

HOOFDSTUK 4 : VERHARD BETON

(p. 3)

Verhard beton is een heterogeen materiaal : het bestaat uit een 'skelet' van grove en fijne korrels die omhuld en samengehouden worden door een 'weefsel' van cementhydraatvezeltjes. De kwaliteit van het verharde beton is afhankelijk van de eigenschappen van korrelskelet en cementsteen, en van de hechting tussen beide. Het realiseren van de theoretisch mogelijke prestaties wordt in grote mate bepaald door een correcte uitvoering.

(p. 4)

De 'huid' van het beton bestaat na verharding voornamelijk uit gehydrateerd cement. Pas gestorte betonspecie bevat in de randzone minder grove granulaten, maar meer fijn zand, meer cementkorrels en meer water dan in de kern. De kwaliteit van deze randzone, waarvan de dikte ongeveer gelijk is aan de helft van D_{max} , bepaalt in grote mate de duurzaamheid van het beton.

(p. 5)

Compact beton, d.w.z. met een zo laag mogelijke water-cementfactor en verdicht volgens de regels van de kunst, biedt het langst weerstand tegen allerlei bedreigingen.

(p. 6)

In de scheikundige en fysische processen die een invloed hebben op de duurzaamheid, speelt het transport van water, waterdamp en opgeloste stoffen (bv. zouten) in het beton een beslissende rol. Snelheid, omvang en effect van dit transport worden vooral bepaald door de capillaire poriën van de cementsteen. Verdamping van water uit de capillaire poriën doet het beton krimpen : uitdrogingskrimp of hydraulische krimp. Door bevochtiging zwelt het beton opnieuw, maar niet tot zijn oorspronkelijk volume. Het water dat zich in de gelporiën en tussen de hydraatlaagjes (interstitieel of 'interlayer' water) bevindt, wordt pas bij hoge temperaturen verdreven.

(p. 7)

Het volume aan capillaire poriën neemt af naarmate de hydratatie van het cement vordert : het transport van water en waterdamp (dampdiffusie) verloopt steeds moeilijker. Bij een water-cementfactor van 0,4 blijven na volledige hydratatie bijna geen doorgaande capillaire poriën over. Vanaf 0,7 blijven de poriën onderling verbonden, zelfs na volledige hydratatie.

(p. 8)

De hydratatie van cement vergt tijd. Onder meer het cementtype en de water-cementfactor beïnvloeden de hydratatiesnelheid. De druksterkte na 28 dagen wordt als referentiewaarde gehanteerd, maar nog maanden lang vindt hydratatie plaats rond voornamelijk grovere cementkorrels, en neemt de sterkte bijgevolg nog toe. Zeker gedurende de eerste uren en dagen is de betontemperatuur (d.w.z. de temperatuur in de betonmassa) een belangrijk gegeven. Een te hoge temperatuur leidt in dat stadium tot een 'slordig' gevormde cementsteen en bijgevolg een lagere eindsterkte.

(NB: De tijd is op een logaritmische schaal uitgezet.)

(p. 9)

Monsters worden gemaakt om de eigenschappen van het beton proefondervindelijk te kunnen controleren in een laboratorium. De meetresultaten – bv. volumemassa, druksterkte, waterabsorptie... – ondergaan een statistische analyse.

Van verse betonspecie worden doorgaans kubusvormige proefstukken vervaardigd.

Uit bestaande betonconstructies (bv. wegverhardingen) worden cilindervormige kernen geboord.

(p. 10)

De proefstukken worden tussen de twee platen van een hydraulische pers samengedrukt tot ze breken. De breuk treedt niet op door verbrijzeling, maar door afschuiving volgens vlakken van 45°.

Er is meer druk nodig bij kleine en gedrongen proefstukken, dan bij grote en slanke.

