

18 Betonkonstruktioners tilstand

Af Christian Bøgh Jøns Nielsen



Fastlæggelse af en betonkonstruktions tilstand er en forudsætning for at kunne gennemføre en vurdering af restlevetid og træffe en fornuftig beslutning om reparation og vedligehold. Omkostningerne til fastlæggelse af tilstanden vil ofte kun udgøre en brøkdel af de samlede udgifter.

Tilstanden kan beskrives ved en række parametre, som er væsentlige for konstruktionens funktion, holdbarhed og æstetik. De væsentligste parametre for den enkelte konstruktion eller konstruktionsdel varierer afhængigt af hvilke krav, der stilles til konstruktionen.

Tilstandsbeskrivelsen omfatter typisk, hvorvidt funktionen og holdbarheden er intakt, og om der er observeret skader. Tilstandsbeskrivelsen kan indeholde en kortlægning af omfanget af skader og en afklaring af skadesårsagen. Det kan kræve anvendelse af forskellige undersøgelsesmetoder. Det er afgørende, at skadesårsagen afklares, for at kunne foretage indgreb, der kan hindre yderligere skadesudvikling.

Ofte opdeles tilstandsbeskrivelsen i faser, hvor en visuel del gennemføres hurtigt (i vejreglerne for broer kaldet et Generaleftersyn), og hvis der konstateres skader gennemføres efterfølgende en mere omfattende tilstandsbeskrivelse med anvendelse af måleudstyr og prøveudtagning (i vejreglerne for broer kaldet et Sæeftersyn).

En beskrivelse af en konstruktions tilstand bør i henhold til DS/EN 1504-9 som minimum omfatte følgende:

- Den eksisterende betonkonstruktions synlige tilstand
- Prøvning til bestemmelse af betonens og armeringens tilstand
- Det originale design-princip
- Miljøet, herunder eksponering mod forurening
- Betonkonstruktionens historik, herunder den miljømæssige eksponering
- Anvendelsesforhold (fx belastning)
- Krav til konstruktionen i forbindelse med fremtidig anvendelse.

Tilstanden ændres med tiden, og ændringen i tilstanden er afhængig af konstruktionens design, udførelsen og ikke mindst den påvirkning, konstruktionen efterfølgende udsættes for. Den første gennemgang af en konstruktion efter opførelsen kan betragtes som en undersøgelse af konstruktionens initiale tilstand, hvor "som udført" kvaliteten kan vurderes. Efterfølgende kan med jævne mellemrum gennemføres en række tilstandsundersøgelser, hvor udviklingen i tilstanden i forhold til den aktuelle miljømæssige påvirkning kan fastlægges. Ofte bliver tilstanden af en konstruktion dog først efterspurgt, når der observeres synlige skader.

18.1 Design, specifikationer og udførelse

Design, specifikationer og udførelse skal imødegå de forskellige påvirkninger, som konstruktionen udsættes for i den planlagte levetid. Hvis enten designet, specifikationerne eller udførelsen ikke er hensigtsmæssig, er der stor risiko for at konstruktionens ydeevne ikke er tilfredsstillende – svarende til at tilstanden hurtigt forværres.

Fejl i designet i form af underdimensionering - fx utilstrækkelig armeringsmængde eller for lav betonstyrke – kan vise sig på konstruktionen i form af nedbøjninger og revnedannelse, hvorfor disse observationer altid bør give anledning til yderligere undersøgelser.

Designet kan også have betydning for den æstetiske ældning af konstruktionen, hvor fx uhensigtsmæssigt afløb af vand kan give misfarvninger på overfladerne.

I forbindelse med opførelsen af konstruktionen kan det ske, at specifikationerne ikke følges. Fx kan der ved en fejl anvendes en forkert betontype. Denne type fejl er vanskelige at konstatere ved en visuel tilstandsvurdering og vil typisk kræve udboring af borekerner til analyse.

Under udførelsen kan der også ske fejl. Typiske fejl i denne sammenhæng er en utilstrækkelig komprimering af betonen (fx stenreder), forkerte dæklag og revnedannelse som følge af utilstrækkelig udtørningsbeskyttelse. Stenreder og revner kan observeres visuelt – dæklag kræver måling (med mindre dæklaget er nul).

