

SBI-publik.

Valg af miljøklasse for betonkonstruktioner



BETON 8 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1994



Valg af miljøklasse for betonkonstruktioner

Bjarne Chr. Jensen
Christian Munch-Petersen
Steven Müller

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

EX-2
- 1 AUG. 1994

00468 P



BETON 8 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1994

Beton. I denne serie udsendes orienterende og vejledende publikationer om beton-teknologi og betonkonstruktioner. Beton 1-5 blev udgivet i samarbejde med ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed.

SBI-publikationer. Statens Byggeforskningsinstituts publikationer udgives i øvrigt i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser og Byplanlægning. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement.

SI 1-abonnement er en rabatordning med mange fordele for dem, som vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

ISBN 87-563-0863-9.

ISSN 0109-1263.

Pris: Kr. 140,00 inkl. 25 pct. moms.

Oplag: 2000.

Tryk: Dyva Bogtryk a/s, Glostrup.

Tegninger: Annette Juul Muusfeldt og Ervin Poulsen.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 42 86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

Beton 8: Valg af miljøklasse for betonkonstruktioner. 1994.

Indhold

<i>Forord</i>	4
<i>Indledning</i>	5
Oversigt over indhold, 6	
Betonnormen DS 411 og BBB, 7	
Sammenhæng med ENV 206, 7	
<i>Miljøklasser i DS 411, BBB og ENV 206</i>	9
Formål, 9	
Betonsygdomme, 9	
Forholdsregler mod betonsygdomme, 11	
Konstruktiv forebyggelse, 11	
Materilemæssig forebyggelse, 11	
Udførelsesmæssig forebyggelse, 11	
Driftsmæssig forebyggelse, 12	
Miljøklasser i DS 411 og BBB, 12	
Aggressiv miljøklasse, 12	
Moderat miljøklasse, 13	
Passiv miljøklasse, 14	
Generalnote, 14	
Beskrivelser for betonbroer, 19	
Miljøklasser i ENV 206, 19	
<i>Specificering af miljøpåvirkninger</i>	22
De vigtigste miljøpåvirkninger, 22	
Afgrænsning af miljøpåvirkninger, 25	
Samspil mellem miljøpåvirkninger, 25	
Miljøpåvirkningers tidsafhængighed, 25	
Ændrede miljøpåvirkninger, 25	
<i>Miljøzoner som hjælpeværktøj</i>	26
Introduktion af miljøzoner, 26	
Grænseområder, 27	
<i>Kvantificering af miljøklassevalg</i>	31
<i>Eksempler på miljøzoner og deraf følgende miljøklassevalg</i>	35
<i>Litteratur</i>	47
<i>Summary</i>	48

Forord

I konkrete projekteringssituationer har det undertiden vist sig svært at få placeret konstruktioner og konstruktionsdele i de rigtige miljøklasser, idet det ikke altid er muligt fx blandt Basisbetonbeskrivelsens eksempler at finde dækkende vejledning. Selv ordinære konstruktionsdele kan indeholde specielle udformninger, der gør miljøklassevalget usikkert. Især opstår der problemer, når en konstruktionsdel hører hjemme i flere miljøklasser.

Formålet med denne SBI-udgivelse er at bidrage til øget klarhed omkring et vigtigt punkt i projekteringsarbejdet, men det skal bemærkes, at visse facetter af miljøklasseproblematikken vil være under faglig diskussion indtil den endelige europæiske norm for det betontechnologiske område foreligger i løbet af 1990'erne.

Idégrundlaget, som er blevet udviklet af direktør, professor Bjarne Chr. Jensen (Carl Bro Gruppen) og souschef, civilingeniør Christian Munch-Petersen (Dansk Teknologisk Institut, Betoncentret), udgøres af begrebet miljøzoner, der i publikationen fungerer som et nyttigt hjælpemiddel ved miljøklasseplacering.

Manuskriptets udarbejdelse har været støttet økonomisk af Boligministeriet ved kontorchef Flemming Lethan og af Knud Højgaards Fond.

Kommentarer er blevet indhentet hos civilingeniør Ervin Poulsen, mens civilingeniør Peter Mogensen, SBI, har foretaget den endelige redaktion.

*Hans Jørgen Larsen, direktør
Statens Byggeforskningsinstitut, juni 1994*

Indledning

Begrebet »miljøklasse« er første gang anvendt i Danmark i 1961 af Niels Munk Plum i Alkaliudvalgets vejledning 1 [1]. Med Norm for betonkonstruktioner, DS 411 [2] fra 1973 bliver der inden for betonnormens område indført tre miljøklasser. Disse benyttes i forbindelse med en differentiering af minimumskravene til betonens delmaterialer, betonens sammensætning og dæklagstykkelsen.

Med Dansk Ingeniørforenings Norm for betonkonstruktioner fra 1984 introduceres termen »særligt aggressive miljøer«, for hvilke normen ikke foreskriver, hvilke forholdsregler der skal tages for at sikre konstruktioners bestandighed, jf. [3, s. 11]. Dog nævner normens vejledningstekst visse særlige foranstaltninger, som kan foreskrives, hvor særligt aggressive miljøer forekommer.

Med udgivelsen af Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner [4] (BBB) i 1986 har man forladt funktionskravsformuleringen i de tidligere udgaver af betonnormen og er gået over til talbaserede krav i afhængighed af miljøklasserne. Det forudsætter naturligvis, at der for en konstruktion under projektering vælges en miljøklasse, som svarer til den aggressivitet, som konstruktionen oplever fra omgivelserne, både nu og i fremtiden. Valg af forkert miljøklasse kan medføre, at en rimelig holdbarhed af konstruktionerne ikke opnås, hvilket kan have betydelige økonomiske konsekvenser.

Blandt andet på denne baggrund har Byggestyrelsen udgivet et cirkulære om brug af beton af 6. januar 1987 [5], hvor der i § 2 bl.a. står:

»C) Beton anvendes svarende til opdeling i miljøklasser.«

I cirkulærets vejledning til § 2 står der bl.a.:

»Det er væsentligt, at de projekterende bruger de rigtige miljøklasser. En for lav miljøklasse kan føre til for dårlige betonkonstruktioner. Omvendt må det undgås at anvende beton af for høj miljøklasse, idet dette kan fordyre byggeriet unødigt samt på længere sigt medvirke til en dårlig udnyttelse af landets råstofressourcer.«

I Basisbetonbeskrivelsen er følgende krævet:

»Ved brug af Basisbetonbeskrivelsen skal den projekterende definere hver af de betontyper, der indgår i bygværket, ved angivelser af:

- *Betonidentifikation*
- *Miljøklasse*
- *Styrkeklasse*
- *Kontrolklasse*
- *Maksimal stenstørrelse*
- *Farve*
- *Specielle krav*

For hver bygningsdel skal den projekterende endvidere angive:

- *Betontype*
- *Miljøklasse*
- *Kontrolklasse*
- *Dæklag med tilhørende tolerancetillæg*
- *Eventuelle krav om udtørningsbeskyttelse i passiv miljøklasse*
- *Eventuelle krav til tidligste afformningstidspunkt*
- *Eventuelle krav om begrænsning af revnevidder ved støbeskel*
- *Specielle krav.*«

Dette kan gøres relativt kort. En attraktiv mulighed er at anvende en generalnote, der er en særlig tegning eller beskrivelsesside, der indeholder ovenstående. Et eksempel er vist i nærværende publikations afsnit *Generalnote*, side 14.

I forbindelse med ændringer i 1990 af betonnormen DS 411 er der foretaget en harmonisering af denne og Basisbetonbeskrivelsen, bl.a. således at de to publikationer i dag indeholder ens krav til v/c -forhold og styrke. Endvidere henviser vejledningen for DS 411 til BBB, hvad angår krav til tilslag.

Den europæiske standardiseringsorganisation CEN er ved at udarbejde en europæisk standard for beton. Den er udsendt som en foreløbig standard, ENV 206 [6], og der er udsigt til at den inden for en kortere årrække vedtages som europæisk standard inden for det betonteknologiske område. Det er derfor valgt at beskrive sammenhængen mellem miljøklasserne i ENV 206 og miljøklasserne i DS 411.

Oversigt over indhold

Denne publikation har til formål at hjælpe de projekterende med at fastlægge, hvilken miljøklasse de enkelte bygningsdele eller konstruktionsdele skal placeres i.

Kapitlet *Miljøklasser i DS 411, BBB og ENV 206*, side 9, beskriver miljøklasserne og de betonskader (»betonsygdomme«) der forebygges imod ved det rette valg af miljøklasse. Der foretages en sammenligning mellem ENV 206 og de danske bestemmelser.

Kapitlet *Specificering af miljøpåvirkninger*, side 22, omhandler de vigtigste angreb, som en betonkonstruktion kan blive udsat for.

Da en betonkonstruktion kan være udsat for flere miljøpåvirkninger, der hver især vil placere dele af den i forskellige miljøklasser, kan det rette miljøklassevalg og den rette konstruktionsopdeling give vanskeligheder, men kapitlet *Miljøzoner som hjælpeværktøj*, side 26, anviser veje til gode løsninger.

Kapitlet *Kvantificering af miljøklassevalg*, side 31, beskriver, hvordan man ud fra de fastlagte miljøzoner vælger miljøklasse.

Kapitlet *Eksempler på miljøzoner og deraf følgende miljøklassevalg*, side 35, gennemgår i detaljer et 2-etagers boligbyggeri, med henblik på at inddеле konstruktionen i elementer, som hver især kun er omfattet af én miljøklasse.

Betonnormen DS 411 og BBB

Norm for betonkonstruktioner DS 411, udg. 3, 1984, 4. oplag (revision i 1990) [3] danner i dag (1994) grundlag for projektering af betonkonstruktioner og proportionering af beton. Basisbetonbeskrivelsen for Bygningskonstruktioner 1986 er ved Byggestyrelsens cirkulære af 6.1.1987 om brug af beton gjort obligatorisk i statsligt og statsstøttet byggeri. Den her foreliggende SBI-publikation om valg af miljøklasse for betonkonstruktioner kan bruges i sammenhæng med DS 411 og BBB.

Ligesom BBB's gyldighedsområde er sædvanlige bygningskonstruktioner, omhandler nærværende SBI-publikation ikke svømmebassiner, anlægsarbejder, konstruktioner inden for landbrug, bygningsdele helt eller delvist i strømmende, aggressive væsker samt bygningsdele udsat for koncentreret, kemisk påvirkning. Konstruktioner, hvor der ønskes sikkerhed for en meget lang levetid (ca. 80–100 år), er heller ikke omfattet af publikationen. Det betyder dog ikke, at publikationen ikke kan bruges som hjælpeværktøj også ved projektering af disse konstruktionstyper. Man skal blot erindre, at den næppe er komplet i disse tilfælde.

Det skal nævnes, at svømmebassiner i DS 411 placeres i aggressiv miljøklasse, mens svømmebassiner ikke er omfattet af BBB. Svømmebassiner og andre konstruktionsdele i svømmehaller, fx springtårne, dæk, bjælker og søjler, bør altid vurderes enkeltvis med hensyn til nedbrydning og holdbarhed, og det vil normalt ikke være tilstrækkeligt blot at benytte aggressiv miljøklasse efter DS 411.

Endvidere skal det nævnes, at valg af miljøklasse også er afhængig af sikkerhedsklassen, fx ved jorddækkede konstruktionsdele.

Sammenhæng med ENV 206

Det vesteuropæiske standardiseringsarbejde varetages af Comité Européen de Normalisation (CEN). Inden for det betonteknologiske område har CEN

nedsat en række tekniske komiteer, som bl.a. har udarbejdet den betonteknologiske grundstandard ENV 206 »Betonegenskaber; fremstilling, udstøbning og godkendelseskriterier« [6].

ENV 206 er udkommet som en såkaldt europæisk præstandard, der efter en begrænset levetid skal revideres. Efter revision og endelig vedtagelse vil ENV 206 formodentlig sidst i 1990'erne afløse BBB og dele af DS 411.

I afsnittet *Miljøklasser i ENV 206*, side 19, foretages en sammenligning af de europæiske og danske miljøklasser.