Omrekeningsfactoren laten toe de meetresultaten voor verschillende formaten en vormen te vergelijken, bijv. $f_{c\ cub\ 2150} = 1,265 f_{c\ cyl\ \varnothing 150\ h300}$

(p. 11)

Na het vullen van de mal wordt het bovenvlak van de kubus afgestroken. Het is niet volkomen vlak en glad. Daarom wordt de kubus op zijn kant in de pers geplaatst.

Breekt de kubus volgens een ongewoon patroon, dan telt de opgemeten waarde niet. Het is wel nuttig te proberen de oorzaak te achterhalen, bv. verkeerde samenstelling, onvoldoende mengen of verdichten, onzorgvuldig prepareren van het proefstuk...

(p. 12)

Beton is een steenachtig materiaal. Zonder wapening kan het geen grote trekspanningen opnemen. Niettemin moeten ook sommige ongewapende producten bestand zijn tegen trekspanningen, bv. straat- en boordstenen, buizen,...

(p. 13)

Het meten van de zuivere axiale treksterkte door een rechtstreekse trekproef op cilindervormige proefstukken is een delicate operatie. Daarom wordt ze meestal afgeleid uit hetzij de slijptreksterkte (Braziliaanse proef), hetzij de buigtreksterkte. Hiertoe worden balk- of cilindervormige proefstukken vervaardigd.

(p. 14)

Indien geen trekproef wordt uitgevoerd, kan de treksterkte (gemiddelde en karakteristieke waarden) bij benadering worden afgeleid uit de karakteristieke druksterkte.

(p. 15)

Niet alleen de sterkte op zich is van belang, de gelijkmatigheid van deze sterkte is dat minstens evenzeer. Zelfs een beton met een hoge gemiddelde sterkte f_{cm} laat te wensen over wanneer de uiterste meetresultaten ver van dit gemiddelde liggen. Daarom wordt bij het voorschrijven van de sterkte-eis gewerkt met de zogenoemde 'karakteristieke' sterkte f_{ck} . Meetresultaten moeten in 95 % van de gevallen boven die waarde liggen. Hoe lager f_{ck} , hoe groter de spreiding van de meetresultaten, hoe groter het risico van een plaatselijk gebrek.

(p. 16)

Een constructie-element, bv. een betonnen balk, vervormt doordat er krachten op inwerken, namelijk zwaartekracht en allerlei belastingen. Deze krachten doen druk- en trekspanningen, schuifspanningen en buigmomenten ontstaan in het materiaal.

(p. 17)

De elasticiteitsmodulus E van een materiaal (of Young's modulus) drukt het verband uit tussen spanning en vervorming (per lengte-eenheid). Hoe groter E , hoe minder vervormbaar, m.a.w. hoe stijver het materiaal is. Sommige materialen, zoals staal, hebben een constante elasticiteitsmodulus. Bij beton varieert E volgens :

- de kwaliteit : hoe hoger de druksterkte van het beton, hoe hoger E ;
- de spanning : hoe groter de spanning is, hoe sneller de vervorming toeneemt. De raaklijn aan de kromme wordt inderdaad minder steil.

(p. 18)

In de norm NBN B15-002 is geopteerd voor de secansmodulus. Dit is een compromis tussen de tangensmodulus in de oorsprong en de tangensmodulus behorend bij één vierde van de breukspanning (gebruiksspanning).

(p. 19)

Het bepalen van de elasticiteitsmodulus E_c van beton door middel van proeven is ingewikkeld. Daarom wordt hij berekend met bovenstaande formule.

Om de regelmaat van de karakteristieken van een beton te beoordelen, of de evolutie ervan in de tijd, bestaan een aantal niet-destructieve proeven die verband houden met de stijfheid: geluidsvoortplanting (NBN B15-229), eigenfrequentie (NBN B15-230), oppervlaktehardheid (NBN B15-225). Telkens wordt de vergelijking gemaakt met een getuigebeton met dezelfde samenstelling en waarvan de eigenschappen gekend zijn.