Konstruktionens "som-udført" tilstand er således betinget af en række faktorer som enten vedrører strukturel integritet (konstruktionen) eller materialets (betonens) integritet. Dette vil normalt omfatte:

Strukturel integritet:

- Geometri
- Dimensionering
- Armeringsplacering
- Hulrum/stenreder i betonen
- Afskalninger i overflade
- Revner
- Vedhæftning i samlinger.

Betonens integritet:

- Betonens sammensætning
- Densitet
- Homogenitet
- Permeabilitet
- Styrke
- Fryse-tø modstandsevne.

18.1.1 Eksempler på skader fra design- og udførelsesfejl



Figur 1. Revnedannelse i tungt trafikeret terrændæk. Revnedannelsen skyldes, at dækket er utilstrækkeligt armeret omkring brønden og derfor ikke kan modstå belastningerne fra den tunge trafik.



Figur 2. Forkert valg af materialer til konstruktion nær havvand. Afstandsklodser i plastik trækker sig sammen, hvilket betyder, at chlorider og fugt har adgang til armeringen, hvilket igen medfører rustudfældninger på betonoverfladen.



Figur 3. Plastiske svindrevner (udtørringssvind) i etagehusdæk. Specifikationerne foreskrev i dette tilfælde en meget cementrig beton, hvilket betød, at normale forholdsregler mod udtørringssvind ikke var tilstrækkelige. Tidligere etablering af udtørningsbeskyttelse og/eller etablering af vindafskærmning kunne her have afhjulpet problemet.



Figur 4. Stenreder i betonvæg. Stenreder af denne type kan opstå som følge af manglende komprimering af betonen, eller de kan skyldes for lille dæklag i relation til betonens maksimale stenstørrelse.



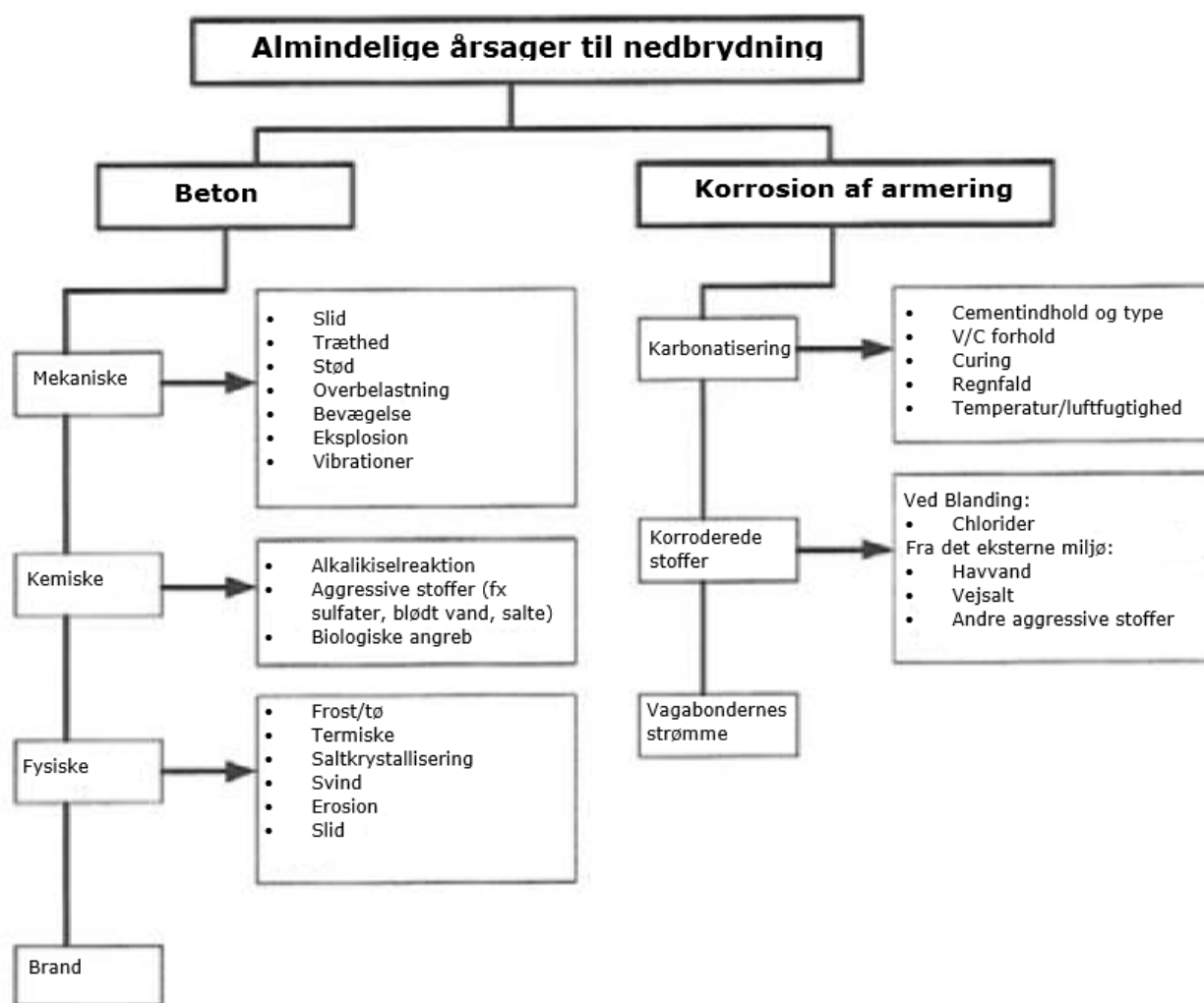
Figur 5. Afskalninger i overflade af nystøbt væg. Afskalningerne er dannet ved afformning, hvor betonen har hængt ved forskallingen, formentlig fordi denne ikke har været tilstrækkeligt smurt med formolie.

