

BETON IN DE LANDBOUW (1)

Toepassingen van stortklaar beton

**DOSSIER
CEMENT**

27
oktober 2001

bouwwerken voor
landbouw

in situ gestort beton
technische
duurzaamheid

26		EF	(X)
----	--	----	-----

BBSB

Landbouw, veeteelt en tuinbouw staan voor nieuwe economische en milieu-uitdagingen. Beton beschikt evenwel over een aantal troeven waardoor duurzame en kostenbesparende oplossingen mogelijk zijn.

Reeds vanaf de allereerste toepassingen bleek het materiaal beton te beantwoorden aan de eisen inzake degelijkheid, sterkte en levensduur. Het is bovendien flexibel in gebruik en multifunctioneel – kenmerken die het geschikt maken voor zowel kleine werken (wanneer de landbouwer zelf zijn beton giet), als behoorlijk ingewikkelde constructies, zoals stallen gebouwd op mestkelders.

Verder is beton een goedkoop bouw materiaal; en omdat het weinig of geen onderhoud vergt, zijn de kosten in de gebruiksfase laag. Ook dit is in de landbouwsector een niet te overwaarlozen aspect.

In dit bulletin komt enkel stortklaar beton aan bod. Veel aandacht wordt besteed aan de aanwezigheid in de landbouwbedrijven van talrijke agressieve stoffen die het beton kunnen aantasten. Het is bijgevolg van groot belang dat beton wordt voorgeschreven dat perfect beantwoordt aan de duurzaamheidseisen. De meest voorkomende betontoepassingen zijn samen met de bijhorende prestatie eisen in een tabel samengevat. Tevens wordt informatie verstrekt over de verwerking van het beton. Veel schadegevallen zijn inderdaad het gevolg van fouten bij de uitvoering.

Ook de prefab betonindustrie biedt een brede waaier van elementen aan speciaal voor de landbouwsector. Deze komen aan bod in een volgend bulletin.

1. DUURZAAMHEID

In de landbouw wordt beton blootgesteld aan tal van agressieve stoffen. Een overzicht van de mogelijke aantastingsvormen wordt gegeven in *figuur 1*.

1.1. Zuuraantasting

Beton is een alkalisch (basisch) materiaal en wordt bijgevolg door zuren aangetast. Deze laatste reageren met de calciumhoudende bestanddelen van het verhard beton, wat leidt tot de vorming van calciumzouten die oplosbaar zijn. De structuur van het verhard cement wordt dus opgelost. Ook kalksteengranulaten worden aangetast door zuren. Siliciumhoudende (rivier- of zee-) granulaten, evenals porfiergranulaten, zijn daarentegen zuurbestendig.

Van alle aantastingsvormen vermeld in het schema, richt aantasting door zuren in de landbouwsector de zwaarste schade aan. De meest voorkomende zuren zijn azijnzuur en melkzuur. Ze komen bijvoorbeeld voor in silosappen. Stalvloeren kunnen ook aangetast worden door voer vermengd met speeksel dat naast de voederbak valt.

De aantastingssnelheid is afhankelijk van volgende factoren:

- de zuurtegraad (pH) van de zuuroplossing. Een pH tussen 6,5 en 5,5 wordt beschouwd als 'zwak agressief', een pH tussen 5,5 en 4,5 als 'matig agressief' en een pH kleiner dan 4,5 (silosappen bijv.) als 'sterk agressief';
- stagnerende oplossingen zijn minder agressief dan stromende of repetitieve;
- de oplosbaarheid van de gevormde zout.

Hoe voorkomen ?

De te nemen maatregelen om de aantasting te vertragen zijn afhankelijk van de zuurtegraad. Hoe agressiever de omgeving, hoe minder poreus het beton moet zijn. De water-cementfactor moet dus zo laag mogelijk zijn (fig.2). Aantasting is evenwel niet te vermijden, tenzij een beschermingslaag (coating) wordt aangebracht.

Het gebruik van kalksteengranulaten geeft aanleiding tot een oppervlakkige homogene en geleidelijke aantasting. Bij niet-kalkhoudende granulaten, wordt slechts het cement aangetast. Het betonoppervlak wordt ruw (waardoor de poten van de dieren kunnen verwond geraken); de granulaten komen geleidelijk los.

Teneinde rekening te houden met zuuraantasting, kan een extra dikte worden voorzien. De overdimensionering ('opofferingslaag') wordt berekend in functie van de verwachte levensduur van het bouwwerk enerzijds, en van de aantastingssnelheid anderzijds. In het ontwerpstadium is deze optie soms het overwegen waard.

1.2. Sulfaataantasting

Meststoffen en uitwerpselen (stalmest, mest, aal) kunnen sulfaten bevatten. Ze komen voor in verbindingen met verschillende kationen zoals natrium, calcium, ammonium en magnesium.

Natriumsulfaat reageert onder andere met de kalk die bij de hydratatie van de cementklinker vrijkomt :



Calciumsulfaat reageert met de gehydrateerde calciumaluminaten (voornamelijk C_3A) en vormt een calciumsulfo-aluminaat, het zogenaamde ettringiet. Dit heeft als eigenschap dat het in aanraking met water aanzienlijk zwelt. De daardoor ontstane interne spanningen kunnen leiden tot scheurvorming en zelfs tot afbrokkeling van het beton.

Hoe voorkomen ?

- Sulfaataantasting kan worden voorkomen door het aanwenden van*
- *HSR-cement (zie kaderstuk onderaan volgende pagina);*
 - *beton met een lage W/C-factor ($\leq 0,50$ of zelfs $\leq 0,45$).*

1.3. Aantasting door ammonium- en magnesiumzouten

Agressieve zouten, zoals ammonium en magnesium, ontbinden het verhard cement. Beide zouten zijn o.a. aanwezig in mest, aal, kunstmeststoffen.

