



**GOD
BETONG ER
BESTANDIG**

NORCEM.NO

INNHOLD

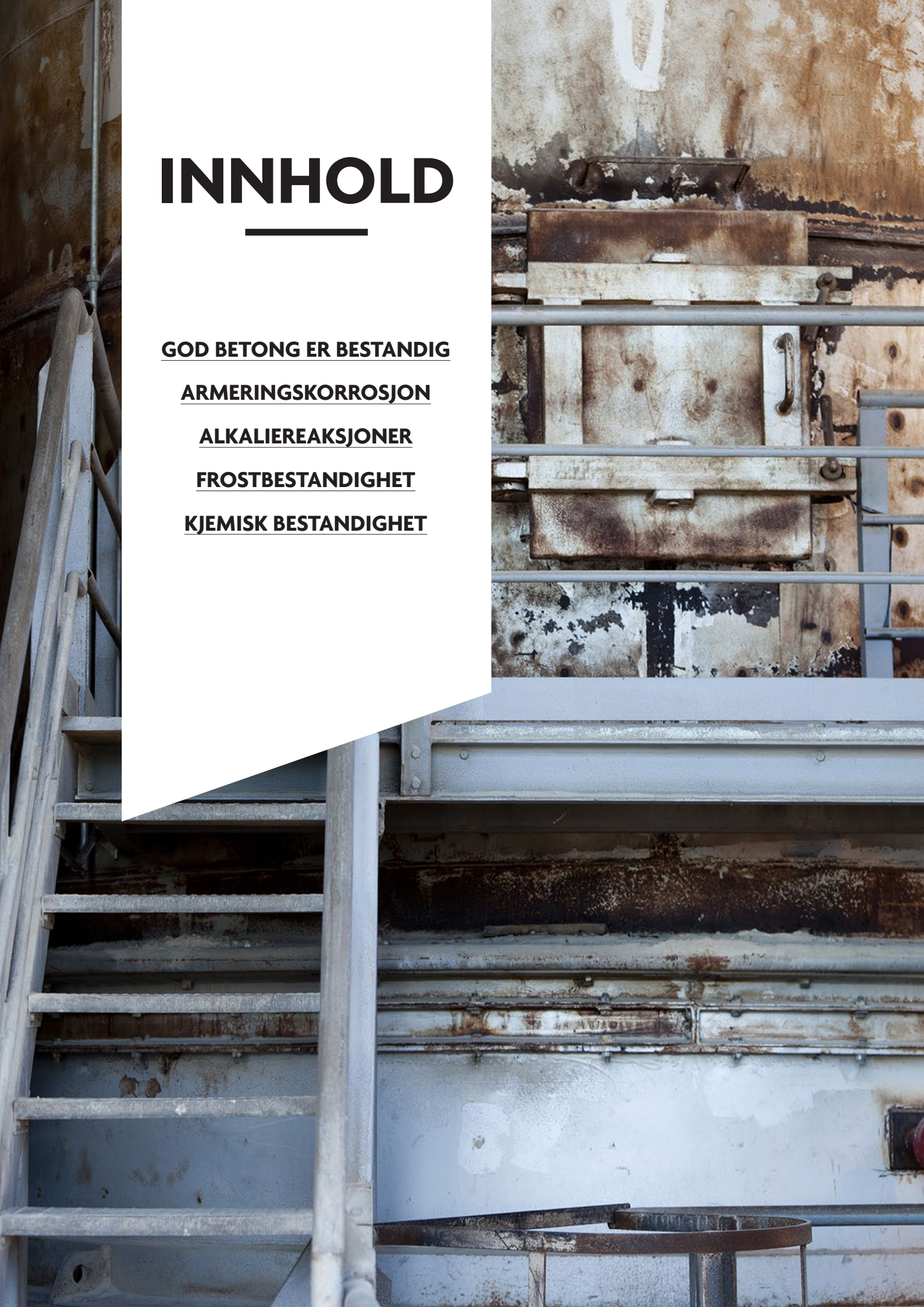
GOD BETONG ER BESTANDIG

ARMERINGSKORROSJON

ALKALIEREAKSJONER

FROSTBESTANDIGHET

KJEMISK BESTANDIGHET



En definisjon av begrepet «god betong» kan variere hos de forskjellige aktører i byggebransjen – fra produsent til utførende og til byggherre.

I denne brosjyren er det betongens bestandighet vi fokuserer på. Med «god betong er bestandig» mener vi at en betongkonstruksjon skal ha den levetid den er planlagt for, uten nødvendige og kostbare vedlikeholdsarbeider. Med dagens kunnskap er dette fullt mulig. Rent samfunnsmessig dreier det seg om besparelse av virkelig store beløp.

Betongens konkurransefortrinn er den store fleksibiliteten med hensyn til kvalitetstilpassing og utførelse. Det er i brukerens interesse at et produkt eller byggverk skal ha god funksjon over en ønsket livslengde og lave vedlikeholdskostnader. Dette har betong gode forutsetninger for. For å sikre at skader ikke oppstår, er det viktig at produsenter, utførende og rådgivere har tilstrekkelig kunnskap om de egenskaper som gjør betongen bestandig.

Norcems FoU-avdeling har i mange år deltatt aktivt i viktige nasjonale forskningsprosjekter med hensyn til betongens bestandighet. Resultater fra forskningsprosjektene sammen med erfaringen fra praktisk bruk av betong er sammenholdt i dette temaheftet. Målet er å gi betongbrukere en kort innføring i de faktorer som ny viten har vist er viktige for å oppnå bestandige betongkonstruksjoner.

Norcem
Markedsavdelingen

GOD BETONG ER BESTANDIG



For byggherren vil det være en viktig forutsetning at det valgte byggematerialet beholder sin styrke og sitt utseende over den forutsatte livslengde uten store vedlikeholdsutgifter. Betong har gode forutsetninger for å tilfredsstille dette og har tradisjonelt blitt oppfattet som et nærmest evigvarende og vedlikeholdsfritt materiale. Senere års erfaringer har vist at dette ikke alltid er tilfellet. Feil betongsammensetning og mangelfull utførelse kan resultere i nedbryting over tid og kan forårsake kostbare reparasjoner.

Betong er et materiale som brukes til ulike formål innenfor bygg- og anleggsområdet. De miljøpåkjenningene som betong utsettes for vil derfor være av både forskjellig art og styrke. Et økende krav til kostnadseffektivitet fører til at nye produksjons- og produktkrav øker behovet for å spesialtilpasse betongreseptene.

Miljølastenes betydning

For å oppnå at betong også i framtiden bedømmes å være et bestandig materiale, må det fokuseres mer på miljølastenes betydning i forhold til de rene styrkekrav. Valg av betongresept/kvalitet må derfor foretas utifra en fastlegging av *kritisk belastning*.

Nytt avansert prøveutstyr og nye prøvemethoder sammen med felterfaringer fra skader på betong har gitt en langt bedre forståelse av årsak og virkning med hensyn til nedbryting av betong. Dagens materialtekniske kunnskap gjør det mulig å kompo-

ner betong som kan motstå de fleste aktuelle langtidsbelastninger på en god måte. En betong som både er forskriftsmessig produsert og utstøpt vil med all sannsynlighet gi konstruksjoner med ønsket bestandighet uten kostnadskrevennde beskyttende tiltak og store vedlikeholdskostnader.

Betong er et sammensatt materiale som ofte behandles i flere ledd, som alle kan ha sterk påvirkning på det endelige produktets egenskaper. Dette krever høyere materialkunnskap i alle ledd enn hva som er tilfellet med andre byggematerialer. De seneste års erfaringer har vist at kravene til god betongpraksis i alle ledd i byggeprosessen er en viktig forutsetning for å oppnå ønsket livslengde.

Hvordan de forskjellige nedbrytningsmekanismer påvirker betongmaterialet og hvordan man skal unngå negative effekter fra forskjellige belastninger er beskrevet i kapitlene:

ARMERINGSKORROSJON

ALKALIEREAKSJONER

FROSTBESTANDIGHET

KJEMISK BESTANDIGHET

Selv om de enkelte miljøpåkjenningenes nedbrytningsegenskaper kan være vesentlig forskjellig, har de alle en del felles forutsetninger. Disse vil bli omtalt innledningsvis.

Betongens tetthet hovedparameter

Betongens evne til å motstå nedbrytende krefter er i vesentlig grad avhengig av motstandsevnen til å transportere fukt og aggressiver, med andre ord tetthet/porøsitet. I betong som i andre steinmaterialer er det det tetteste materialet som er mest bestandig.

Betongens tetthet er i vesentlig grad styrt gjennom valg av og komponering av delmaterialer. Flere andre ledd i byggeprosessen påvirker også resultatet og vil ha betydning for den bestandighet som oppnås i den ferdige konstruksjonen (figur 1).

Viktig forutsetning for god bestandighet legges på prosjekteringsstadiet

Prosjekteringsforutsetningene er fastlagt i de nasjonale standarder, regelverk og forskrifter. Betongkonstruksjoner har den særegenhet at konstruksjonsdelene ofte produseres på selve byggeplassen. De antegninger som prosjekterende gjør, vil derfor på flere måter kunne påvirke sluttproduktets bestandighet. Det er derfor viktig at man i tillegg til standardkravene finner fram til løsninger slik at de iboende materialeegenskaper oppnås i praksis.

Følgende hovedpunkter bør inngå ved prosjektering:

- ▶ Begrense tilgangen på fukt og fukt-oppsamlende detaljer. Sørg for god avrenning/drenering.
- ▶ Velge tverrsnittutforming og armeringsføring/tetthet som tillater god komprimering med en betong av «normal» konsistens.
- ▶ Unngå kompliserte utforminger, med sårbare hjørner, vinkler med mer.
- ▶ Legge til rette for planlagt vedlikeholdsoppfølging, eventuelt muliggjøre utskifting av hardt belastede detaljer.
- ▶ Dimensjonere og velge materialer ut fra den angjeldende konstruksjonens totale kritiske belastning.

