

Rapporten indeholder en overordnet gennemgang af udviklingen i lovgivningen for betonelementer samt en gennemgang af udviklingen af udvalgte krav til betonsammensætning og holdbarhedsegenskaber for beton i perioden 1949-1986 sammenholdt med nugældende krav. Formålet med dokumentet er at give et indblik i lovgivningens betydning for genbrugspotentialt af betonelementer fra forskellige tidsperioder.

[P]RECAST

UDVIKLING I LOVGIVNING MED FOKUS PÅ HOLDBARHED FOR BETONELEMENTER



(P)RECAST er et forsknings- og udviklingsprojekt støttet af MUDP under Miljøstyrelsen. Projektet har til formål at bane vejen for genbrug af hele betonelementer i nyt byggeri og er et samarbejde mellem 13 aktører i byggebranchen.

Projektet havde opstart i januar 2022 og forventes afsluttet i sommeren 2025.

Denne rapport er én af ni rapporter, der udgives af Teknologisk Institut med henblik på at formidle viden og erfaringer fra projektet til byggebranchen.

Udarbejdelsen af rapporterne er et samarbejde mellem forskellige virksomheder i projektet, og rapporterne er forfattet af virksomhederne i de tilhørende arbejds pakker. Forfatterne af nærværende rapport er Teknologisk Institut.

Anvendelse af dokumentet er for brugerens eget ansvar og risiko i enhver henseende.

REDAKTION

Katja Udbye Christensen, Teknologisk Institut
Mia Schou Møller Lund, Teknologisk Institut
Thomas Juul Andersen, Teknologisk Institut
Kåre Stokholm Poulsgaard, GXN
Bjørn-Tore Johannesen, GXN

KONTAKT

Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
DK-2630 Taastrup

+45 72 20 20 00
info@teknologisk.dk

KONTAKTPERSON

Katja Udbye Christensen
Projektleder (P)RECAST

+45 72 20 20 89
kudc@teknologisk.dk

<https://www.teknologisk.dk>



UDGIVELSER I (P)RECAST

TITEL	INDHOLD
1 GENBRUG AF BETONELEMENTER	Anbefalinger og gode råd til aktører i byggebranchen der ønsker at implementere genbrugte betonelementer i sine projekter.
2 INDUSTRIALISERINGENS MONTAGEBYGGERIER	Historisk kortlægning af den tekniske udvikling af betonelementer i Danmark med udgangspunkt i etageboliger fra industrialiseringens montagebyggerier.
3 UDVIKLING I LOVGIVNING MED FOKUS PÅ HOLDBARHED FOR BETONELEMENTER	Kortlægning af lovgivningen vedr. krav til betonsammensætning og udvalgte holdbarhedsmæssige egenskaber af betonelementer.
4 UDBUD MED NEDTAG AF HELE BETONELEMENTER	Forslag til bygherre og bygherrerådgiver i forbindelse med udarbejdelse af udbud for demontage af eksisterende byggeri med henblik på at nedtage hele betonelementer til genbrug.
5 NEDTAGNING OG HÅNTERING	Principper for nedtagning og håndtering af hele betonelementer med henblik på genbrug.
6 KVALITETSSIKRING OG DOKUMENTATION	Erfaringer med test og dokumentation af genbrugte betonelementer.
7 NYE DESIGNS OG SAMLINGSMETODER	Design af konstruktive systemer og samlingsprincipper med genbrugte betonelementer.
8 DEMONSTRATORER OG MOCK-UPS	Case-specifikke læringer, viden og erfaringer fra (P)RECAST demonstratorer og mock-ups.
9 PROJEKTER MED GENBRUG AF BETONELEMENTER	Igangværende og afsluttede initiativer der omhandler genbrug af hele betonelementer i Danmark og globalt.

Nærværende rapport er fremhævet med fed skrifttype

I. FORORD



Danmark har en stærk tradition for at anvende betonelementer i byggeriet, og derfor udgør præfabrikerede betonelementer også et stort volumen i den danske bygningsmasse. Samtidig er bygge- og anlægsbranchen ansvarlig for omkring 40 % af den totale årlige affaldsmængde [1]. Den nuværende praksis for håndtering af betonelementer, når bygninger skal nedrives, er typisk nedknusning og efterfølgende erstatning af jomfrueligt sand og sten i vejopbygninger eller i ny beton.

Nedrivning af betonelementbyggeri foretages bl.a. af kulturelle behov og nye ønsker til byggeriet, og på nedrivningstidspunktet kan betonelementerne have en lang restlevetid. Betonelementer kan i stedet adskilles, nedtages og genbruges i nyt byggeri frem for at blive nedknust, så funktionen og værdien af de eksisterende betonelementer bevares, og samtidig medfører potentiale for reduktioner i klimaaftryk og ressourceforbrug.

Genbrug af ældre betonelementer til bærende konstruktioner i nyt byggeri kræver ny viden og nye måder at arbejde på. (P)RECAST vil bane vejen for genbrug af betonelementer ved at løse udfordringerne gennem hele værdikæden, fra nedrivning til genindbygning.

I forbindelse med afslutningen af (P)RECAST udgives en serie af rapporter henvendt til byggeriets aktører. Det er forhåbningen, at disse udgivelser kan bidrage til højere grad af genbrug af præfabrikerede betonelementer i fremtiden.

II. INDHOLD



I.	Forord	4
II.	Indhold	6
III.	Introduktion	9
III.I	Indledning	10
III.II	Termer og definitioner	11
1.	Betonelementer og genbrug	13
1.1	Betonelementer i dag	14
1.2	Genbrugspotentiale ift. lovgivningen	16
2.	Udvikling i lovgivningen	19
2.1	Udvikling i normer og standarder	20
2.2	Rettelser til normer og standarder	22
2.3	Lovgivning og kontrol af betonelementer	23
3.	Normmæssige krav til egenskaber	27
3.1	Udvalgte krav til holdbarhedsegenskaber	28
3.2	Miljøklasser, miljøpåvirkning og eksponeringsklasser	30
3.3	Trykstyrke	34
3.4	Vand/cement-forhold	38
3.5	Dæklag	42
3.6	Kloridindhold	46
3.7	Frostbestandighed	50
3.8	Indhold af porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn	52
3.9	Indhold af porøse og frostfarlige sten	54
3.10	Alkaliindhold	56
IV.	Figurliste	58
V.	Tabelliste	59
VI.	Litteraturliste	60





III. INTRODUKTION

III.I INDLEDNING

Rapporten indeholder en overordnet gennemgang af udviklingen i lovgivningen for betonelementer samt en gennemgang af udviklingen af udvalgte krav til betonsammensætning og holdbarhedsegenskaber i normer og standarder fra perioden 1949-1986 sammenholdt med nutidens krav. Der er således ikke tale om en komplet gennemgang af lovgivningen, men fokus på udvalgte aspekter relevante for genbrug af betonelementer fra en udvalgt periode, som vurderes at være særlig aktuel.

Formålet med rapporten er at give et indblik i lovgivningens betydning for genbrugspotentialt af betonelementer fra forskellige tidsperioder. Indholdet er baseret på en gennemgang af lovgivningen, og fortæller ikke noget om de faktiske egenskaber for betonelementer produceret i den pågældende periode.

Der tages i gennemgangen udgangspunkt i følgende normer og standarder:

- DS 411 fra 1949, 1973 (inkl. vejledning) og 1984
- Basisbetonbeskrivelsen (BBB) fra 1986
- EN 206:2013 + A2:2021 og DS 206:2024
- DS/EN 1992-1-1:2023 og DS/EN 1992-1-1 DK NA:2024
- Øvrige normer, standarder og vejledninger hvor relevant

Rapporten er målrettet følgende aktører:

- Rådgivere
- Producenter af genbrugte betonelementer

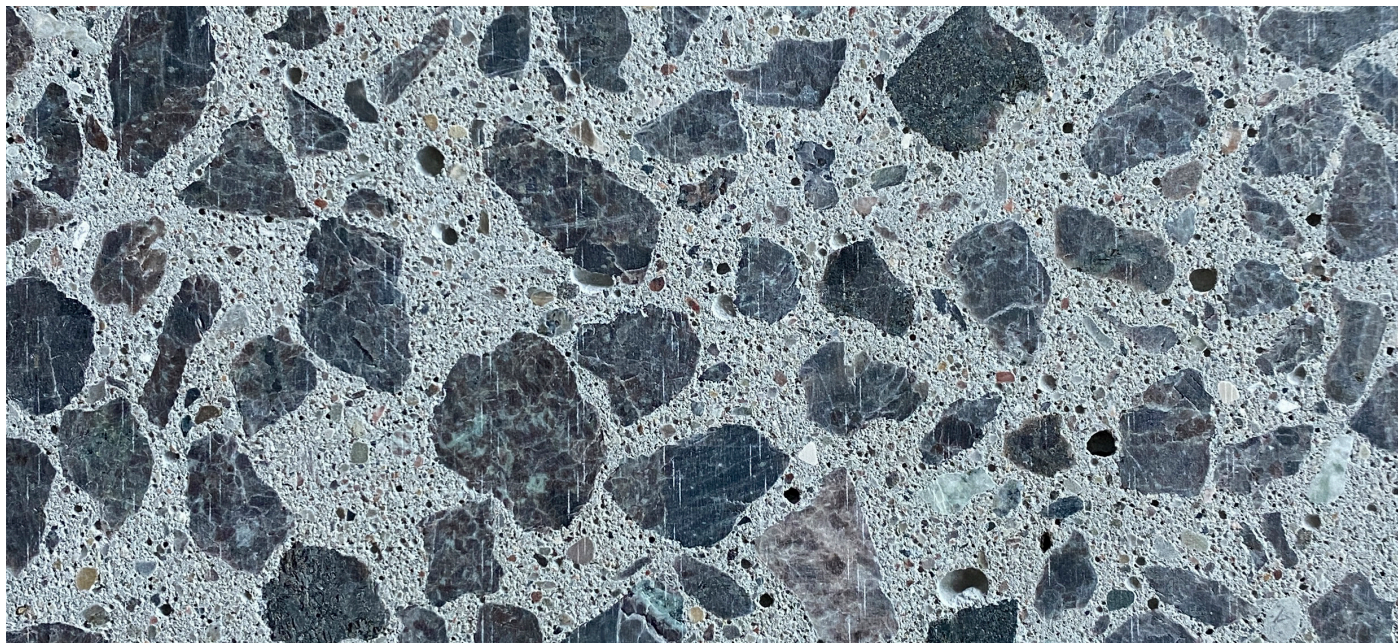


Fig. 01 Beton består som minimum af cement, vand, sand og sten, men der kan også tilsættes andre materialer, f.eks. flyveaske eller luftindblandingsmiddel. Faktorer som delmaterialernes egenskaber, mængden der tilsættes, hvornår de tilsættes, og hvordan blandingen er, har alle betydning for betonens egenskaber. Foto: Teknologisk Institut

III.II TERMER OG DEFINITIONER

BETONELEMENTER: Hele konstruktionselementer i beton som støbes et andet sted, end hvor de anvendes (præfabrikerede betonelementer).

BINDER: En fælles betegnelse for det pulver som tilsættes i betonen, og som giver betonen styrke, samt bidrager til udvikling af andre egenskaber.

DÆKLAG: Dæklaget er det betonlag, som skal beskytte armeringen mod udefrakommende påvirkninger. Dæklagstykkelsen svarer til afstanden fra armeringens yderside til betonkonstruktionens overflade.

EKSPONERINGSKLASSE, MILJØKLASSE OG MILJØPÅVIRKNING: Betegnelser for forskellige miljøer, som beton kan eksponeres i. I de europæiske definitioner betegnes miljøerne som "eksponeringsklasser". "Miljøklasse" blev anvendt til beskrivelse af miljøer i de danske standarder frem til 2018, hvor termen blev erstattet af "miljøpåvirkning". Efter introduktionen af de europæiske definitioner, blev den danske term "Miljøklasse" og sidenhen "miljøpåvirkning" anvendt som gruppering af eksponeringsklasserne.

FLYVEASKE: Biprodukt fra kulafbrænding. Anvendes i beton som en delvis erstatning for cement.

HARMONISERET STANDARD: En standard som er bestilt af EU-kommissionen. Harmoniserede standarder for byggevarer er udarbejdet således, at relevante krav fra byggevarereforordningen efterleves. Produkter, som er omfattet af en harmoniseret standard, skal CE-mærkes, hvis de bringes på markedet.

KARBONATISERING: En kemisk proces hvor CO₂ fra luften optages i betonen. Karbonatisering sænker betonens høje pH-værdi, som normalt beskytter armeringen mod rust, og dermed kan armeringen begynde at ruste under de rette fugtforhold.

KONTROLDORDNING: En ordning hvor en tredjepart skal evaluere, om der er overensstemmelse mellem praksis og det pågældende kontrolgrundlag.

MIKROSILICA: Biprodukt fra produktion af silicium eller ferrosilicium. Anvendes i beton som en delvis erstatning for cement, særligt i anlægskonstruktioner som udsættes for havvand.

NORMER OG STANDARDER: Der findes ingen entydig definition på, hvornår noget er en "norm" og noget er en "standard". Dansk Standard har traditionelt anvendt termen "standard", hvorimod Dansk Ingeniørforeningen tidligere har anvendt termen "normer" (særligt om beregnings- og designdokumenter) og termen "standard" (særligt om materiale-, prøvnings- og klassificeringsdokumenter).

TILSLAG: Sand og sten (i ældre litteratur også omtalt som grus) til beton

TILSÆTNING: Pulver som anvendes i betonproduktionen, f.eks. kalkfiller. Nogle tilsætninger bidrager til en styrketilvækst af betonen, se "binder".

TILSÆTNINGSSTOFFER: Et delmateriale som tilsættes betonen for at opnå specifikke egenskaber, f.eks. superplastificerende middel til øget bearbejdighed.

Anvendte forkortelser: AKR: Forkortelse for "alkalikieselreaktioner".

BEK: Forkortelse for "Betonelementkontrollen". BBB: Forkortelse for

"Basisbetonbeskrivelsen". DBC: Forkortelse for "Dansk Betoncificering". DIF:

Forkortelse for "Dansk Ingeniørforening".



AVAS

1245



1. BETONELEMENTER OG GENBRUG

1.1 BETONELEMENTER I DAG

BETONELEMENTPRODUKTIONEN: I 2018 blev ca. 20 % af al beton produceret i Danmark anvendt til betonelementer (Dansk Beton, 2023). Det vurderes, at huldæk er den mest anvendte type af betonelement. Huldæk anvendes typisk indendørs i opvarmede miljøer eller til tagkonstruktioner. Anvendelse af huldæk i Danmark begyndte i midten af 1950'erne og vandt for alvor frem i 1960'ernes montagebyggeri. Den historiske udvikling af betonelementer til særligt lejlighedskomplekser gennemgås i rapport 2.

HARMONISEREDE STANDARDER: De fleste typer af betonelementer produceres i dag i overensstemmelse med harmoniserede standarder, f.eks. EN 1168 for huldæk, EN 14992 for vægge og EN 13224 for TT-elementer. De typer af betonelementer, der ikke dækkes af harmoniserede standarder, produceres i henhold til den generelle standard for betonelementer EN 13369. I rapport 6 kapitel 1 beskrives mere om harmoniserede standarder, inkl. CE-mærkning, ydeevnedeklarationer og kontrol. Overgangen til de harmoniserede standarder skete som et led i udrulningen af et fælles europæisk direktiv for byggevare, som generelt markerede et paradigme skifte for byggeriet.

KRAV TIL BETONSAMMENSÆTNINGEN: Betonsammensætningen har stor betydning for betonens holdbarhed. For krav til betonsammensætningen henvises der fra de harmoniserede standarder til EN 206-1. Da denne ikke længere er gældende i Danmark, produceres betonen til betonelementerne i stedet efter den opfølgende standard til EN 206-1, EN 206 med supplerende danske krav i DS 206. Krav til betonproduktion, herunder også betonsammensætning, var tidligere baseret udelukkende på danske krav og er siden produktionen af betonelementer begyndte i Danmark, udviklet markant.



Fig. 02 Huldæk vurderes at være den mest anvendte betonelementtype i Danmark i dag, og anvendes til etageadskillelser og tagkonstruktioner. Huldæk skal i dag produceres i overensstemmelse med EN 1168. Foto: Teknologisk Institut

1.2 GENBRUGSPOTENTIALE IFT. LOVGIVNINGEN

GENERELT: Det tekniske genbrugspotentiale betegner de tekniske, praktiske og lovgivningsmæssige muligheder for, at et betonelement kan genbruges i et nyt byggeri. Det tekniske genbrugspotentiale afhænger af en lang række faktorer, f.eks. typen af betonelement, tilstanden af betonelementet (herunder også hvilke forhold betonelementet har været eksponeret for og hvor længe) samt holdbarheden af betonelementet ved genbrug. Det er derfor ikke lovgivningen alene, der er af essentiel betydning ift. genbrugspotentialet af betonelementer, da byggemetoder, traditioner mv. også spiller ind. Lovgivningen kan dog give et fingerpeg i retning af, hvor der kan være muligheder, og hvor der kan være udfordringer ift. genbrug.