(p. 20)

Chemische krimp volgt uit het feit dat het volume van gehydrateerd cement (cementsteen) kleiner is dan de som van de volumes van water en cement. Plastische krimp wordt veroorzaakt door verdamping van het aanmaakwater. Uittrogingskrimp (hydraulische krimp) is het resultaat van verdamping van het poriënwater uit het verharde beton gevolgd door het dichttrekken van de poriën onder invloed van capillaire krachten. Autogene krimp of inwendige uittroging treedt op wanneer de steeds kleiner wordende poriën het nog resterend water onttrekken aan de grotere. Dit fenomeen is pas belangrijk in beton met lage W/C (< 0,45) en hoog cementgehalte, zoals in hoge-sterktebeton (HSB).

(p. 21)

Situering in de tijd van de verschillende krimpfenomenen.

(p. 22)

Vervormbaarheid en sterkte gedurende het vroege hydratatieproces.

(p. 23)

(Figuur boven :) De bovenkant van de plaat krimpt meer dan de onderkant, waardoor de plaathoeken opkrullen – fenomeen van schoteling of 'curling' – en vervolgens scheuren.
(Figuur onder :) De hydratatie van cement produceert warmte. Na verharding koelt het beton af. De verankering in de fundering belet echter dat de bovenbouw aan alle zijden evenveel krimpt. Dit veroorzaakt trekspanningen. Indien deze te hoog oplopen, ontstaan scheuren.

(p. 24)

Verhardingen : door voegen te zagen scheurt de plaat op een gecontroleerde manier.
Wanden : het fenomeen van verhinderde krimp vergt bijzondere aandacht bij de bouw van kelders, reservoirs, enz. waarvan de waterdichtheid moet worden gegarandeerd. Om scheurvorming door verhinderde krimp te ondervangen, wordt de constructie gecompartmenteerd en het beton van een krimpwapening voorzien.

(p. 25)

Water-cementfactor : zo laag mogelijk.
Stabiel mengsel : continue korrelverdeling, correcte dosering van fijne deeltjes, voldoende cement.
Homogene specie, geen ontmenging : zorgen voor geschikt transportmiddel en juiste verdichtingstechniek.
Bescherming/nabehandeling : extra opletten in geval van warm, droog of winderig weer (snelle verdamping van aanmaakwater), maar ook bij koude temperaturen (tragere hydratatie).

(p. 26)

Onder een constante druklast blijft beton na een eerste ('onmiddellijke') vervorming gedurende een bepaalde tijd verder vervormen : dit fenomeen heet kruip.
Wordt de belasting weggenomen, dan 'veert' het beton terug, waardoor de onmiddellijke vervorming ongedaan wordt gemaakt. Een deel van de kruipvervorming is evenwel onomkeerbaar.

(p. 27)

De opgegeven waarden geven slechts een aanduiding van de grootteorde van de kruipcoëfficiënt. Het tijdstip van belasting is een zeer belangrijk gegeven: hoe eerder het beton belast wordt, hoe groter de kruipvervorming. De kruipcoëfficiënt is ook lager in het geval van beton met een hogere betonsterkteklasse en van elementen met een massievere doorsnede.

(p. 28)

Het verschijnsel kruip is in eerste instantie het gevolg van vochtmigratie (cfr. hydraulische krimp). Bij grotere belasting ontstaan tevens microscheurtjes in de cementsteen.
Jong beton is kruipgevoeliger omdat de inwendige weerstand van de materiaalstructuur tegen druk en krimp dan nog lager is.

(p. 29)

Door kruip kan een balk of vloerplaat na enige tijd beginnen rusten op een muur die daar niet op voorzien is, met schade als gevolg. Om dit te vermijden en vooraleer niet-dragende wanden op te trekken onder een vloerplaat, wordt deze laatste na het wegnemen van het schoorwerk meestal gedurende enige tijd extra belast, bijvoorbeeld met paletten metselstenen.

