



Eftersyn af Bygværker- bilag D.5

Vejledning til tilstandsvurdering af alkaliskeskadede bygværker

Jensen, Lene Højris ; Hansen, Kurt Kielsgaard; Grell, Bent ; Barbosa, Ricardo Antonio

Publication date:
2019

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Jensen, L. H., Hansen, K. K., Grell, B., & Barbosa, R. A. (2019). *Eftersyn af Bygværker- bilag D.5: Vejledning til tilstandsvurdering af alkaliskeskadede bygværker*. Vejdirektoratet.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

HÅNDBOG

EFTERSYN AF BYGVÆRKER – BILAG D.5 VEJLEDNING TIL TILSTANDSVURDERING AF ALKALIKISELSKADEDE BYGVÆRKER

JULI 2019

FORORD

Nærværende bilag til håndbogen "Eftersyn af Bygværker" omhandler tilstandsvurdering af alkaliselskadede bygværker.

Bilaget "Vejledning til tilstandsvurdering af alkaliskelskadede bygværker" er udarbejdet af Vejdirektoratet i samarbejde med DTU BYG.

Bilaget er udarbejdet af følgende personer:

Lene Højris Jensen, Vejdirektoratet
Kurt Kielsgaard Hansen, DTU BYG
Bent Grell, Grell Consult
Ricardo Antônio Barbosa, DTU BYG

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	INDLEDNING	3
2	UNDERSØGELSE SOMFANG	4
3	INDLEDENDE VISUEL BESIGTIGELSE	5
4	GRUNDLÆGGENDE UNDERSØGELSER	6
5	DETALJEREDE UNDERSØGELSER	9
6	UNDERSØGELSER OG MINIMUM ANTAL BETONKERNER	12
7	REFERENCE	13

1 INDLEDNING

1.1 Formål

Baggrunden for dette bilag er at ensrette undersøgelser og tilstandsvurderinger af alkalikiselskadede bygværker, så rådgivende ingeniører og infrastrukturforvaltere har en fælles forståelse for omfang af de undersøgelser, der skal til for at sikre den økonomisk mest optimale tilstandsvurdering af alkalikiselskadede bygværker. Dette bilag angiver forskellige undersøgelsesmetoder, der mere eller mindre effektivt kan fastlægge bygværkets tilstand i forhold til alkalikiselreaktioner.

1.2 Anvendelsesområde

Dette bilag er gældende for betonbygværker i Danmark. Bilaget kan anvendes for diverse typer af konstruktionselementer - på både større og mindre bygværker.

1.3 Alkalikiselreaktioner

Alkalikiselreaktioner er komplekse fysiske og kemiske reaktioner mellem reaktive kiselholdige partikler i tilslaget og alkalier (Na^+ , K^+) i betonens porevæske. Alkalikiselreaktioner kan kun forekomme når følgende tre bestanddele er til stede samtidig i et basisk miljø (betonen):

- Reaktive partikler i tilslagsmaterialet (eksempelvis amorf kisel, som typisk ses i danske konstruktioner udført med reaktivt materiale)
- Alkalier (Na^+ , K^+) i betonens porevæske
- Vand eller høj relativ fugtighed

Revner og ekspansioner som følge af alkalikiselreaktioner vil kun opstå, hvis de tre nævnte bestanddele er til stede i en kritisk mængde i betonen samtidig. Såfremt én af de tre nævnte bestanddele ikke er til stede, vil der ikke forekomme alkalikiselreaktioner. Når alle tre bestanddele er til stede, vil reaktive partikler af amorf kisel opløses eller nedbrydes som følge af porevæskens høje pH-værdi og efterfølgende reagere med alkali-ioner (Na^+ , K^+ og Ca^{2+}). Ved reaktionen dannes et reaktionsprodukt, alkalikisegel, med et større volumen end de reagerede materialer pga. binding af vand. Dette medfører kraftige indre ekspansioner i betonen, der kan forårsage revner, når betonens trækstyrke overskrides. Revner i beton forårsaget af alkalikiselreaktioner kan have en signifikant negativ indflydelse på betonens materialeegenskaber.

2 UNDERSØGELSESONMFANG

Omfanget af undersøgelserne i forbindelse med særeftersyn af alkaliskeskadede bygværker skal aftales med bygherren. Omfanget skal tilrettelægges under hensyntagen til skadeshypoteser og fremtidige udbedringsstrategier. Der skal som udgangspunkt altid foretages en indledende visuel besigtigelse af bygværket herunder gennemgang af eventuelle tidligere undersøgelser inden fastlæggelse af særeftersynets omfang.

Den indledende visuelle besigtigelse er primært en grundig, visuel og systematisk gennemgang af bygværkets konstruktionselementer. Den indledende besigtigelse fokuserer primært på visuelle indikationer og forhold, som kan være forårsaget af alkaliskereaktioner. På baggrund af den indledende besigtigelse aftales særeftersynets omfang og art. Særeftersyn af revneskadede bygværker har bl.a. til formål at klarlægge årsagen til revnedannelser observeret i forbindelse med besigtigelsen herunder evt. skadesomfang og forventet videreudvikling af revneomfanget. I det omfang det er muligt, bør også eventuelle forventede følgeskader eller afledte skader såsom frostskeer og armeringskorrosion vurderes. I dette bilag inddeles undersøgelser af alkaliskeskadede bygværker i to kategorier: grundlæggende undersøgelser og detaljerede undersøgelser. Disse undersøgelseskategorier vil som udgangspunkt blive udført samtidigt i forbindelse med særeftersynet.