Magnesium neemt de plaats in van het calcium uit het bindmiddel en vormt hiermee ofwel magnesiumhydroxyde, ofwel magnesiumsilicaat dat als een gelatine-achtige verbinding neerslaat. Ofschoon de kristallisatie van Mg(OH)_2 een expansieve reactie is, dient te worden opgemerkt dat schade door magnesiumaantasting eerder het gevolg zal zijn van oplossing dan van zwelling.

Uit de reactie van ammonium met kalk (calciumhydroxyde) ontstaat enerzijds een gas (ammoniak - NH_3), dat uit het beton vrijkomt, en anderzijds een calciumzout (meestal oplosbaar).

Hoe voorkomen ?

Opnieuw wordt deze aantasting tegengegaan door de compactheid van het beton te verbeteren, en dus door de W/C-factor te verlagen (fig. 2).

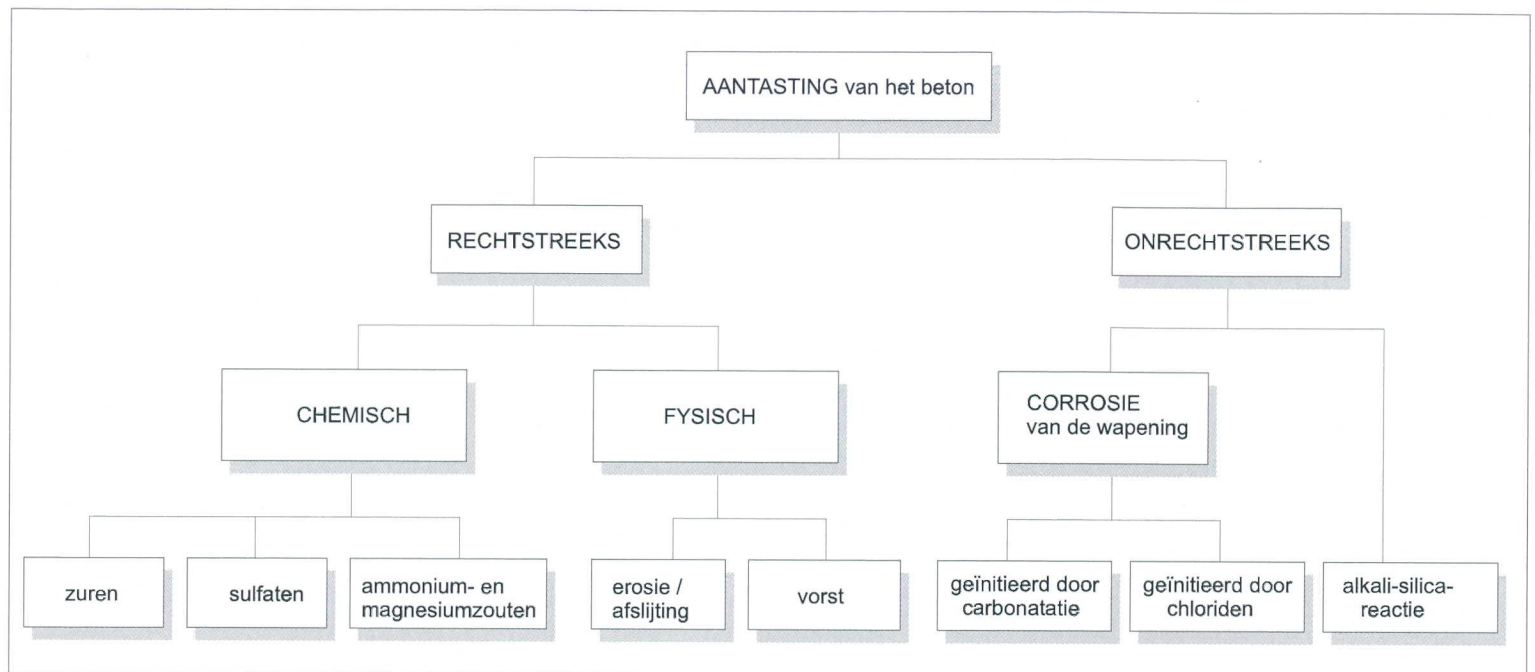


Fig.1 : Types betonaantasting in de landbouw

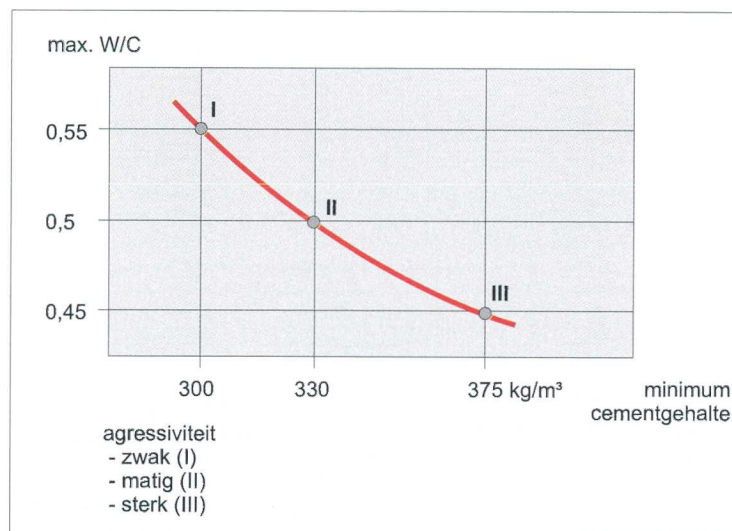


Fig.2 : Vereiste compactheid (max. W/C) in functie van de agressiviteit van de omgeving en het minimum cementgehalte

HSR- EN LA-CEMENTSOORTEN, MEESTAL IN VOORRAAD IN BETONCENTRALES

De genormaliseerde cementbenamingen omvatten steeds het type cement – 'portland' (CEM I), 'hoogoven-' (CEM III) of 'samengesteld' (CEM V) – en een getal dat de minimum druksterkte op 28 dagen aangeeft, uitgedrukt in N/mm² (32,5 – 42,5 – 52,5). Deze aanduidingen worden desgevallend vervolledigd met bijkomende eigenschappen: "high sulfate resisting" (HSR) en/of "low alkali" (LA).

