsten. Beton blijft in de ervaring van veel ontwerpers en opdrachtgevers toch vaak grijs, saai en zwaar. En vooral beperkt in de mogelijkheden het materiaal naar de hand van de ontwerper te zetten.

De Prefab Concrete Casestudies worden ingezet om een brede groep ontwerpers, zowel van bekende bureaus met grote orderportefeuilles als van beginnende en kleine praktijken, in dialoog te brengen met de industrie. Een dialoog die niet bestaat uit louter informatie over bestaande mogelijkheden en kennismaking met de laatste toepassingen, maar één waarin aan de ontwerpers wordt gevraagd wat zij willen maken. Ongeacht de voorkennis van de ontwerpers met betrekking tot de technische mogelijkheden worden hun ambities in discussie gebracht. De industrie zelf wordt hierbij ook gevraagd om bestaande en schijnbaar impliciete beperkingen qua productie en financiën in eerste instantie buiten beschouwing te laten. Elke vraag is mogelijk binnen de Casestudies. Elk voorstel wordt serieus en professioneel benaderd. Of het nu gaat om het reproduceren van een bestaand en exotisch voorbeeld, om een volledig nieuwe toepassing, een probleem dat in de praktijk van een ontwerper naar voren is gekomen of om een ware uitdaging aan de industrie om iets met beton te doen dat volledig lijkt in te druisen tegen de 'natuurlijke' hoedanigheid van het materiaal. Elk idee wordt in twee brainstorm sessies toegelicht, ontwikkeld en uiteindelijk verwerkt tot een werkomschrijving voor het produceren van een prototype.

De eerste brainstormsessie van elke Casestudy richt zich op de achtergronden van de ideeën. Eventuele bestaande voorbeelden of relevante projecten in andere materialen worden besproken om het idee aan te scherpen. Ervaringen uit het verleden van zowel ontwerpers, technici en uitvoerders worden ingezet om het idee verder te specificeren. Niet om het in te kapselen binnen al bestaande oplossingen. Wel om het te laten rijpen en om eventuele raakvlakken met andere ideeën binnen de Casestudy zo goed mogelijk in te kunnen zetten. Het uitgangspunt bij deze eerste brainstormsessie is eenduidig en absoluut; hoe zou het voorstel van de ontwerper uitgevoerd kunnen worden? Kennis en ervaring omtrent knelpunten in productie of toepassing worden positief ingezet om niet opnieuw in al bekende valkuilen te stappen, maar om efficiënt tot volledig andere oplossingen te kunnen komen.

Tijdens de tweede brainstormsessie worden de aangescherpte en gecategoriseerde voorstellen verder ontwikkeld tot werkbeschrijvingen. Mogelijke nieuwe technieken, toeslagmaterialen of combinaties met andere producten worden in kaart gebracht en ondergebracht bij producenten met de meest geëigende faciliteiten voor de specifieke prototypes. Vorm en afmetingen van het prototype en de wijze van productie worden afgestemd op de verwachtingen van het resultaat - hoe is het prototype het best te

testen op de beoogde resultaten - en de capaciteiten van de producenten.

Na de productie volgt een evaluatie waarin de prototypen kritisch onder de loep worden genomen. Is er aan de verwachtingen voldaan? Zijn tijdens de uitvoering nieuwe ideeën naar boven gekomen en toegepast? Zijn de ontwerpers en producenten gesterkt in hun ambities? En is het eerste resultaat reden tot een vervolg van het onderzoek?

De Casestudies lijken zich in eerste instantie op onderzoek naar en ontwikkeling van beton te richten. De vraagstelling aan de ontwerpers lijkt daar zeer duidelijk in. Meer nog dan louter productontwikkeling zijn de Casestudies vooral een kennismaking van verschillende culturen. Die van ontwerpers en producenten. De voorstellen zijn vaak zo extreem dat in het korte tijdsbestek

van een Casestudy slechts sprake kan zijn van een eerste maar zeer belangrijke aanzet tot een serieuze productinnovatie. Niettemin worden veelbelovende prototypen binnen individuele afspraken verder onderzocht en ontwikkeld.

De kern van de Prefab Concrete Casestudies zoals ze door de initiatiefnemers wordt aangeboden is het ontdekken van elkaars fascinaties, ambities en potenties. De potenties van beton. De fascinaties voor het materiaal van zowel de ontwerpers als de industrie. En de ambities ten aanzien van esthetiek, productie en innovatie.