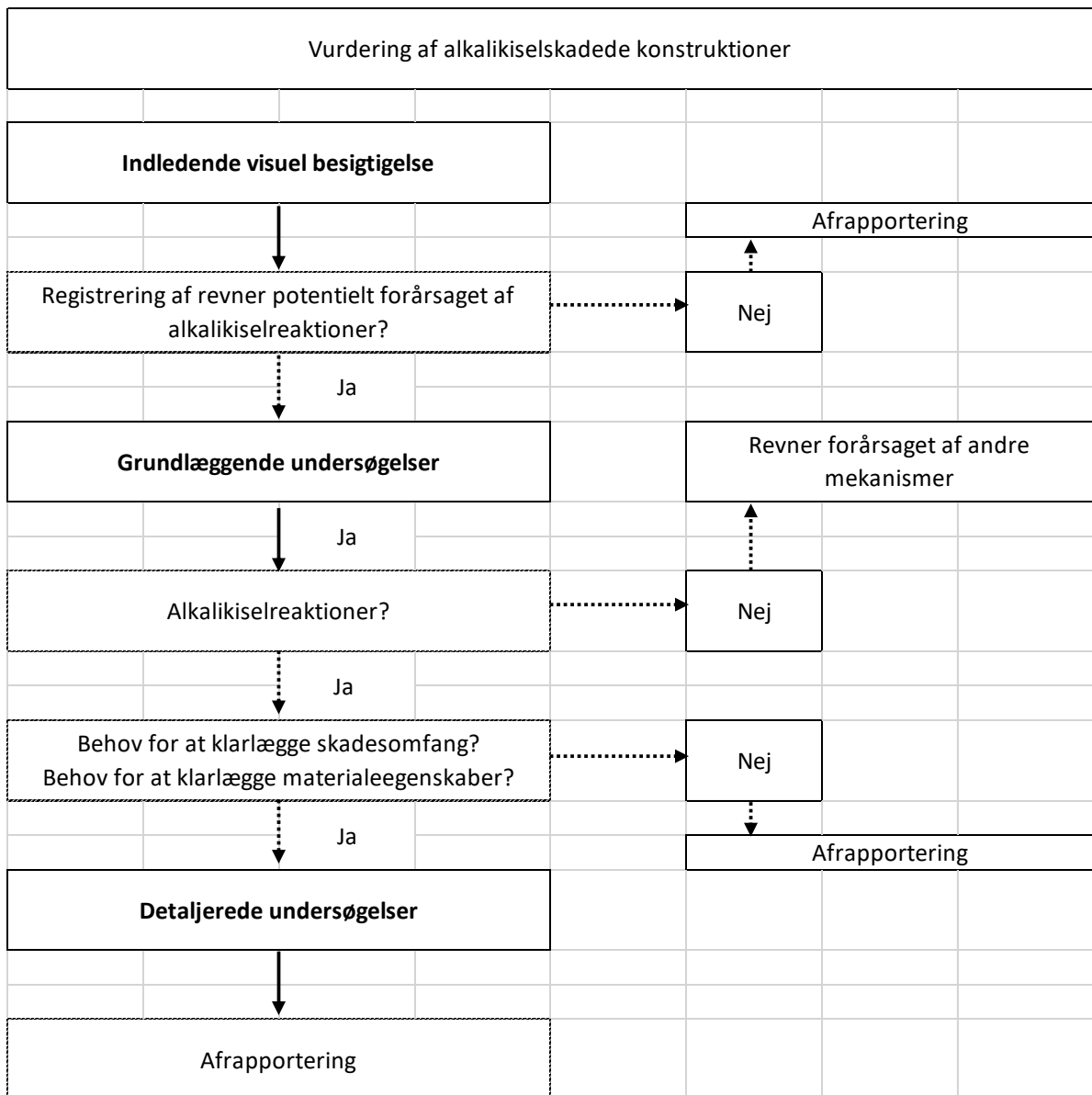
Grundlæggende undersøgelser

Grundlæggende undersøgelser har til formål at klarlægge om eventuelle revner kan bekræftes som værende forårsaget af alkaliskereaktioner. Endvidere skal årsagen til udvikling af alkaliskereaktioner på det undersøgte konstruktionselement klarlægges. I forbindelse med de grundlæggende undersøgelser skal der udtages betonprøver fra konstruktionselementet til videre undersøgelse i laboratorium. I forbindelse med de grundlæggende undersøgelser bør omfanget af indre revnedannelser på udtagne betonprøver bl.a. klarlægges. I dette bilag er der angivet retningslinjer til udtagning og håndtering af udborede kerner herunder antallet af udborede betonprøver, som minimum er nødvendigt for at udføre undersøgelserne.

Detaljerede undersøgelser

Som udgangspunkt bør der udtages tilstrækkelige betonprøver således at både grundlæggende og detaljerede undersøgelser kan udføres samtidigt. Antallet af udborede betonprøver skal aftales med bygherren under hensyntagen til økonomien og særeftersynets omfang samt det umiddelbare skadesomfang. De detaljerede undersøgelser har til formål at klarlægge skadesomfanget på konstruktionselementet baseret på besigtigelsen. Der kan bl.a. udføres destruktive samt ikke-destruktive målinger for at klarlægge omfanget af revner på konstruktionselementet. Såfremt det vurderes nødvendigt, bør der måles relevante materialeegenskaber af den alkaliskeskadede beton til estimering af konstruktionselementets bæreevne.

