



NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

www.norcem.no

God betong
er bestandig



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 på 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.

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 produktions- og produktkrav øker behovet for å spesialtilpasse betongreseptene.

Miljølastenes betydning

For å oppnå at betong også i fremtiden 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 feltefaringer 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 komponere 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 kostnadskrevende beskyttende tiltak og store vedlikeholdskostnader. Betong er et sammensatt materiale som ofte behandles i flere ledd, som alle kan ha sterk påvirkning på de 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 til-

legg til standardkravene finner fram til løsninger slik at de ideoende materialegenskaper oppnås i praksis. Følgende hovedpunkter bør inngå ved prosjektering:

- Begrense tilgangen på fukt og fuktopsamlende 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/semment-forholdet (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.

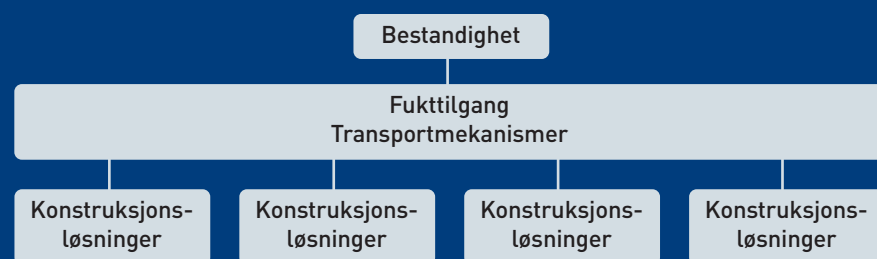
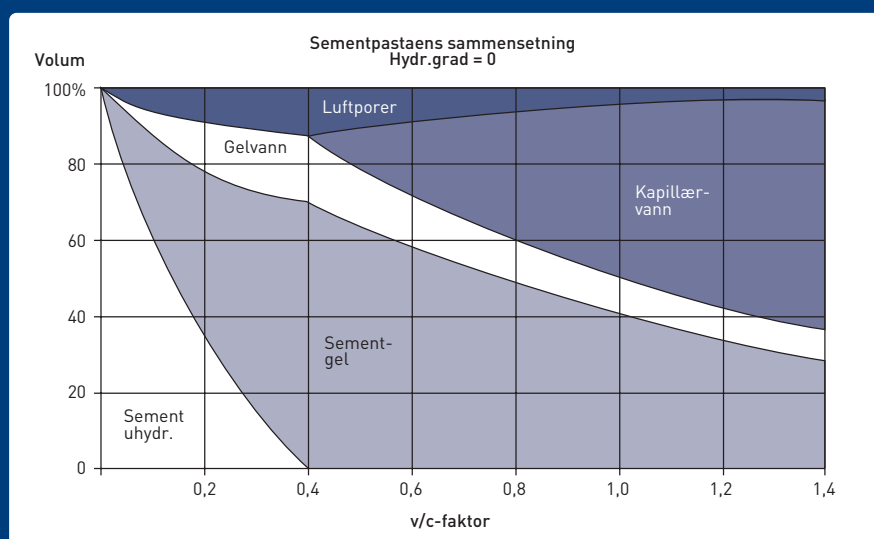


Fig. 1: Betongens bestandighet påvirkes av fukttilstand



Figur 2: Betongens poresystem er sterkt avhengig av masseforholdet (v/c-tallet).

Høyere vann-mengder fører til overskuddsvann. Dette overskuddsvannet vil danne kontinuerlige kapillærporer i betonglimet. Jo mer overskuddsvann, desto ugunstigere kapillær-poresystem, noe som igjen muliggjør en kraftig økning av væske- og gasstransporten og dermed økt nedbrytningsfare. Figur 2 viser hvor kraftig økningen i kapillærporer og dermed fuktoptak 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 3465 (Utførelse av betongkonstruksjoner) krever at det skal tas hensyn til 10 mm toleranse ved leggingen. Krever f.eks. NS 4373 (Prosjektering av betongkonstruksjoner) 25 mm minimumsoverdekning, skal det enkelt sagt benyttes 35 mm armeringsstoler (nominell overdekning). For å unngå misforståelser, krever NS 3473 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.

God støpelighet

Det er viktig at massen har en god stabilitet, slik at den ikke får lommer av betong av høyere 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.

Bruksfasen

Betong har et godt ry som et bestandig bygge-materiale. Alle vet at trekonstruksjon bør behandles jevnlig med maling eller beis for å hindre råte-angrep. 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. Bygg-herrer bør gis informasjon om betydningen av konti-nuerlig vedlikehold også for betongkonstruksjoner.

Bestandighetsklasser

Miljøpåvirkninger som betongen utsettes for er gitt som eksponeringsklasser i tabell 9 i NS 3473. Den samme tabellen er gjengitt som tabell NA.1 i internasjonalt tillegg til NS EN 206-1 (Betong Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar). Avhengig av nedbrytningsmekanisme, er de 19 klas-sene 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 nedbrytnings-mekanismer samtidig. Tabell 11 i NS 3473 angir hvilke betong-sammensetninger (bestandighetsklasser) som kan benyttes. Denne tabellen er også gjentatt i nasjonalt tillegg til NS EN 206-1 som tabell NA.10.