18.2 Nedbrydning

En negativ udvikling af en konstruktions tilstand kaldes for nedbrydning, især hvis den negative udvikling går hurtigt.

Årsagerne til hurtig nedbrydning kan være mange, men vil ofte skyldes valg af en for dårlig beton til formålet, fx med forkert cementtype, for højt vand/cement-forhold eller for ringe kvalitet tilslag.

En oversigt over almindelige årsager til nedbrydning findes i DS/EN 1504-9. En sådan oversigt vil næppe være korrekt i alle tilfælde og dens indhold kan altid diskuteres. Fx er såvel slid som eksplosion en mekanisk påvirkning, men hvor den ene må forventes er den anden normalt en ulykkeslast.



Figur 6. Almindelige årsager til nedbrydning i betonkonstruktioner i følge DS/EN 1504-9. Figurens indhold kan diskuteres og er hverken fyldestgørende eller korrekt i alle tilfælde, men kan udmærket anvendes til inspiration.

Nedbrydningsfaktorer med æstetisk betydning som begroninger, snavs, fugtskjolder og udfældninger, kan være så skæmmende at det må henregnes til nedbrydning.

Hærværk – fx i form af graffiti – regnes af mange bygherrer som en slags nedbrydning, der kræver et indgreb.

De egenskaber ved konstruktionen, der skal undersøges i tilstandsundersøgelsen, afgøres typisk efter en indledende visuel besigtigelse af konstruktionen, hvor den generelle tilstand og evt. synlige skader og nedbrydningstegn registreres. Ud fra disse observationer og andet baggrundsmateriale udvælges de egenskaber ved konstruktionen, som skal undersøges i detaljer.

I det følgende afsnit foretages en gennemgang af de vigtigste skader og nedbrydningskendetegn, der visuelt kan observeres på betonkonstruktioner. De nedbrydningsmekanismer, der er årsag til betonskaderne, beskrives kun ganske kort, idet en nærmere beskrivelse heraf kan findes i kapitel 19 om betons holdbarhed.

Nedbrydningskendetegnene er i de efterfølgende eksempler inddelt i følgende kategorier:

- Afskalning og smuldring
- Blotlægning af tilslag
- Springere
- Alkalikisel-gel
- Revner
- Udfældninger
- Overflademisfarvning
- Korrosion
- Begroning.