Oversigtsdiagrammet på Figur 1 viser sammenhængen mellem de tre undersøgelser; den indledende visuelle besigtigelse, grundlæggende undersøgelser og detaljerede undersøgelser. Figur 1 er et simplificeret trin-for-trin oversigtsdiagram, som beskriver metodikken for at opnå størst mulig viden om det undersøgte konstruktionselement. Som nævnte vil det som udgangspunkt være økonomisk og praktisk optimalt at udtage tilstrækkelige betonkerner til udførelse af både grundlæggende og detaljerede undersøgelser. Antallet af udborede betonprøver skal dog aftales med bygherren.



Figur 1: Simplificeret oversigtsdiagram over metodikken af undersøgelsesomfanget af alkaliskeskadede bygværker.

3 INDLEDENDE VISUEL BESIGTIGELSE

Den indledende besigtigelse består af en grundig, visuel og systematisk in-situ gennemgang af bygværkets konstruktionselementer. Den visuelle registrering benyttes til at fremhæve observationer, der potentielt kan være forårsaget af alkaliskereaktioner.

In-situ registreringer bør tilrettelægges under hensyntagen til vejret. Revner i beton fremstår tydeligere, når konstruktionselementet er overfladetør efter et regnskyl. In-situ registrering i tør periode kan føre til utilstrækkelig registrering af revner samt utilstrækkelig registrering af potentiel årsag til udefrakommende fugtbelastning til konstruktionselementet.

Følgende visuelle observationer skal registreres og kan indikere tilstedeværelsen af alkaliskereaktioner på det undersøgte konstruktionselement:

- Revner og misfarvning af betonoverflade langs revner.
- U hensigtsmæssige deformationer og forskydning af konstruktionselementet som kan være forårsaget af ekspansion.
- Fugttilførsel til konstruktionselementet.

- Det bør registreres om, der foretages periodevis saltning på eller i umiddelbar nærhed af konstruktionselementet.

For at overvåge udbredelsen af revner samt evt. fugtbelastning over tid er det brugbart at anvende fotografering samt tegninger af revneomfang og fugtbelastning på det undersøgte konstruktionselement.

Tidligere generaleftersynsrapporter og evt. særeftersynsrapporter skal fremskaffes og undersøges i forbindelse med udførelse af den indledende visuelle besigtigelse.

3.1 Skadesniveauer på baggrund af in-situ registreringer

På baggrund af in-situ registreringer ved den indledende visuelle besigtigelse, kan konstruktionselementets revneomfang inddeles i følgende skadesniveauer:

- Skadesniveau 0 (svarer til tilstandskarakter 0): Der er ikke registreret synlige revner på konstruktionselementets overflade.
- Skadesniveau I (svarer typisk til tilstandskarakter 1 eller 2, og vil afhænge af revnevidder på konstruktionselementet): Ved mindre områder omkring kantbjælker, dybdelinjer, dilatationsfuger og samlinger ses revner. Sådanne revner kan være ledsaget af udfældninger, fugtige og/eller med mørke rander. Der vil lokalt ved disse særlige udsatte samlinger og områder ofte kunne registreres tegn på fugttilførsel til betonen.
- Skadesniveau II (svarer typisk til tilstandskarakter 2, det forudsættes at revnevidder er $\geq 0,2$ mm): Ved områder af konstruktionselementet (< 50 %) ses orienterede revner. Sådanne revner vil ofte være ledsaget af udfældninger, fugtige og/eller med mørke rander. Derudover vil der ofte lokalt eller mere generelt kunne registreres hvide udfældninger langs revner, som indikerer fugttilførsel eller fugttransport gennem konstruktionselementet. Udfældningerne kan være kalk- og/eller alkalikiselgel.
- Skadesniveau III (svarer typisk til tilstandskarakter 3 eller 4): Ved større områder af konstruktionselementet (> 50 %) ses orienterede revner med mørke rander. Derudover er der registreret betydelige hvide udfældninger langs revner, som indikerer stor fugttilførsel gennem konstruktionselementet. Lokalt er der rustudfældninger på betonoverfladen, der bl.a. kan skyldes kloridindtrængning til betonen.

Bemærk at in-situ registreringer ikke kan eftervise indre revnedannelser, som ikke er blevet udtrykt som overfladerevner. Det er også vigtigt at bemærke, at ovennævnte skadesniveau ikke kan oversættes direkte til en tilstandskarakter, da skadesniveauet i denne sammenhæng alene er relateret til tilstedeværelsen og omfanget af alkalikiselreaktioner (AKR).

4 GRUNDLÆGGENDE UNDERSØGELSER

De grundlæggende undersøgelser af udborede betonkerner skal klarlægge hvorvidt revner og deres omfang registreret under skadesniveau I til III er forårsaget af alkalikiselreaktioner og/eller andre nedbrydningsmekanismer. I afsnit 4.1 er angivet retningslinjer for udboring og håndtering af alkalikiselskadede betonkerner.

4.1 Udboring af betonkerner

4.1.1 Udboringsstedet

Inden udboring af betonkerner skal der foretages en grundig udvælgelse af udboringsstedet. Udboringsstedet bør udvælgelse med viden om konstruktionselementets geometriske forhold, hvor fugt kan opsamles/ophobes såsom i dybdepunkter samt med viden om konstruktionselementets statiske virkemåde. Hvad angår de statiske forhold kunne det f.eks. være i den bærende overbygningens overside hvor der er træk i oversiden over søjler. Udboringsstedet bør typisk udvælgelse i områder, hvor revneomfanget på overfladen indikerer det mest skadede område. Derudover skal der altid suppleres med udboringer i et tilsyneladende uskadet område. Ved gennemgang af eksisterende tegninger og ledningsoplysninger vurderes det, om udboringsstedet vil kunne influere på konstruktionselementets bæreevne og/eller driftsmæssige funktion. Der skal bl.a. tages hensyn til

placeringen af forspændingskabler, hovedarmering, drænsystemer, rørføringer mm så man undgår at skade disse ved udboringerne.