Miljøklasser i DS 411, BBB og ENV 206

Formål

Anvendelse af miljøklassebegrebet skal sikre, at man på systematisk vis ved proportionering af beton, valg af delmaterialer, udførelse af betonarbejde og styring af betonhærdning tager højde for de miljøpåvirkninger, som betonkonstruktionen vil være udsat for under såvel opførelse som anvendelse.

Korrekt valg af miljøklasse skal sikre, at betonen under de givne miljøpåvirkninger ikke nedbrydes unødigt hurtigt på grund af indre fysiske og kemiske processer. Disse nedbrydningsmekanismer betegnes populært som »betonsygdomme«.

Det er i øvrigt vigtigt for konstruktioners holdbarhed at de udformes hensigtsmæssigt. Derved kan man øge konstruktioners modstand væsentligt mod miljøpåvirkningerne. Mange af vore betonskader skyldes nok så meget uheldig konstruktionsudformning som forkert valg af betonsammensætning.

Betonsygdomme

I publikationen *13 betonsygdomme*, Poulsen, Ervin, et al. [7], er der givet en teknisk begrundet oversigt over nedbrydning af beton og over de miljøpåvirkninger, der er forudsætningen for deres opståen og bestemmende for den hastighed, hvormed de udvikles. Det er vigtigt at kende sammenhængen mellem årsag og virkning (miljøpåvirkning og sygdom) for at kunne foretage et korrekt valg af miljøklasse og dermed valg af betontype.

I tabel 1 er de 13 betonsygdomme og de dertil knyttede miljøpåvirkninger sat på tabelform. Nogle af de 13 betonsygdomme er ikke egentlige sygdomme, men naturlige egenskaber hos beton, fx hærdevarme, krybning og svind. Dog er det således, at disse egenskabers udvikling er afhængig af det omgivende fysiske miljø, og en eventuel uheldig udvikling kan efterfølgende give anledning til nedbrydning (»sygdom«).

Nitratangreb, sulfatangreb og syreangreb er kemiske nedbrydninger, som der ikke kan tages højde for ved blot at anbringe betonkonstruktionen hensigtsmæssigt i en af de tre miljøklasser: passiv (P), moderat (M) eller aggressiv (A). Hvor der er risiko for disse nedbrydningsmekanismers opståen på grund af det omgivende miljø, må særlige foranstaltninger tages i anvendelse.

Organisk nedbrydning af betonkonstruktioner i form af trærødder er ikke omfattet af de tre miljøklasser i DS 411 og BBB.

Carbonatisering er kun en sygdom for *armeret* beton, idet carbonatisering sænker betonens pH-værdi og derved ophæver passiveringen af armeringsstål i betonen. For *uarmeret* beton er carbonatisering faktisk en fordel, idet betonen derved bliver tættere.

Betegnelsen »instabilitet hos frisk beton« dækker udskillelse af vand (bleeding) og afblandning af sten. Disse to fænomener er ikke et resultat af miljøpåvirkninger, men af betonproportioneringen og betonarbejdets udførelse.

Tabel 1. Miljøpåvirkninger og deraf følgende nedbrydninger. Opstillet på baggrund af Ervin Poulsen et al. [7]. + Påvirkning. (+) Påvirkning i kombination med anden miljøpåvirkning.

Nedbrydningsmekanismer	Miljøpåvirkninger								
	Vand	Chlorid	Alkali-forbindelser	Temperatur	Kuldioxid	Svovldioxid	Sulfat	Nitrat	Syre
Alkalireaktioner	+	+	+						
Carbonatisering					+				
Chloridindtrængning	+	+							(+)
Frost/tø-angreb	+	+		+					
Hærdevarme				+					
Instabilitet hos frisk beton	(+)								
Krybning	+			+					
Nitratangreb	(+)							+	
Organisk nedbrydning	+								
Rustdannelse	+	+			+				
Sulfatangreb	+					+	+		
Svind	+			+					
Syreangreb	(+)				+	+			+

I kapitlet *Specificering af miljøpåvirkninger*, side 22, er de enkelte påvirkninger mere detaljeret beskrevet.

Forholdsregler mod betonsygdomme

Som det fremgår af tabel 1 vil vand i de fleste tilfælde være en nødvendig forudsætning for at nedbrydning kan finde sted. Carbonatisering kræver ikke tilstedeværelse af vand, kun en vis fugtighed hos betonen (40-80 pct. RF), men carbonatisering er skadelig for armeret beton, hvis vand forårsager, at armeringen rustner. For at øge en konstruktions holdbarhed skal vandindtrængning derfor hindres. Hvis det forventes, at vand alligevel trænger ind, skal der for at mindske risikoen for skader vælges modstandsdygtige delmaterialer. Det er således nødvendigt at forebygge både konstruktivt, materialemæssigt og udførelsmæssigt.

Konstruktiv forebyggelse

Konstruktive løsninger, hvor *vand bortledes* (fx ved hjælp af tagudhæng, membraner og skrå flader, således at der ikke opstår vandansamlinger), er hensigtsmæssige ud fra et holdbarhedsmæssigt synspunkt. Konstruktivt kan man endvidere minimere vandindtrængning via revner ved at undgå bratte tværsnitsændringer, der kan virke som »revneanvisere« (invitationer til revnedannelser).

En konstruktiv beskyttelse mod vand kan øge en konstruktions holdbarhed, men indebærer også risiko for vandophobning under beskyttelsen fx som følge af kondensation af vanddamp. En vandafvisende, men vanddamppermeabel overfladebehandling vil i mange tilfælde sænke vandindholdet i konstruktionen. Overfladebehandling i form af imprægnering og maling hører ikke under begrebet konstruktiv beskyttelse, jf. BBB p. 10.

Materialemæssig forebyggelse

For at hindre indtrængning af skadelige stoffer er betonens tæthed afgørende. Betonens tæthed bestemmes primært af v/c-forholdet. Desuden øger tilsætning af mikrosilica tætheden.

For at mindske risikoen for skadelige alkalikselreaktioner kræver BBB primært anvendelse af ikke-reaktive tilslagsmaterialer og sekundært anvendelse af en cement med lavt alkaliindhold.

Ved frost/tø-påvirkninger er indholdet og fordelingen af luftbobler i cementpastaen samt indholdet af porøse sten afgørende for, om der opstår frostska-der.

Andre former for betonteknologiske forholdsregler (fx tilsætning af plastificeringsstoffer, mikrosilica og flyveaske) vil også have indflydelse på holdbarheden.

Udførelsmæssig forebyggelse

Ud over at forebygge konstruktivt og materialemæssigt er det også vigtigt for tætheden, at betonen komprimeres og efterbehandles omhyggeligt. Desuden bør placeringen af støbeskel vælges med omhu.

Driftsmæssig forebyggelse

I mange tilfælde kan det være vanskeligt at forudsige betonens påvirkninger inden for den forventede levetid, ligesom det ofte er svært på projektstadiet at tage driftsmæssige, forebyggende tiltag i regning. Ved planlægning af driften bør man naturligvis søge at begrænse påvirkningerne af betonen.

Jævnlig spuling af parkeringsdæk om vinteren for at fjerne chlorider, der endnu ikke er trængt ind i betonen, og fjernelse af bevoksning tæt ved betonoverflader, fx støttemure, brokonstruktioner og betonbelægninger, er eksempler på driftsmæssig forebyggelse.

En vandafvisende men vanddamppermeabel overfladebehandling kan i teorien sænke vandindholdet i konstruktionen. Praktiske erfaringer med overfladebehandlinger egenskaber bør vurderes nøje – også efter flere genbehandlinger.

Miljøklasser i DS 411 og BBB

Art og omfang af de forholdsregler, der skal sættes i værk inden for de enkelte miljøklasser, afhænger ikke alene af miljøpåvirkningernes type, men også af deres intensitet.

I betonnormen DS 411 og i BBB er der anført tre miljøklasser: aggressiv, moderat og passiv miljøklasse. I vejledningen til DS 411 er det tillige anført, at der kan forekomme *særligt aggressive miljøer*. Disse falder uden for BBB's gyldighedsområde. Det skal bemærkes, at de særligt aggressive miljøer ikke udgør en selvstændig miljøklasse i DS 411.

I betonnormen DS 411 er anført nedennævnte sammenhæng mellem miljøpåvirkninger og miljøklasser. Se i øvrigt tabel 2.

Til *aggressiv miljøklasse* hører salt- og røgholdig atmosfære, havvand og brakvand.

Til *moderat miljøklasse* hører fugtig, ikke-aggressiv, udendørs såvel som indendørs atmosfære, samt strømmende eller stillestående ferskvand.

Til *passiv miljøklasse* hører tør, ikke-aggressiv atmosfære, dvs. navnlig indendørs klima.

I henhold til DS 411 og BBB kan typiske bygningsdele placeres i de tre miljøklasser som angivet i de følgende afsnit.

Aggressiv miljøklasse

Denne klasse er karakteriseret ved fugtigt miljø, både inden- og udendørs, hvor der kan tilføres alkalier og/eller chlorider til betonoverfladen. I klassen er der mulighed for frostpåvirkninger. Følgende bygningsdele kan normalt placeres i denne miljøklasse:

- Udvendige dæk
- Parkeringsdæk

Tabel 2. Sammenhæng mellem miljøpåvirkninger og miljøklasser i DS 411 og BBB.
– Ingen påvirkning. (–) Ikke påvirkning i nævneværdig grad. + Påvirkning.

Miljøpåvirkninger	Miljøklasser i DS 411 og BBB		
	Passiv P	Moderat M	Aggressiv A
Vand	–	+	+
Chlorid	–	(–)	+
Alkali	–	(–)	+
Frost	+	+	+
Kuldioxid	+	+	+
Svovldioxid	–	–	+
Sulfat	–	–	–
Nitrat	–	–	–
Syre	–	–	–

- Udvendige bjælker uden konstruktivt beskyttet overside
- Støttemure
- Lyskasser
- Kanaler og gruber i grundvand
- Udvendige trapper
- Altaner og altankonsoller
- Betonbelægninger
- Udendørs armerede konstruktioner nær en kyststrækning
- Konstruktioner i fabriksområder med stærkt røgholdig atmosfære
- Vandbygningskonstruktioner i saltvand (fx kajmure, bolværker, moler, dækværker, sluser og tunnelkonstruktioner)*
- Broer (men ikke nødvendigvis brofundamenter)*
- Svømmebassiner*.

De med * mærkede bygningsdele og konstruktioner er ikke omfattet af BBB, men kun af DS 411.

Moderat miljøklasse

Denne klasse er karakteriseret ved udendørs og indendørs fugtigt miljø, eventuelt med mulighed for frostpåvirkning. Der må ikke i nævneværdig grad kunne tilføres alkalier og chlorider til betonoverfladen.

Følgende bygningsdele kan normalt placeres i denne miljøklasse:

- Fundamenter delvis over terræn
- Konstruktioner udsat for ferskvand
 - beholdere
 - tårne
 - tribuner
 - indendørs betonbelægninger
 - jorddækkede tunneler
 - vandledninger
 - gennemløb
 - uopvarmede bygninger
 - udendørs beton i bygningskonstruktioner
 - indendørs beton i fugtige lokaler (fx badeværelser)
- Jorddækkede fundamenter i høj sikkerhedsklasse
- Kælderydervægge delvis over terræn
- Udvendige vægge og facader
- Udvendige søjler
- Udvendige bjælker med konstruktiv beskyttet overside
- Altanbrystninger
- Installationskanaler
- Ingeniørgange
- Elevatorgruber.

Passiv miljøklasse

Denne klasse er karakteriseret ved et tørt miljø uden chloridpåvirkning. Betonen skal blot beskytte armeringen mod at korrodere. Følgende bygningsdele kan normalt placeres i denne miljøklasse:

- Konstruktioner i indendørs, tørt miljø
- Jorddækkede fundamenter i lempet og normal sikkerhedsklasse.

I tabel 3 bringes en samlet oversigt over typiske miljøklasseplaceringer for en række bygningsdele grupperet efter SfB-systemet.

Generalnote

I en generalnote kan angives alle de supplerende krav til BBB. Et eksempel er vist i figur 1, side 16.

Som det ses, indeholder en generalnote også krav, der ikke vedrører BBB, fx indstøbningsdele, forspænding og betonnængder. Vigtigst er det dog, at alle BBB's krav er indeholdt i noten.