Materialvalget gir den potensielle bestandighet. Den parameter som har størst påvirkning på betongens potensielle bestandighet er masseforholdet eller som oftest vann/semmentforholdet (v/c -tallet). Ved $v/c = 0,40$ regner man med at det er tilstrekkelig vann i betongen til å hydratisere all sementen (omdanne all sementen til sementlim). Ved lavere vannmengder vil større eller mindre andeler av sementen foreligge som uhydratiserte korn. Høyere vannmengder fører til overskuddsvann. Dette overskuddsvannet vil danne kontinuerlige kapillærporer i betongen. Jo mer overskuddsvann, desto ugunstigere kapillærporesystem, noe som igjen muliggjør en kraftig øking av væske- og gasstransporten og dermed økt nedbrytningsfare. Figur 2 viser hvor kraftig økningen i kapillærporer og dermed fuktopp-tak er ved økende v/c -tall.

Utførelsen

De gode bestandighetsegenskapene som legges til grunn ved prosjekteringen må tas vare på gjennom utførelsesfasen.

Riktig armeringsføring og overdekning

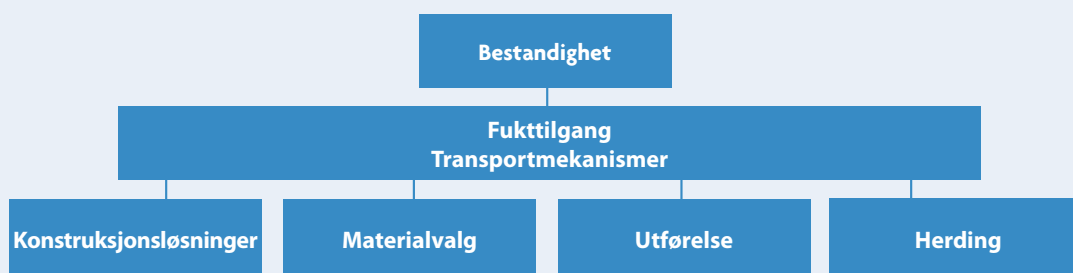
Det viktigste her er å overholde kravene til spesifisert overdekning. NS-EN 13670:2009+NA:2010 (Utførelse av betongkonstruksjoner) kan kreve at det skal tas hensyn til 10 mm toleranse ved leggingen. Krever f.eks. NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 (Prosjektering av betongkonstruksjoner) 25 mm minimums-overdekning, skal det enkelt sagt benyttes 35 mm armeringsstoler (nominell overdekning). For å unngå misforståelser, krever NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 at det er nominell overdekning som skal angis på tegningene.

I bestandighetssammenheng vil alltid overdekningen være den viktige delen av konstruksjonen.

Det er dette skiktet som skal beskytte armeringen mot korrosjon. Andre skademekanismer vil også stort sett starte sin nedbrytning fra betongoverflaten.

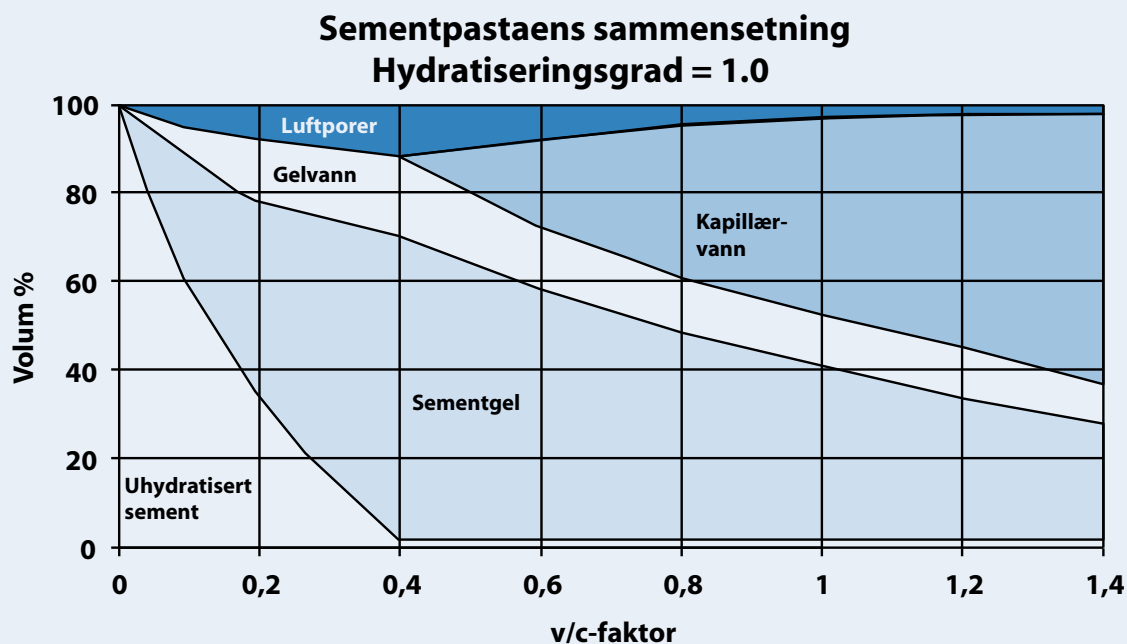
FIGUR 1

Betongens bestandighet påvirkes av fukttilstand.



FIGUR 2

Betongens poresystem er sterkt avhengig av masseforholdet (v/c-tallet).



God støpeligheit

Det er viktig at massen har en god stabilitet, slik at den ikke får lommer av betong av høgere v/c-tall og dermed en mer porøs struktur. God utstøping og komprimering, særlig i ytterskiktet og rundt armeringen, vil således være det mest vesentlige for lang levetid.

Etterbehandling

God etterbehandling er en forutsetning for at overdekningen skal oppnå ønsket tetthet og kvalitet for øvrig. Uttørring av betongens overflate i tidlig alder er negativt med hensyn på bestandighet. Membranherdner er ofte tilstrekkelig for å hindre dette og bidrar dermed til å sikre kvaliteten.

Membranherdner vil dessuten kunne hindre opprissing på grunn av plastisk svinn. For store temperaturforskjeller/gradienter fører til rissutvikling. I konstruksjoner som har strenge krav til bestandighet bør det gjennomføres en simulering av herdeforhold slik at man er sikker på at temperatur og fasthetsutvikling ligger innenfor akseptable grenser. Forhold som er nevnt over er spesielt viktige ved kompliserte støpeskjøter, massive konstruksjoner, tidlig riving av forskaling etc. Krav til beskyttelses- og herdingstiltak er gitt i NS-EN 13670:2009+NA:2010 (Utførelse av betongkonstruksjoner).

Bruksfasen

Betong har et godt ry som et bestandig byggemateriale. Alle vet at trekonstruksjoner bør behandles jevnlig med maling eller beis for å hindre råteangrep. Stålkonstruksjoner må males med jevne mellomrom for å hindre korrosjon. Betongkonstruksjoner bør også følges opp i bruksfasen. Ikke med overflatebehandling, men med jevnlig og planlagt inspeksjon for å kartlegge status slik at eventuelle vedlikeholdsarbeider kan planlegges i tide. Byggherrer bør gis informasjon om betydningen av kontinuerlig vedlikehold også for betongkonstruksjoner.

Bestandighetsklasser

Miljøpåvirkninger som betongen utsettes for er gitt som eksponeringsklasser i tabell 4.1 i NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008. Den samme tabellen er gjengitt som tabell i nasjonalt tillegg til NS-EN 206 (Betong: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar). Avhengig av nedbrytningsmekanisme, er de 19 klassene delt inn i 7 grupper som vist i tabell 1. Graden av miljøpåvirkningen innen hver gruppe er stort sett bestemt av konstruksjonsdelens fuktforhold.

Med unntak for klasse X0, vil konstruksjonen alltid være utsatt for flere nedbrytningsmekanismer samtidig. Tabell NA.12 i NS-EN 206 angir hvilke betongsammensetninger (bestandighetsklasser) som kan benyttes. Tabell NA.15 i NS-EN 206 gir sammenhengen mellom Bestandighetsklasser og Eksponeringsklasser.

Tabell 2 i denne brosjyren viser en forenklet sammenheng mellom eksponeringsklasse, bestandighetsklasse, kravene til de enkelte bestandighetsklassene og hvilke av Norcem sine sementkvaliteter som er egnet for de enkelte bestandighetsklassene.

Vi kan illustrere bruken av NS-EN 206 med et par eksempler: Et uoppvarmet parkeringsdekke vil være i eksponeringsklasse XC4, XD3 og XF4. En husfasade vil ofte være i eksponeringsklasse XC3 og XF1. Det uoppvarmede parkeringsdekket vil kreve en bestandighetsklasse M60, M45, MF45, M40 eller MF40 for å tilfredsstillere eksponeringsklasse XC4 (Tabell 2). For å motstå eksponering mot tinesalter (XD3), er det bare bestandighetsklassene MF40 og M40 som er tilstrekkelig motstandsdyktige. For å klare frosteksponeringen (XF4) er det bare bestandighetsklasse MF45 og MF40 som kan benyttes. Som en ser, er det kun bestandighetsklasse MF40 som gir tilfredsstillende beskyttelse mot den samlede eksponering, og det er denne som må benyttes.

For eksemplet med en husfasade, vil det tilsvarende resonnetet være at bestandighetsklasse M60, MF45, MF40 og M40 har tilstrekkelig motstand mot karbonatisering (XC3). De samme bestandighetsklassene tillates også benyttet for konstruksjoner som er utsatt for frost med moderat vannmetning (XF1). Det naturlige valget vil da være å velge den billigste kvaliteten blant dem som tilfredsstillere standarden, nemlig M60.

Tabell NA.4.4N i NS-EN 1992-1-1:2004 angir hvilken minimumsoverdekning armeringen skal ha i de enkelte eksponeringsklassene. Standarden gir anvisninger for både 50 og 100 års dimensjonerende levetid. Differensieringen kommer fram ved forskjellige krav til armeringsoverdekning, mens kravene til betongsammensetning holdes uforandret.