I den tidligere lovgivning ses der generelt en tendens til, at kravene til holdbarhed var mere lempelige end i dag, eller at der slet ingen krav var. Det er desuden vigtigt at være opmærksom på, at de krav og processer, som ligger bag fastsættelsen af en given egenskab, også har ændret sig gennem tiden. Det gælder både ift. selve prøvningsmetoderne, prøvningsomfang og databehandling af målte resultater, men også ift. krav til tredjepartskontrol samt producenterne interne systemer og procedurer f.eks. oplæring af medarbejdere og kalibrering af udstyr. Det betyder ikke, at betonelementer produceret under tidligere lovgivning ikke kan overholde de i dag gældende krav, men at der baseret på lovgivningens udvikling er risiko for, at de ikke gør. Der mangler dog konkret erfaring og kortlægning af de faktisk opnåede egenskaber for betonelementer produceret igennem tiden for mere præcist at kunne vurdere den reelle risiko for, at betonelementer fra forskellige tidsperioder ikke overholder kravene i dag.

MILJØPÅVIRKNING: Nutidens krav til holdbarhedsmæssige egenskaber for betonelementer varierer alt efter hvilken miljøpåvirkning, som betonelementerne produceres til at kunne modstå (passiv, moderat, aggressiv eller ekstra aggressiv miljøpåvirkning, jf. side 30 for definition) og dermed har miljøpåvirkningen, som betonelementer ønskes genbrugt til også en betydning for, om genbrug er muligt. Ses der udelukkende på kravene til betons holdbarhed og sammensætning, er genbrugspotentialet størst for betonelementer fra og til passiv miljøpåvirkning, som er det mildeste miljø, og hvor der stilles relativt få holdbarhedsrelaterede krav.



Fig. 03 Genindbygning af huldæk nedtaget fra Gellerupparken. Foto: Teknologisk Institut

Såfremt bæreevnen er tilstrækkelig, vurderes det derfor generelt, at det er sandsynligt, at betonelementer fra passiv miljøpåvirkning kan genbruges igen i passiv miljøpåvirkning. Det er også muligt at genbruge betonelementer fra andre miljøpåvirkninger i passiv miljøpåvirkning, såfremt tilstanden af betonelementerne er acceptabel. Det er derimod svært at forestille sig, at ret mange betonelementer fra passiv miljøpåvirkning kan genbruges i andre miljøpåvirkninger, hvor der stilles skærpede krav.

Ses der på betonelementer fra moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning, stilles der flere krav til betonsammensætningen i dag end tidligere. Et eksempel på det er f.eks. indhold af alkalikiselreaktivt tilslag (jf. side 52), der først kom krav til i 1986 med udgivelsen af Basisbetonbeskrivelsen (BBB). Det vurderes generelt, at risikoen for, at betonelementerne ikke overholder nutidens krav, er større for betonelementer som påtænkes anvendt til moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning produceret iht. DS 411 fra 1949, 1973 og 1984 end dem produceret iht. BBB.

Derudover er det vigtigt at være opmærksom på, at betonelementer fra moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning kan have en reduceret levetid, f.eks. hvis en stor del af dæklaget allerede er karboniseret (se side 42), og det effektive dæklag, som beskytter armeringen, derfor er mindre end det fysiske dæklag.

UARMEREDE BETONELEMENTER: Ses der på uarmerede betonelementer, har kravene historisk set været mere lempelige end kravene til armerede betonelementer, f.eks. iht. krav til vand/cement-forhold. Det skyldes, at der ikke er samme behov for beskyttelse af armering mod korrosion. Kravene til uarmeret beton er også mere lempelige end kravene til armeret beton i lovgivningen i dag. Mange ældre betonelementvægge er relativt uarmerede og har f.eks. kun randarmering eller lodrette armeringsstænger placeret ved de oprindelige løfteøjer. For denne type af betonelementer har armeringen ikke nogen konstruktiv betydning, når først betonelementerne er indbygget. Armeringskorrosion kan dog i værste fald alligevel føre til afskalninger eller revner i betonen, som kan være problematisk for betonelementets bæreevne og visuelle udtryk. Derfor kan det diskuteres hvilke krav, der skal være gældende for betonelementvægge, som fra et statisk perspektiv betragtes som uarmerede, men reelt indeholder en mindre mængde armering.



A black and white photograph of a building under construction. The image shows a concrete wall and floor. Several diagonal steel beams are bolted to the wall, creating a series of parallel lines that recede into the distance. On the left, there is an opening in the wall, revealing an outdoor area with trees and a fence. The lighting is dramatic, with strong shadows.

2. UDVIKLING I LOVGIVNINGEN

2.1 UDVIKLING I NORMER OG STANDARDER

GENERELT: Der er gennem tiden løbende udkommet nye normer og standarder for betonkonstruktioner. I Fig. 04 er der vist en tidslinje over udgivelser og revideringer af udvalgte normer og standarder. Tidslinjen omfatter perioden 1949-1999 samt de i dag gældende normer og standarder, der er udgivet i perioden efter 1999. Normerne fra 1987 til 2000 er medtaget for overblikkets skyld, men vil ikke blive yderligere adresseret i nærværende rapport. Fokus er i stedet lagt på den tidligere periode, dels fordi kravene i den periode afviger mere fra nugældende krav og dels fordi der forventes at være flere bygninger med betonelementer fra den periode, som i den kommende tid vil blive nedrevet.

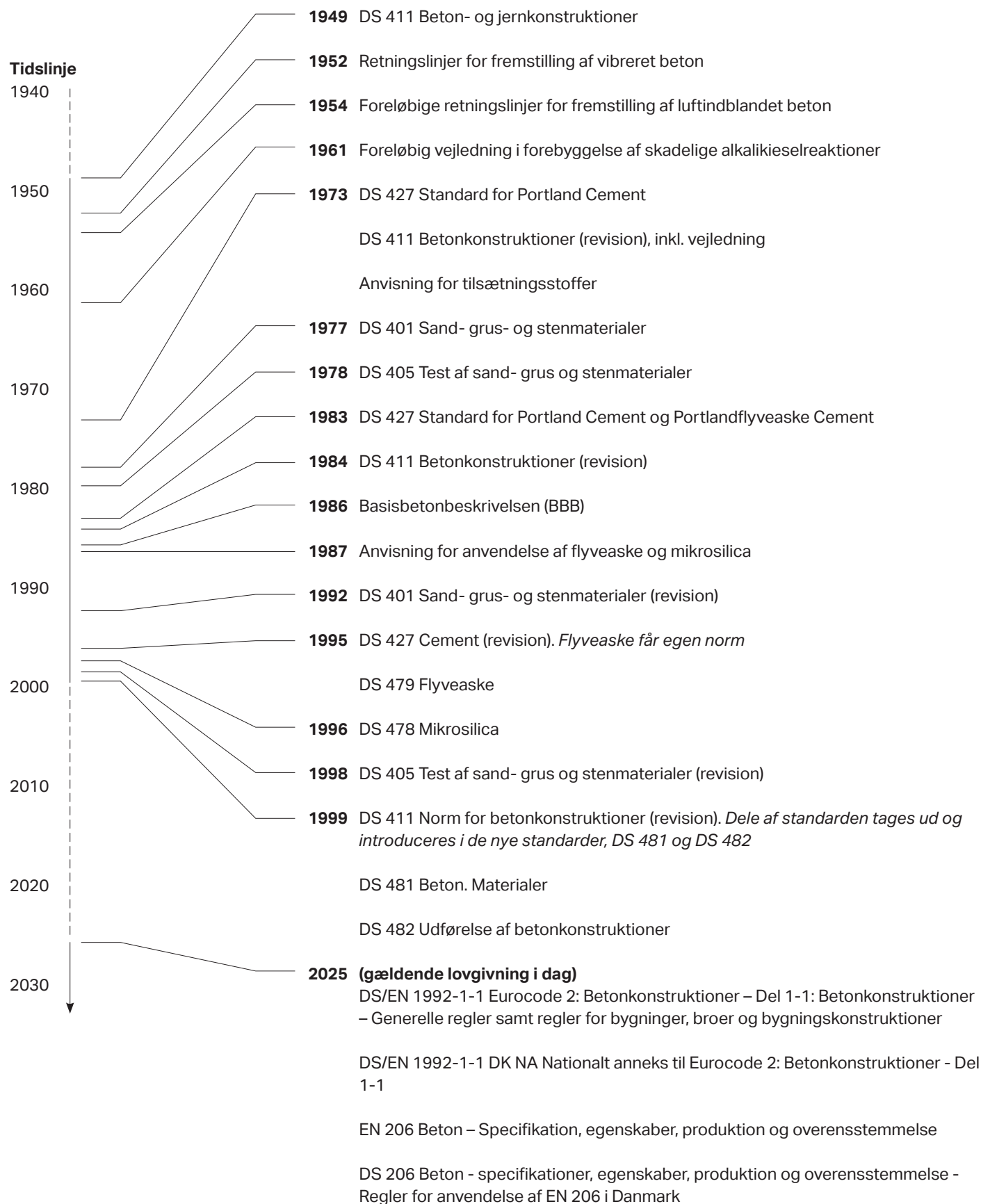
DANSKE NORMER: Den første betonnorm i Danmark (Normer for jærnbetonkonstruktioner) udkom i 1908. Den adresserede ikke holdbarheden af betonkonstruktioner, men i takt med at branchen igennem byggeprojekter og forskning fik mere erfaring med materialet, kom der løbende nye krav til i de efterfølgende udgivelser. Lovgivningen i dag bygger i høj grad stadig på erfaring.

De ældre versioner af betonnormerne er knap så omfattende, som de standarder, vi kender i dag. F.eks. indeholder DS 411:1949 krav til betonsammensætning, krav til delmaterialer, beskrivelse af prøvningsmetoder, krav til armering, beregningsmetoder, krav til kontrol og krav til udførelse. Alt sammen beskrevet på ca. 60 A5 sider. I de efterfølgende udgivelser af DS 411 henvises der i højere grad til prøvningsstandarder, hvor prøvningsmetoderne beskrives.

I 1980'erne opstod der en række sager om betonskader. Det affødte udarbejdelsen af Basisbetonbeskrivelsen (BBB), som blev gældende for alt statsstøttet byggeri. I de efterfølgende genudgivelser af DS 411 blev nogle af kravene fra BBB inkluderet. I 1999 blev kravene til betonsammensætning og udførelse taget ud af DS 411, og i stedet blev der introduceret to nye standarder, DS 481 (Beton. Materialer) og DS 482 (Udførelse af betonkonstruktioner). DS 481 indarbejdede i høj grad kravene fra BBB.

EUROPÆISKE STANDARDER: Der var udelukkende danske krav til betonproduktion og -sammensætningen frem til indførelsen af den europæiske standard, EN 206-1, som blev gældende i Danmark i 2004. Da EN 206-1 ikke var en harmoniseret standard, var det muligt fortsat at stille nationale krav til betonsammensætningen, og således er mange af kravene fortsat med at være nationale krav. De nationale krav har bl.a. kunne findes i DS 2426, DS/EN 206 DK NA og DS 206 (gældende standard). I dag består den danske byggelovgivning af en kombination af danske og europæiske krav. Tilgangen til sikring af betonens holdbarhed fra BBB minder meget om tilgangen anvendt i Danmark i dag.

Fig. 04 Tidslinje over udvalgte normer og standarder relateret til holdbarheden af beton. Prøvningsstandarder er kun medtaget i begrænset omfang. Normerne fra 1987 til 2000 er medtaget for overblikkets skyld, men vil ikke blive yderligere adresseret i nærværende rapport. Udviklingen i standarder efter 2000 er ikke medtaget. Kun de i dag gældende standarder for denne tidsperiode er medtaget.



2.2 RETTELSESR TIL NORMER OG STANDARDER

RETTELSESR TIL STANDARDER I DAG: Når der i dag er ændringer til standarder, udgives der en helt ny standard eller en ny version med markerede rettelser. Tidligere blev normer inden for beton udviklet og udgivet gennem Dansk Ingeniørforening (DIF). I dag er standardiseringsarbejdet overgået til Dansk Standard.

RETTELSESR TIL DIFs NORMER: Alle officielle meddelelser om DIFs normer udkom løbende i ugebladet "Ingeniøren" under afsnittet "norm-nyt". I 1977 udkom den første version af Dansk Ingeniørforenings normtillæg, som samlede samtlige ændringer, rettelser og fortolkninger til Dansk Ingeniørforenings normer. Udgivelsen udkom efterfølgende én gang årligt. Normtillægget var et supplement til "norm-nyt", og officielle meddelelser om normerne fortsatte derfor med at udkomme i ugebladet Ingeniøren.

INKLUDERING AF LØBENDE RETTELSESR I NÆRVÆRENDE RAPPORT: I nærværende rapport er det som udgangspunkt kravene i de oprindeligt udgivne normer som gennemgås. Mindre, løbende ændringer til normerne, eller ændringer indført i de nyoptrykte versioner af de dengang gældende normer, er ikke medtaget. Større ændringer, som har haft stor betydning for datidens betonelementer, er så vidt muligt forsøgt medtaget.



Fig. 05 Eksempel på officielle meddelelser givet i ugebladet Ingeniøren. Meddelelsen til venstre er fra udgivelsen dateret 22. oktober 1971, og meddelelsen til højre er fra udgivelsen dateret 26. maj 1972. Foto: Ugebladet Ingeniøren

2.3 LOVGIVNING OG KONTROL AF BETONELEMENTER

BETONNORMEN DA BETONELEMENTPRODUKTIONEN STARTEDE I DANMARK:

Da betonelementproduktionen vandt indpas i Danmark, var DS 411 fra 1949 den gældende norm for betonkonstruktioner. I udarbejdelsen af normen var betonelementer derfor ikke indtænkt, og i beskrivelsen af gyldighedsområdet står der:

"Jernbetonkonstruktionerne forudsættes fremstillet monolitisk og normalt armeret i mindst to retninger med jern, der er fuldstændig indstøbt i beton."

Denne formulering udelukkede bl.a. at huldæk var omfattet af normen. Der var dog inkluderet en undvigelsesparagraf, som skulle sikre, at normen ikke bremsede den teknologiske udvikling. Paragraffen lød som følger:

"Afgivelser fra de i disse normer angivne regler og beregningsmåder kan tillades, når afvigelseernes berettigelse dokumenteres på betryggende måde."

Det var i normen ikke yderligere specificeret, hvad der skulle til for, at afvigelsen "dokumenteres på betryggende måde", men paragraffen gjorde det således muligt at producere betonelementer efter normen. Der var også andre paragraffer i normen, som blev anvendt af betonelementproducenter som en slags afvigelsesparagraf, f.eks. følgende:

"Under normale forhold skal jernet, også bøjler, dækkes af betonlag, hvis tykkelse ikke må være mindre end ..."

hvor "under normale forhold" i nogle tilfælde er blevet tolket til ikke at omfatte betonelementproduktionen, som på daværende tidspunkt var en ny produktionsmetode, der ofte blev anset for værende bedre end in-situ støbt beton.

DS 411 fra 1949 blev først erstattet af en ny norm i 1973, som dog bibeholdt de nævnte "afvigelsesparagraffer".

MK-GODKENDELSE: I 1964 blev der indført en ny godkendelsesordning for materialer og konstruktioner kaldet MK-godkendelser, bl.a. med formålet om at sikre, at en byggevare egnede sig til den specifikke anvendelse. Ordningen udsprang af et behov for mere beskrivende tilladelser til anvendelse af de mange nye typer af byggematerialer, som blev introduceret i perioden. Af det udsendte cirkulære om ordningen fra 1964 fremgår det, at godkendelsen blev givet for et produkt på baggrund af en indsendt ansøgning. Der var dermed ikke tale om en kontrolordning men en godkendelse baseret på fremsendt information.

Et eksempel fra 1968 for godkendelse af huldæk viser en aftale mellem Statprøveanstalten og producenten, Larsen & Nielsen. Med aftalen forpligtede producenten sig til at gennemføre produktionskontrol, løbende opsamle prøvningsresultater, mærke produkter og straks meddele Statsprøveanstalten, hvis produktionskontrollen gav anledning til bemærkninger. Produktionskontrollen skulle omfatte dokumentation af betonens trykstyrke, huldækkets dimensioner, visuel beskaffenhed af huldækket samt placering, type og dimensioner for den anvendte armering. Statsprøveanstalten havde ret til at forlange prøvningsresultater udleveret, komme på uanmeldt besøg og foretage stikprøver, men der var ingen aftaler om løbende, faste besøg.

Med bygningsreglementet fra 1977 blev der indført krav om tredjepartskontrol af udvalgte produkter. Betonelementer var ikke omfattet af kravet.

