

Statens Byggeforskningsinstitut  
Bibliotekseksemplar 1

*Alkaliudvalgets vejledning 1*

FORELØBIG VEJLEDNING I FOREBYGGELSE AF  
SKADELIGE ALKALIKISELREAKTIONER I BETON

UDGIVET AF STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG · KØBENHAVN 1961

## SBI-anvisninger

er byggeforskningens resultater i praktisk form til brug ved projektering og byggeri. Nedenstående fortegnelse omfatter kun anvisninger, der endnu ikke er udsolgt.

- 5: *Bedre varmeisolerings er billigere*. 1950. 47 p. A4. Kr. 3,-.
  - 6: *Fugt i nye huse*. Plakat til ophængning. 1949. 10. opl. 1960. A4. Kr. 5,- pr. 100 expl.
  - 7: *Fugt og isolering*, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1951. 2. reviderede udgave 1957. 111 p. A4. Kr. 8,-.
  - 8: *Brug og valg af betonblandere*, Niels H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. 1951. 66 p. A5. Kr. 3,-.
  - 10: *Kunstig belysning på byggepladser*, Jens Thorsen og Mogens Voltelen. 1951. 2. udg. 1953. 20 p. A5. Kr. 2,-.
  - 11: *Omsætningsmål for trædimensioner*. 1951. 1 p. A4. (Udsolgt). Udsendt 1957 som DS 1002: Normaldimensioner på høvlet fyrretræ.
  - 13: *Byggeprisens bestanddele beregnet ved et 3-etagers boligbyggeri i provinsen i april 1951*. 1952. 5. oplag 1960. 28 p. A5. Kr. 2,-.
  - 15: *Dækforme i boligbyggeri*. 1955. 62 p. A5. Kr. 3,-.
  - 16: *Mekaniseret håndværktøj på byggepladsen*, Fleming Nielsen. 1955. 48 p. A5. Kr. 4,-.
  - 17: *Betonstøbning om vinteren*, Poul Nerenst, Erik Rastrup og Gunnar M. Idorn. 1953. 2. reviderede udgave 1958. 91 p. A5. Kr. 8,-.
  - 20: *Undgå fugt*. Folder til ophængning. 1954. 3 p. A6. 1. stk.: kr. 0,40. 100 stk.: kr. 25,-.
  - 21: *Hvilket dæk?* Folder til ophængning. 1954. 20 p. A5. Kr. 2,50.
  - 22: *Normalvinduer af træ*, Poul Kjergaard. 1955. 128 p. A4. 6 stk. tillæg A4. Pris incl. 6 tillæg: kr. 28,-. Med 1 tillæg: kr. 22,-. Tillæg pr. stk. kr. 1,50. 4 tillæg er 1958 udsolgt og udsendt som Dansk standard. B 3. 0: DS 1006, B 4. 0: DS 1007, B 4. 9: DS 1008, D 2. 0: DS 1009.
  - 23: *Vinterbyggeri*. Folder til ophængning. 1953. 16 p. A5. 1 stk.: kr. 1,-. 100 stk.: kr. 50,-.
  - 24: *Udarbejdelse af instruks for varmemestre*, Poul Becher og Frederik Olsen. 1953. 16 p. A5. 1 stk.: kr. 2,-. 50 stk.: kr. 50,-.
  - 25: *Simpelt regnskabsystem for murermestre*, Fleming Nielsen. 1954. 2. oplag 1956. 24 p. A5. Pris incl. prøvesæt af formularer i samlemappe kr. 5,-. Blokke med regnskabsblade til for- og efterkalkulation kan købes særskilt.
  - 26: *Plan over byggepladsen*. 1956. 30 p. A5. Kr. 4,-.
  - 27: *Vejledning i betonkontrol*. 1956. 122 p. A5. Kr. 12,-.
  - 28: *Bygningsfundering*, ved Geoteknisk Institut. 1955. 2. oplag 1959. 82 p. A5. Kr. 4,-.
  - 29: *SBI betonberegner*, Poul Nerenst og Johannes Landbo. 1955. Plasticskyder med tilhørende vejledning. A6 og A5. Kr. 4,-.
  - 30: *Beslaglister til normalvinduer af træ*, Klaus Blach og Johannes Brixen. 1956. 28 p. A5. Kr. 4,-.
  - 31: *Møbleringsplaner*, ved »Byggebogen«. 1956. 2. opl. 1958. 24 p. A5, med indlagte fortegninger i mål 1:100, 4 ark A5. Kr. 4,-. Fortegninger i mål 1:50, 4 ark A3, kan købes særskilt for kr. 4,- pr. sæt.
  - 32: *Tårnkraner ved traditionelt boligbyggeri*, John Brøndum Hillers. 1956. 78 p. A5. Kr. 4,-.
  - 33: *Luftindblandet beton*, Erik V. Meyer. 1955. 32 p. A5. Kr. 2,50.
  - 34: *Byggeriets modul-ABC*, SBI's modulkomité ved Edvard Heiberg. 1957. 24 p. A5. Kr. 4,-.
  - 35: *Teglprodukter*. 1956. 105 p. A5. Kr. 8,-.
  - 36: *Rudestørrelser*, Klaus Blach, Preben Ankerstjerne og Johannes Brixen. Folder til ophængning. 1956. 14 p. A5. Kr. 4,-.
  - 37: *Udvendig puds på letbeton*. Folder. 1957. 8 p. A5. Gratis.
  - 38: *Oversigtsplansplanen og skitsetidsplanen ved traditionelt etagebyggeri*. 1957. 16 p. A5. Kr. 4,-. 20 stk. skemablade, format A3, kan købes særskilt for kr. 4,-.
- SBI-datostokke 1961-65. 1960. 5 ark i omslag. Kan købes særskilt for kr. 4,-.

DK 666.972.015.263

### Alkaliudvalgets vejledning 1

## FORELØBIG VEJLEDNING I FOREBYGGELSE AF SKADELIGE ALKALIKISELREAKTIONER I BETON

NIELS MUNK PLUM

Civilingeniør

Statens Byggeforskningsinstitut

UDGIVET AF STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG · KØBENHAVN 1961

Statens Byggeforskningsinstitut

00959 P

ex. 1

<b>Forord</b> . . . . .	side 4
<b>Indledning</b> . . . . .	7
Almindelige fysiske klimapåvirkninger . . . . .	8
Almindelige ydre kemiske påvirkninger . . . . .	8
Alkalikislerreaktioner . . . . .	9
<b>Hvad er alkalikislerreaktioner?</b> . . . . .	10
<b>Risikoen for skadelige alkalikislerreaktioner</b> . . . . .	10
Miljø-klasse 0 . . . . .	12
Miljø-klasse A og B . . . . .	12
<b>Forebyggende foranstaltninger</b> . . . . .	13
Miljø-klasse 0 . . . . .	13
Miljø-klasse A . . . . .	14
Anvendelse af cement med lavt alkaliindhold . . . . .	14
Flintfrit grus . . . . .	15
Miljø-klasse B . . . . .	16
Mindre arbejder . . . . .	16
Anvendelse af alkalikislerresistent cement . . . . .	17
Anvendelse af flintfrit grus . . . . .	17
Større arbejder . . . . .	18
Anvendelse af flintfattigt grus . . . . .	19
Sand . . . . .	19
Sten . . . . .	20
Tilsætning af puzzolaner . . . . .	22
<b>Supplerende almindelige regler for fremstilling af holdbar beton</b> . . . . .	23
<b>Bilag 1</b> . . . . .	24
Alkalikislerreaktioner . . . . .	24
Oversigt . . . . .	24
Muligheder for skadelige alkalikislerreaktioner i Danmark . . . . .	25
Oversigt over de enkelte faktorerens betydning . . . . .	25
Cementens type . . . . .	25
Grusmaterialernes sammensætning . . . . .	26
Reaktionsmiljøet . . . . .	27

<b>Bilag 2</b> . . . . .	side 28
Om prøvning med henblik på forebyggelse af skadelige alkalikislerreaktioner . . . . .	28
Separat prøvning af betonkomponenterne . . . . .	28
Bestemmelse af alkaliindholdet i cement . . . . .	28
Petrografisk analyse af grus . . . . .	30
Prøvemethoder til afgørelse af, hvilke betonsammensætninger med reaktive materialer, der kan give skadelige alkalikislerreaktioner . . . . .	32
Mørtelprimeforsøg . . . . .	33
Betonprismeforsøg . . . . .	38
Retningslinier for prøveudtagning . . . . .	38
Prøveudtagning af cement . . . . .	38
Prøveudtagning af grus . . . . .	39
<b>Bilag 3</b> . . . . .	41
Danske grusmaterialer . . . . .	41
Grusforekomster . . . . .	41
Grusmaterialernes geologiske forhold . . . . .	42
Grusmaterialernes bestanddele . . . . .	44
Flintfattige forekomster i Danmark . . . . .	50
<b>Bilag 4</b> . . . . .	52
Cementtypens betydning . . . . .	52
Danske cementtyper . . . . .	52
Almindelig Portland cement og hurtighærdnende cementer af Portland cementtypen . . . . .	52
Sulfatbestandig lav-alkali cement . . . . .	54
Havvand-cement . . . . .	55
Frostangreb . . . . .	56
Syreangreb . . . . .	56
<b>Litteraturliste</b> . . . . .	57
Progress Reports . . . . .	59

LAY-OUT: PETER MOGENSEN

*Eftertryk tilladt, men kun efter nærmere aftale med Statens Byggeforskningsinstitut, da meningen og resultaternes rækkevidde kan forflygtiges, hvis enkelte figurer eller dele af teksten tages ud af den almindelige sammenhæng.*

## Forord

I 1951 påbegyndte Statens Byggeforskningsinstitut en undersøgelse af betonbygværker i Danmark for at få konstateret, om visse observerede eksempler på meget kraftige forvittringer kunne hidrøre fra reaktioner mellem alkalier i cementen eller vandet og reaktivt kisel i tilslagsmaterialerne. Disse reaktioner er i det følgende kort benævnt alkaliskiselreaktioner. Resultatet af disse første undersøgelser, der blev udført af civilingeniør P. NERENST hos SBI, suppleret af forsøg på F. L. Smidth & Co.'s laboratorium, understøttede, da de i 1953 forelå, denne hypotese.

Som følge heraf nedsatte Statens Byggeforskningsinstitut og Akademiet for de tekniske Videnskaber i fællesskab et plenarudvalg, der skulle tage sig af sagens forskellige tekniske og praktiske problemer.

I august 1954 holdt dette plenarudvalg sit konstituerende møde og dannede et forretningsudvalg (F) og tre underudvalg, der skulle have ansvaret for følgende arbejdsområder: Markundersøgelser (M), grusundersøgelser (G) og laboratorieundersøgelser (L).

Forretningsudvalget skulle koordinere underudvalgenes arbejde og varetage udvalgets økonomi. Sekretariatet henlagdes til SBI under undertegnedes ansvar.

I september 1956 nedsatte man et redaktionsudvalg (R) på tre medlemmer, der skulle forestå udsendelsen af publikationer om undersøgelserne.

Nedenfor anføres, hvilke institutioner og organisationer der har været repræsenteret i plenarudvalget, hvem der har repræsenteret disse, samt angivelse af i hvilke af underudvalgene den pågældende har været medlem.

### *Statens Byggeforskningsinstitut:*

Civilingeniør P. KERRN-JESPERSEN, formand for plenarudvalget, (F), (R).

Civilingeniør P. NERENST, (R), sekretær august 1954–september 1956.

Civilingeniør NIELS MUNK PLUM, (F), (R), formand for (G), sekretær oktober 1956–maj 1960.

### *Akademiet for de tekniske Videnskaber:*

Underdirektør, civilingeniør TH. HELLMANN, (F), formand for (L).

### *Carl Nielsen A/S:*

Civilingeniør K. STEEN KRISTENSEN, (G).

### *Cementfabrikkerne:*

Civilingeniør, dr. techn. ERIK V. MEYER, (M), (L).

### *Danmarks geologiske Undersøgelse:*

Statsgeolog, dr. phil. H. GRY, (G).

### *Danmarks tekniske Højskole:*

Professor, dr. techn. A. H. M. ANDREASEN, (L).

Professor, dr. techn. A. EFSSEN, (L), med laboratorieingeniør, cand. polyt. O. GLARBO som suppleant.

### *Danske Statsbaner:*

Afdelingsingeniør, cand. polyt. A. JEPPESEN, (F), formand for (M).

### *Dansk Ingeniørforening:*

Amtsvejsinspektør, cand. polyt. I. JØRGENSEN, (M).

Stadsingeniør, cand. polyt. H. PETERSEN, (M).

### *Foreningen af Grusgrave og Skærvfabrikker:*

Civilingeniør C. KÄHLER, (G).

### *Statsprøveanstalten:*

Afdelingsingeniør, cand. polyt. JOHS. ANDERSEN, (L).

### *Vandbygningsvæsenet:*

Distriksingeniør, cand. polyt. K. OTTERSTRØM, (M).

### *Efter udvalgets anmodning:*

Chefgeolog, dr. phil. HANS PAULY, (M), (G).

På udvalgets betonlaboratorium har følgende medarbejdere været beskæftiget i længere perioder:

Laborant POUL E. ANDERSEN.

Mag. scient. GUNNAR LARSEN.

Mag. scient. ASGER BERTHELSEN.

Civilingeniør P. NERENST.

Civilingeniør K. E. HAULUND CHRISTENSEN.

Laborant, fotograf B. HJORTH PETERSEN.

Civilingeniør, lektor G. M. IDORN.

Civilingeniør, lektor ERVIN POULSEN.

Laborant JØRN ØHLENSCHLÄGER JOHANSEN.

Civilingeniør ERIK TRUDSØ.

Civilingeniør ALICE KJÆR.

En foreløbig beskrivelse af udvalgets arbejde indtil 1957 har været offentliggjort i SBI-særtryk 91 [57 P 2]\*. Meddelelser om udvalgets indledende arbejde samt litteraturstudier m. v. er nedfældet i 30 interne rapporter.

Efterhånden som udvalget indvandt resultater af sit eget laboratoriearbejde m. v., har det offentliggjort 21 Progress Reports. Disse rapporter redegør hver for sig detaljeret for en enkelt arbejdsfase og er holdt på et teoretisk plan. De indeholder tilsammen den fuldstændige dokumentation for udvalgets arbejde.

Rapporterne har givet udvalgenes medlemmer mulighed for at følge med i detaljerne i det omfattende arbejde, og de har endvidere været til nytte ved udvekslingen af erfaringer med specialister i udlandet.

Nærværende vejledning med tilhørende bilag sammenfatter de i praksis anvendelige resultater og markerer afslutningen af udvalgets arbejde.

Efter særlig aftale udgives vejledningen ved SBI's foranstaltning.

Manuskriptet til vejledningen har været forelagt plenarudvalget i maj 1960. Udvalget har bidraget med råd og kritik og har endeligt godkendt den nærværende udgave på sit afsluttende møde den 24. maj 1960.

Da betons holdbarhed i almindelighed og alkaliskiselreaktioner i særdeleshed jo hører til de problemer, man først i de senere år har underkastet dyberegående teoretiske undersøgelser med deraf følgende særlige foranstaltninger i praksis, må man regne med, at der endnu i en årrække vil vise sig skader, som vil nødvendiggøre omfattende reparationer.

Alkaliudvalget har derfor også viet reparationsspørgsmålet betydelig interesse og har formået afdelingsingeniør, cand. polyt. ARNE JEPPESEN til med støtte i sine erfaringer fra D.S.B. at udarbejde en vejledning (2): *Vedligeholdelse og istandsættelse af beton- og jernbetonkonstruktioner*, der udsendes af SBI samtidig med den nærværende [61 J 1].

\* Denne og lignende henvisninger refererer til litteraturfortegnelsen, side 57.

Selvom der har været indsat meget betydelige ressourcer på at klarlægge problemerne, er man ikke nået så vidt, at der på simpel måde kan gives anvisning på den mest økonomiske fremgangsmåde i særligt vanskelige tilfælde eller ved meget store og udsatte konstruktioner.

Udvalget har i den anledning set det som sin opgave siden 1957 også at drive konsultationsvirksomhed og har draget omsorg for, at denne virksomhed fra 1. april 1959 videreføres af SBI.

Det fremgår nærmere af teksten, hvornår sådanne specialundersøgelser m. v., som bl. a. SBI's konsultationstjeneste kan påtage sig, vil være nødvendige, ligesom der i bilag 2 gives korte oversigter over, hvori disse specialundersøgelser består.

Udvalget har modtaget økonomisk støtte fra:

Aalborg Portland-Cement-Fabrik A/S.  
Aarhus Sten- og Gruskompagni.  
Akademiet for de tekniske Videnskaber.  
Carl Nielsen A/S.  
Danmarks tekniske Højskole.  
Danske Statsbaner.  
Det teknisk-videnskabelige Forskningsråd.  
F. L. Smidth & Co. A/S.  
Entreprenørforeningen.  
Farum Sten- og Gruskompagni A/S.  
Foreningen af Grusgrave og Skærvefabrikker.  
Forsvarets Bygningstjeneste.  
Knud Højgaard's Fond.  
Nymølle Skærvefabrik.  
Statens Byggeforskningsinstitut.  
Vandbygningsvæsenet.  
Vejdirektoratet.

Speciel støtte har man endvidere fået fra Danmarks tekniske Højskole, der i en længere periode har udlånt lokaler til udvalgets laboratorium, samt fra Danmarks geologiske Undersøgelse, F. L. Smidth & Co., samt Landbohøjskolens kemiske Laboratorium, som alle har stillet erfaring og udstrakte laboratoriefaciliteter til rådighed.

For bidrag og støtte vil udvalget her gerne have lov at udtrykke en varm tak.

Der er anledning til at nævne, at lederen af SBI's statistiske afdeling, cand. polit. P. BRÆDSDORFF har udført et omfattende arbejde med tydningen af forsøgsresultaterne og præcisering af grænserne mellem den faktisk indvundne viden og det tilbageblevne stadig meget betydelige behov for fortsat forskning.

En særlig tak vil man til afslutning gerne rette til plenarudvalgets medlemmer og til laboratoriets medarbejdere. En så stor og kompliceret opgave som den foreliggende kan kun løses, hvis alle kræfter indordnes i et effektivt samarbejde, og det fortjener at blive fremhævet, at samarbejdet har været forbilledligt.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
December 1960

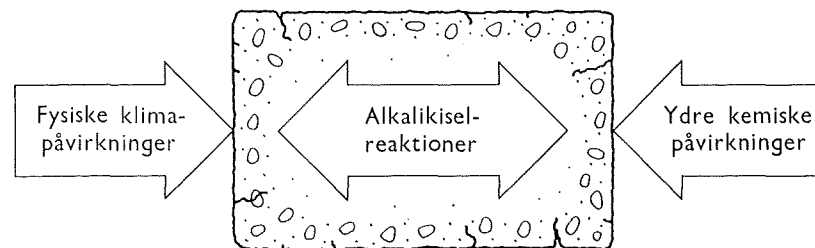
NIELS MUNK PLUM

## Indledning

I de sidste årtier er der sket en rivende udvikling inden for anvendelsen af beton og jernbeton, idet man takket være forbedringer af materialernes kvalitet jævnsides med en udvikling i betonteknikken er blevet i stand til at fremstille konstruktioner med stadig højere spændinger. Disse fremskridt har umiddelbart haft store anlægsøkonomiske virkninger, dels fordi dimensionerne og dermed egenvægten har kunnet reduceres, dels fordi man i almindelighed har forbedret forholdet mellem konstruktionernes bæreevne og deres anlægspris.

Den almindelige anvendelse af spinklere konstruktioner samt det forhold, at visse større og særlig udsatte konstruktioner nu nærmer sig »støvets år«, har naturligt bragt spørgsmålet om betons holdbarhed i forgrunden i de senere år, og der er fra mange sider gjort et betydeligt arbejde på at klarlægge forholdene og sikre udførelsen af en mere holdbar beton. De nedbrydende kræfter kan i grove træk grupperes således:

Almindelige fysiske klimapåvirkninger  
(hovedsagelig vekslende frost og tø).  
Almindelige ydre kemiske påvirkninger  
(hovedsagelig betinget af speciel anvendelse).  
Alkalikiselreaktioner.



Beton nedbrydes af ydre og indre kræfter. Angrebene forstærker ofte gensidigt hinanden. Således vil f. eks. virkninger af vekslende frost og tø accelerere alkalikiselreaktioner. De derved opståede skader vil igen åbne mulighed for nye frostangreb.