18.2.1 Afskalning og smuldring

Ved afskalninger forstås, at sammenhængende stykker eller flager (typisk i en størrelse på ca. 1 til 10 (-20) cm i tværmål) falder af betonens overflade. Årsagerne til en afskalning kan være mange, eksempelvis korroderende armering, frostangreb, brandpåvirkning, kemisk nedbrydning eller manglende bevægelsesmuligheder for betonen.

Ved smuldring omdannes betonoverfladen til småstykker (typisk mindre end ca. 1 cm i tværmål) af sand og sten. Smuldring kan eksempelvis skyldes frostangreb samt angreb af sulfat eller andre salte.



Figur 7. Afskalning over armering. Armeringsparallelle revner ses på bjælkens lodrette side og på underside. Revner og afskalninger af denne type vil ofte være forårsaget af korroderende armering. Under afskalningerne kan der observeres korroderet armering, og på overflader og i revner kan der ofte observeres brunlige udfældninger (rust).



Figur 8. Afskalning i underside af dæk. Korrosionsprodukter fra armeringen har sprængt dæklaget af. Armeringen er her udført med for lille dæklag.



Figur 9. Afskalning i loft forårsaget af armeringskorrosion. Karbonatiseret beton samt utæt membran (vandindtrængning) er årsag til armeringskorrosionen.



Figur 10. Afskalning i top af søjle ved samling mellem søjle og dæk. I dette tilfælde er der tale om en bevægelsesbetinget afskalning pga. manglende bevægelsesmuligheder for betonen. Der ses her ingen armeringskorrosion eller synlig armering på bagside af afskalning.



Figur 11. Afskalning forårsaget af frostangreb.



Figur 12. Smuldret betongulv i en kemifabrik forårsaget af kemisk nedbrydning af betonoverfladen.



Figur 13. Kraftigt afskallet beton forårsaget af brandpåvirkning.



Figur 14. Smuldret beton. Alkalikiselreaktioner har skabt revner i betonen, hvor fugtpåvirkning og frostangreb har ført til en omfattende smuldring af betonen.

18.2.2 Blotlægning af tilslag

Tilslagene i betonkonstruktioners overflader risikerer ved forskellige fysiske og kemiske påvirkninger at blive blotlagt. Ved blotlægning af tilslag "bortvaskes" eller opløses cementpastaen mellem tilslagene på konstruktionens overflade, hvorved tilslagene træder tydeligt frem. Årsagen kan være kemisk påvirkning, eksempelvis i forbindelse med syreangreb eller røggasser fra skorstene, men den kan også være fysisk betinget, eksempelvis i forbindelse med erosion, frostangreb eller saltkrySTALLISATION.



Figur 15. Fysisk betinget blotlægning af tilslag på betonoverflade forårsaget af erosion fra rindende vand.



Figur 16. Eksempel på blottægning af tilslag, som er forårsaget af en kemisk nedbrydning af cementpastaen mellem tilslagene.



Figur 17. Blotlagt tilslag på betongulv i kunstgødningsfabrik. Kemisk nedbrydning.

18.2.3 Springere

Springere forårsages af ekspanderende tilslag i betonen – oftest som følge af frostangreb, hvor en porøs sten i tilslaget har suget vand og efterfølgende ved frysning skudt et kegleformet legeme af betonooverfladen.

Diameteren i overfladen på det kegleformede hul, som en springer efterlader i betonen, varierer typisk mellem 5 og 100 mm. Springere kan også skyldes alkalikiselreaktioner. Hvis alkalikiselreaktionen foregår i et tilslagskorn, der ligger tæt på overfladen, kan overfladen over tilslagskornet sprænges af. Desuden kan kemisk ikke-stabile tilslagskorn som lerjernsten, svovlkis m.m. forårsage springere.



Figur 18. Springere i tå af facadeelement forårsaget af frostpåvirkning. Disse har kun kosmetisk betydning for konstruktionen.

18.2.4 Alkalikisel-gel

Alkalikiselreaktioner kan være et alvorligt problem i betonkonstruktioner, idet en eventuel kraftig medfølgende revnedannelse kan nedsætte betonens styrke og "åbne" betonen op for andre nedbrydningsmekanismer.