- **Portland cement:** CEM I 42,5 (R HSR LA)
R (*rapid*) betekent een hogere sterkte op jonge leeftijd
- **Hoogovencement :**
 - Hoogovencement 36/65 : - CEM III/A 32,5 LA
 - CEM III/A 42,5 LA
 - Hoogovencement 66/80 : - CEM III/B 32,5 HSR LA
 - CEM III/B 42,5 HSR LA

De getallen 36/65 of 66/80 geven het minimum en maximumgehalte hoogovenslak aan, uitgedrukt in % van de som van de massa's van de hoogovenslak en de portland klinker.

- **Samengesteld cement :** CEM V/A(S-V) 32,5 HSR LA

1.4. Erosie / Afslijting

Erosie heeft vaak als effect dat de eerder beschreven chemische aantastingen geaccentueerd worden. In een stromende oplossing worden de scheikundige reacties inderdaad door de aanvoer van nieuwe ionen voortdurend geactiveerd.

Een andere erosievorm is de fysische actie die wordt uitgeoefend door een waterstroom. De impact verhoogt indien het water vaste deeltjes bevat. Dergelijke afslijting treedt voornamelijk op bij het reinigen onder hoge druk van de stallen of van het landbouwmaterieel.

Hoe voorkomen ?

Om erosie en afslijting te voorkomen moet beton worden voorgeschreven met een voldoende mechanische sterkte. Tevens speelt de bescherming van het beton tegen uitdroging tijdens de verharding een grote rol. Een krimpseur is bij uitstek een aanzet van erosie.

1.5. Vorst

De schade veroorzaakt door het bevriezen van het water in niet-vorstbestendige betons doet zich voor onder de vorm van afschilfering. Het bevroren water zet immers uit. Ijs heeft een volume dat ongeveer 9 % groter is dan dat van water.

Hoe voorkomen?

Het gebruikte beton moet van zeer goede kwaliteit zijn: hoge treksterkte en vrijwel geen ingesloten water – dus eens te meer een lage W/C-factor. Het gebruik van een luchtbelvormer, waarbij de luchtbellen als ‘expansievat’ dienen voor het bevroren water, kan eveneens noodzakelijk blijken.

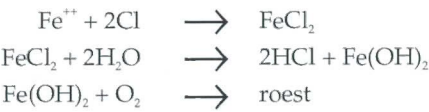
Tabel 1: Minimum betondekking in functie van de blootstellingsklasse

		Blootstellingsklasse									
		1	2a	2b	3	3S	4a	4b	5a	5b	5c
Minimum betondekking (mm)	Gewapend beton	15	20	25	40	40	40	40	25	30	40
	Voorgespannen beton	25	30	35	50	50	50	50	35	40	50

1.6. Beschadiging van de wapeningen door corrosie

De gewone alkaliteit van beton (pH > 12,5) beschermt de wapeningen tegen corrosie: het staal is ‘gepassiveerd’. Carbonatatie is het scheikundig proces waarbij de kalk (Ca(OH)₂) die is vrijgekomen bij de hydratatie van het cement, reageert met de CO₂ uit de lucht en wordt omgezet in calciumcarbonaat (CaCO₃). Dit proces ontwikkelt zich vanaf het oppervlak naar binnen en heeft als gevolg dat de alkaliteit en dus de pH van het beton daalt. Wanneer dit ‘carbonatatiefront’ de wapening bereikt, wordt deze laatste ‘gedepassiveerd’. Ze is m.a.w. niet meer beschermd tegen roest. Indien dan water of zelfs vochtigheid aanwezig is, en de zuurstof van de lucht tot aan de wapening doordringt, wordt ijzer omgezet in ijzeroxide (Fe₂O₃), een zeer expansieve stof.

Wapeningscorrosie kan ook geïnitieerd worden door chloriden. Stel dat het water van de poriën rond de wapening Cl⁻ ionen bevat. Deze kunnen aanwezig zijn in het beton via hulpstoffen (versnellers), zeegranulaten, of afkomstig zijn van de externe omgeving (zeewater, dooizouten). Indien deze Cl⁻ ionen de wapening bereiken, reageren zij met de Fe⁺⁺ ionen en vormen FeCl₂. Ijzerchloride is goed oplosbaar en oxideert in aanwezigheid van zuurstof tot roest :



Deze vorm van corrosie (‘putcorrosie’) is uiterst gevaarlijk omdat ze zeer lokaal optreedt en daar een vermindering van de wapeningssectie veroorzaakt. Op het ogenblik dat de aangetaste wapeningsstaaf te dun is geworden zal ze plots doorbreken, met alle gevolgen vandien.

Hoe voorkomen?

- De compactheid van het beton, d.w.z. de geringe water- en luchtporositeit, blijft het beste corrosiewerend middel.
- De betondekking op de wapeningen moet voldoende dik zijn, zodat de weg die de CO₂ en de O₂ moeten afleggen zo lang mogelijk is. De betondekkingen die de norm NBN B15-002 opgeeft in functie van de blootstellingsklassen van het beton (zie tabel 1) zijn minimumwaarden! Om de nominale betondekking te realiseren, dient met plaatsingstoleranties van 5 tot 10 mm gerekend te worden.