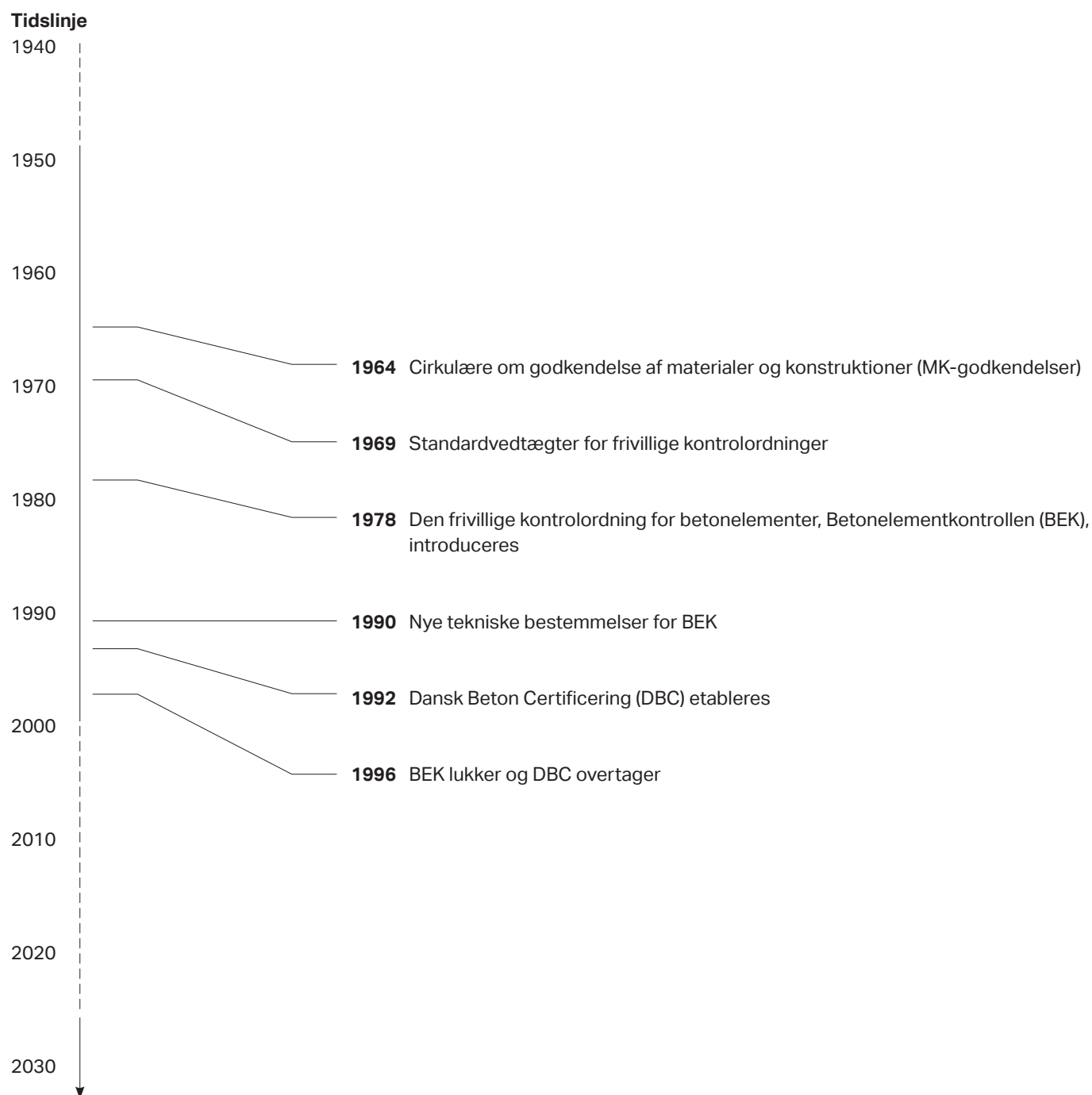
I 1991 blev MK-ordningen overført til ETA-Danmark med en plan om at afvikle ordningen, i takt med at godkendelserne af materialer blev flyttet over i europæisk regi. Ordningen findes dog stadig i dag, men anvendes ikke for betonelementer.

KONTROLORDNINGER FOR BETONELEMENTER: I 1978 blev den første (frivillige) kontrolordning for betonelementer, BEK, introduceret. Ordningen byggede videre på en udgivelse om standardvedtægter for frivillige kontrolordninger fra 1969 og var godkendt af Dansk Ingeniørforening. Med ordningen blev der indført krav til betonelementproducenternes interne systemer og procedurer, f.eks. krav til udstyr og håndtering af delmaterialer.

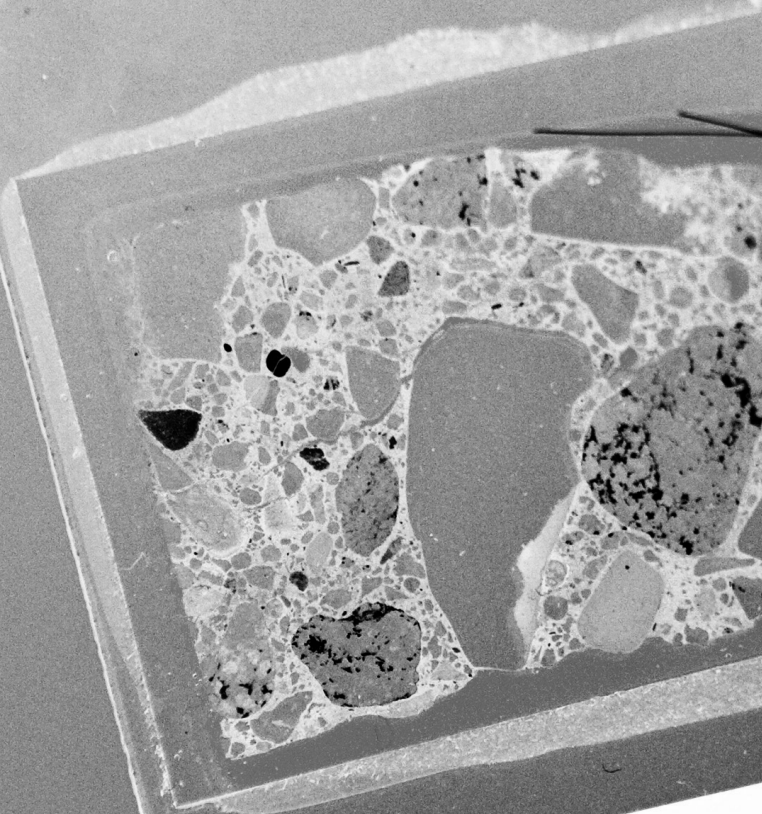
Den første virksomhed blev optaget i BEK-ordningen i 1980, men tilslutningen var i begyndelsen langsom. I 1989 stod de 26 betonelementproducenter, som på daværende tidspunkt var tilsluttet ordningen, dog for ca. 95 % af Danmarks produktion af (ikke-lette) betonelementer. I 1990 udkom en ny version af de tekniske bestemmelser bag kontrollen, og med udgangen af 1996 lukkede ordningen helt efter en fireårig overgangsperiode til Dansk Beton Certificering (DBC). DBC blev etableret i 1992 og kendes i dag som Dancert. DBC var dengang også akkrediteret af DANAK (det nationale akkrediteringsorgan i Danmark) og var frem til 2002 det eneste certificeringsorgan for betonelementer.

STANDARDE FOR BETONELEMENTER: DS 482 fra 1999 beskrev krav til udførelsen af betonkonstruktioner, herunder også betonelementer, f.eks. ift. kontrol og placering af armering. De første reelle standarder for betonelementer kom dog først med de harmoniserede standarder, som blev introduceret efter årtusindeskiftet. Der er i dag krav til tredjepartskontrol af betonelementer omfattet af harmoniserede standarder.

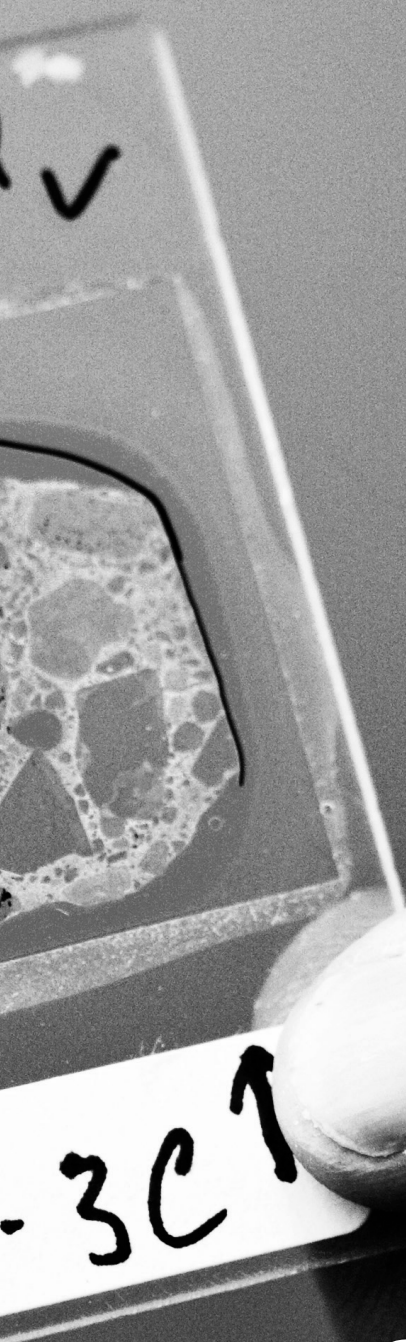
Fig. 06 Tidslinje over kontrolordninger for betonelementer.



V/Fyld



7146



3. NORMMÆSSIGE KRAV TIL EGENSKABER

3.1 UDVALGTE KRAV TIL HOLDBARHEDSEGENSKABER

UDVALGTE KRAV OG EGENSKABER: På de efterfølgende sider beskrives en række forskellige lovmæssige krav til holdbarhedsegenskaber og betonsammensætning, som vurderes at have en betydning for genbrugspotentialt af betonelementer. Foruden en gennemgang af de forskellige miljøer, som betonen kan udsættes for, er der i det følgende fokuseret på:

- Trykstyrke
- Vand/cement-forhold
- Dæklag
- Kloridindhold
- Frostbestandighed
- Porøse og frostfarlige korn
- Porøse alkalikielselreaktive sten og sandkorn
- Alkaliindhold

Prøvningsmetoderne til bestemmelse af de respektive egenskaber vil kun blive adresseret på overordnet niveau. Ændringer til prøvningsmetoderne er kun medtaget, når der er tale om væsentlige ændringer.



Fig. 07 Eksponeringsplads med betonblokke støbt med forskellige betonsammensætninger. Betonblokkene bruges til langtidsmonitorering af betonens holdbarhed i udendørs miljø. Foto: Teknologisk Institut

INDHOLD I GENNEMGANGEN: For hver af de udvalgte egenskaber og krav, beskrives følgende:

- Definition
- Formål med kravet
- Udvikling i kravene i lovgivningen, herunder kravene i DS 411 fra 1949, 1973 og 1984, BBB fra 1986 og de nuværende krav beskrevet i EN 206:2013 A2:2021, DS 206:2024 og DS/EN 1992-1-1 DK NA:2024. Hvor det er relevant, beskrives desuden anbefalinger og krav fra udvalgte anvisninger, normer eller standarder
- Betydning for genbrugspotentialet.

Der, hvor det er vurderet at give mening, er kravene i de respektive normer og standarder opsat i en tabel med henblik på at gøre sammenligningen af krav gennem tiden lettere. For enkelte egenskaber er krav og metoder imidlertid så forskellige, at det ikke giver mening med en direkte sammenligning. Udviklingen i krav efter 1986 og frem er ikke medtaget. Kravene beskrevet under den nugældende lovgivning, kan således være indført i tidligere udgivelser i perioden efter 1986 og frem.

TOLKNING AF MILJØER: Eksponeringsmiljøer (kaldet eksponeringsklasser, miljøklasser eller miljøpåvirkning afhængig af hvilken norm eller standard, der tages udgangspunkt i) bruges til at klassificere de miljømæssige påvirkninger, som en betonkonstruktion kan blive udsat for og skal sikre, at betonen designes med den rette holdbarhed til det pågældende miljø. Eftersom definitionerne på miljøerne varierer i de forskellige normer og standarder, er sammenligningerne i nærværende kapitel baseret på en tolkning af, hvilke miljøer i de udgivne normer og standarder, der kan anses for at være de samme. Tolkningen af miljøer fremgår af afsnit 3.2.

3.2 MILJØKLASSER, MILJØPÅVIRKNING OG EKSPONERINGSKLASSER

DEFINITION: Beskriver forskellige miljøer, som beton kan eksponeres i. I de europæiske definitioner betegnes miljøerne som "eksponeringsklasser". "Miljøklasse" blev anvendt til beskrivelse af miljøer i de danske standarder frem til 2018, hvor termen blev erstattet af "miljøpåvirkning". Efter introduktionen af de europæiske definitioner, blev den danske term "Miljøklasse" og sidenhen "miljøpåvirkning" anvendt som gruppering af eksponeringsklasserne.

FORMÅL MED KRAV: For at sikre at betonkonstruktioner har den nødvendige holdbarhed, afhænger de fleste holdbarhedsrelaterede krav til betonen af det miljø, som betonen eksponeres for. Miljøet beskriver f.eks. om betonen udsættes for fugt, frost og/eller klorid.

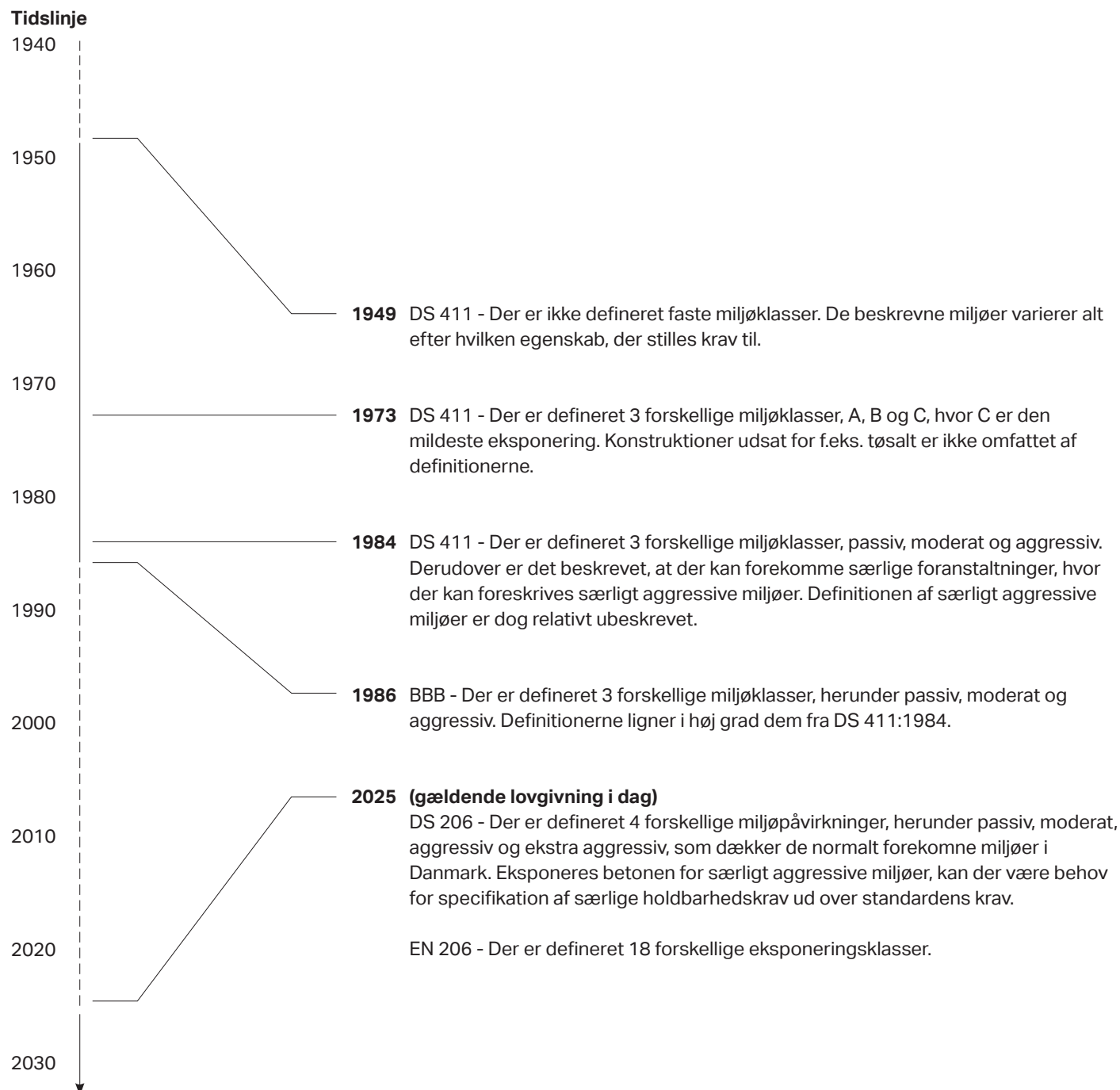
UDVIKLING I LOVGIVNING: Der har været anvendt forskellige navne til at beskrive miljøerne i de forskellige normer og standarder, men en del af indholdet er kun ændret i mindre grad. Beskrivelsen af gældende miljøer er blevet præciseret, og der er i den danske betonnorm med tiden indført endnu en klasse, "ekstra aggressiv", som især anvendes til anlægskonstruktioner, der udsættes for en kombination af frost, fugt og klorider.