I det aktuelle tilfælde i figur 1 er der i generalnoten desuden henvist til teksten i Særlig Arbejds-Beskrivelse (SAB) (8.xx). Det betyder, at der i SAB (side 8.xx) skal stå en nøjere definition af disse krav.

Tabel 3. Bygningsdeles typiske placering i miljøklasser.

Bygningsdel	Passiv miljøklasse	Moderat miljøklasse	Aggressiv miljøklasse
SfB-nr.			
(1.) Alment, bygningsbasis			
(10)4 Pælefundamenter og brøndfundamenter	×		
(10)5 Fundamenter i terræn	×		
(12)1 Liniefundamenter	×		
(12)2 Punktfundamenter	×		
(12)3 Pladefundamenter	×		
(10)4 Pæle- og brøndfundamenter i høj sikkerhedsklasse		×	
(10)5 Fundamenter i terræn i høj sikkerhedsklasse		×	
(12)1 Liniefundamenter i høj sikkerhedsklasse		×	
(12)2 Punktfundamenter i høj sikkerhedsklasse		×	
(12)3 Pladefundamenter i høj sikkerhedsklasse		×	
(13)1 Kældergulv og krybekældergulv i tørt miljø	×		
(13)2 Terrændæk i tørt miljø	×		
(13)1 Kældergulv og krybekældergulv i fugtigt miljø		×	
(13)2 Terrændæk i fugtigt miljø		×	
(18)1 Kanaler under terrændæk		×	
(18)1 Kanaler under terrændæk i grundvand			×
(18)2 Gruber og sumpe		×	
(18)2 Gruber og sumpe i grundvand			×
(2.) Alment, primære bygningsdele			
(20)2 Hegnmure			×
(20)3 Støtmure			×
(20)4 Teknikgange i terræn inkl. rørbroer og tunneler		×	
(20)5 Fodgængerbroer, viadukter			×
(20)6 Trapper og ramper i terræn			×
(21)1 Kælderydervægge		×	
(21)2 Lyskasser			×
(21)3 Ydervægge		×	
(22)1 Kælderindervægge	×		
(22)2 Indervægge ekskl. kælderindervægge	×		
(22)3 Skaktvægge, skorstensvanger, installationsskakte m.m.	×		
(22)4 Skakte for elevatorer	×		
(23)1 Kælderdek og krybekælderdek	×		
(23)2 Etagedæk i husbygning, ej P-hus	×		
(23)2 Etagedæk, P-hus			×
(23)3 Tagdæk. Særlige dæk under opbyggede tage	×		
(24)1 Kældertrapper, udvendige			×
(24)2 Trapper, udvendige			×
(24)3 Trapper, indvendige		×	
(24)4 Ramper, udvendige			×
(24)5 Ramper, indvendige		×	
(26)1 Altaner og altangange, udkragede			×
(26)2 Altaner og altangange, fritliggende			×
(26)3 Altaner og altangange, påhængte			×
(26)4 Altaner og altangange, fritstående			×
(3.) Alment, kompletterende bygningsdele			
(33)2 Svømmende gulve	×		
(33)4 Sokler til maskiner m.m.	×		
(36)1 Rækværker, brystninger		×	
(4.) Alment, overfladebygningsdele			
(40)2 Stier, belægninger			×
(40)3 Veje, parkeringsarealer, belægninger			×
(40)4 Opholdsarealer, belægninger			×
(40)5 Sports- og havearealer, belægninger			×
(40)6 Trapper og ramper i terræn, overflader			×

Generalnote for bygningsdele in situ	Generelle krav					Specielle krav	Fordeling		
	Miljøklasse	Kontrolklasse	Styrke	Stenstørrelse	Minimum dæklag og tolerancetillæg		Betontype	Kontrolafsnit	Betonnængde
Renselag, massebeton	P	L	5	32			5-1 P (1)	1	80
Uarmerede fundamenter	P	N	10	32			10-1 P (2)	1	150
Vægge	P	N	15	32	10/10		15-1 P (3)	3	700
Dæk og gulve	P	N	20	32	10/10	Vinterstøbning: Sten M + luft Beskyttelse mod udtørring. 8.xx	20-1 P (7)	3	300
Søjler og bjælker	P	N	30	16	10/5	Søjlekonsol med skærpet tolerance	30-1 P (6.1)	2	100
Kældervægge udv.	M	N	30	32	20/10	Revneanvisning. Se 8.xx	30-1 M (10)	1	200
Trapper, ramper og lyskasser udv.	A	N	35	16	30/5	Temperaturkontrol ramper, se 8.xx	35-1 A (11.1)	2	150
Støttemur	A	S	35	32	30/10	Hvidbeton, overfladestruktur. 8.xx Temperaturkontrol, prøvestøbning	35-2 A (513)	1	60

Figur 1. Eksempel på generalnote.

Hvis man benytter generalnoteprincippet, bør det i det angivne tilfælde suppleres med en tekst som:

»**Særlig arbejdsbeskrivelse**

I generalnoten er på skemaform angivet:

Konstruktionsopdeling på betontyper

Miljøklasse

Kontrolklasse

Styrkeklasse

Maksimal stenstørrelse

Dæklag med tilhørende tolerancetillæg

Krav til største temperaturforskel under hærkning

Krav til tidligste afformningstidspunkt

Krav til udtørringsbeskyttelse i passiv miljøklasse

Krav til overflade og farve

Betonidentifikation (navn).«

I figur 2 og 3 er vist typiske eksempler på skemaer ved anvendelse af generalnoteprincippet.

GENERALNOTE I

Beton-type	Miljø-klasse	Styrke-klasse	Kontrol-klasse	Maks. stenstørrelse	Farve	Specielle krav	

Figur 2. Skema for betontyper.

GENERALNOTE II

Bygningsdel	Betonstype	Miljøklasse	Kontrolklasse	Dæklag	Specielle krav: Udtørring Afformning Temperaturdifferens Revnevidde i støbeskel	Kontrolafsnit	

Figur 3. Skema for sammenhæng mellem betontype og bygningsdel.

Beskrivelser for betonbroer

Vejdirektoratets og DSB's »Almindelig arbejdsbeskrivelse« (AAB) [8] indeholder et »paradigma for generalnote«, hvori forskellige konstruktionsdeles placering i miljøklasser er fastlagt.

Følgende konstruktionsdele skal placeres i *aggressiv miljøklasse*:

- Brodæk
- Vægge
- Søjler
- Vederlag
- Fløje
- Fundamenter (frostpåvirkede)
- Pæle i vand eller aggressiv jord
- Kantbjælkeelementer.

Følgende konstruktionsdele skal mindst placeres i *moderat miljøklasse*:

- Armerede pæle
- Armerede fundamenter (frostfri)
- Uarmerede fundamenter (frostfri)

Følgende konstruktionsdele placeres i *passiv miljøklasse*:

- Renselag. Uafhængigt af om miljøet er passivt eller ej.

Der er stor overensstemmelse mellem betonkrav i AAB og BBB. De væsentligste forskelle mellem BBB og AAB er ifølge AAB [8] følgende:

- AAB har et minimumscementindholdskrav for at sikre mod ekstrem udnyttelse af pozzulaner og for at sikre at betonerne er rimeligt traditionelle.
- AAB tillader kun én cementtype, nemlig lavalkali-sulfatbestandig portlandcement.
- AAB stiller krav til ensartetheden i denne cements varmeudvikling.
- AAB stiller krav om kubiske korn i stenfraktionen for aggressiv og moderat miljøklasse.

Miljøklasser i ENV 206

De miljøklasser, som den nuværende udgave af ENV 206 beskriver, kan »oversættes« til danske forhold som vist i tabel 4.

Sammenholder man de egentlige miljøpåvirkninger fra tabel 1 med de miljøpåvirkninger, der er tilladelige i miljøklasserne i DS 411, BBB og ENV 206, får man tabel 5.

Tabel 4. Sammenligning af miljøklasser i ENV 206 med miljøklasser i DS 411 og BBB.

Exposure class		Examples of environmental conditions	Miljøklasse ifølge BBB og DS 411
1 Dry environment		Interior of dwellings or offices ¹⁾	Passiv miljøklasse
2 Humid environment	a) without frost	– Interior of buildings where humidity is high (e.g. laundries) – Exterior components – Components in non-aggressive soil and/or water	Moderat miljøklasse
	b) with frost	– Exterior components exposed to frost – Components in non-aggressive soil and/or water exposed to frost – Interior components where the humidity is high and exposed to frost	
3 Humid environment with frost and de-icing agents		– Interior and exterior of components exposed to frost and de-icing agents	Aggressiv miljøklasse
4 Sea-water environment	a) without frost	– Components completely or partially submerged in seawater, or in the splash zone – Components in saturated salt air (coastal area)	Aggressiv miljøklasse
	b) with frost	– Components completely or partially submerged in seawater, or in the splash zone and exposed to frost – Components in saturated salt air and exposed to frost	
The following classes may occur alone in combination with the above classes:			Særligt aggressive miljøer – er ikke dækket af DS 411 og BBB
5 Aggressive chemical environment ²⁾	a)	– Slightly aggressive chemical environment (gas, liquid or solid) – Aggressive industrial atmosphere	
	b)	– Moderately aggressive chemical environment (gas, liquid or solid)	
	c)	– Highly aggressive chemical environment (gas, liquid or solid)	

1. This exposure class is valid only as long as during construction the structure or some of its components is not exposed to more severe conditions over a prolonged period of time.

2. Chemically aggressive environments are classified in ISO 9690. The following equivalent exposure conditions may be used:

Exposure class 5 a: ISO classification A1G, A1L, A1S

Exposure class 5 b: ISO classification A2G, A2L, A2S

Exposure class 5 c: ISO classification A3G, A3L, A3S

Tabel 5. Miljøpåvirkninger i miljøklasserne i DS 411, BBB og ENV 206.

– Ingen påvirkning. (–) Ikke påvirkning i nævneværdig grad. + Påvirkning.

Miljø-påvirkninger	DS 411, BBB			ENV 206									
	P	M	A	1	2		3	4		5			
					a	b		a	b	a	b	c	
Vand	–	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Chlorid	–	(–)	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+
Alkaliforb.	–	(–)	+	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Frost	+	+	+	+	–	+	+	–	+	+	+	+	+
Kuldioxid	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Svovldioxid	–	–	+	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
Sulfat	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
Nitrat	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
Syre	–	–	–	–	–	–	–	–	–	(–)	+	+	+

ENV 206 definerer i kapitlet vedrørende holdbarhedskrav en række miljøklasser (MK).

MK 1 Tørt

MK 2a Fugtigt, uden frost

MK 2b Fugtigt, med frost

MK 3 Fugtigt, med frost og tørsalt

MK 4a Havvand, uden frost

MK 4b Havvand, med frost

MK 5a Aggressivt kemisk miljø (lav)

MK 5b Aggressivt kemisk miljø (middel)

MK 5c Aggressivt kemisk miljø (høj)

Herefter anføres holdbarhedskrav til en række parametre afhængig af miljøklassen. Der stilles krav til:

- Max. w/c-forhold
- Min. cementindhold
- Min. luftindhold i frisk beton
- Frostsikkert tilslag
- Betonens permeabilitet
- Cementtyper

Det skal bemærkes, at der åbnes mulighed for også at stille holdbarhedskrav via minimum betonstyrke, såfremt nationale regler kræver det.

Specificering af miljøpåvirkninger

De vigtigste miljøpåvirkninger

Ved valg af miljøklasse for betonkonstruktioner er det af afgørende betydning for holdbarheden, at der foretages en korrekt afgrænsning af miljøklassernes aktualitetsområde. Dette kræver en analyse af hver enkelt miljøpåvirkning, som betonkonstruktionen udsættes for, og til denne analyse kan begrebet miljøzoner være nyttigt, jf. kapitlet *Miljøzoner som hjælpeværktøj*, side 26.

Ifølge BBB er de væsentligste årsager til nedbrydning af beton følgende:

- Frostangreb.
- Alkalikiselreaktioner.
- Armeringskorrosion.
- Kemiske angreb.

Med udgangspunkt i SBI-publikationen »13 betonsygdomme« kan følgende miljøpåvirkninger betragtes som værende af primær betydning for såvel uarmerede som armerede betonkonstruktioner:

- a) Indtrængning i pasta, revner og porøsiteter af:
 - vand
 - kuldioxid
 - svovldioxid
 - alkaliforbindelser
 - chloridforbindelser.
- b) Pastaopløsende påvirkninger i form af:
 - sulfater
 - nitrater
 - syrer, fx saltsyre og svovlsyre.
- c) Temperaturmæssige påvirkninger, nemlig:
 - frost
 - forhøjede temperaturer.