TABELL 1:**Klassifisering av konstruksjoner ut fra miljøbelastning**

Grad av belastning angis med nummer. For en mer detaljert oversikt av klasseinndelingen og beskrivelse av miljø, samt eksempler på hvor eksponeringsklassene kan forekomme, henvises det til NS-EN 206:2013+NA:2014

EKSPONERINGSKLASSER	
XO	Ingen risiko for korrosjon eller angrep
XC1-4	Korrosjon framkalt av karbonatisering
XD1-3	Korrosjon framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann
XS1-3	Korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann
XF1-4	Fryse-/tineangrep
XA1-4	Kjemisk angrep
XSA	Særlig aggressivt miljø

TABELL 2:**Bestandighetsklassene med tilhørende eksponeringsklasser og materialkrav**

Valg av bestandighetsklassene etter nasjonalt tillegg til NS-EN 206:2013+NA:2014

EKSPONERINGSKLASSE	BESTANDIGHETSKLASSE					
	M90	M60	M45	MF45 ³⁾	M40 ⁴⁾	MF40 ^{3,4)}
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XA1, XA2 ¹⁾ , XA4 ²⁾ , XD1, XS1			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ¹⁾					X	X
XSA ¹⁾	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstillende kravene til M40					
Største masseforhold v/(c+ Σ k p)	0.90	0.60 ⁵⁾	0.45	0.45	0.40	0.40
Minste luftinnhold i fersk betong	-	-	-	4%	-	4%
Minste effektive bindemiddel- mengde (c+ Σ k p) kg/m ³)	225	250	300	300	330	330
Tillatte sementer	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND

1) Om det i eksponeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn nedre grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes sulfatbestandig bindemiddel. (Tabell NA.13 i NS-EN 206:2013+NA:2014)

2) For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes minst 4% silikastøv.

3) For bestandighetsklasse MF45 og MF40 skal det anvendes frostsikkert tilslag.

4) Bindemidlet skal minst inneholde 6% silikastøv.

5) For STD FA og ANL FA er største masseforhold i M60 henholdsvis 0,54 og 0,55.

NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 stiller også krav til minste prosjekttert fasthetsklasse for armert betong. Disse krav er som følger: Fasthetsklasse B20 eller høyere, for lettbetong LB12 eller høyere.

Det stilles også krav om at det benyttes realistisk fasthetsklasse i forhold til den betongen som beskrives, blant annet som følge av Bestandighetsklasse. Tabell NA.E.IN i NS-EN 1992-1-1:2004

A dark, industrial interior scene featuring a staircase with a metal railing. A person is visible in the background, partially obscured by the structure. The lighting is dramatic, with a vertical light fixture illuminating the scene. The overall atmosphere is gritty and industrial.

ARMERINGSKORROSJON



ARMERINGSKORROSJON

Armeringskorrosjon er årsaken til de fleste større skader på betongkonstruksjoner. Armeringskorrosjon resulterer i rustfarging, sprekkdannelser, avskalling av betongoverdekningen og til sist konstruktiv svekkelse. Under normale forhold er den innstøpte armeringen beskyttet mot korrosjon (passivisert) på grunn av betongens høye alkalinitet (pH > 12,5). *Passiveringen kan oppheves gjennom karbonatisering eller ved for høyt kloridinnhold i betongen.*

Forløpet av armeringskorrosjon kan deles i to distinkte deler (figur 3): *Initieringsperioden* er den tiden det tar for å bryte passiveringen av armeringsstålet. Det vil si den tiden det tar før karbonatiseringsfronten har nådd armeringen eller den tiden det tar før kloridinnholdet ved armeringsstålet er tilstrekkelig høyt til at armeringen kan begynne å korrodere (ruste). *Korrosjonsperioden* er den tiden da korrosjon finner sted etter at passiveringen er opphevet.

Initiering gjennom karbonatisering

Luft inneholder ca. 0,03 volum % karbondioksid (CO₂). Karbondioksid kan diffundere mer eller mindre raskt innover i betongen. Den reagerer med betongens kalsiumhydroksid [Ca(OH)₂] og danner kalsiumkarbonat (CaCO₃).

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Denne prosessen kalles karbonatisering. Betongens pH reduseres gjennom dette fra > 12,5 til ca. 9. Betong med pH < 10 beskytter ikke lenger armeringen mot korrosjon.

Faktorer som påvirker karbonatiseringsprosessen

Tiden det tar for karbonatiseringsfronten å nå armeringsstålet er i første rekke avhengig av betongoverdekningens tykkelse og tetthet. Betongens fuktnivå vil også påvirke karbonatiseringen.

OVERDEKNINGENS TYKKELSE er den ene hovedparameteren som bestemmer lengden av initieringsperioden. Karbonatiseringsfronten trenger inn i betongen med en hastighet noe langsommere enn gitt ved en roten-av-tid funksjon. Figur 4 viser hvordan en halvering av en foreskrevet overdekning kan redusere initieringsperioden fra 100 år til 15 år.

OVERDEKNINGENS TETHET er den andre hovedparameteren som styrer karbonatiseringshastigheten. Flere faktorer er med å påvirke tettheten.

BINDEMIDLET (sementtype, pozzolaner) vil ha en viss effekt på karbonatiseringshastigheten. Tabell NA.12 i NS-EN 206:2013 + NA:2014 differensierer mellom ulike sementtyper i bestandighetsklasse M60. Silikastøv kan ha både positive og negative effekter på karbonatiseringshastigheten, avhengig av utnyttelsesgraden/doseringsmengden i forhold til sementmengden.

V/C-TALLET er den materialparameter som har størst effekt på tettheten og dermed karbonatiseringsprosessen. Ved vannmengder utover hydratiseringsbehovet for sementen ($v/c = 0,40$) dannes det store kapillærporer som øker permeabiliteten kraftig. Særlig er dette tilfellet for v/c -tall $> 0,60$ (figur 2).

DÅRLIG KOMPRIMERING – separasjon i massen – manglende etterbehandling resulterer ofte i at en potensielt god betong ender opp som en dårlig betong med høy permeabilitet, støpesår og riss i overdekningen. Figur 5 viser hvordan forskjellig herdebetingelser påvirker kapillærsug og altså mulighetene for karbonatisering. Dette viser at etterbehandlingen har stor effekt med hensyn til karbonatiseringshastigheten.

Effekt av miljøfaktorer

Betongens fuktnivå spiller en vesentlig rolle for karbonatiseringshastigheten. Karbonatiseringen skjer hurtigst ved 50 - 60% relativ fuktighet. Vannmettet betong og meget tørr betong karbonatiserer praktisk talt ikke.

Økende konsentrasjon av CO_2 i den omgivende luften øker karbonatiseringshastigheten.

Initiering gjennom klorider

Når kloridnivået ved armeringsoverflaten blir for høyt, vil stålets passiverende film ødelegges. Dette kan skje ved:

- ▶ Innblanding av klorider ved produksjonen av betong ved bruk av kloridbasert akselerator, sjøvann eller kloridforurenset tilslag.
- ▶ Diffusjon eller kapillærsuging av klorider fra overflaten på herdet betong ved konstruksjoner i sjøvann eller ved bruk av vegsalt.

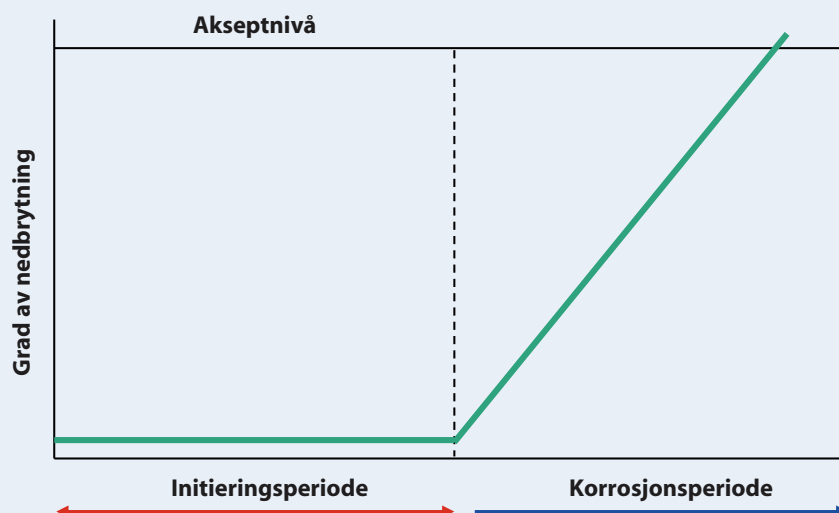
Faktorer som influerer på initieringshastigheten

Dersom kloridmengder tilsvarende grenseverdiene for korrosjon blandes inn i den ferske betongen, vil depassivering starte umiddelbart. Den tid det tar for å depassivere armeringsstålet ved inntrengning av klorider fra overflaten avhenger av:

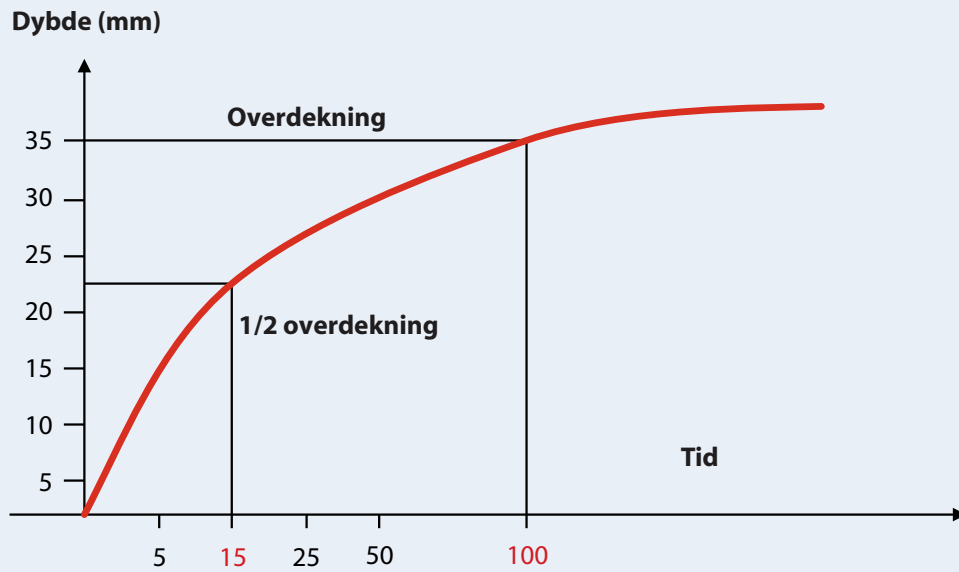
- ▶ Diffusjonshastigheten/kapillærsughastigheten av klorider.
- ▶ Betongens evne til å binde klorider.
- ▶ Nødvendig kloridnivå for depassivering.