1.7. Beschadiging door de alkali-silicareactie

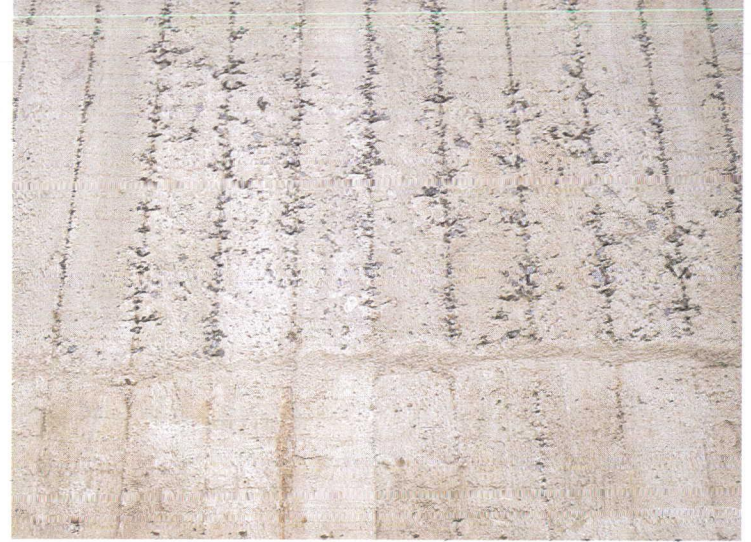
De term alkali-silicareactie dekt een geheel van reacties die zich tussen bepaalde bestanddelen van de granulaten (reactieve silica) en de in het beton aanwezige of door externe middelen ingebrachte alkaliën, kunnen voordoen. Het reactieproduct is een alkali-silicagel die water aantrekt en zwelt. Indien de beschikbare expansieruimte te klein is, ontwikkelen zich interne spanningen die aanleiding kunnen geven tot scheurvorming. Het is bewezen dat drie voorwaarden tegelijk moeten vervuld zijn om de alkali-silicareactie mogelijk te maken. Het elimineren van één ervan volstaat om elk gevaar op schade uit te sluiten. Deze drie voorwaarden zijn de volgende :

1. een vochtige omgeving (relatieve vochtigheid in het beton van minstens ca. 85 %);
2. de aanwezigheid in het beton van potentieel reactieve granulaten (d.w.z. gevoelig voor alkaliën);
3. een gehalte aan alkaliën in het beton boven een bepaalde drempel.

Hoe voorkomen?

De veruit meest praktische methode bestaat in het gebruik van een cement met een laag alkaligehalte (LA-cement zie ook §1.2. Sulfaataantasting). Het gebruik van een LA-cement moet gepaard gaan met de gebruikelijke maatregelen om een compact beton te realiseren. Hierdoor wordt de indringing van de alkaliën en van het water (onontbeerlijk voor de reactie) aanzienlijk afgeremd, en blijft de bewegingsvrijheid van de alkalische ionen in het beton beperkt.

Het gebruik van een niet-reactief granulaat is een andere optie. Er bestaan verschillende testmethodes om de reactiviteit van granulaten na te gaan. Zij kunnen enkel door gespecialiseerde laboratoria worden uitgevoerd.



1



2



3



4

Typische, maar doorgaans te voorkomen schadegevallen:

- 1- Cementmelk en zand weggelekt door slechte kwaliteit van bekistingen
hout of niet bevochtigen ervan vóór het betonneren
- 2- Plastische krimp-scheuren te wijten aan onvoldoende bescherming van
het jonge beton

(NB: 1 en 2 vormen ideale aanzetten voor erosie...)

- 3- Wapeningscorrosie veroorzaakt door onvoldoende betondekking
- 4- Lokale zuuraantasting: hoe lager de kwaliteit van het oppervlaktebeton,
hoe sneller de verharde cementpasta oplost

2. VOORSCHRIJVEN VAN BETON – AANBEVELINGEN

Dit is de essentiële stap om een goed en bijgevolg duurzaam beton te bekomen. De betonsamenstelling moet worden bepaald in functie van de duurzaamheid, de mechanische sterkte en de verwerkbaarheid. Beton dat aan agressieve omgevingen is blootgesteld (zie tabel 2 & 3), moet immers gekenmerkt worden door een zeer compacte structuur.

Beton moet worden voorgeschreven volgens de norm NBN B15-001 'Beton – Prestaties, productie, verwerking en conformiteitscriteria', die sinds 1992 van toepassing is. Voor gedetailleerde informatie omtrent het voorschrijven van beton volgens deze norm, wordt verwezen naar bulletin nr. 19. Het beton wordt dus bij voorkeur schriftelijk besteld, met vermelding van de vier basisgegevens (A, B, C en D), en eventueel aanvullende gegevens (E). De basisgegevens zijn:

- A : de druksterkte, weergegeven door de sterkteklasse;
- B : de duurzaamheid vertaald door het gebruiksdomein (B1) en de blootstellingsklasse (B2);
- C : de verwerkbaarheid, uitgedrukt door de consistentieklasse;
- D : de maximum nominale afmeting (Dmax) van de granulaten.

