

15.1 Betonlaboratoriet

Af Ane Mette Walter

I et betonlaboratorie udføres prøvning af beton efter fastlagte prøvningsmetoder. I betonlaboratoriet skal herske orden og systematik, og udstyr og personale skal leve op til definerede kvalitetskrav. Betonlaboratoriet producerer prøvningsrapporter, der beskriver egenskaber ved betonens delmaterialer eller ved betonen selv – fx betonens trykstyrke.



Figur 1. Blandere i betonlaboratoriet – Forskellige blandere til blanding af frisk beton. Foto: Teknologisk Institut.

Et betonlaboratorie kan være knyttet til en producent af beton eller betonprodukter som en del af produktionsfaciliteterne. Det kan også være uafhængigt af producenterne af beton, og udføre dels ekstern prøvning for producenterne, dels prøvning for andre aktører i værdikæden som entreprenører og bygherrer.

Danmarks Tekniske Universitet, Teknologisk Institut, betonproducenter og andre anvender også betonlaboratorier til forskning og udvikling, hvor prøvning fx benyttes til at undersøge og vurdere effekten af nye betonsammensætninger, andre tilsætninger, udførelsesmetoder og lignende.

15.1.1 Producentens laboratorie

Et laboratorie hos en producent har primært det overordnede formål at kontrollere egne produkter, dvs. at måle/verificere om et givet produkts kvalitet stemmer overens med de krav, der er stillet til produktet. Denne kontrol kaldes produktionsprøvning, og typen og omfanget er i de fleste tilfælde beskrevet i den pågældende produktstandard.



Figur 2. Betonlaboratorie hos en færdigbetonproducent. Foto: Unicon.

I producentlaboratorier udføres typisk et begrænset antal relativt simple standardprøvninger på det færdige produkt, samt kontrol og undertiden prøvning af de delmaterialer, der anvendes i produktionen. For færdigbetonproducenter og betonelement-producenter kan denne prøvning typisk være begrænset til bestemmelse af vandindholdet i tilslaget, prøvning af den friske beton (konsistens, temperatur, luftindhold, densitet og evt. varmeudvikling) samt bestemmelse af trykstyrke.

Bestemmelse af trykstyrke kræver forme til støbning af prøvelegemer, et lagerkar med vand, hvor prøvelegemerne kan lagres under konstante temperaturforhold (20 °C) og en trykpresse. Se også afsnit 10 om trykstyrke.

Hos en producent af fx belægningssten vil produktionsprøvningen typisk være måling af form og dimension, bestemmelse af styrke og evt. vejrbestandighed (vandopsugning eller frost/tø holdbarhed).

I forbindelse med udvikling og godkendelse af et nyt produkt skal der foretages forprøvning/typeafprøvning af materialet. Afhængig af hvad materialet forprøves til, vil der være forskellige krav til forprøvningen. Eksempelvis vil en betonproducent af en beton i passiv miljøklasse som regel selv kunne foretage den nødvendige prøvning, mens der ved fx forprøvning til større anlægsprojekter med 120 års levetid vil blive stillet krav om et mere omfattende forprøvningsprogram, som ikke nødvendigvis kan udføres af producenten selv. Her træder det eksterne laboratorium til.

15.1.2 Det eksterne betonlaboratorie

Det eksterne betonlaboratorie udfører prøvning for aktørerne i betonbranchen. Et sådant laboratorium tilbyder typisk en bred vifte af standardprøvningsprogrammer af delmaterialer til beton samt af frisk, hærdnende og hærdnet beton.



Figur 3. Standardiseret prøvning – Til venstre: Prøvning af betons E-modul, til højre: Prøvning af cements afbindingstid. Foto: Teknologisk Institut

Det eksterne betonlaboratorie kan tilbyde prøvning, der fx omfatter:

- Standardprøvningsprogrammer, der ikke kan udføres af producenterne.
- Avancerede - men standardiserede prøvningsprogrammer - der kræver avanceret og/eller sjældent og dyrt udstyr.
- Udvikling af ikke standardiserede specialprøvningsprogrammer til fx afprøvning af et specifikt produkt, afdækning af et specifikt problem etc.
- Prøvning i forbindelse med tredjepartsovervågning (auditprøvning).
- Udtagning og analyse af betonprøver fra eksisterende konstruktioner, fx med det formål at identificere skadesårsagen i en skadet beton.



Figur 4. Special prøvning (ikke standardiseret) – Bøjningspåvirkning af pladeudsnit med kombineret stålfiber og traditionel armering. Foto: Teknologisk Institut

15.1.3 Det mobile betonlaboratorie

Nogle færdigbetonproducenter råder over et mobillaboratorie, der kan teste den friske betons luftindhold, densitet og bearbejdelighed på byggepladsen. Den friske betons egenskaber måles altid inden betonen forlader fabrikken, men friskbetonegenskaberne, dvs. luftindhold og/eller bearbejdelighed kan ændres efter en tur i en rotérbil. Der kan derfor fx være krav om, at den friske betons egenskaber testes ved betonens ankomst på byggepladsen, således at læs, der ikke opfylder kravene ved ankomst til byggepladsen, kan kasseres.

Hvis der er lang afstand fra byggeplads til nærmeste prøvningslaboratorie, og det derfor af tidsmæssige årsager ikke er muligt at påbegynde prøvningen inden betonens afbinding går i gang, kan det være nødvendigt at designe et mobillaboratorie til mere specialiserede prøvninger på frisk eller hældende beton, fx til bestemmelse af betonens afbinding, varmeudvikling eller svind- og krybeegenskaber.

15.1.4 Krav til betonlaboratoriets kompetence

Standarden "DS/EN ISO/IEC 17025 Generelle krav til prøvnings- og kalibreringslaboratoriets kompetence" indeholder alle de krav, som et prøvningslaboratorie bør opfylde, hvis det ønsker at demonstrere, at det arbejder under et kompetent ledelsessystem, har teknisk kompetence og er i stand til at frembringe teknisk troværdige resultater.

Derfor kræves det også ofte, at betonlaboratoriet opfylder denne standard.