(p. 30)

De vervorming door kruip wordt in dit geval nuttig aangewend : de plaat volgt de vervorming van de bodem. Vanaf het ogenblik dat de vervorming niet meer toeneemt, dalen de spanningen (dit wordt relaxatie genoemd).

(p. 31)

Beton krimpt als het afkoelt en zet uit bij opwarming. Wordt deze thermische beweging verhinderd, dan ontstaan grote spanningen in het beton of in de aangrenzende structuren.

Mogelijke maatregelen :

- uitzettingsvoegen (+dichting in elastisch materiaal);
- glij- en rolopleggingen (bruggen);
- aangepaste ophangsystemen (gevelpanelen in sierbeton);
- gebouwen eventueel aan de buitenkant thermisch isoleren...

(p. 32)

Een verharde betonmassa zit vol capillairen (haarbuisjes): dit zijn zeer kleine, meestal communicerende poriën die water kunnen opzuigen en vasthouden. Enkel door verdamping kan dit water weer zeer langzaam ontsnappen.

Grove capillairen : grote stijgsnelheid en groot debiet, maar lage stijghoogte.

Fijne capillairen : geringe stijgsnelheid, klein debiet. De stijghoogte kan echter tientallen meters bedragen.

Hoe fijner de capillairen, hoe trager het materiaal vochtig wordt. Maar ook : hoe trager het droogt...

(p. 33)

Als een betonoppervlak wordt natgemaakt, wordt water opgezogen onder invloed van capillaire krachten. Wanneer het beton vervolgens weer droogt, wordt het water onder de vorm van waterdamp terug aan de omgeving afgegeven. Deze overgang van vloeibare naar dampvormige toestand gebeurt eerst aan de oppervlak ('droogvlak'), later binnenin het materiaal : capillair watertransport gaat over in dampdiffusie.

Het 'droogfront' (of 'vochtfront') is de grenszone tussen capillairen met water en capillairen met waterdamp. Dit vochtfront/droogfront verplaatst zich in functie van de temperatuur en vochtigheid van de buitenomgeving.

(p. 34)

Ook zonder dat het natgemaakt wordt, neemt beton water op. Bij stijgende relatieve vochtigheid van de omgeving, dringt waterdamp in de capillairen door diffusie. Daar wordt hij omgezet in water door adsorptie (tegen de wanden van de capillairen) en door condensatie (tegen de reeds gevormde 'watereilandjes').

Kritisch vochtgehalte : vochtgehalte waarbij het capillair watertransport de overhand krijgt op dampdiffusie.

Hygroscopisch vochtgehalte : vochtgehalte in evenwicht met de R.V. van de omgeving.

Capillair vochtgehalte : hoogst mogelijke vochtgehalte door capillaire opzuiging.

Verzadigingsvochtgehalte : als alle toegankelijke poriën met water gevuld zijn (bv. na onderdampeling).

(p. 35)

Voor een gegeven relatieve vochtigheid (R.V.) is het evenwichtsvochtgehalte hoger als het bereikt wordt na drogen dan na bevochtigen : dit is de zgn. hysteresis tussen drogings- en bevochtigingscurve.

Door zijn groot aantal fijne poriën is normaal en goed verdicht beton een zeer hygroscopisch materiaal : het bevat ook bij normale omgevingsomstandigheden veel vocht. Door die kleine poriëndiameter verloopt het vochttransport bovendien moeizaam. Beton reageert bijgevolg traag op veranderingen in de relatieve vochtigheid.

(NB: Het exacte verloop van de afgebeelde krommes verschilt in functie van betonsoort, -samenstelling, enz.)

(p. 36)

Waterabsorptie door onderdampeling (NBN B15-211). De aldus gemeten porositeit wordt relatieve of schijnbare porositeit genoemd, omdat enkel de holten worden gevuld die met het oppervlak in verbinding staan. Onderdampeling in een vacuümruimte of in kokend water, dat minder viskeus is, geeft een preciezer idee van alle holten.