Deze methode laat toe beton voor te schrijven dat het BENOR-kwaliteitsmerk draagt, hetgeen niet alleen gemakkelijk is, maar tevens de gebruiker een kwaliteitswaarborg biedt. Het BENOR-merk garandeert immers de overeenkomstigheid van het beton met de 'voorgeschreven prestaties'. Het houdt in dat de kwaliteitscontrole van de producent door een externe keuringsinstelling gevalideerd werd. De gebruiker moet dus het beton niet meer zelf controleren. Het volstaat te verifiëren of bestel- en leveringsbonnen overeenstemmen, en de uitvoering van de werken na te zien. Alvorens het beton te storten overhandigt de producent aan de gebruiker de leveringsbon met het BENOR-merk.

Belangrijk is dat het beton, behalve wanneer het een bindingsvertrager bevat, binnen de 100 minuten na de vervaardiging moet worden gestort. Elke toevoeging van (bijvoorbeeld) water aan het beton op de bouwplaats, door de gebruiker of op diens verzoek, heeft als gevolg dat het beton niet meer gedekt is door het BENOR-merk.

Tabel 4 geeft voor de meest voorkomende betontoepassingen in de landbouwsector de basis- en aanvullende gegevens die nodig zijn voor het voorschrijven van een zo duurzaam mogelijk beton.

(NB: Deze informatie wordt enkel bij wijze van voorbeeld gegeven. In geen enkel geval kan de verantwoordelijkheid van de auteurs ingeroepen worden.)

Tabel 2: Agressieve stoffen in de landbouw

STOFFEN	AGRESSIVITEIT			
	niet (O)	zwak (I)	matig (II)	sterk (III)
Stalmest				
Mest				
Aal				
Dierlijk afval, slachtafval				
Mazout, benzine				
Minerale olie				
Plantaardige olie / vet				
Kuilvoeder				
Silosappen				
Vruchtensappen				
Suiker				
Kalk				
Kunstmeststoffen				
Melkzuren, melkwaters				

Types betonconstructies		Types aantastingen						
		Zuren	Sulfaten	Ammonium- en magnesium- zouten	Erosie / afslijting	Vorst	Corrosie van de wapening	Alcali-silica reactie
Mest- bassins	- vloerplaat							
	- wand, dak							
	- opslagruimte voor fruit- en groentenafval							
Sleufsilo's								
Opslag- ruimtes	- aardappelen, bieten							
	- fruit, groenten							
	- kunstmeststoffen							
Varkens- en rundvee- stallen	- voeder gang							
	- ligplaatsen							
	- mestgang							
	- melklokaal							
Pluimvee- stallen	- vloerplaat (vetmesterij)							
	- vloerplaat, wand (batterij)							
Verhardingen in serres								
Diverse verhardingen								

Tabel 3: Types betonaantasting voor courante constructies in landbouwbedrijven



5- Gebruik van betonpomp voor de bouw van een mestkelder

Types betonconstructies		Basisgegevens					Bijkomende gegevens
		A	B1 GB = gewapend OB = ongewapend	B2	C	D	E cementtype (en minimumgehalte)
Mestbassins	- vloerplaat	C30/37	GB	5b	S2, S3 of S4	20, 28 of 32	HSR LA
	- wanden, dak	C30/37	GB	5c	S3	14, 20 of 28	HSR LA (min. 375 kg/m³)
	- vloer voor opslag van groente- en fruitafval	C30/37	GB	5b of 5c	S2, S3 of S4	20 of 28	LA (min. 375 kg/m³)
Sleufsilo's	- gras	C25/30 of C30/37	GB	5b	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	LA
	- maïs	C30/37	GB	5c	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	LA (min. 375 kg/m³)
	- suikerbietenpulp	C30/37	GB	5c	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	LA (min. 375 kg/m³)
Vloeren van opslag-ruimtes	- aardappelen, bieten	C25/30 of C30/37	GB	2a	S2, S3 of S4	20, 28 of 32	LA
	- granen	C25/30 of C30/37	GB	1	S2, S3 of S4	20, 28 of 32	-
	- fruit, groenten	C25/30 of C30/37	GB	5a	S2, S3 of S4	20, 28 of 32	LA
	- kunstmeststoffen	C30/37	GB	5c	S2, S3 of S4	20, 28 of 32	HSR LA (min. 375 kg/m³)
Rundvee- en varkens-stallen	- voedergangen	C30/37	GB	5b of 5c	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	LA (min. 375 kg/m³)
	- ligplaatsen	C30/37	GB	5b of 5c	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	HSR LA (min. 375 kg/m³)
	- mestgangen	C30/37	GB	5c	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	HSR LA (min. 375 kg/m³)
	- melklokaleen	C30/37	GB	5c	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	LA (min. 375 kg/m³)
Pluimvee-stallen (vloeren)	- begane grond	C25/30	OB of GB	5b	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	HSR LA
	- batterijen	C25/30	OB of GB	2a	S2, S3 of S4	14, 20 of 28	-
Verhardingen voor serres		C25/30 of C30/37	OB of GB	5b	S2, S3 of S4	20 of 28	HSR LA
Verhardingen allerlei	- landbouwwegen (vaste bekistingen)	C30/37 of C35/45	OB of GB	2b, 3 of 3S	S2, S3 of S4	20, 28 of 32	LA
	- landbouwwegen ('slipform')	C30/37 of C35/45	OB of GB	2b, 3 of 3S	S1	20, 28 of 32	LA
	- reinigingsvloeren (fyto-sanitaire producten)	C30/37	OB of GB	5b	S2, S3 of S4	20, 28 of 32	HSR LA

Tabel 4: Voorbeelden van betonspecificaties voor de meest courante toepassingen

Bij bovenstaande gegevens horen volgende commentaren:

