

2 Krav til beton

Af Christian Munch-Petersen



Figur 1. Kravdokumenter for beton fra Danmark, Sverige, Holland og England. Basisbetonbeskrivelsen og DS 411 er udgået, men har dannet grundlag for de nugældende krav.

Beton fremstilles af en blanding af delmaterialerne: cement, tilslag, vand, tilsætninger og tilsætningsstoffer.

For hvert af disse delmaterialer findes mange forskellige typer og kvaliteter, og stort set ethvert blandingsforhold af disse delmaterialer kan betegnes som beton – men de fleste blandingsforhold vil være ubrugelige i praksis.

Hertil kommer, at beton anvendes til mange forskellige formål og derfor udsættes for meget forskellig påvirkning, fx varierende fra en tør, indendørs væg i en boligblok til en

bro pille i havvand eller et varmt svømmebad – eller fra fyld i gamle tanke til højstyrkebeton i pylonen på en skråstagsbro.

Det er derfor vigtigt, at der stilles de rigtige krav til betonen, så betonen får den ønskede ydeevne og holdbarhed. Stilles der for svage krav, vil betonen have utilstrækkelige egenskaber, og stilles der unødvendige krav eller for skrappe krav, vil betonen blive for dyr til formålet. Korrekt stillede krav er derfor afgørende for såvel anlægs- som driftsøkonomien af en betonkonstruktion.

Dette afsnit vedrører ikke krav til Udførelse af beton – se kapitel 9 – og heller ikke betonkonstruktioners bærevne. Selve betonmaterialets styrke omtales dog i nærværende kapitel, og er mere udførligt behandlet i afsnit 10.1 Trykstyrke og afsnit 10.2 Trækstyrke.

2.1 Hovedkrav

I kapitel 6 Proportionering anvendes en materialemodel, der beskriver beton som bestående af tilslagsmaterialer - sand og sten - der er limet sammen med cementpasta – primært bestående af cement og vand og sekundært af tilsætninger og tilsætningsstoffer.



Figur 2. Planslib af beton. Beton er tilslag limet sammen med en lim (cementpasta) bestående af cement (binder) og vand (hærder). Limen kan forbedres med fx tilsætninger, tilsætningsstoffer og luft. Krav til beton afspejler denne opbygning. Billedet er fra en borekerne udtaget af Glen Canyon Dam, Arizona, fuldført 1963.

Hovedkravene til materialet beton er derfor, at tilslagsmaterialerne skal være holdbare til det miljø, betonen skal udsættes for, og cementpastaen (limen) skal dels være holdbar dels have den fornødne styrke, da det for ikke-højstyrkebeton primært er cementpastaens styrke, der bestemmer betonens styrke.

Hertil kommer i praksis to yderligere hovedkrav, nemlig at tilslagene også skal være stabile i det stærkt basiske miljø i betonen, se 19.1 Alkalireaktioner, og cementpastaen skal i beton, der udsættes for frost, normalt være luftindblandet for at sikre frostbestandigheden, se 19.4 Frost/tø-angreb.

Hvis vi udvider betragtningerne om mulige krav til ikke blot at gælde for materialet beton, men også at gælde for betonkonstruktioner, bliver hovedkravene mere komplicerede, fordi betonkonstruktioner normalt (fx i en betonbjælke) indeholder armeringsjern, der skal optage trækkrafterne.

Disse indstøbte armeringsjern er rustbeskyttet i sund beton gennem det basiske miljø skabt ved cementens reaktion med vand, men hvis denne rustbeskyttelse skal opretholdes over tid, kræves det, at betonmaterialet er så tæt, at kuldioxid fra luften (CO_2) og chlorider (Cl^-) fra havvand og tøsalt ikke når frem til armeringen i skadelig mængde. Se afsnittene 19.2 Carbonatisering og 19.3 Chloridindtrængen.

Derfor skal en betonkonstruktion, der skal være bestandig overfor carbonatisering og chloridindtrængen, have et tilstrækkeligt dæklag af beton i god kvalitet uden på armeringsjernene.

Dæklaget er også nødvendigt for at armeringen kan forankres og stødes i betonen. Endelig er det dæklaget, der beskytter armeringen mod skadelig opvarmning under en evt. brand.

Hovedkravene til betonmaterialet omfatter således krav til:

- Tilslag
- Cementpasta (lim)
- Luftindblanding
- Betonstyrke

Krav til Tilslag omfatter såvel tilslagets modstandsdygtighed mod miljøets påvirkninger (fx frost) som tilslagets bestandighed i et stærkt basisk miljø (alkalikiselreaktioner).

