



Grundmekanismer for betons ældning

Litteraturred rapport der redegør for
hvordan ældningsprocesserne er
relateret til betonoverfladens
mikrostruktur / mikrodesign

Claus Pade, Teknologisk Institut,

September 2007



Indledning

En betonoverflade ændrer udseende med tiden, ligesom overfladen af stort set alle andre materialer gør det. Denne ændring af overfladens udseende med tiden kaldes ældning. Der findes overordnet set tre grupper af mekanismer, som kan forårsage ændringer i udseendet af en i øvrigt perfekt udført betonoverflade, nemlig:

1. Biologisk aktivitet på overfladen
2. Aflejring eller udfældning på overfladen
3. Nedbrydning af overfladen

Hvordan ældningsprocesserne er relateret til betonoverfladens mikrostruktur/mikrodesign har været målet for denne litteraturreport. Generelt har det vist sig, at der findes endog en yderst begrænset mængde litteratur på dansk og engelsk, som relaterer betonoverfladens mikrostruktur/mikrodesign til dens ældningsegenskaber. Stort set al den tilgængelige litteratur beskæftiger sig med makrodesign og den hertil relaterede ældning.

Det har derfor til en vis grad været nødvendigt at ekstrapolere viden om f.eks. holdbarhed af betonkonstruktioner generelt til holdbarhed/ældning af betonoverflader.

Biologisk aktivitet

Biologisk aktivitet i form af begroning kan på betonoverflader skyldes enten bakterier, alger, svampe, laver eller mosser. Fælles for disse væksttyper er at de i større eller mindre grad kræver vand for at kunne eksistere. Alger, laver og mosser kræver desuden lys til fotosyntese, mens bakterier og svampe kræver organisk materiale til deres metabolisme.

For betontagsten angiver (5) de mest betydende faktorer for biologisk vækst til at være:

- pH-værdi
- porøsitet
- ruhed
- overfladespænding
- fugtegenskaber

pH værdiens betydning for begroning

Begroning kan forekomme uanset pH-værdi, men pH-værdien er med til at kontrollere, hvilken type begroning man vil se. På tage vil laver være fremherskende ved pH over 9, medens alger vil dominere ved lavere pH (5).

Porøsitetens betydning for begroning

Porøsiteten/permeabiliteten af overfladen har stor betydning for begroning. Jo større porøsitet jo mere og hurtigere begros overfladen (1, 5, 6). Det er generelt kendt fra betontechnologi at betonsammensætningen, udstøbningsmetode og curingforhold har betydning for den færdige betonoverflades porøsitet.

I [6] blev den biologiske vækst på vægge i Toulouse undersøgt. Væksten bestod primært af to forskellige algetyper. Efterfølgende forsøg i laboratoriet med mørtelemner viste en klar sammenhæng mellem materialets tæthed og begroning - jo tættere overflade, des mindre begroning. Overfladens tæthed blev karakteriseret ved dets v/c-tal og åbne porøsitet. Kun de allertætteste prøveemner med v/c-tal 0,38 og tilsat mikrosilica undgik begroning under forsøgene. Årsagen til den kraftigere vækst på mere porøse overflader anførtes at være, at de mere porøse overflader optager meget vand, når de overskylles, og derfor holder sig fugtig i længere tid, hvilket giver bedre vækst betingelser for

begroning. Denne forklaring stemmer overens med (1), som også angiver lethed, hvormed vand kan trænge ind i overfladen som afgørende for udvikling af begroning. På baggrund af undersøgelserne gennemført i (5) kunne man derimod ikke konstatere en sammenhæng mellem begroning og vandoptagelseshastighed.

I (9) blev bioreceptiviteten, udvikling af begroning over tid, af fem forskellige bygningsmaterialer undersøgt i laboratorie. Det viste sig at bioreceptiviteten korrelerede med makroporøsiteten af materialerne. Stilles materialerne op efter faldende bioreceptivitet fås følgende række:

Porebeton > porøs sandsten >> mørtel (v/c 0.60) ≥ tegl > tæt sandsten

Ruhedens betydning for begroning

Betonoverfladens ruhed menes ifølge (5) også at have betydning for begroningshastighed og -mængde. Således må mere ru overflader forventes at blive hurtigere og kraftigere begroet end mindre ru overflader. Det bemærkes i øvrigt, at ruheden af cementbundne overflader vil øges med tiden bl.a. som følge af sur regn.