- Sterkteklasse (A) en blootstellingsklasse (B2) zijn niet onafhankelijk van elkaar. Een strenge blootstellingsklasse (5b of 5c) vereist inderdaad een hogere minimum cementgehalte en een lagere maximum water-cementfactor, en dus zal de druksterkte in dat geval groter zijn.
- In het geval van blootstellingsklasse 5c wordt aangeraden het beton te beschermen tegen direct contact met de agressieve omgeving door middel van een bekleding (een coating bijvoorbeeld).
- Met betrekking tot de consistentieklasse (C), zijn de klassen S1 en S2 voorbehouden voor een verwerkingsmethode door middel van krachtige mechanische trilsystemen (slipform paver, zware trilbalken, ...). Bij handmatig en traditioneel gestort beton (vooral indien het gewapend beton betreft) en waarbij lichter verdichtingsmateriaal wordt aangewend, is bij voorkeur klasse S3 van toepassing. Indien door de moeilijkheid van de verwerkingsomstandigheden de toepassing van de hoogste consistentieklasse (S4) vereist is, dient een bovengrens van zetmaat opgelegd te worden: maximum slump van 210 mm. Er mag niet uit het oog worden verloren dat bij een consistentieklasse S4 de mortel in het beton meer kans heeft om naar het oppervlak te stijgen. Dit is nadelig voor de duurzaamheid en voor bepaalde prestaties zoals slijtvastheid, wateropsorping, ...
- Op moeilijk toegankelijke bouwplaatsen wordt vaak een betonpomp ingezet. Korrelverdeling, maximum korreldiameter en gehalte aan fijne deeltjes van het beton moeten hierop afgestemd zijn. Pompbaarheid zal in dat geval uitdrukkelijk als aanvullend gegeven (E) worden vermeld.

3. EISEN INZAKE VERWERKING

Om een beton van goede kwaliteit te bekomen moet het dus om te beginnen correct worden voorgeschreven. Maar ook de verwerking en de bescherming van het jong beton tegen uitdroging dienen nauwlettend te worden opgevolgd.

3.1. Wapeningen en betondekking

De wapeningen worden aangebracht vóór het storten van het beton, en op hun plaats gehouden door geschikte voorzieningen (afstandhouders, wapeningssteunen,...). De dikte van de betondekking dient geëerbiedigd te worden (zie §1.6.).

Ter herinnering, deze dikte wordt gemeten vanaf de wapening die zich het dichtst bij de bekisting bevindt. Aangezien een gepaste betondekking essentieel is voor de latere duurzaamheid van het bouwwerk, kan onderdimensionering van de betondekking in de praktijk voorkomen worden door het voorzien van een kleine extra dikte.

3.2. Storten van het beton

Alle risicofactoren die leiden tot ontmenging van het beton moeten zoveel mogelijk worden vermeden, zoals b.v. storten vanaf een te hoge valhoogte (meer dan 1 meter), te kleine bekistingen, storten in kegelvormige hopen, enz.

Er dient opgemerkt te worden dat een te grote valhoogte dynamische krachten veroorzaakt in het beton, met als mogelijke gevolgen :

- ontmenging;
- vervorming of openbreken van de bekisting;
- verschuiven van de afstandhouders en bijgevolg verminderde betondekking op de wapeningen;
- verplaatsing van de wapeningen.

De valhoogte kan verminderd worden door middel van stortgoten. Het beton 'stroomt' dan in de bekisting in plaats van erin te vallen.

Aangezien jong beton door vorst kan beschadigd worden, moet het storten van beton op een bevroren bodem of bekisting formeel afgeraden worden.

3.3. Verdichten

Het beton moet naar behoren getrild en verdicht worden. Dit is nodig om aan de eisen die aan het verhard beton worden gesteld te voldoen en om een behoorlijke omhulling van de wapeningsstaven te realiseren. Een passende verdichting is bereikt op het ogenblik dat het beton niet meer zakt, het oppervlak dicht is, en indien op het einde van de trilling enkel hier en daar nog kleine luchtbelletjes vrijkomen.

Dikwijls worden trilnaalden gebruikt. De keuze van de naalddiameter hangt af van de hanteerbaarheid en de actieradius. Korte triltijden samen met een korte afstand tussen de trilpunten zijn te verkiezen boven langere triltijden en grotere tussenafstanden.

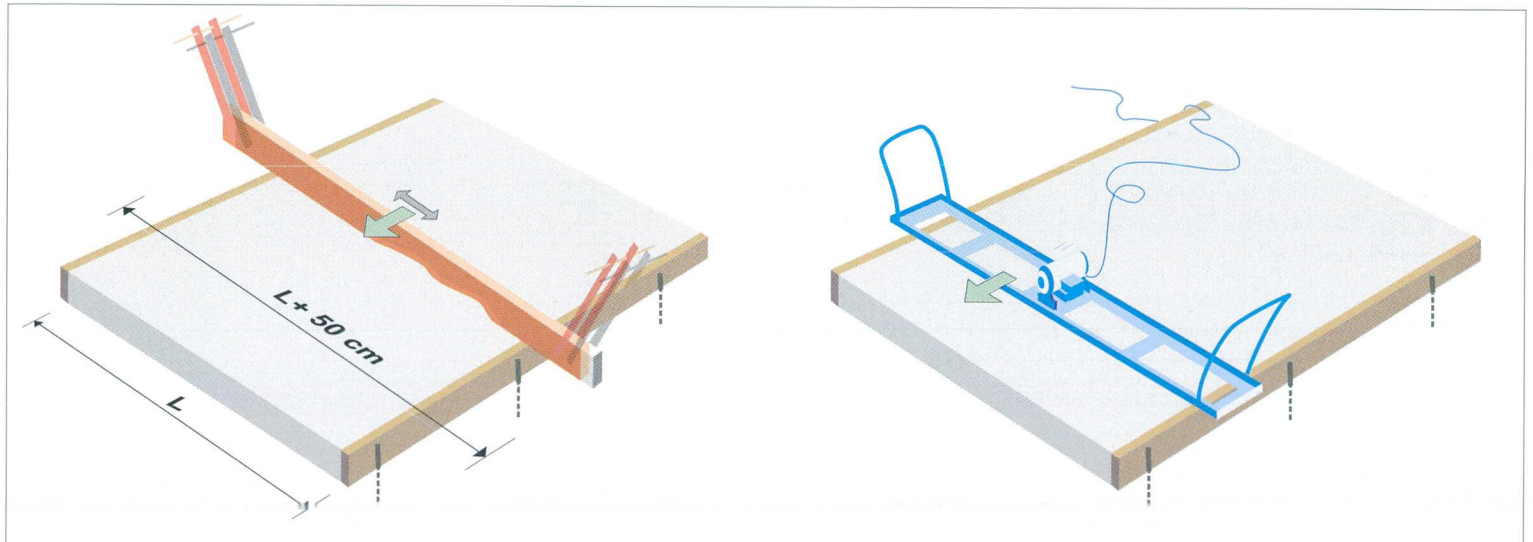
Vanzelfsprekend moet de naalddiameter kleiner zijn dan de kortste, horizontaal gemeten afstand tussen 2 wapeningen.