Det er desuden vigtigt at være opmærksom på, at der frem til vinteren 1956/57 ikke blev anvendt tørsalt i Danmark. Anvendelsen af tørsalt begyndte først for alvor i midten af 1960'erne, hvorfor der i 1949 normen ikke var indtænkt tørsalt i definitionen af miljøer og dertilhørende krav.

I Fig. 08 er der vist en tidslinje over de overordnede ændringer vedr. miljøklasser og miljøpåvirkning. I Tab. 01 beskrives eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021 inkl. tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger relativt til eksponeringsklasserne.

BETYDNING FOR GENBRUG: Ændringerne i definitionen af eksponeringsmiljøer, har i sig selv ikke den store betydning for genbrugspotentialet af betonelementer. Det er de krav, som stilles til hvert miljø gennem tiden, der i sidste ende har en betydning. Med udgangspunkt i tolkningen af miljøer i Tab 01 sammenlignes holdbarhedsrelaterede krav fra de udvalgte normer og standarder i afsnit 3.3 til 3.10.

Fig. 08 Tidslinje over miljøklasser, miljøpåvirkninger og eksponeringsklasser.



Tab. 01 Beskrivelse af eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021 inkl. tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. Miljøbeskrivelser for betonbelægninger er ikke inkluderet.

BETEGNELSE IHT. EN 206:2013	NEDBRYDNINGSMEKANISME	ÅRSAG	BESKRIVELSE AF MILJØ
X0	-	-	Meget tørt (hvis armeret)
XC1	Korrosionsrisiko	Karbonatisering	Tørt eller permanent vådt
XC2	Korrosionsrisiko	Karbonatisering	Vådt, sjældent tørt
XC3	Korrosionsrisiko	Karbonatisering	Moderat fugtighed
XC4	Korrosionsrisiko	Karbonatisering	Cyklisk vådt og tørt
XD1	Korrosionsrisiko	Klorid (ikke fra havvand)	Moderat fugtighed
XD2	Korrosionsrisiko	Klorid (ikke fra havvand)	Vådt, sjældent tørt
XD3	Korrosionsrisiko	Klorid (ikke fra havvand)	Cyklisk vådt og tørt
XS1	Korrosionsrisiko	Klorid (fra havvand)	Luftbåret eksponering
XS2	Korrosionsrisiko	Klorid (fra havvand)	Permanent under vand
XS3	Korrosionsrisiko	Klorid (fra havvand)	Tidevand-, splash- og sprøjtezone
XF1	Nedbrydning af betonen	Frost (ingen klorid)	Moderat vandmætning
XF2	Nedbrydning af betonen	Frost (klorid fra tørsalt)	Moderat vandmætning
XF3	Nedbrydning af betonen	Frost (ingen klorid)	Høj vandmætning
XF4	Nedbrydning af betonen	Frost (klorid fra tørsalt/havvand)	Høj vandmætning
XA1	Nedbrydning af betonen	Kemisk påvirkning	Let aggressivt kemisk miljø
XA2	Nedbrydning af betonen	Kemisk påvirkning	Moderat aggressivt kemisk miljø
XA3	Nedbrydning af betonen	Kemisk påvirkning	Stærk aggressivt kemisk miljø

DS 411:1949 ^a	DS 411:1973	DS 411:1984	BBB:1986	DS 206:2024
Ingen fast definition	C	Passiv	Passiv	Passiv
Ingen fast definition	C / B ^b	Passiv / Moderat ^b	Passiv ^f	Passiv
Ingen fast definition	B / A ^c	Moderat / Aggressiv ^c	Moderat	Moderat
Ingen fast definition	B / A ^c	Moderat / Aggressiv ^c	Moderat	Moderat
Ingen fast definition	B / A ^c	Moderat / Aggressiv ^c	Moderat	Moderat
Ingen fast definition	Ikke defineret	Aggressiv	Moderat	Aggressiv
Ingen fast definition	Ikke defineret	Aggressiv	Aggressiv	Ekstra aggressiv
Ingen fast definition	Ikke defineret	Aggressiv	Aggressiv	Ekstra aggressiv
Ingen fast definition	B / A ^d	Aggressiv	Moderat	Aggressiv
Ingen fast definition	A	Aggressiv	Aggressiv	Aggressiv
Ingen fast definition	A	Aggressiv	Aggressiv	Ekstra aggressiv
Ingen fast definition	B	Moderat	Moderat	Moderat
Ingen fast definition	Ikke defineret	Aggressiv	Aggressiv	Aggressiv
Ingen fast definition	B	Moderat	Moderat	Aggressiv
Ingen fast definition	A ^e	Aggressiv	Aggressiv	Ekstra aggressiv
Ingen fast definition	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	Moderat
Ingen fast definition	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	Aggressiv
Ingen fast definition	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	Ekstra aggressiv

^a Der er ikke defineret faste miljøklasser i normen. De beskrevne miljøer varierer alt efter hvilken egenskab, der stilles krav til.

^b For konstruktioner der er permanent tørre gælder den lempelige af de to klasser.

^c For konstruktioner i fabriksområder med stærk røgholdig atmosfære gælder den skærpede af de to klasser. Det forventes, at stærk røgholdig atmosfære var mere udbredt tidligere, end det er i dag.

^d Det er kun konstruktioner nær den jyske vestkyst, som kræves placeret i miljøklasse A.

^e Betonkonstruktioner udsat for tøsalt kræver særlige foranstaltninger ud over normens krav.

^f I tilfælde af jorddækkede fundamenter i høj sikkerhedsklasse vil miljøklassen blive ændret til "moderat" miljøklasse. Dette er ikke medtaget i oversigten, da det vurderes at være uaktuelt for genbrugspotentialt af betonelementer.

3.3 TRYKSTYRKE

DEFINITION: Når der i dag tales om betons trykstyrke, refererer det typisk til styrkeklassen, som den karakteristiske trykstyrke hører til. I dag bestemmes den karakteristiske trykstyrke som en 5 % fraktil. Dvs. at der er tale om en statistisk værdi, hvor de målte trykstyrker i 95 % tilfælde vil være det samme eller højere end den karakteristiske trykstyrke.

Trykstyrken er en relativ værdi, som relaterer til specifikke forhold. Det skyldes, at den målte styrke afhænger af prøvningsparametrene, der gælder under prøvning af trykstyrken. Derfor findes der i dag nogle meget specifikke krav til prøvningens udførelse, da faktorer som opbevaring af prøveemner, prøveemnernes størrelse og form samt lasthastigheden påvirker resultatet.

FORMÅL MED KRAV: Betons trykstyrke er vigtig for konstruktioners bæreevne, men kravet til trykstyrken er i DS 206 en vikarierende egenskab, der skal være med til at sikre, at betons kvalitet og holdbarhed er tilstrækkelig. Betons holdbarhedsmæssige egenskaber kan være omfattende og tidskrævende at teste, og da mange af de parametre, som giver en høj trykstyrke, også giver en bedre holdbarhed, tester man bl.a. trykstyrken som alternativ til at teste de specifikke holdbarhedsmæssige egenskaber.

UDVIKLING I LOVGIVNING: Der stilles først krav til en minimumstrykstyrke i 1984 i DS 411. Trykstyrken har igennem tiden været defineret forskelligt; prøveemnerne til tryktests har været forskellige, krav til prøvningens udførelse har varieret, og der har tidligere været brugt et koncept kaldt "tilladelige spændinger" til at beskrive trykstyrken, som senere blev afløst af en 10 % fraktil. I dag bruges der en 5 % fraktil, hvilket er en skærpelse ift. en 10 % fraktil.

I Fig. 09 er der vist en tidslinje over krav til trykstyrke, og i Tab. 02 er trykstyrkekravene i de forskellige normer og standarder opsat relativt til eksponeringsklasserne.

BETYDNING FOR GENBRUG: Hvis der findes information om betonens trykstyrke af et nedtaget betonelement, kan den ikke nødvendigvis sammenlignes med nutidens definition på trykstyrken. Eftersom der ingen krav har været til trykstyrken før 1984, er der også en risiko for, at trykstyrken ikke overholder de nugældende krav. Det gælder særligt for betonelementer produceret før 1984 til moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning, hvor den karakteristiske trykstyrke i dag minimum skal være hhv. 30, 35 og 40 MPa. Kravet til passiv miljøpåvirkning er i dag kun 12 MPa, og derfor er det sandsynligt, at mange ældre betonelementer kan overholde dette krav. Det skal tilføjes, at de ældre normer havde krav til mindste cementindhold. Cementindhold og vand/cement-forholdet har stor betydning for betonens trykstyrke. Derudover defineres betonens trykstyrke ved en bestemt prøvningstermin, men betonen fortsætter med at udvikle styrke over flere år. Selvom betonen ikke overholder kravet til trykstyrken, kan betonen dog potentielt stadig have en tilfredsstillende holdbarhed. Er betonelementerne uarmerede, og dermed ikke i risiko for korrosion af armering, stilles der i dag ingen krav til trykstyrken.

Fig. 09 Tidslinje over udvikling i krav til trykstyrke.

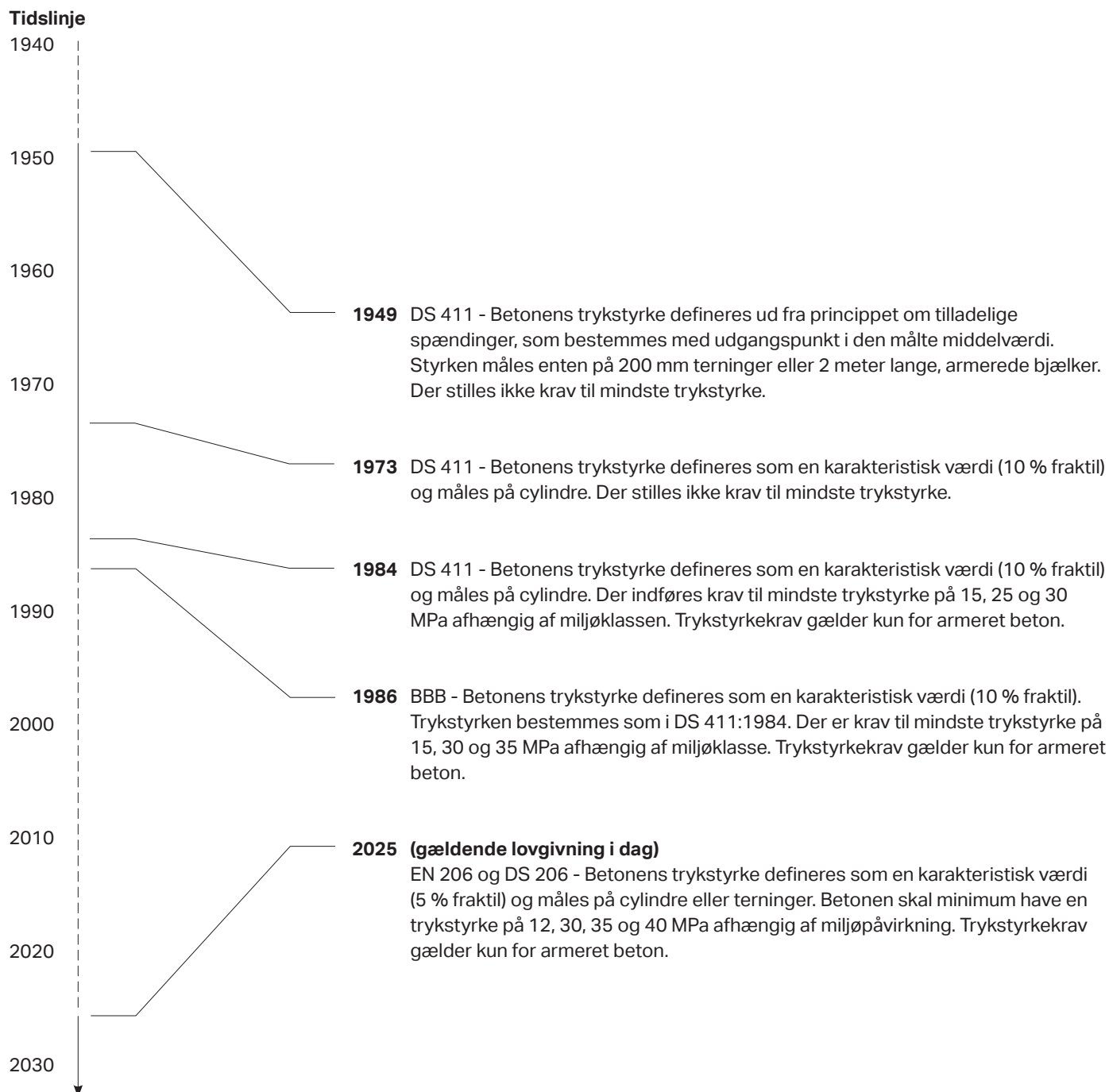




Fig. 10 Trykprøvet kerne udboret fra et genbrugte huldæk. Foto: Teknologisk Institut

Tab. 02 Krav til trykstyrke [MPa] baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. "—" anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-".

EN 206:2013	DS 411:1949	DS 411:1973	DS 411:1984 ^{a,b}	BBB:1986 ^{a,b}	DS 206:2024 ^b
X0	-	-	15	15	12
XC1	-	-	15 / 25	15	12
XC2	-	-	25 / 30	30	30
XC3	-	-	25 / 30	30	30
XC4	-	-	25 / 30	30	30
XD1	-	-	30	30	35
XD2	-	-	30	35	40
XD3	-	-	30	35	40
XS1	-	-	30	30	35
XS2	-	-	30	35	35
XS3	-	-	30	35	40
XF1	-	-	25	30	30
XF2	-	-	30	35	35
XF3	-	-	25	30	35
XF4	-	-	30	35	40
XA1	-	-	Ikke defineret	Ikke defineret	30
XA2	-	-	Ikke defineret	Ikke defineret	35
XA3	-	-	Ikke defineret	Ikke defineret	40

^a Trykstyrken defineres som en 10 % fraktil og kan derfor ikke direkte sammenlignes med nutidens trykstyrke, som defineres som en 5 % fraktil. En 5 % fraktil er en skærpelse ift. en 10 % fraktil.

^b Trykstyrkekravet gælder kun for armeret beton. For uarmeret beton stilles der ingen krav.

3.4 VAND/CEMENT-FORHOLD

DEFINITION: Vand/cement-forholdet i beton (ofte også kaldet v/c-forholdet) defineres i dag som det ækvivalente vand/cement-forhold, og beregnes som massen af vand delt med massen af ækvivalent cementindhold. Der er en tydelig sammenhæng mellem vand/cement-forholdet og betonens trykstyrke. Jo lavere vand/cement-forhold (ned til en vis grænse), jo højere trykstyrke og jo højere vand/cement-forhold, jo lavere trykstyrke.

Det ækvivalente cementindhold udregnes som massen af tilsætninger ganget en aktivitetsfaktor + massen af cement. Aktivitetsfaktoren tager højde for tilsætningens bidrag til holdbarheden kontra tilsætningens masse. For flyveaske anvendes der f.eks. typisk en aktivitetsfaktor på 0,5, relativt til massen sammenlignet med cement, hvilket betyder, at der skal tilsættes dobbelt så meget flyveaske som cement for at opnå samme ækvivalente vand/cement-forhold. For mikrosilica anvendes typisk en aktivitetsfaktor på 2,0. Anvendelse af mikrosilica og flyveaske i beton i Danmark begyndte i hhv. 1980'erne og midten af 1970'erne.

FORMÅL MED KRAV: Ligesom for trykstyrke fungerer krav til vand/cement-forholdet også som en vikarierende egenskab, der skal være med til at sikre, at betonens kvalitet og holdbarhed er tilstrækkelig. De holdbarhedsmæssige egenskaber kan være omfattende og tidskrævende at teste og da vand/cement-forholdet har stor betydning for betonens tæthed/porøsitet, påvirker det f.eks. også hastigheden af kloridindtrængning (se side 46) og hastigheden af karbonatisering.

UDVIKLING I LOVGIVNING: Kravet til vand/cement-forholdet er generelt skærpet siden 1973-udgivelsen bortset fra enkelte steder samt for passiv miljøpåvirkning, hvor der i dag ikke stilles noget krav til vand/cement-forholdet.

I Fig. 11 er der vist en tidslinje over krav til vand/cement-forhold og i Tab. 03 er kravene til vand/cement-forholdet i de forskellige normer og standarder opsat relativt til eksponeringsklasserne.