Krav til kvaliteten af Cementpasta omfatter krav til cementkvalitet, cementmængde cementpastaens blandingsforhold (vand/cement-forhold). Desuden krav om begrænsning af mængde af alkalier og chlorider i cementpastaen for henholdsvis at imødegå alkalikiselreaktioner og et højt initial-chlorid-indhold, der evt. kan starte korrosion af armeringen. Det betyder blandt andet, at der altid skal anvendes ferskvand til betonfremstilling.

Krav til Luftindblanding omfatter for frostudsat beton krav om brug af luftindblandingsmiddel, således at der opnås et luftindhold i den friske beton, et luftindhold i

den hærdnede beton, og evt. krav til luftporestrukturen, det vil sige krav, der sikrer, at luften er finfordelt i cementpastaen.

Krav til Betonstyrke omfatter som regel krav til trykstyrken målt efter 28 døgnshærdetid ved 20 °C, men kan også omfatte krav til trækstyrken. Betonstyrken er stærkt koblet til vand/cement-forholdet, således at en tæt og holdbar beton (se ovenfor under cementpasta) også har en høj styrke. Brugeren af betonen – fx en entreprenør – vil desuden ofte stille krav til betonens tidlige styrke (fx efter 3 eller 7 døgn), fx fordi han ønsker at afforskalle et dæk hurtigt eller vil kunne færdes tidligt på et støbt gulv.

For betonkonstruktioner skal der suppleres med nedenstående hovedkrav:

- Dæklagets tykkelse
- Dæklagets kvalitet

I praksis styres dæklagets kvalitet af kvaliteten af cementpastaen, som igen primært styres af vand/cement-forholdet – men dæklagets kvalitet kan dog ødelægges under Udførelsen, se kapitel 9.



Figur 3. Dæklaget kan være afgørende for holdbarheden. Her er dæklagskravet 75 mm for at sikre 120 års levetid i et marint miljø. Billedet er fra Øresundsbroens betontrug, hvori sporene ligger. Armeringen stikker ud af de præfabrikerede trug, der blev sammenstøbt efter oplægning på stålgritterdragerne.

Kvaliteten af cementpastaen er derfor et afgørende hovedkrav. Denne beskrives normalt ved krav til cementtypen og til vand/cement-forholdet, som er vægtforholdet

mellem vand og cement i betonblandingen. Tilsætninger som flyveaske og mikrosilica kan indregnes i cementmængden efter særlige regler, se kapitel 3.5 Tilsætninger.

2.2 Krav til beton i tørt miljø

En stor del af den producerede betonmængde befinder sig i sin levetid i tørt, indendørs miljø – ofte kaldet passivt miljø.

I passivt miljø kan de fleste kemiske processer ikke foregå – eller foregå meget langsomt – på grund af fraværet af vand på en form, der kan skabe en elektrolyt. Der kan ske en langsom carbonatisering (CO_2 neutraliserer betonens basiske miljø), men selv om denne carbonatisering skulle nå ind til armeringen, vil armeringen ikke ruste i det tørre miljø.

Skadelige alkalireaktioner mellem tilslag og det stærkt basiske miljø i betonen vil heller ikke foregå, og i hvert fald ikke medføre skader, da dette kræver tilstedeværelse af frit vand.

Det betyder i praksis, at ud fra et holdbarhedsaspekt kan indendørs beton i tørt miljø sammensættes af stort set ethvert tilslag og ethvert blandingsforhold af cementpastaen. Der kræves dog en minimumsstyrke på C12/15 for at sikre, at produktet er "beton".

Indendørs betoner skal dog ofte opfylde andre krav som fx generelt højere styrker af hensyn til bygningens statik, eller særlig høj styrke i fx slanke søjler. For gulvbetoner stilles typisk krav om slidfasthed eller hurtig udtørring, hvorfor krav til gulvbetoner ofte indeholder krav til vand/cement-forhold og tilslagskvaliteter.



Figur 4. Indendørs beton i passivt, tørt miljø har en meget lang holdbarhed. Indendørs beton skal dog have den tilstrækkelige – ofte høje – styrke og den krævede brandmodstand, hvilket kan medføre øgede dæklag.

Chloridindholdet må dog ikke blive så stort, at betonen bliver hygroskopisk (kan opsuge fugt fra luften) og igangsætte armeringskorrosion. I lande, hvor man tidligere har tilladt CaCl_2 som accelerator til betonen i indendørs miljø, har man set opugning af fugt og efterfølgende korrosion af armeringen med bygningskollaps som konsekvens. CaCl_2 er derfor ikke tilladt i Danmark.