## Almindelige fysiske klimapåvirkninger

Interessen har hidtil koncentreret sig mest om de her i landet meget kraftige virkninger af hyppigt vekslende frost og tø.

Indtil kendskabet til luftindblandingsmidler nåede hertil efter den anden verdenskrig og skabte muligheden for en rationel løsning [47 P 8], [54-13], [55 M 2], havde særlig C. t. O. gjort et betydeligt arbejde for at forbedre frostbestandigheden ved at gøre beton mere tæt [37 M 5], [38 M 6]. Stort set må vel spørgsmålet om i praksis at fremstille frostbestandig beton nu siges at være klaret [58 N 4], [59 M 4], selv om visse teoretiske problemer endnu venter på deres løsning [56-15], [60 N 1].

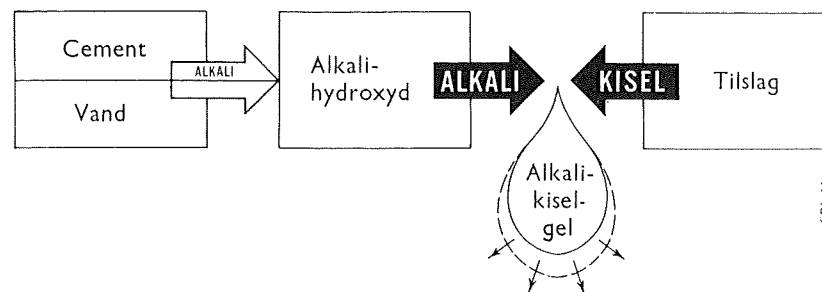
Der er en ret nær sammenhæng mellem frostskafer og alkalikiselreaktioner både med hensyn til visse forudsætninger for skadernes opståen og med hensyn til den gensidigt accelererende virkning og skadernes forløb.

Man har dog i den nærværende vejledning ment at kunne udelade en omtale af fremgangsmåderne ved fremstilling af frostbestandig beton, men det må fremhæves, at de omhandlede foranstaltninger til en effektiv forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner forudsætter, at der *også* træffes foranstaltninger mod andre nedbrydende påvirkninger, specielt frostangreb.

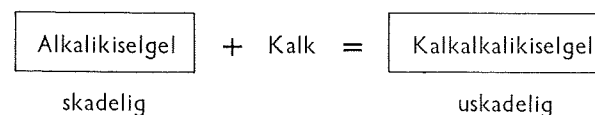
## Almindelige ydre kemiske påvirkninger

De påvirkninger, som fremkommer ved specielle anvendelser af betonen, særligt i industribyggeri, er dels så mangeartede dels så indgående behandlet i eksisterende håndbogslitteratur [50 H 13], [56 L 8], [59 M 4], at de ikke skal omtales her.

Specielt henledes opmærksomheden på havvandsangreb, der ofte optræder sammen med skadelige alkalikiselreaktioner. Kendskabet til disse processer er endnu kun ufuldstændigt [59-32], [60 B 4], men der arbejdes med problemerne mange steder og blandt andet i en nordisk arbejdsgruppe. Indtil videre må foranstaltningerne koncentrere sig om anvendelse af specialcementer, se bilag 4.



*Når der i beton opstår alkalikiselreaktioner, sker der dét, at cementens indhold af alkalier opløses i vand under dannelse af alkalihydroxyd, der derpå reagerer med tilslagsmaterialets reaktive former for kisel (f. eks. flint). Resultatet af denne sidste proces, der kaldes alkalikiselreaktionen, er dannelse af alkalikiselgel. Denne gel kan blive årsag til kraftige ekspansioner og revnedannelser i betonen, idet gelen kan optage næsten ubegrænsede mængder vand.*



*Den skadelige alkalikiselgel vil ofte fra cementen optage kalk, hvorved der dannes det uskadelige kalkalkalikiselgel.*

## Alkalikiselreaktioner

Medens de ovenomtalte nedbrydende påvirkninger har været kendt igennem hele betonens historie, går en videre erkendelse af skadelige alkalikiselreaktioner som en dominerende faktor i stærkt udsatte danske bygværker kun tilbage til alkaliudvalgets oprettelse, og en for danske forhold anvendelig vejledning vedrørende dette spørgsmål har endnu ikke foreligget. Man har derfor skønnet, at der måtte være et behov for orientering om udvalgets hidtidige resultater, samt for en vejledning i disses anvendelse, og dette imødekommes hermed.

Anvendelsen af vejledningen i praksis forudsætter, at læseren er fortrolig med den almindelige nyere betonteknologi og selv kan afveje og kombinere de her stillede krav med de krav, der stilles som følge af de øvrige nedbrydende påvirkninger og af belastningerne.

## Hvad er alkalikiselreaktioner?

Det ligger uden for denne praktiske vejlednings ramme at give en udtømmende beskrivelse af de udviklede processer, der kort kaldes alkalikiselreaktioner. Følgende sammentrængte oversigt, der er hentet fra [Progress Report A 1], vil dog sikkert gøre det lettere for læseren at følge med i fremstillingen.

Når cement og vand blandes, opløses cementens alkalier i vandet. Hvis tilslagsmaterialet indeholder reaktive former for kisel, som f. eks. flint, kan dette blive angrebet af alkalihydroxyderne; denne proces kaldes en alkalikiselreaktion, og ved denne proces dannes der *alkalikiselgel*. Dannelsen af alkalikiselgel af den ubegrænset svellende type kan give anledning til en ekspansion af betonen, og betonbygværket vil blive gennemsat af revner.

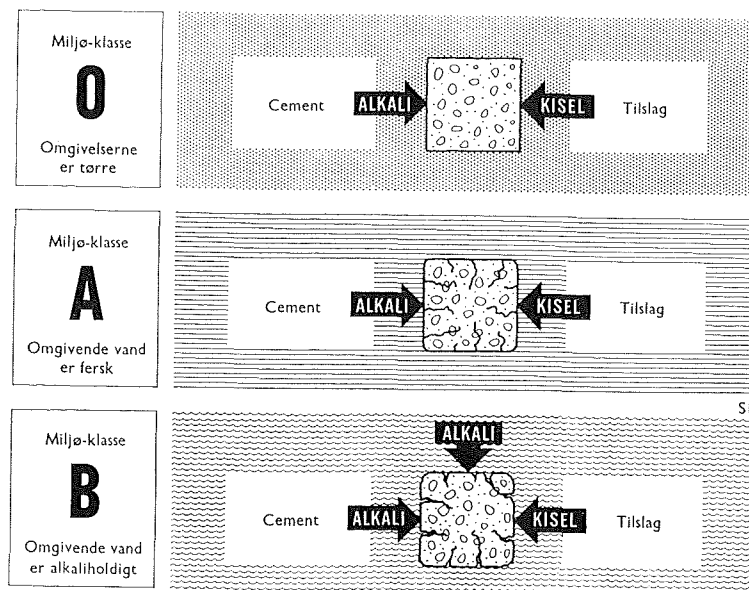
Den angrebne beton får iøvrigt et ret »usundt« udseende; ofte vil der være udfældet gullige eller hvidlige stoffer i revnerne, betonen vil sine steder være fugtig, og en nærmere undersøgelse gør det muligt at finde de steder, hvor reaktionerne foregår med omdannelseszoner i berøringsfladen mellem cementpastaen og det reaktive grusmateriale. Desuden kan man iagttage mikrorevner i cementpastaen omkring stenpartikler og udfældning af geler i revnerne.

I mange tilfælde vil omstændighederne imidlertid være således, at denne alkalikiselgel samtidig har mulighed for at optage kalk, som er en af cementens hovedbestanddele, og dette bevirker, at man får et helt andet samlet reaktionsprodukt, der kaldes kalkalkalikiselgel, og som er uskadeligt.

En bredere oversigt over alkalikiselreaktionernes mekanisme kan findes i bilag 1.

## Risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner

Til orientering om den faktiske forekomst af og risiko for skadelige alkalikiselreaktioner i betonbygværker her i landet, og som en nødvendig baggrund for de afholdte laboratorieforsøg, foretog udvalget en undersøgelse i marken af 431 betonbygværker. 66 af de undersøgte bygværker var alvorligt beskadigede.



Ved at inddele betonbygværker i de tre angivne miljø-klasser opnår man en vurdering af risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner. Til hver af miljø-klasserne A og B hører der flere »sæt« forebyggende foranstaltninger. Se side 21.

En nærmere vurdering af risikoen for skader får man bedst ved at inddele bygværkerne eller deres enkelte dele i de i nedenstående tabel foreslåede miljøklasser A og B. Disse klasser vil også være hensigtsmæssige ved den senere omtale af de forebyggende foranstaltninger.

### Karakteristik af miljø-klasser

Konstruktionen er efter færdiggørelsen:	Det omgivende vand er:	Miljø-klasse
Konstant tør	—	O
Udsat for tilførsel af vand fra omgivelserne	Fersk	A
	Alkaliholdigt (salt)	B

## Miljø-klasse 0

Ved alkaliudvalgets undersøgelser har man ikke i praksis kunnet påvise nogen risiko for, at der vil forekomme skadelige alkalikiselreaktioner i konstruktioner der i det væsentlige holdes tørre.

Al *indendørs* beton til *husbygningskonstruktioner* falder i denne miljø-klasse. Med undtagelse af altaner, kældertrapper og særlig udsatte facadeelementer vil det altså sige, at den overvejende mængde af vort betonforbrug dermed – uanset cementtype og grussort – ikke er udsat for skadelige alkalikiselreaktioner.

## Miljø-klasse A og B

Af de 431 udvalgte bygværker, som udvalget har ladet undersøge, var de 390 i miljø-klasse A og de 41 i miljø-klasse B.

I klasse A var 13% alvorligt beskadigede, i klasse B 39%.

Der er imidlertid to forhold, som bevirker, at disse procenttal *ikke* udtrykker det almindelige *gennemsnit* for skadelige alkalikiselreaktioner, men snarere må betragtes som en øvre grænse for den kombinerede virkning af skadelige alkalikiselreaktioner og frostskafer.

For det første er antallet af beskadigede bygværker noget for stort i forhold til de ubeskadigede, idet man ofte tog særlig mange bygværker med i undersøgelsen i de egne, hvor skader var særligt udbredte.

For det andet kan man i mange tilfælde ikke med sikkerhed afgøre, om skadelige alkalikiselreaktioner har været en enerådende eller dominerende årsag til betonens ødelæggelse, idet andre faktorer – først og fremmest frost – ofte har medvirket ved ødelæggelserne.

Som det fremgår af det følgende, afhænger risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner ikke alene af miljøet, men også af de anvendte tilslagsmaterialers indhold af reaktiv flint, hvilket indhold varierer stærkt fra den ene grusgrav til den anden. Der vil derfor være en betydelig »geografisk« variation i risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner også inden for samme miljø-klasse.

Udvalget har herefter ved hjælp af resultaterne fra sine egne forsøg med mørtelprismer forsøgt en systematisk talmæssig belysning af problemerne, som nærmere beskrevet i [Progress Report I1], [Progress Report I2] (se side 59) samt i bilag 2, men er her stødt på meget store fortolkningsvanskeligheder.

Forklaringen er kort udtrykt at finde deri, at udvalget ved forsøgenes påbegyndelse mente at kunne bygge videre på en i U.S.A. almindelig anerkendt forudsætning om, at der bestod en entydig sammenhæng mellem mørtelprismers ekspansion og skadelige ekspansioner i betonbygværker. Denne forudsætning er imidlertid i mellemtiden blevet forkastet i U.S.A., og den er heller ikke blevet bekræftet af udvalgets forsøg. Se i øvrigt bilag 2 samt [Progress Reports I1 og I3] og [Progress Report K3].

En præcis vurdering af risikoforholdene kan man formentlig kun opnå ved at gennemføre omfattende *betonprismeforsøg*. Sådanne forsøg er da også allerede iværksat [Progress Reports K1, K2 og K3].

Endelige resultater af disse betonprismeforsøg vil næppe kunne foreligge før om måske endnu ca. 5 år. Så længe har man imidlertid anset det for urigtigt at tilbageholde denne vejledning, så meget mere som det allerede *kvalitativt* klart fremgår af undersøgelsen, at *medens der ikke har kunnet konstateres skader i miljø-klasse 0, forekommer sådanne i begrænset omfang i klasse A, og i miljø-klasse B er risikoen som regel betydelig*.

Hermed foreligger straks en klar disposition til behandlingen af de forebyggende foranstaltninger. Når det samtidig anføres, at udvalgets forsøg allerede har skabt en stærkt forøget indsigt i de fysiske og kemiske processer ved alkalikiselreaktioner, vil det forstås, at betingelserne har været tilstede for at sammenstille den nærværende *foreløbige* vejledning i forebyggelse af *skadelige* alkalikiselreaktioner.

## Forebyggende foranstaltninger

### Miljø-klasse 0

Som allerede nævnt i det foregående vil det normalt ikke i denne miljø-klasse, der omfatter størstedelen af almindelig beton og jernbeton til *husbygning*, være nødvendigt at foretage særlige foranstaltninger til imødegåelse af skadelige alkalikiselreaktioner.

Det bemærkes dog, at altaner, kældertrapper og særlig udsatte facadeelementer ofte vil være i miljø-klasse A. (Se senere).



## Miljø-klasse A

Udendørs konstruktioner, der alene er udsat for indtrængende regn eller fersk grundvand, vil kun i begrænset omfang være udsat for skadelige alkalikiselreaktioner.

En nærmere vurdering af risikoen end den, der er anført i det foregående, side 10-13, kan ofte fremskaffes ved undersøgelse af ældre konstruktioner i samme miljø og støbt med materialer svarende til dem, der tænkes anvendt.

Viser en sådan undersøgelse af et rimeligt stort antal ældre betonbygværker, at der ikke er nævneværdige skader, er det næppe påkrævet at iværksætte særlige foranstaltninger for at afværge skadelige alkalikiselreaktioner. Hvis undersøgelsen derimod afslører alvorlige skader på flere bygværker, må det undersøges, om skaderne kan henføres til alkalikiselreaktioner.

Skaderne forebygges (jfr. bilag 1) enten ved

anvendelse af cement med lavt alkaliindhold eller ved  
anvendelse af flintfrit grus.

I almindelighed kan det ikke på forhånd afgøres, hvilken foranstaltning der vil være billigst, og på grund af den relativt begrænsede beskadigelseshyppighed må det i øvrigt bero på et kvalificeret skøn, der bl. a. afhænger af de enkelte bygningsdeles tilgængelighed, omkostninger ved driftsforstyrrelser og lignende, om man vil tage risikoen for senere skader og deraf følgende reparationer eller udskiftningsomkostninger, eller man vil gardere sig straks.

Problemet adskiller sig imidlertid ikke principielt fra mange andre, der foreligger under projekteringen. Man har her blot fundet det rimeligt at præcisere dets karakter.

I det følgende gennemgås kort de ovenanførte forebyggelsesmetoder. Ved mindre arbejder vil den projekterende herved have de nødvendige forudsætninger for at vælge den mest hensigtsmæssige løsning.

### Anvendelse af cement med lavt alkaliindhold

Ved mindre arbejder, der ikke kan bære omkostninger til større undersøgelser af andre muligheder, må det i almindelighed tilrådes, hvor man ønsker at træffe forebyggende foranstaltninger, at anvende en cement med lavt alkaliindhold.

Der er nærmere redegjort for de danske cements sammensætning m. m. i bilag 4, se særlig tabel 4.1, side 52.

Blandt de i nævnte tabel anførte danske cements med lavt alkaliindhold vil det i miljø-klasse A i almindelighed kun kunne komme på tale at anvende lav-alkali sulfatbestandig cement eller eventuelt alkalikiselresistent cement.

Der må tillige kun anvendes fersk støbevand [59 I 1], [61 C 1].

Som en orientering kan anføres, at lav-alkali cement – januar 1961 – er ca. 60% dyrere end almindelig Portland cement. Efterspørgselen og dermed produktionsmulighederne kan dog hurtigt ændre dette tillæg.

Risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner nedsættes væsentligt ved anvendelse af lav-alkali cement, men at der dog ikke opnås absolut sikkerhed skyldes, at selv de små mængder af alkalier, der er i denne cement, under meget ugunstige omstændigheder vil være i stand til at fremkalde skadelige reaktioner.

En væsentlig større sikkerhed kan opnås ved anvendelse af alkalikiselresistent cement. Denne cement er en hurtighærdende cement, der – januar 1961 – er ca. 60% dyrere end Rapid og Record cement, eller ca. 70% dyrere end Portland cement. Som anført for lav-alkali cement kan prisen dog også her hurtigt ændres.

### Flintfrit grus

Fuld sikkerhed imod alkalikiselreaktioner kan man få ved at anvende ren granit i både sand- og stenfraktionerne. Granit findes de fleste steder i landet blandet med de øvrige stenarter og kan forholdsvis let frasorteres. Ren granit brydes i betydelige mængder på Bornholm. En knusning og sigtning vil så godt som altid være nødvendig. Meromkostningerne ved anvendelse af nedknust granit vil normalt væsentligt overstige meromkostningerne ved anvendelse af cementer med lavt alkaliindhold.

I visse egne af Jylland vil det, som det fremgår af bilag 3, endvidere være muligt at udvinde næsten flintfrit sand, som sammen med granitsten vil give en beton uden fare for skadelige alkalikiselreaktioner.

Der foreligger endnu ikke praktiske erfaringer vedrørende omkostningerne ved udvindingen af dette sand, men formentlig vil det komme til at koste omtrent det samme som almindeligt sand. Hertil må så lægges transportomkostningerne.

## Miljø-klasse B

Miljø-klasse B adskiller sig fra den foregående ved, at der kan trænge alkalier ind i betonen med det omgivende vand, hvorved ellers uskadelige reaktioner kan blive til skadelige.

Risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner i beton i denne miljø-klasse vil altid være betydelig.

På denne baggrund vil det i almindelighed være tilrådeligt at træffe forebyggende foranstaltninger imod skadelige alkalikiselreaktioner, medmindre en undersøgelse af ældre bygværker som omtalt side 14 viser, at der ikke i dette miljø og med tilsvarende materialer tidligere er forekommet alvorlige skader.

Konstruktionernes størrelse og de hermed sammenhængende økonomiske muligheder for at udføre forsøg og holde kontrol m. m. vil være afgørende for, hvilke forebyggende foranstaltninger man bør træffe, og ved gennemgangen i det følgende er derfor skelnet mellem

mindre arbejder og  
store arbejder.

En opdeling mellem mindre og større arbejder er måske noget svævende; imidlertid er grænsens beliggenhed ikke afgørende, men en opdeling er ønskelig af hensyn til overskueligheden i det følgende, og i praksis vil det ikke volde vanskeligheder at afgøre, til hvilken kategori bygværket hører.

### Mindre arbejder

Ved mindre konstruktioner vil der – hvor man ikke har særlige forudsætninger for at anstille mere omfattende undersøgelser – være to simple måder at forebygge skadelige alkalikiselreaktioner på. Disse fremgår direkte af det foregående og er:

- a. enten at anvende alkalikiselresistent cement (eventuelt havvand-cement)
- b. eller at anvende flintfrit grus.

Det vil aldrig være nødvendigt at gøre begge dele. Når man som den første mulighed i denne miljø-klasse foreslår alkalikiselresistent cement i stedet for som i det foregående lav-alkali cement, er det, fordi den alkalikiselresistente cement ligesom havvand-cementen

indeholder et tilskud af puzzolan\*, som i et vist omfang kan sikre, at reaktioner med eventuelle alkalier i støbevandet eller i eventuelt senere indtrængende vand får et uskadeligt forløb.

Det er klart, at man ved valg af foranstaltning b under alle omstændigheder har sikret sig mod alkalikiselreaktioner. Spørgsmålet om, hvorvidt man tør nøjes med at vælge foranstaltning a, må derfor bero på, hvor omfattende indtrængning af alkalisk vand i betonen man vil kunne forvente.

I komplicerede tilfælde må det indtil videre tilrådes at søge sagkyndig assistance, f. eks. hos SBI.

I de følgende afsnit meddeles en del oplysninger, der kan være til nytte ved valget af de mest hensigtsmæssige forholdsregler.

### Anvendelse af alkalikiselresistent cement

Ved mindre arbejder, der ikke kan bære større omkostninger til undersøgelse af andre muligheder, må det i almindelighed tilrådes at anvende alkalikiselresistent cement. Der må tillige kun anvendes fersk støbevand [59 I 1], [61 C 1].

Vedrørende prisen på den alkalikiselresistente cement henvises til det allerede side 15 anførte.