Såvel porøsitet som ruhed, fugtoptagelse og overfladespænding af en betonoverflade kan nedbringes ved passende overfladebehandling (5), f.eks. maling.

Bakteriel nedbrydning af beton

I [7] beskrives forsøg med en bakteriel nedbrydning ("bacterial weathering") af beton- af stenoverflader i laboratorie. Beton og sten blev nedsænket i en væske med svovl-oxiderende bakterier. Nedbrydningen, der også indfandt sig for beton, undersøgte med røntgen mikrotomografi ("X-ray μ CT). Selvom artiklen i overvejende grad koncentrerede sig om målemetodens anvendelighed, viste forsøgsresultaterne dog, at bakteriel nedbrydning af betonoverflader kan finde sted.

TiO₂ - fotokatalytisk nedbrydning af materiale

Der findes en del litteratur omhandlende muligheden for selvrensende overflader ved hjælp af TiO₂ partikler. Den fotokatalytiske nedbrydning af såvel organisk som uorganisk materiale sker ved at TiO₂ partiklerne reagerer med sollyset som resulterer i nedbrydning af smuds i overfladen.

I (11) beskrives, hvordan det røde farvestof rhodamin B complex nedbrydes over tid af forskellige typer af TiO₂ indblandet i forskellige koncentrationer i beton. Det konkluderes, at partikelstørrelsen af TiO₂ samt mængden af TiO₂ i betonen er af større betydning for effektiviteten end f.eks. typen af TiO₂ (anatase, rutil). Selv om der findes en mængde litteratur, som dokumenterer den fotokatalytiske effekt af TiO₂, så gøres der i (11) opmærksom på, at der ikke findes sikker viden om, hvilken intensitet den fotokatalytiske aktivitet skal have, for at en betonoverflade kan holdes konstant ren.

Aflejringer og udfældninger

Den luft som omgiver os og vore bygninger indeholder altid større eller mindre mængder af forurening. Forureningen kan være i form af partikler eller i form af gasarter, som kan give anledning til et ændret udseende af betonkonstruktioner ved aflejring eller reaktion med betonoverfladen. Ligeledes indeholder atmosfæren naturligt kuldioxid, som kan påvirke udseendet af beton gennem reaktion med betonoverfladen.

Smuds fra forurening

Uanset hvor på jorden en bygning befinder sig, vil den være udsat for et miljø, hvori der forekommer luftforurening i form af partikler. Denne luftforurening består af naturlige såvel som menneskeskabte partikler. De naturlige partikler kan være f.eks. pollen, bakterier og vulkansk aske, mens de menneskeskabte partikler stammer forbrænding, industriprocesser, og trafik (1,4). Partikler i luften inddeles normalt efter størrelse med 1 mikrometer som skillegrænsen (1). Partikler større end 1 mikrometer sedimenterer i atmosfærisk luft på grund af tyngdekraften, mens partikler mindre end 1 mikrometer er suspenderede i atmosfærisk luft. Der er naturligvis ikke tale om en skarp skillelinie imellem partikler, som sedimenterer og partikler som er i suspension. Partiklerne større end 1 mikrometer består hovedsageligt af naturligt støv (fra erosion), industrielt støv, vejstøv (dækslid, bremsebelægninger), aske og mindre mængder af ikke forbrændte brændsler (1,4). De finere partikler består hovedsageligt af organisk materiale (4).

De større partikler (> 1 mikrometer) kan ikke vedvarende fastholdes på lodrette overflader, men kun på flader der vender opad (1). De finere partikler derimod kan fastholdes uanset orientering af overfladen. Ifølge (4) sker fastholdelsen af de fine partikler som følge af mekaniske, kemiske eller fysiske kræfter. De mekaniske kræfter skyldes mekanisk "interlocking" og spiller ifølge (4) en dominerende rolle. Kemisk fastholdelse opstår, når der dannes en egentlig kemisk binding imellem partikel og overflade, mens fysisk fastholdelse kan f.eks. skyldes van der Waal's kræfter eller elektrostatiske kræfter (4).

Hvis overfladen er fugtig hænger smuds bedre ved, hvilket kunne tyde på at hydrogenbinding spiller en rolle.

Der er ikke fundet litteratur som direkte relaterer mikrostruktur/-design til hastigheden og graden af tilsmudsning af beton. I (1) nævnes det dog at beton af dårlig kvalitet vil blive mere tilsmudset mv. end tæt beton. Tæt beton er beton med lavt v/c tal, mens dårlig kvalitet beton højt v/c tal og/eller dårlig udførelse.