Betoner i passivt miljø vil have en meget lang holdbarhed - vel at mærke så længe miljøet forbliver tørt. Et utæt tag, en defekt rørledning eller en manglende opvarmning af bygningen med kondens til følge, kan dog nedsætte levetiden drastisk. Beton kan i denne sammenhæng sammenlignes med træ, som også har en stærkt reduceret levetid i fugtigt miljø.

Når der derfor i det nedenstående beskrives indgående, hvordan krav skal stilles og formuleres, gælder det således primært kun den mindre del (under en tredjedel) af betonmængden, der befinder sig i fugtigt - typisk udendørs - miljø.

I de mest aggressive miljøer kan det på den anden side være vanskeligt at opnå levetider af beton på bare 50 eller 100 år, selv med de absolut bedste delmaterialer og optimerede betonsammensætninger.

Det er derfor afgørende, at have kendskab til det miljø betonen skal udsættes for, når de rigtige krav skal stilles.

2.3 Eksponerings- og miljøklasser

Som redskab, til at stille de rigtige krav til betonen, anvendes i normer, standarder og andre kravdokumenter ofte en klassificering af det miljø, som betonen udsættes for i sin forventede levetid.

Afgørende parametre i denne klassificering er typisk:

- Tilstedeværelse af vand
- Mulighed for vandmætning
- Tilgang af chlorid
- Mulighed for ophobning af chlorid
- Mulighed for frost
- Tilgang af kemiske stoffer - fx syrer.

Desuden klassificeres miljøet normalt således, at cykliske påvirkninger - fx skift mellem frost og tø - anses for mere skadelige end konstante påvirkninger.

Normalt klassificeres ikke efter den temperatur betonen befinder sig i gennem sin levetid, hvilket formentlig er en mangel, da de allerfleste kemiske processer foregår hurtigere ved højere temperaturer.

Klassificering efter den enkelte påvirkning - fx frost - kaldes eksponeringsklasser, og en samlet klassificering (indeholdende flere typer eksponering) - fx det miljø en bropille i havvand udsættes for med både frost og chlorider - kaldes miljøklasser.



Figur 5. De aktuelle påvirkninger – eksponeringsklasser – for en anlægskonstruktion skal gennemtænkes nøje. Betonautoværnet, støttemurene, det overliggende galleri og selve sænketunnelelementerne er udsat for forskellige påvirkninger, der skal afspejles i kravene til betonen. Levetidskravet på Øresund var sat til 120 år. Billedet er fra nedkørslen til Øresundstunnelen på Amager (indviet år 2000).

Det er klart, at enhver form for klassificering bliver "firkantet", fordi de enkelte klasser har afgrænsninger, som hverken er skarpt definerbare eller kan afgøres entydigt i praksis.

Til gengæld er klassificering et effektivt værktøj til at styre ret kvalitet til ret anvendelse i den dagligdags, praktiske brug af betonen. Er der tvivl om, hvilken af to klasser betonen reelt udsættes for, kan der blot kræves den højeste klasse, hvorved betonens kvalitet med sikkerhed er i orden.

2.4 Levetid

Et andet aspekt i kravstillelse er den levetid en konstruktion forventes – eller kræves – at skulle have.

Kun meget sjældent kan der fastsættes en præcis levetid af en konstruktion. En bygherre fastlægger eksempelvis aldrig, at en bygning skal have en levetid på præcis 37 år. I stedet anvendes krav til levetider, der fungerer som en slags klasser for levetid. Det er typisk en 50-års levetid eller 100- eller 120-års levetid.

Bag disse levetider ligger både økonomiske overvejelser og mere følelsesmæssige overvejelser. Desuden i nogle tilfælde overvejelser, der er knyttet til mulig teknisk formåen.

Midlertidige konstruktioner, som arbejdsbroer og mastefundamenter, har ofte en ønsket levetid på fx kun 2 år. Der er normalt ikke levetidsproblemer med denne type konstruktioner, fordi det næsten ikke er muligt at sammensætte en beton, der kun holder så kort tid.