(NB: Korrelbeton en halfopen beton hebben een groot volume aan poriën en holten die geen water vasthouden. De omzetting van waterabsorptie naar porositeit kan in dat geval niet worden toegepast!)

(p. 37)

Waterabsorptie door capillariteit (NBN B15-217). Behalve de stijghoogte is ook de stijgsnelheid belangrijk. Snelle stijging wijst op grote capillairen, met mogelijk negatieve invloed voor de vorstgevoeligheid, de bestandheid tegen dooizouten, agressieve stoffen...

De methode met de standpijp (WTCB) kan worden toegepast op bestaande constructies, maar enkel op effen oppervlakken.

(p. 38)

Er is een verschil tussen relatieve (schijnbare) en absolute (werkelijke) porositeit, en tussen porositeit en permeabiliteit (doorlatendheid).

De porositeit wordt uitgedrukt in volume-%, de permeabiliteit in meter per seconde (stroomsnelheid).

Ook weinig poreuze materialen (lees : met een lage schijnbare porositeit) kunnen goed waterdoorlatend zijn, bv. bepaalde types metselblokken met halfopen structuur.

Sommige poreuze materialen zijn daarentegen waterdicht omdat de poriën ofwel uiterst fijn zijn, ofwel niet in verbinding staan met de buitenomgeving, ofwel geen aaneengesloten netwerk vormen.

(p. 39)

Beton dat door zijn samenstelling, verwerking en verdichting een compacte structuur heeft verworven, is waterdicht : water dat door de zeer kleine poriën is opgezogen, kan enkel door verdamping weer worden afgegeven.

Bovendien 'zwelt' vochtig beton enigszins door 'inwendige uitzetting' in de cementsteen kristallen, zodat de poriën nog nauwer worden en nog minder water doorlaten.

Als het water toch door een wand van een zekere dikte dringt (≥ 7 cm), wijst dit steeds op gebreken in de macrostructuur van het beton.

(p. 40)

Carbonatatie is een scheikundige reactie tussen de CO_2 uit de lucht en de vrije kalk Ca(OH)_2 die ontstaat bij de hydratatie van cement. De reactie kan alleen plaatsvinden in water.

De gevormde kalksteen CaCO_3 leidt tot een vernauwing van de poriën. Naarmate het carbonatatiefront opschuift, kan de CO_2 minder vlot in het beton doordringen, zodat de reactie vertraagt.

(p. 41)

Carbonatatie diepte in functie van water-cementfactor en voor verschillende omgevingsomstandigheden.

De grootste carbonatatie diepte treedt op in poreus beton (hoge W/C-factor) opgesteld in een labo met een vrij hoge constante temperatuur en voldoende luchtvochtigheid (hygroscopisch water en voldoende CO_2).

De kleinste carbonatatie diepte doet zich voor in zeer compact beton (lage W/C-factor) in een onbeschutte situatie : de zeer fijne poriën zijn met water gevuld door regen of door hygroscopiciteit, zodat geen lucht met CO_2 in het beton kan doordringen.

(NB: De grafiek is duidt gemiddelden aan! Plaatselijk kan de werkelijke carbonatatie diepte veel groter zijn...)

(p. 42)

Gehydrateerde cementpasta is een sterk alkalisch milieu ($\text{pH} > 12$) dat een passiverend effect heeft op het wapeningsstaal : ondanks het contact met water en zuurstof die via capillairen en haarscheurtjes binnendringen, zal het niet roesten.

In gecarbonateerd beton daalt de pH onder 8. Het staal is niet langer gepassiveerd. Bevindt het zich in een zone die afwisselend vochtig wordt en droogt, dan zal het beginnen roesten.

(p. 43)

De onderkant van het balkon is een zeer ongunstige situatie !