Følgende relevante materialer/dokumenter fra bygværkets opførelse og evt. udbedringsarbejder skal fremskaffes og granskes inden placering af udboringsstedet:

- Konstruktionstegninger.
- Materialespecifikationer – fx anvendte tilslagsmaterialer, type og alder af fugtisolering.
- Bygværkets historik.
- Tidligere generaleftersyn – for at klarlægge om der tidligere er observeret revner på konstruktionselementet og om der tidligere er registreret en udvikling i omfanget af revner.
- Tidligere særeftersyn - for at klarlægge om der tidligere er udført betonundersøgelser på konstruktionselementet eller fra andre elementer fra samme konstruktion, der forventes at være udført med samme betonsammensætning.

4.1.2 Udboringen

Før udboringen skal armeringsplacering altid lokaliseres ved hjælp af dæklagsmåler. Udboringen skal så vidt muligt ikke foretages gennem armering. Udtagningsstedet skal altid dokumenteres ved tegninger/skitser og fotografering. Så vidt muligt foretages fotografering og registrering nede i borehullet for at klarlægge revneomfanget i borehullet.

Udboring af betonkerner skal bl.a. foretages, hvor revner og evt. fugtskjolder er registreret på konstruktionselementet. Prøveantallet vil dog afhænge af undersøgelsens art og omfang. Udboringen foretages i hovedtræk iht. TI-B 1 (87). Der skal minimum udtages en betonkerne fra revneskadede områder. Yderligere skal der udtages supplerende betonkerner fra områder uden synlige revner. Særlige forhold ifm. udboringen skal registreres.

4.1.3 Størrelse på udborede betonkerner

Udboringen skal foretages omhyggeligt. Så vidt muligt skal diameteren af udborede betonkerner være ≥ 90 mm. Betonkernediameteren er som standard 100 mm. Betonkernediameteren skal dog udvælges under hensyntagen til armeringens maskevidde. Betonkernediameteren skal som minimum være 2,5 til 3 gange den maksimale stenstørrelse. Betonkernen skal være så lang som muligt og mindst 100 mm for at give et tilstrækkeligt profil af revnerne og deres orientering i det undersøgte konstruktionselement. Udborede betonkerner, der benyttes til bestemmelse af betonens materialeegenskaber, afsnit 5.4, skal dog have et længde/diameter-forhold på $\geq 2,0$, så vidt dette er muligt. Det kan ind imellem være nødvendigt at udbore betonkerner med en diameter ≥ 150 mm for at kunne få dem ud i et stykke, hvilket ellers kan være vanskeligt hvis der f.eks. er anvendt meget store stentilslag, større end 32 mm.

Små betonkernediameter (< 75 mm), vibrationer ifm. utilstrækkelig fastgørelse af boreudstyr, sløvt bor samt boring gennem armering vil føre til større risiko for usammenhængende betonkerner. Dette kan føre til en misfortolkning af sammenhængskraft mellem revnerne i betonen.

Erfaringsmæssigt vides det, at det er muligt at udbore sammenhængende betonkerner i et helt sammenhængende stykke, fra selv meget revneskadede konstruktionselementer, såfremt man er forsigtig og omhyggelig med udboringen.

Usammenhængende betonkerner kan benyttes i forbindelse med udførelsen af de grundlæggende undersøgelser, afsnit 4.2.

4.1.4 Håndtering af udborede betonkerner

Straks efter udboring skal betonkernen markeres/nummereres således, at kernens placering kan findes på fotografier og tegninger/skitser. Den udborede kerne skal straks renses for boreslam med rent vand eller våd klud inden indpakning, da det erfaringsmæssigt vil være vanskeligt at gøre efterfølgende, idet boreslammet/betonslammet tørrer ind på betonkerneoverfladen.

Betonkernen skal mærkes med identifikationsnummer og evt. konstruktionsdel med vandfast tusch eller kridt, hvorpå betonkernen pakkes grundigt ind i husholdningsfilm samt en stærk og tæt plastikpose for at undgå udtørring under transport. Plastikposen skal lukkes omhyggeligt evt. med

gaffatape og/eller plastikstrips for at mindske luftadgang til samt udtørring af kernen. De revnede udborede betonkerner skal beskyttes mod slag og andre mekaniske påvirkninger under transport.

4.2 Grundlæggende undersøgelser af udborede betonkerner

4.2.1 Makroanalyse

Makroanalysen udføres iht. retningslinjer og principper angivet i Beton-Teknik 4/07/1985
Strukturanalyse af beton. Makroanalysen angiver primært et overordnet overblik af større forhold, såsom væsentlige grove revner og delamineringer, inhomogeniteter, evt. armeringsplacering samt type af det grove tilslagsmateriale i udborede betonkerner. Makroanalysen foretages med det blotte øje eller under anvendelse af et stereomikroskop. Makroanalysen kan typisk ikke give nogen kvantitativ men alene en kvalitativ vurdering af alkalikiselreaktioner på udborede betonkerner.

Følgende observationer skal under makroanalysen dokumenteres i relation til alkalikiselreaktioner:

- Beskrivelse af det anvendte tilslagsmateriale – knust granit eller søsten i stenfraktion. Subjektiv vurdering af indhold af hvide korn i sandfraktion (hvide korn kan enten være porøs flint eller kalk). Under anvendelse af methylenblåt på en skæreflade vil porøs flint blive farvet blå og kalk vil fortsætte med at have en hvid farve.
- Revner og delamineringer i betonkernen og placering af revner på betonkernen. Det kan være nyttigt at opfugte betonkernen med en våd klud og foretage observationer mens kernen udtørres. Revner vil især være synlige under udtørringen.
- Popouts og/eller geludfældninger på betonkernens overflader.