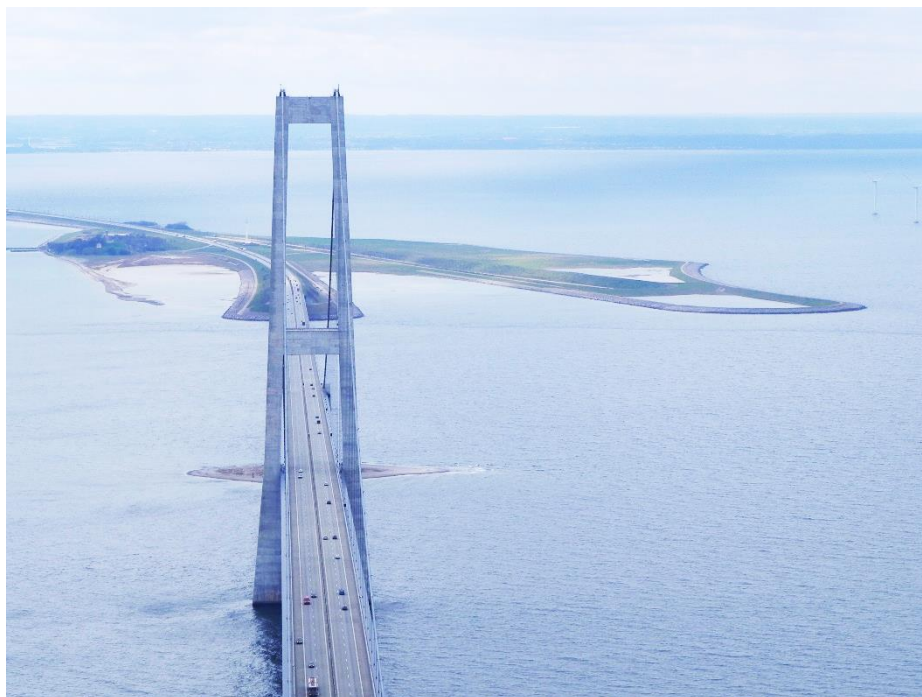
Mange kravdokumenter – fx de fleste EN-standarder – er egnet eller bestemt til at opnå levetider på 50 år. Dette er en kort levetid, når der ses historisk på byggeri og anlæg – fx er de fleste bygninger i København langt ældre end 50 år.

Ved en økonomisk optimering ved anvendelse af tilbagediskonteringsmodeller, hvor en fremtidig udgift kan nedsættes til dagens priser med en fastlagt årlig procentsats (tilbagediskonteringsrenten), vil det ofte vise sig, at etablering af levetider ud over cirka 50 år er spild af nutidens penge.

Ud fra et teknisk og historisk synspunkt virker dette umiddelbart forkert, også fordi nutidsudgifterne til sikring af lange levetider faktisk er meget begrænsede – i hvert fald for materialet beton. Typisk kan en længere levetid for en betonkonstruktion opnås ved valg af et bedre tilslagsmateriale, et lavere vand/cement-forhold og et lidt forøget dæklag.

Årsagen til denne diskrepans mellem økonomiske modeller og sund fornuft skal ikke afklares fuldstændigt her, men en urealistisk høj tilbagediskonteringsrente dikteret af Finansministeriet indgår i forklaringen.

På de fleste infrastrukturprojekter som broer og tunneler kræves levetider på 100 år og efterhånden oftere 120 år. Det er opnåeligt med beton ved rettidig omhu i kravformuleringerne og i udførelsen af konstruktionen.



Figur 6. Storebælt set fra den østlige pylontop mod Sprogø og Fyn (indviet 1998). Konstruktioner af denne type kræver stor omhu i alle faser fra kravformulering til udførelse, hvis en lang levetid skal opnås. På Storebælt var levetidskravet sat til 100 år, men de foreliggende erfaringer efter godt 20 års eksponering indikerer, at levetiden for de allerfleste dele af konstruktionen bliver betydeligt længere.

Følelsesmæssigt er der en betydelig forskel på at kræve 50 eller 120 års levetid.

50-års levetid betyder, at mange enkeltpersoner i et byggeprojekt vil nå et opleve, at det, de arbejdede med som unge, vil være nedbrudt og klar til nedrivning, når de selv bliver gamle og nedslidte. 100- eller 120-års levetid betyder derimod, at ens arbejde kommer til at overleve en selv, og at man har gjort noget for de fremtidige generationer. Det kan være en betydelig drivkraft og motivationsfaktor.

2.5 Kravformuleringer

2.5.1 Velkendt teknologi

De fleste bygherrer ønsker ikke, at netop deres konstruktioner skal være forsøgsobjekter for ny teknologi. De kræver derfor, at der til netop deres konstruktioner skal anvendes velkendt og velafprøvet (med godt resultat) teknologi.

Kravdokumenter vil derfor ofte fremstå som konservative og negative overfor ny teknologi.

Særligt de store projektorienterede infrastrukturbygherrer som Storebælt, Øresund og Femern har i deres betonstrategi haft et udtrykt krav om anvendelse af velkendt teknologi. Kun hvor den velkendte teknologi har vist sig utilstrækkelig, har nye muligheder – kaldet innovationer – været tilladt efter omhyggelige undersøgelser. Det

har vist sig, at disse store infrastrukturbygherrer med dette forsigtige udgangspunkt, alligevel har bragt betontechnologien videre i betydelig grad.