I det følgende gives eksempler på kilder til de enkelte miljøpåvirkninger.

Vand

Tilstedeværelsen af vand er stort set altid en betingelse for at nedbrydningsprocesserne optræder. Vand kan stamme fra bl.a. regnvand, grundvand, smeltvand fra sne og is, vanddamp, kondensvand, havgus og tåge. Konstruktionsdele af beton, som er i kontakt med grundfugt, vil få et væsentligt fugttilskud ved kapillarsugning, fx bropiller og dæmninger. Ved fordampning vil der forekomme en opkoncentration af salte, fx chlorider og alkalimetalioner. I praksis vil vandindholdet i udendørs beton variere. Erfaringerne tyder på at sådanne skiftende vandindhold giver en øget risiko for skadelig nedbrydning.

Stærkt chloridbelastet beton vil have et forhøjet vandindhold, idet chlorid i lighed med en række andre salte er hygroskopiske, og dermed er i stand til at binde vandet inde i betonen.

Kuldioxid (carbondioxid)

Kuldioxid er naturligt forekommende i atmosfæren. Tør atmosfærisk luft indeholder 0,05 vægt-pct. kuldioxid.

Kuldioxid trænger ind i betonen, når betonens relative fugtighed er mellem 40 og 80 pct. Kuldioxid reagerer med betonens calciumhydroxyd og danner vand samt calciumkarbonat; betonen carbonatiserer. Den største carboniseringshastighed forekommer, når betonens relative fugtighed er omkring 60 pct. RF. Kuldioxidindtrængning er en fordel for uarmeret beton, da betonen bliver tættere ved den deraf følgende carbonatisering. Til gengæld har en carboniseret beton ikke en rustbeskyttende virkning. Stålarmering kan derfor korrodere i carboniseret beton.

Der er størst risiko for armeringskorrosion ved vekslende relativ fugtighed, idet betonen carbonatiserer hurtigt i tørt miljø, hvorefter armeringen korroderer i det efterfølgende fugtige miljø.

Tilstedeværelsen af vand, der indeholder kuldioxid, fx surt grundvand, kan medføre kulsyreangreb (udludning) som opløser kitmassen.

Svovldioxid

Svovldioxid SO_2 forekommer især i by- og industriatmosfære og giver anledning til dannelse af calciumsulfat i overfladen af ubeskyttet beton. Betonen mister med tiden sin styrke og rustbeskyttende virkning.

Alkaliforbindelser

Det er tilstedeværelsen af alkalimetalionerne Na^+ og K^+ , som i forbindelse med reaktivt tilslag og vand kan give problemer med betonens holdbarhed på grund af alkalikiselreaktioner. Reaktionen kan resultere i geldannelse på betonoverfladen samt i springere og revnedannelser i overfladen.

Alkalimetalionerne findes fx i tørsalt og havvand, men også naturligt i selve betonen - stammende fra fx cement, tilsætningsstoffer og tilslag.

Chlorider

Påvirkning sker 1) hvor der i forbindelse med glatførebekæmpelse tørsaltes med chloridholdige salte på gang- og kørebanearealer, 2) hvor chloridholdigt vand og sne tilføres i forbindelse med trafik på betonkonstruktioner eller 3) hvor kapillarsugning resulterer i ophobning af chlorid. Chloridpåvirkningen nedsætter betonens rustbeskyttende virkning.

Chloridpåvirkning fra luftbåret havvand i områder nær kyststrækninger medfører ligeledes aggressiv påvirkning af betonkonstruktionen.

Havvand omkring Danmark indeholder chlorid i en koncentration, der varierer fra 0,4 pct. i Østersøen til ca. 1,7 pct. i Nordsøen. Ifølge Verbeck og Kliegers undersøgelse [9] udvikler frostskafer sig kraftigst ved chloridkoncentrationer omkring 2 pct. Dette skal sammenholdes med, at Cl-koncentrationen er 16 pct. og 27 pct. i mættede opløsninger af henholdsvis NaCl og CaCl₂.

Sulfat-, nitrat- og syrepåvirkninger

Sulfat-, nitrat- og egentlige syrepåvirkninger hører under kemiske påvirkninger, som ikke er dækket af denne SBI-publikation. Der henvises til speciallitteraturen for yderligere oplysninger. Påvirkningerne optræder ofte ved landbrugsbyggeri og på konstruktioner der anvendes til opbevaring af gødning. Kuldioxid er dog medtaget som »syre«, jf. ovenfor.

Sulfat-, nitrat- og syrepåvirkninger er dog medtaget i denne oversigt, idet de ved særlige konstruktioner kan forekomme lokalt stammende fra både natur- og kunstgødning samt i forbindelse med spildevand. Landbrugsbyggeri er uden for BBB.

Sulfat kan forekomme i grundvand, overfladevand, havvand samt i spildevand. I grundvand kan sulfat stamme fra gipsaflejringer, fra forvitring af svovlkis eller fra gødningsstoffer, der indeholder sulfat.

Det skal nævnes, at røgholdige miljøer som industriområder og stærkt trafikerede veje også medfører syreangreb som følge af SO₂ og SO₃ i luften. Det er dog tvivlsomt, om disse angreb er stærkere tæt ved forureningskilden, eller om vej- og vind jævner påvirkningerne ud over større områder.

Temperaturmæssige påvirkninger

Temperaturforholdene i en betonkonstruktion vil være bestemt af den konstruktive udformning, den fysiske placering og af anvendelsen. Lufttemperaturen, tilstødende konstruktionselementers temperatur, omgivelsernes strålingstemperatur, solstråling og vindhastighed er vigtige parametre i bestemmelsen af temperaturforholdene.

De nødvendige betingelser for frostskafer opståen er hel eller delvis vandmætning, samt temperaturer under 0 °C. Meget lave temperaturer kan forekomme i frostrum og i udendørs vandrette betonoverflader, der på klare nætter har »frit udsyn« til himmelrummet.

Temperaturen har stor indflydelse på den hastighed, hvormed nedbrydningen foregår, idet såvel de kemiske reaktionshastigheder som betons fysiske egenskaber er temperaturafhængige. I konstruktioner anvendt inden for industri og anden produktionsvirksomhed kan der lokalt forekomme forhøjede temperaturer, der vil accelerere en eventuelt forekommende nedbrydningsmekanisme (skorstene).

Afgrænsning af miljøpåvirkninger

Det kan være vanskeligt at fastlægge de områder, hvori eller hvorpå påvirkningerne finder sted. Fx kan vind presse vand ind og op i konstruktionen, og chloridioner kan transporteres med overfladevand.

Ved fastlæggelse af områder i samme miljøklasse er det vigtigt at være opmærksom på eventuelle svigt af konstruktionselementer i driftsfasen. Fx vil fuger før eller senere blive utætte, hvorved en række nye områder kan blive påvirket.

Ved projektering bør man derfor udstrække de højere miljøklasser (jf. afsnittet *Ændrede miljøpåvirkninger*, side 25) til områder, som inddrages ved svigt i driftsfasen. Alternativt skal eftersyn af fuger indgå som en fast skemalagt del af den almindelige drift og vedligeholdelse, og den projekterende har da et betydeligt ansvar for at sikre sig, at den kommende bruger gøres tydeligt opmærksom herpå.

Samspil mellem miljøpåvirkninger

Forskel i miljøpåvirkninger er årsag til, at nedbrydning af betonkonstruktioner kan ske med forskellig hastighed. Dette forhold kendes også fra andre byggematerialer, fx træ. Betonforvitring og armeringskorrosion er ofte en kombination af flere forskellige, samtidige påvirkninger. Hvis man ser isoleret på de enkelte påvirkninger, kan de være mere eller mindre uskadelige for betonkonstruktionerne, mens de ved kombination (synergi) er skadelige.

Miljøpåvirkningers tidsafhængighed

En væsentlig parameter, der skal tages hensyn til ved bedømmelse af miljøpåvirkningerne, er den tid, hvori konstruktionen er udsat for de forskellige påvirkninger. For de fleste miljøpåvirkninger kan der ved små påvirkninger over en lang periode risikeres samme skadesgrad af konstruktionen, som ved kraftige påvirkninger over en kort periode. For andre miljøpåvirkninger kan selv en kortvarig påvirkning være skadelig.

Ændrede miljøpåvirkninger

Ændrede miljøbelastninger kan forekomme, enten ved at konstruktionen anvendes på en anden måde end projekteringen forudsatte, eller ved at der optræder svigt. For eksempel kan en beton med reaktivt tilslag beregnet for passiv miljøklasse meget hurtigt udvikle revner og springere, hvis betonen eksempelvis på grund af fugesvigt udsættes for alkaliholdigt vand stammende fra tørsaltning. Der henvises til BYG-ERFA-bladene; fx »Smuldring af beton udsat for aggressive gasser«, 930607. Miljøpåvirkningerne kan også reduceres fx ved inddækning af betonelementer, påføring af membraner, overfladebeskyttelse eller etablering af katodisk beskyttelse.

Miljøzoner som hjælpeværktøj

Introduktion af miljøzoner

I de tilfælde, hvor DS 411 og BBB samt nærværende publikations tabel 3, side 15, direkte anfører en miljøklasse for en konstruktionsdel, kan der ikke være tvivl om valget af miljøklasse.

Problemerne melder sig derimod for eksempel ved konstruktioner med kompliceret geometri, eller hvor konstruktionselementerne af produktionstekniske eller arkitektoniske årsager bryder klimaskærmen. Ligeledes giver områder, der støder op til belægninger, betydelige problemer.

I disse og andre komplicerede tilfælde kan den projekterende med fordel opdele konstruktionerne i zoner, hvori de enkelte miljøpåvirkninger virker. Disse zoner betegnes miljøzoner.

Definition

En miljøzone er det område af en konstruktion, der er udsat for en givet enkeltmiljøpåvirkning.

Miljøzoneopdelingen kan hjælpe den projekterende til at placere konstruktions- og bygningsdele i den rette miljøklasse samt til at skabe klarhed over, hvilke områder der er kritiske med hensyn til udførelse/drift, således at passende foranstaltninger kan planlægges i tide, fx ved at ændre konstruktionsudformning.

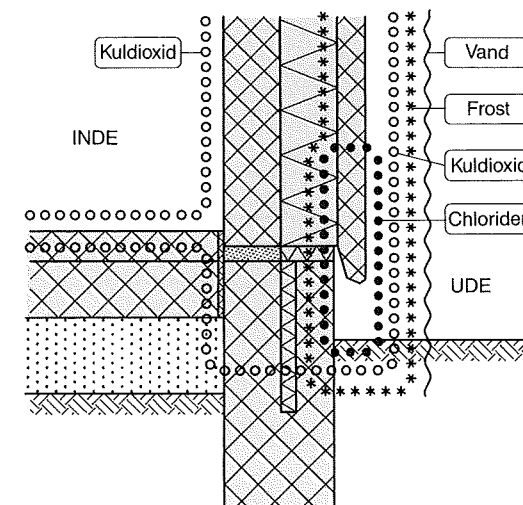
På figur 4 er det eksemplificeret, hvorledes en bygningskonstruktion kan inddeles i miljøzoner.

Når bygningen er opdelt i miljøzoner, kan bygningsdelene derefter placeres i miljøklasser. Kriterier for miljøklassevalget er gennemgået i kapitlet *Kvantificering af miljøklassevalg*, side 31.

Miljøklasseinddeling kræver en redegørelse for, hvilke enkeltmiljøpåvirkninger, der er indeholdt i de forskellige miljøklasser. Som eksempel indeholder DS 411 og BBB's moderate miljøklasse følgende enkeltmiljøpåvirkninger.

- Vand
 - Chlorid
 - Alkali
 - Frost
 - Kuldioxid
- } ikke i nævneværdig grad

I tabel 2, side 13, er der nærmere redegjort herfor.



Figur 4. Eksempel på fordeling af miljøzoner i en konstruktion. Afhængigt af forholdene kan det blive aktuelt på skitser at arbejde med zonegrænser for påvirkninger fra vand, chlorid, alkaliforbindelser, frost, kuldioxid, svovldioxid, sulfat, nitrat og syre.