Kuldioxid

Lyse misfarvninger på betonoverflader skyldes næsten altid udfældninger af kalk (calciumkarbonat). Udfældninger sker som følge af reaktion mellem atmosfærens kuldioxid og calciumhydroxid i cementpastaen. Veludførte betonoverflader, som har en ensartet sammensætning, har været gennem en god curing, samt i øvrigt er fri for defekter, bør ikke have problemer med kalkudfældninger.

Ofte ses det, at et tyndt lag af kalk forsvinder med tiden, idet regnvand (ofte svagt surt) langsomt opløser kalken.

Kalkudfældning på betonoverflader forudsætter at betonen og dens overflade er tilstrækkelig fugtig til at transportere calciumioner til overfladen hurtigere end kuldioxid kan diffundere ind i betonen.

Nedbrydning

Nedbrydning af betonoverflader kan ske såvel fysisk som kemisk. De fysiske årsager til nedbrydning af betonoverflader er vind og vand erosion, mens syreregn er den væsentligste årsag til kemisk nedbrydning. Biologisk aktivitet kan også i visse tilfælde forårsage nedbrydning eller medvirke til øget nedbrydning af overflader.

Vanderosion (udludning)

Rindende vand virker generelt rensende på en betonoverflade (1), idet støv og andet snavs skylles væk fra overfladen. Når vand (primært regnvand) bevæger sig over en betonoverflade, sker der imidlertid også en fjernelse af det yderste lag cementpasta. Cementpastaen forsvinder som følge af udludning. Alkalier fjernes, mens calciumhydroxid og silikat og aluminatfaserne opløses gradvist, således at der ved ligevægt kun findes hydrater af silicium, jern og aluminium, mens al calcium er forsvundet (2). Den væsentligste faktor for denne nedbrydning af betonoverfladen er overfladens tæthed (porøsitet). Jo tættere overfladen er des langsommere vil vanderosionen blive (1,2,3, 10). Det er kendt fra betontechnologi i al almindelighed at betons tæthed afhænger af vandcementtallet, således at lavere v/c-tal giver større tæthed. Anvendelse af meget fine filler- eller pozzolanmaterialer som f.eks. mikrosilika giver også beton med større tæthed.

Et godt eksempel på vanderosion findes i (3) på side 14, hvor man kan se, hvordan vand, som er løbet fra kanterne af et vindue, har fjernet cementpastaen fra betonoverfladen i lodrette spor.

En betonoverflade med zoner af varierende v/c-tal vil altid ælde uens, idet zonerne med højt v/c-tal vil eroderes hurtigere af vand end zoner med lavere v/c-tal. Ligeledes vil en sådan overflade opsuge og afgive vand med forskellige hastighed hvilket også vil give et spættet udtryk (1,10).

Ved forsøg med kalksten blev det fundet at den kraft hvormed regndråber under slagregn ramte overfladen kunne forårsage at små flager blev slået af overfladen (12). Hvis dette fænomen kan forekomme for kalksten, er der også en vis sandsynlighed for, at det kan forekomme for beton.

Vinderosion

Det har ikke været muligt at skaffe oplysninger i litteraturen om betydningen af vinderosion. Mekanismen skønnes dog også at have beskeden indflydelse på ældningen af beton i Danmark. I lande med f.eks. sandstorme eller hvor der iøvrigt optræder betydelige mængder af vindbårne hårde partikler, vil mekanismen formodentlig være af større betydning.

Syreregn

Syre har i princippet den samme effekt som vand på beton (2). Effekten af syre er bare større end effekten af vand. Cementpastaens bestanddele nedbrydes af syren, og ligevægtstilstand vil være hydrater af silicium, jern og aluminium, mens al calcium er forsvundet. Syrer, f.eks. svovlsyre og fosforsyre, der danner relativt uopløselige produkter er mindre aggressive end syrer, f.eks. saltsyre og salpetersyre, som ikke danner uopløselige produkter med cementpastaens bestanddele (2).

Ligesom det er tilfældet for udludning så effekten af syre afhængig af betonoverfladens tæthed. Dvs. at alt andet lige så vil lave v/c-tal give en mere bestandig overflade. Sagt på en anden måde så er større mængder pulver i pastaen fremmede for bestandigheden, idet der så vil være mere materiale som skal omdannes, nedbrydes eller opløses, hvorfor nedbrydningshastigheden vil være langsommere. Således er beton med lavt indhold af cement pr kubikmeter beton mindre modstandsdygtige overfor syreangreb end beton med højt indhold af cement pr kubikmeter beton.