For at klarlægge omfanget af revner i udborede betonkerner skal man imprægnere betonkerne med fluorescerende epoxy under vakuum. Fremstilling af fluorescensimprægnede planslib udføres iht. til retningslinjer og principper angivet i DS 423.39:2002. Ved imprægnering af en hel betonkerne vil primært åbne revner med kontakt til betonkernens overflader blive imprægneret. Efter imprægneringen gennemskæres betonkernen på midten på langs. Revneomfanget på skæreflader af fluorescensimprægnede betonkerner visualiseres under UV-lys og kan subjektivt vurderes med det blotte øje, evt. under et stereomikroskop, og/eller under anvendelse af billedanalyseprogrammer på billeder.

På baggrund af makroanalysen udvælges områder til fremstilling af tyndslib til udførelse af mikroanalyse.

4.2.2 Mikroanalyse

Mikroanalysen eller tyndslibanalysen er det vigtigste værktøj til detektering og bekræftelse for alkalikiselreaktioner i beton. Mikroanalysen skal udføres af erfaren petrograf med kendskab til nedbrydningsmekanismer i beton. Mikroanalysen og fremstilling af tyndslib udføres iht. retningslinjer og principper i følgende standarder og anvisninger:

- Betonprøvning – Hærdnet beton – Fremstilling af fluorescensimprægnede tyndslib DS 423.40:2002
- Strukturanalyse af beton – Beton-Teknik 4/07/1985
- Betonprøvning – Hærdnet beton – DS423.41-45
- Concrete, Hardened: Water-Cement Ratio – NT BUILD 361

Bemærk at mikroanalyse af tyndslib er en stikprøve af meget lokale områder (= 30 x 45 mm) på betonkernen. Resultaterne af mikroanalysen vil således i høj grad afhænge af placering af tyndslibet på den udborede betonkerne. Valg af placering af tyndslibet skal foretages i samarbejde med en erfaren petrograf.

Følgende informationer i relation til alkalikiselreaktioner skal dokumenteres i forbindelse med mikroanalysen:

- Beskrivelse af det anvendte sand- og stentilslag. Estimering af volumenprocent af potentielt reaktive sandpartikler i betonen.
- Klassificering af reaktionsgrad i tilslaget – indre revnedannelser i det reaktive tilslag og i den

- omkringliggende cementpasta.
- Klassificering af revnedannelser i cementpastaen – revnevidder (mikrorevner < 0,01 mm, fine revner 0,01-0,1 mm, grove revner > 0,1 mm) inkl. potentiel forbindelse til reaktive tilslag.
- Klassificering af alkalikiselgel – alkalikiselgel i revner og/eller porer, amorf eller krystallinsk alkalikiselgel.
- Klassificering af fugtbelastning – fugtbetingede udfældninger af ettringitkrystaller i revner og/eller porer.
- Skønnet alkaliindhold baseret på cementindhold og cementtype (til estimeringen benyttes ækvivalent alkaliindhold på 0,7 % for rapid cement og alm. Portland cement samt ækvivalent alkaliindhold på 0,4 % for lavalkal cement).

5 DETALJEREDE UNDERSØGELSER

De detaljerede undersøgelser har til formål at klarlægge omfanget af alkalikiselreaktioner på konstruktionselementet samt potentiale for videreudvikling af skadelige alkalikiselreaktioner under uændrede eller forværede eksponeringsforhold. De udførte laboratorieundersøgelser har derudover til formål at klarlægge den revnede betons mekaniske egenskaber, under forudsætning af et sådant undersøgelsesomfang vurderes nødvendigt. Bestemmelse af den revnede betons mekaniske egenskaber vil primært være relevant for stærkt revneskadede bygværker, mindst svarende til skadesniveau II. Valget af nedenstående undersøgelser skal baseres på en vurdering af den forventede gevinst ved udførelse af undersøgelsen.

5.1 Ikke-destruktive (NDT) undersøgelser

For at bekræfte eller afkræfte mistanke om indre alkalikiselrevner på eksisterende bygværker kan der benyttes ikke-destruktive undersøgelsesmetoder såsom Impulse Response undersøgelse – sMASH og Impact-Echo. De ikke-destruktive undersøgelsesmetoder kan normalt ikke kvantificere omfanget af indre revnedannelser på det undersøgte konstruktionselement, men kan primært dokumentere eventuelle forskelle mellem alkalikiselskadede og ikke-skadede områder.

De ikke-destruktive undersøgelsesmetoder skal altid kalibreres med visuelle observationer og analyser (makroanalyser) af udborede betonkerner, ophugninger mm.

5.2 Bestemmelse af kloridindholdet i betonen

Målinger af kloridindholdet (Cl^-) og dermed indirekte også alkalitilførsel (Na^+) til betonen kan have en betydning for vurderingen af potentialet for videreudviklingen af skadelige alkalikiselreaktioner i konstruktionselementet. Bestemmelse af kloridindholdet i betonen er en supplerende undersøgelse, som har til formål at forklare hvorfor eller hvorvidt klorider, her især natrium-ioner fra NaCl , kan have været medvirkende til et forøget kritisk indhold af alkalier i betonen, som ofte anses for det primære brændstof og/eller evt. begrænsende faktor i alkalikiselreaktionerne.

Bestemmelse af kloridindholdet må kun betragtes som en indirekte parameter for at eftervise, om der kan være tilført ekstra alkalier til betonen. Kloridindholdet bestemmes ved potentiometrisk titrering eller efter RCT (Rapid Chloride Test) metode. Kloridindholdet skal bestemmes i forskellige niveauer af knust materiale fra udborede betonkerner eller fra borestøv, som bl.a. kan udtages in-situ fra konstruktionselementet.