Der foreligger endnu kun få laboratorieforsøg med virkningen af alkalikiselresistent cement udstøbt med danske materialer under anvendelse af saltvand. Forsøgene viser, at den alkalikiselresistente cement som regel forhindrer skadelige reaktioner, mens den i enkelte tilfælde ikke synes at have nogen virkning i forhold til andre cementtyper.

Når der ikke opnås fuld sikkerhed, skyldes det, dels at selv de ganske små mængder af alkalier, der er i denne cement, under meget ugunstige omstændigheder vil være i stand til at fremkalde skadelige reaktioner, dels at puzzolan-tilsætningen kun kan neutralisere en begrænset mængde indtrængende alkalier og altså ikke vil yde nogen beskyttelse, såfremt alkalindtrængningen er kraftig eller langvarig.

### Anvendelse af flintfrit grus

Fuld sikkerhed imod skadelige alkalikiselreaktioner kan man få ved anvendelse af nedknuste granitmaterialer som omtalt side 15.

I visse egne af Jylland vil det endvidere være muligt at udvinde flintfrit sand, som sammen med granitsten vil give en beton uden risiko for

\* Findelt kisel; forekommer i naturen f. eks. som en væsentlig bestanddel af moler.

skadelige alkalikiselreaktioner. Udvalget har ikke været i stand til at foretage en detaljeret kortlægning af disse sandforekomster og kan kun henvise til den orienterende fortegnelse, der bringes i bilag 3.

Normalt vil meromkostningerne ved produktion og transport, når bortses fra omegnen af produktionsstedet, ligge lidt over meromkostningerne ved anvendelse af alkalikiselresistent cement. Hvis man tager risikofor mindskelsen i betragtning, vil det dog alligevel ofte ved særlig udsatte konstruktioner være hensigtsmæssigt at anvende flintfrie materialer.

Ved en række særlig udsatte konstruktionselementer, som f. eks. kantbjælker på betonkonstruktioner, er der fundet så mange tilfælde af skadelige alkalikiselreaktioner, at det generelt må anbefales, at disse udføres af beton med flintfrie materialer. Der går som regel kun små mængder beton i sådanne elementer, og reparationer er så bekostelige, at det normalt ikke vil kunne betale sig at løbe nogen risiko her.

Det tilrådes, at man i hvert enkelt tilfælde underkaster spørgsmålet en økonomisk analyse. Herunder kan man også undersøge muligheden for at udføre sådanne konstruktionsdele af elementer, der let kan udskiftes.

### Større arbejder

Ved større arbejder vil forebyggelsen af skadelige alkalikiselreaktioner først og fremmest kunne ske som allerede beskrevet for mindre arbejder side 16 – nemlig ved anvendelse af alkalikiselresistent cement eller af flintfrit grus.

Ved arbejder, der kan bære omkostninger til specielle forsøg, bør man i denne miljø-klasse imidlertid også interessere sig for muligheden af at anvende almindelig Portland cement kombineret med de nedenfor anførte to andre forholdsregler, nemlig

anvendelse af flintfattigt grus eller  
tilsætning af puzzolaner og lignende.

Det skal i denne forbindelse fremhæves, at af de to nævnte muligheder er det kun den første, der har praktisk betydning, idet der adskillige steder her i landet findes flintfattige grusforekomster.

Den anden mulighed, at anvende dansk grus med forholdsvis højt flintindhold og sikre sig mod skadelige reaktioner ved tilsætning af puzzolan, er ikke aktuel for øjeblikket, idet der ikke på det danske marked findes puzzolaner med de fornødne egenskaber som tilsætningsmiddel til beton. De to muligheder drøftes mere indgående i det følgende.

### Anvendelse af flintfattigt grus

Ved anvendelse af almindelig Portland cement er det største tilladelige indhold af flint i gruset, der ikke medfører skadelige alkalikiselreaktioner, principielt lidt større end nul – omkring ganske få procent – og noget varierende.

I praksis kræver beregningen af det maksimalt tilladelige flintindhold samt overholdelsen af dette imidlertid så betydelige faciliteter, at man som tidligere anført i miljø-klasse A og ved mindre arbejder i miljø-klasse B har fundet det rigtigt at bortse fra denne mulighed. Kun ved større arbejder, som der her er tale om, kan det under visse omstændigheder være teknisk og økonomisk fordelagtigt at anvende grus med lavt flintindhold: »flintfattigt« grus til opnåelse af fuld sikkerhed imod skadelige alkalikiselreaktioner.

Grænsen for det maksimale flintindhold varierer med kornstørrelsen, og i det følgende er derfor anvendt en opdeling i sand og sten.

### SAND

I mørtelprismer opstår de største ekspansioner fra alkalikiselreaktioner – som det bl. a. nærmere er beskrevet i bilag 1 – ved et flintindhold i sandet på gennemsnitligt ca. 10–15 %. Falder eller stiger flintindholdet, vil ekspansionerne blive mindre, og kommer flintindholdet ned under gennemsnitligt ca. 2 %, vil reaktionerne som regel være uskadelige, jfr. bilag 2.

Som det fremgår bl. a. af bilag 3, indeholder størstedelen af de danske sandaflejringer uheldigvis netop flint i sådanne mængder, at der kan fremkomme skadelige ekspansioner.

Det ovenfor omtalte maksimalt tilladelige flintindhold udgør for sandfraktioner ca. 2 %, når vurderingen alene baseres på den mineralogiske sammensætning.

I alt indeholdt 5 prøver af de 50 kvartære sandforekomster, udvalget har undersøgt, mindre end 2 % flint. På grund af de betydelige lokale variationer i flintindhold, der kan optræde i en grusforekomst, har man dog ingen sikkerhed for, at flintprocenten i disse 5 forekomster overalt er under 2 %. Samme usikkerhed vil man stå overfor ved andre forekomster, hvor enkelte sandprøver viser en lav flintprocent. Ved eventuel udnyttelse af sådanne forekomster til formål, hvor det er væsentligt, at flintindholdet ligger under en vis grænse, må man derfor hyppigt foretage petrografisk kontrolanalyse, jfr. bilag 2, side 39-40. Til særlig store og udsatte arbejder, hvor der vil være økonomisk baggrund for forsøg

til en nøjagtig fastlæggelse af det maksimalt tilladelige flintindhold og til bestemmelse af et egnet blandingsforhold samt til særlig kontrol med sandindvindingen, kan disse flintfattige forekomster imidlertid få stor betydning.

Udvalget har ikke været i stand til at foretage en detaljeret kortlægning af sandforekomster med meget lavt flintindhold og kan kun henvise til den orienterende fortegnelse, der bringes i bilag 3.

Assistance til nærmere kortlægning rekvireres hos Danmarks geologiske Undersøgelse, ligesom SBI kan medvirke ved bedømmelse af forekomsterne.

I forbindelse med mulighederne for sammensætning af sand gøres opmærksom på, at de forskellige typer af flint har forskellig virkning, og at flintens virkning endvidere afhænger stærkt af kornstørrelsen.

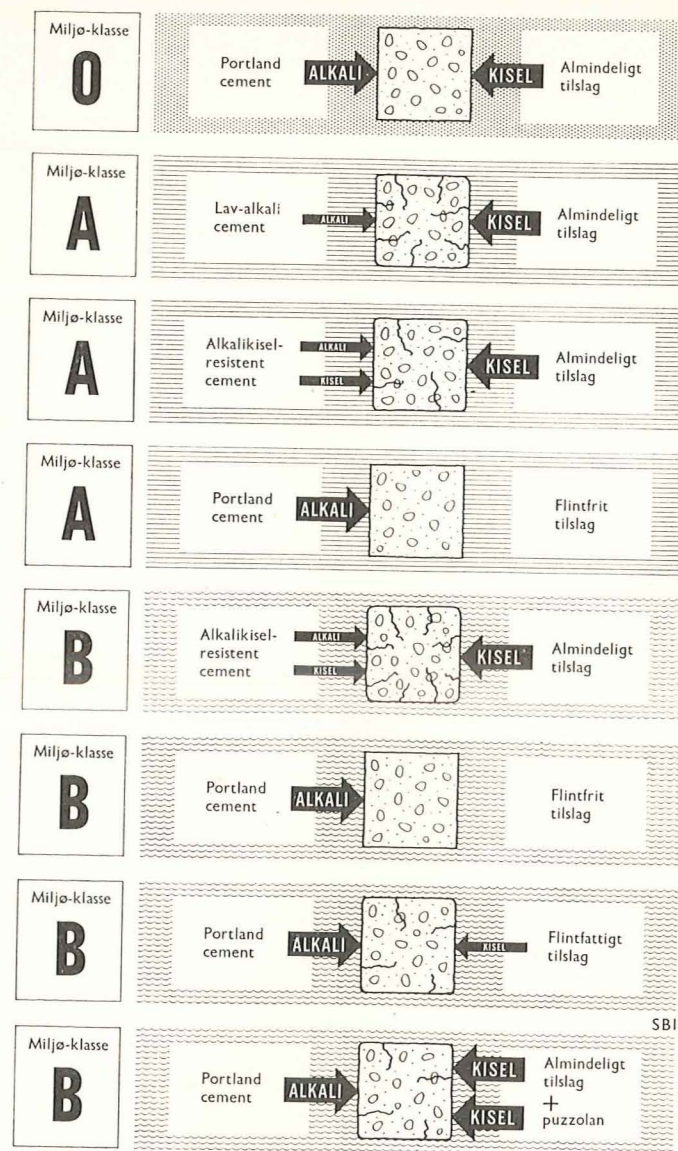
For at simplificere problemet om sammensætning af flere flinttyper har det været undersøgt, om det var muligt at samle de mange flinttyper i to, nemlig tæt og porøs flint. De forskellige flinttyper inden for hver af disse grupper synes nemlig at have visse fællestræk. Dette kan føre til en for kraftig simplificering, således at systematiske fejl får overtaget, og det har da også vist sig, at ekspansionerne ikke er nogen helt éntydig funktion af indholdet af tæt og porøs flint. Til praktisk brug er der imidlertid så store fordele ved at anvende den simple opdeling af flinter, at den på det nuværende stade må anses for at være mest hensigtsmæssig.

Den ovenfor angivne grænse på ca. 2% for det farlige flintindhold kan i almindelighed betragtes som et gennemsnit af indholdet i fraktionerne 0-1/8, 1/8-1/4, 1/4-1/2, 1/2-1, 1-2, 2-4 mm, idet dog bemærkes, at flintindholdets skadelighed, når der er tale om *tæt* flint, er stigende med kornstørrelsen. Når der er tale om *porøs* flint, er forholdet det omvendte; her stiger skadeligheden med aftagende kornstørrelse.

Problemerne i forbindelse med bedømmelse og sammensætning af grus er nærmere behandlet i bilag 3.

#### STEN

Udvalgets erfaringer fra markundersøgelsen er ret begrænsede med hensyn til alkalikiselreaktioner med flint i stenfraktionen, dvs. flint med kornstørrelse større end 4 mm. Undersøgelser af udborede betonprøver af konstruktioner tyder imidlertid på, at stenene under alle omstændigheder bør være *helt frie for indhold af porøs flint*, også som belægninger på tæt flint.



Skematisk angivelse af de forebyggende foranstaltninger og risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner.

Et eventuelt tilladeligt indhold af tæt flint i stenene kan kun angives efter nærmere forsøg.

Normalt vil det derfor under disse omstændigheder kun være tilrådeligt at anvende granitsten.

#### *Tilsætning af puzzolaner*

Den øvre grænse for det farlige blandingsforhold varierer stærkt, afhængigt af flintart, kornstørrelse osv. (Forholdene er nærmere belyst i bilag 1).

Den øvre grænse vil ofte kunne ligge så højt, at det vil være urealistisk at tro, at man kan finde en grusforekomst, der konstant skulle indeholde så meget flint, at man med sikkerhed kommer over det farlige interval. Hertil kommer yderligere, at mørtel, støbt med så megen porøs flint, at man befandt sig over den øvre grænse af det farlige interval, ville være frostfarlig.

Tilbage bliver i praksis den mulighed, at man ved hjælp af særlige, fintmalede alkalireaktive tilsætningsmidler bringer blandingen op over det farlige område.

Udvalget har i samarbejde med Laboratoriet for Mørtel, Glas og Keramik på Danmarks tekniske Højskole undersøgt mulighederne her, ikke mindst ved at anvende de naturligt forekommende puzzolaner [Progress Report L 1].

Man har fået bekræftet, at metoden principielt er anvendelig. Det er derimod endnu ikke lykkedes at finde et materiale, der både er beton-teknologisk velegnet, og som kan fremskaffes til en konkurrencedygtig pris.

Når metoden alligevel er nævnt i denne vejledning, skyldes det, at man fortsat håber, der må være muligheder for, at der i naturlig aflejring eller eventuelt som industriaffaldsprodukt kan findes et tilstrækkeligt billigt materiale med den ønskede virkning.

## **Supplerende almindelige regler for fremstilling af holdbar beton**

Forvitring af beton på grund af skadelige alkalikiselreaktioner har væsentlige lighedspunkter med forvitring på grund af vekslende frost og tø og visse andre nedbrydningsprocesser, og i praksis optræder ofte flere af disse processer samtidig og således, at de baner vej for hinanden.

Effektiv forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner kræver derfor, at der samtidig træffes foranstaltninger mod anden nedbrydning, først og fremmest frostsprængninger.

Det ligger uden for denne foreløbige vejlednings rammer i detaljer at give almene retningslinier for fremstilling af holdbar beton. Her skal blot erindres om betydningen af luftindblanding for at gøre mørtelen frostbestandig [54-13], [55 M 2].

Iøvrigt henvises til de fra DS 411 og den almindelige håndbogslitteratur kendte regler for fremstilling af holdbar beton. [49-198], [56-16], [58 N 4], [59 M 4].

Der er anledning til specielt at gøre opmærksom på, at reglerne i DS 411, side 26, om dæklagets tykkelse i mange tilfælde ikke vil være tilstrækkelige. Spørgsmålet er nærmere behandlet i udvalgets vejledning 2.

I den nævnte vejledning, afsnit V (jfr. også afsnit II), er der endvidere gjort rede for vigtigheden af at forsyne konstruktionerne med en vandstandsende overfladeisolation på de flader, hvor særlig vandindtrængning kan forventes. Dermed bidrager man væsentligt til at beskytte konstruktionen mod de forvitningsformer, til hvis fortsatte skadelige udvikling der kræves vand, f. eks. skadelige alkalikiselreaktioner, frostsprængninger, udludninger af betonen osv.

Isolationsmetoden anvendt alene kan dog i almindelighed ikke anses for tilstrækkelig til imødegåelse af de skadelige følger af alkalikiselreaktioner, blandt andet af den grund, at man kun i de færreste tilfælde kan forsyne alle de overflader på et bygværk, der kan blive udsat for vandpåvirkning, med isolation. Selv hvor man kan dette, skal man være forsigtig med udelukkende at stole på overfladeisolationen, såfremt betonen ikke kan istandsættes eller fornyes uden urimelige omkostninger, f. eks. i tunnelbygning m. v.

Man må dog ikke reducere eller udelade overfladeisoleringen, selv om man udfører konstruktioner af alkalimodstandsdygtig beton, da bygværket i så fald står i fare for at lide skade som følge af andre forvitningsformer.

## Bilag 1

### Alkalikiselreaktioner

#### Oversigt

Gruspartikler, der indeholder eller består af kisel i en amorf eller mikrokrySTALLINSK tilstand, angribes i beton af hydroxyder og alkalier fra cementpastaen. Grusmaterialer, der indeholder bjergarter og mineraler af denne type, kaldes alkalireaktive, og processerne betegnes alkalikiselreaktioner.

Ved reaktioner dannes en fast, sejgtflydende eller vædskeformet kiselgel, der binder alkali- og kalciumioner i kisel-molekylernes tilfældigt opbyggede netværkstrukturer. Ved opslugning af vand kan gelen enten svulle næsten uden grænser og betegnes i så fald som værende af den uhæmmet svulvende type eller ikke svulle i noget mærkbart omfang og i så fald betegnes en ikke-svulvende gel.

Alkalikiselreaktioner kan mærkbart indvirke på betonens mekaniske egenskaber. Den delvise eller totale omdannelse af mineralkomponenter i gruspartiklerne til gel repræsenterer i sig selv en svækkelse af disses struktur og derfor også af styrken af betonen. Hvis der under reaktionerne kun produceres ikke-svulvende gel, vil denne svækkelse dog som regel være uden større praktisk betydning.

Hvis der dannes svulvende gel, opstår der et tryk mellem de reagerende partikler og den omgivende cementpasta. Såfremt trykket overstiger mineralstrukturens og cementpastaens trækstyrke, vil det forårsage dannelse af revner. Revnedannelse af denne art kan iagttages og registreres som ekspansioner i et mørtelprisme, et betonprisme eller i et betonbygværk.

Enslartet fordelte mindre revner i beton kan undertiden føre til ekspansioner af bygværksdele uden ledsagende ødelæggelse, særlig hvis kun betongrusets sandfraktion indeholder reaktive bestanddele, og forudsat at ekspansionerne ikke hæmmes eller hindres.

Uensartet fordelte indre revnedannelser kan føre til gennemrevning af hele betonmassen og vil give sig til kende på betonoverflader som de såkaldte netrevner. Svelning af gel i reagerende gruspartikler, som er beliggende i eller lige under en overflade kan bevirke, at en kegle af overliggende mørtel springer af under dannelse af, hvad der almindeligt betegnes en springer. Svulvende gel i et hulrum i cementpastaen kan på samme måde forårsage springerdannelse. Udsvedning af gel gennem revner og porer kan føre til dannelse af harpikslignende geldråber på betonoverflader. Sådanne geludfældninger sammen med springere og revner er hyppigt forekommende vidnesbyrd om, at alkalikiselreaktioner er under udvikling i beton.

Alkalikiselreaktioner i et bygværk vil svække dets modstandsdygtighed mod almindelig klimatisk påvirkning. Reagerende eller reagerede gruspartikler, som er mere eller mindre imprægneret af gel, må antages at være mindre frostbestandige end intakte partikler. Revnedannelser kan accelerere korrosion af armeringen, udludning af cementpastaen og kan iøvrigt gradvis åbne betonens indre for skadelig påvirkning fra omgivende luft, jord og vand. Sekundære revnedannelser, rusten armering og udfyldninger med kalciumkarbonat er derfor almindelige vidnesbyrd om forvitring, hvor alkalikiselreaktioner foregår i udsatte betonbygværker.

#### Muligheder for skadelige alkalikiselreaktioner i Danmark

Alkaliudvalgets arbejde på bred basis blev igangsat for at undersøge, om visse meget alvorlige alkalikiselreaktionsskader, som SBI havde påvist i enkelte stærkt udsatte bygværker, eventuelt kunne tænkes at være forløber for en også i mindre udsatte konstruktioner almindeligt forekommende forvitring.

Undersøgelserne har vist, at der overalt i Danmark ved anvendelse af traditionelle materialer og metoder vil være en vis risiko for skadelige alkalikiselreaktioner. En lang række omstændigheder er imidlertid afgørende for, om denne fare faktisk vil føre til skadelige alkalikiselreaktioner, eller om de vil forblive ufarlige.

En nærmere vurdering af faren for skadelige alkalikiselreaktioner kan selv i konkrete tilfælde være en kompliceret sag.

Følgende omstændigheder har afgørende betydning for reaktionsforløbet:

Cementens type.

Grusets sammensætning.

Reaktionsmiljøet.

For at reaktionerne skal få et skadeligt forløb, skal disse tre omstændigheder samtidig være uheldige, og man kan altså kun vurdere situationen ved en samlet betragtning af dem alle tre.

Følgende oversigt over omstændighederne enkeltvis vil være til nytte i praksis for vurdering af situationen, først og fremmest til afgørelse af, om man står overfor et simplere tilfælde, hvor man på egen hånd kan anvende de side 13-22 angivne regler for forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner, eller det er - af de relative få - alvorligere tilfælde, hvor man bør søge specialbistand, f. eks. hos SBI.

#### Oversigt over de enkelte faktorerens betydning

##### Cementens type

Reaktionsforløbet påvirkes direkte af cementens alkaliindhold, og risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner er derfor afhængig af cementtypen og cementmængden.

Ved analyse af de almindelige danske Portland cementer er det fastslået [Progress Report F 1], at deres alkaliindhold varierer omkring 0,7% eller meget nær ved den grænse på 0,6% af cementvægten, som amerikanske forskere oprindeligt anså for at være kritisk. [52 W 5], [55 P 1], [55 P 2]. Minimum har været ca. 0,4% og maksimum ca. 0,9%.