Wanneer het betonneren laagsgewijs gebeurt, wordt aanbevolen de naalden dieper te steken dan de te verdichten laag (tot 10 cm), dit om een verbinding mogelijk te maken tussen de afzonderlijk getrilde lagen. Damplank en trilbalk (fig. 3) worden hoofdzakelijk gebruikt voor het verdichten van vlakke of licht hellende betonlagen met een dikte kleiner dan 20 cm.

De damplank wordt gebruikt in geval van vloeibaar beton. Zij bestaat in principe uit een houten balk of plank uitgerust met twee handvatten, en minstens 50 cm langer dan de afstand tussen de bekistingselementen. Met deze plank wordt het betonoppervlak aangedamd totdat de plank de bovenranden van de bekisting raakt. Vanaf dan wordt ze haaks op de bekisting heen en weer bewogen. Het teveel aan beton dat ontstaat door de plank tegelijk in de lengterichting te laten opschuiven, wordt weggeschept en verplaatst naar de zones waar de betondikte onvoldoende is. Het verdichten wordt beëindigd als er cementmelk aan het oppervlak verschijnt en dit laatste goed dicht is.

De trilbalk is een stalen profiel waarop een elektrische trilmotor bevestigd is. De balk wordt dwars op de bekistingsranden geplaatst en langzaam versleept naarmate het niveau van het beton zakt tot op het niveau van de bekisting.

Fig. 3: Verdichten van het beton met een stamper of met een trilbalk



3.4. Afwerking van betonverhardingen

De afwerking van een betonplaat is een belangrijk werk, dat met zorg moet worden uitgevoerd. Net zoals een te dunne betonlaag of een ondergedimensioneerde wapening, kan een slecht gekozen of verkeerd uitgevoerde afwerkingstechniek de gebruiksmogelijkheden van de verharding beperken en, naargelang het geval, aanleiding geven tot problemen bij het onderhoud ervan.

In dit hoofdstuk wordt onder afwerking verstaan: elke behandeling van het betonoppervlak die plaats heeft tijdens de laatste fase van de uitvoering.

Deze behandeling bestaat ofwel in het borstelen van het oppervlak van het vers beton, ofwel in het aanbrengen op het nog verse beton van een mortellaag met harde granulaten en rijk aan bindmiddel, en die verdicht wordt met krachtige mechanische middelen zoals 'helikopters' (polijsten).

Voor meer informatie omtrent de uitvoering van deze afwerkingstechnieken wordt verwezen naar *Dossier Cement - bulletin nr. 24*.

Een *glad gepolijste* afwerking wordt zeer veel uitgevoerd in industriehallen, maar is meestal niet geschikt voor algemene toepassingen. Dankzij het polijsten en de toegevoegde slijtlaag biedt ze weliswaar het voordeel van een volledig gesloten oppervlak, waarmee bovendien ook een behoorlijke mechanische weerstand wordt gehaald. De techniek heeft echter als nadeel dat het betonoppervlak bij regen zeer glad is, en daarom enkel in welbepaalde gevallen wordt toegepast.

Om dit nadeel te voorkomen, kan uiteraard beslist worden de plaat niet te polijsten. Daardoor wordt het aanbrengen van een slijtlaag echter onmogelijk en dient vrede te worden genomen met een niet bepaald regelmatig esthetisch aspect. Bij een *rijruwe* afwerking blijven de sporen van de rij immers zichtbaar. Anderzijds is deze oplossing verenigbaar met het gebruik van een luchtbelvormer die voor een betere vorstweerstand zorgt.

Tussen die twee uitersten – de glad gepolijste en de rijruwe plaat – zijn een aantal alternatieven mogelijk, telkens met voor- en nadelen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen gewoon *mechanisch uitvlakken*, *half-polijsten*, *perzischileffect*, *sinaasappelschileffect*, enz. Elk van deze afwerkingsvormen vereist een specifieke, door de vakman goed beheerste uitvoeringsmethode. Ze bestaat dikwijls in een aantal opeenvolgende bewerkingen met de 'helikopter' die nu eens uitgerust is met schuurborden, dan weer met strijkspanen. De afwerkingstechnieken hebben als gemeenschappelijk kenmerk dat ze slechts gedeeltelijk zijn en bijgevolg moeilijk te omschrijven en te vergelijken. De betonoppervlakken kunnen ook gelijkaardige kenmerken vertonen, waardoor het verschil tussen de afwerkingstechnieken vaag wordt. De opdrachtgever wordt dus sterk aangeraden om bij de uitvoering van de werken aanwezig te zijn, zodat het eindresultaat zo goed mogelijk overeenstemt met zijn wensen. Enkel op die manier kunnen misverstanden te wijten aan het subjectieve karakter van deze terminologie vermeden worden. Veel te vaak komt het nog voor dat verhardingen die volgens de regels van de kunst en overeenkomstig het lastenboek uitgevoerd zijn, door de gebruiker als te glad of te ruw worden ervaren. Het bezoeken van voorbeelden vóór de aanvang van de werken helpt misverstanden voorkomen.