5.3 Restreaktivitetsanalyse

Restreaktivitetsanalysen indikerer, hvorvidt der er risiko for, at alkalikiselreaktionerne vil kunne fortsætte eller måske er klinget af, og om der således ikke forventes at ske yderligere revnedannelse medmindre, der tilføres alkalier udefra (eksempelvis i form af tøsaltet NaCl).

Tilslagets restreaktivitet belyses ved at måle ekspansionen af betonkerne i en periode op til 20 uger eller længere iht. eksponeringsforholdene angivet i TI-B 51. Hvor lang tid denne eksponering skal være bør baseres på ekspansionsforløbet op til 20 uger og om hvorvidt eventuelle reaktive bestanddele findes i sand- og/eller stenfraktionen. Det vurderes ligeledes, om der er tale om bakke- eller sømaterialer. Normalt bør en sådan restreaktivitetsanalyse først stoppes, når der er nogenlunde sikkerhed for at eventuelle ekspansioner er klinget af.

For at bestemme tilslaget restreaktivitet skal mindst to betonkerner benyttes. En betonkerne udtages fra visuelt skadede henholdsvis ikke-skadede områder på konstruktionselementet.

Normalt vurderes ekspansionen som værende signifikant ("kritisk") når denne overstiger 1 ‰, hvilket normalt indikerer, at der forefindes fine revner i betonen, som er synlige med det blotte øje.

Bemærk, at det kan være problematisk at måle og vurdere restreaktiviteten af allerede revneskadedet beton. I sådanne tilfælde bør prøvefremstilling og måleprocedurer overvejes grundigt.

5.4 Betonens mekaniske egenskaber

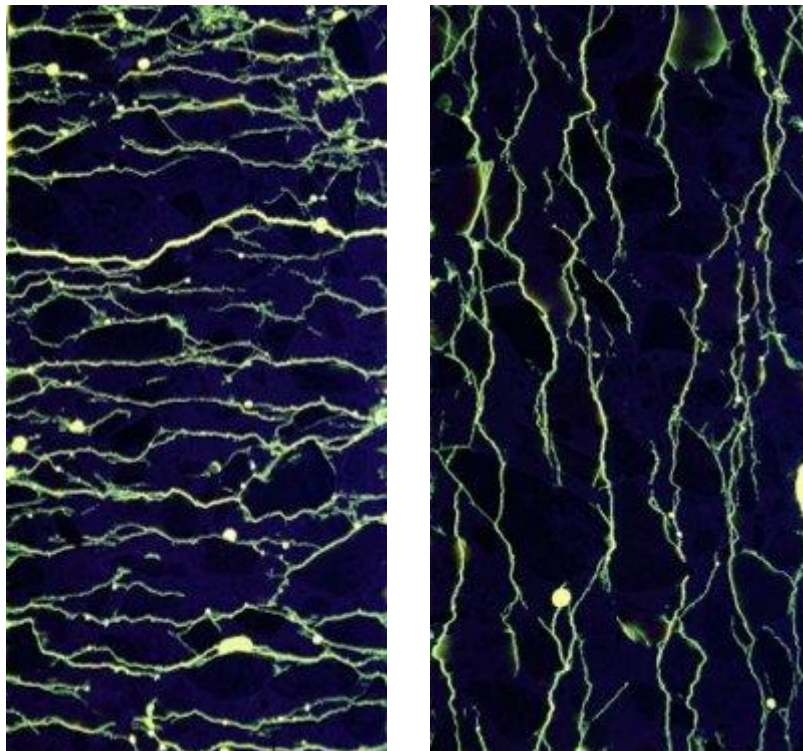
Bestemmelsen af den revnede betons mekaniske egenskaber vil primært være relevant for stærkt revneskadedet beton, mindst svarende til skadesniveau II. Betonens mekaniske egenskaber (trykstyrke, E-modul og trækstyrke) er negativt påvirket af alkalikiselreaktioner. Prøveantallet til bestemmelse af betonens mekaniske egenskaber vil afhænge af konstruktionstype og -størrelse. Betonkerner udbores og håndteres iht. afsnit 4.1. Det overordnede formål med bestemmelse af betonens mekaniske egenskaber er, at generere beregningsmæssige data til eksisterende broers bæreevne.

5.4.1 Trykstyrke af udborede betonkerner

Betonkernen der benyttes til fastlæggelse af betontrykstyrken skal have et længde/diameter forhold $\geq 2,0$. Endefladerne på betonkernen skal være planparallelle iht. DS/EN 12390-1.

Trykstyrken skal som minimum bestemmes på 4 betonkerner udboret fra samme område, svarende til et område på ca. 4 m². Jævnfør [1] har orienteringen og omfanget af revnerne på udborede betonkerner en væsentlig indflydelse på de målte trykstyrker.

Figur 2 viser typiske revneorienteringer på borekerner udtaget ved henholdsvis lodret udboring fra en bærende overbygning (revner vinkelret på trykretning) og vandret udboring (revner parallelt med trykretningen).