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

Vi kan illustrere bruken av NS-EN 206-1 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 bestan-dighetsklasse M60, M45, MF45, M40 eller MF40 for å

tilfredsstillende eksponeringsklasse XC4 (Tabell 2). For å motstå eksponering mot tinesalter (XD3), er det bare bestandighets-klasse MF40 og M40 som er tilstrekkelig motstandsdyktige. For å klare frost-eksponeringen (XF4) er det bare bestandighets-klasse 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.

F.eks. med en husfasade, vil det tilsvarende reson-nementet være at bestandighetsklasse M60, MF45, MF40 og M40 har tilstrekkelig motstand mot karbo-natisering (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 tilfredsstillende standarden, nemlig M60.

Tabell 15 i NS 3473 angir hvilken minimumsover-dekning armeringen skal ha i de enkelte ekspon-eringsklassene. Norsk standard gir anvisninger for både 50 og 100 års dimensjonerende levetid. Differensieringen kommer fram ved forskjellige krav til armeringsoverdekning, mens kravene til betong-sammensetning holdes uforandret.

NS3473 stiller i kap. 7.2 også krav til minste prosjektert fasthetsklasse for armert betong. Disse krav er som følger:

Bærende konstruksjoner

- Fasthetsklasse B20 eller høyere, for lettbetong LB12 eller høyere.

Spennarmerte konstruksjoner:

- Fasthetsklasse B30 eller høyere, for lettbetong LB30 eller høyere.

Det stilles også krav om at det benyttes realistisk fasthetsklasse i forhold til den betongen som beskri-ves, blant annet som følge av Bestandighetsklasse. Dette skal det tas hensyn til blant annet ved bereg-ning av også karakteristiske rissvidder. Disse begrenses i kap. 15.2 (Tabell 9).

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 206-1.

Eksponeringsklasser

X0	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 bestandighetsklasse etter nasjonalt tillegg til NS-EN 206-1.

Eksponeringsklasse	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45 ⁴	M40	MF40 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
XC2, 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+ \sum k p)	0.90	0.60	0.45	0.45	0.40	0.40
Minste luftinnhold i fersk betong	-	-	-	4 %	-	4 %
Minste effektive bindemiddelmengde (c+ \sum k p) kg/m ³	225	250	300	300	330	330
Tillatte sementer	STD FA STD ANL IND SR	STD FA STD ANL IND SR	STD FA STD ANL IND SR	STD FA STD ANL IND SR	STD FA STD ³⁾ ANL ³⁾ IND ³⁾ SR ³⁾	STD FA STD ³⁾ ANL ³⁾ IND ³⁾ SR ³⁾

1) Om det i eksponeringsklasse XA²⁾, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes sulfatbestandig sement (for eksempel Norcem SR).

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

3) Forutsatt mer enn 4% tilsetning av silikastøv.

4) For bestandighetsklasse M40 og MF40 skal det anvendes frostsikkert tilslag.



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 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 % kullsyre (CO₂). Kullsyre kan diffundere mer eller mindre raskt innover i betongen. Den reagerer med betongens kalsium-hydroksyd [Ca(OH)₂] og danner kalsium-karbonat (CaCO₃).



$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightleftharpoons CaCO_3 + H_2O$. 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 tetthet er den andre hovedparameteren som styrer karbonatiserings-hastigheten. Flere faktorer er med å påvirke tettheten.

Bindemidlet (sementtype, pozzolaner) vil ha en viss effekt på karbonatiserings-hastigheten. Norsk betongstandard differensierer imidlertid ikke mellom Norcems nåværende konstruksjonssementer. 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). Dette er også grenseverdien for Bestandighetsklasse M60 (Tabell 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.

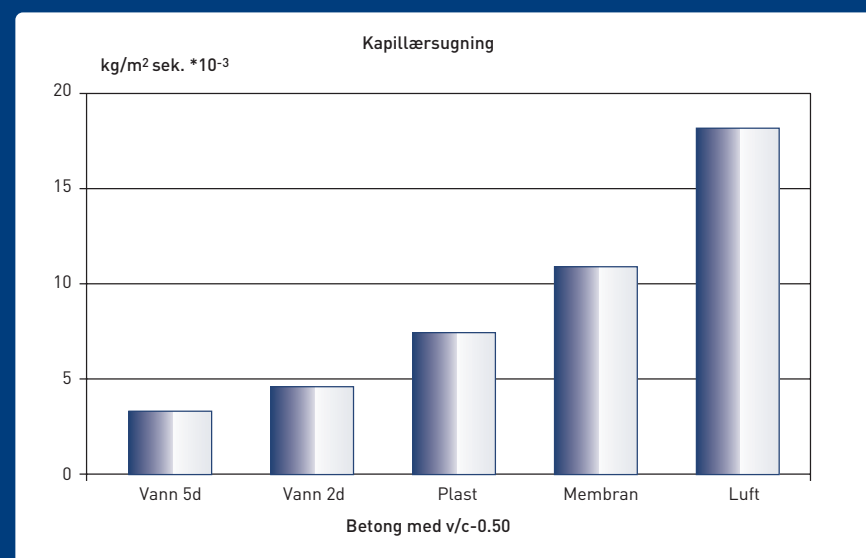
Effekt av miljøfaktorer

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.