Når det tages i betragtning, at beton fremstilles med cementindhold varierende fra ca. 100 til ca. 500 kg pr. m<sup>3</sup> beton, ses det, at der er mulighed for meget varierende alkalikoncentrationer i beton støbt med almindelig dansk Portland cement.

Ved anvendelse af almindelig dansk Portland cement er den første forudsætning for skadelige alkalikiselreaktioner, nemlig tilstrækkelige mængder af frie alkalier, altså hyppigt til stede.

Om de i det enkelte tilfælde opstår, afhænger af miljøet, cementens alkaliindhold, betonens cementindhold pr. m<sup>3</sup>, grusets kornkurve samt dets indhold af alkalireaktive mineraler.

## Bilag 1

### Alkalikiselreaktioner

#### Oversigt

Gruspartikler, der indeholder eller består af kisel i en amorf eller mikrokrySTALLINSK tilstand, angribes i beton af hydroxyder og alkalier fra cementpastaen. Grusmaterialer, der indeholder bjergarter og mineraler af denne type, kaldes alkalireaktive, og processerne betegnes alkalikiselreaktioner.

Ved reaktioner dannes en fast, sejgtflydende eller vædskeformet kiselgel, der binder alkali- og kalciumioner i kiselmolekylernes tilfældigt opbyggede netværkstrukturer. Ved opslugning af vand kan gelen enten svulle næsten uden grænser og betegnes i så fald som værende af den uhammet svellende type eller ikke svulle i noget mærkbart omfang og i så fald betegnes en ikke-svellende gel.

Alkalikiselreaktioner kan mærkbart indvirke på betonens mekaniske egenskaber. Den delvise eller totale omdannelse af mineralkomponenter i gruspartiklerne til gel repræsenterer i sig selv en svækkelse af disses struktur og derfor også af styrken af betonen. Hvis der under reaktionerne kun produceres ikke-svellende gel, vil denne svækkelse dog som regel være uden større praktisk betydning.

Hvis der dannes svellende gel, opstår der et tryk mellem de reagerende partikler og den omgivende cementpasta. Såfremt trykket overstiger mineralstrukturens og cementpastaens trækstyrke, vil det forårsage dannelse af revner. Revnedannelse af denne art kan iagttages og registreres som ekspansioner i et mørtelprisme, et betonprisme eller i et betonbygværk.

Enslartet fordelte mindre revner i beton kan undertiden føre til ekspansioner af bygværksdele uden ledsagende ødelæggelse, særlig hvis kun betongrusets sandfraktion indeholder reaktive bestanddele, og forudsat at ekspansionerne ikke hæmmes eller hindres.

Uensartet fordelte indre revnedannelser kan føre til gennemrevning af hele betonmassen og vil give sig til kende på betonoverflader som de såkaldte netrevner. Svelning af gel i reagerende gruspartikler, som er beliggende i eller lige under en overflade kan bevirke, at en kegle af overliggende mørtel springer af under dannelse af, hvad der almindeligt betegnes en springer. Svellende gel i et hulrum i cementpastaen kan på samme måde forårsage springerdannelse. Udsvedning af gel gennem revner og porer kan føre til dannelse af harpikslignende geldråber på betonoverflader. Sådanne geludfældninger sammen med springere og revner er hyppigt forekommende vidnesbyrd om, at alkalikiselreaktioner er under udvikling i beton.

Alkalikiselreaktioner i et bygværk vil svække dets modstandsdygtighed mod almindelig klimatisk påvirkning. Reagerende eller reagerede gruspartikler, som er mere eller mindre imprægneret af gel, må antages at være mindre frostbestandige end intakte partikler. Revnedannelser kan accelerere korrosion af armeringen, udludning af cementpastaen og kan iøvrigt gradvis åbne betonens indre for skadelig påvirkning fra omgivende luft, jord og vand. Sekundære revnedannelser, rusten armering og udfyldninger med kalciumkarbonat er derfor almindelige vidnesbyrd om forvitring, hvor alkalikiselreaktioner foregår i udsatte betonbygværker.

### Muligheder for skadelige alkalikiselreaktioner i Danmark

Alkaliudvalgets arbejde på bred basis blev igangsat for at undersøge, om visse meget alvorlige alkalikiselreaktionsskader, som SBI havde påvist i enkelte stærkt udsatte bygværker, eventuelt kunne tænkes at være forløber for en også i mindre udsatte konstruktioner almindeligt forekommende forvitring.

Undersøgelserne har vist, at der overalt i Danmark ved anvendelse af traditionelle materialer og metoder vil være en vis risiko for skadelige alkalikiselreaktioner. En lang række omstændigheder er imidlertid afgørende for, om denne fare faktisk vil føre til skadelige alkalikiselreaktioner, eller om de vil forblive ufarlige.

En nærmere vurdering af faren for skadelige alkalikiselreaktioner kan selv i konkrete tilfælde være en kompliceret sag.

Følgende omstændigheder har afgørende betydning for reaktionsforløbet:

Cementens type.

Grusets sammensætning.

Reaktionsmiljøet.

For at reaktionerne skal få et skadeligt forløb, skal disse tre omstændigheder samtidig være uheldige, og man kan altså kun vurdere situationen ved en samlet betragtning af dem alle tre.

Følgende *oversigt* over omstændighederne enkeltvis vil være til nytte i praksis for vurdering af situationen, først og fremmest til afgørelse af, om man står overfor et simplere tilfælde, hvor man på egen hånd kan anvende de side 13-22 angivne regler for forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner, eller det er - af de relative få - alvorligere tilfælde, hvor man bør søge specialbistand, f. eks. hos SBI.

### Oversigt over de enkelte faktorerens betydning

#### Cementens type

Reaktionsforløbet påvirkes direkte af cementens alkaliindhold, og risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner er derfor afhængig af cementtypen og cementmængden.

Ved analyse af de almindelige danske Portland cementer er det fastslået [Progress Report F 1], at deres alkaliindhold varierer omkring 0,7% eller meget nær ved den grænse på 0,6% af cementvægten, som amerikanske forskere oprindeligt anså for at være kritisk. [52 W 5], [55 P 1], [55 P 2]. Minimum har været ca. 0,4% og maksimum ca. 0,9%.

Når det tages i betragtning, at beton fremstilles med cementindhold varierende fra ca. 100 til ca. 500 kg pr. m<sup>3</sup> beton, ses det, at der er mulighed for meget varierende alkalikoncentrationer i beton støbt med almindelig dansk Portland cement.

Ved anvendelse af almindelig dansk Portland cement er *den første forudsætning for skadelige alkalikiselreaktioner*, nemlig tilstrækkelige mængder af frie alkalier, altså hyppigt til stede.

Om de i det enkelte tilfælde opstår, afhænger af miljøet, cementens alkaliindhold, betonens cementindhold pr. m<sup>3</sup>, grusets kornkurve samt dets indhold af alkalireaktive mineraler.

### Grusmaterialernes sammensætning

Alkalireaktive mineraler\* består af kisel, i opløselig form, dvs. enten i amorf, vandholdig form, i glasagtig eller i mikrokrystallinsk tilstand. Alkalireaktive bjergarter indeholder disse mineraler.

Tabel 1.1. Alkalireaktive mineraler og bjergarter

Mineral	Bjergart
Vulkansk aske	Vulkanske bjergarter og vulkansk aske
Opal	Basalt, dolomit, flint m. v.
Mikrokrystallinsk kvarts (kalcedon)	Flint

Kun de to sidste grupper i tabellen: opal og mikrokrystallinsk kvarts, har interesse i Danmark, idet begge findes i betydelige mængder, som flint i danske grusmaterialer.

I bilag 3 er vist farvebilleder af typiske flinter fra de danske grusmaterialer.

Indflydelsen af flintens kornstørrelse og mængde pr. m<sup>3</sup> beton på reaktionsforløbet er ret kompliceret.

I fig. 1.1 er vist sammenhængen mellem ekspansion af mørtelprismer efter et vist tidsforløb og indholdet af forskellige flinttyper af en bestemt kornstørrelse.

Ændres forsøgsperiodens længde, eller tilslaget kornstørrelse, fås andre kurveforløb, dog af principielt samme udseende. Nærmere oplysninger om alle disse forhold vil kunne findes i bilag 2 og i litteraturen, men det kan dog her generelt siges, at der er en øvre grænse for det indhold af flint, som medfører skadelige alkalikiselreaktioner.

Denne øvre grænse, som ifølge amerikanske erfaringer svarer til 0,1% ekspansion efter 12 måneder for mørtelprismer, er for det i fig. 1.1 indtegnede eksempel med Kagstrupflint ca. 50, men kan, som det fremgår af det skraverede område, der skal illustrere variationsområdet for andre danske flinttyper, variere imellem ca. 10% og ca. 90%. Indeholder betonen mere flint, vil der kun ske uskadelige alkalikiselreaktioner.

Ligeledes er der en nedre grænse for det indhold af flint i sandfraktionen, som medfører skadelige alkalikiselreaktioner. Denne procent kan variere omkring ca. 2%. Indeholder sandet mindre flint, vil alkalikiselreaktioner ikke have nogen skadelig virkning af betydning. Disse grænser er som nævnt stærkt afhængige af flintens kornstørrelsesfordeling.

Er gruset således sammensat, at indholdet af flint ligger mellem de nævnte grænser, siger man, at man har truffet det farlige blandingsområde, hvor ekspansionen for mørtelprismer altså overstiger 0,1% efter 12 måneder. Det blandingsforhold omtrent midt i det farlige område, der giver den største ekspansion, kaldes det »pessimale«.

Ved de undersøgelser [Progress Report E 1] og [Progress Report D 2], alkaliudvalget i samarbejde med DGU har foretaget af danske sandforekomster, der anvendes eller kan anvendes som betontilslagsmaterialer, er det konstateret, at gennemsnitsindholdet af reaktivt flint kun yderst sjældent kommer under den ovennævnte kritiske grænse på ca. 2%.

\* Metode til bestemmelse af grus's alkalireaktivitet er angivet i bilag 3.

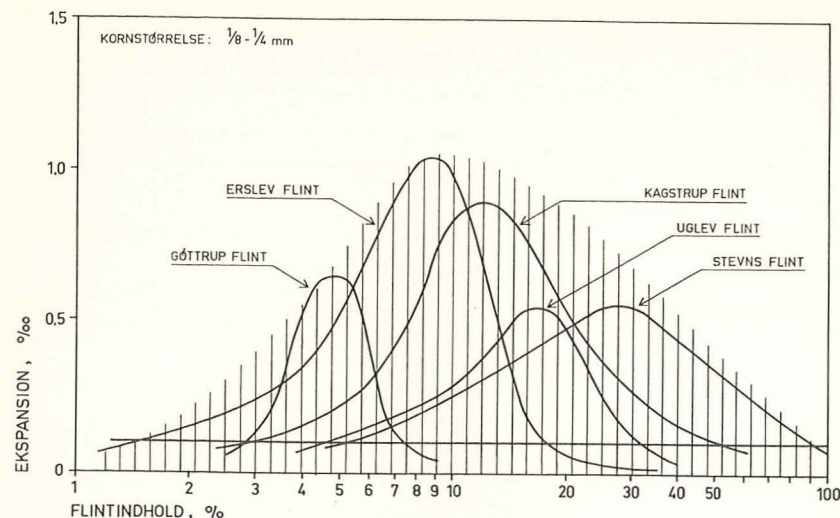


Fig. 1.1. Sammenhæng mellem ekspansion af mørtelprismer efter et vist tidsforløb og indhold af forskellige flinttyper af en bestemt kornstørrelse.

Ved anvendelse af danske grussorter er den anden forudsætning for skadelige alkalikiselreaktioner, nemlig tilstedeværelsen af farlige mængder af flint, altså praktisk taget altid til stede.

Om de i det enkelte tilfælde opstår, afhænger af miljøet, flintens mængde- og kornstørrelsesforhold samt af betonens indhold af alkalier.

### Reaktionsmiljøet

Den tredje forudsætning for, at der i en beton kan opstå skadelige alkalikiselreaktioner er, at der udover den første levetid tilføres betonen fugtighed.

I beton, som uden videre er beskyttet imod fugtighed, har udvalget ikke i praksis konstateret skadelige alkalikiselreaktioner. Langt den største del af den danske betonproduktion – vel omkring 80–90% – falder indenfor denne klasse, der stort set omfatter almindelige indendørs bygningskonstruktioner.

Ved konstruktioner i et vådt miljø må der skelnes skarpt mellem sådanne, hvor det vand, der kan sive ind, er fersk, og sådanne, hvor vandet indeholder alkalier. I det første tilfælde afhænger reaktionsforløbet alene af betonens oprindelige bestanddele. I det andet tilfælde, hvor det indtrængende vand indeholder alkalier, kan dette medføre, at en måske oprindeligt ufarlig blanding kommer op i det farlige område, så reaktionerne nu får et farligt forløb.

Det til selve blandingen i første omgang anvendte vand vil, hvis det er rent, være uden indflydelse på eventuelle alkalikiselreaktioner. Er der i vandet opløst alkalier, vil disse på samme måde som cementens kunne medvirke ved reaktionerne.



## Om prøvning med henblik på forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner

De prøvemethoder, der er udviklet med henblik på en forhåndsvurdering af risikoen for alkalikiselreaktioner i beton, omfatter to grupper, dels metoder til afgørelse af, hvorvidt *betonkomponenterne hver for sig* indeholder stoffer, der kan reagere, dels metoder til afgørelse af, om *beton i et bestemt miljø og med en bestemt sammensætning* kan give skadelige reaktioner.

I det følgende afsnit er metoderne til vurdering af komponenterne omtalt hver for sig. Disse metoder er hurtige og enkle, men i sig selv kan de kun oplyse, om reaktionsmulighederne vil være til stede eller ej, medens de ikke kan besvare spørgsmålet, om en bestemt betonsammensætning vil give skadelige eller uskadelige reaktioner under i øvrigt reaktionsfremmende omstændigheder. Dette spørgsmål kan i almindelighed kun besvares med nogenlunde sikkerhed ved hjælp af den anden gruppes metoder, hvis resultater først foreligger efter langvarig lagring (fra ét til flere år) af prøverne.

Ved sideløbende udvikling af de to grupper prøvemethoder vil det formentlig med tiden blive muligt, alene på grundlag af det ved prøvning erhvervede kendskab til komponenterne, at forudsige, om en beton med en bestemt sammensætning, der inkluderer kendte reaktive materialer, i et bestemt miljø vil give skadelige reaktioner eller ej.

På grundlag af de omfattende forsøgsserier, udvalget har gennemført, er det allerede nu muligt at gøre visse forudsigelser af den ovenfor nævnte art med hensyn til danske materialer. Forudsigelserne er behæftet med en vis usikkerhed, først og fremmest fordi man har et meget ufuldkomment kendskab til de modellove, der må være grundlag for slutninger fra små prøvelegemers egenskaber til egenskaberne hos betonkonstruktioner i fuld skala. Herom henvises i øvrigt til side 34 i dette bilag.

På bilagets side 38 er anført nogle almindelige retningslinier for udtagning af cement- og grusprøver, der skal analyseres efter de side 28-32 angivne metoder.

### Separat prøvning af betonkomponenterne

#### Bestemmelse af alkaliindholdet i cement

De alkalier, der findes i danske cementtyper, består af natrium- og kaliumforbindelser, der stammer fra lerjorden, som er benyttet som råmateriale. Det samlede alkaliindhold i en forelagt cementprøve beregnes som vægtprocent af ækvivalent  $\text{Na}_2\text{O}$ , dvs.  $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$ , idet forholdet mellem de to stoffers molekylvægte er 0,658.

Bestemmelse af cementprøvers alkaliindhold kan foretages med sædvanlige analytiske metoder; disse er imidlertid ret omstændelige, og cementfabrikkerne foretager derfor deres rutinemæssige produktionskontrol af alkaliindholdet ved hjælp af flammefotometer, der er en væsentlig hurtigere metode, og mindst lige så nøjagtig. Statsprøveanstalten udfører også sådanne flammefotometriske bestemmelser for rekvirenter. En sammenlignende undersøgelse er refereret i [59 F 2]. Endvidere foreligger en *ASTM-standard, C114-58T*, for flammefotometrisk bestemmelse af alkaliindholdet i cement.

SBI		STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT											Side:			
													Journ. nr:			
													Sag nr:			
		Grusundersøgelse OPTALLING											<b>B</b>			
Preveart:	Udtagningssted:	Analysedato:					Signatur:									
FRAKTION mm <input type="checkbox"/>		0	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	16	32	64	128			
ANTAL REGISTREREDE KORN		stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk			
SAMMENSETNING	reaktive	1. FLINT, tæt, kalkfri														
	2. FLINT, tæt, kalkholdig															
	3. FLINT, porøs, kalkfri															
	4. FLINT, porøs, kalkh.															
	5.															
	inaktive	6. KALKFOREKOMSTER														
	7. SANDSTEN, KVARTSIT															
	8. ERUPTIVER															
	9. MINERALKORN															
		SUM														
STRUKTUR	10. TÆT															
	11. PORØS															
	SUM															
	12. HÅRD															
FORM	13. SMULDRENDE															
	SUM															
	14. KOMPAKT															
OVERFLADE	15. LANG															
	16. FLAD															
	SUM															
OVERFLADE	17. SKARP															
	18. KANTSLIDT															
	19. AFRUNDET															
	SUM															
OVERFLADE	20. RU															
	21. GLAT															
	SUM															

Fig. 2.1. Et skema til notering af petrografiske analyseresultater.

Metoden regnes for at være meget nøjagtig, idet analysen kan udføres med en relativ nøjagtighed på ca. 5%.

Angående danske cementtypers alkaliindhold henvises til bilag 4, idet det bemærkes, at de der anførte tal for ækvivalent  $\text{Na}_2\text{O}$ , %, er middeltal og at der, særlig over længere perioder, kan være en vis variation omkring disse middeltal [Progress Report F 1].

#### Petrografisk analyse af grus

Ved en petrografisk analyse af grusprøver bestemmes de enkelte grusfraktioners indhold af forskellige typer reaktive og inaktive mineraler samt en række fysiske egenskaber ved gruset, der er af betydning for dets anvendelse som betongrus.

Den petrografiske analyse, der beskrives i det følgende, er udviklet på udvalgte (nu SBI's) laboratorium, hvor den bl. a. anvendes ved konsultationsundersøgelser.

Først deles den forelagte prøve ved hjælp af en grussplitter, således at man får 2 repræsentative prøver à 1 kg. Den ene prøve gemmes til eventuel senere kontrol. Den anden prøve behandles på følgende måde:

Grusets kornkurve bestemmes ved sigtning af materialet i de overst på fig. 2.1 angivne fraktioner. Derefter foretages for hver fraktion en undersøgelse af materialets mineralogiske og fysiske karakter.

Undersøgelsen udføres på forskellig måde for de fine og de grove fraktioner. Materialer større end 4 mm bedømmes ved direkte betragtning: »makroskopisk« og med støtte af observationer i mikroskop uden videregående præparation. Af materialet finere end 4 mm fremstilles faste præparater ved indlejring af kornsamlinger i plastic på objektglas. For fraktionerne  $\frac{1}{2}$ -1, 1-2, 2-4 mm foretages der en nedslibning af den plasticimprægnerede kornmasse, således at præparatykkelsen bliver ca. 1/20 mm. Præparater, fremstillet af fraktioner mindre end  $\frac{1}{2}$  mm, nedslibes ikke.

De fremstillede præparater analyseres under polarisationsmikroskop, som muliggør en mineralogisk og strukturmæssig identificering af de enkelte korn.

De vigtigste holdepunkter for den makroskopiske analyse af de forskellige mineraltyper i fraktionerne større end 4 mm er anført i bilag 3.

Det bemærkes, at flintens kalkholdighed i de grove kornfraktioner (> 4 mm) konstateres ved syreproving, medens kalkholdigheden for materialet < 4 mm bestemmes ad optisk vej ved hjælp af et polarisationsmikroskop.

I de tilfælde, hvor partiklen består af forskellige slags bestanddele i overfladen og i det indre, f. eks. tæt flint med ydre skorpe af porøs flint, rubriceres partiklen efter overfladens beskaffenhed. Vurderingen af de præparerede korns overflade foretages ved bedømmelse af randzonen mellem korn og plasticmasse. Motiveringen for denne rubricering efter overfladens karakter er den, at eventuelle reaktioner mellem gruset og cementen først og fremmest vil foregå i gruskornenes overflade.