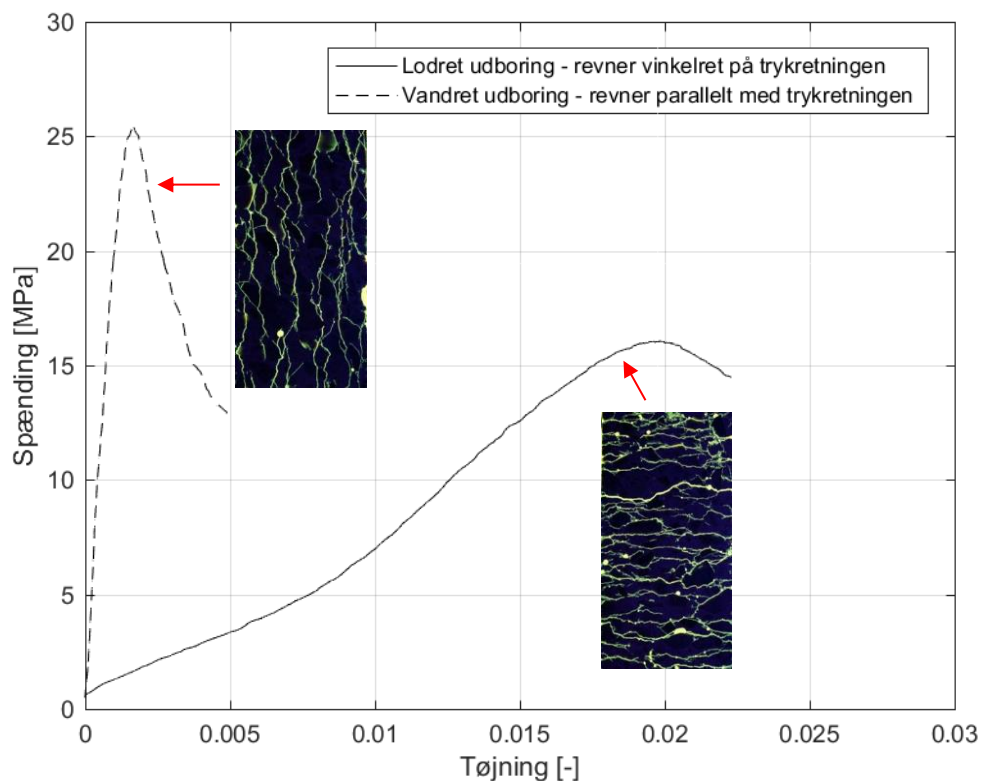
Figur 2: Typiske revneorienteringer på borekerner udtaget fra en bærende overbygning ved henholdsvis lodret udboring (billedet til venstre) og vandret udboring (billedet til højre).

5.4.2 Arbejdskurve af udborede betonkerner

Betonens arbejdskurve, dvs. sammenhængen mellem spænding og tøjning, skal bestemmes på udborede betonkerner med en diameter ≥ 90 mm. Tøjningen måles over den midterste halvdel af betonkernen langs to modstående linjer symmetrisk om betonkernens centrum.

Til bestemmelse af arbejdskurver skal der anvendes deformationsstyring på prøvemaskinen. Deformationshastigheden bør være 0,5 mm/min. Jævnfør [1] har orienteringen og omfanget af revnerne på udborede betonkerner en væsentlig indflydelse på de målte arbejdskurver.

Figur 3 viser typiske arbejdskurver for borekerner udtaget fra en bærende overbygning ved hhv. lodret udboring (revner vinkelret på trykretning) og vandret udboring (revner parallelt med trykretning).



Figur 3: Typiske arbejdskurver for de to udboringsretninger med de typiske revneorienteringer.

Sammenligning af trykstyrke og arbejdskurver for hhv. lodret og vandret udborede kerner vil kunne medvirke til at fastslå skadesgrad og udviklingsniveau for AKR-skaderne.

5.4.3 Trækstyrke af udborede betonkerner

For alkalikiselskadedet beton er bestemmelse af betonens trækstyrke vanskelig. Der er dårlig overensstemmelse mellem betons én-aksede trækstyrke og betonens spaltetrækstyrke. På denne baggrund kan det ikke anbefales at bestemme trækstyrken af alkalikiselskadedet beton.

Trækstyrken bestemt ud fra betonens trykstyrke vil være større end de målte direkte og indirekte trækstyrker. Det er usikkert at anvende omregningsfaktorer, der er gældende for ikke-alkalikiselskadedet beton.

6 UNDERSØGELSER OG MINIMUM ANTAL BETONKERNER

Tabel 1 angiver det minimale antal betonkerner og krav til dimensioner, der er nødvendig for at danne et tilstrækkeligt grundlag for tilstandsvurdering af alkalikiselskadede bygværker. Omfanget af særeftersynet og antallet af udborede kerner skal aftales med bygherren før udboringen foretages.

Tabel 1: Minimum antal betonkerner til de forskellige undersøgelser.

Undersøgelse	Antal betonkerner	Dimensioner af udborede kerner	
		Diameter	Længde
Makroanalyse (afsnit 4.2.1)	Min. 1 fra revnet område Min. 1 fra ikke-revnet område	Min. 2,5 til 3 gange maksimal stenstørrelse, dog helst ≥ 90 mm.	Så lang som mulig for at opnå et tilstrækkeligt profil af revnerne og min. 100 mm. Kerner <100 mm kan dog, i mangel af bedre, ligeledes benyttes.
Fluorescensimpregner et planslib (afsnit 4.2.1)	Min. 1 fra revnet område – såfremt der visuelt ses forskellige revneomfang mellem kernerne er det relevant at foretage flere imprægneringer	≥ 90 mm	Så lang som mulig. Dog min. 100 mm
Mikroanalyse (afsnit 4.2.2)	Min. 1 fra revnet område – såfremt der ses forskellige revneomfang i flere kerner er det nødvendigt at fremstille flere tyndslib til mikroanalyse	Kernerne skal være af en sådan dimension, at de er repræsentative for det undersøgte konstruktionselement. Dog min. 2,5 til 3 gange maksimal stenstørrelse	Kernerne skal være af en sådan længde, at de er repræsentative for evt. indre revner i det undersøgte konstruktionselement.
Restreaktivetsanalyse (afsnit 5.3)	Min. 1 fra revnet område Min. 1 fra ikke-revnet område	≥ 90 mm	Så lang som muligt. Dog min. 200 mm
Trykstyrke og arbejdskurve - udføres på samme kerner (afsnit 5.4.1-2)	Min. 4 fra revnet område Min. 4 fra ikke-revnet område (hvis et sådant område findes på konstruktionselementet)	≥ 90 mm	Længde/diameter forhold $\geq 2,0$