Ontwerpers

Gert Anninga (EN architecten), Stefan de Bever (De Bever Architecten), Alex ten Broeke, Ton Gijsbers (Royal Haskoning), Joost Hovenier (Wingender Hovenier Architecten), André de Jong (Wisman & De Jong Architecten), Ruud Schook (JHK architecten), Bert Thijie (Tekton Architekten), Kees van Weeren (TU Delft, Bouwkunde), Hanneke van Wel (EN architecten), Jan Peter Wingender (Wingender Hovenier Architecten), Frank Zoeter (SOAP ateliers), Allard Assies (Claus en Kaan Rotterdam), Gijs Baks (VMX architects), Eduard Böthlink, Clemens Boons (skin architects), Elke Goossens (skin architects), Mark Graafland (Bureau Kroner), Heide Hinterthur (Topaz architecten), Egbert Koster, Peter Ladestein, Bart van Loenhout (van Schagen Architecten), Bas Molenaar (EGM architecten), Rob Otten (VMX architects), Karel Vollers (TU Delft), Patrick Willemsen (Bureau Kroner), Sjoerdieke Feenstra, Vera Hale, Jos Harnischmacher (Harnischmacher Architectuur), Jeu Harnischmacher (Harnischmacher Architectuur), Joren Hoogeboom (UArchitects), Esmorit Kempkes, Martin Kuitert (Bureau Ria Smit Architecten), Dirk Jan Postel (Kraaijvanger Urbis), Marlies Quack, Angela Schoen (Biq architecten), Danielle van der Waard (Tussen-ruimte), Juliette Bekkering (Bekkering Adams Architecten), Edou Bonnema (VVKH Architecten), Pit Brunner (Gigon Guyer Architekten), Niklaas Deboutte (Meta architectenbureau), Ester Goris (Xaveer de Geyter Architecten), Rüdiger Krisch (Krisch + Partner), Anouk Kuitenbrouwer (Xaveer de Geyter Architecten), Tim van Oosterbos (Buro Lubbers), Gerrit van Rijswijk (VVKH Architecten), Marian van der Waals (van der Waals Zeinstra Architecten), René van Zuuk (René van Zuuk architecten),

1 / Tricolor

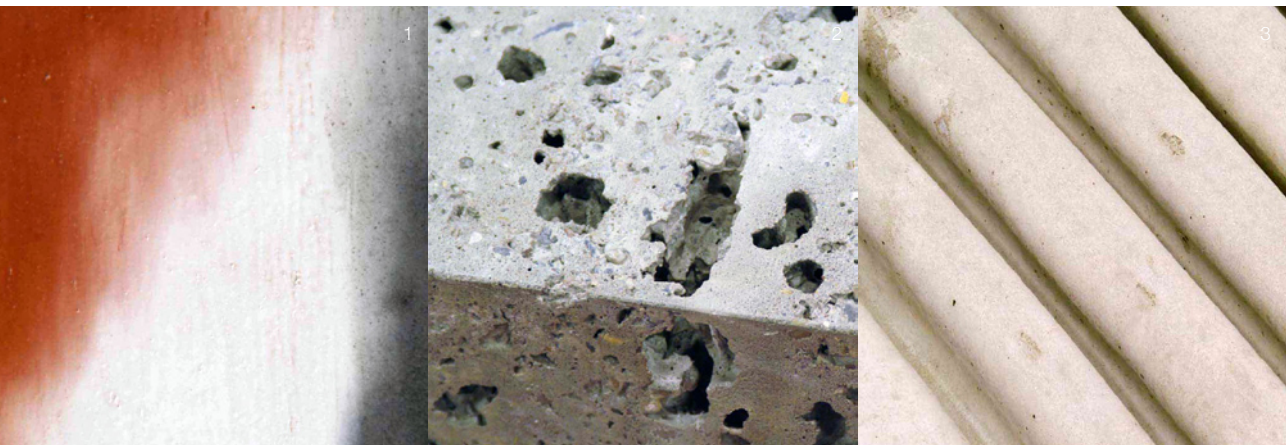
Bij meerdere prototypen heeft het onderzoek zich gericht op de mogelijkheden die het productieproces biedt. In plaats van onderzoek naar mortelsamenstellingen en nabehandelingen zijn onder andere het stortproces en de fabricage van de mallen aan de orde gekomen. Bij meerkleurige tandpasta komen verschillende kleuren tandpasta gelijktijdig uit de tube. Onderzocht is of een dergelijk proces ook mogelijk is bij de productie van beton elementen. Het kleurverloop zou willekeurig moeten zijn, steeds weer een nieuw patroon genererend. Het spreekt bijna voor zich dat ook een zekere mate van controle van dit proces is nagestreefd. Voor de productie van het prototype is een rijdende stortwagen gebruikt met drie trechters. De voortgangssnelheid van de stortwagen is te beïnvloeden en ook de stortsnelheid van elke trechter is in te stellen en te veranderen tijdens het storten.

2 / Sponge

In dit voorstel is de massaliteit van beton onderzocht. Het element is daadwerkelijk over het gehele volume uitgehold. Het 'licht' maken van beton is hier dus zeer letterlijk genomen. Het resultaat is een sponsachtige verschijning die de binnenkant van het prototype laat zien en zo de homogeniteit doorbreekt. Aan 16 liter standaard beton mortel is 8 liter PS-schelpen toegevoegd. Hoewel dit mengsel lastig tot een gelijkmatige massa is te mengen drijven de schelpen niet op. Na ontkisting blijkt dat zelfs na intensief trillen ook onderin het element nog PS-schelpen zijn te vinden. Het PS is verwijderd met thinner, waarna het prototype met water onder hoge druk is schoon gespoten. Wanneer er op grotere schaal een dergelijk indrukwekkend resultaat wordt gewenst zal er moeten worden gezocht naar een milieuvriendelijke manier om het PS te verwijderen.