Revner, som er opstået pga. alkalikiselreaktioner, vil ofte være særligt synlige med lyse eller mørke rande, som skyldes udsivende alkalikisel-gel. Ved kontakt med atmosfærisk luft sker der en karbonatisering af gelen, og det kan derfor være svært at skelne mellem gel-udfældninger og andre karbonatudfældninger på overfladen.

Alkalikisel-gel er et harpikslignende materiale, som imprægnerer betonens porer, så revnerne synes våde. Alkalikisel-gelen er vandopløselig, så hvor betonoverflader er udsat for slagregn, kan alkalikisel-gel sjældent observeres, idet den vaskes bort af regnen.



Figur 19. Udsivende alkalikisel-gel på kantbjælke af vejbro.



Figur 20. Udsivende alkaliskisel-gel i bjælke til tagudhæng.

18.2.5 Revner

Revner i beton kan have mange årsager, og deres betydning for betonkonstruktioners nedbrydning kan være meget forskellig afhængigt af revnernes størrelse og type.

Det er vigtigt at erkende, at hvis et armeringsjern i beton udsættes for en trækraft og dermed en forlængelse, vil der fremkomme revner i betonen på tværs af armeringsstangens retning. Disse revner (ofte kaldet statiske revner) skabt af belastninger er en del af armeret betons natur, og de kan kun undgås ved forspænding af armeringen. Statiske revners størrelse og fordeling kan i nogen grad styres ved en passende (stor) mængde armering.

Herudover er de mest almindelige årsager til revnedannelser i beton alkaliskreaktioner, armeringskorrosion, frostangreb, udtørring i tidlig alder, og langtidssvind. Desuden kan manglende armering medføre store revner. Større revner bør derfor altid medføre fokus på, om konstruktionen har den fornødne bæreevne.



Figur 21. Revner forårsaget af alkaliskreaktioner i endevederlag til bro. De mørke randzoner omkring revnerne er et typisk kendetegn for revner forårsaget af alkaliskreaktioner.



Figur 22. Lodret orienterede revner i kælderydervæg, som ses for ca. hver anden løbende meter. Revnerne er opstået enten på grund af udtørringssvind eller på grund af for stor temperaturforskel mellem væg og den underliggende konstruktion under hærkning (termorevner).



Figur 23. Revner/delamineringer i svalegangsdæk forårsaget af frost/tø-påvirkning. Delamineringer af denne type kan være "skjulte" på konstruktioner med dækkede lodrette flader, men her kan det observeres på forkanten af svalegangsdækket.



Figur 24. Kraftige revner i sandwichelementer radierende fra hjørner af vinduesåbninger; såkaldte kærrevner. Opstået som kombination af svind og utilstrækkelig armering omkring hjørner.



Figur 25. Revne i konsol forårsaget af armeringskorrosion. Beton er karbonatiseret og fugt-påvirket.



Figur 26. Utæt hjørnesamling i vægge til dambrug. Revner er opstået pga. konstruktionens manglende evne til at optage de temperaturbetingede bevægelser. Væggene er sammenhængende over en strækning på 72,5 m, og der er ikke anvendt dilatationsfuger.

18.2.6 Udfældninger

På betonkonstruktioner, som er udsat for gennemsivende vand, kan der dannes drypsten på undersiden af konstruktionen eller belægninger på konstruktionsdelenes lodrette flader. Disse udfældninger vil oftest bestå af kalk, som dannes ved, at det gennemsivende vand bringer calciumhydroxid med ud til overfladen, hvor calciumhydroxiden reagerer med luftens kuldioxid og omdannes til calciumcarbonat.

Gennemsivninger med kalkudfældninger sker gennem revner eller utætte fuger/samlinger i betonen og kun gennem selve betonen, hvis denne har støbefejl eller er af meget dårlig kvalitet.