De store danske permanente anlægsbygherrer – Vejdirektoratet og Banedanmark – har haft samme grundlæggende forsigtige tilgang, men har også bevidst tilladt forsøg med nye teknologier som fiberbeton, ikke-stålbaseret forspænding, broer uden fugtisolering o.a. på mindre, sekundære bygværker, hvor uhensigtsmæssige resultater ville være til at leve med.

Også disse anlægsbygherrer har med denne forsigtige tilgang skabt gode udviklings-tiltag.

Det må anses for meget forkert, hvis en engangsbygherre – fx en producent af en industriel vare, der skal have opført en fabrikshal – af sin rådgiver overtales til at anvende ikke velkendt teknologi. I tilfælde af, at denne teknologi viser sig ikke at give det ønskede resultat – fx i form af reduceret holdbarhed – vil denne engangsbygherre blive pålagt en økonomisk byrde, der slet ikke står mål med den eventuelle besparelse, som den nye teknologi måske har givet under opførelsen af fabrikshallen.



Figur 7. Vejdirektoratet har gennem tiden opført forsøgsbroer med fx mikrosilica, flyveaske og højstyrkebeton. På billedet ses en forsøgsbro ved Tørring udført i 2002 i såkaldt "grøn beton" med reduceret CO₂-aftryk. Bemærk, at broen er uden fugtisolering og asfalt – der køres direkte på den grønne beton.

De fleste landes – inklusive Danmarks - normer og standarder baserer sig derfor også på konceptet om velkendt teknologi. Nye teknologier skal derfor ofte implementeres ved, at der udføres omfattende prøvning som basis for en tilladelig afvigelse fra gældende krav, eller ved udførelse af bevidste forsøgskonstruktioner, som nævnt ovenfor.

2.5.2 Foreskreven beton eller designet beton

I nogle lande anvendes krav i form af foreskrevne betonsammensætninger. En sådan foreskreven beton kan være et krav om anvendelse af bestemte delmaterialer i et bestemt blandingsforhold.

Herved sikrer kravstilleren sig brug af en velkendt beton med velkendte egenskaber. Til gengæld påtager kravstilleren sig også hele ansvaret for betonen, og hvis denne fx viser sig at få en for lav styrke, revner eller et grimt udseende, vil entreprenøren med en vis ret kunne hævde, at disse problemer ikke er hans ansvar.

Forskreven beton anvendes derfor sjældent i Danmark. I stedet anvendes den såkaldte designede beton, hvor kravstilleren har formuleret nogle rammer, som betonproducenten kan designe sin beton inden for.

Er disse rammer tilstrækkeligt åbne, er designet af betonen producentens ansvar, men hvis rammerne uddarter sig og bliver for stramme og styrende, vil man reelt nærme sig en foreskreven beton med de tilhørende problemer.

Som kravskriver skal man derfor undgå enhver form for unødvendige krav, og man skal være forsigtig med at stramme kravene for at "hjælpe" betonproducenten til at "vælge" den rigtige betonsammensætning.

2.6 Detailkrav

2.6.1 Kravdokumenter

2.6.1.1 DS/EN 206

EN 206 er den europæiske standard for materialet beton. EN 206 er i 2016 ikke en harmoniseret standard, og materialet beton skal derfor ikke CE-mærkes. I Danmark er den udgivet under navnet: DS/EN 206.

De fleste delmaterialer til beton – undtagen blandevand – skal dog CE-mærkes.

EN 206 er udtryk for den fælles enighed, der kunne opnås i Europa om materialet beton. Arbejdet med EN 206 har stået på i over 30 år fra omkring 1980, og i 2013 er netop opnået enighed om en ny udgave, der indeholder SCC beton (se afsnit 5.1 Konsistens) og en række andre mindre opdateringer.

Den manglende enighed om mange detaljer medfører, at EN 206 indeholder et antal steder, hvor hvert land skal definere præcise krav. Det gælder særligt forhold vedrørende betons holdbarhed.