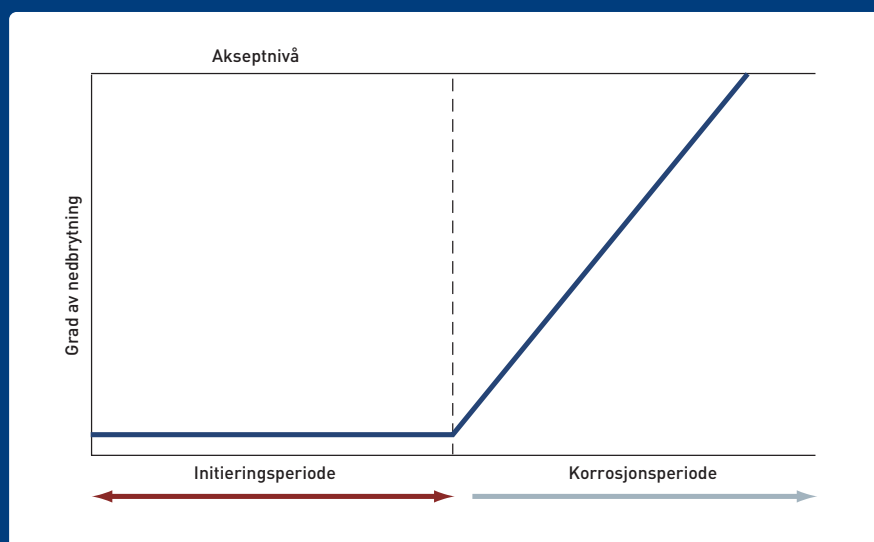
Økende konsentrasjon av CO_2 i den omgivende luften øker karbonatiseringshastigheten.

Initiering gjennom klorider

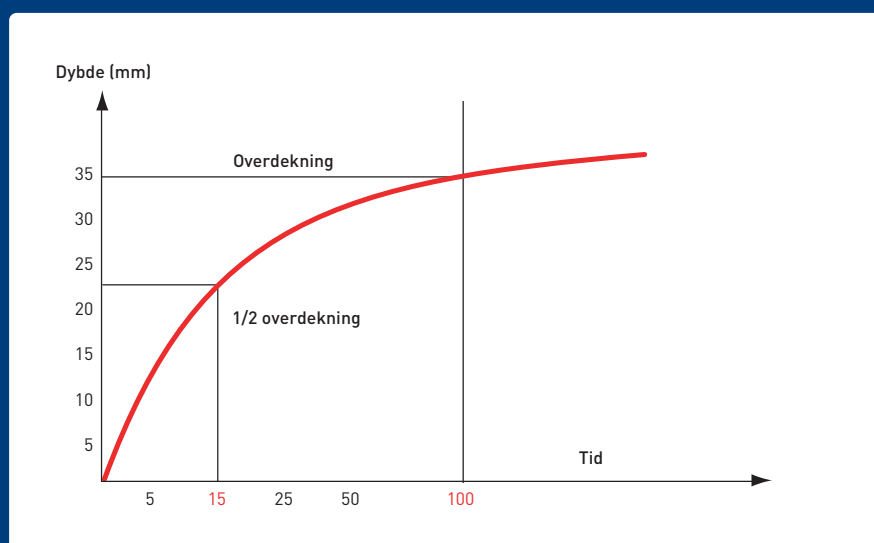
Når kloridnivået ved armeringsoverflaten blir for høyt, vil stålets passiverende film ødelegges.



Figur 5: Effekt av varierende herdeforhold på betongens "tetthet"



Figur 3: Forløpet av armeringskorrosjon.



Figur 4: Overdekningens betydning for initieringstiden.

Dette kan skje ved:

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

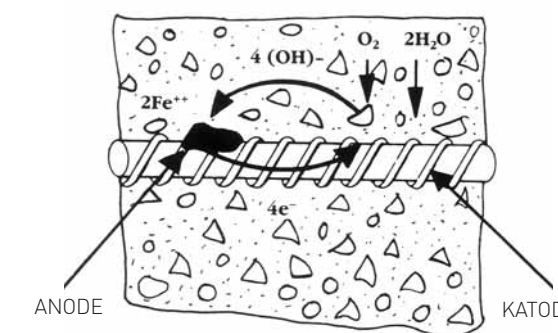
Faktorer som influerer på initieringshastigheten

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.

De positive effekter som økende overdekning og god betongkvalitet gir mot karbonatisering, er også gyldig for å forlenge initieringsperioden ved kloridinntrengning. Forholdene omkring korrosjons-

initiering på grunn av klorider er imidlertid mer sammensatt. Både bindingen av klorider og nødvendig grenseverdi er sterkt påvirket av bindemidlene (sementtype, pozzolaner som flyveaske og silika). Dette kommer klart fram i nasjonalt tillegg til NS EN 206-1 Tabell NA.9, 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 under.



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 206-1 for armeret betong. For spennbetong er grensen <0,10%. NS 3473 gir regler for valg av kloridklasse.



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 (se figur 6 på forrige side).

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 surstoff gjennom overdekningen, av betongens ledningsevne og av temperaturen. Surstofftilgangen 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 ARMERINGSKORROSJON

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



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. Blir alkalnivået 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 ($Na_2O + 0,66 K_2O$) 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 krakelermønster. Typisk er også at rissene vil beholde et mørkt, fuktig utseende selv etter uttørring. Skadene kan grupperes i tre hovedområder:

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



Figur 7: Tre forutsetninger må oppfylles samtidig for at skader kan oppstå.