Det bemærkes, at denne fremgangsmåde i de fleste tilfælde vil føre til, at man i de grove fraktioner får opgjort en væsentlig større andel porøse korn, end hvis opgørelsen foretoges efter nedknusning af materialerne i de enkelte fraktioner.

Ved de ovenfor omtalte mineralogiske undersøgelser af de enkelte grusfraktioner foretages en optælling af kornene fordelt på de i skemaet fig. 2.1 angivne reaktive og inaktive mineralgrupper.

I de tilfælde, hvor nogle af de undersøgte prøver viser sig at indeholde bjergarter, om hvilke man ikke på forhånd ved, om de er reaktive eller ej, må dette spørgsmål afgøres

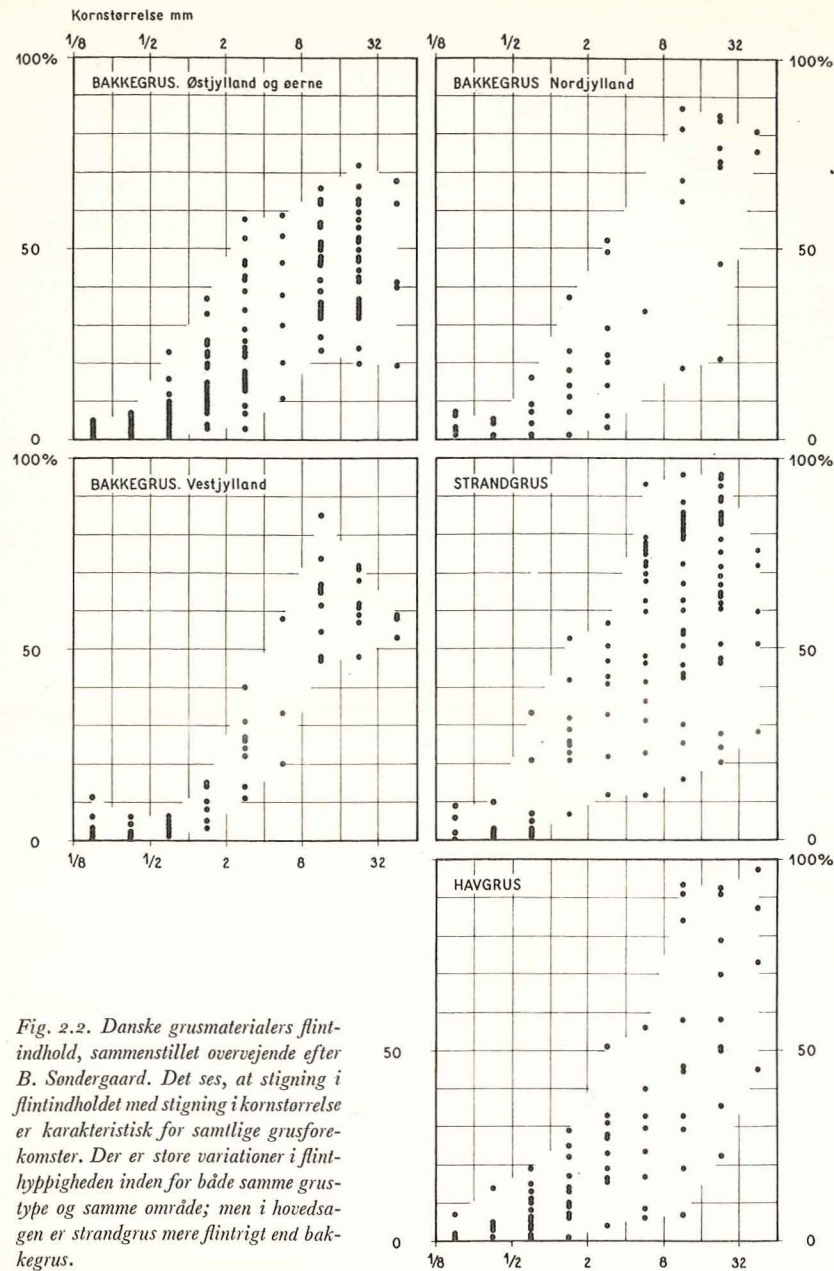


Fig. 2.2. Danske grusmaterialers flintindhold, sammenstillet overvejende efter B. Sondergaard. Det ses, at stigning i flintindholdet med stigning i kornstørrelse er karakteristisk for samtlige grusforekomster. Der er store variationer i flinthyppigheden inden for både samme grus-type og samme område; men i hovedsagen er strandgrus mere flintrigt end bakkegrus.

ved hjælp af den såkaldte *hurtige kemiske metode*. Metoden er en »accelereret« prøvemethode, der består i, at man udsætter gruset for en meget kraftig alkalisk opløsning, som på kort tid tillader at afgøre, om det indeholder reaktive bestanddele. Den hurtige kemiske metode er en standardundersøgelse, der findes normeret i ASTM C289-52T og i Handbook for Concrete and Cement C 128-53.

Samtidig med, at materialet undersøges mineralogisk, foretages der en bedømmelse af en række fysiske egenskaber ved kornene. De egenskaber, der søges klarlagt, er: kornstruktur, kornform og kornoverflade, jfr. skemaet, fig 2.1.

Indenfor hver af de tre nævnte kategorier fordeles antallet af undersøgte korn i hver fraktion på de i skemaet angivne undergrupper.

Det antal korn, der optæles pr. fraktion, er normalt af størrelsesordenen 300, men antallet bestemmes i øvrigt efter formålet med undersøgelsen. Resultaterne af optællingen indføres på det forømtalte skema B på fig 2.1. I et tilsvarende skema C angives dernæst for hver fraktion den procentiske fordeling af de mineralogiske og fysiske karakterer. Endelig udregnes på grundlag af sigteanalysen og skema C prøvens totalsammensætning. Resultatet heraf indføres i et skema D. Analyseresultaterne kan endelig anskueliggøres gennem forskellige former for grafisk afbildning.

Den petrografiske analyses oplysninger om de enkelte fraktioners indhold af tæt og porøs flint er udgangspunktet for vurderingen af risikoen for, om gruset udstøbt i beton i et bestemt miljø og med en bestemt sammensætning og cementtype vil reagere med alkalier i cementen og/eller alkalier tilført fra omgivelserne.

Kun for sandfraktionens vedkommende foreligger et større eksperimentelt underlag for denne vurdering i form af resultaterne af udvalgets mørtelprismeforsøg, der omtales i et følgende afsnit. For stenfraktionernes vedkommende foreligger desværre kun så lille et materiale (betonprismeforsøg samt iagttagelser af eksisterende betonbygværker), at man kun har et meget ufyldstgørende grundlag for vurderingen. Dette er så meget mere beklageligt, som de fleste grusforekomster i Danmark indeholder betydelige flintmængder netop i stenfraktionerne, jfr. oversigten fig. 2.2. I øvrigt henvises til redegørelsen for grusforekomster i Danmark i bilag 3.

### Prøvemethoder til afgørelse af, hvilke betonsammensætninger med reaktive materialer, der kan give skadelige alkalikselreaktioner

Som nærmere forklaret i bilag 1 er det ikke i almindelighed muligt blot ud fra tilstedeværelsen af de kemiske betingelser for alkalikselreaktioner i en beton at forudsige, om eventuelle reaktioner vil få et harmløst forløb, eller om de vil udløse skadelige mekaniske virkninger: ekspansioner og revnedannelser.

Spørgsmålet må derfor i mange tilfælde undersøges ved forsøg, og for at holde den slags undersøgelser inden for et for laboratorieforsøg overkommeligt omfang har man i alle lande, hvor spørgsmålet er taget op, anvendt små prøvelegemer.

Erfaringerne fra sådanne forsøg har vist, at reaktionsforløbet er overordentlig følsomt for de lagringsbetingelser (reaktionsmiljøet), prøvelegemerne er underkastet. Ved at holde høj relativ fugtighed og lagringstemperatur mellem 20 og 40° C får man normalt den hurtigste udvikling af ekspansioner. Disse iagttagelser har man benyttet til at udvikle de accelererede prøvemethoder, der omtales nedenfor.

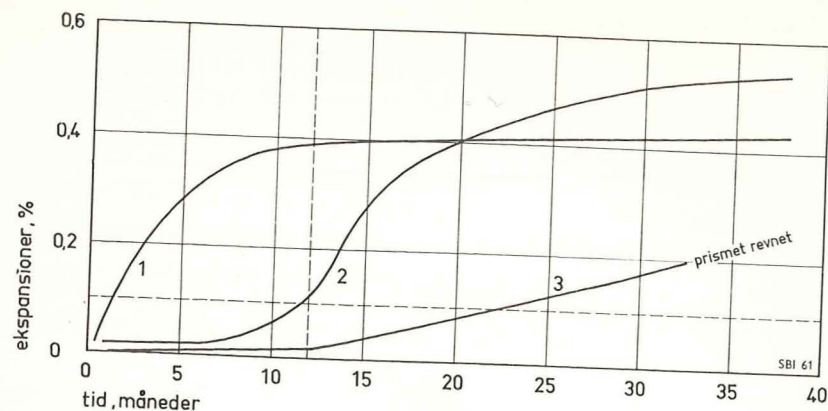


Fig. 2.3. Eksempler på ekspansionsforløb for mørtelprismer udstøbt med ufortyndede, naturligt forekommende danske sandmaterialer og forskellige cementtyper.  
 1. Sand nr. 49.101b (9,6% tæt flint; 2,2% porøs flint) og høj-alkali cement (1,2% ækv.  $Na_2O$ ).  
 2. Sand nr. 154.101 (4,8% tæt flint; 5,6% porøs flint) og middel-alkali cement (0,6% ækv.  $Na_2O$ ).  
 3. Sand nr. 146.101 (7,8% tæt flint; 7,2% porøs flint) og middel-alkali cement (0,6% ækv.  $Na_2O$ ).

### Mørtelprismeforsøg

Til mørtelprismeforsøg anvendes næsten altid prøvelegemer med dimensionerne 25 × 25 × 125 mm. I midten af prismets to endeflader er indstøbt måletappe af stål, således at den effektive målelængde (den korteste afstand mellem måletappene) er 105 mm. Prismene fremstilles af en mørtelblanding, cement:sand = 1:2. Der tilstræbes et cement/vandforhold på ca. 2.0. Da det imidlertid har vist sig vigtigere at holde konstant bearbejdighed end konstant  $c/v$ , tilsættes så meget destilleret vand, at blandingen får et »flow« på 100.

Prismerne udstøbes i rustfri stålforme, og efter afformningen, dvs. 24 timer efter udstøbningen, bestemmes prismernes såkaldte nul-længde ved hjælp af et særligt måleapparat. Efter afformningen sammenstilles et sæt mørtelprismer i et stativ og anbringes i en metalbeholder ved 38° C og 100% fugtighed. Længdeændringen i forhold til nul-stillingen bestemmes første gang efter 1/4 måneds forløb, derefter efter 1/2, 1, 2, 4, 8, 16 og 32 måneders forløb. Ved disse målinger er det muligt at få et klart billede af ekspansionens forløb i tiden.

Normalt udstøbes to prismar af hver sammensætning for at få et mål for forsøgenes reproducerbarhed.

Den ovenfor skildrede fremgangsmåde er anvendt af udvalget og afviger kun på forskellige mindre væsentlige punkter fra *ASTM Designation C227-52T*. Ved de danske forsøg har man hidtil anvendt en lineær kornkurve mellem 1/8 og 4 mm. Der er imidlertid ikke noget i vejen for at anvende kornkurver af en anden form, f. eks. den, der svarer til den naturlige kornkurve for det pågældende sand.

Ved de danske forsøg har man forsøgt at belyse alkaliindholdets indflydelse på ekspansionerne ved at anvende mindst 3 forskellige cementer med alkaliindhold fra 0.4 til 1.15% ækvivalent  $\text{Na}_2\text{O}$ . Da ekspansionernes omfang ikke alene afhænger af alkaliindholdet, typen af reaktivt materiale og det procentvise indhold af reaktivt materiale, men også af kornstørrelsen og kornkurvens form, er det en svaghed ved mørtelprismeforsøg, at man på grund af prøvelegemernes ringe størrelse kun kan anvende korn mindre end 4 mm. Denne svaghed har man søgt at overvinde på den måde, at man anstiller særlige forsøg med nedknuste materialer fra stenfraktionen, men resultaterne af sådanne forsøg kan imidlertid ikke umiddelbart fortolkes med gyldighed for stenfraktionen, fordi kornene har en anden størrelse og form end de oprindelige sten.

Ved amerikanske undersøgelser har man søgt at etablere en korrelation mellem mørtelprismers ekspansion og jagttagelser over tilstanden af ældre betonbygværker, udstøbt af »tilsvarende« beton. Disse erfaringer tyder på, at når ekspansionen efter 12 måneders forløb er større end 0.1%, er der betydelig risiko for skadelige ekspansioner og revnedannelser i betonbygværker, medens der, når ekspansionerne er mindre end 0.04% efter 12 måneders forløb, ikke er nogen fare tilstede. Ekspansioner mellem 0.04 og 0.1% betegnes som tvivlsomme, fordi man har en vis lille risiko for, at tilsvarende betonbygværker vil udvise skader hidrørende fra alkalikiselreaktioner.

Erfaringerne fra danske mørtelprismeforsøg tyder på, at det kan være vanskeligt at skønne over mørtelprismernes sluttelige ekspansionsforløb allerede efter 12 måneders forløb, jfr. de eksempler, der er vist på fig. 2.3.

Man er derfor foreløbig her gået den forsigtige vej at benytte de samme ekspansionsintervaller som amerikanerne, men vurdere skadeligheden ud fra ekspansionerne efter 2-3 års eller eventuelt længere tids forløb.

Således som mørtelprismeforsøgene er udformet, kan de i bedste fald kun fortolkes som gyldige for tilsvarende mørtel i beton, idet stenfraktionens indflydelse på ekspansionerne overhovedet ikke kommer til udtryk. Mørtelprismeforsøg kan derfor ikke anvendes til vurdering af beton med reaktivt materiale i stenfraktionen.

De hidtil udførte danske mørtelprismeforsøg falder i 2 grupper: forsøg med 5 »standard« typer flint, bl. a. med det formål at klarlægge kornstørrelsens indflydelse på ekspansionernes størrelse, jfr. fig. 2.4, og forsøg med materiale fra 56 grusforekomster spredt over hele landet. Formålet med de sidstnævnte forsøg har været at få belyst, i hvilket omfang almindelige danske grusforekomster kunne give skadelige reaktioner. Procenten af flint i sandfraktionen i disse grusforekomster varierer mellem 0 og 30. Af hver sandprøve er udstøbt 9 sæt mørtelprismer, idet man har anvendt 3 cementer med henholdsvis 0.4, 0.6 og 1.15% ækvivalent  $\text{Na}_2\text{O}$  og for hver cementtype dels har anvendt sandet rent dels opblandet til henholdsvis 40 og 10%, idet man som opblandingsmiddel har anvendt inaktivt kvarts. Samtlige ekspansioner efter 42 måneders forløb er vist på diagrammet, fig. 2.5, som funktion af det procentvise flintindhold i prismerne og af cementens alkaliindhold.

Det fremgår af diagrammet med tilhørende tabel, at når flintprocenten er under 2, har man praktisk taget ingen ekspansioner over 0.1% uanset cementens alkaliindhold. Endvidere fremgår, at når cementens alkaliindhold er 0.4%, er chancen for ekspansioner over 0.1% overordentlig lille uanset det procentvise flintindhold. I den øvrige del af variationsområdet er der en ikke ubetydelig risiko for ekspansioner større end 0.1% efter 32 måneder.

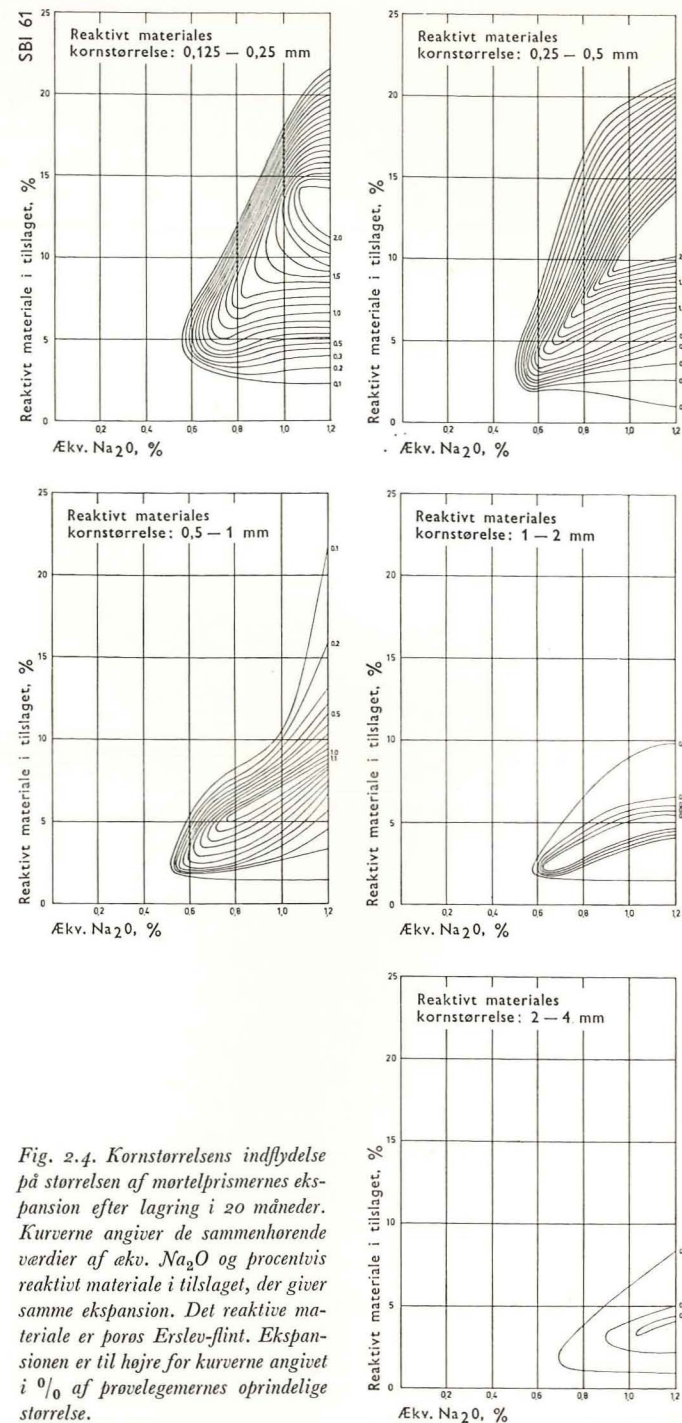


Fig. 2.4. Kornstørrelsens indflydelse på størrelsen af mørtelprismernes ekspansion efter lagring i 20 måneder. Kurverne angiver de sammenhørende værdier af ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$  og procentvis reaktivt materiale i tilslaget, der giver samme ekspansion. Det reaktive materiale er porøs Erslev-flint. Ekspansionen er til højre for kurverne angivet i % af prøvelegemernes oprindelige størrelse.