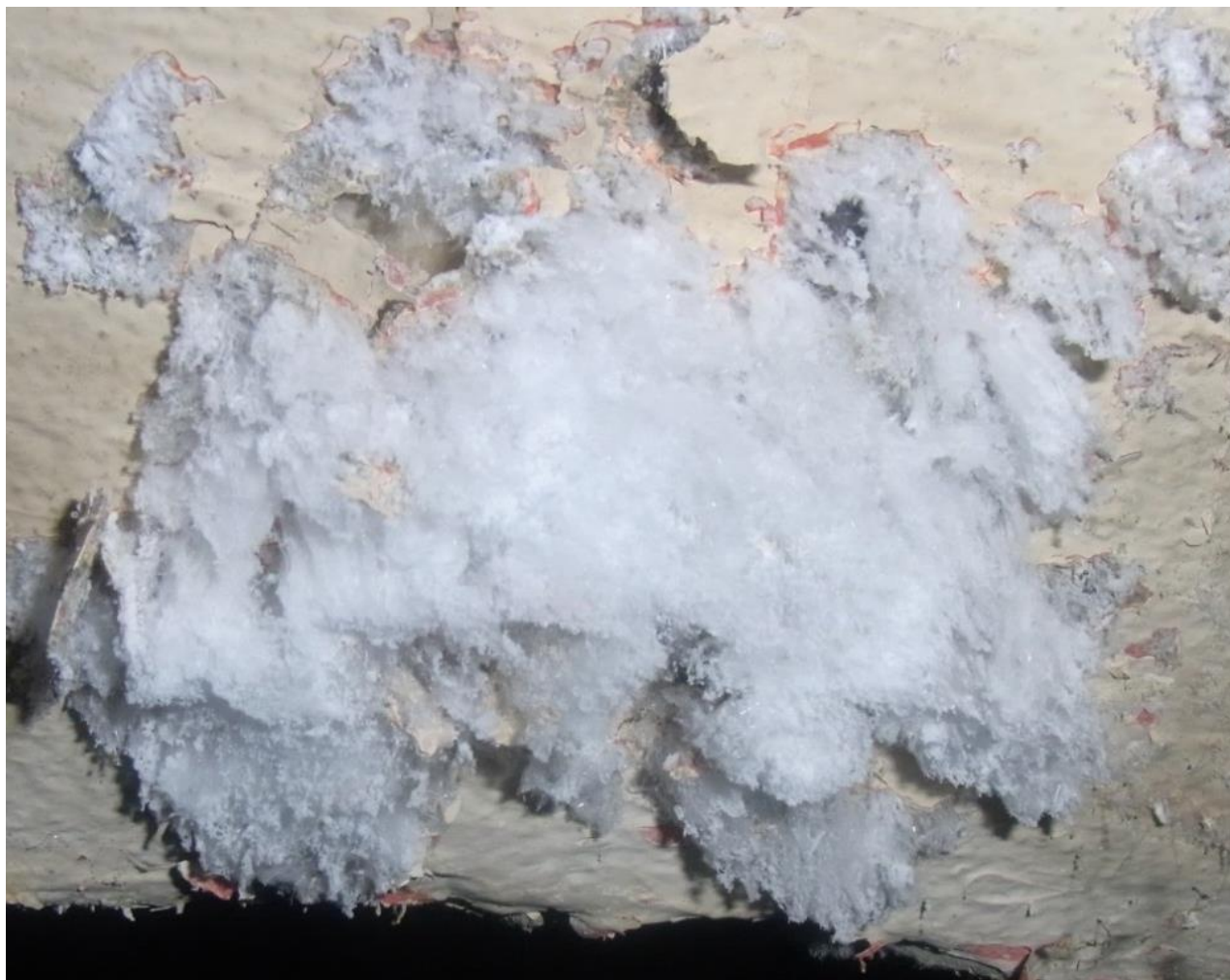
I mere sjældne tilfælde ses afsætninger, som er dannet af chloridholdige salte. Disse tilfælde ses typisk omkring svømmebassiner eller under betonkonstruktioner, som udsættes for tørsaltning, eksempelvis broer, men kan også observeres i forbindelse med marine konstruktioner som f.eks. på havneanlæg og bropiller.



Figur 27. Gennemsivninger med kalkudfældninger i dæk under gårdkælder. Udfældninger ses i revner og i støbeskel mellem dæk og betonreparation. En utæt membran på oversiden af dækket er årsag til gennemsivningerne.



Figur 28. Drypsten i samlinger mellem huldækelementer samt kalkbelægninger på søjle og bjælke i P-kælder. En utæt membran på overside af dæk er årsag til gennemsivningerne.