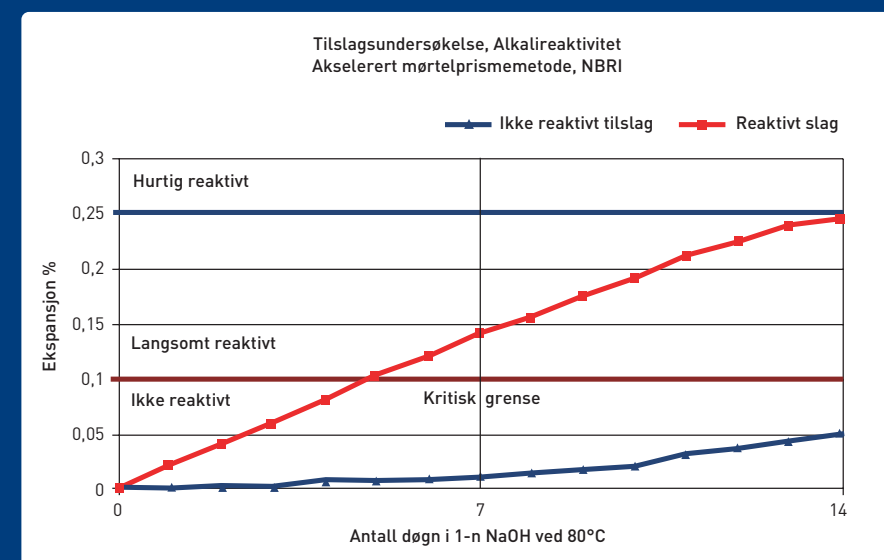


Fig. 8: Typisk ekspansjonskurve for reaktivt norsk tilslag etter sørafrikansk metode.

Tabell 4: Kritiske alkalimengder ved bruk av forskjellige bindemidler (Publikasjon nr. 21 "Bestendig Betong med Alkalireaktivt Tilslag", Norsk Betongforening).

Bindemiddel	Totalt alkaliinnhold i betongen
Portlandsement (klasse CEM I)	Na ₂ O ekv. < 3,0 kg/m ³
*] Portland flyveaskeement (klasse CEM II/A-V med flyveaskeinnhold > 17%)	Na ₂ O ekv. < 5,0 kg/m ³
Portlandsement kombinert med silikastøv (klasse CEM I kombinert med minst 10% silikastøv**)	Na ₂ O ekv. < 5,0 kg/m ³

*] Gjelder norskprodusert flyveaskeement. Andre blandingssementer i klasse CEM II kan godkjennes etter dokumentasjon gjennom funksjonsprøving.

**] 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).

Faktorer som påvirker prosessen

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

- Fuktighet over kritisk verdi.
- Alkalireaktivt 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 oppfukning vil fuktinnholdet være tilstrekkelig for at reaksjonen skal kunne finne sted.

Betong eksponert i tørr atmosfære, relativ fuktighet < 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 tilslag har vist reaktive tendenser: Rhyolitt, Sandstein, Kvartsitt, Gråvakke, Fyllitt, Leirskifer/Leir-Siltstein og Mergel, Myllonitt, Kataklasitt.

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:

Petrografisk analyse av tynnslip:

- Tilslaget er automatisk klarert dersom mengden risikobergarter er mindre enn 20 volumprosent.

Mørtelekspansjon sør-afrikansk metode:

- Tilslaget anses som ikke reaktivt dersom den målte ekspansjonen er mindre enn den gitte grenseverdi (<0,10%) etter 14 døgns eksponering.

Ved blanding av tilslag som er analysert enkeltvis er tilslaget definert som ikke reaktivt dersom beregnet innhold av risikobergarter er mindre enn 20 volumprosent i sandblandingen, mindre enn 20 volumprosent i steinblandingen, mindre enn 15 volumprosent i blandinger av ikke reaktiv stein og mulig reaktiv sand.

Tilslagsblandinger av mulig reaktiv stein og ikke reaktiv sand, bestemt ved petrografisk analyse, samt tilslag som ikke er undersøkt skal behandles som reaktivt tilslag.

Tilslagsblandinger som ikke tilfredsstiller kravene til beregnet innhold av risikobergarter gitt ovenfor, anses som ikke reaktive dersom prøvning etter sør-afrikansk mørtelprismemetode på den aktuelle tilslagsblandingen viser ekspansjon mindre enn 0,10% etter 14 døgns eksponering.

Kritisk alkalinitet

Reaktive tilslagsblandinger kan brukes dersom alkalinitetet er under de fastlagte kritiske verdier (tabell 3). Betongens alkaliinnhold bestemmes ut fra alkaliinnholdet fra sementen og fra tilsetningsstoffene. Alkaliinnhold fra øvrige delmaterialer som flyveaske, 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 alkali-reaktivt tilslag". I tillegg med reaktivt tilslag forutsettes NS at NBs publikasjon følges.

Kontroll/utbedring

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

Krakeleringsskisser 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 alkalireaksjon hvor rissene går inn i betongtverrsnittet. En skadebedømmelse ut fra betongoverflaten er derfor som oftest ikke tilstrekkelig.