332 mørtelprismer udstøbt med 1.15% ækv. Na<sub>2</sub>O i cementen

ε, %	Flintindhold i tilslaget, %					Ialt
	0-2.0	2.0-5	5-10	10-20	20-30	
ε < 0.05 . . . .	96	22	8	2	4	132
0.05-0.1 . . . .	29	33	16	3	5	86
0.1-0.2 . . . .	2	16	30	17	1	66
0.2-0.3 . . . .		2	17	5		24
0.3-0.5 . . . .			5	12	1	18
ε ≧ 0.5 . . . .			2	3	1	6
Ialt . . . . .	127	73	78	42	12	332

332 mørtelprismer udstøbt med 0.6% ækv. Na<sub>2</sub>O i cementen

ε, %	Flintindhold i tilslaget, %					Ialt
	0-2.0	2.0-5	5-10	10-20	20-30	
ε < 0.05 . . . .	118	60	46	22	9	255
0.05-0.1 . . . .	6	7	16	6	3	38
0.1-0.2 . . . .	2	4	7	5		18
0.2-0.3 . . . .	1	1	6	5		13
0.3-0.5 . . . .	1		3	1		5
ε ≧ 0.5 . . . .			2	1		3
Ialt . . . . .	128	72	80	40	12	332

327 mørtelprismer udstøbt med 0.4% ækv. Na<sub>2</sub>O i cementen

ε, %	Flintindhold i tilslaget, %					Ialt
	0-2.0	2.0-5	5-10	10-20	20-30	
ε < 0.05 . . . .	123	64	67	31	12	297
0.05-0.1 . . . .	3	5	7	5		20
0.1-0.2 . . . .		3	3	4		10
0.2-0.3 . . . .						
0.3-0.5 . . . .						
ε ≧ 0.5 . . . .						
Ialt . . . . .	126	72	77	40	12	327

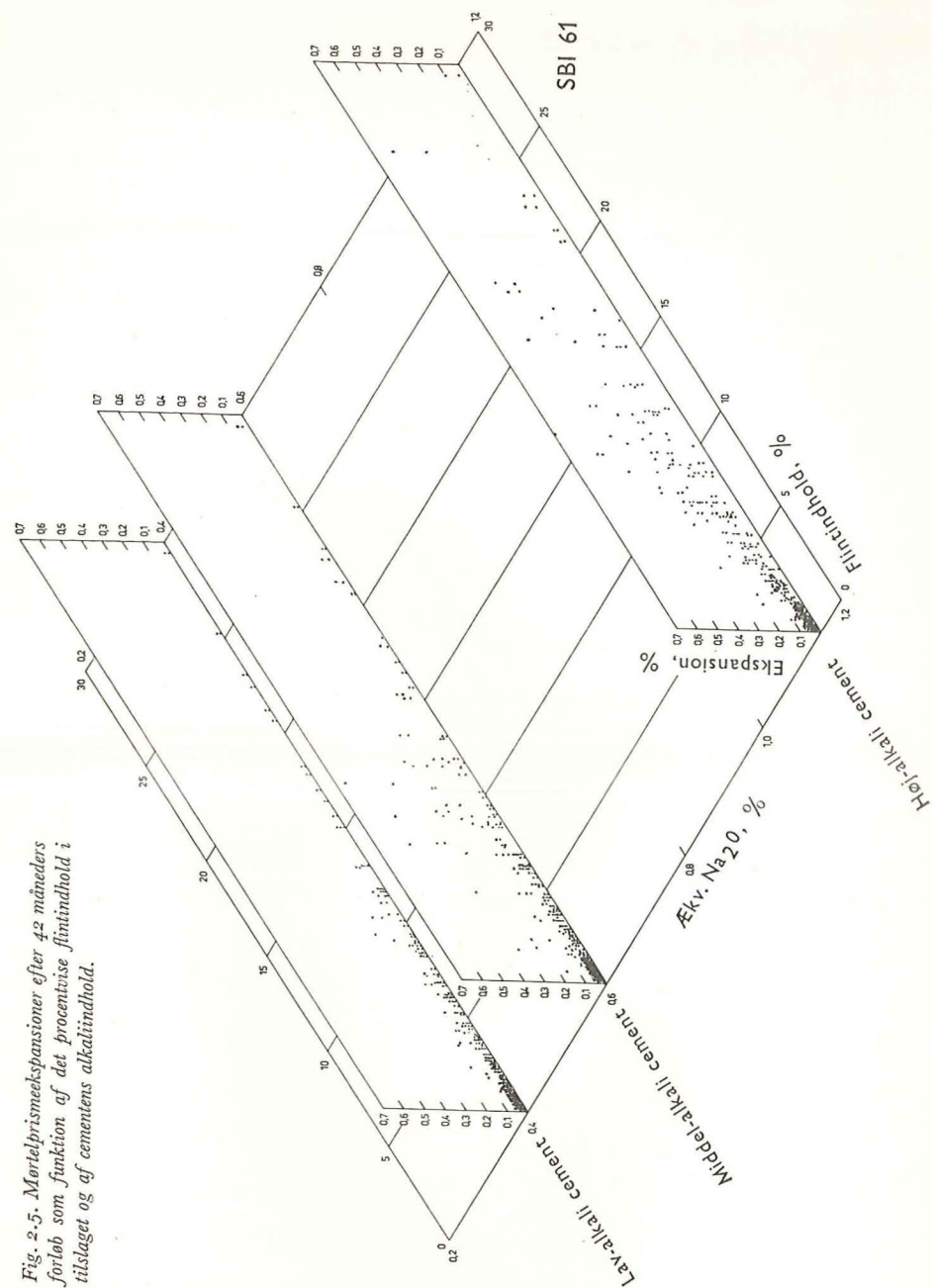


Fig. 2.5. Mortelprismeekspansioner efter 42 måneders forløb som funktion af det procentvise flintindhold i tilslaget og af cementens alkaliindhold.

### Betonprismeforsøg

På grund af de side 34 omtalte vanskeligheder ved at overføre mørtelprismeforsøgenes resultater til beton er det nærliggende at supplere med forsøg med prøvelegemer af en sådan størrelse, at stenfraktionerne kan indgå. Ved danske forsøg har man anvendt betonprismer med dimensionerne  $10 \times 10 \times 60$  cm. Det er også nærliggende at forsøge ekspansionerne accelereret ved at lagre betonprismerne under samme betingelser som mørtelprismerne. Det er imidlertid ikke sikkert, at man opnår størst acceleration ved denne fremgangsmåde, og man har forskellige steder forsøgt at fremme ekspansionerne ved at udsætte betonprismerne for varierende temperatur- og fugtighedsforhold, ligesom sammenhængen mellem praksis og accelererende forsøg ikke er klarlagt. En dansk standardmetodik for accelererede betonprismeforsøg er bl. a. på grund af disse uklarheder endnu ikke udviklet.

Ved planlægningen af større betonbygværker må det tilrådes, at man på et tidligt stadium lader iværksætte betonprismeforsøg med forskellige – fortrinsvis flintfattige sammensætninger af de grusmaterialer, som det vil være billigst at anvende til de pågældende bygværker. Formålet med sådanne forsøg skal bl. a. være at undersøge, om man kan finde frem til i øvrigt egnede betonsammensætninger, som ikke giver risiko for skadelige alkalikislerreaktioner, eventuelt uden anvendelse af specialcementer med lavt alkaliindhold. Forsøgsmetodikken – særlig forsåvidt angår lagringsbetingelserne – må udvikles under særlig hensyntagen til det miljø, som de pågældende bygværker vil blive opført i.

### Retningslinier for prøveudtagning

#### Prøveudtagning af cement

Reglerne for almindelig cementprøveudtagning ligger uden for denne vejlednings rammer [33–15].

Ved større bygværker kan det imidlertid have betydning, at konsumenten selv fører løbende kontrol med cementens alkaliindhold.

Prøveudtagning af cement er standardiseret som *ASTM C183-46: Sampling Hydraulic Cement* og i *Handbook for Concrete and Cement CRD-C 201-52: Comments, Hydraulic Methods for Sampling, Inspection and Testing*, hvortil henvises.

Som tidligere nævnt er variationen i cements alkaliindhold over en kortere produktions-tid forholdsvis lille. Man kan derfor ved mindre leverancer som regel nøjes med udtagning fra et forholdsvis ringe antal tilfældigt udvalgte cementposer. Ved sammenblanding til en »generalprøve« på ca. 2 kg kan man med en alkalibestemmelse på et autoriseret laboratorium få et godt skøn over cementleverancens middel-alkaliindhold.

Efter udtagningen forsynes prøvens beholder, der skal være lufttæt og vandtæt, med tydeligt registreringsnummer. I en følgeskrivelse til laboratoriet, der skal foretage analysen, anføres:

Registreringsnummer.

Dato for prøveudtagningen.

Oplysning om leverandør og tidspunkt for leveringen af cementen.

Cementtypen.

Oplysning om udtagsmetodikken.

Eventuelle særlige bemærkninger.

Udtagerens signatur.

Prøveudtagning, prøveindsendelse og analyse bør organiseres således, at meddelelse om analysens resultat kan foreligge i god tid, før cementen skal anvendes.

#### Prøveudtagning af grus

Med henblik på vurdering af risikoen for alkalikislerreaktioner kan grusprøver udtages til petrografisk analyse eventuelt suppleret med de langvarige mørtel- og betonprismeforsøg.

Proveresultaterne vil normalt være det grundlag, hvorpå man baserer sine slutninger eller afgørelser vedrørende det grusmateriale, prøverne stammer fra, og prøveudtagning må derfor tilrettelægges på en sådan måde, at konklusionerne er forsvarlige.

I denne forbindelse kan man sondre mellem to væsensforskellige prøvningsformål og -situationer, der motiverer hver sin fremgangsmåde ved prøveudtagningen:

1. Formålet med prøveudtagningen er (ved petrografiske analyser) at få et *kvantitativt overblik* over, i hvilket omfang de enkelte fraktioner i en bestemt geografisk og geologisk afgrænset *grusforekomst* indeholder reaktive materialer af forskellig type.

Herudover kan formålet være ved mørtel- og betonprismeforsøg at få nærmere belyst, hvilke betonsammensætninger der giver uskadelige henholdsvis skadelige reaktioner, når tilslag fra pågældende grusforekomst anvendes.

2. Formålet med prøveudtagningen er at fremskaffe grundlag for *afgørelse* om, hvorvidt hver enkelt af en serie løbende *grusleverancer* opfylder bestemte krav med hensyn til det med leverandøren aftalte tilladelige indhold af reaktivt materiale i de enkelte fraktioner eller fraktionerne under ét.

Ad 1. Inden for en bestemt *grusforekomst* kan grusets sammensætning både med hensyn til kornkurve og de enkelte fraktioners indhold af reaktivt materiale variere stærkt fra lag til lag, og samtidig varierer de enkelte lags tykkelse og undertiden også deres sammensætning fra sted til sted i grusforekomsten. Prøver, udtaget tilfældigt direkte i selve grusforekomsten eller fra beholdere med sigtede materialer fra et bestemt sted i grusforekomsten, vil derfor give et misvisende eller ensidigt billede af forekomsten. Et sandere billede får man ved at lade prøveudtagningen ske på grundlag af en geologisk kortlægning af grusforekomsten. Kortlægningen skal redegøre for lokale variationer i de enkelte lags placering og tykkelse. Derfor udtages prøver fra hvert enkelt lag forskellige steder i forekomsten. Prøvestederne markeres på kortet.

De udtagne prøver analyseres petrografisk hver for sig. Da denne metode er kostbar, vil det ofte af økonomiske grunde være nødvendigt at begrænse de petrografiske analysers antal. Dette kan, under visse forudsætninger med hensyn til den måde, gruset udvindes på, gøres på den måde, at man for nogle prøvesteder tager en slags »vertikale generalprøver«, hvor hvert lag er repræsenteret med så stor en andel, som svarer til lagets tykkelse det pågældende sted. (Vertikale generalprøver kan evt. laves fraktion for fraktion, efter at de individuelle prøver er sigtede). Denne sammensætning af vertikale generalprøver bør normalt ikke foregå på stedet, men på den institution, der skal foretage den petrografiske analyse. Og den petrografiske analyse bør også omfatte et vist antal individuelle lagprøver udover de vertikale generalprøver. Der kan ikke på forhånd fastsættes et nødvendigt prøveantal, idet prøveantallet må bestemmes ud fra det kendskab, man efterhånden ved analyserne opnår til variationerne i den pågældende forekomst.

En sådan større geologisk kortlægning og petrografisk analysering af en grusforekomst er naturligvis kostbar, og for at få et indtryk af, om der, set i relation til et bestemt formål, er grund til at tro, at det er ulejligheden værd, kan man indledningsvis uden anden geologisk kortlægning end den, der eventuelt allerede er foretaget af Danmarks Geologiske Undersøgelse, selv udtage nogle få prøver af producentens lager af sigtede materialer fra forekomsten og indsende dem til petrografisk analyse. Prøverne fra de forskellige grusfraktioner (evt. blot sand og sten) må ikke blandes, men indsendes separat. Med hensyn til prøvernes størrelse, mærkning etc. gælder samme regler som anført nedenfor.

Ad 2. Vedrørende *grusleverancer* til betonstøbning kan det tænkes aftalt, at de enkelte leverancer ikke må indeholde mere end en vis del, f. eks. 2 vægtprocent, reaktivt materiale som et afvejet gennemsnit af visse eller alle fraktioner. Kontrol med leverancerne kan etableres under læsningen på produktionsstedet, under aflæsningen på byggepladsen eller ved prøveudtagning fra de aflæssede partier. Af hensyn til eventuelle variationer i grusets sammensætning indenfor den enkelte leverance bør man ikke nøjes med en enkelt prøve, men bør udtage et vist antal, f. eks. 10, lige store prøver med jævne mellemrum under læsning eller aflæsning af leverancen, eller fra tilfældigt udvalgte steder i den aflæssede leverance. I tilfælde, hvor gruset er oplagt i bunker, skal man erindre, at der kan være tale om afblanding, og prøveudtagningen skal omfatte såvel områder i toppen, ved midten og ved foden af bunken. Det er erfaringsmæssigt meget vanskeligt at udtage repræsentative prøver af bunker, og det bør derfor foretrækkes, at udtagningen foretages af en »strøm«, dvs. under læsning eller aflæsning. Om de 10 prøver skal sammenblandes til en generalprøve eller ej, afhænger af, om man ønsker at kontrollere *variationerne* i grusets sammensætning eller ej. I hvert fald ved mindre partier vil der normalt ikke være anledning til at føre en sådan kontrol, og de 10 prøver hældes i samme beholder, hvorved man får en repræsentativ generalprøve, der indsendes til (hurtig) petrografisk analyse.

De udtagne prøvers størrelse skal være således afpasset, at der er mindst 300–1000 korn i hver fraktion, der ønskes analyseret. Som retningslinier kan det anbefales, at en udtagen sandprøve vejer 5–25 kg, og at en nøddestensprøve omfatter 50–100 kg.

Grusprøver må ikke fremsendes til analyse i papirsække. Derimod kan tætte, rene jutesække eller tætte trækasser anvendes.

Prøven forsynes med et registreringsnummer i to eksemplarer, der skal være modstandsdygtigt overfor fugtighed. Det ene nedlægges i emballagen, det andet anbringes udenpå denne. I en følgeskrivelse til laboratoriet, der skal foretage den petrografiske undersøgelse, anføres:

Registreringsnummer.

Dato for prøveudtagningen.

Nøjagtig angivelse af udtagingsstedet, så en eventuel rekonstruering af prøveudtagningen kan finde sted.

Oplysning om udtagelsesmetodikken.

Eventuelle særlige bemærkninger.

Udtagerens signatur.

## Bilag 3

af civilingeniør Jørn Jessing  
og mag. scient. Gunnar Larsen

### Danske grusmaterialer

#### Grusforekomster

Der foreligger allerede fra tidligere tid en righoldig litteratur vedrørende grusforekomster i Danmark [26 Ø 1], [35 G 4], [40 G 9].

Herudover har udvalget vedrørende alkalireaktioner i beton specielt undersøgt, i hvilket omfang der findes flint i de grusforekomster, der anvendes i dag til betonstøbning. [Progress Report D 2], [Progress Report E 1]. Indholdet af flint og andre reaktive bjergarter i de undersøgte grusprøver har i middeltal været ca. 24 % med variationskoefficient på ca. 50 %. Dette gælder, når alle landets grusforekomster tages under ét. Inden for mindre geografiske områder kan findes en større ensartethed.

Det gennemsnitlige flintindhold i sandfraktionen i de undersøgte grusforekomster er 8 g pr. 100 g sand og i stenfraktionen 58 g pr. 100 g sten. Selvom flintmængden efter vægt er langt større i stenfraktionen end i sandfraktionen, så er det dog formentlig i de fleste tilfælde flinten i sandfraktionen, der bevirker de skadelige alkaliske reaktioner. Laboratorieundersøgelsen tyder på, at det er de reaktive materialers specifikke overflade, der er afgørende for reaktionens forløb. Den gennemsnitlige flintoverflade i de undersøgte forekomster er 265 cm<sup>2</sup> pr. 100 g sand og 130 cm<sup>2</sup> pr. 100 g sten.

Udvalget har, som tidligere nævnt, foretaget mørtelprismeforsøg med samtlige sandprøver fra de undersøgte grusforekomster, og disse forsøg viser, at der allerede, når indholdet af reaktive bjergarter kommer op på ca. 2 %, kan være risiko for skadelige ekspansioner, dersom prismerne udstøbes med almindelig Portland cement. På den anden side viser forsøgene også, at mange sandmaterialer fra danske grusgrave ikke viser skadelige ekspansioner, uanset hvilken procent af flint og andre reaktive bjergarter der er tale om.

Der er således i spørgsmålet om skadelige alkaliske reaktioner involveret en betydelig usikkerhed ved en vurdering ud fra kendskabet til grussammensætningen alene. For en vurdering af muligheden for skadelige reaktioner på grundlag af mørtelprismeforsøg er der redegjort i bilag 2.

Der gives i det følgende en oversigt over flintens forekomst i Danmark i tilknytning til de forskellige geologiske aflejringer, samt en kortfattet omtale af de bjergarter, som træffes i danske, kvartære grusforekomster [59 L 6].

Da det forhold, at de fleste danske grusforekomster indeholder mineraler, der kan reagere på skadelig måde med cementens alkalier eller alkalier tilført udefra, hidtil har været ukendt for de fleste danske betontechnologer, har man anset det for naturligt på dette sted at bringe en mere detaljeret oversigt over, hvilke mineraler og bjergarter det drejer sig om og hvordan de kan identificeres. Det skal dog betones, at det ubevåbnede øje kun har mulighed for at identificere de reaktive mineraler i stenfraktionen. Reaktive komponenter i sandfraktionen kan kun identificeres ved hjælp af særlige petrografiske mikroskop-analysemetoder.

### Grusmaterialernes geologiske forhold

Med ganske få undtagelser er alt grus, der anvendes til betonstøbning her i landet, aflejret under og efter istidsperioderne.

I Danmark har istiden omfattet tre nedisninger. Disse benævnes henholdsvis første, anden og tredje istid. De mellemliggende varmere perioder kaldes interglacialtider. I de tre istider har isen bevæget sig fra de skandinaviske højfjelde og bl. a. ud over Danmark.

Sand- og stenindholdet i de danske istidsdannelser består af materiale, som isen har medført på sin vej. En stor del stammer oprindeligt fra forekomsterne i Norge, Sverige og Finland, men af afgørende betydning for grusets anvendelse til betonstøbning set fra et holdbarhedssynspunkt er dets indhold af alkalireaktive bjergarter samt af porøse, frostfarlige bjergarter. Disse bjergarters tilstedeværelse i istidens aflejringer skyldes isens og smeltevandets erosion i kridt- og tertiæraflejringerne i Danmark og de omgivende have.

Som nævnt tidligere er flinten den dominerende alkalireaktive bjergart i de danske grusforekomster. Flinten stammer fra undergrundens kalk- og kridtformationer. Her er den dannet som knolde og lag ved, at det gennemsvivende vand har koncentreret amorf kiselsubstans, »opal«, fra spredtliggende svampenåle o. lign. Denne proces kaldes forkisling. Den udfældede amorf kisel er med tiden delvis blevet omdannet til mikrokrySTALLINSK kisel, »kalcedon«. Hovedbestanddelene i flinten er derfor:

- MikrokrySTALLINSK kisel, »kalcedon«.
- Amorf kisel, »opal«.
- Kalk (fra de omgivende bjergarter).

Grusaflejringerne sammensætning og egenskaber og dermed deres egnethed som beton-tilslag kan variere betydeligt dels fra område til område, dels inden for samme område.

Disse variationer er bl. a. en følge af forskelle i dannelsesmåden. Det geologiske terrænkort, fig. 3.1, viser hovedtrækkene bl. a. i grusaflejringerne oprindelse. Kortet illustrerer, at gruset efter oprindelse kan inddeles i følgende typer, som hver for sig i nogen udstrækning har særlige fysiske egenskaber.

Morænesand og -grus, udsmetet og aflejret af istidens gletchere.

Moræneaflejringer er præget af dårlig kornsortering. De indeholder således alle kornstørrelser fra fine lerpartikler til store blokke. Kornene er ofte lidt afrundede, og der kan forekomme betydelige mængder af bløde, svage partikler.

Smeltevandsand og -grus (den hyppigste form for »bakkematerialer«), udsmetet af gletscherne og aflejret af smeltevandsstrømme.

Smeltevandsaflejringer har adskilligt bedre kornsortering end morænegruset; lersubstans forekommer almindeligvis kun i ganske ringe mængde. Kornene er desuden ofte bedre afrundede, lisesom hyppigheden af hårde partikler normalt er større.

Strandsand og -grus, aflejret dels af bølger i havstokken (strandvolde), dels af strøm og bølger i nogen afstand fra kysten og senere hævet over havniveau på grund af jord-skorpebevægelser.