(p. 44)

Meestal treedt vorst voldoende traag in. De lucht droogt uit, zodat het meeste water aan het oppervlak verdampt. Bovendien daalt het vriespunt van water als gevolg van de capillaire adhesiekrachten : in de fijnste poriën bevriest het pas bij temperaturen ver onder 0° !

Verhard beton wordt bijgevolg enkel door vorst beschadigd indien aan twee voorwaarden voldaan is :

- brede, met water verzadigde capillairen;
- plots intredende vorst.

(p. 45)

Hoe fijner de poriën, hoe kleiner de hoeveelheid bevroersbaar water, én hoe lager het vriespunt.

Vandaar de basisregel : bij het vervaardigen van het beton de water-cementfactor zo laag mogelijk houden (max. 0,55 in normale situaties, max. 0,5 in zeeomgeving), en een voldoende hoog cementgehalte voorzien.

(p. 46)

Bij het smelten van het ijs door het zout wordt warmte onttrokken aan de oppervlaktelaag, die hierdoor plots afkoelt. Het temperatuurverschil tussen het oppervlak en het inwendige van het beton veroorzaakt schuif- en trekspanningen, met mogelijke scheurvorming als gevolg. Vorst-dooicycli in combinatie met blootstelling aan dooizouten stellen beton zwaar op de proef : poriënwater ontdooit tot op een bepaalde diepte, het oppervlak bevriest opnieuw, poriënwater raakt ingesloten, bevriest, zet uit...

(NB : Ook sommige constructies met een binnenklimaat worden blootgesteld aan de inwerking van dooizouten, bv. parkeergarages.)

(p. 47)

Bij het gebruik van luchtbelvormers is niet alleen het volume aan expansieruimte van belang. Ook de afstand van een willekeurig punt tot een luchtbel – de zogenoemde afstandsfactor – mag niet groter zijn dan een bepaalde waarde, meestal 200 μm .

(p. 48)

De zuurtegraad wordt uitgedrukt door de pH (<7) : hoe lager de pH, hoe sterker het zuur. Om aantasting te beperken moet het beton zo compact mogelijk zijn en een dichte oppervlaktestructuur hebben :

- W/C-factor niet hoger dan 0,55 of zelfs 0,45;
- cementgehalte van minstens 300 kg/m³ en indien nodig zelfs oplopend tot 375 kg/m³.

In geval pH ≤ 4 is daarenboven een beschermende bekleding verplicht : coating, ceramische betegeling...

(NB: Wanneer de graad van agressiviteit onduidelijk is, dan moet de betondekking worden opgevoerd.)

(p. 49)

De graad van agressiviteit wordt bepaald door het sulfaatgehalte. Om aantasting te beperken moet het beton zo compact mogelijk zijn en een dichte oppervlaktestructuur hebben :

- W/C-factor niet hoger dan 0,55 of zelfs 0,45;
- cementgehalte van minstens 300 kg/m³ en indien nodig zelfs oplopend tot 375 kg/m³.

Voor sulfaatgehaltes groter dan 500 mg/l (vloeistof) of 3000 mg/kg (grond) is HSR-cement verplicht.

Voor zeer hoge sulfaatgehaltes (≥ 6000 mg/l) is daarenboven een beschermende bekleding noodzakelijk.

(p. 50)

Vanaf een bepaald gehalte aan chloriden ('kritisch chloridegehalte') wordt de passiveringslaag van het staal aangetast. Door chloride geïnitieerde corrosie is een gevaarlijk fenomeen, omdat de wapening plaatselijk zeer diep wordt ingevreten. De norm legt daarom maximum chloridegehaltes vast.

Het gebruik van chloride-houdende bindingversnellers is af te raden.

Indringing van chloor- en zuurstoffen in het verharde beton wordt beperkt door een goede betonkwaliteit, t.t.z. lage W/C-factor, voldoende cementgehalte, optimale verdichting. De betondekking moet voldoende zijn.