De *geborstelde* afwerking bestaat, zoals de naam zegt, in het borstelen van het oppervlak van het vers beton. Het voordeel van deze techniek is dat de ruwheid van het betonoppervlak vrij geprononceerd is, reden waarom dit procédé dikwijls wordt toegepast.

3.5. Nabehandeling van het beton

De nabehandeling (bescherming van het jonge beton tegen uitdroging) is essentieel met het oog op het bekomen van een duurzame bovenlaag van hoge kwaliteit. Dit werk moet onmiddellijk na het verdichten van het beton worden uitgevoerd.

Indien een voortijdige uitdroging niet voorkomen wordt, kunnen scheuren ontstaan en zal het betonoppervlak poreuzer worden. Uitdrogingsgevaar bestaat niet alleen bij warm weer. Droge wind en lage temperaturen zijn evenzeer schadelijk.

De voornaamste nabehandelingsmethoden zijn:

- wachten met ontkisten;
- het oppervlak met een plastic folie bedekken;
- het oppervlak vochtig houden (b.v. vochtig zand, jute);
- een nabehandelsproduct ('*curing compound*') aanbrengen in een voldoende dikke laag.

De minimumduur van de nabehandeling hangt af van het gebruikte cementtype, de betontemperatuur tijdens de nabehandeling en de omgevingsomstandigheden (bezonning, relatieve vochtigheid van de lucht, windsnelheid,...). In het algemeen bedraagt de minimumduur van de nabehandeling 3 dagen, maar in de strengste omstandigheden kan deze oplopen tot 10 dagen. Voor een preciezer inschatten van de nabehandelingstermijn wordt verwezen naar *bulletin nr. 22*.

3.6. Zagen van krimpvoegen

Bij betonnen verhardingen wordt aanbevolen krimpvoegen te zagen binnen de 24 uur na de betonverwerking. Zie hiervoor ook *bulletin nr. 24*.

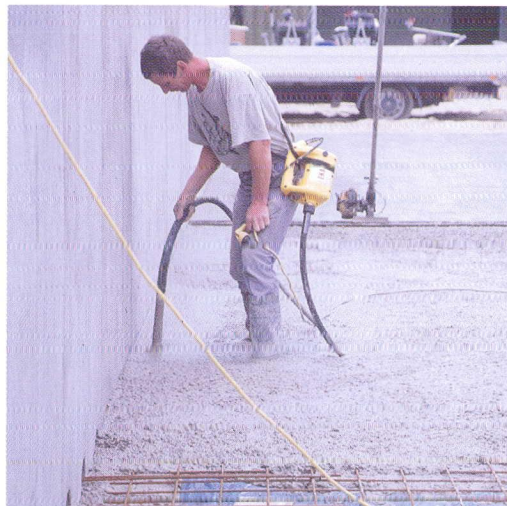
Het gedrag van de gezaagde voegen moet nadien nauwkeurig opgevolgd worden. Een regelmatige controle laat toe onderhoudswerken tijdig uit te voeren (voegen opnieuw vullen). De voegen vormen inderdaad de zwakke punten van de plaat. Worden geen passende maatregelen getroffen, dan zal schade zich onvermijdelijk daar eerst manifesteren.



6



7



8



9

Betonneren van de vloerplaat van een sleufsilo:

- 6- Storten van het beton
- 7- Wapeningen lopen door via uitsparingen in de prefab wandelementen
- 8- Verdichten van het beton met een trilnaald
- 9- Afstrijken van het betonoppervlak
- 10- Afwerking met helikopter
- (NB: Half-polijsen verdient de voorkeur!)
- 11- Sproeien van een nabehandlingsproduct



10



11



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

auteur:
Ir. C.Ployaert

vertaling:
V. Van Caeneghem

verantw. uitgever:
J.P. Jacobs

wettelijk depot:
D/2001/0280/16

BIBLIOGRAFIE

Agrabeton – Themanummer *duurzaamheid*
Jaargang 5, nr. 1, april 1995

APERS J.
Duurzaamheid van beton
Betontechnologie – Complement 1998
Brussel : BBG (Belgische Betongroepering)

Primaire duurzaamheid van beton
Brussel : FIC (FEBELCEM), bulletin nr. 17, april 1984

PLOYAERT CL. ; VERMEULEN G.
*Revêtements extérieurs en béton, revêtements monolithiques plans sans
courbe d'usure, technologie du béton*
AgriBETON, jaargang 3, nr. 3, 3de trim. 2000, pp. 12-17

FRENAY J.W. ; ZILVERBERG H.
Duurzaamheid van betons in agrarische milieus
IMAG-DLO rapport 93-17, CUR rapport 167, november 1993

COLLARD R.
Finitions
AgriBETON, jaargang 3, nr. 3, 3de trim. 2000, pp. 18-19



foto's:
A. Nullens (omslag, 6-10)
diatheek FEBELCEM (1-4)
P. Van Audenhove (5)
Cl. Ployaert (11)
M. Gronemberger (p.12)