3 / Doubles Foil

Bij diverse prototypen is er gezocht naar mogelijke afwijkingen bij productie van verschillende elementen. De afwijkingen moeten zich wel binnen een bepaalde 'bandbreedte' bevinden. Een gecontroleerd toeval. De overeenkomsten moeten groter zijn dan de verschillen zodat er sprake is van een familie. Bij dit prototype is onderzocht of een bepaalde plooïing van het oppervlak aan het toeval kan worden overgelaten en het element toch kan aansluiten op een volgende. Men kan spreken van een soort gordijn-effect van onregelmatige plooïen. Hiervoor zijn op de bodem van de kist twee folies aangebracht die elk een net verschillende plooïing hebben. De ruimte tussen de twee folies kan eventueel nog worden gevuld met een flexibel materiaal om bepaalde rondingen van de plooïen in het uiteindelijke element te waarborgen. In elk geval moet worden voorkomen dat sommige plooïen plat worden gedrukt. De kist met folies kan meerdere malen worden gebruikt. Tijdens elke stort zullen de plooïen op een net andere wijze worden gevormd.



4 / Glassed

De opzet voor dit prototype was niet zozeer het verkrijgen van translucentie op zich, maar meer een onderzoek naar mogelijkheden om het massieve - zware - karakter van beton 'om te kunnen draaien'. De translucente werking is ingezet om in een verlichte situatie een 'normaal' gesloten, massief karakter te behouden en wanneer één zijde van het element wordt verlicht een zeer 'licht' en poreus uiterlijk te krijgen. De toegepaste glasbrokken zijn uitgezocht op hun formaat, circa 4 cm in doorsnede. Hiermee is een blok geproduceerd van 40 x 60 x 30 cm. Na ontkisting is het blok in platen gezaagd van verschillende dikten en zijn deze gepolijst. Zodoende was het mogelijk om te testen of ook glasbrokken die niet volledig de platen doorsnijden bijdragen aan het 'lichte' karakter.

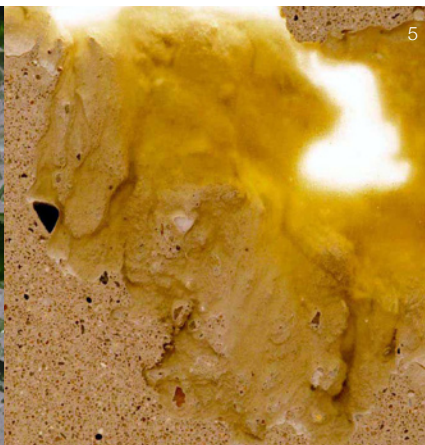
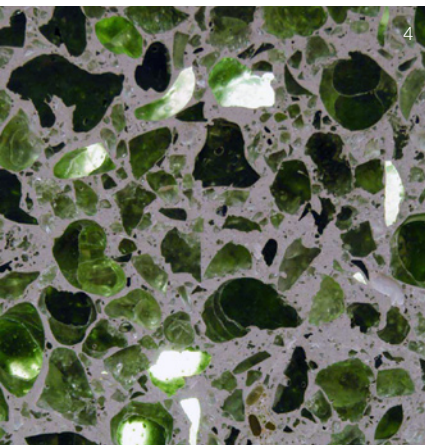
5 / Resin Mix

Een continu terugkerend thema binnen de Casestudies is de combinatie van beton en transparantie. Voor dit prototype is gezocht naar een mortel waarin naast de normale bestanddelen ook transparante toeslag wordt opgenomen die net als beton een verandering ondergaat van vloeibaar naar vast na het stortproces. Het idee is dat op deze wijze een qua transparantie niet homogeen eindresultaat ontstaat dat te vergelijken is met aders in marmer. Er is gekozen om met kunststofharsen te experimenteren. Het stollingsproces van harsen blijkt veel sneller plaats te vinden dan dat van beton. Door te experimenteren met verschillende verhoudingen tussen de hars en 'harders' is getracht dit proces zoveel te vertragen dat een redelijk controleerbaar stort proces mogelijk wordt. Het blijkt dat een menging van hars en beton niet mogelijk is voor de stort maar dat de beide materialen gelijktijdig in de mal moeten worden gebracht. Ook zijn er prototypen gemaakt waarbij al gestolde elementen kunsthars als vervanging van andere toeslagmaterialen in het betonmengsel zijn opgenomen.

6 / Glass Holes

Twee prototypen waarin de materialen glas en beton wederom worden gecombineerd. In dit geval gaat het meer om de letterlijk materiele verschijningsvorm van de combinatie. En niet om per se transparante elementen aan het opake beton toe te voegen.

Bij beide prototype worden de glans en de ruwheid van glas uitgebuit. In deze eerste blijft het frontale oppervlak van het betonnen element vlak en glad. Het element is gepolijst en het glas toont voornamelijk haar gladde en glinsterende karakter. Om een contrast met het scherpe en ruwe te vinden en om ook invallend licht uit te buiten zijn op een aantal plekken 'glasnesten' gecreëerd. Na het ontkisten is het losse glas verwijderd.