EN 206:2013+A1:2016 (E)

Annex M (informative)

Guidance on provisions valid in the place of use

Provisions valid in the place of use are required or permitted in the following clauses of this standard:

Clause	Title	Paragraph
1	Scope	paragraphs (5) and (6)
4.1	Exposure classes related to environmental actions	paragraphs (1) and (2)
5.1.1	General	paragraph (2)
5.1.2	Cement	paragraph (2)
5.1.3	Aggregates	paragraphs (1) and (2)
5.1.5	Admixtures	paragraph (2)
5.2.1	General	paragraphs (2) and (5)
5.2.3.5	Resistance to alkali-silica reaction	paragraph (1)
5.2.5.1	General	paragraph (2), (4) and (5)
5.2.5.2.3	<i>k</i> -value for silica fume of class 1 conforming to EN 13263-1	paragraph (4)
5.2.5.2.4	<i>k</i> -value for ground granulated blastfurnace slag conforming to EN 15167-1	paragraph (1)
5.2.5.3	Equivalent Concrete Performance Concept	paragraph (3)

Figur 8. Annex M i EN 206 definerer i hvilke afsnit nationale regler er muligt i henhold til teksten i EN 206. Figuren viser kun ca. den første tredje-del af Annex M.

Nogle europæiske lande har udgivet en national standard, der indeholder dels EN 206 dels de nationale tillægskrav. Andre lande – heriblandt Danmark – har udarbejdet en national standard, der indeholder de nødvendige præciseringer, og som skal læses og anvendes sammen med EN 206.

I Danmark hedder denne nationale tillægsstandard i 2016: DS 2426. Den blev udarbejdet i 2004. I 2017 vil denne standard blive revideret og få navnet: *DS/EN 206 DK NA*. NA er forkortelse for Nationalt Anneks.

Både DS 2426 og efterfølgeren DS/EN 206 DK NA udarbejdet ud fra den forudsætning, at der især i 1970'erne blev konstateret meget store problemer med betons holdbarhed, og at dette skyldtes mangel på relevante krav til beton.

Akademiet for de tekniske Videnskaber tog derfor i begyndelsen af 1980'erne initiativ til en række tiltag for sikre betons holdbarhed. Et væsentligt element heri var kravdokumentet Basisbetonbeskrivelsen (BBB), som fra 1986 blev obligatorisk i alt statsligt og statsstøttet byggeri, og som senere i en omformet udgave under navnet DS 481 kom til at gælde alt byggeri. På anlægsområdet havde Vejdirektoratet og Banedanmark (dengang DSB) opstillet tilsvarende krav. Se også nedenfor i 2.6.1.3.

I Bygningsreglementet fra 2015 henvises til DS 2426 – uden mulighed for fravigelse. Det betyder, at al beton i Danmark til konstruktioner omfattet af Bygningsreglementet skal opfylde DS 2426. Herved sikres betons holdbarhed i byggeriet.

EN 206, DS 2426 og DS/EN 206 DK NA er udarbejdet under en forudsætning om en levetid af betonen på 50 år. Dette gælder de miljøer, hvor betonen udsættes for fugt, chlorider og frost. I tørt, indendørs miljø bliver levetiden langt længere.

Det anføres desuden i DS/EN 206 afsnit 5.3.2, at der skal stilles strengere krav, hvis levetiden skal være længere.

2.6.1.2 EN 13369

Der foreligger et stort antal harmoniserede standarder for betonelementer, fx DS/EN 1168, Huldækelementer, DS/EN 12794, Funderingspæle og DS/EN 14992, Væg-elementer.

For at undgå, at alle disse standarder kommer til at indeholde enslydende tekst om fælles forhold, er der udarbejdet en standard DS/EN 13369, Almindelige regler for præfabrikerede betonprodukter.

I denne standard er samlet fælles regler for alle de harmoniserede elementstandards, fx vedrørende materialer, produktion, efterbehandling, varmhærdning og produktionskontrol.

Hvad angår krav til selve betonen og dens delmaterialer, havde det været logisk, hvis DS/EN 13369 havde henvist entydigt til EN 206, men det er ikke tilfældet. Der henvises således et stort antal steder inde fra teksten i DS/EN 13369 til EN 206, hvilket har skabt usikkerhed om DS/EN 206 er gældende i sin helhed eller kun gældende for de mange enkeltafsnit, der henvises til.

For at fjerne denne usikkerhed er det i DS/EN 206 DK NA anført, at DS/EN 206 er gældende i sin helhed dog undtaget:

- Afsnit 7 Levering af frisk beton
- Afsnit 10 Vurdering af overensstemmelse
- Afsnit 11 Betegnelse for designet beton.

Dette er logiske undtagelser, fordi beton til betonelementer ikke leveres til byggepladserne i betonbiler, fordi vurdering af overensstemmelse er indeholdt i den harmoniserede standard for de enkelte elementtyper, og fordi elementfabrikkerne ikke behøver regler for navngivning af beton.

Men alle andre krav til beton er på denne måde i Danmark gjort ens for in-situ beton og elementbeton.