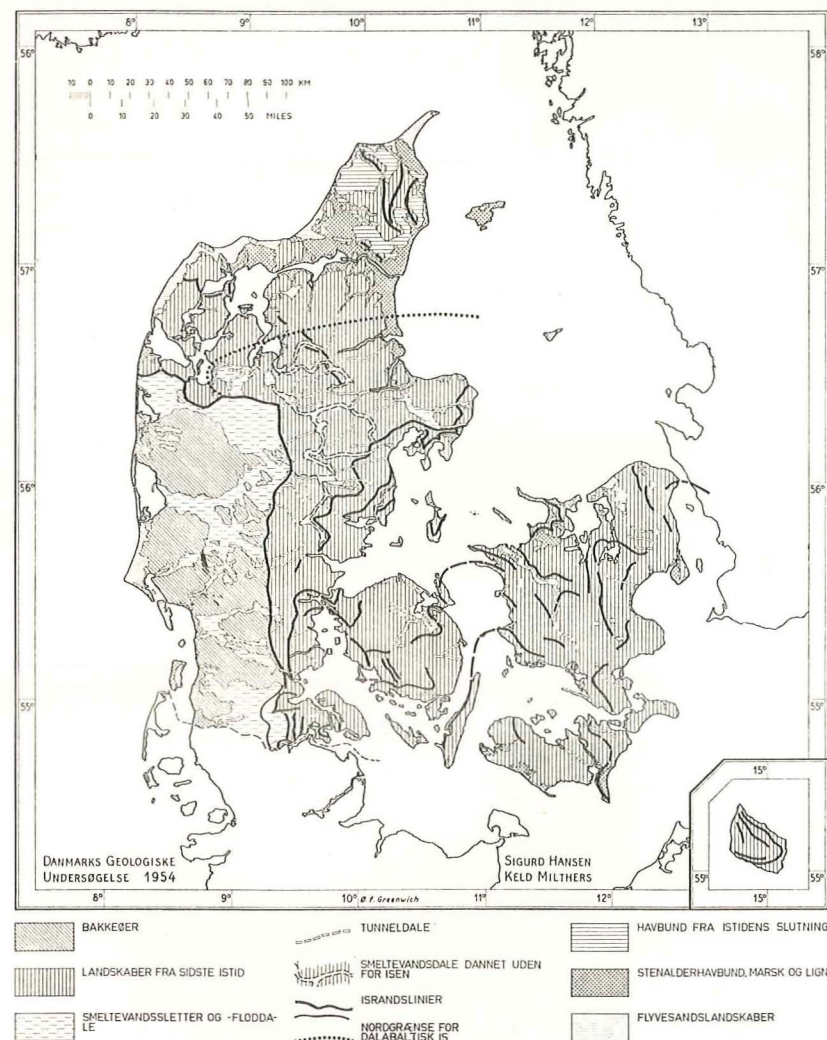


Fig. 3.1. Geologisk kort over istidens og efteristidens aflejringer i Danmark.



Strandaflejninger er ofte ret velsorterede, og partiklerne er ofte afrundede samt overvejende hårde og stærke.

Flyvesand, aflejret af vinden.

Vindaflejninger er som regel meget enskornede og finkornede (sand) og består overvejende af afrundede, hårde, tætte partikler.

Under udvalgets undersøgelser af danske grusmaterialer har det inden for istidens smeltevandsgrus (»bakkematerialer«) været muligt at udskille følgende »grusprovinser«.

- |                      |   |
|----------------------|---|
| Nordjylland:         | Kalkholdigt, flintrigt grus.            |
| Vestjylland:         | Kalkfrit, flintrigt grus.               |
| Østjylland og øerne: | Kalkrigt, ikke ekstremt flintrigt grus. |

Grænsen mellem de 3 områder udgøres dels af isens hovedstilsandslinje under den sidste istid (den vestligste af de fuldtoptrukne israndslinier i fig. 3.1) og dels af nordgrænsen for den østfra kommende is (stiplet linie i fig. 3.1).

Sømaterialer består af flere forskellige dannelsesarter. Der findes dels egentlige havaflejninger, dels »drukne« moræne-, smeltevands- og strandaflejninger.

Med hensyn til sømaterialerne har det ikke været muligt at give en tilsvarende oversigt, hvilket tildels hænger sammen med disse materialers heterogene oprindelse.

### Grusmaterialernes bestanddele

Den følgende gennemgang er baseret på en hovedopdeling af gruset i alkalireaktive korn og (overvejende) inaktive korn:

- A. Alkalireaktive korn
  - 1. Flint, tæt, kalkholdig
  - 2. - , - , kalkfri
  - 3. - , porøs, kalkholdig
  - 4. - , - , kalkfri
  - 5. Andre reaktive korn
- B. Overvejende alkaliiaktive korn
  - 6. Eruptiver
  - 7. Sandsten, kvartsit
  - 8. Kalk
  - 9. Mineralkorn.

Denne inddeling genfindes i øvrigt på fig. 2.1 i bilag 2, der viser et skema beregnet for en systematisk grusanalyse.

I det følgende skal der gives en karakterisering af flinten samt af de andre bjergartstyper, som er almindeligt forekommende i det danske grus.

Fig. 3.2. Sort, tæt flint bestående af kalcedon med skorpe og indeslutninger af porøs, hvid flint væsentligst opbygget af kalk og opal.

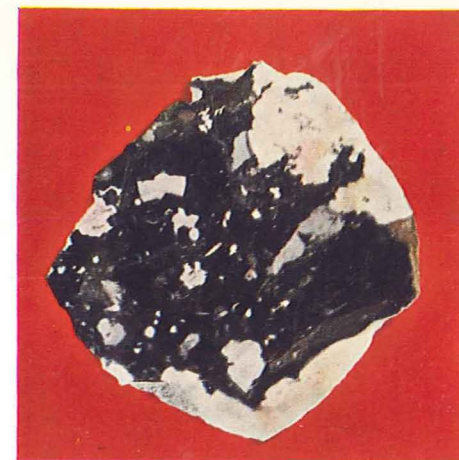


Fig. 3.3. Brunligsort, tæt flint bestående af kalcedon med rest af hvid, porøs skorpe indeholdende kalk og opal.

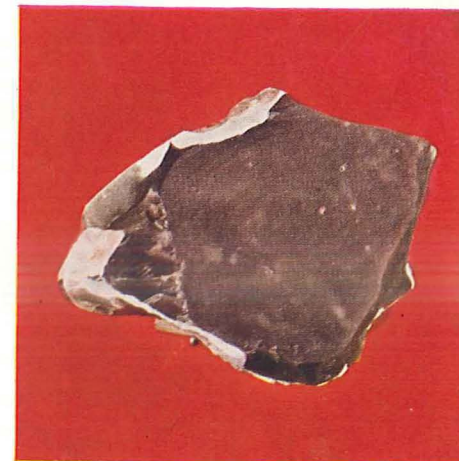


Fig. 3.4. Brunliggrå, tæt flint opbygget af kalcedon indeholdende hvide organismestrukturer, væsentligst bestående af kalk og opal.

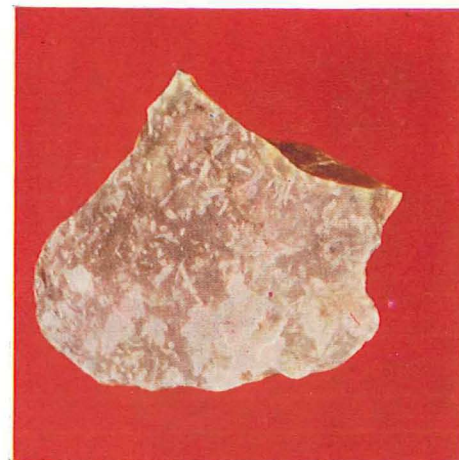




Fig. 3.5. Grå, tæt flint sammensat af kalcedon samt mindre mængder af kalk og opal.

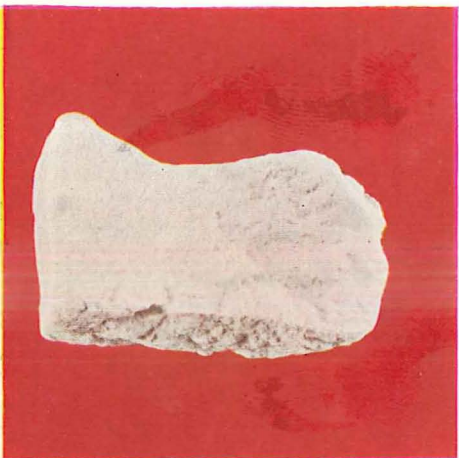


Fig. 3.6. Hvid, højporøs, smuldrende flint bestående ganske overvejende af opal, desuden mindre mængder af kalcedon.

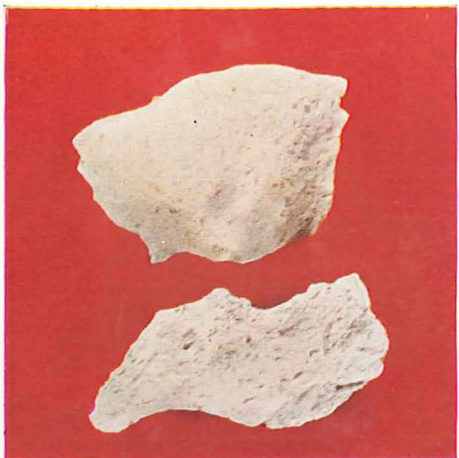


Fig. 3.7. 2 stk. hvid, porøs flint bestående væsentligst af opal samt noget kalcedon.

Svovlkiskongregation. Sådanne knolde af svovlkis (eller pyrit,  $FeS_2$ ) kan i sjældne tilfælde træffes i gruset. Svovlkisen har samme oprindelsessted som flinten, nemlig den danske undergrunds kalk- og kridtformationer.

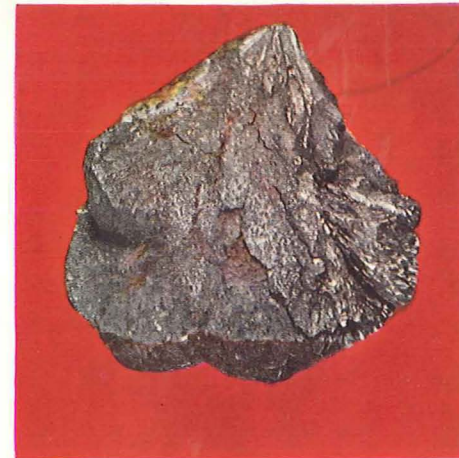


Fig. 3.8. Hvid, porøs kalksten oprindeligt hjemmehørende i den danske undergrund.

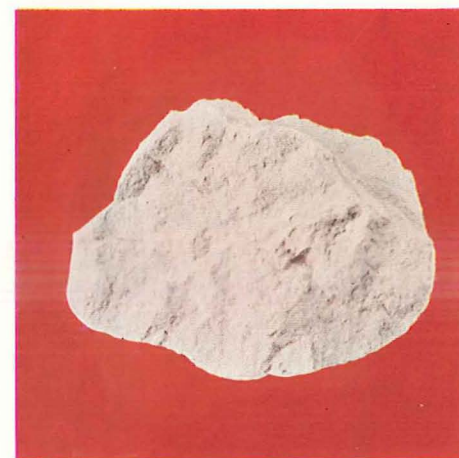


Fig. 3.9. Grå, tæt kalksten, stammende fra ældre geologiske formationer i Østersøområdet.

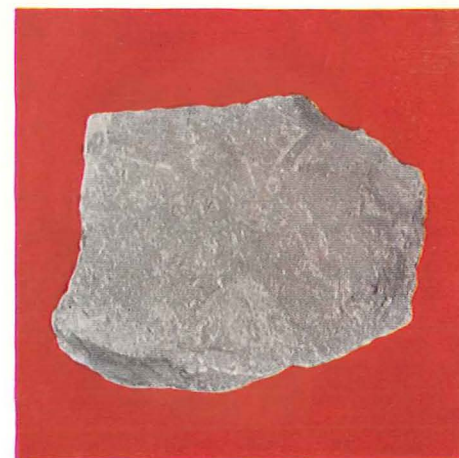




Fig. 3.10. 2 stk. sandsten. Sandsten findes faststående adskillige steder i Skandinavien. Bindemidlet mellem sandkornene kan indeholde mindre mængder af alkaliopløselig kisel.



Fig. 3.11. Lys eruptiv (granit), bestående af mineralerne kvarts, feldspat og glimmer. Findes udbredt som faststående formationer over størstedelen af Skandinavien.

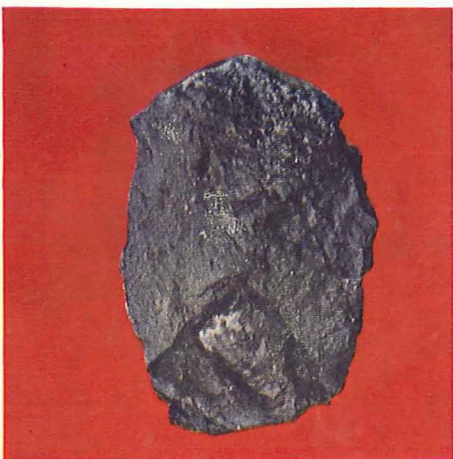


Fig. 3.12. Mørk eruptiv (basalt). Visse, men langt fra alle, mørke eruptiver kan indeholde alkaliopløselig glassubstans. Findes faststående adskillige steder i Skandinavien.

#### Tæt flint, fig. 3.2-3.3-3.4-3.5.

Struktur: ikke vandsugende, dvs. overfladen forbliver våd ved fugtning. Klæber ikke til tungen. Normal stenvægtfylde. Hård og fast. Ridses ikke med kniv.

Farve: sort, grå, brun (brunfarvning skyldes undertiden rustafsætning på overfladen).

Sammensætning: hovedsagelig kalcedon, kan indeholde mindre mængder af opal, samt vekslende mængder af kalk.

Forekomstmåde: overvejende som centrale dele af flintknolde og -lag.

#### Porøs flint, fig. 3.6-3.7.

Struktur: vandsugende, dvs. der sker tilsyneladende en spontan udtørring af overfladen ved fugtning. Klæber til tungen, ringe vægtfylde. Undertiden hård og fast, undertiden sprød og smuldrende. Ridses ikke med kniv (NB. smuldring må ikke forveksles med ringe hårdhed).

Farve: overvejende hvid, sjældnere lys grå.

Sammensætning: hovedsagelig opal, kan indeholde små mængder kalcedon, samt vekslende, undertiden store mængder kalk. Blød, smuldrende flint er som regel kalkfri.

Forekomstmåde: ofte som kappe eller skorpe, dvs. overfladelag på flintknolde og -lag. Undertiden også som indeslutninger i tæt flint (f. eks.: hvidprikket flint fra Kristianstadområdet i Skåne).

Hvid flint kan undertiden forveksles med hvid kalksten. De kan imidlertid let adskilles, bl. a. ved deres forskellige hårdhed: kalksten kan ridses med kniv, flint ikke. I øvrigt vil kalk i modsætning til flint opløses helt i saltsyre.

Disse flinter forekommer i alle danske kvartære grusforekomster, men også andre kiselbjergarter, hvis hovedbestanddele er opal og lersubstans, kan optræde i gruset. De er opstået ved forkisling af ler og mergel fra den ældre tertiærtid.

#### Kisel-ler bjergart

Kendetegn: hård og fast, lagdelt, grålig til sort, undertiden med rustbrune skorper. Består overvejende af opal og lersubstans.

Udbredelse især i Nordjylland.

#### Kisel-mergel bjergart (Hundelever)

Kendetegn: porøs, finporet, let, lys blåliggrå til lys gulliggrå. Består overvejende af opal samt mindre mængder af kalk, ler m. v.

Udbredelse: i kvartære grusforekomster findes hundelever især udbredt i SØ-Jylland.

De opal- og kalcedonholdige bjergarter er alle alkalireaktive. De porøse, opalrige typer regnes for mest reaktive, idet de reagerer lettere end de tætte, kalcedonrige typer. Porøs flint kan tillige være frostfarlig.

#### Kalk, fig. 3.8-3.9.

hvorved forstås materialer bestående helt eller overvejende af  $\text{CaCO}_3$ , optræder i gruset dels som skaller af muslinger og snegle, dels som kalkstensbrudstykker. Skallerne, der er fysisk svage materialer på grund af tendens til smuldring, findes mest i strand- og havaflejringerne. Kalksten findes dels i porøse, dels i tætte varieteter. De porøse typer er overvejende hvide. De tætte er dels hvide, dels grå og røde. De hvide kalksten stammer ligesom flinten overvejende fra den danske undergrund, medens de grå og røde hører hjemme i Østersøområdet. Porøse kalksten kan være frostfarlige. Kalksten kendes på, at de bruser med saltsyre.

*Sandsten*, fig. 3.10.

er hærdenet sand. Bindemidlet kan være lersubstans, kvarts, mikrokrystallinsk kisel m. m. Består bindemidlet helt af kvarts, kaldes materialet kvartssit. Sandsten er ofte porøse, men porerne er som regel så grove, at materialet normalt ikke regnes for frostfarligt. Det mikrokrystallinske kiselbindemiddel kan være alkalireaktivt. Sandsten har ofte ru overflade.

*Eruptiver*, fig. 3.11-3.12.

er en betegnelse, der anvendes for bjergarter af magmatisk og metamorf oprindelse. Danske eruptiver stammer fra det skandinaviske grundfjeld. Deres struktur er almindeligvis tæt og hård. De er kornede eller lagdelte. Farven varierer med mineralindholdet. Hyppigst træffes lyse, rødlige til grålige bjergarter, bestående af mineralerne kvarts, feldspat og glimmer. Denne mineralsammensætning kaldes granitisk. Visse sorte, finkornede eruptiver kan indeholde alkalireaktivt glas. Disse forekommer dog ret sjældent, hvorfor friske eruptiver regnes for stabile materialer både i kemisk og fysisk henseende.

*Mineralkorn*

er partikler bestående af et enkelt mineral. Hyppigst træffes kvarts, som f. eks. er den væsentligste bestanddel i strandsand, dernæst feldspat. Som underordnede bestanddele findes forskellige mørke mineraler (glimmer, malme, granat m. m.). Mineralkornene er overvejende fysisk stærke og kemisk stabile.

### Flintfattige forekomster i Danmark

Som følge af, at det i visse tilfælde kan blive meget bekosteligt at sikre sig imod de skadelige virkninger af flinten i det almindeligt forekommende (kvartære) grus, knytter der sig en stærk økonomisk interesse til at finde frem til naturlige flintfrie grusaflejringer. Man har derfor rettet opmærksomheden imod at udnytte det erfaringsmateriale desangående, som Danmarks geologiske Undersøgelse (DGU) i tidens løb har samlet gennem den geologiske kortlægning af Danmark. Som et foreløbigt sammendrag heraf samt af iværksatte orienterende undersøgelser af SBI kan meddeles følgende:

På en del lokaliteter i Jylland findes anseelige mængder af grus, hvis indhold af flint eller andre reaktive materialer er yderst ringe. De nævnte aflejringer er dannet i tertiærtiden og betegnes tertiært kvartssand på grund af stort indhold af mineralet kvarts. Forekomsterne er af DGU konstateret dels ved boringer dels i åbne skrænter. I Midtjylland er aflejringerne beliggende så nær overfladen, at de mange steder kan træffes i dybder mellem 3 og 11 m under terræn.

Tilgængelige aflejringer er eksempelvis fundet på følgende lokaliteter:

I egnen omkring Silkeborg og Skanderborg.

Omkring Tørring, nord for Vejle, samt i Grejsdalen.

Vest for Vejle ved Randbøl.

Mellem Grindsted og Give.

Det forhold, at de nævnte sandforekomster er praktisk taget flintfrie, garanterer ikke, at man uden videre vil kunne anvende disse materialer til fremstilling af god beton, fordi der hertil kræves andet og mere, end at sandet er frit for flint. Undersøgelse af udtagne prøver af tertiært sand viser således, at stenindholdet er ganske ringe, at de dominerende kornstørrelsesfraktioner er  $\frac{1}{4}$ -2 mm, samt at materialet geologisk er mere velsorteret end sædvanligt for det kvartære sand. Bedre sortering er i denne forbindelse ensbetydende med stejlere kornkurver, hvilket set ud fra betonproportioneringens synspunkt ikke er efterstræbelsesværdigt. Til gengæld indeholder samme forekomst ofte lag med betydelig variation i middeldkornstørrelsen, således at man ved hensigtsmæssig grusudtagning formentlig vil kunne opnå en totalcornkurve for sandet, der ikke er ringere end hvad der i almindelighed er opnåeligt ved anvendelse af danske istidsmaterialer.