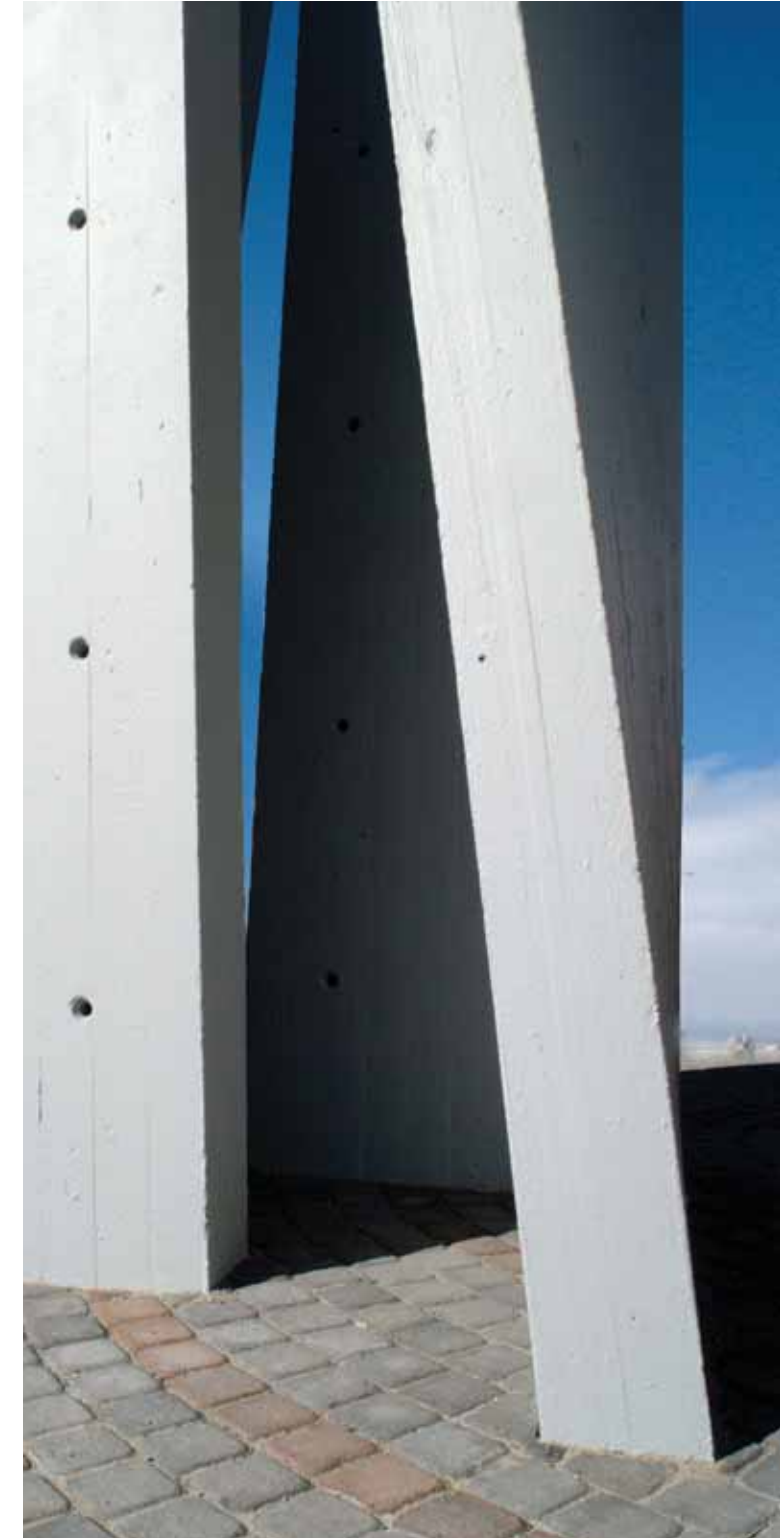
Strukturanalyse er den eneste sikre metoden for å identifisere alkalireaksjoner i konstruksjoner. I Norge er alkalireaksjonen i stor grad forårsaket av steinfraksjonen og det er derfor nødvendig at boreprøvene for analyse er tilstrekkelig store og går i dybden. Det anbefales borkjerne med diameter 100 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 fuktinitetet 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 flyveaskeement (maksimalt 5,0 kg alkalier/m³ betong)
- Tilsetning av minimum 10% silikastøv av sementvekten (maksimalt 5,0 kg alkalier/m³ betong)





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 omliggende 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 frostskaider. 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. Halve middelavstanden mellom porene benevnes avstands-faktoren. Kvaliteten på luftporesystemet kan også angis som spesifikk overflate [mm^2 over 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.