7 / Glass Fibres

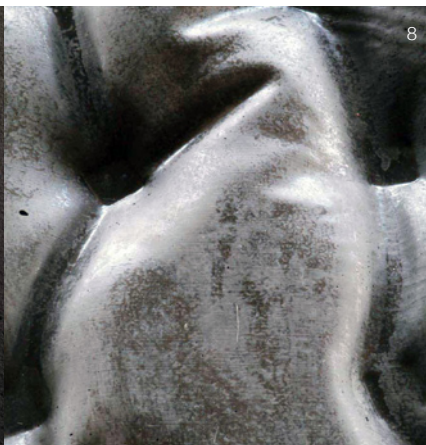
Het contrast tussen het dichte, grijze beton en elementen die licht doorlaten is een veel gezocht effect. In dit prototype is dit samenspel op een zo extreem mogelijke wijze getest. De 'verlichte' plekken zijn minuscule in relatie tot het zware element. Gezien onder de juiste licht omstandigheden wordt dan ook een bijna feeërieke verschijning getoond. Een kluwen glasvezels is vermengd in de betonmortel. Om de locaties van de lichtpuntjes te kunnen controleren zijn de vezels geconcentreerd in een separaat betonnen element. Dit element is op zijn beurt opgenomen in een groter paneel. Om te testen of het licht niet alleen 'loodrecht' door een paneel kan worden geleid, maar ook kan worden 'aangestuurd' door een elders geplaatste lichtbron zijn de vezels van het front van het paneel naar de zijkanten geleid. Zodoende is het mogelijk om meerdere panelen vanaf één locatie te activeren.

8 / Pillow

Gebruik van flexibele bekistingen moet het mogelijk maken om series elementen te produceren waarbij alle elementen duidelijk van elkaar verschillen en er tegelijkertijd toch sprake is van verwantschap. Voor dit prototype is een bekisting bedacht waarbij een deel is uitgevoerd in stof of folie. Deze is gedrapeerd over enkele in hoogte verstelbare pinnen. Elke stort zal de stof of de folie net anders doen plooiën. Bovendien kunnen de pinnen telkens iets anders worden afgesteld. Ook de vorm van de pinnen en de dikte en structuur van de stof kunnen worden aangepast aan het gewenste resultaat.

9 / Aging Coloring

Erosie van materialen lijkt niet altijd een gewenst effect te hebben. Bij dit prototype is gezocht naar middelen om erosie te omarmen als esthetische kwaliteit. Niet om te proberen het te controleren of verval tegen te gaan. Aan verschillende elementen zijn kleur pigmenten en ijzerpoeder toegevoegd. Na verloop van tijd zal het ijzer oxideren en een rood-bruine verkleuring tonen. De pigmenten zelf zijn ook aan verouderingseffecten onderhevig. Juist de combinatie van beiden is de inzet van deze prototypen. Getest wordt of de originele kleurstelling juist wordt versterkt, geneutraliseerd of dat er een volledig ander kleurbeeld ontstaat.



10 / Carved

Aanleiding voor dit prototype zijn de door regen geërodeerde landschappen van zand en klei. In de loop der tijd heeft het water een patroon van verticale geulen in de ondergrond gesleten. Het idee is om betonnen gevel elementen dezelfde eigenschappen te geven als deze landschappen. Regenwater zal de gevels hun continu veranderende verschijningsvorm verlenen. Het prototype is opgebouwd uit een aantal lagen. Allereerst een constructieve laag. Daarna van binnen naar buiten een viertal lagen waarin de water / cement / zand verhouding steeds zodanig wordt aangepast dat de buitenste laag het makkelijkst erodeert. Hierdoor zullen al zeer snel de door erosie gevormde geulen zichtbaar zijn. En zal ook na vele jaren, wanneer het water de meer robuuste lagen vindt, dit proces nog steeds voortgaan.