DS/EN ISO/IEC 17025 kræver som overordnet udgangspunkt:

- At gældende prøvningsstandarder følges

og beskriver blandt **meget** andet også krav til:

- Organisation og ledelsessystem

- Dokumentstyring
- Kvalitetsstyringssystem
- Krav til registreringer
- Personalets kompetencer
- Fysiske forhold i laboratoriet
- Udstyrskrav og sporbarhedskrav, herunder kalibrering af udstyr
- Kvalitetssikring af resultater
- Rapportering af resultater.

Alt med det formål, at man kan have tillid til prøvningsresultaterne.

Som anført ovenfor, er DS/EN ISO/IEC 17025 en omfattende standard. Nedenfor er der derfor beskrevet et udvalg af de punkter, der har størst betydning for det daglige arbejde i laboratoriet.

Personalets kompetencer

Med hensyn til personalets kompetencer skal laboratoriets ledelse bl.a. sikre:

- Kompetencer hos det personale, der betjener udstyr, udfører prøvninger og underskriver rapporter.
- Passende uddannelse, træning, erfaring og/eller dokumenterede færdigheder.
- Passende overvågning når arbejdet udføres af personale, der er under oplæring.
- at der forefindes procedurer til at identificere behov for uddannelse/træning samt at sørge for denne.

Generelt kræves ingen speciel uddannelse for at blive ansat i et betonlaboratorie, men man finder rigtig mange faguddannede laboranter blandt personalet i et typisk betonlaboratorie. Det vigtigste er dog, at man er omhyggelig, følger laboratoriets procedurer, samt at man har forståelse for de prøvninger man udfører og de resultater det frembringer. En laboratoriemedarbejder bør være i stand til at vurdere, om det resultat han eller hun måler i forbindelse med prøvningen, er et sandsynligt resultat og være i stand til at reagere, hvis noget ser mærkeligt ud.

Oplæring af nyansatte i et betonlaboratorie foregår i praksis ofte ved sidemandsoplæring af en kollega. Før en ansat kan udføre en prøvning på egen hånd, skal laboratoriets ledelse bemyndige medarbejderen til at udføre den specifikke prøvning, at betjene det specifikke udstyr og evt. at udstede prøvningsrapporter. Oplysninger om personalets bemyndigelse skal registreres og være let tilgængelige, fx i laboratoriets kvalitetshåndbog.

Krav til udstyr og kalibrering

For at kunne udføre en prøvning iht. DS/EN ISO/IEC 17025 skal laboratoriet sikre, at det nødvendige udstyr er i korrekt stand (ikke er beskadiget mv.) samt sørge for, at alt udstyr er kalibreret og godkendt før brug. Kalibreringen af et udstyr skal gentages med jævne mellemrum og udstyret skal være mærket med kalibreringsstatus, så det fremgår, hvornår sidste kalibrering blev foretaget, om udstyret blev godkendt ved denne kalibrering samt hvornår det senest skal kalibreres igen. Desuden skal udstyret

registreres, fx i laboratoriets kvalitetshåndbog, mht. placering, dato for næste kalibrering mv.

Kvalitetssikring af prøvningsresultater

For at sikre, at laboratoriets prøvningsresultater er korrekte og troværdige, skal laboratoriet etablere kvalitetsstyringsprocedurer, der sikrer, at de opnåede data registreres og analyseres på en sådan måde, at tendenser kan påvises. Hvis et udstyr fx begynder at måle for høje eller for lave værdier, skal dette kunne opdages via laboratoriets kvalitetsstyringsprocedurer.

En måde at sikre sig mod, at resultatet af en prøvningsmetode begynder at skride, er fx jævnligt at udføre prøvningen på et referencemateriale, hvor man ved, hvad resultatet skal være. Hvis resultatet af en prøvning på referencematerialet afviger fra det forventede, skal laboratoriet undersøge, hvad årsagen til afvigelsen er og få rettet op på dette. Derudover er det helt afgørende i afvigelsesbehandlingen, at laboratoriet forholder sig til betydningen af den afvigelse, der har været og i yderste konsekvens orienterer kunder eller brugere af resultaterne om afvigelsen.

Et andet vigtigt element ved laboratoriernes kvalitetssikring af prøvningsresultater er at udføre præstationsprøvning (ofte også kaldet ringprøvning). Præstationsprøvnings er laboratoriesammenligninger, hvor mange laboratorier tester éns prøver, og hvor resultaterne efterfølgende sammenlignes og behandles statistisk. Det kan anvendes til at fastlægge effektiviteten og sammenligneligheden af prøvnings- eller målemetoder og til at identificere problemer i udførelsesmetoden, udstyret eller i laboratoriets kvalitetsstyring.

15.1.5 Akkrediterede laboratorier

Et laboratorium kan blive akkrediteret i henhold til standarden DS/EN ISO/IEC 17025 til at gennemføre nogle specifikke prøvninger. At være akkrediteret betyder, at laboratoriet **skal** overholde alle de krav, der er beskrevet i ISO 17025 samt at laboratoriet bliver overvåget af et eksternt akkrediteringsorgan, der sikrer, at laboratoriet følger standarderne.

Et laboratorium kan vælge at ansøge om akkreditering ud fra følgende overvejelser:

- Akkreditering er et signal til kunderne om kompetencer og kvalitet af laboratoriets ydelser (en konkurrenceparameter).
- Akkreditering kan være et krav fra visse kunder, fx i forbindelse med større anlægsprojekter.
- Rapporter og certifikater udstedt af akkrediterede laboratorier anerkendes på tværs af landegrænser.

I Danmark skal en ansøgning om akkreditering af et laboratorium ske via det nationale akkrediteringsorgan, DANAK. Det skal i den forbindelse nævnes, at det kræver et stort forarbejde af laboratoriet at forberede en ansøgning om akkreditering samt, at det er forbundet med ikke uvæsentlige omkostninger at opretholde en akkreditering.

15.1.6 Notificerede laboratorier

En af grundpillerne i EU's indre marked er, at en byggevare, der er godkendt i en medlemsstat, frit skal kunne markedsføres i hele EU. Som tegn på, at en byggevare opfylder de harmoniserede regler i EU, mærkes varerne med et CE-mærke. For varer med væsentlig betydning for sikkerhed, sundhed eller miljø skal producenten eller importøren af varen, bruge et såkaldt notificeret organ (dvs. et 3. partsorgan), til at dokumentere kravoverholdelsen.