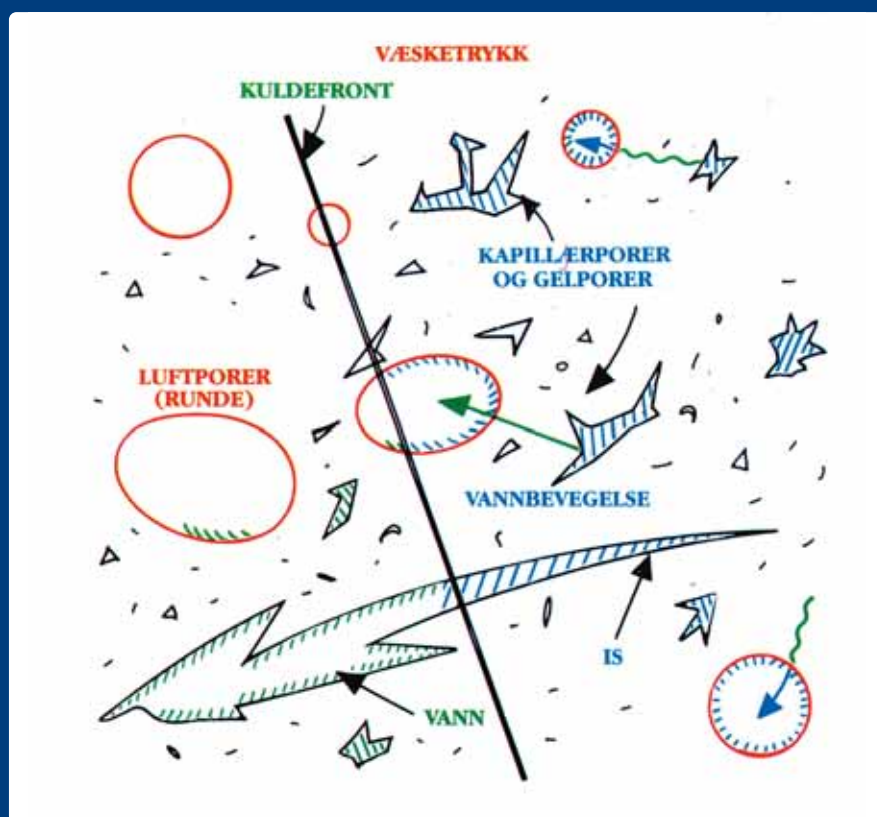


Fig. 9: Betongen inneholder en rekke porer og strukturfeil. Når betongen fryser vil en del av vannet i disse hulrommene gå over til is, hvilket medfører en volumøkning – eller sprengvirkning. Den såkalte gelen er en svært finkornet struktur med så få hulrom at vannet aldri vil greie å fryse. Når betongen 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.

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 fuktoptak
- Mindre mengde frysbar vann
- Høyere strekkfasthet

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

Utstøping

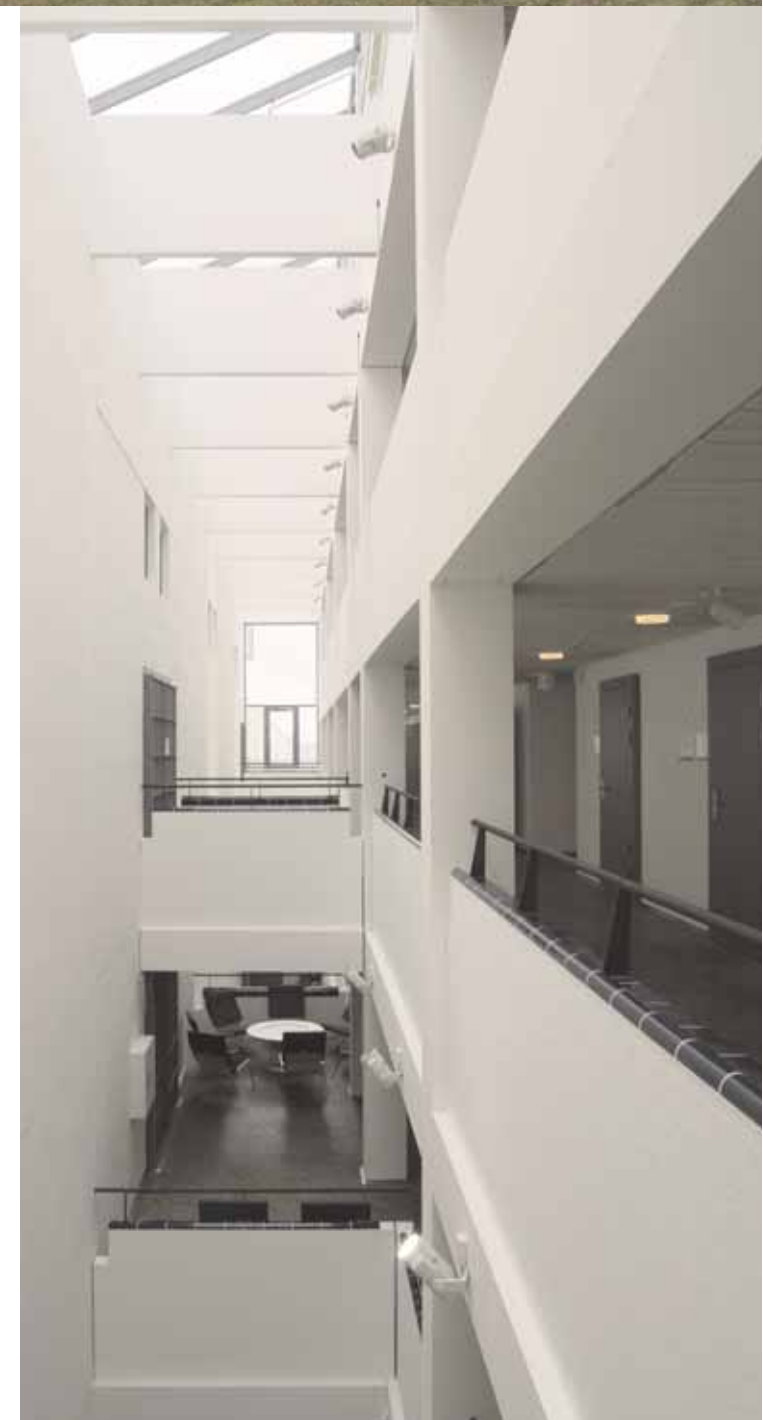
Frostbelastningen er særlig stor i overflaten. Det er derfor viktig å ha en betongsammensetning som er tilpasset konstruksjon og støpeutstyr slik at betongen i yterskiktet blir av god kvalitet. Separasjon og dårlig komprimering vil gi en porøs og lite frostbestandig betong.