Grænseområder

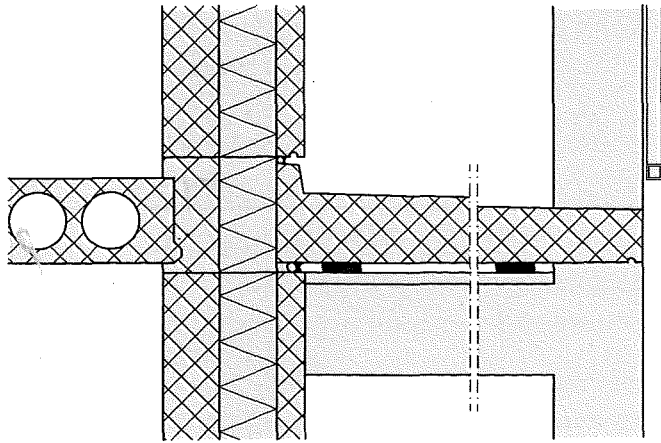
Der er tradition for at bygningsdele placeres i miljøklasser efter grænsefladerne mellem de enkelte bygningsdele.

Det betyder, at den projekterende har valget mellem at placere hele bygningsdelen i den miljøklasse, der svarer til det hårdest påvirkede område, eller at placere bygningsdelen i den miljøklasse som svarer til en gennemsnitlig miljøpåvirkning. Den første løsning fordyrer byggeriet og den anden reducerer holdbarheden af byggeriet.

Løsningen på problemet er at søge at placere grænsefladerne mellem de enkelte bygningsdele svarende til de enkelte miljøklassers (og dermed miljøzoners) grænseflader. Et eksempel på denne problemstilling er facadefoden ved en altangang, se figur 5, side 28.

Altangangen er i aggressiv miljøklasse, fordi den har opadvendt, vandret overflade. Den kan og vil blive udsat for tøsalt. Det samme gælder for den nederste del af facaden, fordi snerydning og sprøjt af sjap og smeltevand kan føre chlorider og alkalier til den nederste del af facaden, mens resten af facaden kan placeres i moderat miljøklasse, fordi den kun påvirkes af regnvand, ikke har vandrette, opadvendte overflader og ikke saltes.

Denne problemstilling med flere miljøklasser knyttet til samme bygningsdel kan fx løses på følgende måder:

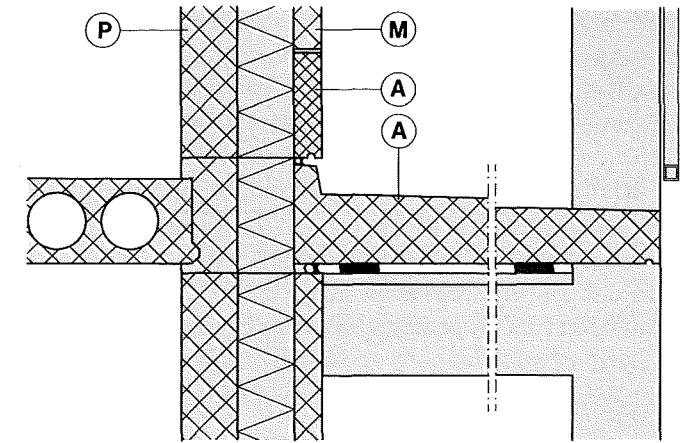


Figur 5. Facadefod ved altangang. Når miljøpåvirkningerne er klarlagt, kan miljøklasserne bestemmes. Selve altangangen og den nederste del af facaden er i aggressiv miljøklasse, mens resten af facaden er i moderat miljøklasse. Det er problematisk, at en bygningsdel er i to miljøklasser.

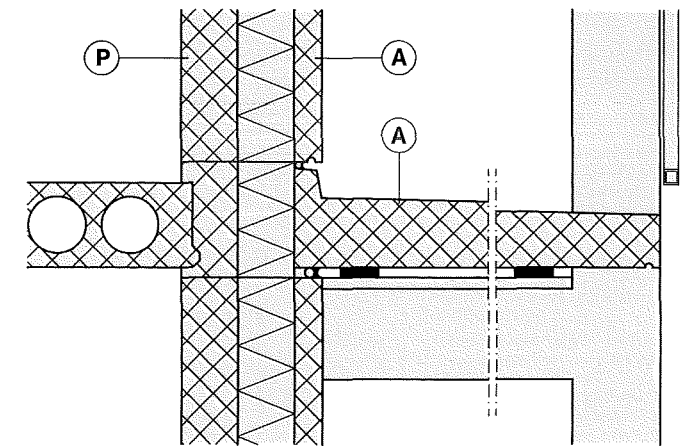
a) Den nederste del af facaden (ca. 0,2–0,3 m) placeres i aggressiv miljøklasse og resten af facaden i moderat miljøklasse, se figur 6. Dette betyder, at der i facaden bliver en ny grænseflade, og det indebærer produktionsmæssige ulemper, idet der skal støbes med to forskellige betontyper og at der skal etableres et støbeskel eller en fugesamling, som formodentlig ikke bliver tæt, medmindre produktionen udføres særlig omhyggeligt eller der udføres egentlig to-trins fuge som i en traditionel elementsamling.

b) Den sikre løsning består i, at hele facadeelementet placeres i aggressiv miljøklasse, se figur 7. Det vil fordyre byggeriet, men kan på længere sigt blive billigere i vedligeholdelsesomkostninger end hvis man valgte at placere hele elementet i moderat miljøklasse.

c) Ved konstruktive forebyggelser fjernes nogle af miljøpåvirkningerne, hvorved miljøzonerne svarende til aggressiv miljøklasse flyttes væk, således at hele facadeelementet kan placeres i moderat miljøklasse. Dette kan fx gøres ved at afdække den nederste del af facadeelementet med en plade, som er modstandsdygtig over for påvirkningerne og som fjerner miljøpåvirkningerne på betonelementet. Løsningen er dog ikke altid problemfri. Derimod kan det ikke blot foreskrives, »at der ikke må saltes«. En sådan forskrift vil med garanti ikke blive fulgt.



Figur 6. Facadefod ved altangang. Hvis man for at løse problemet i figur 5 anvender to forskellige betontyper over og under en fugesamling eller et støbeskel, får man let vanskeligheder med tæthed eller produktion.



Figur 7. Facadefod ved altangang. Placering af hele facadeelementet i aggressiv miljøklasse giver en sikker løsning, men højere anlægsudgifter end placering i moderat miljøklasse. Til gengæld kan omkostningerne til vedligehold blive mindre.

d) Den ideelle løsning set ud fra et miljøklasseshensyn er placering af samlinger og fuger i overensstemmelse med miljøzonegrænserne, fx en højere liggende fuge (0,2–0,3 m) mellem altanpladen og facadeelementet. Arkitektoniske og konstruktive hensyn kan måske vanskeliggøre løsningen. Et andet eksempel

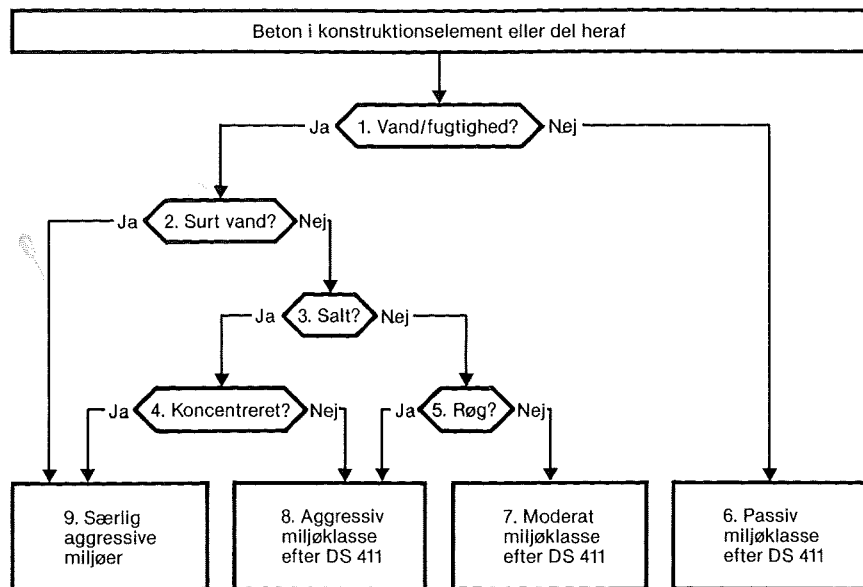
med en lignende problemstilling er et betonsandwichelement som facadeelement. Forpladen placeres traditionelt i moderat miljøklasse og bagpladen i passiv miljøklasse. Ofte udføres det indvendige dæklag på forpladens armering svarende til et dæklag i passiv miljøklasse, simpelthen for at gøre forpladen tyndere. Dette reducerede dæklag er formentlig i strid med DS 411 og BBB, men er måske acceptabelt, hvis isoleringen bag på forpladen fastholdes til denne. Skønnes der at være risiko for, at isoleringen løsner sig eller der på anden måde er mulighed for, at vand eller fugtig luft bestryger bagsiden, skal dæklaget ubetinget vælges svarende til moderat miljøklasse. Det kan imidlertid også hævdes, at betonsandwichelementers forplader bør placeres i *mindst* moderat miljøklasse ud fra den betragtning, at betonen under alle omstændigheder har et fugtindhold, der svarer til udendørs og fugtigt miljø på grund af betonens kapillære sugehøjde, og at der er mulighed for frostpåvirkning.

Kvantificering af miljøklassevalg

Når miljøpåvirkningernes art og udstrækning på konstruktionen er fastlagt ud fra de typer, der er anført i tabel 1 (side 10), og konstruktionen på grundlag heraf er opdelt i miljøzoner, kan hver miljøzone klassificeres ved en miljøklasse i DS 411 og BBB. Dette kan ofte umiddelbart gøres ud fra tabel 2 (side 13), ellers kan nedenstående tabel 6 anvendes som en orienterende vejledning. Se også beslutningsdiagrammet i figur 8, side 32.

Tabel 6. Valg af miljøklasse for betonkonstruktioner ud fra miljøzoner. Tabellens tal for kystnære områder er skønnede værdier, som bør verificeres ved måling på nabo-bygninger eller på anden måde. I havneområder er der erfaring for øget chloridbelastning på konstruktioner placeret så langt væk som 50 meter fra kaj og mole. Nitrat-, sulfat- og syrepåvirkninger er egentlig pastaopløsende angreb, som principielt ikke er dækket af denne publikation. Påvirkningerne er dog medtaget, idet de kan forekomme på bygge- og anlægskonstruktioner.

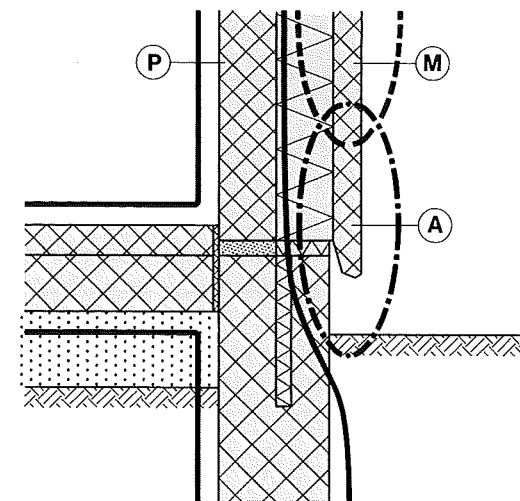
Påvirkning	Passiv miljøklasse	Moderat miljøklasse	Aggressiv miljøklasse	Bemærkninger
Chlorid Tøsaltning <i>Chloridholdig atmosfære</i>	Nej	Ikke i nævneværdig grad	Ja Ja $L_k \leq 200$ m / 50 m	L_k : Afstand til kyst. Vestkyst: 200 m. Øvrige 50 m.
Kuldioxid	Ingen vejledende grænseværdier	1) Lav eller høj koncentration	Høj koncentration	Lav koncentration: Svarer til luftens indhold på 0,05 vægt-pct. CO ₂ . Høj koncentration: Luftens indhold > 0,05 vægt-pct. CO ₂ . Røgholdige industriområder. P-kældre, stalde. 1) Moderat kan vælges ved høj koncentration, hvis betonen gøres tættere (mindre v/c-forhold) eller dæklaget gøres tykkere; ellers aggressiv miljøklasse.
Alkalipåvirkning. Tilførsel af alkalier udefra	Nej	Ikke i nævneværdig grad	Ja	Der kendes ingen grænseværdier.
Frost		RF ≤ 75 pct.	2) RF ≥ 75 pct.	RF: Betonens relative fugtighed. 2) Vandrette flader. Vand-samlende detaljer.
Nitrat-, sulfat- og syrepåvirkning		3) Lav belastning	Høj belastning	Lav belastning som fx SO ₂ -holdigt vand indh. < 500 mg/l. CO ₂ -holdigt vand indh. < 10-20 mg/l. 3) Er der sandsynlighed for op-hobning, skal der ske en klassificering til aggressiv miljøklasse.