BETYDNING FOR GENBRUG: For genbrugte betonelementer, som anvendes i passiv miljøpåvirkning, stilles der i dag ikke krav til vand/cement-forholdet, og dermed er der ingen problemer ift. denne anvendelse. For de øvrige miljøpåvirkninger er der en risiko for, at betonelementerne ikke vil overholde nutidens krav til vand/cement-forhold. Kravet til vand/cement-forhold i dag er baseret på dæklagets tykkelse, og derfor kan der argumenteres for, at uarmerede betonelementer ikke er omfattet af dette krav. Hvis uarmerede betonelementer er omfattet af kravet til vand/cement-forhold, kan det være en udfordring for uarmerede betonelementer produceret efter normerne fra 1949, 1973 og 1984, hvor der har været lempelige krav til vand/cement-forholdet for uarmeret beton. Det er dog også kendt, at der historisk er blevet anvendt lavere vand/cement-forhold i betonelementproduktionen, end der nødvendigvis var krav om i lovgivningen, for at opnå en hurtigere styrkeudvikling, hvilket kan vise sig at være en fordel for genbrugspotentialt i dag. Selvom betonen ikke overholder kravet til vand/cement-forholdet, kan betonen dog potentielt stadig have en tilfredsstillende holdbarhed.

Fig. 11 Tidslinje over udvikling i krav til vand/cement-forhold.

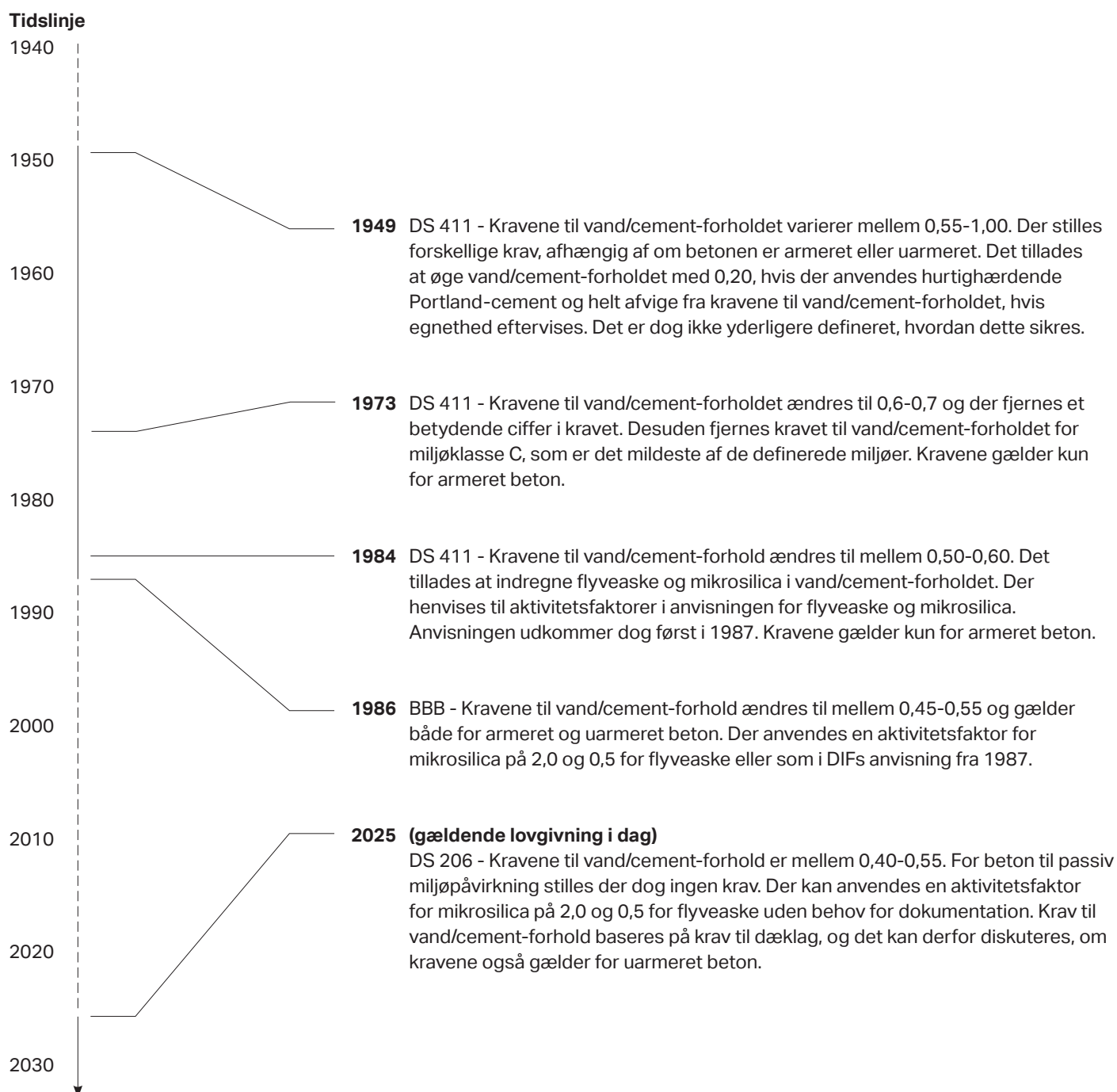




Fig. 12 Betonkonstruktion hvorfra der er udboret en betonkerne. Vand/cement-forholdet har stor betydning for betonens holdbarhed, f.eks. ift. karboniseringshastigheden. Vand/cement-forholdet kan estimeres på udborede kerner. Foto: Teknologisk Institut

Tab. 03 Krav til vand/cement-forhold baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. "/" anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-".

EN 206:2013	DS 411:1949 ^a	DS 411:1973 ^b	DS 411:1984 ^b	BBB:1986	DS 206:2024
X0	0,75:1,00	-	-	-	-
XC1	0,70:1,00 / 0,75:1,00 ^c	- / 0,7	- / 0,6	-	-
XC2	0,65:0,80 / 0,70:1,00 ^d	0,7 / 0,6	0,60 / 0,50	0,55	0,55
XC3	0,65:0,80 / 0,70:1,00 ^e	0,7 / 0,6	0,60 / 0,50	0,55	0,55
XC4	0,65:0,80	0,7 / 0,6	0,60 / 0,50	0,55	0,55
XD1	Ikke defineret	Ikke defineret	0,50	0,55	0,45
XD2	Ikke defineret	Ikke defineret	0,50	0,45	0,40
XD3	Ikke defineret	Ikke defineret	0,50	0,45	0,40
XS1	0,65:0,80	0,7 / 0,6	0,50	0,55	0,45
XS2	0,55:0,60 / 0,60:0,65 ^f	0,6	0,50	0,45	0,45
XS3	0,55:0,60	0,6	0,50	0,45	0,40
XF1	0,65:0,80	0,7	0,60	0,55	0,55
XF2	Ikke defineret	Ikke defineret	0,50	0,45	0,45
XF3	0,65:0,80	0,7	0,60	0,55	0,45
XF4	0,55:0,60	0,6	0,50	0,45	0,40
XA1	0,60:0,65	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	0,55
XA2	0,60:0,65	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	0,45
XA3	0,60:0,65	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	0,40

^a Tallet til venstre for kolon angiver kravet til armeret beton, og tallet til højre angiver kravet til uarmeret beton.

^b Kravene gælder kun for armeret beton. Der stilles ingen krav til vand/cement-forhold for uarmeret beton.

^c Kravet på 0,70:1,00 gælder for beton, som er permanent i jord uden strømmende vand, og kravet på 0,75:1,00 gælder for beton indendørs med lav fugtighed.

^d Kravet på 0,65:0,80 gælder for beton udsat for strømmende, men ikke-aggressivt vand, og kravet på 0,70:1,00 gælder for beton under terræn, som sjældent er tørt, men ikke udsat for strømmende eller aggressivt vand.

^e Kravet på 0,65:0,80 gælder for beton udsat for vejrlig, og kravet på 0,70:1,00 gælder for beton under terræn, som i perioder er udsat for vand, der ikke er strømmende eller aggressivt.

^f Kravet på 0,55:0,60 gælder for beton, som er udstøbt under vand, og kravet på 0,60:0,65 gælder for beton, som er permanent neddykket i havvand, men støbt i luft eller jorddækkede konstruktioner i havne- eller kystnære områder med grundvand med et kloridindhold svarende til havvand.

3.5 DÆKLAG

DEFINITION: Dæklaget er det betonlag, som skal beskytte armeringen mod udefrakommende påvirkninger. Dæklagstykkelsen svarer til afstanden fra armeringens yderside til betonkonstruktionens overflade.

FORMÅL MED KRAV: Dæklaget har til formål at beskytte armeringen mod f.eks. brand og korrosion, og tykkelsen er derfor vigtig for betonkonstruktionernes holdbarhed.

UDVIKLING I LOVGIVNING: Der stilles i alle normer og standarder krav til mindste dæklagstykkelse. DS 411:1949-normen angiver kun dæklagskravet med ét betydende ciffer. I 1973 tilføjes et ekstra betydende ciffer, og dermed skærpes kravet. I 1981 specificeres det af normudvalget, at kravene til dæklag skal tolkes til også at inkludere produktionstolerancer. Inden da havde mange anset dæklagskravet som et krav til afstandsklodsens størrelse og ikke den faktisk opnåede dæklagstykkelse. Først i 1984 skrives tolerancetillægget ind i normen, så der i normens krav også tages højde for produktionstolerancerne. Dæklagskravene i 1949-normen var desuden kun gældende under normale forhold, som betonelementproduktionen i 1950'erne og 1960'erne af nogen blev tolket til ikke at være og derfor findes der eksempler fra perioden på dæklagstykkelser under kravene. Ses der bort fra de manglende tolerancekrav frem til 1980'erne samt tolkningen af normen, er kravene til dæklag relativt ens igennem tiden.

I Fig. 13 er der vist en tidslinje over i krav til dæklag, og i Tab. 04 er dæklagskravene i de forskellige normer og standarder opsat relativt til eksponeringsklasserne.

BETYDNING FOR GENBRUG: Grundet de manglede tolerancekrav er der en sandsynlighed for, at betonelementer produceret før 1984 ikke overholder nutidens krav til dæklagets tykkelse. For beton til passiv miljøpåvirkning er dæklagskravet i dag dog kun 10 mm, hvorfor det vurderes mere sandsynligt, at betonelementer produceret før 1984 overholder nutidens krav, hvis der ses bort fra eventuelle supplerende brandkrav. Medtages nutidens brandkrav kan det være nødvendigt med brandisolering for at overholde kravene til brandmodstand.

Hvis betonelementerne har været placeret i et miljø med risiko for armeringskorrosion, f.eks. som følge af kloridindtrængning, vil en del af dæklaget potentielt allerede have for højt kloridindhold og derfor vil den del af dæklaget ikke længere fungere som beskyttelse for armeringen. Det betyder også, at genbrugte betonelementer i moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning kan have en reduceret levetid, da de faktisk målte dæklagstykkelser ikke nødvendigvis er det samme, som de effektive dæklagstykkelser.

Fig. 13 Tidslinje over udvikling i krav til dæklag.

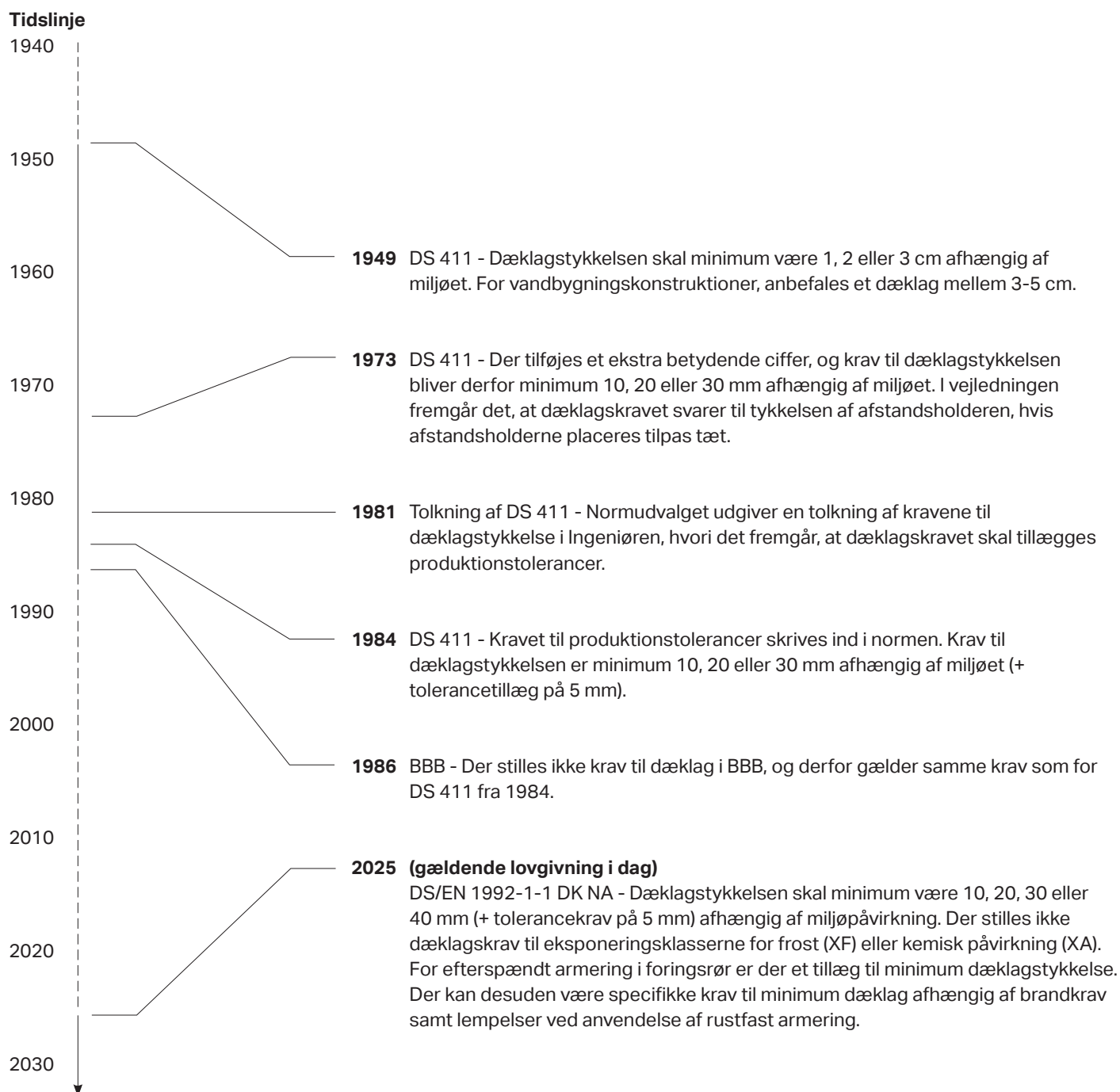




Fig. 14 Afskalning af dæklag som følge af armeringskorrosion. Foto: Teknologisk Institut

Tab. 04 Krav til dæklag [cm] baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. "—" anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-".

EN 206:2013	DS 411:1949	DS 411:1973	DS 411:1984 ^a	BBB:1986 ^b	DS/EN 1992-1-1 DK NA:2024 ^{a,c}
X0	1	1,0	1,0	-	1,0
XC1	1 / 2 ^d	1,0 / 2,0	1,0 / 2,0	-	1,0
XC2	2	2,0 / 3,0	2,0 / 3,0	-	2,0
XC3	2	2,0 / 3,0	2,0 / 3,0	-	2,0
XC4	2 / 3 ^e	2,0 / 3,0	2,0 / 3,0	-	2,0
XD1	Ikke defineret	Ikke defineret	3,0	-	3,0
XD2	Ikke defineret	Ikke defineret	3,0	-	4,0
XD3	Ikke defineret	Ikke defineret	3,0	-	4,0
XS1	3	2,0 / 3,0	3,0	-	3,0
XS2	3-5	3,0	3,0	-	3,0
XS3	3-5	3,0	3,0	-	4,0
XF1	2	2,0	2,0	-	Ikke defineret
XF2	Ikke defineret	Ikke defineret	3,0	-	Ikke defineret
XF3	2	2,0	2,0	-	Ikke defineret
XF4	3-5	3,0	3,0	-	Ikke defineret
XA1	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	-	Ikke defineret
XA2	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	-	Ikke defineret
XA3	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	-	Ikke defineret

^a Der tillægges et tolerancekrav på 5 mm.

^b Kravene i DS 411:1984 gælder.

^c Der kan være yderligere krav til mindste dæklag afhængig af konstruktionstype og brandkrav. Desuden er der tillæg til mindste dæklagstykkelse for efterspændt armering i foringsrør og fradrag for rustfast armering.

^d For konstruktioner, der ikke er udsat for stærk fugtighed, gælder det lempelige af de to krav.

^e For beton til udendørs brobjælker, brobuer, brosøjler m.m. gælder det skærpede krav.

3.6 KLORIDINDHOLD

DEFINITION: Kloridindholdet (Cl⁻) defineres for nye betonelementer typisk som masseprocenten af klorid-ioner relativt til bindervægten og bestemmes ved beregning på baggrund af kloridindholdet i de anvendte delmaterialer. Kloridindholdet kan både bestemmes som det vandopløselige og det syreopløselige indhold. For eksisterende konstruktioner og genbrugte betonelementer kan denne parameter være svær at fastlægge relativt til bindervægten, da bindervægten typisk er ukendt. I stedet defineres kloridindholdet relativt til betonvægten og bestemmes som det syreopløselige indhold.