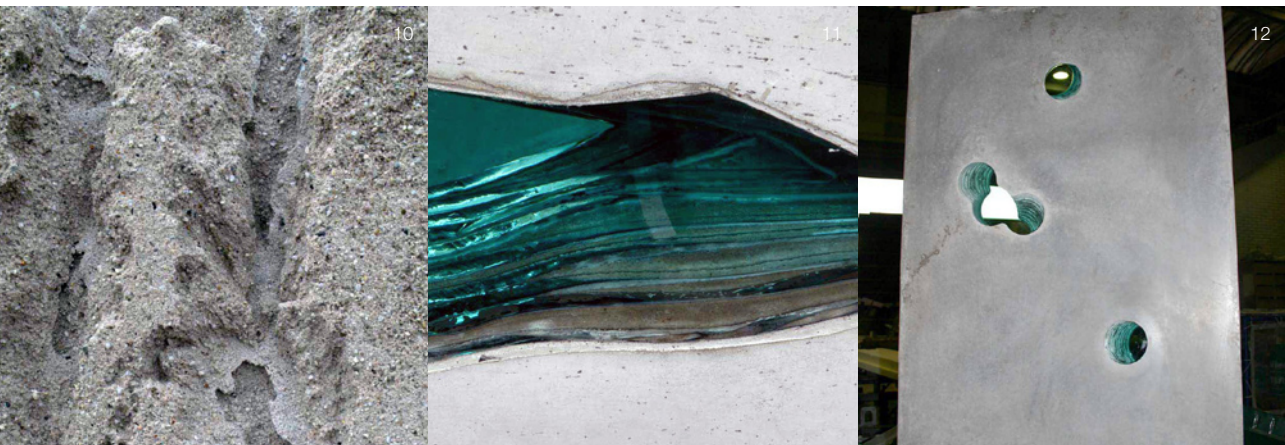
11 / Perforated I

Glas en beton lijken in eerste instantie niet geschikt om makkelijk samen te gaan. De specifieke materiaal eigenschappen van beiden lijken dit te bemoeilijken. Tegelijkertijd is er duidelijk behoefte vanuit ontwerpers aan naadloze combinaties van glas en beton. In twee prototypen is getest hoe grotere glas elementen kunnen worden opgenomen in betonnen panelen. Naast technische aspecten is ook gekeken naar de uiteindelijke verschijningsvorm. Is er nog sprake van transparantie en kan er door het glas worden 'gekeken'. Eén paneel is uitgevoerd met een glas element dat is opgebouwd uit verlijmdde platen glas. Dit om de interne spanningen in glas zoveel mogelijk te vermijden. Voor een tweede paneel is gebruik gemaakt van een tot brok gesmolten glasgranulaat. Door interne materiaal spanningen waren in dit blok scheuren aanwezig die door de betonmortel volledig zijn gevuld. Deze laatste techniek levert glas elementen met een meer amorfe vorm maar maakt het moeilijk om de glasbrokken het betonnen paneel volledig te laten doorsnijden. Doorzicht is dan niet mogelijk.

12 / Perforated II

Een tweede serie prototypes is gemaakt naar aanleiding van de resultaten van 'Perforated I'. Er is gekozen om verder te gaan met glas elementen die zijn opgebouwd uit verlijmdde glasplaten. Dit om zoveel mogelijk materiaal spanningen te voorkomen. Verlijmen is een beheersbare techniek. Er kan zo rekening worden gehouden met hechting van het glas in het beton. De contactvlakken van glas met beton zijn voorzien van een laagje kleurloze epoxyhars zodat het glas spanningsloos in het beton is gevat.

Twee panelen één wit en één zwart zijn beide gemaakt op een basis van wit cement. Ook zwarte pigment werkt het meest effectief in een basis van wit cement. Bovendien is aan het toegepaste witte cement fotoatalitisch titaandioxyde toegevoegd. Onder invloed van UV-straling initieerd deze stof een oxydatie van organische stoffen op het beton oppervlak. Dit beperkt de mate van vervuiling.



Referenties

- 1 **CUR Rapport 36: Schoon Beton**, CUR, Gouda, 1966
- 2 **CUR Rapport 71: Uitwassen van betonconstructies**, CUR, Gouda, 1975
- 3 **CUR Rapport 89: Vlamstralen van beton**, CUR, Gouda, 1989
- 4 **Elementen in Architectonisch Beton**, Technische Aanbevelingen, FEBE
- 5 **Gekleurd Beton, in Betoniek**, n°8/12, 1990, p. 1 - 8
- 6 **Herzog & de Meuron 2002:2006**, in *El Qroquis* n°129/130, 2006, p. 126 - 145
- 7 **Innovation: les premiers bétons autolavables**, in *Les Cahiers Techniques du Batiment*, n°218, 2001, p. 76 - 77
- 8 **Kunstmuseum Lichtenstein**, in *A+U*, n°370, 2001, p. 153 - 157
- 9 **Lasures béton: comment jouer avec les couleurs**, in *Les cahiers Techniques du Batiment*, n°232, 2003, p. 75 - 79
- 10 **Memento van architectonisch beton**, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996
- 11 **Métallisez vos bétons**, in *BTP Magazine*, n°135, 2000, p. 32
- 12 **The Colouring of Concrete: Processing Instructions**, Lanxess, Krefeld, 2006
- 13 **Traitement des surfaces de béton à l'acide**, in *Bulletin du ciment*, n°21, 1977
- 14 **Une nouvelle génération de ciment pour un béton autonettoyant**, in *Préfa Beton International*, n°6, 2005, p. 78 - 81
- 15 **Voorschrijven van beton volgens de normen NBN EN 206-1:2001 & NBN B 15-001:2004**, bulletin 34, FEBELCEM, Brussel, 2005
- 16 AAVV, **Betontechnologie**, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006
- 17 AAVV, **Bouwen met Beton**, Febelcem, Brussel, 2006, p. 24 - 31
- 18 ACI COMMITTEE 303, **Guide to Cast-In-Place Architectural Concrete Practice**, ACI, Detroit, 1991, p. 20 - 23
- 19 APERS J., **Het uiterlijk van beton, Dossier Cement**, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000
- 20 ARNOLD P., **The Art Of Texture In Concrete**, in *Concrete Products*, Juli, 1986, p. 15 - 18, 42
- 21 ARQUIE G., TOURENQ C., **Granulats**, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Parijs, 1990, p. 78 - 91
- 22 BAKKER S., **Experimenteel Beton**, bureaubakker, Delft, 2006
- 23 BEELDENS A., KNAPEN E., VAN GEMERT D., **Fotokatalytisch actieve materialen voor de bestrijding van luchtverontreiniging**, in *Cement*, n°5, 2006, p. 62 - 65
- 24 BENNETT D., **The art of precast concrete. Colour, texture expression**, Birkhäuser, Basel, 2005, p. 14 - 19
- 25 BOUDET D., **AMC Béton**, Le Moniteur, Parijs, 2005
- 26 BRANDT I., SCHOUBENBORG B., **Guidelines for Petrographical Micro-Analysis of Aggregates for Concrete**, DTI, Taastrup, 1993