FIGUR 3

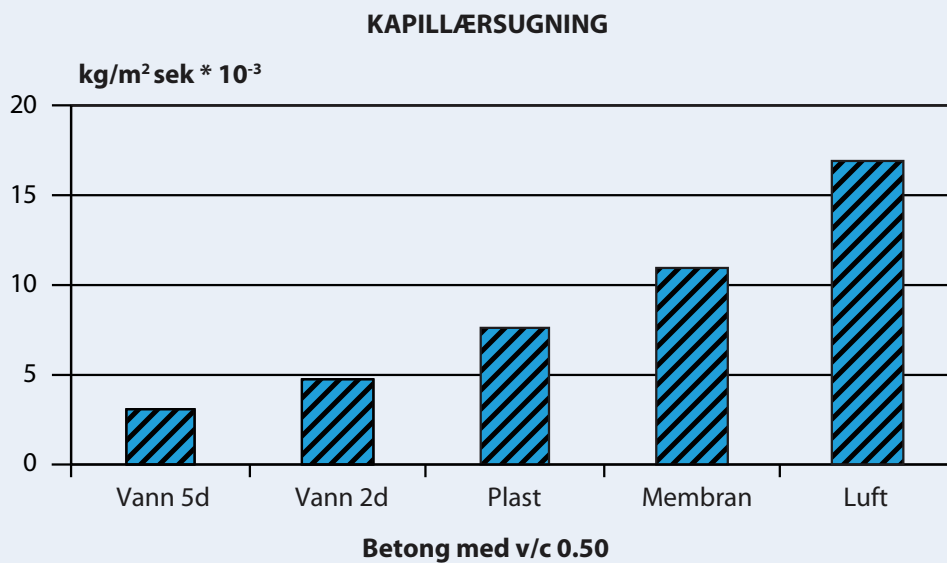
Forløpet av armeringskorrosjon.



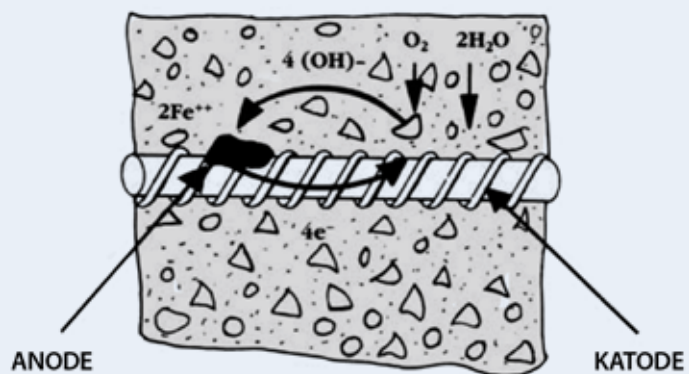
FIGUR 4 Overdekningens betydning for initieringstiden.



FIGUR 5 Effekt av varierende herdeforhold på betongens «tettethet».



FIGUR 6 Forenklet korrosjonsmodell.



TABELL 3:

Grenser for kloridterskelen	
CL-IONER I PROSENT AV SEMENTVEKT	KORROSJONSFARE
< 0,40*	Neglisjerbar
0,4 – 1,0	Mulig
1,0 – 2,0	Sannsynlig
> 2,0	Sikker

* Grense i henhold til NS-EN 206 for armert betong. For spennbetong er grensen < 0,10%.

De positive effekter som økende overdekning og god betongkvalitet gir mot karbonatisering, er også gyldig for å forlenge initieringsperioden ved kloridinn-trengning. Forholdene omkring korrosjonsinitiering på grunn av klorider er imidlertid mer sammensatt. Både bindingen av klorider og nødvendig grenseverdi er sterkt påvirket av bindemidlene (sementtype, pozzolaner som flygeaske og silika). Dette kommer klart fram i nasjonalt tillegg til NS-EN 206 Tabell NA.12, hvor bruk av slike innblandinger er et krav for de mest kloridutsatte konstruksjonene. Også betongens alkalinitet (pH) spiller inn. Det er ingen klare grenser for «kloridterskelen», men følgende grenser kan anvendes, se tabell 3.

Grenseverdiene for kloridnivået senkes i karbonatisert betong. Det er de frie klorider som er farlige med hensyn til initiering av korrosjon.

Korrosjonsperioden

Korrosjon av armeringsstålet i betong forårsakes av en elektrokjemisk prosess med anode og katode (figur 6).

Reaksjonsproduktet (rust) har større volum enn jernet, dermed oppstår en rustsprengning som kan forårsake sprekker, misfarging og avskalling av overdekningen. Korrosjonshastigheten bestemmes av tilgangen på oksygen gjennom overdekningen, av betongens ledningsevne og av temperaturen. Oksygentilgangen reduseres ved høy fuktighet mens ledningsevnen øker ved økende fuktighet.

Maksimal korrosjonshastighet skjer ved en fuktighet omkring 90 - 95%. Korrosjonshastigheten øker også ved økende temperatur. Dette betyr at det er særlig ved konstruksjoner som utsettes for en kombinasjon av høy relativ fuktighet og temperatur, at man bør påse at initieringsperioden er lang. Konstruksjonsdeler som er fullstendig neddykket i vann korroderer

vanligvis ikke på grunn av mangel på oksygen. Innvendige konstruksjoner som kan tørke ut tilstrekkelig har også liten korrosjonshastighet på grunn av høy elektrisk motstandsevne. Korrosjon initiert av karbonatisering har en sterkere tendens til å være fordelt langs ståloverflaten enn kloridinitiert korrosjon som har tendens til å gi lokale angrep (pitting). Rent konstruksjonsmessig er derfor den kloridinitierte korrosjonen farligst, siden ståltverrsnittet kan reduseres sterkt lokalt uten store synlige skader.



HVORDAN REDUSERE FAREN FOR ARMERINGS-KORROSJON

- ▶ Sikre god overdekning
- ▶ Unngå tvilsomme materialer, spesielt slike som tilfører klorider
- ▶ Lavt v/c-tall
- ▶ God konstruktiv utforming
- ▶ God utstøpning og etterbehandling
- ▶ Tilstandskontroll

ALKALIBESTANDIGHET





ALKALIBESTANDIGHET

Betong er et alkalisk materiale. Alkaliene i betongen kommer i alt vesentlig fra sementen som inneholder større eller mindre mengder alkalier i form av kalium og natriumoksider. Bli alkalinitivået for høyt vil enkelte tilslag reagere dersom konstruksjonen er fuktbelastet. Det dannes en gel som er voluminøs og kan forårsake rissdannelser og sprekker i betongen.

Skademekanismer

Selv om det fortsatt eksisterer noe motstridende formeninger om selve reaksjonsforløpet kan det oppsummeres slik:

Alkalier uttrykt som Na_2O ekvivalenter ($\text{Na}_2\text{O} + 0,66 \text{K}_2\text{O}$) og/eller OH-ioner trenger inn i tilslaget og reagerer med enkelte bergartsmineraler og danner en alkaligel. Denne ekspanderer kraftig ved ytterligere opptak av alkalier og vann. Alkalireaksjoner er

altså en kjemisk-fysisk prosess. Nedbrytningsmekanismene endres noe alt etter hva slags bergartsmineraler som inngår.

Typer reaktive bergarter

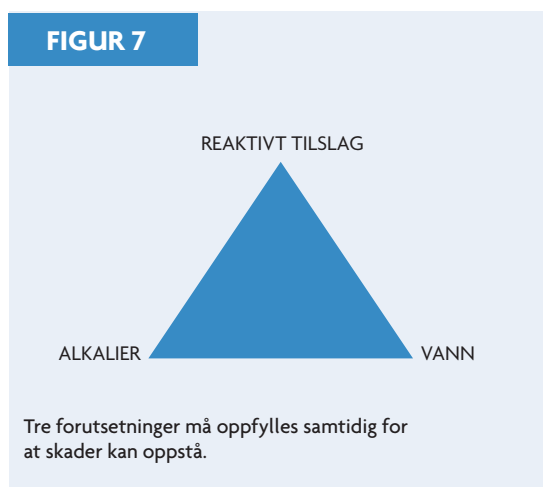
Amorfe, dvs. ikke-krystallinske, kvartsholdige bergarter er reaktive. Mest kjent av disse er opal fra Danmark, reaksjonen betegnes *alkalisilikareaksjon*. Også karbonatholdige bergarter kan reagere. Reaksjonen er betegnet *alkal karbonatreaksjon*. Den tredje gruppen utgjøres av silikatholdige bergarter delvis bestående av leirmineraler. Reaksjonen er betegnet *alkalisilikatreaksjon*. I løpet av 70- og 80-tallet ble det stadfestet at flere andre bergartstyper også kunne være reaktive. Både i Norge og for eksempel Canada fant man at bergarter som hadde «stabile» former for kvarts kunne være reaktive.

Alle kjente, reaktive bergarter i Norge tilhører den siste gruppen. Reaktiviteten og betingelsene for reaksjonen har vist seg vesentlig forskjellig fra de tidligere kjente gruppene. For å unngå sammenblanding med tidligere anvendte betegnelser kalles denne typen *alkalireaksjoner*.