FORMÅL MED KRAV: Et højt indhold af klorid-ioner i betonen kan initiere korrosion af armeringen, og derfor stilles der i dag krav til det maksimale kloridindhold for ny beton. Klorid i beton kan både komme fra de anvendte delmaterialer og fra miljøet, hvor betonen eksponeres, f.eks. fra havvand eller tørsalt.

UDVIKLING I LOVGIVNING: De første krav til maksimalt kloridindhold kom med DS 411 fra 1973 (beregnet ud fra indholdet af vandfri calciumklorid), og er siden blevet skærpet i alle efterfølgende normer og standarder, som er gennemgået i nærværende rapport. Særligt med udgivelsen af BBB sker der en skærpelse i det maksimalt tilladte indhold af klorid, hvor det dog tillades at medregne vægten af andre bindere, som f.eks. flyveaske og mikrosilica. Det har været tilladt at anvende kloridholdige tilsætningsstoffer i beton iht. DS 411 fra 1949, 1973 og 1984, f.eks. calciumklorid.. Dog var der flere kommuner, som forbød anvendelse af kloridholdige tilsætningsstoffer, hvorfor der i Danmark ikke er oplevet de samme udfordringer med korrosion som følge af anvendelsen, som der f.eks. er i England.

I Fig. 15 er der vist en tidslinje over krav til kloridindhold, og i Tab. 05 er kravene til kloridindhold i de forskellige normer og standarder opsat relativt til eksponeringsklasserne.

BETYDNING FOR GENBRUG: Grundet manglende eller mere lempelige krav til kloridindhold, er der risiko for, at kloridindholdet i betonen i genbrugte betonelementer overstiger eksisterende krav. For betonelementer, som har været eksponeret for klorid, er risikoen forøget, da der også kan være tilført yderligere klorid fra det omkringliggende miljø. Betonelementer anvendt i passiv miljøpåvirkning tilføres typisk ikke klorid fra det omkringliggende miljø, hvorfor kloridindholdet derfor forventes at være lavere og ikke kritisk for betonelementernes holdbarhed.

For betonelementer, som er uarmerede, er et højt kloridindhold mindre kritisk, men kan være et tegn på, at alkaliindholdet også er højt, se evt. afsnit 3.10.

Fig. 15 Tidslinje over udvikling i krav til kloridindhold.

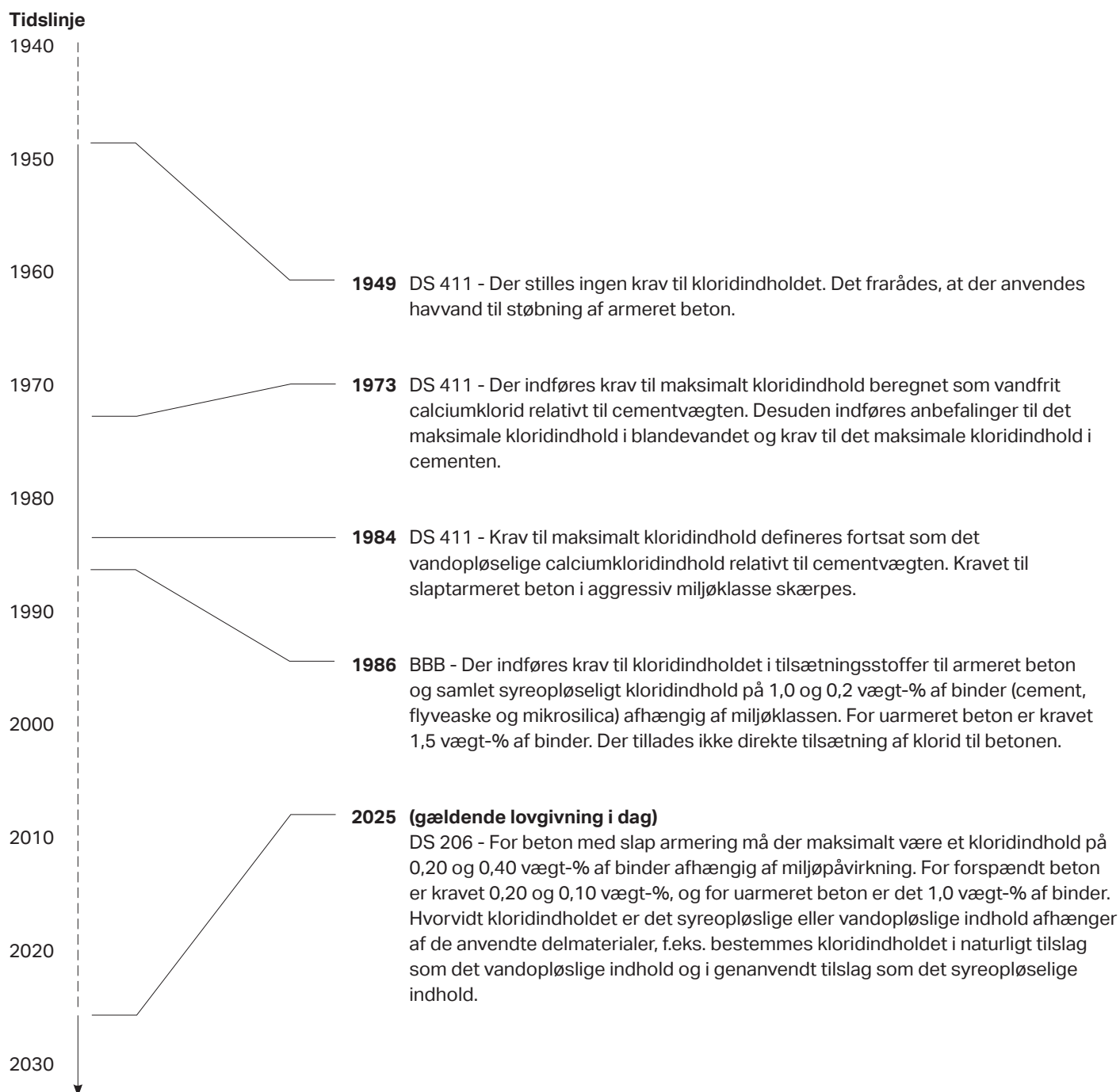




Fig. 16 Højt kloridindhold i betonen kan resultere i korrosion af armeringen. Når armeringen korroderer, reduceres konstruktionens bæreevne. Foto: Teknologisk Institut

Tab. 05 Krav til kloridindhold [vægt-% af cement] for DS 411 fra 1973 og 1984 og [vægt-% af binder] for BBB og DS 206 baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. " / " anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-".

EN 206:2013	DS 411:1949	DS 411:1973 ^a	DS 411:1984 ^a	BBB:1986 ^{a, b}	DS 206:2024 ^a
X0	-	1,5 : 0,5 : 2,5	1,5 : 0,5 : 2,5	1,0 : 1,0 : 1,0	0,40 : 0,20 : 1,0
XC1	-	1,5 : 0,5 : 2,5	1,5 : 0,5 : 2,5	1,0 : 1,0 : 1,0	0,40 : 0,20 : 1,0
XC2	-	1,5 : 0,5 : 2,5	1,5 / 0,5 ^c : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,40 : 0,20 : 1,0
XC3	-	1,5 : 0,5 : 2,5	1,5 / 0,5 ^c : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0
XC4	-	1,5 : 0,5 : 2,5	1,5 / 0,5 ^c : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0
XD1	-	Ikke defineret	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0 ^d
XD2	-	Ikke defineret	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,10 : 1,0
XD3	-	Ikke defineret	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,10 : 1,0
XS1	-	1,5 : 0,5 : 2,5	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0 ^d
XS2	-	1,5 : 0,5 : 2,5	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0 ^d
XS3	-	1,5 : 0,5 : 2,5	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,10 : 1,0
XF1	-	1,5 : 0,5 : 2,5	1,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0
XF2	-	Ikke defineret	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0 ^d
XF3	-	1,5 : 0,5 : 2,5	1,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,20 : 1,0 ^d
XF4	-	1,5 : 0,5 : 2,5	0,5 : 0,5 : 2,5	0,2 : 0,2 : 0,2	0,20 : 0,10 : 1,0
XA1	-	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	0,20 : 0,20 : 1,0
XA2	-	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	0,20 : 0,20 : 1,0 ^d
XA3	-	Ikke defineret	Ikke defineret	Ikke defineret	0,20 : 0,10 : 1,0

^a Første tal angiver kravet til slap armering, andet tal angiver kravet til forspændt armering, og tredje tal angiver kravet til uarmeret beton.

^b Kloridindholdet defineres som det syreopløselige indhold.

^c For moderat miljøklasse, jf. Tab 01, gælder 1,5 vægt-%, og for aggressiv miljøklasse gælder 0,5 vægt-%.

^d I specielle tilfælde kan det for forspændt armering være nødvendigt at sænke kravet til 0,10 vægt-%.

3.7 FROSTBESTANDIGHED

DEFINITION: Betonens frostbestandighed har betydning for, hvordan holdbarheden af betonen er, hvis betonen eksponeres for en kombination af frost og tør, samt eventuelt også klorid (f.eks. fra tørsalt eller havvand). Det er både tilslagene (sand og sten) og pastaen (vand og binder), som skal være frostbestandige. Frostbestandigheden af pastaen afhænger særligt af vand/cement-forholdet (se krav på side 38) og luftporestrukturen.

FORMÅL MED KRAV: Hvis betonen ikke har den fornødne frostbestandighed, kan det føre til forvittringer i betonens overflade eller revner i selve betonen. Det kan være et problem, da holdbarheden reduceres, når dæklaget bliver mindre, og når revner tillader CO₂ eller skadelige ioner (f.eks. klorid-ioner) at trænge hurtigere ind i betonen. Derudover kan revnedannelser og forvittringer i nogle tilfælde også have betydning for konstruktionens bæreevne.

UDVIKLING I LOVGIVNING: Fra 1973 stilles der krav til anvendelse af luftindblandingsmiddel i beton, der udsættes for vekslende frost/tør-påvirkning, dog uden reelle krav til mængden af indblandet luft. Kravene bliver med de efterfølgende udgivelser mere udspecificerede, og i dag kan frostbestandigheden af beton dokumenteres på to forskellige måder: enten ved bestemmelse af luftindhold og luftporestruktur (afstandsfaktor) eller ved accelereret frost/tør-prøvning.

I Fig. 18 er der vist en tidslinje over krav til frostbestandigheden.

BETYDNING FOR GENBRUG: Da kravene til frostbestandighed er blevet skærpede og præciserede igennem tiden, er der en risiko for, at ældre betonelementer ikke overholder gældende krav til frostbestandigheden. Hvis et betonelement allerede har været eksponeret for frost/tør over mange år, eventuelt i kombination med klorid, og stadig er i en acceptabel tilstand, vurderes der ikke at være den store risiko for nye skader ved genbrug. Det forudsættes dog af, at betonelementet i så fald anvendes i samme eller lempede eksponeringer.

Frost/tør-påvirkning er ikke relevant for betonelementer til passiv miljøpåvirkning.

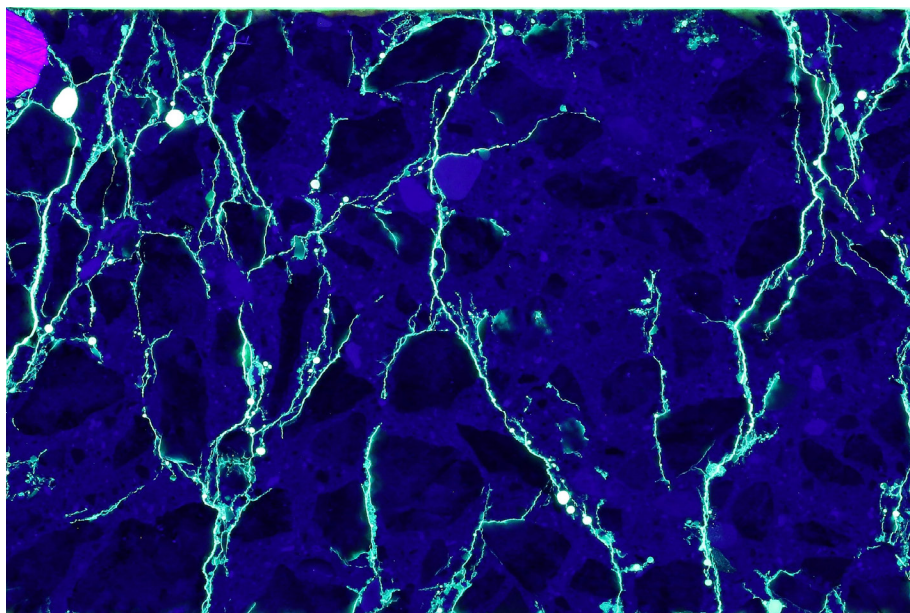
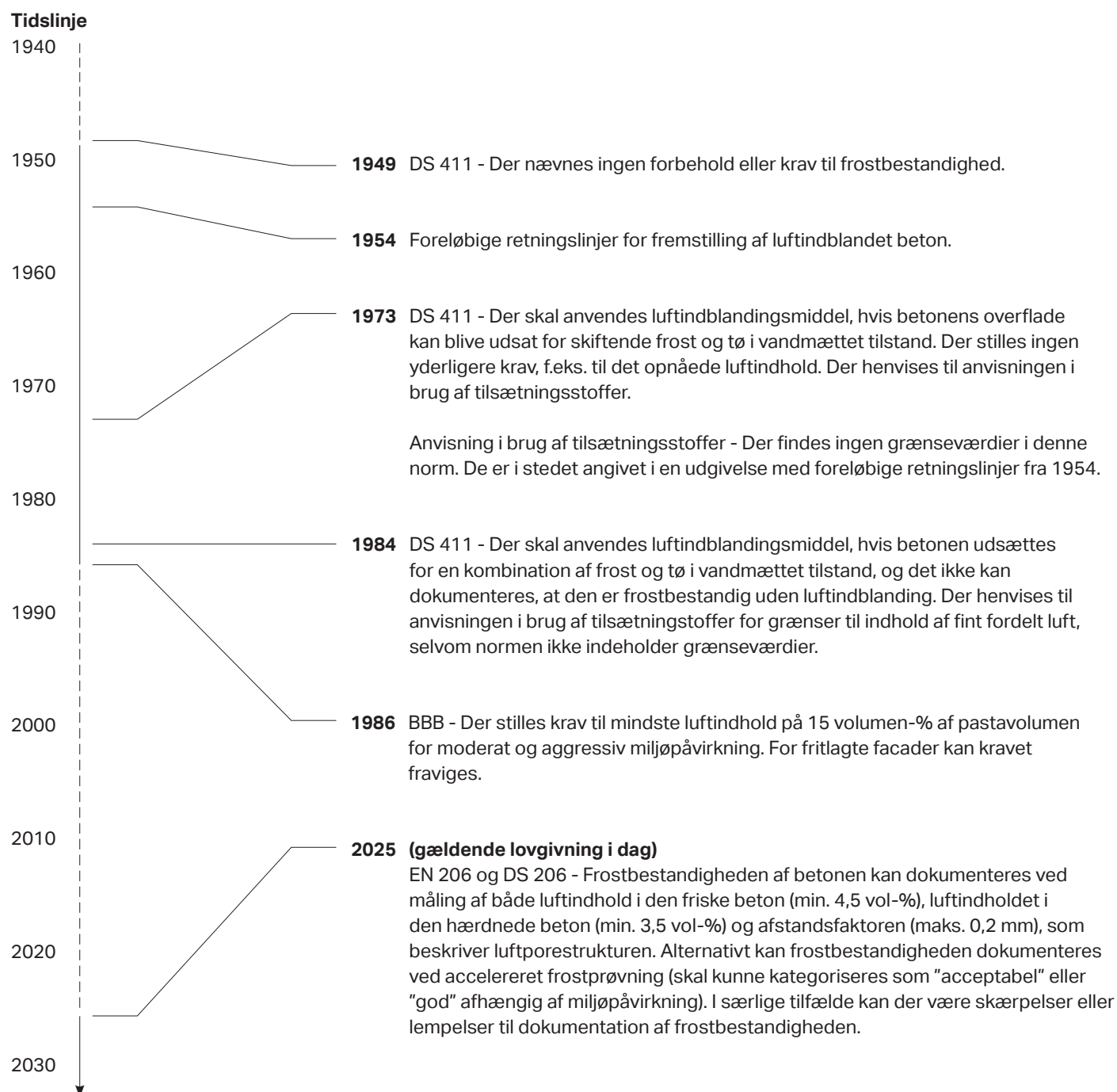


Fig. 17 Planslib af en betonprøve imprægneret med fluorescerende epoxy. Prøven er set i UV-lys, som får de epoxy-fulgte revner til at fremstå tydeligt. Revnerne skyldes en kombination af frostska-der og AKR (se mere på side 52). Et planslib er en betonprøve med en skåret side, som er slebet. Foto: Teknologisk Institut

Fig. 18 Tidslinje over udvikling i krav til frostbestandighed.



3.8 INDHOLD AF PORØSE ALKALIKIESELREAKTIVE STEN OG SANDKORN

DEFINITION: Porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn indeholder kieselholdige mineraler, som kan reagere med alkalier i betonen, hvilket kaldes alkalikieselreaktioner (AKR).