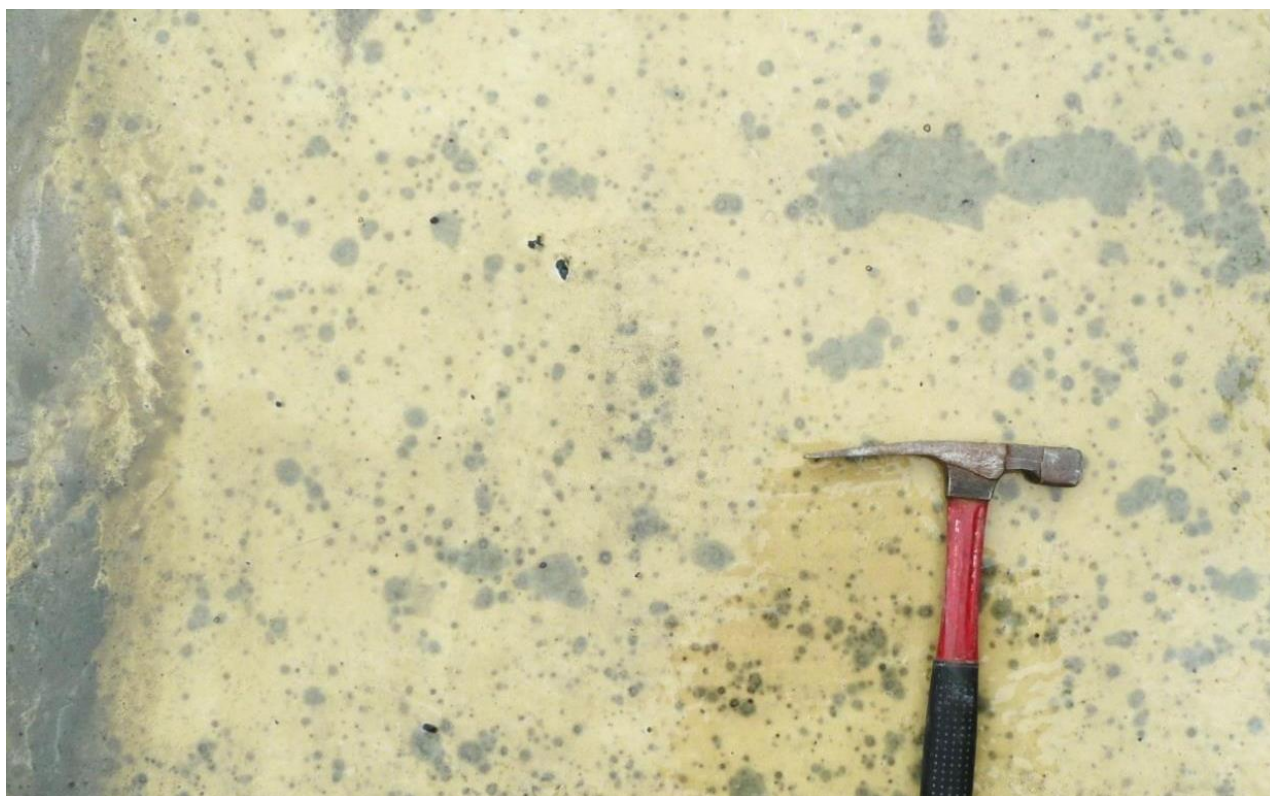


Figur 29. Saltudfældning (NaCl) på underside af bjælke i gårdkælder. Belægning på overside af betondæk tøsøltes, og membranen er utæt. Overhængende risiko for chloridindtrængt armeringskorrosion på grund af den ekstremt høje chloridkoncentration.

18.2.7 Overflademisfarvning

Ved overflademisfarvning forstås uacceptabelt store variationer af en betonoverflades farve. Nogle misfarvninger konstateres i forbindelse med afformning, hvor uensartet påføring af formolie, varierende betonsammensætning eller uensartet vibrering kan være årsager til misfarvningen. Der kan desuden være lokale variationer i vandtilførsel og luftfugtighed omkring betonoverfladen under udtørringen, hvilket kan skabe varierende grader af kalkudfældninger på betonoverfladen (kalken kommer inde fra den hærdende beton).