Etterbehandling/alder

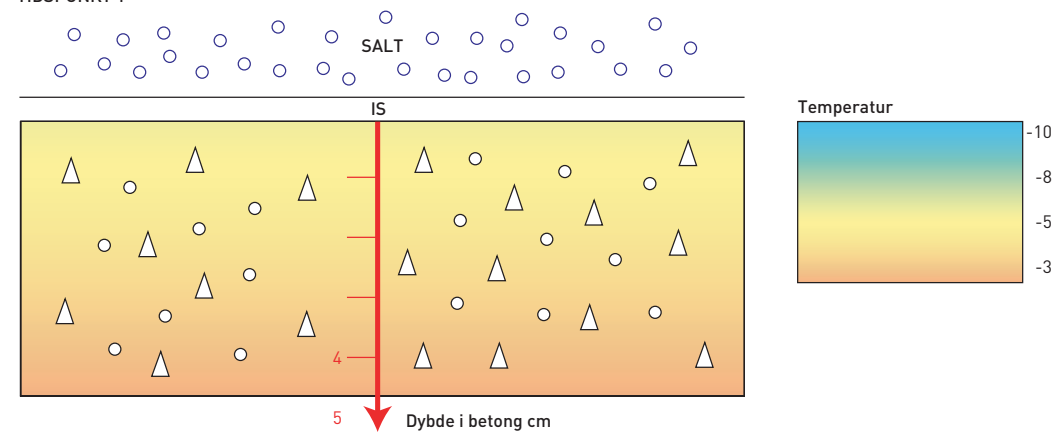
Etterbehandlingen av betong som senere utsettes for frost er vesentlig. Overflatebeskyttelse må anvendes for å hindre hurtig uttørring og dermed rissdannelser og en porøs ytterflate. Betongen bør være godt herdet før første frostsykel. Nødvendig herdetid øker ved høye v/c-tall og lavere temperaturer.

Konstruksjonen

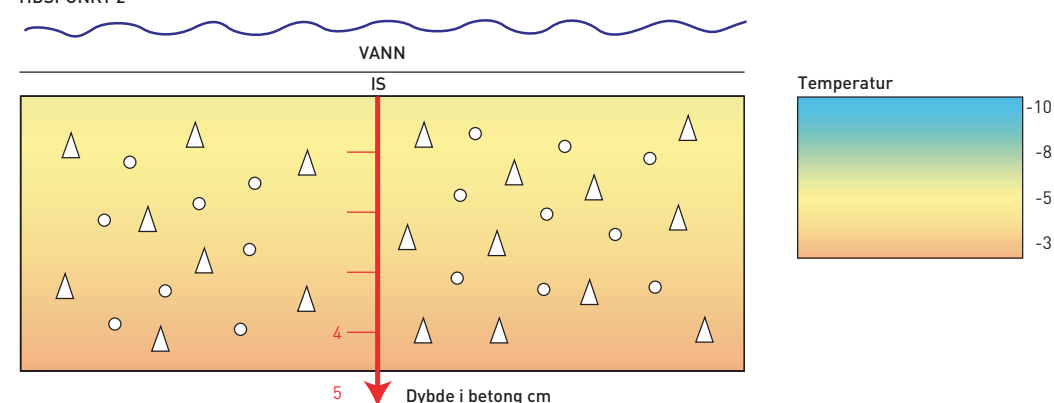
Konstruksjonsdelens utforming og dimensjon kan være av relativ stor betydning. Blant annet vil fukttilstanden avhenge av dette. Dårlig drenering, drems-



TIDSPUNKT 1



TIDSPUNKT 2



Figur 10: 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.

vann 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

Fuktilstand 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. 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 flyveaskebasis (Norcem Standard FA) krever høyere L-dosering enn tilsvarende rene portland-sementer 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 frostskafer (antagelig på grunn av redusert separasjon).

Blandeutstyr og blandetid

Dette 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 innblandingen tas hensyn til endringene i luftinnhold under transporten. Utstøpingsteknikken vil influere på porestrukturen. Overvibrering av massen vil gi ugunstige lufttap.

HVORDAN REDUSERE FAREN FOR FROTSKADER

Lavt v/c-tall:

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

GOD LUFTPORESTRUKTUR:

- Bruk godkjente L-stoff
- Tilstrekkelig høyt luftinnhold 4-5%

God utstøping og etterbehandling.

Minimaliser fuktilgangen.