FORMÅL MED KRAV: Alkalikieselreaktioner danner en gel, der udvider sig ved vandoptagelse og kan føre til revner og skader i betonen, primært i fugtige miljøer. Ved at reducere indholdet af porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn kan alkalikieselreaktioner i betonen også reduceres. Alkalikieselreaktioner opstår typisk ikke i indendørs, tørt miljø.

UDVIKLING I LOVGIVNING: Alkalikieselreaktioner nævnes ikke i 1949-normen. I 1961 udkommer Alkaliudvalgets foreløbige anbefalinger til at undgå skadelige alkalikieselreaktioner, men de bliver ikke indarbejdet i normerne før BBB.

I DS 411-versionen fra 1973 og 1984 fremgår kun ikke-operationelle formuleringer, som gør opmærksom på problematikkerne ved netop alkalikieselreaktioner. Tilslagsnormen fra 1977 indeholder heller ikke konkrete krav. De første krav kommer således med BBB i 1986, på trods af at problematikken længe har været kendt.

I Fig. 20 er der vist en tidslinje over krav til indhold af porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn.

BETYDNING FOR GENBRUG: For betonelementer til passiv miljøpåvirkning stilles der i dag ikke nogen krav til indhold af porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn, og derfor vil betonelementer sagtens kunne genbruges til passiv miljøpåvirkning, så længe tilstanden er tilfredsstillende. For de øvrige miljøpåvirkninger, er der en risiko for, at genbrugte betonelementer ikke opfylder nutidens krav. Det gælder særligt de betonelementer, som er produceret før BBB.

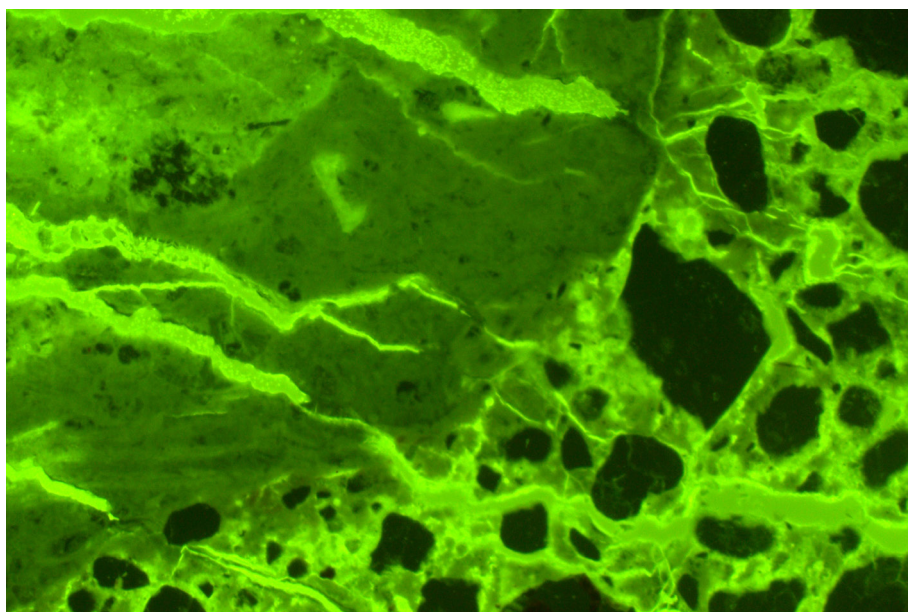
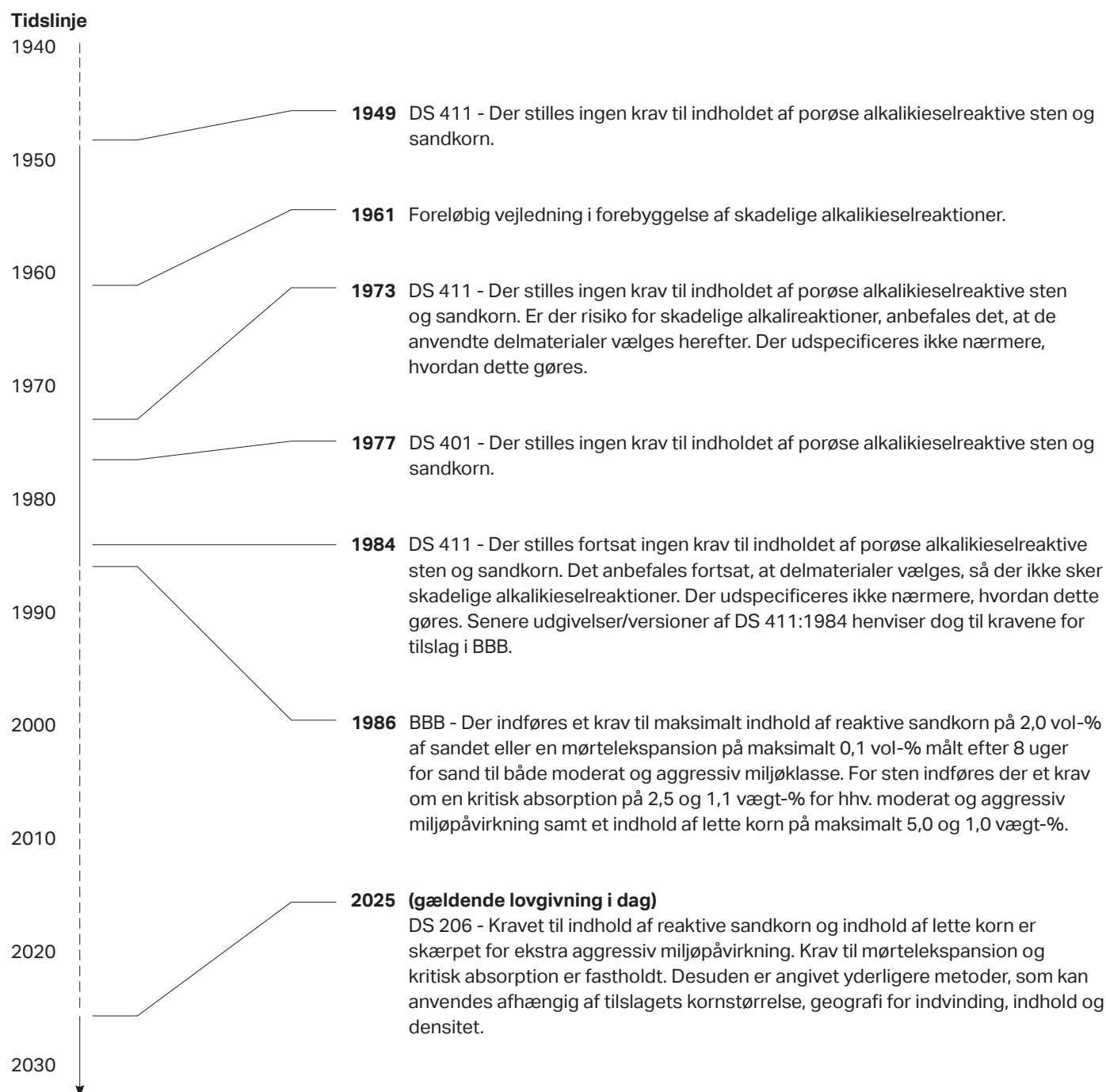


Fig. 19 Tyndslib imprægneret med fluorescerende epoxy set i UV-lys gennem et mikroskop. I øverste venstre hjørne ses alkalikieselreaktioner i et tilslag. Et betontyndslib består af en 20 µm tyk skive beton imprægneret i epoxy og kan bl.a. bruges til vurdering af skade årsag og anvendte delmaterialer. På side 26 ses et helt tyndslib. Foto: Teknologisk Institut

Fig. 20 Tidslinje over udvikling i krav til indhold af porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn.



3.9 INDHOLD AF PORØSE OG FROSTFARLIGE STEN

DEFINITION: Porøse og frostfarlige sten er sten, som grundet en porøs struktur, kan optage vand, som kan skabe frostsprængninger, hvis vandet fryser til is ved frosteksposering. Porøse og frostfarlige sten kan f.eks. være porøs flint.

FORMÅL MED KRAV: Hvis de frostfarlige sten har optaget vand som fryser til is, er der risiko for at de sten, som ligger tæt på betonens overflade, ekspanderer så meget, at en del af betonen skydes af og efterlader et krater i overfladen. Der kan også opstå revner i stenen. Hvis omfanget af frostfarlige sten er meget højt, kan det være et problem for holdbarheden af betonen, men ofte er det udelukkende af kosmetisk betydning.

UDVIKLING I LOVGIVNINGEN: Der har generelt ikke været anvendelige krav til frostfarlige sten før i BBB fra 1986, hvor frostbestandigheden skulle dokumenteres indirekte ved dokumentation af, at kravene til alkalikieselreaktive sten var overholdt. I dag dokumenteres frostbestandigheden af tilslaget også hyppigst indirekte ved dokumentation af, at kravet til alkalikieselreaktive sten er overholdt, jf. krav til alkalikieselreaktive sten på side 52.

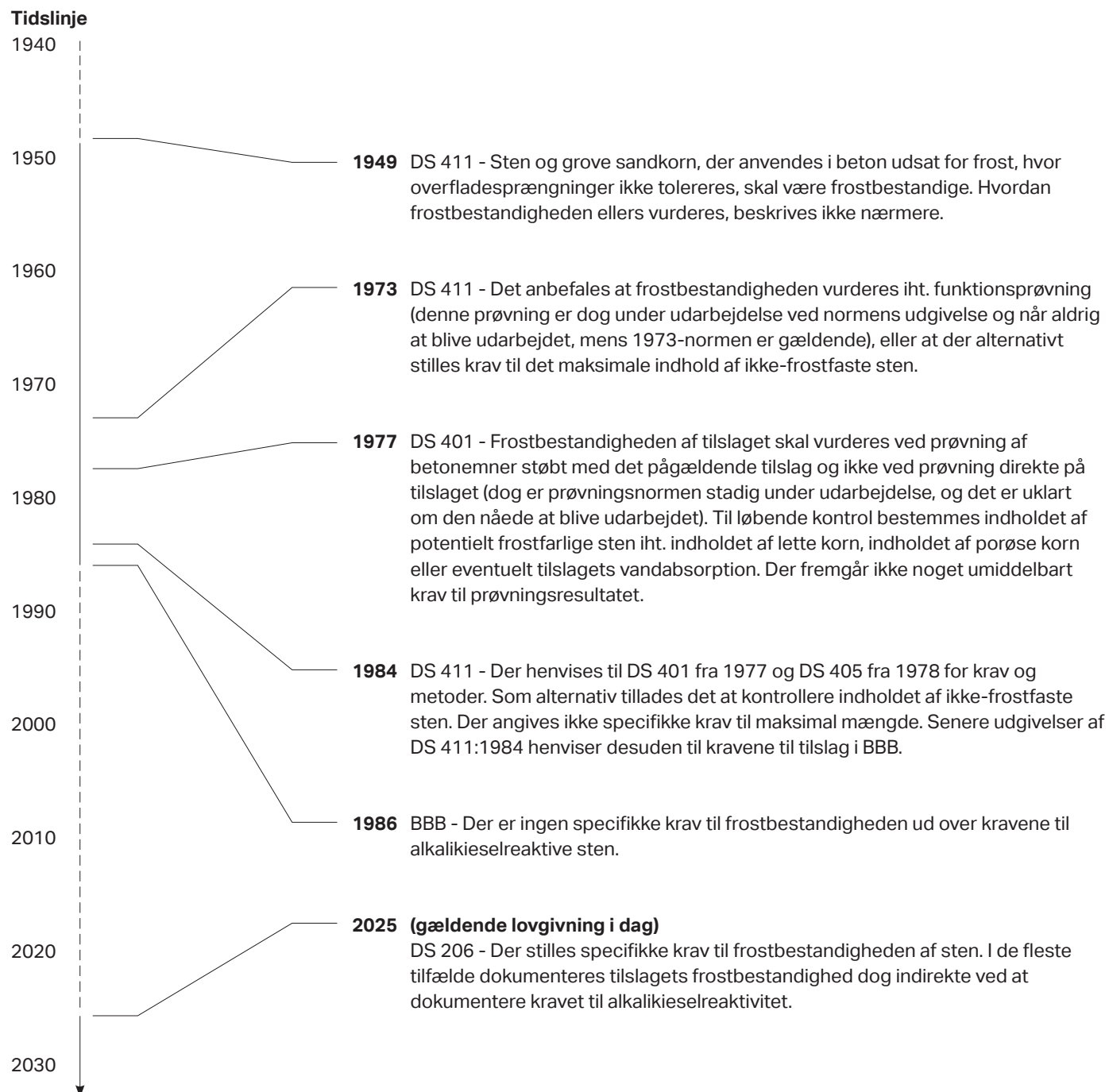
I Fig. 22 er der vist en tidslinje over krav til indhold af frostfarlige sten.

BETYDNING FOR GENBRUG: Det vurderes generelt, at hvis et betonelement der indeholder frostfarlige korn, allerede har været eksponeret for frost og fugt i en længere periode, er der ikke den store risiko for nye skader ved genbrug af betonelementet. Det forudsættes af, at betonelementet anvendes i samme eller lempede eksponeringer. Er tilstanden af betonelementet acceptabel, er der derfor potentiale for genbrug.



Fig. 21 Sten (også kaldet groft tilslag) anvendt i produktionen af beton. Foto: Teknologisk Institut

Fig. 22 Tidslinje over udvikling i krav til indhold af porøse og frostfarlige sten.



3.10 ALKALIINDHOLD

DEFINITION: Alkaliindholdet i beton omfatter indholdet af ionerne natrium og kalium. Alkaliioner kan både komme fra de anvendte delmaterialer (herunder særligt cementen) samt fra det miljø, som betonens eksponeres i (f.eks. natrium fra havvand eller tørsalt).

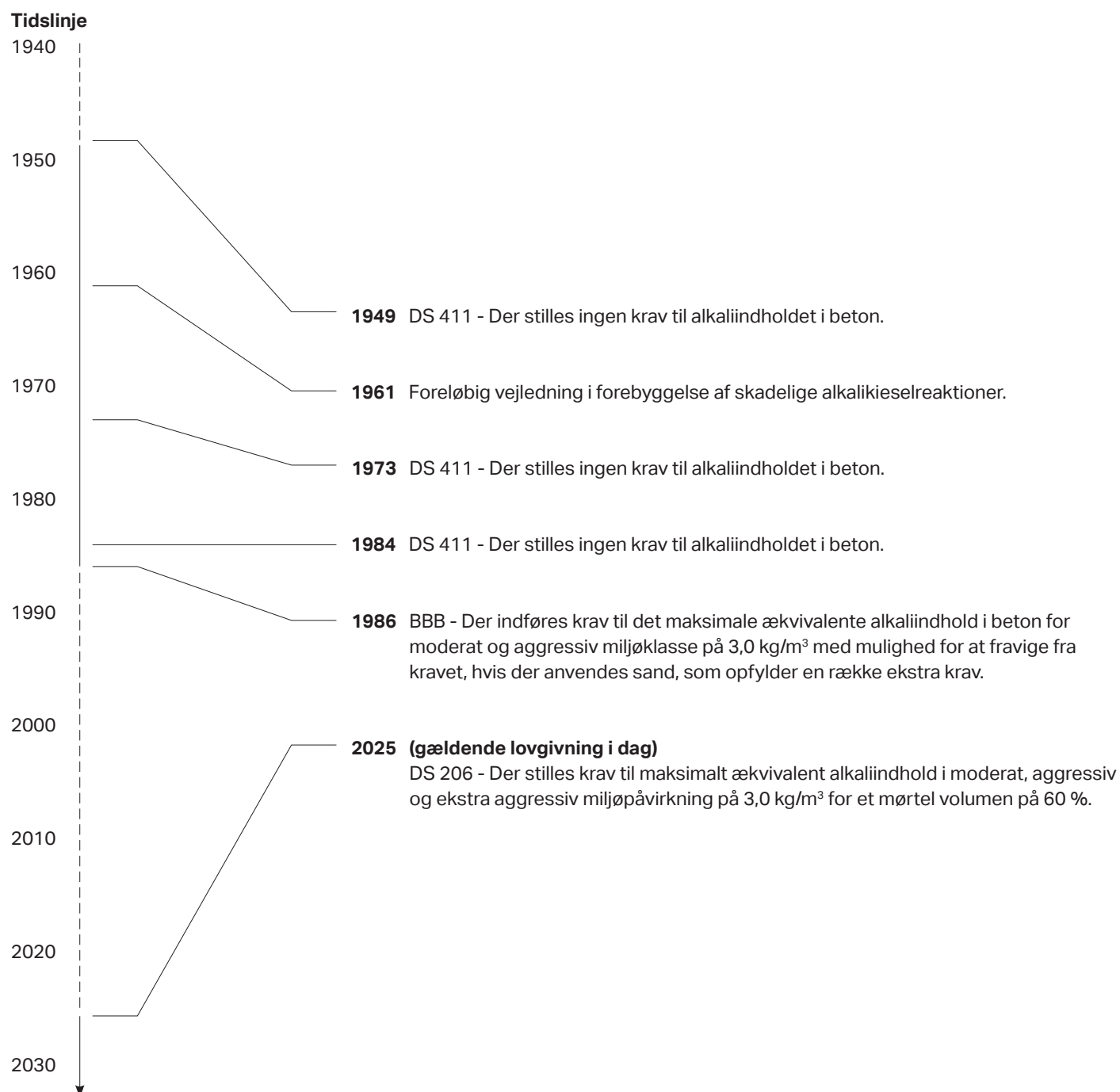
FORMÅL MED KRAV: Erfaringer har vist at ved tilpas lavt indhold af alkalier, kan skadelige alkalikieselreaktioner undgås (se side 52).