- 27 BRESSION J., REBITZER C., **Les Traitements de Surface des Produit en Béton**, CERIB, Epermon, 1994
- 28 CISAR H., **De zwarte Liechtensteiner monoliet**, in *Cement*, n°7, 2002, p. 38 - 40
- 29 DECLERCK P., LADANG C., **Ontwikkeling van cement met fotokatalytische eigenschappen**, in *Cement*, n°5, 2006, p. 45 - 47
- 30 DESMYTER J., VYNCKE J., WINNEPENNINCKX E., **Granulaten**, in *WTCB Tijdschrift*, n°3, 2003, p. 50 - 68
- 31 GLADDINES F., **Schoon beton: Verschijningsvormen en keuringscriteria**, VNC / STUTECH, 's Hertogenbosch, 1990
- 32 GUDGEON A., **Precast Concrete: a selection guide for surface finishes**, in *Constructional Review*, n°4, 1987, p. 52 - 59
- 33 HAHN U., **Farbiger Beton - die Natur hat den Zuschlag**, in *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, n°1, 1998, p. 78 - 88
- 34 HEIN H., **7th Biennial Congress of the Glassfibre Reinforced Cement Association: Use of rubber moulds for surface detailing**, GRCA, Maastricht, p. 301 - 311
- 35 HODSON R., KUSHNER D., **Ingredients, Texture, and Integrally-colored Concrete**, in *Concrete International*, n°9, 1992, p. 21 - 25
- 36 HUBERTY J.M., **Gepolijst Beton**, FEBE, Brussel, 1990
- 37 HUREZ M., **Béton architectonique**, Techniques de l'ingénieur, Parijs, 2000
- 38 KIND-BARKAUSKAS F., **Concrete Construction Manual**, Birkhäuser, Basel, 2002
- 39 KURU K., **Automatisierte Nachbehandlung von Oberflächen**, in *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, n°10, 1992, p. 61 - 70
- 40 OUDE KEMPERS H., KÖHNE H., **Schoon beton ... mooi werk. Leidraad voor projectspecificaties, uitvoering en beoordeling**, ENCI, 's Hertogenbosch, 2001
- 41 RICHARDSON J.G., **Formwork for tooled concrete**, in *Concrete Construction*, n°4, 1984, p. 397 - 401
- 42 TACK J., **Gekleurd beton**, De Nayer Instituut, Sint-Katelijne-Waver, 1999
- 43 TAERWE L., **Betontechnologie**, Universiteit Gent
- 44 VON SZADKOWSKI G., **Bewitterung von farbigem Beton**, in *Betonwerk + Fertigteil Technik*, n°11, 1991, p.50 - 62
- 45 VOROBIEFF G., JONES I., KELL D., **Weathering of Concrete Facades**, in *Constructional Review*, n°3, Augustus 1992, p. 52 - 59
- 46 WALRAVEN J.C., **Ultra-hogesterktebeton: een materiaal in ontwikkeling**, in *Cement*, n°5, 2006, p. 57 - 61
- 47 WAPPEROM H., **Leermoment in zwart beton**, in *Cement* n°8, 2004, p. 28 - 33
- 48 ZIMMER J., **Fabrication de béton coloré et noir conforme aux objectifs**, in *Préfa Béton International*, n°5, 2005, p. 100 - 111

Beeldreferenties

A1 Betonsamenstelling

Pag. 1	Axel Vansteenkiste (Agref)
Afb. A1.1	CUR Rapport 36: Schoon Beton, CUR, Gouda, 1966, p. 67
Tabel A1.1	Inter-Minerals
Afb. A1.2	Axel Vansteenkiste

A2 Bekistingen & mallen

Pag. 13	Hilbert Flokstra
Afb. A2.1	OUDE KEMPERS H., KÖHNE H., Schoon beton ... mooi werk. Leidraad voor projectspecificaties, uitvoering en beoordeling, ENCI, 's Hertogenbosch, 2001, p. 42
Afb. A2.2 - 3	Axel Vansteenkiste (Decomo)
Afb. A2.4 - 8	TER BORCH I., Beeld Schoon Beton, ENCI, 's Hertogenbosch, 2006 (CD), fotograaf Marcel van Kerckhoven, Tilburg
Afb. A2.9	Axel Vansteenkiste
Afb. A2.10	RECKLI® Formliners Catalog, RECKLI - Chemiewerkstoff GmbH, Herne, 2007
Afb. A2.11	APERS J., Het uiterlijk van beton, Dossier Cement, bulletin 22, FEBELCEM, Brussel, 2000, p. 4
Afb. A2.12	BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 53
Afb. A2.13	BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 54
Afb. A2.14 - 15	RECKLI® Photo-Engraving Formliners, RECKLI - Chemiewerkstoff GmbH, Herne, 2007