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 4. I andre områder som sulfatholdige, nitratholdige miljøer vil valg av bindemiddel (sement) ha meget stor betydning. NS-EN 206-1 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 (betonglimet)
- Volumøkning i pastaen med påfølgende sprenning 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, flyveaske og slagg. Nedbrytningshastigheten 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

Hydrasjonsproduktet kalsiumhydroksyd, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, som dannes når sement reagerer med vann vil brytes ned av bløtt vann dersom forholdene ligger

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	Angrepsgrad
Na ₂ SO ₄ – K ₂ SO ₄ (Natrium-kalsium sulfat)	***		
(NH ₄) ₂ SO ₄ Ammoniumsulfat	****		
MgSO ₄ Magnesiumsulfat	****	Na NO ₃ -NKO ₃ Natrium-kalsium-nitrat	0
CaSO ₃ Kalsiumsulfat	***	Ca (NO ₃) Kalsiumnitrat	0
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aluminiumsulfat	***	NH ₃ NO ₄ Ammoniumnitrat	***
Fe ₂ (SO ₄) ₃ Jernsulfat	****	CaHPO ₄ ** Superfosfat	**

Tabell 8: Karakterisering av angrepsgrad ved sulfatangrep og anbefalte materialløsninger

Angrepsgrad	Ingen	Svak	Middels	Sterk	Meget sterk
Sulfat mg SO ₂ -/kg	<200	200-600	600-3000	3000-6000	>60000
Maks v/c	-	0,5	0,5	0,45	0,45
Sement kg/m ³	-	330	330	370	370
Sementtype	Vanlig	Vanlig	SR	SR	SR
Ekstra tiltak	-	-	-	-	Nødvendig

til rette for det. Nedbrytingen blir forsterket dersom det bløte vannet også inneholder kullsyre. Oppløsningen og fjerning av kalsiumhydroksyd 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 kullsyre 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 et aggressive vannet. Nedbrytingen vil i disse tilfellene gå svært langsomt, og er ufarlig. Pozzolaner tilsatt i sementen (Norcem Standardsement FA) eller i betongen (silikattilsetninger 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 sprekkdannelser unngås. For enkelte typer konstruksjoner vil eventuelle utlutingsproblemer 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





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, temperatu).
- 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-sprengning

Betong som utsettes for høye belastninger fra sulfater eller nitrater vil kunne sprenges i stykker, Tabell 6. 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 disintegrasjon av betongen over tid.

Hovedparametrene ved sprengningskorrosjoner:

- Løselige sulfater/nitrater
- Sementtype (mengde C3A). Betongens tetthet (v/c-tall, silikastøv)
- Nødvendig fukttilgang

Sulfat/Nitrat sprengning kan i all vesentlighet elimineres gjennom hensiktsmessig materialvalg, Tabell 7. Norcem SR sement anbefales brukt hvor det er fare for sulfat/nitrat angrep. 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 hydrogensulfider. 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.



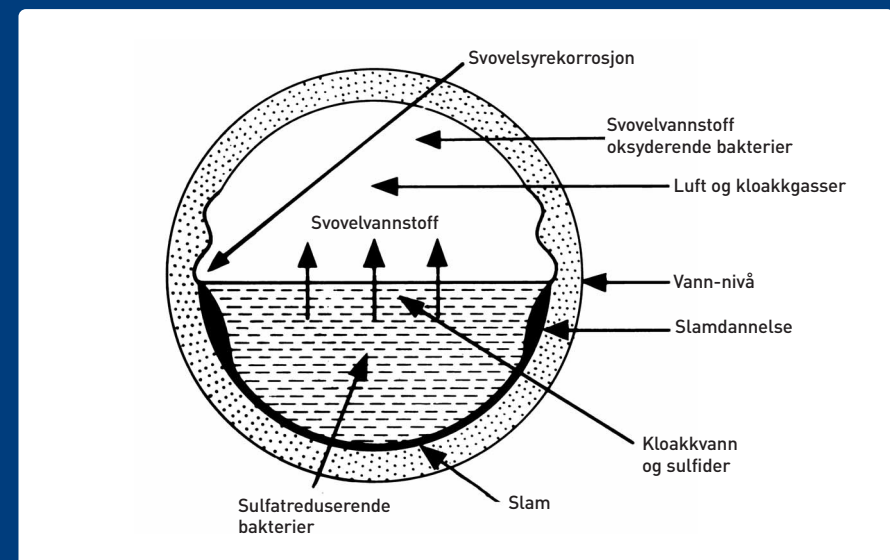
varierer imidlertid kraftig, Tabell 5. Nedbrytingen skjer ved at betongens bindestoffer (sementlimet) omdannes til nye, ikke bindende kjemiske forbindelser. Angrepet starter fra overflaten ved at mørtelen oppløses og vaskes bort slik at tilslaget frilegges. Syreangrepet betong vil derfor minne om en 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 ($v/c < 0,45$). God herding før betongen eksponeres for syreangrep gir også meget positive resultater.

Alle portlandsementer vil over tid brytes ned dersom miljøet er surt nok. Ved syreangrep vil typen sement ikke komme inn på samme måte som for eksempel ved sprengningskorrosjon som omtales senere. Pozzolaner som silika, flyveaske og "slag" kan ha en viss positiv effekt. Dette skyldes antagelig den potensielle tetthetsøkning disse materialene gir ved gode herdeforhold.

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 utførselsnøyaktighet.



Figur 11: Biologisk angrep i avløpsrør.