Figur 8. Beslutningsdiagram for fastsættelse af en betonoverflades miljøpåvirkning efter DS 411, 3. udgave. Diagrammet og teksten er gengivet efter [7]. Efter godkendelse af cirkulæret om Basisbetonbeskrivelsen i 1987 gælder diagrammet ikke for udendørs konstruktionsdele med opadvendte, vandrette overflader. Aggressiv miljøklasse skal derimod altid vælges for konstruktionsdele med opadvendte, vandrette flader i udendørs miljø, uafhængigt af om der er chlorider eller ej.

1. Et miljø benævnes fugtigt, såfremt blankt stål vil ruste.
2. Ved surt vand forstås her vand, der er surere end regnvand, hvor man kan komme ned på pH = 3,5. Surt vand forekommer oftest som industrispildevand. Svovlsure eller bløt svovlholdige omgivelser tilhører samme kategori.
3. Et salt miljø findes i Danmark i forbindelse med hav- og brakvandskonstruktioner, svømmebade, tørsaltede konstruktioner, saltbeholdere mv.
4. Koncentreret saltpåvirkning kendes især fra tørsaltning af saltbeholdere.
5. Røgs indhold af svovlsyre, kulsyre og salpetersyre gør stærk røgholdig atmosfære aggressiv. Aggressiv røg findes fortrinsvis i industrikvarterer.
6. Tør og ikke-aggressiv påvirkning betegnes passiv miljøklasse. Ingen skadelige påvirkninger er aktuelle.
7. Fersk-fugtig og ikke-aggressiv påvirkning betegnes moderat miljøklasse. Carbonatisering, alkalireaktioner og frost/tø-skader kan være aktuelle.
8. Salt, dog ikke koncentreret, og røg er de påvirkninger, der karakteriserer aggressiv miljøklasse. Chlorid- og sulfatangreb samt alkalireaktioner og frost/tø-angreb kan være aktuelle. Er der sikret mod chloridindtrængning, vil skadelig carbonatisering normalt være mindre risikobetonet.
9. Aggressiv påvirkning ud over det normale, som fx finder sted, når beton påvirkes af stærke syrer, koncentreret tørsalt holdigt smeltevand eller grundvand med højt sulfatindhold, betegnes som særlig aggressive miljøer. For at modstå en sådan påvirkning, kræves ofte specialcementer, særlige tilsætningsstoffer og meget tæt beton, eventuelt anvendelse af diffusionstæt membran.

Miljøklassegrænser
 — Passiv, P
 - - - Moderat, M
 - · - Aggressiv, A



Figur 9. Valg af miljøklasser for konstruktionselementer ved fundament. Miljøklasserne er valgt ud fra miljøzonerne vist i figur 4, side 27.

I figur 9 er det vist, hvorledes resultatet af miljøklassevalget bliver for fundamentsdetaljen, som der i figur 4 (side 27) blev valgt miljøzoner for. Typiske løsninger vil, som omtalt i afsnittet Grænseområder, side 27, være at placere forpladen enten i aggressiv miljøklasse eller i moderat miljøklasse; vælges det sidste, må større vedligeholdelsesudgifter accepteres.

De aggressive kemiske miljøer i miljøklasse 5 i ENV 206 vil formentlig ifølge et arbejdsrapport fra CEN TC 101/WG1/TG1/PANEL 1 blive klassificeret som angivet i tabel 7, side 34, som er delvis identisk med en anbefaling fra Cembureau (CEB [10]).

Tabel 7. Forslag til inddeling af miljøklassen for særligt aggressive kemiske miljøer i ENV 206.

Miljøklasse i henhold til ENV 206	5a	5b	5c ¹⁾
Aggressivitet	Mild	Moderat	Stærk
pH	6,5–5,5	5,5–4,5	4,5–4,0
Aggressiv CO ₂ mg CO ₂ /l	15–40	40–100	> 100
Ammonium mg NH ₄ ⁺ /l	15–30	30–60	60–100
Magnesium mg Mg ²⁺ /l	300–1000	1000–3000	> 3000
Sulfat i vand mg SO ₄ ²⁻ /l	200–600	600–3000	3000–6000
Sulfat i jord mg SO ₄ ²⁻ /kg lufttør	2000–3000 ²⁾	3000–12000	12000–24000

¹⁾ Når disse værdier overskrides, må der foretages en speciel undersøgelse.

²⁾ I tilfælde af fare for opkoncentrering i konstruktionen på grund af skiftende opfugtning og udtørring sænkes grænsen for anvendelse af sulfatbestandig cement fra 3000 til 2000 mg/kg.

Eksempler på miljøzoner og deraf følgende miljøklassevalg

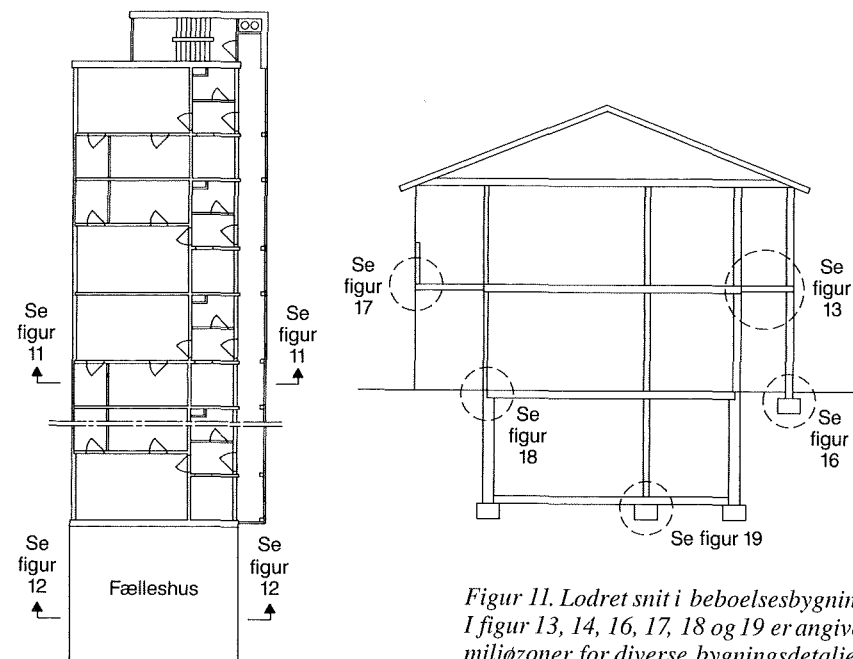
Som eksempel på brug af miljøzoner er valgt et 2-etagers boligbyggeri af en type, der er opført mange af i 60'erne og som generelt har problemer med betonskader.

Bygningen er opført som et traditionelt betonelementbyggeri med fælles adgangsveje via et trappehus og udvendige altangange (figur 10). En del af kælderen er udnyttet som parkeringskælder.

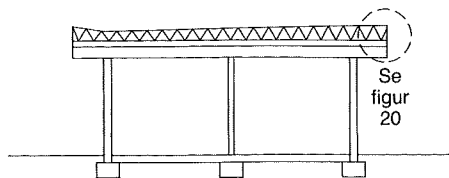
I forbindelse med beboelsesbygningen er der opført et fælleshus.

De bærende bygningskomponenter i beboelsesbygningen er udført af beton. Ydervæggene er sandwichelementer, etagedækkene er huldæk og kælderkonstruktionerne er støbt in situ. Altanpladerne er udført af massive betonelementer. Se figur 11.

Figur 10. Etageplan for 2-etagers beboelsesbygning med fælleshus.



Figur 11. Lodret snit i beboelsesbygning. I figur 13, 14, 16, 17, 18 og 19 er angivet miljøzoner for diverse bygningsdetaljer.



Figur 12. Lodret snit i fælleshus. I figur 20, side 46, er angivet miljøzoner for detaljen ved tagbjælke og søjle.

Som i beboelsesbygningen er de bærende konstruktioner i fælleshuset udført af beton. Tagbjælkerne er betondragere, der ved facaderne er understøttet af betonsøjler. De indspændte betonsøjler giver bygningen den ønskede stabilitet. Se figur 12.

Tagdækningen er udført med tagpap på trækassetter, spændende mellem betontagbjælkerne. Kompletterende bygningskomponenter er udført af træ.

Altangang

Altanpladerne spænder parallelt med facaden og mellem konsolbjælkesøjlerne, der er udformet som et omvendt L. Søjlen er understøttet ved foden og er foroven fastgjort til den indvendige skivekonstruktion vha. rustfrie bolte. I statisk henseende er kolde og varme konstruktioner adskilte. Se figurerne 13.

Fuger mellem altanplader udfuges med elastisk fugemasse, der skal vedligeholdes, men alligevel er der risiko for vand fra altanpladen til den underliggende konstruktion.

I det aktuelle tilfælde udføres konsollens overside med smig og afdækkes med en ventileret afdækning. Se figurerne 14, side 38.

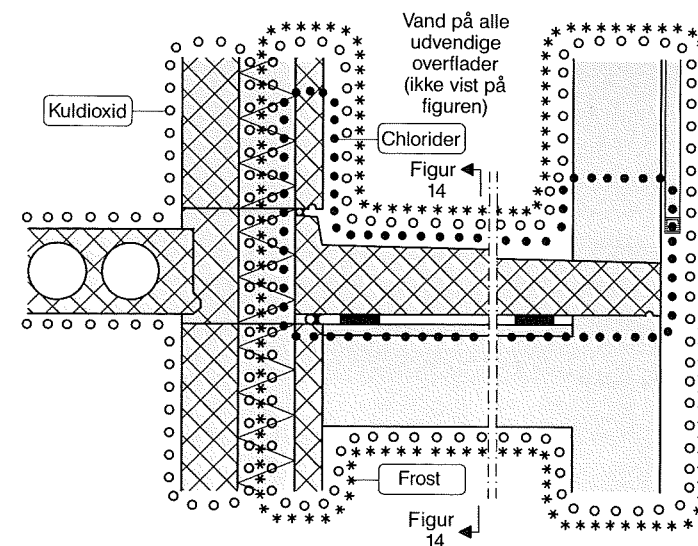
Med den konstruktive løsning på konsollens overside, befinder den sig i miljøzoner for vand, frost og kuldioxid, og den placeres i moderat miljøklasse, jf. tabel 2, side 13.

Altanpladerne er placeret i miljøzoner for vand, frost, kuldioxid og chlorider, hvorfor de placeres i aggressiv miljøklasse, jf. tabel 2.

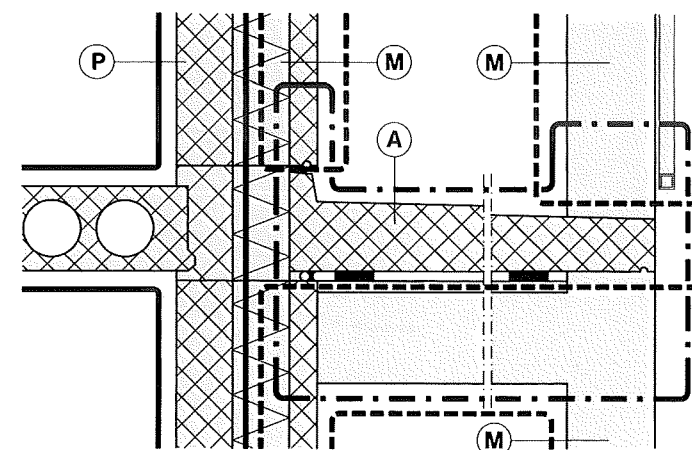
Bagvægselement og indvendige dækelementer er alene placeret i miljøzonen for kuldioxid og de kan derfor placeres i passiv miljøklasse, jf. tabel 2.