Overflademisfarvninger kan også opstå senere i betonkonstruktionernes levetid fx ved kalkudfældning eller udsvedning af alkalikisel-gel. Endelig kan kemiske påvirkninger eller begroinger og algevækst på betonoverflader være årsag til overflademisfarvninger.



Figur 30. Overflademisfarvning af betongulv i overløbsbassin på renseanlæg (kemisk påvirkning). Overflademisfarvningen udgør dels et æstetisk problem og giver dels en indikation af, at der er foregået en kemisk påvirkning, som afhængig af dennes type, kan medføre nedbrydning af betonen på et senere tidspunkt.



Figur 31. Rød og sort misfarvning af hvid betonfacade. Misfarvningen skyldes algevækst på overfladen. Variationen i algevækst og algetype skyldes variation i temperatur- og fugtforhold.



Figur 32. Tilslag af lerjærnsten giver rustfarvede udfældninger på betonoverfladen. Selv om denne type rustudfældning er en skade af rent kosmetisk art, kan den være meget generende på konstruktioner, hvor betonens udtryk er afgørende.

18.2.8 Korrosion

Armering i beton er som udgangspunkt beskyttet mod korrosion af selve betonen, som på grund af sin høje pH-værdi giver anledning til dannelse af en passiv film på armeringen. Denne passiv-film kan nedbrydes ved, at cementpastaen karbonatiserer, og ved at chlorider trænger ind til armeringen i en kritisk høj koncentration. Desuden kræves en tilstrækkelig fugtighed. De to typer af korrosion viser sig forskelligt og har forskellig farlighed.

Karbonatiseringsinitieret armeringskorrosion giver ofte anledning til afskalning af dæklaget over det sted, hvor armeringen rustner, og er således ofte nem at opdage.

Chloridinitieret armeringskorrosion kan foregå lokalt og – især på konstruktioner under vand med begrænset iltadgang – være sværere at opdage, da der ikke altid opstår afskalninger eller revnedannelser. Der er således risiko for, at der opstår lokale tværsnitsreduktioner i armeringen, hvorved konstruktionens bæreevne reduceres, uden det kan ses på betonkonstruktionens overflade.



Figur 33. Korrosion i indstøbt scepterfæste for rækværk på svalegang. Højt chloridindhold i betonen, som stammer fra tørsaltning af svalegangen er i dette tilfælde årsag til korrosionen.



Figur 34. Korrosion på stålprofiler i betondæk over gårdkælder. Højt chloridindhold i betonen pga. tørsalting af overliggende belægning samt adgang for fugt pga. utæt membran.



Figur 35. Armeringskorrosion i søjle har forårsaget dannelse af grove lodrette revner (parallelt med hovedarmering) og begyndende afskalninger og løstsiddende beton (dæklaget er lokalt fjernet ved behugning). Årsagen er her en kombination af højt chloridindhold i betonen samt karbonatiseret beton i armeringsniveau. Der er her tale om tydelig overfladerust, men stadig uden betydende tværsnitsreduktioner af armeringen.

18.2.9 Begroning

Vegetation, der vokser tæt op af betonkonstruktioner, kan medføre et lokalmiljø, som er anderledes end det miljø, som betonen er proportioneret efter. Dette kan føre til nedbrydning af betonen.

Eksempelvis kan begroning på en betonoverflade medføre, at betonen bliver opfugtet, og såfremt betonen ikke ved hjælp af indblandet luft er proportioneret således, at den kan tåle frysning i vandmættet tilstand, vil den nedbrydes. Yderligere kan vegetation på, under eller ved betonkonstruktioner forårsage fysiske skader på betonen.



Figur 36. Vegetation i revne accelererer nedbrydningen af betonen.



Figur 37. Mos- og lavdannelse på betonoverflader kan medføre øget nedbrydning pga. forøget fugtbelastning, men i mange tilfælde er der blot tale om et problem af æstetisk karakter.

18.3 Referencer

- [1] Håndbog om tilstandsvurderinger, december 2013. Findes bl.a. også som App på Apple Store.
- [2] EN 1504-1 Produkter og systemer til beskyttelse og reparation af betonkonstruktioner - Definitioner, krav, kvalitetskontrol og vurdering af overensstemmelse - Del 1: Definitioner.
- [3] 13 Betonsygdomme.