Nogle betonrelaterede produkter, herunder cement og flyveaske, er underlagt krav om 3. partsovervågning, dvs. at en del af den prøvning, der skal foretages for at kunne CE-mærke sine produkter, skal foregå på et notificeret laboratorium.

Notificeringen er en godkendelse, der lige som akkrediteringen udstedes af DANAK.

Se mere om CE-mærkning i kapitel 14 Normer, standarder og CE-mærkning.

15.1.7 Prøvningsstandarder

I de seneste 10-20 år er der for langt de fleste metoder til prøvning af beton, udviklet fælles europæiske prøvningsstandarder. Det betyder, at hvis der stilles krav til fx trykstyrken af en beton til et byggeri, vil prøvningen blive udført efter samme metode i fx Tyskland og Danmark og resultatet vil være sammenligneligt. Ifølge Dansk Standard findes der i øjeblikket 27.000 gældende standarder i Danmark. Heraf er 98 procent internationale standarder, og altså kun 2 procent er nationale danske standarder.

Når det stilles krav til en egenskab af en beton eller et delmateriale til beton, vil der ofte være angivet, hvilken standard der skal anvendes til bestemmelse af den givne egenskab. Ved bestemmelse af mere specielle egenskaber, hvor der ikke findes en standardiseret metode, kan en prøvning dog også udføres efter ikke-standardiserede metoder og metoder udviklet i laboratoriet.

For en mere udførlig beskrivelse af standarder på betonområdet se evt. kapitel 14 Normer, standarder og CE-mærkning.

Danske/Europæiske prøvningsstandarder

I Danmark er den overvejende del af de prøvningstandarder, der findes på betonområdet, europæiske standarder. De danske standarder karakteriseres med et foranstillet "DS" og de europæiske standarder med foranstillet "DS/EN". DS/EN betyder, at det er en europæisk standard, der er udgivet i Danmark af Dansk Standard. I visse tilfælde findes der lokale forhold eller traditioner i de enkelte medlemslande der gør, at landet ønsker tilføjelser til den fælles EN-standard. Dette bliver så til de såkaldte nationale supplerende krav. Et eksempel er DS/EN 206 DK NA, der indeholder de supplerende krav og præciseringer til materialestandarden for beton DS/EN 206.

I visse tilfælde udgives en tekniske specifikation (TS) med foranstillet "DS/CEN/TS". Sådanne tekniske specifikationer er typisk en forløber for en egentlig europæisk standard. Normalt er en TS gældende i tre år hvorefter der i CEN-regi skal tages stilling

til om specifikationen skal konverteres til europæisk standard. Så længe en prøvningsmetode ikke er konverteret til europæisk standard, er det tilladt at holde modstridende nationale standarder gældende.

Andre prøvningsstandarder

Der findes også andre organisationer, der udgiver standarder, som i nogle tilfælde anvendes i Danmark fx:

ASTM American Society for Testing and Materials

CAS Canadian Standards Association or CSA

NT BUILD Nordic standards. Kan downloades gratis på:

<http://www.nordtest.info/index.php/methods.html>

TI-B Prøvningsmetoder udviklet af Teknologisk Institut, Byggeri. Kan downloades gratis på:

<http://www.teknologisk.dk/laboratorier/ti-b-proevningsmetoder/-metodeliste/219>

ISO International Organization for Standardization

15.1.8 Hyppigt anvendte prøvninger

Nedenfor er gennemgået nogle af de hyppigst anvendte prøvninger inden for beton sammen med en kort forklaring/bemærkning, hvor dette er fundet relevant. Gældende standarder på området er ligeledes angivet. Da der løbende kommer nye revisioner af de fleste standarder, bør man jævnligt tjekke for sidste nye revision af den pågældende standard inden en prøvning påbegyndes. Bemærk, at nedenstående langt fra er en udtømmende oversigt over prøvningsmetoder for beton.

Frisk beton

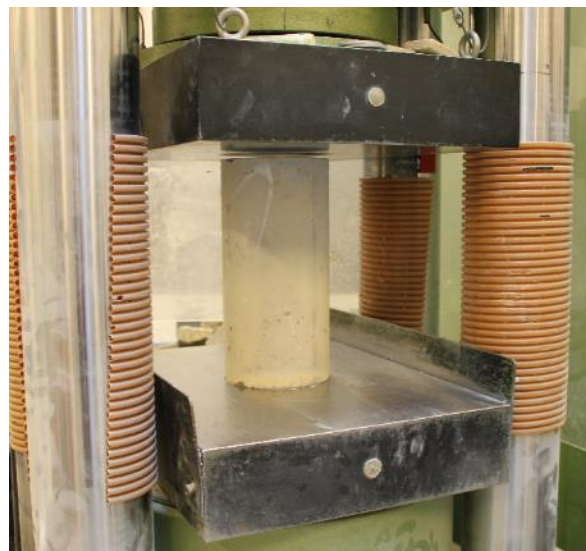
De hyppigst benyttede prøvningsmetoder til at bestemme den friske betons egenskaber omfatter konsistens/bearbejdelighed og luftindhold, som beskrevet i *DS/EN 12350* serien. Metoderne *DS/EN 12350-2* til *-5* benyttes til bestemmelse af bearbejdeligheden af traditionel sætmålsbeton, dvs. beton, der udstøbes vha. vibration. Metoderne *DS/EN 12350-8* til *-12* benyttes til bestemmelse af bearbejdeligheden af selvkompakterende beton. Densitet måles iht. *DS/EN 12350-6* mens luftindhold af den friske beton måles med pressurmeter efter metoden *DS/EN 12350-7*.



Figur 5. Til venstre og midt – måling af luftindhold i frisk beton med pressurmeter. Til højre – måling af flydesætmål (selvkompakterende beton). Foto: Unicon.