Facadeelementernes forplader og søjlerne i de L-formede elementer er nederst placeret i miljøzoner for vand, frost, kuldioxid og chlorider. Miljøzonen for chlorider rækker kun et lille stykke op over altanpladen, således at resten af forpladerne og søjlerne kun er placeret i miljøzoner for vand, frost og kuldioxid.

Som det er diskuteret i afsnittet *Grænseområder*, side 27, kan der for samme element vælges forskellige miljøklasser, hvis det konstruktivt og udførel-



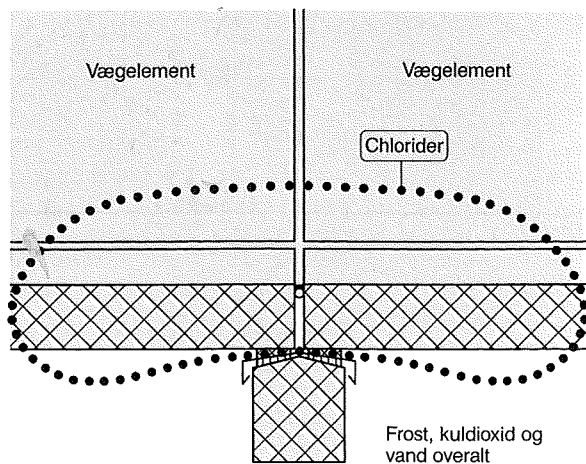
Figur 13a. Miljøzoneangivelser på lodret snit ved altangang.



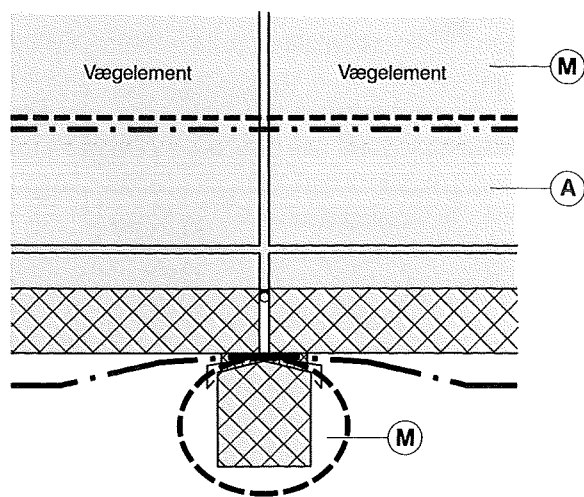
Figur 13b. Miljøklasseangivelser på lodret snit ved altangang.

sesmæssigt er acceptabelt. Accepteres støbeskel (eventuelt vådt i vådt) i forplader og søjler og er der fornuftige inddækninger ved søjler omkring altanplader, kan der vælges forskellige miljøklasser. De valgte miljøklasser er vist på figur 15, side 39.

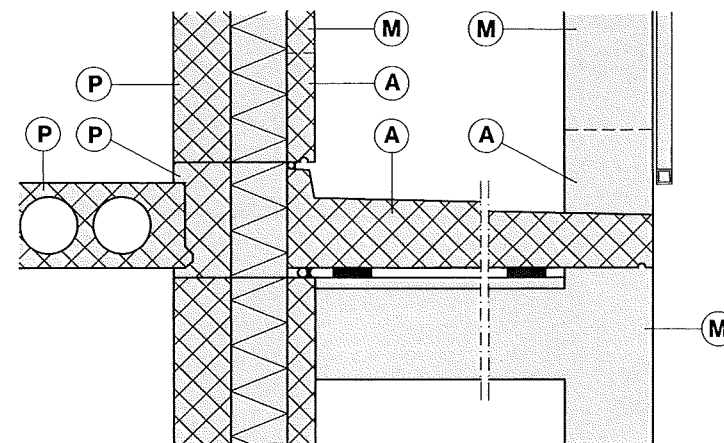
Bemærk, at inddækningsdetaljer ved søjler/altaner kan blive så dyre, at hele L-elementet billigere placeres i aggressiv miljøklasse.



Figur 14a. Miljøzoneangivelser på lodret snit gennem konsolbjælke.



Figur 14b. Miljøklasseangivelser på lodret snit gennem konsolbjælke.



Figur 15. Endeligt valg af miljøklasser for altangang og tilstødende bygningsdele.

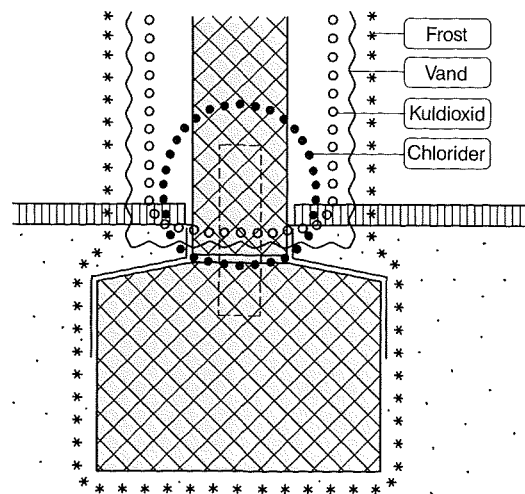
Søjle og søjlefundament

Søjlefundamentet er jorddækket, og der er en fugtspærre på oversiden. Se figurerne 16.

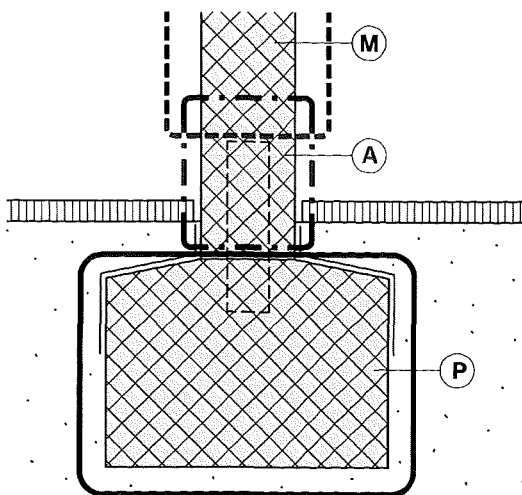
Søjlefundamentet drænes, og derved er det kun placeret helt eller delvist, afhængig af dybden, i miljøzonen for frost. Det betyder at det placeres i passiv miljøklasse, jf. tabel 2, side 13.

Søjlen er i miljøzoner for vand, frost og kuldioxid. Brug af tørsalte kan ikke udelukkes, så nederste del af søjlen er i miljøzonen for chlorider. Jf. tabel 2 vil nederste del være i aggressiv miljøklasse og resten i moderat miljøklasse. I dette tilfælde vælges at placere søjlen i aggressiv miljøklasse.

Figur 16a. Miljøzoneangivelser på lodret snit i søjle og fundament.



Figur 16b. Miljøklasseangivelser på lodret snit i søjle og fundament.

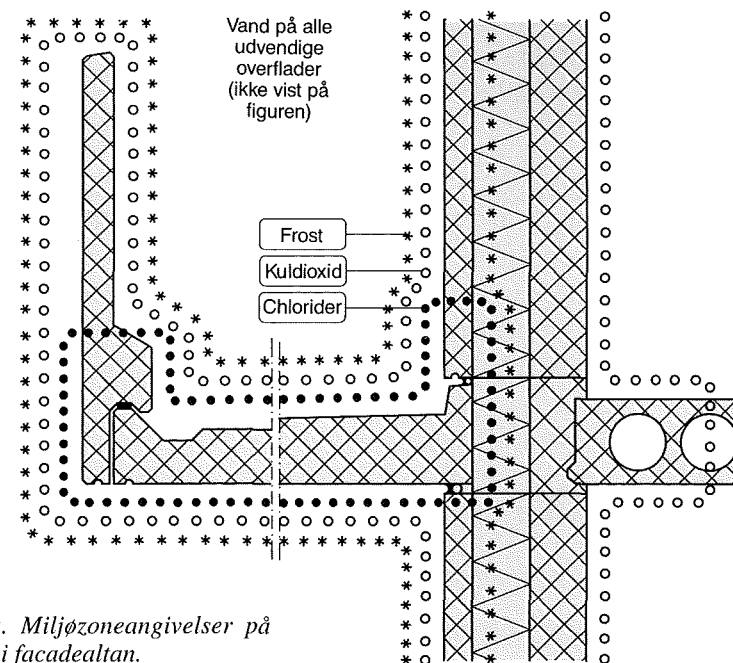


Altaner i facade

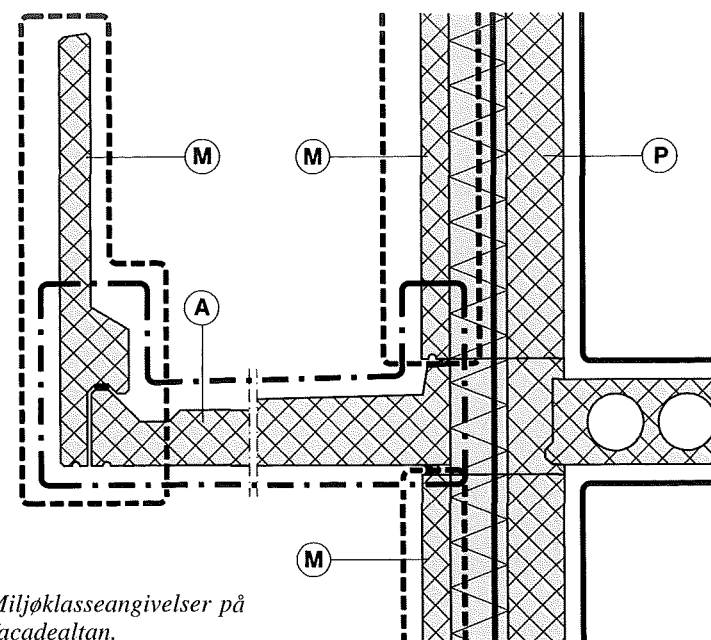
Altaner er indbygget i facaderne. Se figurerne 17. Altanpladerne er udført med skotrende, fald væk fra bygningen og opkant langs alle 4 sider. Opkanten er lavest langs forkanten.

Problemstillingen minder meget om den ved altangangen, men her vælges lidt andre løsninger.

Figur 17a. Miljøzoneangivelser på lodret snit i facadealtan.



Figur 17b. Miljøklasseangivelser på lodret snit i facadealtan.



Altanpladen er placeret i miljøzoner for vand, frost, kuldioxid og chlorider, og den placeres derfor i aggressiv miljøklasse.

Nederste dele af facadeforplader og altanbrystninger er placeret i de samme miljøzoner som altanpladerne, mens resten af forplader og brystninger ikke er i miljøzonen for chlorid.

Hele altanbrystningspladen vælges placeret i aggressiv miljøklasse, svarende til den nederste del. Bemærk, at valget ikke er identisk med anbefalingerne i BBB, jf. afsnittet *Moderat miljøklasse*, side 13.

Forpladerne kan placeres i moderat miljøklasse, hvis opkanten på altan-elementet gøres tilstrækkelig høj. Det er den ikke på det viste snit, så i dette tilfælde vælges hele forpladen placeret i aggressiv miljøklasse.

Kælderydervæg og sandwichfacadeelement

Der er flisebelægning foran facaden, og den må forventes at få tørsalt, dvs. at der vil være en miljøzone for chlorider. Se figurerne 18.

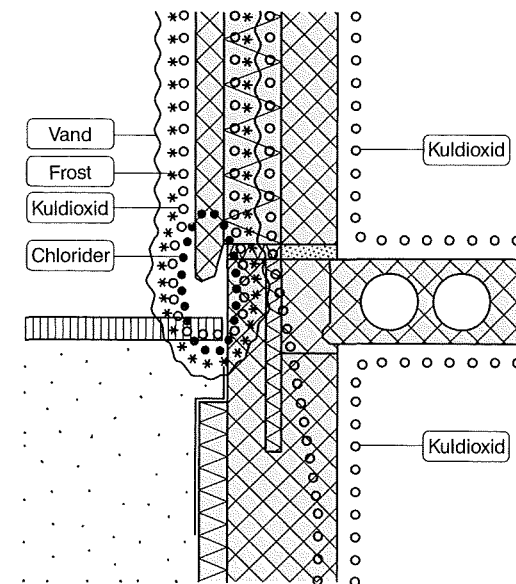
Forpladen i sandwichelementet vil være i miljøzoner for vand, frost og kuldioxid. Den nederste del desuden i miljøzonen for chlorider, affødt af forventningen om tørsalt. Hele forpladen vælges derfor placeret i aggressiv miljøklasse, svarende til den nederste del.