(p. 51)

De scheikundige reactie tussen reactieve silica en vrije en oplosbare alkaliën leidt tot de vorming van een gel. Is er water aanwezig, dan wordt dit door de gel opgezogen. Die zwelt en doet het beton barsten.

Enkel gespecialiseerde laboratoria kunnen vaststellen of de granulaten reactief zijn.

Het gebruik van LA-cement is de eenvoudigste manier om de alkali-silicareactie te verhinderen.

De migratie van vocht, en dus van alkaliën, wordt vertraagd door zoals steeds te streven naar voor een compact beton met een dichte oppervlaktestructuur.

(p. 52)

Gewoon beton weerstaat relatief goed aan aantasting door een accidentele brand. Pas vanaf 300°C wordt het chemisch gebonden water uit de cementshydraten verdreven, waardoor de sterkte-eigenschappen veranderen.

De warmte dringt slechts zeer langzaam in het beton. Alleen het oppervlak wordt beschadigd. Een betonconstructie is bijgevolg na een brand meestal te recupereren.

(NB: *Vuurvaste mortels en betons voor ovens, schoorstenen enz. worden vervaardigd met een speciale cementsoort, nl. aluminiumcement.*)

(p. 53)

In een ISO-brand stijgt de temperatuur in functie van de tijd volgens een genormaliseerde curve. Op Europees niveau zijn de materialen in functie van hun brandgedrag ingedeeld in klassen, van A1 (niet-brandbaar) tot F (uiterst brandbaar). Normen i.v.m. de brandweerstand van gebouwdelen zijn in ontwikkeling. De REI-codering, die de Rf-aanduiding zal vervangen, vermeldt de prestaties (in minuten) ten aanzien van de 3 criteria : stabiliteit (R), vlamdichtheid (E) en thermische isolatie (I).

(NB : *Ook de dilatatie van bouwelementen blootgesteld aan vuur kan schade veroorzaken. De Eurocodes geven aan hoe de brandweerstand van volledige gebouwen dient geanalyseerd te worden.*)

(p.54)

Sommige betonelementen hebben een brandweerstand van 4 uur.

(p. 55)

Uitgewassen (gedesactiveerd) beton : de grove granulaten dienen met zorg gekozen te worden; dikwijls wordt aan het beton ook een kleurstof toegevoegd.

Gezuurbeïst beton : het zuur werkt ook in op kalksteenhoudend zand en steenslag.

Gezandstraald beton : het verkregen oppervlak is steeds mat.

(p. 56)

Polijsen : het beschermingsproduct is nodig wanneer de granulaten gevoelig zijn voor zure regen en de glans moet behouden blijven.

Boucharderen, frijnen, frezen : dit zijn behandelingen afkomstig uit de natuursteensector.

Sommige van deze technieken worden uitgevoerd door robots, de meeste vergen nog veel ambachtelijke vaardigheid.

(p. 57)

Tijdens de hydratatie van cement wordt tot 250 gram vrije kalk per kg (portland)cement gevormd. De migratie van die kalk naar het oppervlak varieert naargelang :

- de poriëndiameter, d.w.z. in functie van de rijpingsgraad en/of het ontkistingstijdstip;
- de omgevingsomstandigheden, nl. temperatuur en vochtigheid.

Primaire uitslag doet zich voor op zeer jong beton, secundaire uitslag vindt plaats in een later stadium.

(p. 58)

Enkele typische voorbeelden van kalkuitslag.

Uitslag op tegels en straatstenen verdwijnt gewoonlijk na enige tijd door de inwerking van zure regen.

(p. 59)

Vervuiling ontstaat wanneer een uniform opgebouwde stoflaag door afstromend water lokaal wegspoelt en de meegevoerde vuildeeltjes zich op een aanpalende zone gaan ophopen.