Hærdnet beton – styrke

Når man taler om hærdnet betons styrke, er det først og fremmest betonens trykstyrke der tænkes på (se evt. kapitel 10.1). Betonens Elasticitetsmodul (E-modul) og trækstyrke (oftest bestemt som spaltetrækstyrke), er egenskaber, der undertiden også stilles krav til (se evt. kapitel 10.2 og 10.3). Prøvning af tryk- og trækstyrke samt E-modul udføres iht. DS/EN 12390-serien som også beskriver prøvedimensioner og procedurer for prøvetagning. Fx kan trykstyrken måles på både terninger (typisk 150 mm), cylindre (typisk Ø150/300 mm) og kerner (typisk Ø100 mm). Cylindre og kerner har samme form, men forskellen i navngivningen refererer til at cylindre er udstøbt i forme, mens kerner er udboret af den færdige konstruktion.



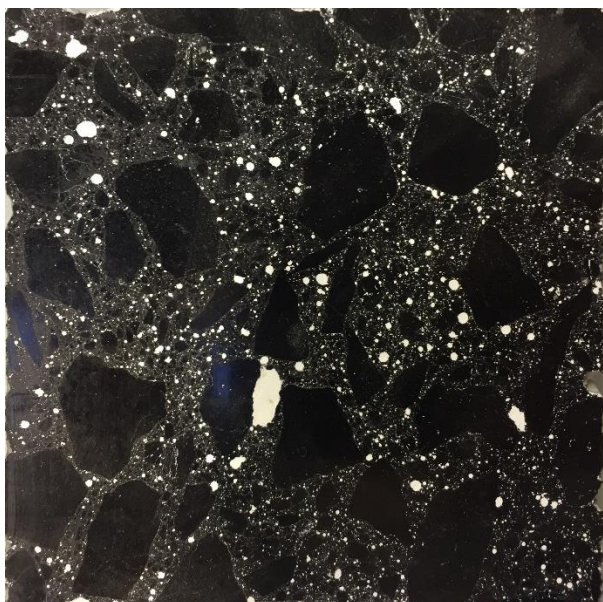
Figur 6. Til venstre: Beton fyldes i cylinderforme på vibrationsbordet. Til højre: Betoncylinder placeret i trykpresse – parat til at blive trykprøvet. Foto: Teknologisk Institut

Hærdnet beton - holdbarhed

I Danmark er det først og fremmest holdbarhedsegenskaber så som betonens frostbestandighed og betonens evne til at modstå indtrængning af chlorid, der ønskes bestemt. Frostbestandighed kan måles på forskellige måder.

Måling af betons afskalning ved frost/tø-påvirkning måles fx iht. den svenske metode *SS 137244 Concrete testing - Hardened concrete - Scaling at freezing* eller iht. *DS/CEN/TS 12390-9 Prøvning af hærdnet beton - Del 9: Fryse-tø-modstand - Materialetab*. Metoderne er nærmest identiske og valget af den ene frem for den anden afhænger ofte af kravstiller og tradition. Prøveemnerne præpareres og gennemgår frost/tø-temperaturcykler fra -20 °C til +20 °C over 24 timer i 56 eller 112 døgn. Prøveemnerne pakkes ind, så det kun er en enkelt side af prøveemnet som udsættes for temperaturcyklerne og som vand og/eller saltvandsbelastes. Herefter bestemmes mængden af afskallet materiale.

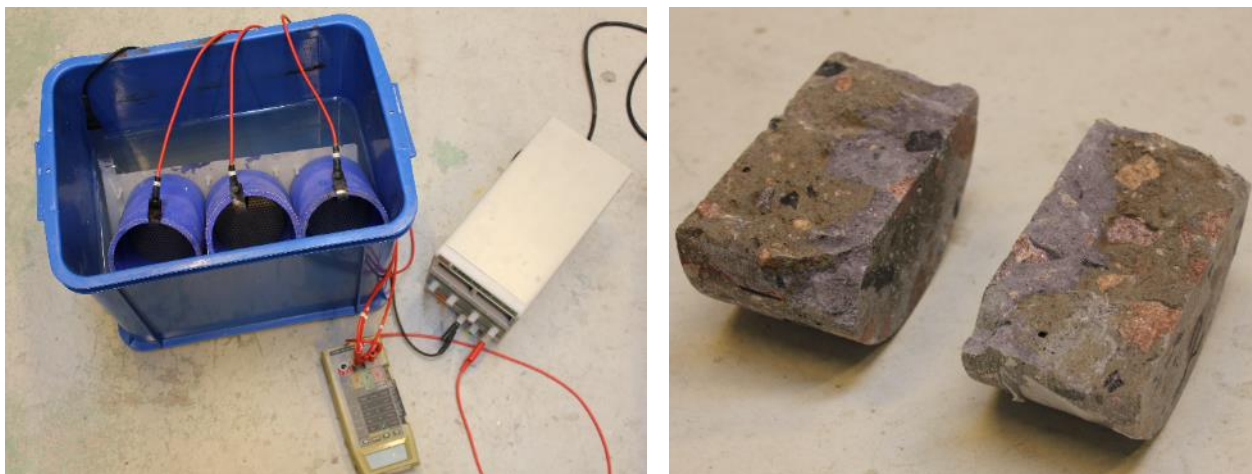
Da betonens luftporestruktur har afgørende betydning for frost/tø-bestandigheden, stilles der i Danmark også krav til luftporestruktur af beton, der udsættes for frost/tø-påvirkninger. Denne måles iht. *DS/EN 480-11 Tilsætningsstoffer til beton, mørtel og injektionsmørtel - Prøvningsmetoder - Del 11: Bestemmelse af luftporestruktur i hærdnet beton*. Et plant snit af betonen slibes efter specialiseret procedure og sortfarves. Herefter fyldes luftporerne med bariumsulfat, som er et hvidt pulver. Resultatet er en sort/hvid overflade som ved hjælp af et avanceret billedbehandlingssystem kan benyttes til at måle antal af porer, størrelse, samt afstand imellem disse.



Figur 7. Plant snit af beton, der er sortfarvet. Herefter behandlet med bariumsulfat som får porerne til at fremtræde tydeligt hvide.

Chloridindtrængning eller modstanden mod samme bestemmes på hærdnet beton efter fx *NT BUILD 443 Concrete, Hardened: Accelerated chloride penetration* eller *NT BUILD 492 Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments*. Mens NT

Build 443 tager ca. 50 dage at gennemføre kan NT Build 443 gennemføres på kun 3-5 dage. Metoden beskrevet i *DS/EN 12390-11* minder meget om NT BUILD 443.