A3 Kleur

Pag. 29	Axel Vansteenkiste (Bureau Bouwtechniek)
---------	--

A4 Voorschrijven & uitvoering

Pag. 43	Axel Vansteenkiste (Agref)
Afb. A4.1	ABC van Cement en Beton, Febelcem, Brussel (CD)
Tabel A4.4	Axel Vansteenkiste

A5 Onvolkomenheden & vervuiling

Pag. 61	Axel Vansteenkiste
Tabel A5.1	GLADDINES F., Schoon beton: Verschijningsvormen en keuringscriteria, VNC / STUTECH, 's Hertogenbosch, 1990
Afb. A5.1 - 2	KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002, p. 76

- Afb. A5.3 - 5 *Elementen in Architectonisch Beton, Technische Aanbevelingen, FEBE, p. 73*
- Afb. A5.6 *KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002, p. 76*
- Afb. A5.7 - 11 *Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 38*
- Afb. A5.12 *Elementen in Architectonisch Beton, Technische Aanbevelingen, FEBE, p. 73*

B1 Zuurbehandeling

- Pag. 77 *Axel Vansteenkiste*
- Afb. B1.1 *Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 29*
- Afb. B1.2 - 5 *Axel Vansteenkiste (Decomo)*
- Afb. B1.6 - 8 *Axel Vansteenkiste (SVK)*
- Afb. B1.9 *Axel vansteenkiste*
- Afb. B1.10 *Axel vansteenkiste (SVK)*
- Afb. B1.11 *BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994, p. 95*
- Afb. B1.12 *Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 28*
- Afb. B1.13 *BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994, p. 96*
- Afb. B1.14 *Axel Vansteenkiste*

B2 Stralen

- Pag. 87 *Axel Vansteenkiste*
- Afb. B2.1 *Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 33*
- Afb. B2.2 *Axel Vansteenkiste (Decomo)*
- Afb. B2.3 *Axel Vansteenkiste (Bureau Bouwtechniek)*
- Afb. B2.4 - 10 *Axel Vansteenkiste (Agref)*
- Afb. B2.11 *Axel Vansteenkiste (Decomo)*
- Afb. B2.12 - 13 *BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994, p. 106*
- Afb. B2.14 *BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994, p. 110*

B3 Uitwassen

- Pag. 95 *Axel Vansteenkiste*
- Afb. B3.1 *Axel Vansteenkiste*
- Afb. B3.2 *Axel Vansteenkiste (Decomo)*

B4 Vertraagd uitwassen

- Pag. 101 *Axel Vansteenkiste*
- Afb. B4.1 *Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 27*
- Afb. B4.2 *Axel Vansteenkiste*

<i>Afb. B4.3 - 9</i>	<i>Axel Vansteenkiste (Bureau Bouwtechniek)</i>
<i>Afb. B4.10</i>	<i>Axel Vansteenkiste (Decomo)</i>
<i>Afb. B4.11</i>	<i>Axel vansteenkiste (SVK)</i>
<i>Afb. B4.12</i>	<i>BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 86</i>
<i>Afb. B4.13</i>	<i>Axel Vansteenkiste (Decomo)</i>
<i>Afb. B4.14</i>	<i>Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 26</i>
<i>Afb. B4.15</i>	<i>BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 86</i>

B5 Polijsten

<i>Pag. 113</i>	<i>Axel Vansteenkiste</i>
<i>Afb. B5.1</i>	<i>Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 30</i>
<i>Afb. B5.2 - 3</i>	<i>Axel Vansteenkiste (Bureau Bouwtechniek)</i>
<i>Afb. B5.4 - 5</i>	<i>Axel Vansteenkiste (Decomo)</i>
<i>Afb. B5.6</i>	<i>Axel Vansteenkiste (SVK)</i>
<i>Afb. B5.7</i>	<i>HUBERTY J.M., Gepolijst Beton, FEBE, Brussel, 1990, p. 12 - 13</i>
<i>Afb. B5.8</i>	<i>Axel Vansteenkiste (Decomo)</i>
<i>Afb. B5.9</i>	<i>BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 166</i>
<i>Afb. B5.10</i>	<i>BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 166</i>
<i>Afb. B5.11</i>	<i>Axel Vansteenkiste (SVK)</i>

B6 Hameren

<i>Pag. 125</i>	<i>Axel Vansteenkiste</i>
<i>Afb. B6.1</i>	<i>Memento van architectonisch beton, 2de uitgave, FEBE, Brussel, 1996, p. 30</i>
<i>Afb. B6.2 - 3</i>	<i>Axel Vansteenkiste</i>
<i>Afb. B6.4 - 5</i>	<i>TER BORCH I., Beeld Schoon Beton, ENCI, 's Hertogenbosch, 2006 (CD)</i> <i>Fotograaf Marcel van Kerckhoven, Tilburg</i>
<i>Afb. B6.6</i>	<i>BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 130</i>
<i>Afb. B6.7 - 8</i>	<i>RICHARDSON J.G., Formwork for tooled concrete, in Concrete Construction, n°4, 1984, p. 399</i>
<i>Afb. B6.9</i>	<i>BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epervon, 1994, p. 130</i>