Ved mindre mengde gel, blir den liggende i porer og riss uten å påføre skader. Større mengder gel som sveller kan forårsake et overtrykk som kan bli så stort at betongen revner lokalt. Alkalireaksjoner som gir skader på betong oppstår i betongens indre i form av volumutvidelse.

På overflaten vil det oppstå et meget typisk krakeleringsmønster. Typisk er også at rissene vil beholde et mørkt, fuktig utseende selv etter uttørking. Skadene kan grupperes i tre hovedområder:

- ▶ Overflateriss, negativ estetisk karakter.
- ▶ Mer eller mindre åpne riss som øker faren for følgeskader som frost, kloridinntrenging/armeringskorrosjon.
- ▶ Konstruktive skader, enten på grunn av selve volumøkningen eller på grunn av redusert bæreevne.



Faktorer som påvirker prosessen

Skadelige alkalireaksjoner i betong vil bare kunne oppstå dersom følgende tre faktorer er oppfylt samtidig (figur 7).

- ▶ Fuktighet over kritisk verdi.
- ▶ Alkaliaktivt tilslag.
- ▶ Alkaliinnhold over kritisk verdi.

Fuktinnhold i betongen

Betongen må inneholde fuktighet over et visst nivå før alkalireaksjoner vil finne sted. I Norge er denne grensen satt til 80% relativ fuktighet.

For betong som utsettes for regelmessig oppfuktning vil fuktinnholdet være tilstrekkelig for at reaksjonen skal kunne finne sted.

Betong eksponert i tørr atmosfære, relativ fuktighet $\leq 80\%$, anses som ikke reaktiv med hensyn til alkalireaksjoner.

Reaktivt norsk tilslag/deklarasjon

Norsk fjellgrunn er en kompleks blanding av bergarter med ulik opprinnelse:

Magmatiske – Sedimentære – Metamorfe.

Man kan ofte finne alle disse gruppene representert innenfor små lokale områder. Det samme gjelder også for våre løsmasser. Dette betyr at det vil kunne eksistere vesentlige lokale forskjeller med hensyn til tilslagets potensielle reaktivitet. Følgende bergarter har reagert i betongkonstruksjoner: Sandstein, siltstein/silt-leirstein/leirstein, mergel, gråvakke, mylonitt/kataklasitt, ryolitt, fylitt og kvartsitt (mikrokrySTALLIN). Følgende bergarter er av en slik karakter at de kan reagere i betongkonstruksjoner: Kvartsitt (fin-kornet), kvartsrik bergart, urein kalkstein og hornfels.

Tilslag til betong skal være undersøkt for mulig reaktivitet. Retningslinjene for testingen er gitt i henhold til Kontrollrådets bestemmelser for betongprodukter Klasse P.

TESTINGEN OMFATTER:

Tilslagsundersøkelsen gjøres etter metoder beskrevet i Norsk Betongforening Publikasjon nr. 32 «Alkalireaksjoner i betong. Prøvningsmetoder og krav til laboratorier» som omfatter:

- ▶ Petrografisk analyse (ved hjelp av tynnslip)
- ▶ Mørtelprismemetode
- ▶ Betongprismemetode

Kritisk grenseverdi for de ulike metodene sees i Norsk Betongforening Publikasjon nr. 21 «Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag». Tilslag som ikke er undersøkt skal behandles som reaktivt tilslag.

Kritisk alkalinitet

Reaktive tilslagsblandinger kan brukes dersom alkalinitetet er under de fastlagte kritiske verdier (tabell 4). Betongens alkaliinnhold bestemmes ut fra alkaliinnholdet fra sementen og fra tilsetningsstoffene. Alkaliinnhold fra øvrige delmaterialer som flygeaske, silikastøv, tilslag, vann samt fra eksterne kilder etter herding skal ikke tas med. Detaljerte retningslinjer er gitt i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 21 «Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag». I tilfeller med reaktivt tilslag forutsettes NS at NBs publikasjon følges.

TABELL 4:

Eksempel på kritiske alkalimengder ved bruk av forskjellige bindemidler. (Publikasjon nr. 21 «Bestendig Betong med Alkalireaktivt Tilslag», Norsk Betongforening). Komplette oversikt over ulike bindemidler og kritiske alkalimengder er gitt i NB21 Vedlegg C «Oversikt over bindemidlet dokumentert med hensyn til alkalireaktivitet». Dette vedlegget finnes på www.betong.net under publikasjoner/rapporter og publikasjon 21.

BINDEMIDDEL	TOTALT ALKALIINNHOOLD I BETONGEN
Portlandsement (klasse CEM I)	Na ₂ O ekv. ≤ 3,0 kg/m ³
*) Portlandblandingssement produsert i Kjøpsvik (klasse CEM II/B-M med flygeaskeinnhold > 17%)	Na ₂ O ekv. ≤ 7,0 kg/m ³
*) Portlandblandingssement produsert i Brevik (klasse CEM II/B-M med flygeaskeinnhold > 17%)	Na ₂ O ekv. ≤ 6,5 kg/m ³
***) Portlandsement + silikastøv (klasse CEM I kombinert med minst 10% silikastøv)	Na ₂ O ekv. ≤ 5,5 kg/m ³
Norcem Anleggsement FA, Portland flygeaskecement (klasse CEM II/A-V med flygeaskeinnhold > 17%)	Na ₂ O ekv. ≤ 3,0 kg ^{***})

For andre bindemidler se oversikt i NB21 Vedlegg C.
 *) Gjelder norskprodusert portlandblandingssement.
 **) Dersom innholdet av silikastøv er mindre enn 10% av sementen gjelder kravene til betongens totale alkaliinnhold som for portlandsement klasse CEM I (≤ 3,0 kg/m³).
 ***) Hvor kun alkaliene fra klinkerdelen teller med.
 UTREGNING: Sementmengde (kg/m³) x (1-0,17) (klinkerdel) x 0,006 (alk) ≤ 3,0 kg/m³

Kontroll/utbedring

En del betongkonstruksjoner utført med reaktivt tilslag og med et alkalnivå og fuktnivå over det kritiske har utviklet eller vil utvikle skader som beskrevet tidligere.

Krakelingsriss og tegn på volumøkning er viktige indikasjoner på tilstedeværelse av alkalireaksjoner. Krakelering kan imidlertid også skyldes volumendringer forårsaket av svinn eller fryse-/tinepåkjenninger. Den sistnevnte rissdannelsen er imidlertid i stor grad knyttet til overflaten i forhold til alkalreaksjon hvor rissene går inn i betongtverrsnittet. En skadebedømmelse ut fra betongoverflaten er derfor som oftest ikke tilstrekkelig.

Strukturanalyse er den eneste sikre metoden for å identifisere alkalireaksjoner i konstruksjoner. I Norge er alkalireaksjonen i stor grad forårsaket av steinfraksjonen og det er derfor nødvendig at boreprøvene for analyse er tilstrekkelig store og går i dybden. Det anbefales borkjerne med diameter 100 mm og lengde 300 mm. For å kunne stille en holdbar diagnose om mulige alkalireaksjoner er det viktig at dokumentasjonsgrunnlaget innbefatter både makro- og mikroundersøkelser. Man har i dag begrensede muligheter til å fullstendig stanse en alkalireaksjon når den først har kommet i gang. En mulighet er å senke det relative fuktnivået under 80%. Dette har vist seg vanskelig i praksis.

Før man setter i gang større utbedringsarbeider er det viktig at det foretas en grundig analyse, slik at mekanismer og konsekvenser er klarlagt. I motsatt fall kan man risikere å oppnå det motsatte av hensikten.



HVORDAN FJERNE FAREN FOR ALKALIREAKSJONER

En av følgende forutsetninger må tilfredsstilles:

- ▶ Ikke reaktivt tilslag.
- ▶ Lavalkalisement (ekv. Na₂O ≤ 0,6 vekt %).
- ▶ Maksimalt 3,0 kg alkalier/m³ betong.
- ▶ Norskprodusert portlandblandingssement (maksimalt 7,0 kg (Kjøpsvik) / 6,5 kg (Brevik) alkalier/m³ betong).
- ▶ Portlandsement CEM I tilsatt minimum 10% silikastøv av sementvekten (maksimalt 5,5 kg alkalier/m³ betong).
- ▶ NB21 Vedlegg C beskriver flere godkjente bindemidler.
- ▶ Redusere fuktnivået i konstruksjonen < 80%.



FROSTBESTANDIGHET



FROSTBESTANDIGHET

Betong inneholder et porevolum i størrelsesorden 120 - 180 liter pr. m³ betong. Porestørrelse og struktur er slik at disse porene lett fylles med vann. Dette vil særlig være tilfellet i overflaten i forbindelse med regn, snøsmelting eller i «skvalpesonen» for konstruksjoner i vann.

Ved frost utvides porevannet med ca. 9 volumprosent, en volumøkning som betongen må ta hånd om.

Skademekanismer

Det er framsatt flere frostsprengningsteorier, men ingen gir en fullgod forklaring av hva som skjer i praksis når fuktig betong utsettes for frost. Det hersker langt større enighet om hvilke material- og miljømessige faktorer som påvirker betongens frostbestandighet.

To hovedteorier eksisterer:

- ▶ **HYDRAULISK TRYKK TEORIEN**
er basert på at den volumøkning som finner sted når vann fryser vil føre til at is og vann presses vekk og mot luftfylte porer. Denne prosessen vil kunne forårsake indre spenninger og sprekkdannelser i det øyeblikk betongens strekkstyrke overskrides.
- ▶ **OSMOTISKE EFFEKTER**
bygger på at isdannelsen i de store porene medfører økt ionekonsentrasjon i det nærliggende vann (spesielt ved tilstedeværelsen av salt). For å utjevne dette vil vann fra om-liggende områder bevege seg mot isfronten og skape et overtrykk.