Figur 8. NT Build 492: Til venstre – udstyr til bestemmelse af chloridmigrationskoefficient (CMC). Til højre: På prøvelegemet ses overgangen mellem det blågrå og det brungrå område, der viser, hvor langt chloriderne er trængt ind i prøven under prøvningen. Foto: Teknologisk Institut

Betons holdbarhed er i øvrigt beskrevet nærmere i kapitel 19.

Betonegenskaber til brug ved spændingsberegninger

Ved stort set alle store anlægskonstruktioner i Danmark stilles der krav om, at der gennemføres temperatur- og spændingsberegninger i forbindelse med hærdeprocessen. Dette krav skyldes, at varmeudviklingen fra betonens hærkning kan føre til høje temperaturbetingede spændinger i konstruktionen med deraf følgende risiko for revnedannelser.

Temperatur- og spændingsberegninger kan foretages ved hjælp af forskellige kommercielt tilgængelige Finite Element (FEM) programmer og skal dokumentere, at der ikke opstår uacceptable temperaturforskelle eller uacceptable trækspændinger under hærningen ved brug af den planlagte fremgangsmåde ved støbningen.

For at få et præcist skøn over temperatur- og spændingsfordelingen i en given konstruktion, og dermed også, om der kan forventes temperaturrelaterede revner i konstruktionen, kræves nøje kendskab til betonens egenskaber og udviklingen af disse over tid. De egenskaber, der bruges som inputparametre i beregningerne, omfatter bl.a. udviklingen i trykstyrke, udviklingen af spaltetrækstyrken, udviklingen af E-modulet samt varmeudvikling. Sidstnævnte bestemmes i en såkaldt 'høkkasse' eller adiabatisk kalorimeter. Men også betonens svind- og krybeegenskaber som funktion af tid i tidlig alder skal kendes. Disse kan fx bestemmes vha. *TI-B 102 Tøjninger fra krybning og svind i tidlig alder* som typisk bestemmes 0-28 døgn samt *TI-B 101 Temperaturudvidelseskoefficient* som typisk bestemmes efter 1, 7 og 14 døgn.



Figur 9. Udstyr til bestemmelse af betons krybning og svind til brug for blandt andet hærdeberegninger. Foto: Teknologisk Institut

Tilslag

Tilslag til beton skal opfylde kravene i DS/EN 12620 og DS/EN 206 samt det danske anneks DS/EN 206 DK NA. Hvilke prøvninger, der skal gennemføres, afhænger af forhold som størrelsen på tilslaget, indholdet af reaktive korn samt om der eksisterer tidligere erfaringer med et givent tilslag. Derudover er det, ligesom for beton, væsentligt hvilke miljø tilslaget skal benyttes i.

For alle tilslag gælder, at der skal foreligge en kornkurve og producenten skal bl.a. deklarere indhold af finstof. Prøvninger omfatter desuden - afhængig af tilslagsart, størrelse og hvor tilslaget skal bruges - en lang række egenskaber. Disse omfatter bl.a. volumenstabilitet, densitet, absorption, chloridindhold, sulfat- og svovlindhold, indhold af lette korn og alkalikiselreaktivitet.

Metoder til afdækning/identificering af skader i betonkonstruktioner

I forbindelse med skader på betonkonstruktioner kan betonlaboratorier bidrage med analyser samt fremstilling af præparater, der kan assistere ingeniøren/petrografen med

at kortlægge årsagen til skaden og ofte også omfanget og konsekvensen for levetiden. Se evt. kapitel 18 vedrørende betonkonstruktioners tilstand.¹

Det kan være skader som følge af alkalikiselreaktioner, frostskafer, sulfatangreb, syreangreb, karbonatisering, brandpåvirkning, overbelastning af konstruktionen etc., der skal identificeres.

En af de mest anvendte metoder til undersøgelse af nedbrudt beton er petrografisk analyse af udtagne betonprøver. Den petrografiske analyse udføres som en kombineret makro- og mikroanalyse, hvor der eventuelt også kan tages scanning-elektronmikroskopi i anvendelse. De primære præparater til en petrografisk analyse er fluorescensimprægnerede tyndslib og planslib, der fremstilles efter metoderne beskrevet i *DS 423.39* og *DS 423.40*. Oftest fremstilles de fra én betonkerne som gennemskæres, og de to halvdele benyttes til hver af de to prøvninger.

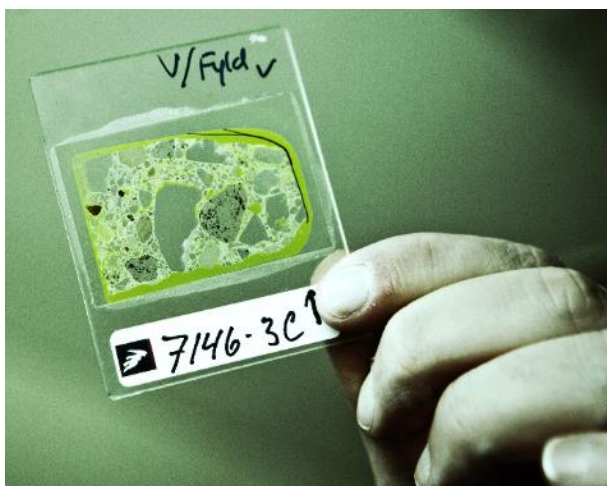
Det er ofte væsentligt, at fremstillingen af præparater foregår i samarbejde med den petrograf/ingeniør, der skal analysere prøven, samt den person der har udtaget prøven. Dette sikrer, at placering af tyndslib og planslib lægges således at mængden af information bliver størst.

Et fluorescensimprægneret planslib er en skive udskåret af beton, der imprægneres med fluorescerende epoxy. Når planslibet belyses med UV-lys, fremstår eventuelle revner og andre hulrum tydeligt.