Uden chlorider vil forpladen kunne placeres i moderat miljøklasse, men at den nederste del af facadeelementer er hårdt belastet ses ved mange byggerier fra 60'erne og begyndelsen af 70'erne.

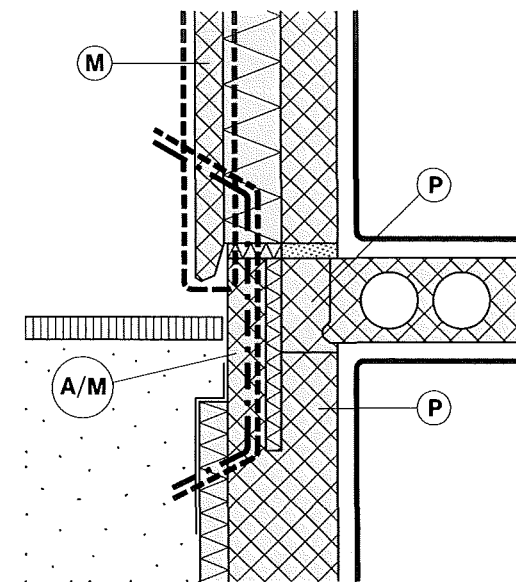
Øverste udvendige del af kælderydervæggen er placeret i miljøzoner for vand, frost, kuldioxid og chlorider. På grund af inddækninger og isolering ligger det meste af væggen dog uden for disse zoner, bortset fra den indvendige side, der er i miljøzonen for kuldioxid. Den øverste del af kælderydervæggen vælges derfor placeret i aggressiv miljøklasse, medens resten vælges placeret i passiv miljøklasse. En skillelinie for betonen kan fx være ved isoleringen midt i væggen. Betonen på indvendig side af isoleringen kan støbes i beton til passiv miljøklasse, men på udvendig side i beton til aggressiv miljøklasse.

Facadeelementets bagplade og indvendige dækelementer ligger i miljøzonen for kuldioxid og vælges derfor placeret i passiv miljøklasse.

Bemærk, at forplade og øverste del af kælderydervæg pga. miljøzonen for chlorid placeres i en højere miljøklasse end anbefalet i BBB, jf. afsnittet *Moderat miljøklasse*, side 13.



Figur 18a. Miljøzoneangivelser på lodret snit i kælderydervæg og facade.



Figur 18b. Miljøklasseangivelser på lodret snit i kælderydervæg og facade.

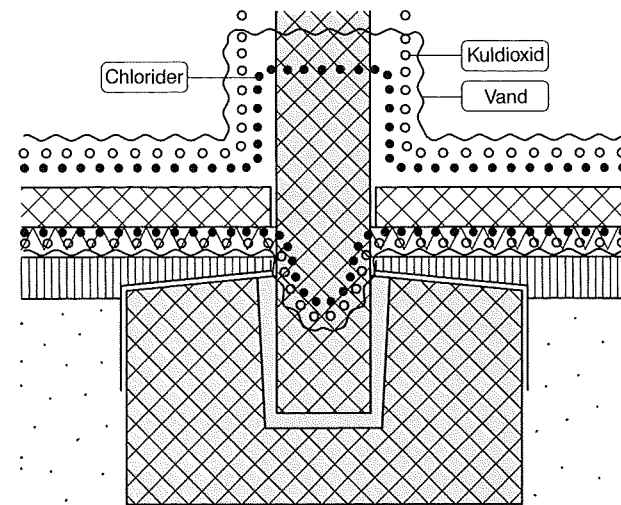
Søjle med fundament og kældergulv i parkeringskælder

Søjlen er placeret i husets parkeringskælder. Se figurene 19. Specielt skal man være opmærksom på muligheden af frost og chlorider, når miljøzoner indlægges. I det aktuelle byggeri er kælderen indrettet således, at frost ikke forekommer ved søjlen, og der er kun de chlorider og det vand som bringes med af bilerne.

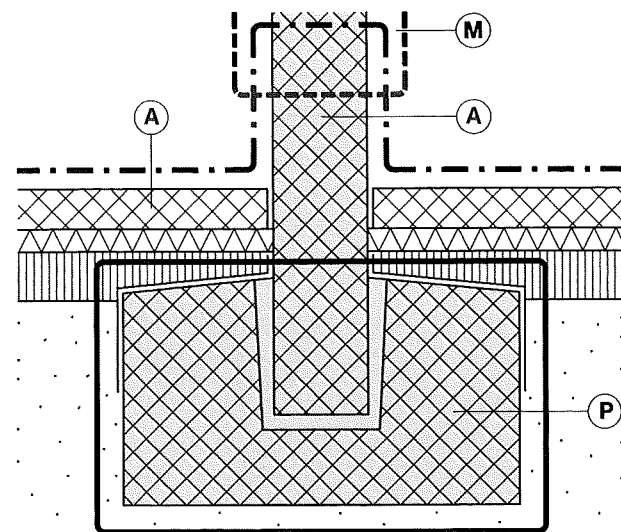
Kældergulvet ligger i miljøzoner for vand, kuldioxid og chlorider og vælges derfor placeret i aggressiv miljøklasse.

Søjlen ligger i miljøzonen for kuldioxid og den nederste del også i miljøzonerne for vand og chlorider. Hele søjlen vælges derfor placeret i aggressiv miljøklasse.

Søjlefundamentets overside er afdækket med en fugtspærre. Diffusion af vand og chlorider fra søjlen og ud i fundamentet er en mulighed, men det vurderes alligevel at fundamentet ligger uden for miljøzonerne, og det vælges placeret i passiv miljøklasse.



Figur 19a. Miljøzoneangivelser på lodret snit i søjle med fundament og kældergulv i parkeringskælder.



Figur 19b. Miljøklasseangivelser på lodret snit i søjle med fundament og kældergulv i parkeringskælder.

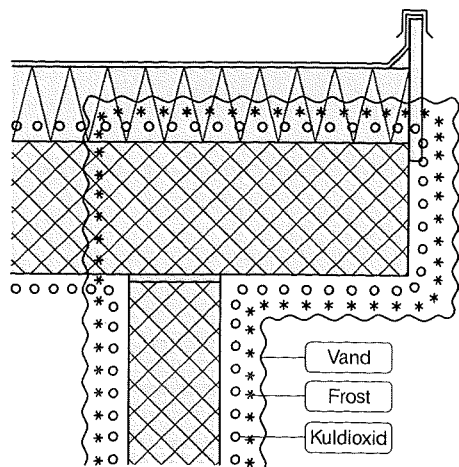
Tagbjælke og facadesøjle i fælleshus

Facadesøjlen er placeret delvis foran en let facade, og tagbjælken er ført ud gennem facaden. Se figurerne 20.

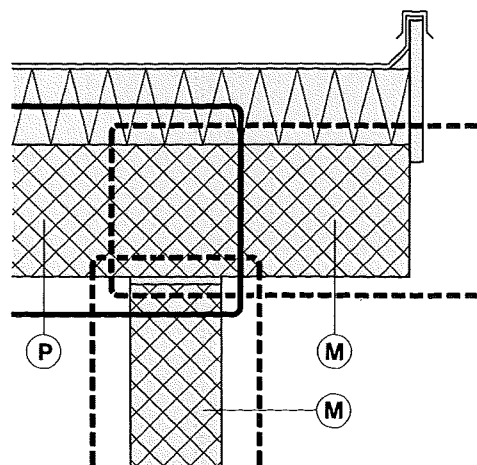
Facadesøjlen og den yderste del af tagbjælken ligger i miljøzonerne for vand, kuldioxid og frost. Søjlen kan dermed placeres i moderat miljøklasse, medmindre forhold ved søjlefoden (fx chlorider) kræver aggressiv miljøklasse.

Den indvendige del af tagbjælken ligger i miljøzonen for kuldioxid.

Tagbjælken vælges placeret i moderat miljøklasse pga. den del, der går uden for facaden.



Figur 20a. Miljøzoneangivelser på lodret snit i tagbjælke og søjle i fælleshus.



Figur 20b. Miljøklasseangivelser på lodret snit i tagbjælke og søjle i fælleshus.

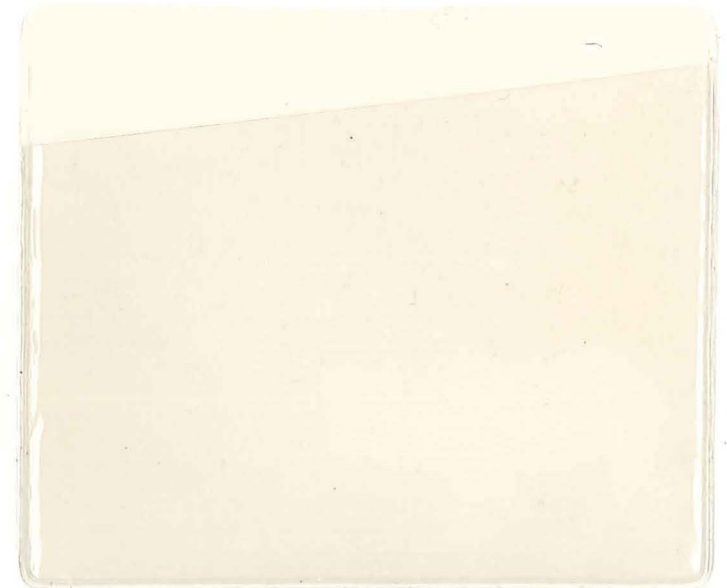
Litteratur

1. N. M. Plum. Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkaliske reaktioner i beton. Alkaliudvalgets vejledning 1. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1961.
2. Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, 2. udgave december 1973. Dansk Standard DS 411. Normstyrelsens publikationer NP-116-N. Teknisk Forlag. København 1973.
3. Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, 3. udgave marts 1984. Dansk Standard DS 411. Normstyrelsens publikationer NP-169-N. Teknisk Forlag. København 1984.
4. Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner af maj 1986 – ændret december 1986. Publikation nr. 89. Byggestyrelsen. København marts 1987.
5. Cirkulære om brug af beton (Basisbetonbeskrivelsen). Boligministeriet, Byggestyrelsen, 1. kontor. København 6. januar 1987.
6. ENV 206 Concrete. Performance, production, placing and compliance criteria, 1. ed. 1990.
7. Ervin Poulsen et al. 13 betonsygdomme, hvordan de opstår, forløber og forebygges. ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed. Beton 4. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1985.
8. Udbuds- og anlægsforskrifter, Betonbroer. Vejdirektoratet – Vejreguludvalget. København oktober 1989.
9. G. J. Verbeck og P. Klieger. Studies of the salt scaling of concrete. Highway Research Board Bulletin, no. 150, 1957.
10. Durable Concrete Structures. CEB Design Guide. Second Edition 1989. CEB Bulletin d'Information, no. 182, June 1989.

Summary

Concrete 8: Choice of exposure class for concrete structures

Until the European Code for the concrete technology field is completed some time in the 1990s discussion will continue on certain aspects of the exposure class problem. This SBI publication is intended to help to cast light on the problems arising in the case of special designs and in cases in which a building component belongs in several exposure classes. A new concept is introduced: "exposure zones"; this is a useful tool in the choice of exposure class, which is the main theme of this publication. Examples are used to illustrate practical use of the exposure zone concept in the design phase.



Projekterende teknikere kan i visse tilfælde være usikre i valg af miljøklasse for en konstruktion eller en konstruktionsdel. SBI har derfor fundet det hensigtsmæssigt at udsende denne publikation, som kommenterer og sammenholder de miljøklasseafsnit, der findes i DS 411, i Basisbeton-beskrivelsen og i den foreløbige europæiske standard ENV 206. Endvidere gennemgås de forskellige miljøpåvirkninger og der introduceres et nyt hjælpeværktøj: miljøzoner med henblik på et lettere miljøklassevalg.