De mate van blootstelling aan regen, de porositeit van het materiaal en vooral de geometrie van het geveloppervlak bepalen het vervuilingpatroon.

(p. 60)

Ontwerpdetails : steeds zorgen voor een passende afvoer van het water afkomstig van horizontale of lichthellende oppervlakken, hetzij naar buiten via druiplijsten (zie figuur), hetzij naar binnen via ingewerkte afvoerleidingen.

De licht-schaduw effecten van een oppervlaktestructuur (groeven, valse voegen...) kunnen vervuilingpatronen soms 'camoufleren'.

Beschermings- en reinigingsproducten moeten hun deugdelijkheid bewezen hebben.

(p. 61)

Hoe zwaarder het beton, hoe beter het de warmte geleidt, en dus: hoe minder goed het isoleert.

Lichte betonsoorten bevatten van elkaar gescheiden ruimten of cellen gevuld met stilstaande lucht of gas. Zij vormen een goed compromis : voldoende draagvermogen en – in bepaalde gevallen – een toereikende isolatie.

(NB : Een vochtig materiaal verliest zijn isolerend vermogen.)

(p. 62)

Isolatie belet warmteverliezen, maar is niet de enige factor die voor thermisch comfort zorgt.

De thermische capaciteit van een materiaal is het vermogen om warmte op te slaan (en af te geven). Zware materialen kunnen veel warmte 'stockeren'. Op warme dagen zorgen betonnen vloeren, plafonds en wanden er op een natuurlijke wijze voor dat een gebouw niet oververhit raakt.

De thermische capaciteit moet echter toegankelijk zijn : binnenisolatie en valse vloeren en plafonds houden de warmte opname tegen.

(p. 63)

De thermische inertie van een wand is het vermogen om de binnentemperatuurocyclus te verschuiven en te dempen tegenover de buitentemperatuurocyclus.

Met een combinatie van beton en isolatie (aan de buitenzijde) zijn een dempingsfactor 10 en een faseverschuiving van 8 uur mogelijk. Enerzijds bereikt de middagwarmte pas 's avonds, en afgezwakt, de binnenkant van een gesloten ruimte. Anderzijds is het effect van nachtelijke afkoeling overdag nog lang voelbaar. Het gebouw 's avonds en 's nachts verluchten vergroot dit effect nog.

(p. 64)

Het akoestisch comfort van een ruimte wordt bepaald door :

- de akoestische eigenschappen van die ruimte zelf (geluidsabsorptie en nagalmtijd);
- de bescherming tegen geluid afkomstig van buiten die ruimte (geluidsisolatie). De geluidsenergie verplaatst zich via verschillende wegen van de 'zendruimte' naar de 'ontvangstruimte'. Hierbij moet een onderscheid worden gemaakt tussen luchtgeluid en contactgeluid.

(NB : Metingen in een labo en in situ verschillen. Daarom zijn ook de prestatiecriteria niet dezelfde.)

(p. 65)

De geluidverzwakkingsindex is een maat voor de geluidsisolatie tussen zend- en ontvangtruimte.

Licht beton wijkt af van de massawet : een wand van licht beton kan akoestisch net zo isolerend zijn als een even dikke wand van gewoon beton.

Voor de akoestische prestaties van een constructie-element is ook de kwaliteit van uitvoering een zeer belangrijke factor.

(NB: De massa van de wand – per oppervlakte-eenheid – is uitgezet op een logaritmische schaal.)

(p. 66)

De geluidsabsorptiecoëfficiënt is een maat voor het akoestisch comfort in de zendruimte. (Niet in de ontvangtruimte !) Hoe minder absorptie, hoe meer weerkaatsing, hoe langer de nagalmtijd.

Absorptie is functie van de frequentie van de geluidsgolven. De structuur van het materiaaloppervlak en de eventuele aanwezigheid van holtes leiden ertoe dat de verschillende golven niet altijd in dezelfde mate weerkaatst of geabsorbeerd worden.