Syreætsning af betonelementoverflader er i princippet en kontrolleret accelereret ældning af overfladen, hvor cementpastaen fjernes i et jævnt lag fra overfladen således at det fine tilslag fritlægges.

Biologisk aktivitet

I (8) er der gennemgået mekanismer for mikrobiel nedbrydning af uorganisk materiale. Han nævner visse mikroorganismers kan udskille stoffer (CO_2 , HNO_3 , H_2SO_4 , H_2S , m.fl.) som direkte er eller kan blive til syre som vil nedbryde cementbundne overflader.

(8) beskriver også hvorledes mikroorganismer anvender exoenzymer til nedbrydning af organisk materiale til enheder som mikroorganismene kan fortære. Mikroorganismene kan ikke eksistere på en rent uorganisk overflade, men hvis overfladen som materialet er lavet af indeholder organiske tilsætningsstoffer så øges muligheden for at mikroorganismer kan få fodfæste, idet mikroorganismernes exoenzymer nu har noget som de kan angribe og omdanne til føde for mikroorganismene.

Mikroorganismer kan også bidrage til nedbrydning ved blokering af poresystemet i porøse materialer som f.eks. beton (8). Ved at blokere poresystemet kan fugt få svært ved at slippe ud og materialet er mere udsat for f.eks. frost/tø-skader.

Desværre relaterer (8) ikke de forskellige mikrobielle nedbrydningsmekanismer til en betonoverflades mikrodesign.

Sammenfatning

Helt generelt peger den eksisterende viden i retning af at tættere overflader er mere modstandsdygtige overfor enhver type af ældningsmekanisme.

Ligeledes nævnes homogenitet af overfladen som væsentlig for en ensartet ældning - og ensartet ældning er normalt det der tilstræbes. I både (1) og (10) gøres der klart opmærksom på at hvis en glat betonoverflade ikke er perfekt og homogen på grund af variationer i f.eks. porøsiteten som følge af små variationer i overfladens vandcementtal, må man i alle tilfælde forvente uens ældning af overfladen. På overflader med fritlagt tilslag (syrevaskning, sandblæsning, mv) vil eventuelle variationer i cementpastaens porøsitet derimod ikke træde så tydeligt frem.

Det bedste/mest modstandsdygtige betonoverflade bør således være overflade med homogent og lavt v/c tal over hele den eksponerede overflade.

Referencer

1. Hawes, F., "The weathering of concrete buildings", Appearance matters 6, Cement and Concrete Association, 1986.
2. Taylor, H.F.W., "Cement Chemistry", 2nd ed., Thomas Telford Publishing, 1997.
3. "Aesthetic durability of white concrete structures", Aalborg Portland, Sep. 2004.
4. Møller, E.B., "Hygrothermal performance and soiling of exterior building surfaces", Ph.D. Thesis, Report R-068, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, 2003.
5. Frambøll, C. et al., "Renere teknologi til undgåelse af biologisk på murværk, tegl- og betontage" - Hovedrapport, Miljøstyrelsen, Miljørapport Nr. 784, 2003.
6. Dubosc, A. et al., "Characterization of biological stains on external concrete walls and influence of concrete as underlying material", Cement and Concrete Research, 31, 2001, pp. 1613-1617.
7. De Graef, D., et al., "A sensitivity study for the visualisation of bacterial weathering of concrete and stone with computerised X-ray microtomography", Science of the Total Environment, 341, 2005, pp. 173-183.
8. Sand, W., "Microbial Mechanisms of Deterioration of Inorganic Substates - A General Mechanistic Overview", International Biodeterioration & Biodegradation, 40, 2-4, 1997, pp. 183-190.
9. Guillitte, O., Dreesen, R., "Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials", the Science of the Total Environment, 167, 1995, pp. 365-374.
10. Gilchrist Wilson, J., "Chapter 2 - Concrete" in "The Weathering and Performance of Building Materials" ed. by Simpson, J.W. and Horrobin, P.J., Medical and Technical Publishing Co. Ltd, Aylesbury, Bucks, UK, 1970.
11. Bolte, G., "Photocatalysis in cement-bonded building materials", Cement International, 3, 2005.
12. Tang, W., et al. "Erosion of limestone building surfaces caused by wind-driven rain: 1. Field measurements", Atmospheric Environment, 38, 2004, pp. 5589-5599.