Faktorer som influerer på frostbestandigheten

Vår viten i øyeblikket gjør det ikke mulig å sette sammen en frostbestandig betong ut fra teoretiske betraktninger alene. Følgende hovedfaktorer inngår i bedømmelsen:

- ▶ Betongsammensetning/produksjonsforhold
- ▶ Konstruksjonens utforming/dimensjon
- ▶ Miljøfaktorer

Betongsammensetning

God luftporestruktur reduserer faren for frostskafer. De indre spenninger i betongen forårsaket av isdannelsen øker jo lenger avstanden er mellom luftporene. Avstanden mellom porene er derfor en viktig faktor for betongens frostmotstand (figur 8). Halve middellavstanden mellom porene benevnes avstandsfaktoren. Kvaliteten på luftporesystemet kan også angis som spesifikk overflate (mm^2/mm^3). I utlandet benyttes delvis absolutte tall på disse parametrene som krav i forbindelse med anleggsutførelse.

I Norge er det ikke bygget opp tilstrekkelig erfaring til å gjøre dette på generell basis. Normalt har betong et luftinnhold på ca. 1,5 – 2%. Denne «naturlige luften» vil gi en viss trykkavlastning som kan være tilstrekkelig under enkelte forhold. De naturlige luftporene er imidlertid som oftest for grove og er for ujevnt fordelt til å gi en tilstrekkelig frostbestandighet. Der hvor betong utsettes for vesentlig frostbelastninger, må betongens poresystem forbedres. Dette gjøres gjennom anvendelse av luftporedannede tilsetningsstoffer.

Kritisk luftmengde vil normalt ligge i området 3,5 – 7% avhengig av luftens fordeling. Luftinnførende tilsetningsstoff kreves når betong utsettes for frysing/tining i våt eller sterkt fuktig tilstand. *V/c-tallet* influerer på frostbestandigheten både direkte og indirekte. Lavere v/c-tall gir:

- ▶ Langsommere fuktopptak
- ▶ Mindre mengde frysbar vann
- ▶ Høyere strekkfasthet

Effekten av et redusert v/c-tall gjelder både for betong med og uten luftporetillsetning. Ved frost, rent vann og moderat vannmetning er kravet i NS at $v/c \leq 0,60$. Ved frost og høy vannmetning er kravet at $v/c \leq 0,45$, Tabell 1 og 2.

Utstøping

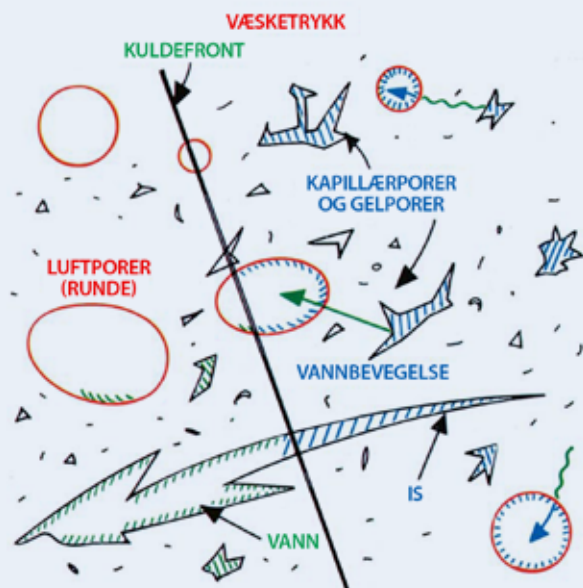
Frostbelastningen er særlig stor i overflaten. Det er derfor viktig å ha en betongsammensetning som er tilpasset konstruksjon og støpeutstyr slik at betongen i ytterskiktet blir av god kvalitet. Separasjon og dårlig komprimering vil gi en porøs og lite frostbestandig betong.

Etterbehandling/alder

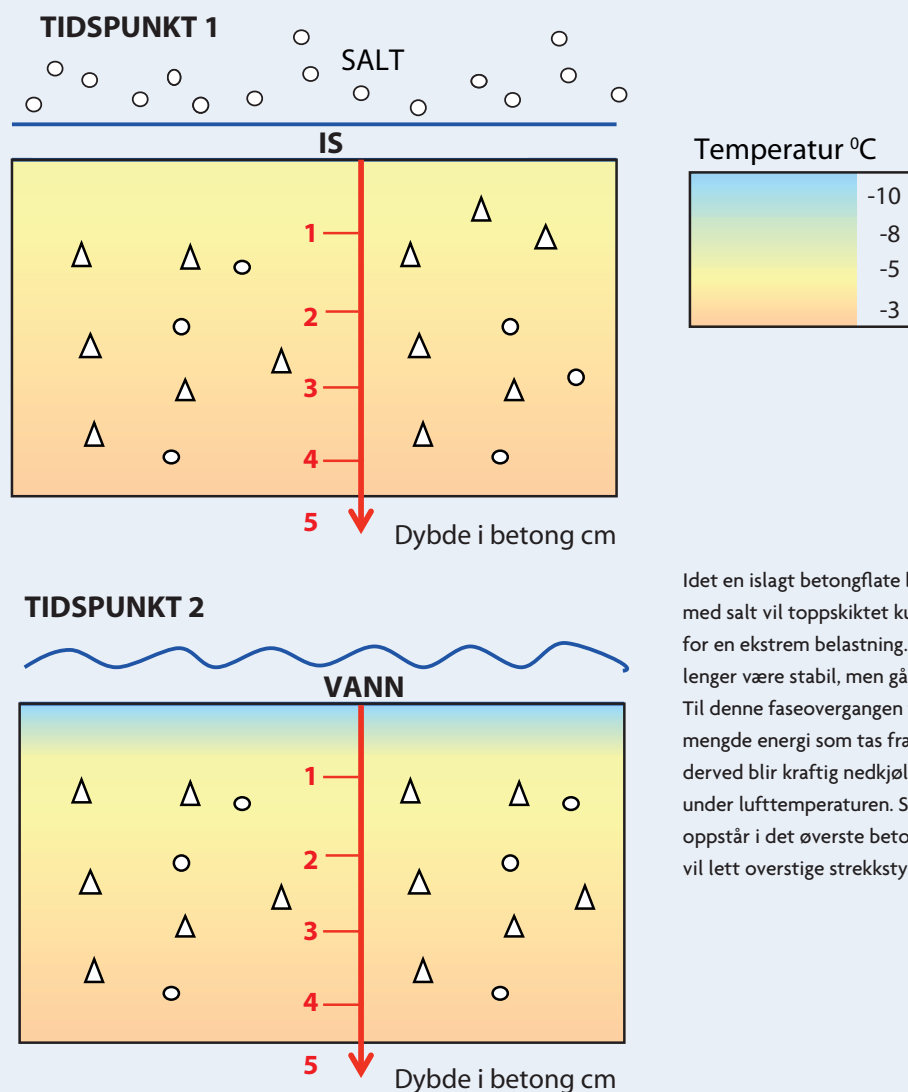
Etterbehandlingen av betong som senere utsettes for frost er vesentlig. Overflatebeskyttelse må anvendes for å hindre hurtig uttørking og dermed rissdannelser og en porøs ytterflate. Betongen bør være godt herdet før første frostsykel. Nødvendig herdetid øker ved høye v/c-tall og lavere temperaturer.

FIGUR 8

Betongen inneholder en rekke porer og strukturfeil. Når betongen fryser vil en del av vannet i disse hulrommene gå over til is, hvilket medfører en volumøkning – eller sprengvirkning. Den såkalte gelen er en svært finkornet struktur med så få hulrom at vannet aldri vil greie å fryse. Når betongen ellers er frossen vil gelen danne et sammenhengende «kanalsystem» med mulighet for vanntransport. Kapillærene – som er i stand til å suge vann inn i betongen – vil derimot fryse og gi opphav til et indre, hydraulisk trykk i betongen – dersom vannfyllingsgraden er 90% eller høyere. Luftporene imidlertid – som i virkeligheten er langt større (relativt sett) enn på tegningen – vil normalt ikke i utgangspunktet være vannfylte. Tvert imot reduserer de, på grunn av sin størrelse, betongens evne til å suge vann. Derimot fungerer de utmerket som sikkerhetsventil – hvis avstanden ikke er for stor – når kapillærene fryser. Vann det ikke er plass til i sprekker og porer rundt omkring presses gjennom gelen til nærmeste luftpore.



FIGUR 9



Idet en islagt betongflate blir bestrødd med salt vil toppskiktet kunne bli utsatt for en ekstrem belastning. Isen vil ikke lenger være stabil, men gå over til vann. Til denne faseovergangen trengs en stor mengde energi som tas fra underlaget, som derved blir kraftig nedkjølt – gjerne langt under lufttemperaturen. Spenningene som oppstår i det øverste betongskiktet, vil lett overstige strekkstyrken.

Konstruksjonen

Konstruksjonsdelens utforming og dimensjon kan være av relativ stor betydning. Blant annet vil fukttilstanden avhenge av dette. Dårlig drenering, drensvann langs konstruksjonen eller sprut av for eksempel saltvann medfører ofte belastninger og frostskafer hvor det ikke er forventet. Frostbelastningen er også avhengig av konstruksjonsdelens varmekapasitet.

Miljøfaktorer

FUKTTILSTAND OG HISTORIE

For en gitt betong eksisterer en «kritisk vannmetningsgrad». Ved fuktinnhold over denne vil betongen raskt brytes ned. Det er derfor viktig å

kartlegge det fuktinnhold betongen vil oppnå i praksis. Betongens fukthistorie er også en viktig faktor. Betongens frostbestandighet kan forbedres dersom den har gjennomgått en mild uttørring før den frostbelastes.

FRYSE-/TINEBELASTNING

Antallet frostsykler, avkjølingshastigheten, laveste frysetemperatur og tid tilbrakt ved frysetemperatur vil øke frostbelastningen.

TINESALTER

Tinesalter forsterker effekten av fryse-/tinesykluser i vesentlig grad (figur 9). Dette gir seg vanligvis utslag i overflateavskalling. Saltkonsentrasjoner omkring 3% gir maksimal skadeeffekt. Kombinasjonen frost/salt skjerper kravet til porestruktur og v/c-tall.