Figur 9. Betonelementer skal produceres i henhold til en række harmoniserede produktstandards. En fællesdel, der gælder for alle betonelementer er samlet i DS/EN 13369, der således skal opfyldes sammen med den enkelte harmoniserede standard.

2.6.1.3 AAB Betonbroer

De store danske permanente anlægsbygherrer Vejdirektoratet og Banedanmark har siden starten af 1980'erne (dengang var Banedanmark en del af DSB) opstillet egne krav til beton i form af de Almindelig Arbejdsbeskrivelse for Betonbroer, ofte kaldet AAB Betonbroer. Det officielle navn fra 2012 er Almindelig Arbejdsbeskrivelse Betonbro – Beton – AAB Udbud.

De første udgaver af AAB Betonbroer byggede delvist på det arbejde, der var udført i forbindelse med Statsbroen Storebælt, indtil dette projekt blev politisk stoppet i 1979.

I dag er AAB Betonbroer et overbygningsdokument til DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA. Dette udgangspunkt sikrer, at de fleste krav er ens for bygningskonstruktioner og anlægskonstruktioner – og at evt. forskelle er lette at identificere.

Levetidskravet til broer, tunneler og andre tilsvarende bygværker er i dag 120 år (dog kun 100 år for stibroer), hvorfor det er klart, at der skal stilles supplerende og strengere krav for at hæve levetiden fra de 50 år i DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA til de 120 år. Se også afsnit 2.6.1.1.

Det skal i denne sammenhæng erkendes, at netop broer og tunneler befinder sig under de miljøforhold, hvor betonens levetid er sværest at sikre.



Figur 10. Broer – her en faunapassage – udføres efter AAB'er. De gælder fx Fundering, Stillads og form, Armering og Beton. AABerne er et udtryk for dels krav om en høj kvalitet og lang levetid, dels krav om anvendelse af positive erfaringer.

Anlægsbygherrerne, som står for såvel anlæg som drift af konstruktionerne i hele deres levetid, er derfor naturligt forsigtige over nye teknologier og kræver normalt anvendelse af velkendt teknologi. Se også 2.5.1.

Denne forsigtighed medfører også, at anlægsbygherrerne har valgt at være meget specifikke i deres krav i AAB Betonbroer, således at den enkelte projekterende ikke selv behøver, ikke skal og ikke må (!) udarbejde egne tillægskrav til betonen til DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA.

Betonleverandører til anlægsarbejder kender således præcist kravene til broer og tunneler, som formuleret i AAB Betonbroer, fordi de er ens fra bro til bro og fra bygherre til bygherre. Dette nedsætter muligheden for fejl og reducerer omkostningerne.

For at sikre, at AAB Betonbroer ikke bliver et unødigt, konserverende dokument, er der i regi af Vejregelarbejdet nedsat et udvalg med deltagelse af eksperter fra bygherrer, rådgivere og entreprenører, der løbende tilretter og opdaterer dokumentet.

De væsentligste tillægs-krav til materialet beton (i forhold til DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA) i AAB Betonbroer er:

- Krav om brug af lavalkali-sulfatbestandig cement
- Krav om særligt gode kvaliteter af delmaterialer
- Snævrere krav til betonsammensætning end i DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA
- Krav om større kontrolomfang – i en vis udstrækning på anlægspladsen
- Krav om forprøvning og prøvestøbninger.

2.6.1.4 Krav til store infrastrukturprojekter

De store infrastruktur projekter som Storebæltsforbindelsen, Øresundsforbindelsen og Femernforbindelsen udarbejder normalt egne kravdokumenter – også for materialet beton.

Årsagerne hertil kan være forskellige.

På Storebælt vurderede den til formålet nedsatte ekspertgruppe ikke, at den daværende udgave af AAB betonbroer ville sikre det dengang nyligt stillede krav om 100 års levetid, og besluttede derfor at opstille skærpede krav. De omfattede blandt andet krav om anvendelse af både tilsætningerne mikrosilica og flyveaske og et vand/cement forhold på ikke over 0,35 for de hårdest påvirkede konstruktioner. Det har senere vist sig, at disse krav formentlig var for skrappe og at levetiden derfor for de fleste konstruktionsdele vil blive langt over 100 år.

På Øresund var udfordringen, at der skulle laves et kravsæt, der kombinerede danske og svenske krav-traditioner og erfaringer – herunder de nyligt indvundne erfaringer fra Storebælt. Resultatet blev et kravsæt, der byggede på det bedste fra Storebælt og modificeret med svenske anlægserfaringer.

Femerns krav bygger på Øresunds kravene i opdateret form.