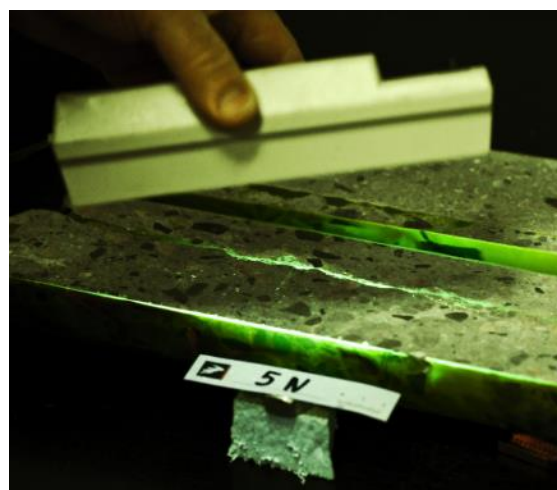
Et fluorescensimprægneret tyndslib er en 20 µm tyk skive beton imprægneret med fluorescerende epoxy. En så tynd skive beton kan gennemlyses. Ved at gennemlyse tyndslibet i mikroskop gennem forskellige filtre, kan forskellige karakteristika trækkes frem. Mikroskopet tillader typisk en forstørrelse på omkring 400x. Fremstilling af tyndslib foregår ved at slibe et velimprægneret, tykkere præparat ned til 20 µm. Det er væsentligt at sikre, at tyndslibet lægges korrekt i det tykkere præparat, da man ellers risikerer, at de tilbageværende 20 µm ikke er ordentligt imprægneret, hvorved tyndslibet ikke kan analyseres. Selve processen kræver veluddannet personale med stor erfaring for at sikre at slibet er ordentligt imprægneret, er 20 µm tykt overalt, og der ikke sker udrivninger eller revnedannelser ifm. præparationen.

Derudover kan laves præparater, såkaldte polérprøver, til scanning elektron mikroskopi (SEM). SEM kan sikre forstørrelser på op til mange tusinde gange. Typisk vil man for cementbaserede materialer benytte omkring 10.000-12.000x forstørrelse. Koblet med et EDX-modul er det muligt at bestemme grundstofsammensætningen i de punkter, man ser på, og på den måde afdække reaktionsprodukter, belægnings, mm.

¹ En petrograf er oftest uddannet geolog og kan udføre detaljerede beskrivelse af mineralogiske, kemiske og strukturelle forhold i natursten og beton.



Figur 10. Tyndslib til petrografisk analyse – til højre ses et tyndslib i lysmikroskop. Foto: Teknologisk Institut.



Figur 11. Planslib: Gennemskåret betonkerne imprægneret med fluorescerende epoxy. Revner træder tydeligt frem når præparatet eksponeres i UV. Foto: Teknologisk Institut.

Nedenfor er oplistet andre prøvningsmetoder, der benyttes til udredning af skader i en betonkonstruktion:

- Bestemmelse af materialets ligevægts relative luftfugtighed.
- Fugtindhold ved veje-/tørremetoden. Fugtindhold bestemmes ved tørring ved 105 °C til konstant masse.
- DS/EN 14629 Bestemmelse af kloridindhold i hærdnet beton. Bestemmelse af betonens chloridindhold ved Volhard-titrering eller potentiometrisk titrering.
- Rapid Chloride Testing (RCT). Hurtig metode til at give en indikation af betonens chloridindhold.
- DS/EN 14630 Bestemmelse af karboniseringsdybden i hærdnet beton ved phenolphthalein-metoden.
En frisk brudflade af betonen påføres en phenolphthaleinopløsning, hvorved den ukarbonatiserede beton får en kraftig rød-violet farve. Den karbonatiserede del af betonen skifter ikke farve. Ved at måle tykkelsen af den ufarvede del af

betonen, kan man få en indikation om karbonatiseringsdybden – se også kapitel 19.2 om karbonatisering.

15.1.9 Laboratoriets udstyr

Til at udføre prøvningsmetoder kræves typisk en lang række af specialudstyr. I det følgende præsenteres et udpluk af det udstyr, man ofte ser i et i et betonlaboratorie.

Standardudstyr

Der er en del udstyr, som er standardudstyr i de fleste betonlaboratorier, herunder hører, blandt meget andet diverse håndværktøj, varmeskabe, måleudstyr såsom skydelærer mv., betonsav til udskæring af prøvelegemer, samt temperaturstyrede lagringskar og vægte.

Der bruges vægte i forbindelse med størstedelen af den prøvning, der foregår i et betonlaboratorie. Vægte bruges således til afvejning af tilslag til beton, vejning af betoncylindre i forbindelse med densitetsbestemmelse, afvejning af pulver til chloridanalyse osv. Kravene til kapacitet og nøjagtighed afhænger af, hvad vægten skal bruges til og derfor finder man også typisk forskellige typer vægte i betonlaboratoriet, dækkende et stort måleinterval lige fra brøkdele af gram til mange kg.

Udstyr til prøvning af tilslag

Til prøvning af tilslag, vil der være brug for udstyr til bestemmelse af fx densitet og absorption (vægte, pyknometre, varmekilder til tørring af sand, mm.), bestemmelse af kornkurve (sigtesøjler, vægt, ovn, m.m.)

Se også kapitel 3.2 for en nærmere beskrivelse af tilslag til beton.



Figur 12. Eksempler på udstyr til prøvning af tilslag. Til venstre - sigtesøjle, til højre - sigter.
Foto: Teknologisk Institut.

Blandemaskiner

Til at udføre prøveblandinger af mørtel og beton, skal der bruges blandemaskiner og også her afhænger krav til kapacitet og nøjagtighed af, hvad blandemaskinen skal bruges til. Er der fx tale om, at der skal blandes mørtel til en prismeform, hvor der kun skal bruges omkring én liter færdigblandet mørtel eller skal der blandes beton til større prøvelegemer, hvor der måske er brug for over 100 liter beton.

Det viser sig i praksis ofte vanskeligt at blande ligeså effektivt i laboratoriet som på en produktionsblander. Derfor skal betonrecepter udviklet på små laboratorieblandere eftervises på en produktionsblander.



Figur 13. Eksempel på forskellige typer blandemaskiner. Til venstre en standardiseret såkaldt 5 l (med reference til karrets totalvolumen) blander med en max. kapacitet ca. 2 l. I midten – Betonblander – max kapacitet ca. 60 l. Til højre – betonblander, der bortset fra en mindre kapacitet svarer til en produktionsblander – max kapacitet ca. 250 l. Foto: Teknologisk Institut.