UDVIKLING I LOVGIVNING: Der stilles ingen krav til maksimalt alkaliindhold i lovgivningen før i BBB fra 1986, selvom det i mange år har været kendt, at alkalikieselreaktioner kan være en udfordring for holdbarheden af beton med alkalikieselreaktivt tilslag, som samtidig udsættes for alkalier og fugt.

I Fig. 23 er der vist en tidslinje over krav til alkaliindhold.

BETYDNING FOR GENBRUG: For betonelementer til passiv miljøpåvirkning stilles der i dag ikke nogen krav til maksimalt alkaliindhold, og derfor vil betonelementer sagtens kunne genbruges til passiv miljøpåvirkning, så længe tilstanden er tilfredsstillende. For de øvrige miljøpåvirkninger er der en risiko for, at genbrugte betonelementer ikke opfylder nutidens krav. Er indholdet af porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn samtidig højt, kan det særligt være et problem for genbrugte betonelementer, hvor der foruden tilførsel af alkalier fra de anvendte delmaterialer også kan være tilført alkalier fra det omkringliggende miljø under betonelementets anvendelse.

Fig. 23 Tidslinje over udvikling i krav til alkaliindhold.



IV. FIGURLISTE

Fig. 01 Beton består som minimum af cement, vand, sand og sten, men der kan også tilsættes andre materialer, f.eks. flyveaske eller luftindblandingsmiddel. Faktorer som delmaterialernes egenskaber, mængden der tilsættes, hvornår de tilsættes, og hvordan blandingen er, har alle betydning for betonens egenskaber. Foto: Teknologisk Institut	10
Fig. 02 Huldæk vurderes at være den mest anvendte betonelementtype i Danmark i dag, og anvendes til etageadskillelser og tagkonstruktioner. Huldæk skal i dag produceres i overensstemmelse med EN 1168. Foto: Teknologisk Institut	15
Fig. 03 Genindbygning af huldæk nedtaget fra Gellerupparken. Foto: Teknologisk Institut	16
Fig. 04 Tidslinje over udvalgte normer og standarder relateret til holdbarheden af beton. Prøvningsstandarder er kun medtaget i begrænset omfang. Normerne fra 1987 til 2000 er medtaget for overblikkets skyld, men vil ikke blive yderligere adresseret i nærværende rapport. Udviklingen i standarder efter 2000 er ikke medtaget. Kun de i dag gældende standarder for denne tidsperiode er medtaget.	21
Fig. 05 Eksempel på officielle meddelelser givet i ugebladet Ingeniøren. Meddelelsen til venstre er fra udgivelsen dateret 22. oktober 1971, og meddelelsen til højre er fra udgivelsen dateret 26. maj 1972. Foto: Ugebladet Ingeniøren	22
Fig. 06 Tidslinje over kontrolordninger for betonelementer.	25
Fig. 07 Eksponeringsplads med betonblokke støbt med forskellige betonsammensætninger. Betonblokkene bruges til langtidsmonitorering af betonens holdbarhed i udendørs miljø. Foto: Teknologisk Institut	28
Fig. 08 Tidslinje over miljøklasser, miljøpåvirkninger og eksponeringsklasser.	31
Fig. 09 Tidslinje over udvikling i krav til trykstyrke.	35
Fig. 10 Trykprøvet kerne udboret fra et genbrugte huldæk. Foto: Teknologisk Institut	36
Fig. 11 Tidslinje over udvikling i krav til vand/cement-forhold.	39
Fig. 12 Betonkonstruktion hvorfra der er udboret en betonkerne. Vand/cement-forholdet har stor betydning for betonens holdbarhed, f.eks. ift. karbonatiseringshastigheden. Vand/cement-forholdet kan estimeres på udborede kerner. Foto: Teknologisk Institut	40
Fig. 13 Tidslinje over udvikling i krav til dæklag.	43
Fig. 14 Afskalning af dæklag som følge af armeringskorrosion. Foto: Teknologisk Institut	44
Fig. 15 Tidslinje over udvikling i krav til kloridindhold.	47
Fig. 16 Højt kloridindhold i betonen kan resultere i korrosion af armeringen. Når armeringen korroderer, reduceres konstruktionens bæreevne. Foto: Teknologisk Institut	48
Fig. 17 Planslib af en betonprøve imprægneret med fluorescerende epoxy. Prøven er set i UV-lys, som får de epoxy-fyldte revner til at fremstå tydeligt. Revnerne skyldes en kombination af frostskafer og AKR (se mere på side 52). Et planslib er en betonprøve med en skåret side, som er slebet. Foto: Teknologisk Institut	50
Fig. 18 Tidslinje over udvikling i krav til frostbestandighed.	51

Fig. 19 Tyndslib imprægneret med fluorescerende epoxy set i UV-lys gennem et mikroskop. I øverste venstre hjørne ses alkalikieselreaktioner i et tilslag. Et betontyndslib består af en 20 µm tyk skive beton imprægneret i epoxy og kan bl.a. bruges til vurdering afskade årsag og anvendte delmaterialer. På side 26 ses et helt tyndslib. Foto: Teknologisk Institut	52
Fig. 20 Tidslinje over udvikling i krav til indhold af porøse alkalikieselreaktive sten og sandkorn.	53
Fig. 21 Sten (også kaldet groft tilslag) anvendt i produktionen af beton. Foto: Teknologisk Institut	54
Fig. 22 Tidslinje over udvikling i krav til indhold af porøse og frostfarlige sten.	55
Fig. 23 Tidslinje over udvikling i krav til alkaliindhold.	57

UNUMMEREREDE BILLEDER

Forskellige normer og standarder gennem tiden. Foto: Teknologisk Institut	1
Nedtagning af huldæk fra Gellerupparken. Foto: GXN	4
Trykprøvning af udboret betonkerne. Foto: Teknologisk Institut	6
Mikroskopisk analyse på et tyndslib imprægneret med fluorescerende epoxy. Foto: Teknologisk Institut	8
Nedtagne vægelementer i reolvogn. Foto: Teknologisk Institut	12
Afstivning af vægelementer ifm. nedtagning af hele betonelementer. Foto: Teknologisk Institut	18
Tyndslib af en betonprøve imprægneret i fluorescerende epoxy. Foto: Teknologisk Institut	26
Kerner til trykprøvning udboret fra genbrugte huldæk. Foto: Teknologisk Institut	61

V. TABELLISTE

Tab. 01 Beskrivelse af eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021 inkl. tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. Miljøbeskrivelser for betonbelægninger er ikke inkluderet. 32

Tab. 02 Krav til trykstyrke [MPa] baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. "/" anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-". 37

Tab. 03 Krav til vand/cement-forhold baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. "/" anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-". 41

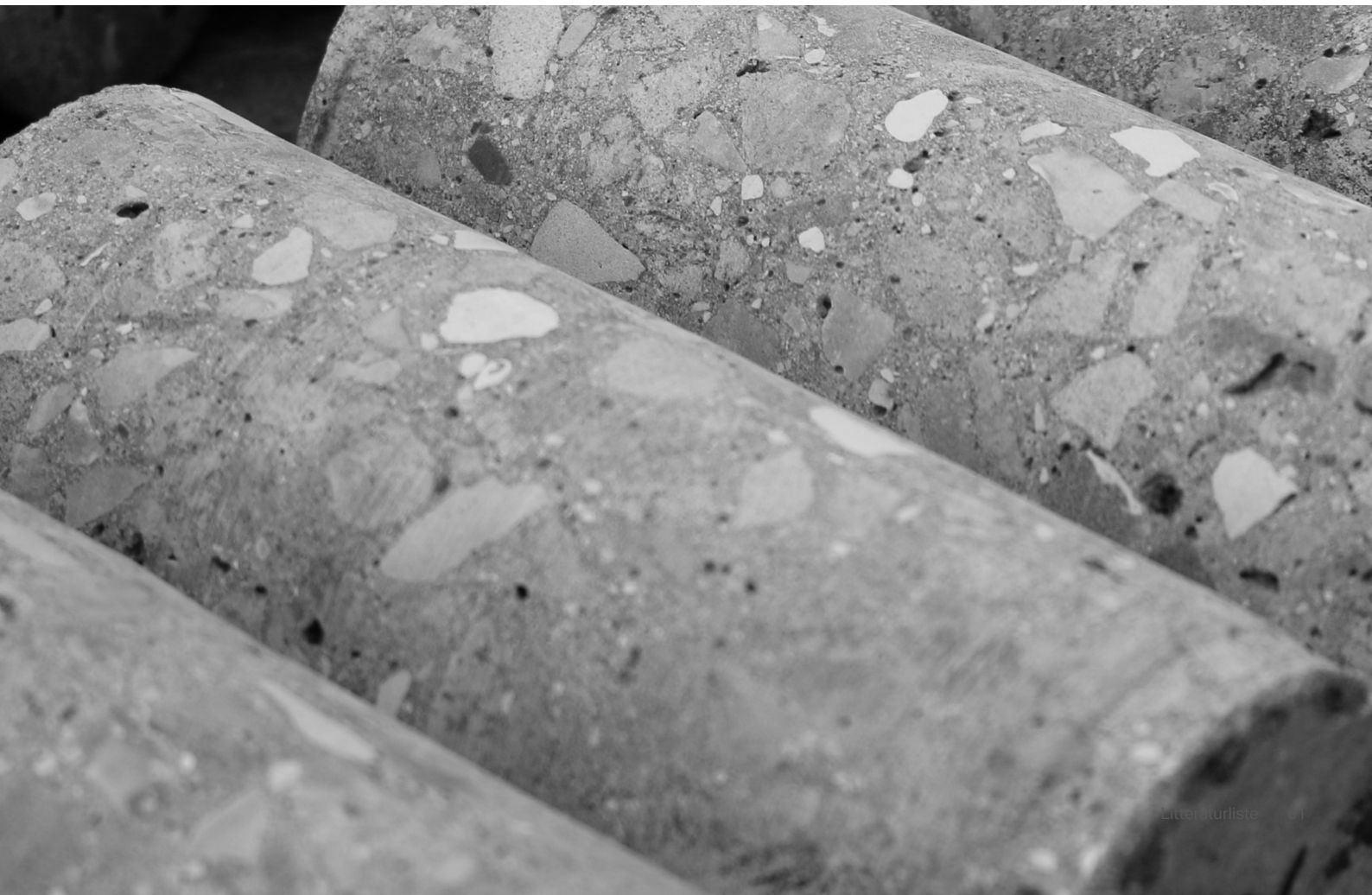
Tab. 04 Krav til dæklag [cm] baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. "/" anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-". 45

Tab. 05 Krav til kloridindhold [vægt-% af cement] for DS 411 fra 1973 og 1984 og [vægt-% af binder] for BBB og DS 206 baseret på tolkning af miljøklasser og miljøpåvirkninger (jf. Tab. 01) relativt til eksponeringsklasserne i EN 206:2013+A2:2021. "/" anvendes, når der er flere miljøer, som falder under den pågældende eksponeringsklasse. De scenarier, hvor der ikke stilles krav til egenskaben, er i tabellen markeret med "-". 49

VI. LITTERATURLISTE

- [1] Byggeriets handletank for bæredygtighed. Bygge- og anlægssektorens handleplan på vej mod bæredygtighed i byggeriet, 2024
- [2] 70% Reduktion af CO2 fra betonkonstruktioner i 2030 - tillæg til roadmap, Dansk Beton, 2023
- [3] 99 år var normen, 1992, Dansk Ingeniørforeningens og Ingeniør-Sammenslutningens Normstyrelse
- [4] Basis Beton Beskrivelsen, 1986, Byggestyrelsen
- [5] Betonelementkontrollen takker af, Knud E. C. Nielsen, 1997 udgivelse 1, Magasinet BETON
- [6] Betonhåndbogen, kapitel 3.2, Tilslag, Christian Munch-Petersen, 2013
- [7] Betonhåndbogen, kapitel 3.5.1, Flyveaske, Nicolai Bech og Claus Pade, 2013
- [8] Betonhåndbogen, kapitel 3.5.2, Mikrosilica, Christian Munch-Petersen, 2013
- [9] Betonhåndbogen, kapitel 4, Betonsammensætning, Christian Munch-Petersen, 2018
- [10] Betonhåndbogen, kapitel 10.1 Betons trykstyrke, Claus Vestergaard Nielsen, 2016
- [11] Betonhåndbogen, kapitel 19.1, Alkalireaktioner, Bent Grelk, 2014
- [12] Betonhåndbogen, kapitel 19.3, Chloridindtrængning, Jens Mejer Frederiksen, 2014
- [13] Betonhåndbogen, kapitel 19.4, Frostangreb, Marianne Tange Hasholt, 2020
- [14] Betonkrav og -praksis, Ervin Poulsen, 1989, Statens Byggeforskningsinstitut
- [15] Bygningsreglementet (BR-77), 1977, Boligministeriet
- [16] Certificeret kvalitetssikring: Betonelementkontrollen, Knud E. C. Nielsen, 1989, Byggeindustrien nr. 2
- [17] Cirkulære om godkendelse i henhold til bygningslovgivningen af materialer og konstruktioner m.v., 1964, Boligministeriet
- [18] Dansk Ingeniørforenings anvisning for anvendelse af flyveaske og mikrosilica i beton, 1987, Teknisk forlag
- [19] Dansk Ingeniørforenings anvisning i brug af tilsætningsstoffer til beton, 1973, Teknisk forlag
- [20] DS 206:2024 Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse. Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark
- [21] DS 401:1977 Dansk Ingeniørforening norm for sand-, grus- og stenmaterialer, Teknisk forlag
- [22] DS 411:1949 Beton- og jernbetonkonstruktioner, Dansk Ingeniørforening
- [23] DS 411:1973 Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, Teknisk Forlag
- [24] DS 411:1984 Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, Teknisk Forlag
- [25] DS/EN 1992-1-1 DK NA:2024 Nationalt annekset til Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner
- [26] ETA-Danmark, Europæisk teknisk godkendelse, 1991, Bygge og Boligstyrelsen
- [27] EN 206:2013 + A2:2021 Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse
- [28] EN 12620 + A1:2008 - Tilslag til beton
- [29] DS/EN 1992-1-1:2023 - Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Betonkonstruktioner – Generelle regler samt regler for bygninger, broer og bygningskonstruktioner
- [30] Et naturligt farvel til BEK, 1997 udgivelse 1, Magasinet BETON
- [31] Kontrolordning for betonelementer er klar til start, Øivind S. Olesen, 1978 udgivelse 44, Ingeniøren
- [32] Landsbyggeloven (National Building Act). <https://danskbyggeskik.dk/dyk-ned-i-historien/lovgivning-og-teknik/byggeskik/landsbyggeloven>, (besøgt den 06-08-2024)
- [33] Mere end 90 års vejvedligeholdelse i samfundets tjeneste, Ole Grann Andersson, 2014, Trafik & Veje
- [34] MK-godkendelse. <https://danskbyggeskik.dk/Publikationer/1325%20-%20AS%20Dansk%20Sp%C3%A6ndbeton,%20BS-etageadskillelse%2060.pdf> (besøgt den 06-08-2024)

- [35] Norm Nyt, 22. oktober 1971, Ugebladet Ingeniøren
- [36] Norm Nyt, 26. maj 1972, Ugebladet Ingeniøren
- [37] Overenskomst vedr. jernbeton-huldæksplader inkl. teknisk protokol, sag: B.204,S.203/68, Statsprøveanstalten, 1968
- [38] Sammenligning af normer for betonkonstruktioner 1949 og 2006, Jørgen Munch-Andersen og Jørgen Nielsen, 2007, SBI
- [39] Tekniske bestemmelser for Betonelementkontrollen, 1990 udgave 2, Betonelementkontrollen
- [40] Vejledning til Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner – bilag til dansk standard DS 411, 1973, Teknisk Forlag



(P)RECAST er et forsknings- og udviklingsprojekt støttet af MUDP under Miljøstyrelsen. Projektet har til formål at bane vejen for genbrug af hele betonelementer i nyt byggeri og er et samarbejde mellem en række forskellige aktører i byggebranchen.



Projektet havde opstart i januar 2022 og forventes afsluttet i sommeren 2025.

Nærværende rapport er én af ni rapporter, der udgives af Teknologisk Institut med henblik på at formidle viden og erfaringer fra projektet til byggebranchen.

Projektets hjemmeside og kontaktoplysninger kan tilgås via QR-koden.