Produksjon av frostsikker betong

Frostsikker betong er en betong med tilfredsstillende tetthet og god porestruktur. En rekke faktorer vil influere på betongens endelige porestruktur i herdet betong.

Betongsammensetning

VALG AV TILSETNINGSSTOFF

Ulike L-stoffer kan gi vesentlige forskjeller i porestrukturen ved samme totale luftinnhold. Det er derfor viktig å lage forsøksblandinger for å kontrollere effekten av L-stoffet i den aktuelle betongen sammen med de aktuelle delmaterialer inklusive øvrige tilsetningsstoffer. Kombinasjonen L-stoff – forskjellige plastiserende stoffer kan gi varierende luftutvikling og stabilitet.

Sementen influerer på porestruktur/poredannelse ut fra type, finhet og mengde. Modifiserte sementtyper på flygeaskebasis (Norcem STD FA og ANL FA) krever høyere L-dosering enn tilsvarende rene portlandsementer for å oppnå samme luftmengde. Økt sementmengde gir redusert luft, men bedret porestruktur. Det samme gjør økt finmalingsgrad (Norcem Industrisement).

Silikastøv gir økt stabilitet og bedre porestruktur, men også silikatilsatt betong i vanlige fasthetsområder må tilsettes L-stoff for å sikre frostbestandighet.

TILSLAG

- ▶ Tilslaget må være frostbestandig.
- ▶ Finstoffet (filler) < 0,125 mm reduserer normalt luftinnholdet, men virker stabiliserende.
- ▶ Sandfraksjonen 0,125 - 0,50 mm bidrar vesentlig til økning av luftinnholdet. Øvre del av fraksjonen gir mindre stabil luft.
- ▶ Fraksjonene > 0,50 mm bidrar lite til utviklingen av porestrukturen.
- ▶ Konveks sandkurve gir den gunstigste porestrukturen.

Lave v/c-tall ut fra økt sementinnhold gir et mer finfordelt poresystem med redusert avstandsfaktor.

TØRRE BETONGER

gir lavere luftinnhold, men gir mindre fare for lufttap under transport og utstøping. Slike betonger gir mindre risiko for frostsikader (antagelig på grunn av redusert separasjon).

Blandeutstyr og blandetid

Det er vesentlige faktorer for å oppnå et stabilt poresystem. Vanligvis trengs en lenger blandetid enn det som anvendes for vanlig betongblanding.

Transport – utstøping

Luftporemengde og struktur vil påvirkes under transport. Det er derfor viktig at det anvendes samme transportprosedyre under støpearbeidet. Det må ved innblanding tas hensyn til endringene i luftinnhold under transporten.

Utsøpingsteknikken vil influere på porestrukturen. Overvibrering av massen vil gi ugunstige lufttap.



HVORDAN REDUSERE FAREN FOR FROSTSKADER

Lavt v/c-tall:

- ▶ $v/c < 0,60$ i rent vann, moderat vannmetning
- ▶ $v/c < 0,45$ i rent vann, høy vannmetning
- ▶ $v/c < 0,40$ i kombinasjon med salt

God luftporestruktur:

- ▶ Bruk godkjente L-stoff
- ▶ Tilstrekkelig høyt luftinnhold 3 - 6%

God utstøping og etterbehandling.

Minimaliser fukttilgangen.

A dark, industrial interior of a chemical plant. The scene is dominated by large, dark metal structures, pipes, and machinery. Several points of intense orange and yellow light are visible, suggesting high temperatures or active processes. A prominent feature is a large, curved pipe in the foreground, and another large pipe with a glowing orange light at its end is visible in the upper right. The overall atmosphere is one of a complex, high-tech industrial environment.

KJEMISK BESTANDIGHET



KJEMISK BESTANDIGHET

En riktig proporsjonert betong framstilt av bestandige tilslagsmaterialer, og gitt en god etterbehandling (herding), vil fungere tilfredsstillende under de fleste påkjenninger av kjemisk og mekanisk natur. Det vil imidlertid finnes miljøer hvor selv den mest motstandsdyktige betong vil brytes ned etter relativt kort tid.

Sure miljøer (syreangrep, lav pH) er et slikt område. Anvendelse av betong i slike miljøer vil kreve beskyttelse, Tabell 5. I andre områder som sulfatholdige, nitratholdige miljøer vil valg av bindemiddel (sement) ha meget stor betydning. NS-EN 206 gir anvisninger om tiltak for å beskytte betongen mot kjemiske angrep, se Tabell 1 og 2.

Mekanismer

Ved kjemiske angrep kan man skille mellom to hovedtyper av nedbryting:

- ▶ Oppløsning av betongens bindestoffer (sementlimet)
- ▶ Volumøkning i pastaen med påfølgende sprengning av betongen.

Betongens sårbarhet med hensyn til kjemisk nedbryting kan tilbakeføres til dens

- ▶ Permeabilitet
- ▶ Alkalinitet
- ▶ Reaktivitet

Viktige faktorer som påvirker dette er v/c-tall, herdebetingelser, sementtype og andre bindemidler som silika, flygeaske og slagg. Nedbrytnings-hastigheten vil påvirkes av flere faktorer knyttet til kjemikalienes aggressivitet og til miljøet:

- ▶ Type kjemisk stoff
- ▶ Konsentrasjon (pH, utskiftingshastighet).
- ▶ Kjemikalienes tilstand (fuktig, tørr). Tørre, ikke hygroskopiske kjemikalier vil for eksempel ikke angripe tørr betong.
- ▶ Temperatur (kjemisk aktivitet, permeabilitet). Den kjemiske aktiviteten tilnærmet dobles for hver 10°C.
- ▶ Uttørkingsforhold.

Utluting

Hydratasjonsproduktet kalsiumhydroksyd, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, som dannes når sement reagerer med vann vil brytes ned av bløtt vann dersom forholdene ligger til rette for det. Nedbrytingen blir forsterket dersom det bløte vannet også inneholder CO_2 . Oppløsningen og fjerning av kalsiumhydroksid fra betongen betegnes som utluting. Årsaken til utluting kan tilbakeføres til meget dårlige betongkvaliteter (høyt v/c-tall).

I tilknytning til tunneler, forstøtningsmurer o.l., hvor grunnvannet har tilgang til den ene siden av konstruksjonen kan utluting skje ved at vann som trenger gjennom betongen langs riss, i skjøter, eller i soner av porøs betong utløser kalk og transporterer denne til betongens overflate. Ved reaksjon med CO_2 dannes et hvitfarget belegg (kalsiumkarbonat) som gir et skjemmende inntrykk. Den konstruktive betydningen er imidlertid liten dersom betongen for øvrig er av vanlig god kvalitet.

Anbefalinger

Utluting av betong vil først kunne bli et konstruktivt problem i de tilfeller vann har mulighet for å «strømme» gjennom betongen. Ved et vann/sement forhold $< 0,55$, vil kalkutløsningen bare skje fra overflater i direkte kontakt med det aggressive vannet. Nedbrytingen vil i disse tilfellene gå svært langsomt, og er ufarlig.

Pozzolaner tilsatt i sementen (Norcem Anleggsement FA og Norcem Standardsement FA) eller i betongen (silikatilsetninger o.l.) vil minske faren for utluting. Problemene knyttet til utluting er først og fremst av estetisk karakter (misfarging) særlig i forbindelse med sprekker og skjøter. Problemet fjernes ved bruk av gode og tette fugeløsninger. Dessuten må støpesår og sprekke-dannelser unngås. For enkelte typer konstruksjoner vil eventuelle utlulingsproblemer fjernes ved god drenering. Skjemmende kalkutslag fjernes ved en vasking med uttynnet syre. Overflaten må deretter spyles grundig med rent vann.



Syreangrep

Betong framstilt av Portlandsement har generelt en dårlig motstandsevne mot syrer (lav pH). En god betongkvalitet vil imidlertid motstå svake syrer. Forskjellige syrers aggressivitet overfor betong varierer imidlertid kraftig, Tabell 5 og 6.

Nedbrytingen skjer ved at betongens bindestoffer (sementlimet) omdannes til nye, ikke bindene kjemiske forbindelser. Angrepet starter fra overflaten ved at mørtelen oppløses og vaskes bort slik at tilslaget frilegges. Syreangrepet betong vil derfor minne om en sandblåst betongoverflate. Løseligheten av de nye forbindelsene som dannes når syren reagerer er viktig med hensyn til den videre nedbrytningshastigheten. Dersom det dannede saltet har stor løselighet vil nedbrytningshastigheten økes vesentlig i miljøer med strømmende vann hvor reaksjonsproduktene raskt vil fjernes og dermed eksponere nye overflater for angrep.

For betongfundamenter, rørledninger mm. i aggressiv grunn hvor vanntransporten er meget liten, vil den aggressive væsken kunne nøytraliseres etter kort tid. For betong som utsettes for middels til sterke syreangrep må betongen ha et så lavt v/c-tall at kapillærporene blokkeres ($v/c \leq 0,45$). God herding før betongen eksponeres for syreangrep gir også meget positive resultater.

Alle portlandsementer vil over tid brytes ned dersom miljøet er surt nok uavhengig av type sement. Pozzolaner som silika, flygeaske og «slag» kan ha en viss positiv effekt. Dette skyldes antagelig den potensielle tetthetsøkning disse materialene gir ved gode herdeforhold.