I alle tilfælde har der været tale om samlede dokumenter. Hvor AAB Betonbroer skal læses sammen med DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA, er disse tre dokumenter for de store infrastrukturprojekter således samlet i ét dokument. Tanken hermed er, at det bliver lettere tilgængeligt for de bydende – også for udenlandske entreprenører – og så er dokumenterne udarbejdet på engelsk.

Teknisk set er der ikke den store forskel på de krav og kravtyper, der stilles til de store infrastrukturprojekter og i AAB Betonbroer. Resultatet er stort set de samme betoner sammensat af de samme delmaterialer, men dæklagskravene er typisk større på de store projekter.

2.7 Funktionskrav

Funktionskrav (UK: Performance requirements) er krav, der er formuleret som krav til betonens ydeevne uden at gå ind i detaljer med hensyn til fx delmaterialer og betonsammensætning.

Et ekstremt formuleret funktionskrav til betonen til en fjordbro kunne være: 120 års levetid i marint miljø.

Entreprenøren skulle i givet fald ud fra dette krav i udbudsmaterialet selv sammensætte og bestille en beton, der opnår en levetid på 120 år. Da en betonrecept består af et fastlagt blandingsforhold af bestemte delmaterialer, ville det betyde, at entreprenøren skulle beslutte sig for hvilken kvalitet delmaterialerne skulle have og det optimale blandingsforhold heraf. Herefter skulle han dokumentere, at betonens levetid ville blive de 120 år.

Der eksisterer imidlertid ikke nogen troværdig og videnskabeligt baseret afprøvning eller simulering af en given beton, der kan afgøre denne betons levetid. Læg hertil, at entreprenøren skal garantere 120 års levetid, men har kun selv 5 års ansvar. Det ville medføre en uigennemskuelig konkurrence på (dårlig!?) kvalitet.

Derfor anvendes funktionskrav ikke generelt til områder, der omfatter levetiden, men funktionskrav kan anvendes til enkelte områder – herunder den velkendte styrkeprøvning på støbte cylindre og fx til frostprøvning af beton.

Man kan dog ikke hævde, at fx kravene i AAB Betonbroer ikke er baseret på funktionskrav. Det er de netop med kravet om 120 års levetid, men omformningen af funktionskravet er foretaget af de bedst kvalificerede personer en gang for alle i Vejdirektoratets og Banedanmarks regi og resultatet er de detailkrav, man kan læse i AAB Betonbroer.

Hermed sikrer Vejdirektoratet og Banedanmark den bedst mulige opfyldelse af funktionskravet om de 120 års levetid, og de to organisationer tager også ansvaret for omformningen af funktionskravet til detailkrav.

Entreprenøren har ved dette system den fordel, at han "blot" skal opfylde de udbudte detailkrav. Entreprenørernes har derfor et klart tilbudsgrundlag og konkurrencen bliver ikke på kvalitet, men på hvordan de stillede kvalitetskrav smartest kan opfyldes.

2.8 Litteraturliste

- [1] En historisk beskrivelse af danske betonkrav i perioden fra 1888-1988 findes i: Poulsen, Ervin (1989): *Betonkrav og -praksis*, SBI
- [2] Baggrunden for – og indholdet af – kravene til Storebælt er indgående beskrevet i:
Edited by Gimsing, Niels J.: *Concrete Technology*, A/S Storebæltsforbindelsen, 1999
- [3] Baggrunden for – og indholdet af – kravene til Øresund er beskrevet i to bøger:
Edited by Gimsing, Niels J.: *The Bridge*, The Øresund Technical Publications, 2002, side 94
- [4] Edited by Gimsing, Niels J. and Claus Iversen: *The Tunnel*, The Øresund Technical Publications, 2002, side 58

2.9 Links

Udviklingen i de danske betonkrav er beskrevet i to artikler i Magasinet Beton. Det omfatter Basisbetonbeskrivelsen og kravene til Storebælt, Øresund og Femern:

<http://danskbeton.dk/magasinet-beton/udgivelser/2014/3-2014/> se side 4.

<http://danskbeton.dk/magasinet-beton/udgivelser/2017/1-2017/> se side 4.

Gældende standarder kan købes på Dansk Standards hjemmeside:

<https://webshop.ds.dk/da-dk/forside>

Vejreglerne (AAB'erne) kan findes på siden:

<http://vejregler.lovportaler.dk/> skriv fx "AAB Beton" i søgefeltet.

Vejreglerne anvender en såkaldt "Generalnote", hvor kravene er opsummeret. Paradigmaet hertil kan svarende til AAB Beton ses på:

<http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?q=generalnote&docId=vd-2014-0025-full>