B7 Vlamstralen

<i>Pag. 131</i>	<i>KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002, p. 75</i>
<i>Afb. B7.1</i>	<i>CUR Rapport 89: Vlamstralen van beton, CUR, Gouda, 1989, p. 11</i>

- Afb. B7.2 *CUR Rapport 89: Vlamstralen van beton, CUR, Gouda, 1989, p. 12*
- Afb. B7.3 *BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994, p. 183*
- Afb. B7.4 *BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994, p. 181*
- Afb. B7.5 *BRESSON J., REBITZER C., Les Traitements de Surface des Produit en Béton, CERIB, Epernon, 1994, p. 182*
- Afb. B7.6 *KIND-BARKAUSKAS F., Concrete Construction Manual, Birkhäuser, Basel, 2002, p. 75*

B8 Splejten

- Pag. 137 *Axel Vansteenkiste*
- Afb. B8.1 *AAVV, Betontechnologie, Belgische Betongroepering, Brussel, 2006, p. 180*

B9 Recente Ontwikkelingen

- Pag. 141 *Litracon*
- Afb. B9.1 *MACK G., The Complete Works (Volume 3): Herzog & de Meuron 1992 - 1996, Birkhäuser, Basel, 2000, p. 73*
- Afb. B9.2 *MACK G., The Complete Works (Volume 3): Herzog & de Meuron 1992 - 1996, Birkhäuser, Basel, 2000, p. 74*
- Afb. B9.3 *Italcementi*
- Afb. B9.4 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 51, fotograaf Jean-Michel Landecy*
- Afb. B9.5 - 7 *Ductal® Lafarge*
- Afb. B9.8 - 9 *CRC Technology*

C Casestudies

- Pag. 149 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 79*
- Pag. 151 *Herzog & de Meuron 2002:2006, in El Oroquis, n°129/130, 2006, p. 130*
- Pag. 153 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 26 - 27; Stijn Rolies*
- Pag. 154 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 25, fotograaf Christian Richters*
- Pag. 155 *Stijn Rolies*
- Pag. 156 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 24, fotograaf Christian Richters*
- Pag. 157 *James Offer*
- Pag. 158 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 21, fotograaf Arthur Willi*
- Pag. 159 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 21, fotograaf Arthur Willi*
- Pag. 160 *BOUDET D., AMC Béton, Le Moniteur, Parijs, 2005, p. 20 - 21, fotograaf Arthur Willi*

Pag. 161	BOUDET D., AMC Béton, <i>Le Moniteur</i> , Parijs, 2005, p. 18 - 19
Pag. 162	Kunstmuseum Lichtenstein, in <i>A+U</i> , n°370, 2001, p. 154 - 155
Pag. 163	BOUDET D., AMC Béton, <i>Le Moniteur</i> , Parijs, 2005, p. 127, fotograaf Pluchinotta
Pag. 165 - 167	BOUDET D., AMC Béton, <i>Le Moniteur</i> , Parijs, 2005, p. 128 - 130, fotograaf Pluchinotta
Pag. 168	BOUDET D., AMC Béton, <i>Le Moniteur</i> , Parijs, 2005, p. 126, fotograaf Pluchinotta
Pag. 169	NEUTELINGS RIEDIJKARCHITECTEN, <i>Aan Het Werk</i> , Uitgeverij 010, Rotterdam, 2004, p. 218
Pag. 171 - 174	Bureau Bouwtechniek
Pag. 175	AAVV, <i>Bouwen met Beton, Febelcem</i> , Brussel, 2006, p. 25, fotograaf Kim Zwarts
Pag. 177	WAPPEROM H., <i>Leermoment in zwart beton</i> , in <i>Cement</i> n°8, 2004, p. 31 - 32; AAVV, <i>Bouwen met Beton, Febelcem</i> , Brussel, 2006, p. 26, fotograaf Kim Zwarts; Hilbert Flokstra
Pag. 178	WAPPEROM H., <i>Leermoment in zwart beton</i> , in <i>Cement</i> n°8, 2004, p. 31; AAVV, <i>Bouwen met Beton, Febelcem</i> , Brussel, 2006, p. 31, fotograaf Kim Zwarts
Pag. 179	AAVV, <i>Bouwen met Beton, Febelcem</i> , Brussel, 2006, p. 30, fotograaf Kim Zwarts
Pag. 180	AAVV, <i>Bouwen met Beton, Febelcem</i> , Brussel, 2006, p. 28, fotograaf Kim Zwarts
Pag. 183 - 186	BAKKER S., <i>Experimenteel Beton</i> , bureaubakker, Delft, 2006
Kaft	Axel Vansteenkiste

Met de steun van





Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Bouwkundige Constructies, Laboratorium Magnel voor Betononderzoek

Voorzitter Prof. Dr. ir. L. Taerwe
Promotor Prof. Dr. ir. G. De Schutter

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van Burgerlijk Ingenieur Architect