Udstyr til prøvning af frisk beton og støbning af prøvelegemer

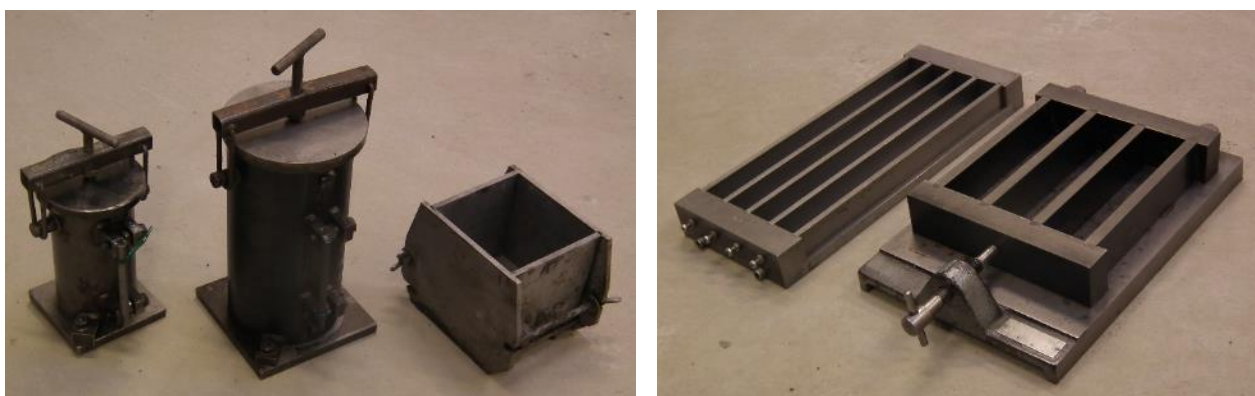
Til måling af egenskaberne af frisk beton – se kapitel 5 – kræves udstyr som sætmålskegle, pressurmeter, faldbord mv.

Til udstøbning af prøvelegemer til styrkeprøvning, holdbarhedsprøvning mv. skal der bruges forme – det kan fx være cylinderforme, terningforme, prismeforme og bjælkeforme. Når der findes mange forskellige dimensioner, skyldes det især nationale traditioner. Især er der ofte forskel på dimensioner forskrevet i en ASTM-standard ift. en EN-standard.



Figur 14. Til venstre - sætmålskegle. I midten - pressurmeter til bestemmelse af luftindhold i hhv. mørtel (ca. 1 l) og beton (ca. 8 l). Til højre udstyr til måling af flydesætmål (for SCC). Foto: Teknologisk Institut.

I den gældende materialestandard for beton – DS/EN 206 – tillades både cylindre (Ø150/300 mm) og terninger (150 mm) til bestemmelse af trykstyrken.

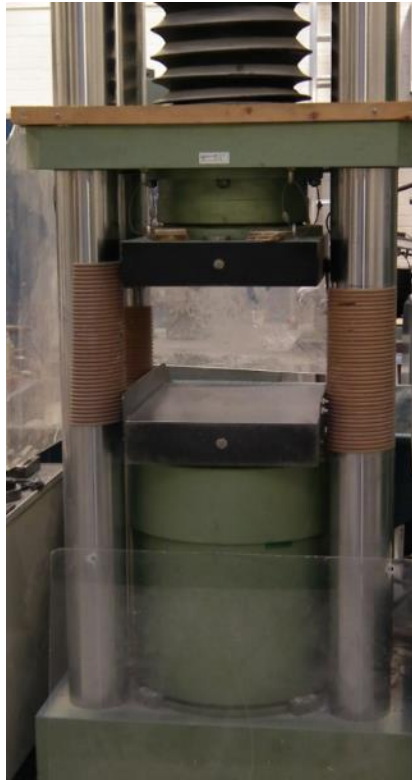


Figur 15. Eksempel på forme til støbning af prøvelegemer. Til venstre – Ø100 x 200 mm og Ø150 x 300 mm cylinderforme og 150 x 150 mm terningform. Til højre – prismeforme. Foto: Teknologisk Institut.

For at sørge for, at betonen er korrekt udstøbt i formen, skal der, med mindre der er tale om en selvkomprimerende beton, benyttes et vibrationsbord. Er der tale om større forme - til fx bjælker med armering - benyttes stavvibrator for at sikre kompakteringen.

Trykpresser

Et betonlaboratorie vil typisk have én eller flere trykpresser, som primært anvendes til bestemmelse af betonens trykstyrke. Alt afhængig af hvilke prøvelegemer, der skal styrkeprøves, stilles der forskellige krav til maskinens nøjagtighed og kapacitet. Det kan fx være et prisme på 40 x 40 x 150 mm, der skal testes i bøjning, en cylinder i højstyrkebeton der skal trykprøves, eller et vægelement, hvor der skal måles udbøjning.



Figur 16. Trykprøvningsmaskiner. Til venstre – trykpresse, max kapacitet 200 kN. Midt – trykpresse max kapacitet 3000 kN Til højre – trykpresse, max kapacitet 4900 kN. Foto: Teknologisk Institut.

Udstyr til holdbarhedsprøvning

Der benyttes et meget varieret udvalg af udstyr i forbindelse med afprøvning af betons holdbarhed, herunder udstyr til måling af chloridindhold, frostbestandighed, fugtindhold osv.

En ofte anvendt holdbarhedsprøvning er frostprøvning, der foregår ved, at emnerne gennemgår forudbestemte frost/tø-cykler, hvor gradienterne hvormed der fryses og tøs er nøje styret. Mængden af materiale, der afskaller pga. frostsprængninger efter fx 56 frost/tø-cykler, benyttes dermed som udtryk for en betons frostbestandighed.