I det følgende er der angivet to eksempler på en standardundersøgelse (minimumsniveau), som vurderes nødvendigt for 1) at klarlægge tilstedeværelsen af alkalikiselreaktioner på konstruktionselementet (afsnit 6.1.1) eller 2) for at vurdere omfanget af alkalikiselreaktioner på konstruktionselementet herunder udtagning af borekerner til at generere beregningsmæssige data til vurdering af konstruktionselementets restbæreevne (afsnit 6.1.2).

6.1.1 Undersøgelsesomfang - klarlægge årsagen til revnedannelser på konstruktionselementet

Denne undersøgelse har til formål at klarlægge årsagen til revnedannelser på konstruktionselementet, herunder betonens sammensætning og kvalitet. Der er på konstruktionselementet registreret fine lokale revnedannelser (netrevner og/eller orienterede revner) samt misfarvninger af betonoverfladen langs revner.

For at klarlægge årsagen til revnedannelserne udtages minimum en borekerne fra et revnet område

samt en borekerne fra et ikke-revnet område. Betonkernediameteren bør være >90 mm og så lang som mulig for at opnå et tilstrækkeligt profil af revnerne i konstruktionselementet. I mangel af bedre kan borekerner med længde <100 mm og diameter <90 mm benyttes. Udboringen og udvælgelse af område for udboring foretages iht. afsnit 4.1.

Der foretages udelukkende makroanalyse og mikroanalyse på kernerne iht. afsnit 4.2. For at klarlægge omfanget af revner i udborede betonkerner skal betonkerne imprægneres med fluorescerende epoxy under vakuum.

På baggrund af denne standardundersøgelse konkluderes om indholdet af potentielt reaktive sandkorn ligger over eller under den kritiske grænse for et skadeligt indhold på 1 vol. % for E beton henholdsvis 2 vol. % for A-Beton. Derudover fastlægges om revnedannelserne er forårsaget af alkalikiselreaktioner i sandfraktionen og/eller i stenfraktionen (porøse flintskorper i tæt flint) evt. i kombination med andre nedbrydningsmekanismer. Der registreres om betonen udviser tegn på at være eller have været fugtbelastet. Disse standardundersøgelser kan suppleres med bestemmelse af kloridindholdet i betonen iht. afsnit 5.2, som udelukkende kan betragtes som en indirekte parameter for at eftervise, om der kan være tilført udefrakommende ekstra alkalier til betonen.

6.1.2 Undersøgelsesomfang - Klarlægge omfang af revnedannelser på konstruktionselementet, herunder generere beregningsmæssige data

Denne undersøgelse har til formål at klarlægge omfang af revnedannelser på konstruktionselementet, herunder generere beregningsmæssige data til beregning af konstruktionselementets bæreevne. Konstruktionselementet indeholder større områder med revnedannelser (netrevner og/eller orienterede revner), svarende til skadesniveau III og evt. II. Det forudsættes, at der er foretaget makroanalyse og mikroanalyse af tidligere udborede kerner, hvor det er blevet påvist at de registrerede revnedannelser er forårsaget af alkalikiselreaktioner. Hvis dette ikke er foretaget, skal der foretages en makroanalyse og mikroanalyse af udvalgte udborede betonkerner for at klarlægge årsagen til revnedannelserne, herunder sammensætning og kvalitet af betonen.

For at bekræfte eller afvise mistanken om indre alkalikiselrevner på konstruktionselementet kan der benyttes ikke-destruktive undersøgelsesmetoder såsom Impulse Response undersøgelse – sMASH og Impact-Echo. De ikke-destruktive undersøgelsesmetoder skal kalibreres med visuelle observationer af udborede kerner. Kernerne kan efterfølgende anvendes til trykstyrkebestemmelse henholdsvis makroanalyse og mikroanalyse).

For at generere beregningsmæssige data foretages trykstyrkebestemmelse samt arbejdskurve på minimum 4 betonkerner udboret fra samme område (revnet og ikke-revnet område), svarende til et område på ca. 4 m². I forbindelse med en bæreevnescreening identificeres de kritiske områder på konstruktionselementet. Områder for udtagning af borekerner udvælges derfor under hensyntagen til både tilstanden af betonen i de specifikke områder og tilstandens indvirkning på konstruktionselementets bæreevne. Hvis muligt foretages lodret og vandret udboring af betonkerner på konstruktionselementet.

7 REFERENCE

[1] Barbosa, R. A., Hansen, S. G., Hansen, K. K., Hoang, L. C., & Grelk, B. (2018). *Influence of alkali-silica reaction and crack orientation on the uniaxial compressive strength of concrete cores from slab bridges*. Construction and Building Materials, 176, 440-451. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2018.03.096](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.096)



Carsten Niebuhrs Gade 43

1577 København V

Postboks 9018

1022 København K

Telefon 7244 3333

vd@vd.dk

vejdirektoratet.dk

vejregler@vd.dk

vejregler.dk

ISBN:978-87-93674-80-6