TABELL 5:

Karakterisering av angrepsgrad ved syreangrep og anbefalte materialløsninger					
ANGREPSGRAD	INGEN	SVAK	MIDDELS	STERK	MEGET STERK
pH	> 6,5	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	4,5 – 4,0	< 4,0
Maks v/c	-	0,55	0,50	0,45	0,45
Sement-innhold kg/m ³		300	330	370	370

TABELL 6:

Forskjellige syrers aggressivitet			
SYREANGREP PÅ BETONG			
UORGANISKE SYRER		ORGANISKE SYRER	
NAVN OG FORMEL	ANGREPSGRAD	NAVN	ANGREPSGRAD
H ₂ SO ₄ Svovelsyre	***	Maursyre	*
H ₂ SO ₃ Svovelsyrling	***	Eddiksyre	**
HCl Saltsyre	****	Garvesyre	**
HNO ₃ Salpetersyre	****	Humussyre	*
H ₃ PO ₄ Fosforsyre	*	Melkesyre	**
H ₂ S Svovelvannstoff	**	Oksalsyre	0
H ₂ CO ₃ Karbonsyre	**	Vinsyre	0
HF Flussyre	**	Gjæringsstoffer	**

Ikke angrep = 0
Svakt angrep = *
Middels angrep = **
Sterkt angrep = ***
Meget sterkt angrep = ****

TABELL 7:

Betongaggressive salter			
BETONGAGGRESSIVE SALTER			
NAVN OG FORMEL	ANGREPSGRAD	NAVN OG FORMEL	ANGREPSGRAD
Na ₂ SO ₄ – K ₂ SO ₄ *** (Natrium-kaliumsulfat)	***		
(NH ₄) ₂ SO ₄ Ammoniumsulfat	****		
MgSO ₄ Magnesiumsulfat	****	NaNO ₃ - KNO ₃ Natrium-kalium-nitrat	0
CaSO ₄ Kalsiumsulfat	***	Ca(NO ₃) ₂ Kalsiumnitrat	0
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aluminiumsulfat	***	NH ₄ NO ₃ Ammoniumnitrat	***
Fe ₂ (SO ₄) ₃	****	CaHPO ₄ ** Superfosfat	**
Ikke angrep = 0 Svakt angrep = * Middels angrep = ** Sterkt angrep = *** Meget sterkt angrep = ****			

TABELL 8:

Karakterisering av angrepsgrad ved sulfatangrep og anbefalte materialløsninger					
ANGREPSGRAD	INGEN	SVAK	MIDDELS	STERK	MEGET STERK
Sulfat mg SO ₂ /l	< 200	200-600	600-3000	3000-6000	> 60000
Maks v/c	-	0,50	0,50	0,45	0,45
Sement kg/m ³	-	330	330	370	370
Sementtype	Vanlig	Vanlig	i)	i)	i)
Ekstra tiltak	-	-	-	-	Nødvendig
i) Bindemiddel gitt i Tabell NA.13 I NS-EN 206:2013+NA:2014					

Overflatebeskyttelse

Dersom angrepsgraden karakteriseres som meget sterk må det alltid anvendes en overflatebeskyttelse for å hindre kontakt mellom betongen og den aggressive væsken. Uansett hvilken løsning som velges kreves det meget stor utførelsesnøyaktighet. Sprekker eller skader i belegget kan føre til at betongen brytes ned upåaktet bak belegget og forårsaker store skader.

KRAV TIL BELEGG:

- ▶ Kunne anvendes under de rådende forhold på en sikker måte.
- ▶ Gi god heft til underlaget på kort og lang sikt.
- ▶ Motstå nedbrytingen i det aktuelle miljøet (kjemisk, mekanisk, temperatur).
- ▶ Påføres pore- og sprekkfritt.
- ▶ Kunne repareres på en fornuftig måte.
- ▶ Ta opp mindre deformasjoner (volumendringer) og bygge over mindre riss.

Overflatebeleggene stiller store krav til betongoverflaten ved påføring. Overflaten bør derfor sandblåses, høytrykkspyles eller syrevaskes. Valg av beskyttelsessystem må baseres på en kombinasjon av tidligere erfaringer og feltprøving under de aktuelle forhold.

Sulfat/Nitrat sprenging

Betong som utsettes for høye belastninger fra sulfater eller nitrater vil kunne sprenges i stykker, Tabell 7. Sulfatangrep kan forårsakes av naturlige aggressive grunnforhold (alunskifer Oslo-området), eller fra kjemisk industri som ved gjødningsframstilling (sulfater, nitrater). Nedbryting fra sulfater eller nitrater er vesentlig forskjellig fra syreangrep hvor hele limfasen tæres opp. Det er sementens innhold av aluminater (C₃A) som er den ustabile komponenten ved sulfat/nitrat angrep.

Sulfater og nitrater vil reagere med aluminatene i sementen. Ved denne reaksjonen dannes det reaksjonsprodukter som binder vann og får en stor volumøkning. I begynnelsen vil reaksjonsproduktene kun fylle opp poresystemet, og dermed gi en viss fasthetstilvekst. Etter hvert vil imidlertid reaksjonsproduktene gi et kraftig trykk som vil føre til en indre oppsprekking, og en fullstendig disintegrering av betongen over tid.

Hovedparametrene ved sprengningskorrosjoner:

- ▶ Løselige sulfater/nitrater
- ▶ Sementtype (mengde C_3A).
Betongens tetthet (v/c-tall, silikastøv)
- ▶ Nødvendig fukttilgang

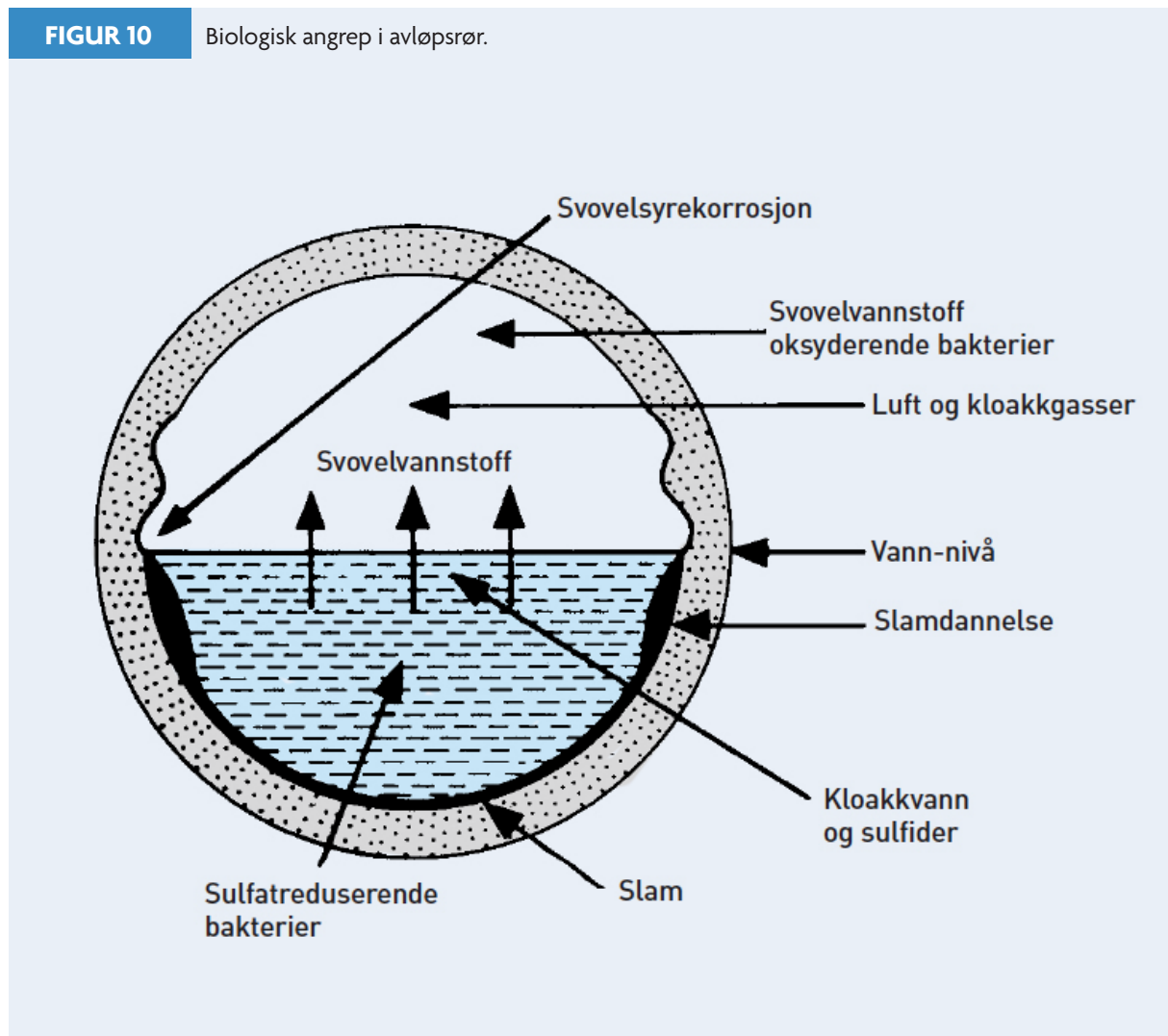
Sulfat/nitratspregning kan i all vesentlighet elimineres gjennom hensiktsmessig materialvalg, Tabell 8. Silikastøv har også vist seg å forbedre motstanden mot sulfat/nitrat angrep i vesentlig grad.

Biologisk nedbrytning

Betong kan angripes ved at bakterier skaper grunnlag for dannelse av svovelsyreangrep eller sulfatangrep. Slike angrep er mest kjent fra avløpsrør. Fra sulfater eller protein i kloakkvannet vil det kunne dannes hydrogen-sulfider. Gjennom oksydasjon vil det videre kunne dannes svovelsyre, som er sterkt aggressivt overfor betong. Betong vil kunne motstå et slikt angrep kun for en begrenset tidsperiode. Dersom det foreligger fare for denne type angrep må man redusere mulighetene for at svovelsyre vil dannes i kloakksystemet. Dette kan gjøres ved å sikre en god lufting og en god gjennomstrømningshastighet.

FIGUR 10

Biologisk angrep i avløpsrør.







Hovedkontor/Markedsavdelingen

Norcem A.S
Postboks 143 Lilleaker, 0216 Oslo
Telefon: 22 87 84 00
Telefax: 22 87 84 01

Forsknings- og Utviklingsavdeling - FoU

Norcem A.S
3950 Brevik
Telefon: 35 57 20 00
Telefax: 35 57 04 00

www.norcem.no

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group