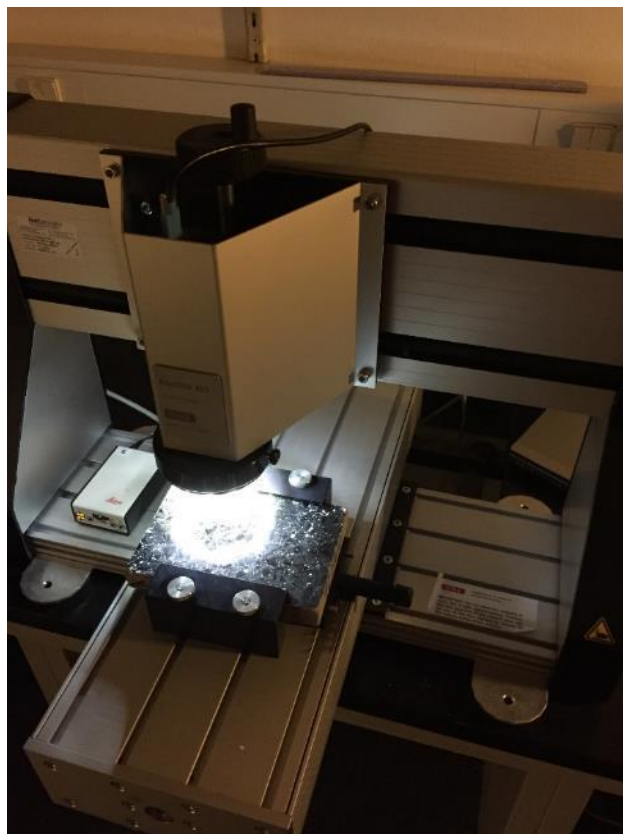


Figur 17. Eksempler på udstyr til holdbarhedsprøvning. Til venstre - Prøvelegemer til frostprøvning i frostskaab, øverst til højre - eksempler på prøver til frostprøvning. Nederst til højre -udstyr til potentiometrisk titrering. Foto: Teknologisk Institut.

Slibeudstyr og mikroskoper

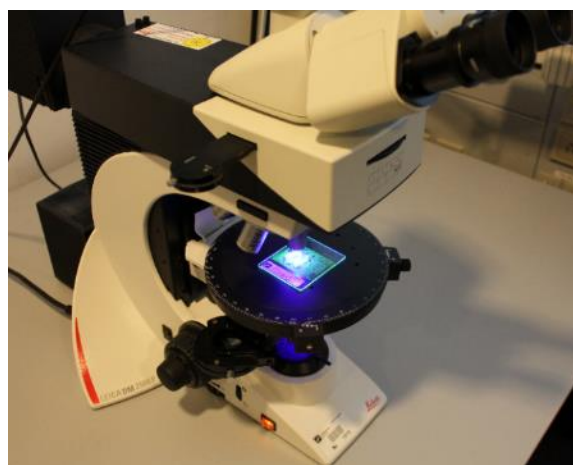
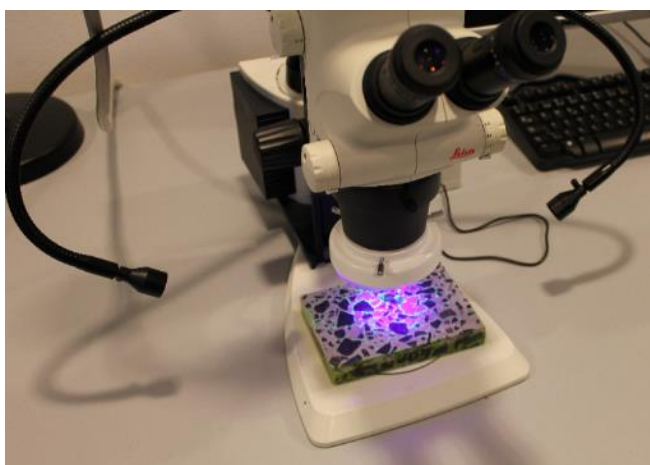
I forbindelse med petrografiske analyser skal der fremstilles præparater som efterfølgende skal analyseres. Til dette benyttes et antal forskellige slags slibeudstyr. Kvaliteten af de fremkomne præparater afhænger i høj grad af både udstyr og operatør. Der findes automatiserede processer som reducerer operatørafhængigheden. Disse giver til gengæld ikke mulighed for at fremstille helt så præcise præparater som ved de manuelle processer. Sidstnævnte kræver til gengæld specialiseret personale.

Prøver til luftporeanalyse gennemgår, ligesom prøver til petrografiske analyser, en specialiseret slibeprocess for at opnå en overflade der kan analyseres. Efter behandling med hvidt kontrastpulver, der udfylder de synlige luftporer, kan prøverne analyseres.



Figur 18. Til venstre – slibeudstyr til præparation af prøver til luftporeanalyse. Til højre – automatiseret udstyr til luftporeanalyse. Foto: Teknologisk Institut.

Figur 19 viser de to forskellige slags mikroskoper, der kan benyttes til petrografisk analyse af hhv. planslib og tyndslib.



Figur 19. Mikroskoper: Til venstre – stereomikroskop til analyse af fx planslib. Til højre – Polarisationsmikroskop til fx analyse af tyndslib. Foto: Teknologisk Institut.

15.1.10 Referencer

- [1] DS/EN 206:2013+A1:2016 - Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse.

- [2] DS/EN 480-11 Tilsætningsstoffer til beton, mørtel og injektionsmørtel - Prøvningsmetoder - Del 11: Bestemmelse af luftporestruktur i hærdnet beton.
- [3] DS/EN 12350 - Prøvning af frisk beton. Serien består af del 1 – 12.
- [4] DS/EN 12390- Prøvning af hærdnet beton. Serien består af del 1-13.
- [5] DS/EN 12620 + A1:2008 - Tilslag til beton.
- [6] DS/EN 14629:2007 - Produkter og systemer til beskyttelse og reparation af betonkonstruktioner - Prøvningsmetoder - Bestemmelse af kloridindhold i hærdnet beton.
- [7] DS/EN 14630:2006 - Produkter og systemer til beskyttelse og reparation af betonkonstruktioner - Prøvningsmetoder - Bestemmelse af karboniseringsdybden i hærdnet beton ved phenolphthalein-metoden.
- [8] DS/EN ISO/IEC 17025:2005 - Generelle krav til prøvnings- og kalibreringslaboratoriers kompetence.
- [9] NT BUILD 443 Concrete, Hardened: Accelerated chloride penetration.
- [10] NT BUILD 492 Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments.
- [11] SS 137244:2005 - Betongprovning - Hårdnad betong - Avflagning vid frysning.