Heller ikke med hensyn til humusindhold synes det tertiære sand at være ringere end de almindelige forekomster, dvs. forureninger kan forekomme i de øverste zoner umiddelbart under overjorden, medens sandet i øvrigt er karakteriseret ved stor renhed.

Indtil der foreligger nøjere oplysninger om de tertiære sandforekomsters betonteknologiske egenskaber, må det dog tilrådes, at man i hvert enkelt tilfælde undersøger styrkeforhold, vandbehov m. v., før tertiært sand anvendes til betonfremstilling.

### Cementtypens betydning

#### Danske cementtyper

Der fremstilles her i Danmark en række forskellige cementtyper, af hvilke de til betonfremstilling almindeligt anvendte er:

- Portland cement
- Rapid eller Record cement
- Super-Rapid cement
- Havvand-cement
- Sulfatbestandig lav-alkali cement
- Alkalikisleresistent cement

Cement er i besiddelse af en række fysiske og kemiske egenskaber, som hver især kan være afgørende for cementens anvendelighed til det ene eller det andet betonarbejde. Blandt disse egenskaber hæfter man sig normalt mest ved styrken, og generelt kan det siges, at samtlige de cementer, som fremstilles i Danmark, opfylder de danske normers styrkekrav for Portland cement, og i de fleste tilfælde ligger styrkerne endda væsentligt over disse.

En række kemiske egenskaber kan dog også influere på den færdige betons holdbarhed, og de forskellige specialcementer gør det muligt for forbrugerne at vælge den cement, som i kemisk henseende er bedst egnet til det arbejde, som der er tale om.

I den følgende tabel gives en oversigt over nogle af cementernes kemiske egenskaber. Det drejer sig ikke om samtlige kemiske egenskaber, men kun cementens indhold af trikalciumaluminat, puzzolan og alkali.

Tabel 4.1

	Gennemsnitligt indhold af		
	Trikalcium aluminat, %	Puzzolan (møler), %	Alkali, %
Portland cement . . . . .	9	0	0.7
Rapid cement . . . . .	9	0	0.7
Super-Rapid cement . . . . .	9	0	0.7
Havvand-cement . . . . .	1	ca. 10	0.4
Sulfatbestandig lav-alkali cement . .	0-1	0	0.4
Alkalikisleresistent cement . . . . .	8	ca. 5	0.3

#### Almindelig Portland cement og hurtighærdnende cementer af Portland cementtypen

Foruden den almindelige Portland cement fremstilles der her i Danmark følgende hurtighærdnende cementer af Portland cementtypen, nemlig Rapid eller Record cement,

der efter 1 døgn har godt 1 1/2 gang så stor betonstyrke som Portland cement, og Super-Rapid cement, der efter 1 døgn har godt 3 gange så stor betonstyrke som Portland cementen.

De danske hurtighærdnende cementer fremstilles i hovedsagen ved en finere formaling, idet dog gipstilsætningen er noget større for hurtighærdnende cementer, nemlig 3-5 %, medens den for Portland cement er fra 2-3 %. - Den kemiske sammensætning vil derfor, bortset fra de variationer der kan være indenfor den løbende produktion, være ens for Portland cement og hurtighærdnende cementer, og overfor angreb, hvor betonens holdbarhed i det væsentligste er bestemt af cementens kemiske og mineralogiske sammensætning, vil der derfor ikke være nogen forskel på de her nævnte cementer. Forskellen mellem de forskellige cementers finhed fremgår af tabel 4.2.

Tabel 4.2

	Omtrentlig formalingsfinhed for cement			
	% rest på sigte 4900 korn > 89 μ	% rest ved luftslemning korn > 25 μ	Overfl. Andreasen, cm <sup>2</sup> /g	Overfl. Blaine, cm <sup>2</sup> /g
Portland cement . . . . .	5	48	2000	2550
Rapid cement . . . . .	1	30	3000	3650
Super-Rapid cement . . . . .	0.1	5	4500	4650

Ved cementens reaktion med vand under hærdningen udvikles der varme. Jo hurtigere processen forløber, des hurtigere sker varmedannelsen, og heraf fremgår det, at varmeudviklingen sker hurtigere for de hurtighærdnende cementers vedkommende end for Portland cementens. Dette forhold bevirker, at man ved støbning i kulde med fordel kan anvende hurtighærdnende cementer, når man blot ved passende foranstaltninger sørger for at få udstøbningen foretaget ved en sådan temperatur, at processen kommer igang. På den anden side må man være opmærksom på, at hvis det drejer sig om større betonkonstruktioner, hvor den i betonen udviklede varme kan give anledning til store spændinger, er der fare for fremkomsten af revnedannelser, fordi de hurtighærdnende cementer udvikler mere varme end Portland cement, og at der derfor må tages tilsvarende større forholdsregler for at bortlede denne varme. [58 N 4].

For de hurtighærdnende cementer er svindet omtrent det samme som for Portland cement, hvorimod krybningen, den plastiske deformation som følge af belastningen, er noget mindre end for Portland cement.

Da cementerne, som nævnt, er af samme type og praktisk talt samme kemiske sammensætning, vil de kunne blandes i et hvilket som helst forhold og uden vanskelighed kunne støbes mod hinanden.

Med hensyn til spørgsmålet om faren for skadelige alkalikislerreaktioner er det særlig cementens alkaliindhold, der har stor betydning, og da, som allerede nævnt, Portland cement og de hurtighærdnende Portland cementer har samme kemiske sammensætning, vil der på dette område ikke være nogen betydende forskel mellem almindelig dansk Portland cement og de her nævnte hurtighærdnende danske Portland cementer.

Portland cement indeholder opløselige natrium- og kaliumforbindelser, der stammer fra lerjorden, som er benyttet som råmateriale. Det samlede alkaliindhold af en cement

kan blive af størrelsesordenen 1.2 til 1.3 %, beregnet som ækvivalent  $\text{Na}_2\text{O}$ , dvs.  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ . Cement med mindre end 0.6 ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$  kaldes lav-alkali cement og er tidligere i U.S.A. blevet betragtet som sikker til anvendelse ved støbning med reaktivt tilslag. Cement med mere end 0.6 % ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$  benævnes høj-alkali cement og er tidligere blevet betragtet som uegnet til anvendelse med reaktive materialer. Det fremgår af teoretiske betragtninger, at denne empiriske 0.6 %-grænse ikke er noget korrekt sikkerhedskriterium. Alkalireaktioner kan være skadelige med lavt alkaliindhold, ligesåvel som uskadelige med højt alkaliindhold. Der vil dog i praksis altid være langt større sandsynlighed for skade ved benyttelsen af høj-alkali cementer end ved anvendelse af lavalkali-cement.

I [Progress Report F 1] er gengivet omfattende målinger af almindelige danske Portland cementers alkaliindhold 1949–56. (De fortsatte undersøgelser på fabrikkerne viser, at de nedenfor nævnte betragtninger stadig har været gældende).

Det fremgår heraf, at middeltallet for hele perioden har været 0.70 % af cementvægten med en svagt faldende tendens i de allersidste år. 78 % af alle resultaterne har ligget indenfor området 0.48–0.86 %. Den tilsvarende spredning ses at være: ( $\text{Ækv. Na}_2\text{O}$ )  $\sim 0.09$  % svarende til en variationskoefficient på 13 %. Det fremgår ligeledes, at ca. 15 % af produktionen har haft et månedligt middeltal mindre end 0.6 % ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Over kortere tidsrum vil cementens alkaliindhold ikke variere så stærkt. I [Progress Report F 1] er således omtalt, at man ved 8 bestemmelser af cementens alkaliindhold i løbet af én dag, hvor middeltallet var ca. 0.70 % ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ , fandt en spredning på 0.02–0.04 % ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ , svarende til en variationskoefficient på ca. 5 %.

Det må ved vurderingen af disse tal erindres, at beton fremstilles med cementindhold varierende fra ca. 100 til ca. 500  $\text{kg/m}^3$  beton. Der er derfor mulighed for meget varierende alkalikoncentrationer i beton støbt med almindelig dansk cement.

*Alkalikisleresistent cement* er en hurtighærdnende cement med lavt alkaliindhold og tilsætning af puzzolan. På grund af det lave alkaliindhold, i gennemsnit 0.3 % og med næsten ingen risiko for i enkelte tilfælde at overskride 0.4 %, er denne cement egnet til støbning af beton med alkalireaktive bjergarter, hvor man ønsker at tage særlige skridt til at sikre sig imod skadelige alkalikislerreaktioner i betonen. På grund af puzzolantilsætningen: ca. 5 % moler, vil alkalikisleresistent cement ligeledes være egnet i tilfælde, hvor betonen er støbt med alkalireaktivt tilslag, og der kan komme alkalitilskud fra omgivelserne, for eksempel fra havvand.

Nærmere oplysninger om den danske »alkalikisleresistente« cement kan findes i [Progress Report F 2].

Udsættes beton, hvortil der er anvendt alkalikisleresistent cement, for frost i våd tilstand, vil det forøge betonens frostbestandighed i væsentlig grad, om betonen er luftindblandet.

#### *Sulfatbestandig lav-alkali cement*

Når beton af almindelig Portland cement udsættes for angreb af sulfatopløsning, kan den blive ødelagt, idet betonen svulmer op og sprænges. Sådanne sulfatangreb kan forekomme for beton i havvand, idet havvand indeholder opløste sulfater. Endvidere kan grundvandet – særlig hvor jordbunden indeholder gips, alunskifer m. m. – være sulfatholdigt, og endelig kan betonarbejder i visse industrier blive udsat for sulfatangreb. Overfor sulfatangreb har det vist sig, at det særlig er cementens klinkersammensætning,

der har betydning, idet det er de af  $\text{C}_3\text{A}$ -indholdet dannede hydrationsprodukter, der under indvirkning af sulfatopløsningen omdannes til en calciumsulfat-aluminatforbindelse, og da denne omdannelse sker under en volumenuddvidelse, er det dette, der giver anledning til sprængninger og ødelæggelser af beton. Ifølge ASTM betegnes en cement som moderat sulfatbestandig, såfremt  $\text{C}_3\text{A}$  er  $\leq 8\%$ , og som sulfatbestandig, når  $\text{C}_3\text{A} \leq 5\%$ . – De almindelige danske Portland cementer og hurtighærdnende cementer indeholder 8–10 %  $\text{C}_3\text{A}$  og er således ikke sulfatbestandige i henhold til ASTM's bestemmelser. På den anden side er indholdet af  $\text{C}_3\text{A}$  dog ikke større end, at man i mange tilfælde med godt resultat kan anvende dem til betonkonstruktioner udsat for havvandsangreb, når blot betonen er tæt, og arbejdet i det hele taget er af god kvalitet.

For at imødekomme behovet for en særlig sulfatbestandig cement fremstilles i Danmark en specialcement: Sulfatbestandig lav alkali-cement med et indhold af  $\text{C}_3\text{A}$  på 0–1 %. For at være i overensstemmelse med bestemmelserne i ASTM skulle det være nok at sigte efter et  $\text{C}_3\text{A}$ -indhold  $\leq 5\%$ , men nyere undersøgelser synes at vise, at sulfatbestandigheden forbedres, når indholdet af  $\text{C}_3\text{A}$  kommer helt ned i nærheden af 0 %. Den sulfatbestandige cement er af Portland cementtypen og kan derfor blandes med almindelig cement, ligesom beton af denne kan støbes sammen med beton af Portland-cement og hurtighærdnende Portland cementer. Styrkerne af cementen ligger på linie med almindelig Portland cement.

Uden at det i og for sig er tilstræbt, har det vist sig, at man ved fremstillingen af den sulfatbestandige cement også får en cement med lavt alkaliindhold, i middel omkring 0.4 % total alkali. Denne cementtype er derfor særdeles velegnet, hvor man både har brug for en sulfatbestandig og en moderat lav-alkali cement og kan selvfølgelig også anvendes, hvor man kun er interesseret i det lave alkaliindhold.

#### *Havvand-cement*

Havvand-cement er fremstillet til brug i beton til arbejder i havvand. Havvand-cementen er fremstillet af de samme klinker, som anvendes til fremstilling af den sulfatbestandige lav-alkali cement, altså med et indhold af  $\text{C}_3\text{A}$  på 0–1 %, hvorfor cementen er sulfatbestandig, men yderligere er cementen imalet ca. 10 % brændt moler, idet mange forsøg og praktiske arbejder har vist, at betonen bliver mere modstandsdygtig overfor sulfatangreb, og specielt havvandsangreb, når cementen er tilsat puzzolan. Den danske moler er endvidere en puzzolan af en særlig fremragende kvalitet. På grund af tilsætningen af moler og det iøvrigt ret lave indhold af alkalier (nemlig det samme som for sulfatbestandig lav-alkali cement) vil havvand-cementen også være egnet til beton, hvor tilslaget indeholder alkalireaktive bjergarter. Hvor der kræves den højeste grad af alkaliresistens, må man dog anvende den alkalikisleresistente cement med det endnu lavere indhold af alkalier. Ved anvendelse til beton i våde omgivelser, og hvor betonen tillige kan få tilskud af alkalier fra omgivelserne, vil havvand-cement og alkalikisleresistent cement dog stort set have den samme gavnlige virkning overfor eventuelle skadelige alkalikislerreaktioner.

Havvand-cements betonstyrker ligger meget nær på linie med almindelig Portland cements, dog med en tendens til noget større slutstyrker. Havvand-cementen er af Portland cementtypen og kan derfor blandes og støbes sammen med almindelig Portland cement. Hærdningsvarmen er ca. 15 % lavere.

Det må tilrådes overalt at tilsætte luftindblandingsmidler ved fremstilling af betonen, hvor beton af havvand-cement udsættes for frost i våd tilstand.

Beton af havvand-cement må for at få den fulde virkning af molertilsætningen i cementen hindres længst muligt i at tørre ud, men hvor det er muligt, vil det være fordelagtigt, at den hærdner nogen tid i luften, således at overfladen bliver karboniseret, inden den udsættes for havvandets påvirkninger.

### Frostangreb

Udover hvad der allerede under omtalen af de enkelte cementer er sagt vedrørende frostangreb, kan det generelt siges, at cementens evne til at indblende luft her har afgørende betydning. Dansk Portland cement besidder denne evne i nogen grad, men ved stærkt udsatte betonoverflader, for eksempel vej- og flyvepladsbelægninger, bør der til betonen sættes luftindblandingsmiddel. Såfremt en betonoverflade vil blive udsat for vekslende fugtighedsforhold i forbindelse med saltning, som tilfældet er ved en havvandskonstruktion og undertiden ved en ny vejbelægning, bør anvendelse af luftindblandingsmiddel kraftigt anbefales.

### Syreangreb

Ved syreangreb på beton angribes cementens kalk, således at der dannes let opløselige kalksalte. Da cementens kalkindhold stort set er konstant,  $\text{CaO} \sim 65\%$ , vil det ikke gennem et specialvalg af cementtype være muligt væsentligt at nedsætte virkningen af et stærkt syreangreb. Syreangrebets skadelige omfang vil derimod nedsættes ved anvendelse af et stort cementindhold, tæt beton og glattet overflade og dette, eventuelt i forbindelse med påstrykning af fluater, asfalter eller anden overfladebehandling, kan gøre beton modstandsdygtig overfor ganske svag syre. Er der derimod tale om stærk syre, er det nødvendigt at beklæde betonen med syrefast materiale, for eksempel i form af fliser, og til sammenbindingen af fliserne må man anvende en syrebestandig cement eller kit.

Er støbevand specielt surt, som tilfældet kan være visse steder, vil syren reagere med cementens fri  $\text{CaO}$ . Ved at tilsætte ekstra cement, vil støbe vandet blive neutraliseret, og betonen kan fremstilles uden styrkereduktion.

## Litteraturfortegnelse

De i litteraturlisten foran artiklen stående numre refererer til Statens Byggeforskningsinstituts kartotek over betonlitteratur. Fortegnelsen omfatter af dokumentariske grunde al den litteratur, der er henvist til i vejledningens hovedtekst og bilag. De med \* mærkede publikationer må i første omgang anses for tilstrækkelige for et almindeligt håndbibliotek. De af alkaliudvalget og SBI udgivne Progress Reports vedrørende dette emne er anført på side 59.

- [26 Ø 1] Studier over Daniet i Jylland og på Fyn. H. Ødum. Danmarks geologiske Undersøgelse. II. række, nr. 45. København 1926.
- [33-15] \* Cementnormer. Bestemmelser for ensartet levering og undersøgelse af Portland cement. Godkendt af DIP's bestyrelse d. 12. oktober 1933 og 13. februar 1942.
- [35 G 4] Petrology of the Paleocene Sedimentary Rocks of Denmark. H. Gry. Danmarks geologiske Undersøgelse. II. række, nr. 61. København 1935.
- [37 M 5] Vandtæt Beton. Erik V. Meyer. Beton-Teknik. København 1937. Nr. 1. Årg. 3. pp. 13-26.
- [38 M 6] Vandtæt Beton. Erik V. Meyer. Beton-Teknik. København 1938. Nr. 3. Årg. 4. pp. 19-34.
- [40 G 9] De istektoniske Forhold i Molerområdet. H. Gry. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening. København 1940.
- [47 P 8] Uddrag af rapport fra en betonstudierejse i U.S.A. marts-juni 1946. Niels Munk Plum. Ingeniøren. København 1947. Nr. 16. pp. B. 41-B.52. 70 litteraturhenvvisninger.
- [48 P 16] \* Betonteknologi. Niels Munk Plum. Mur og Beton. København 1948. Georg Andersens Forlag. pp. 1-113. 22 litteraturhenvvisninger.
- [49-198] \* Dansk Ingeniørforenings Normer for Bygningskonstruktioner. 2. Beton- og Jernbetonkonstruktioner. DS 411. Med midlertidigt tillæg af 1. november 1949. København 1949. 3. udg. 1952. 60 pp.
- [50 H 13] Betongskador på Herserudshissen. Rune Hanson og Sten Rosenström. Betong. Stockholm 1950. Vol. 35. Nr. 4. pp. 301-310.
- [50 P 11] Ensartetheden af de grus-sorter, der anvendes til betonstøbning i Københavnsområdet. Niels M. Plum. Beton-Teknik. København november 1950. Årg. 16, nr. 3. pp. 73-96. 12 litteraturhenvvisninger.
- [51 K 10] \* Brug og valg af betonblandere. Niels H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1951. Anvisning 8. 18 litteraturhenvvisninger.
- [51 M 17] Godt betonarbejde. Erik V. Meyer. Teknologisk Instituts Forlag. København 1951. 78 pp. 9 litteraturhenvvisninger.
- [52 W 5] Reaction of Aggregate with Low-Alkali Cement. D. O. Woolf. Public Roads. 1952. Vol. 27. No. 3. p. 50.

- [53 P 8] Betonkontrol. Niels Munk Plum. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1953. Særtryk 32. 81 pp. 61 litteraturhenvisninger. Særtryk af Beton og Jernbeton 1953, nr. 1.
- [54-13] Foreløbige retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton. (DIF's normer nr. 61). Dansk Ingeniørforening. Teknisk Forlag. København 1954. 80 pp. 39 litteraturhenvisninger.
- [54 S 14] Geologi og vandboring. Th. Sorgenfrei og Ole Berthelsen. Danmarks geologiske Undersøgelse. København 1954. III. række, nr. 31.
- [55 M 2] Luftindblandet beton. Erik V. Meyer. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1955. Anvisning 33. 32 pp.
- [55 P 1] An Interpretation of Some Published Researches on the Alkali-Aggregate Reaction. Part 1 - The Chemical Reactions and Mechanism of Expansion. T. C. Powers and H. H. Steinour. ACI Proceedings. Detroit, February 1955. Vol. 51. pp. 497-514. With 12 references to literature. Appendix pp. 514-516. Discussion pp. 812-1 to 812-20.
- [55 P 2] An Interpretation of Some Published Researches on the Alkali-Aggregate Reaction. Part 2 - A Hypothesis Concerning Safe and Unsafe Reactions with Reactive Silica in Concrete. T. C. Powers and H. H. Steinour. ACI Proceedings. Detroit, April 1955. Vol. 51. pp. 785-810. With 16 references to literature. Discussion pp. 812-1 to 812-20.
- [56-15] Proceedings. R.I.L.E.M. Symposium. Winter Concreting. Theory and Practice. Special Report. The Danish National Institute of Building Research. Copenhagen, February 1956.
- [56-16] Vejledning i betonkontrol. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1956. Anvisning 27. 122 pp. 40 litteraturhenvisninger.
- [56 L 8] The Chemistry of Cement in Concrete. Revised Edition of Lea and Desch. F. M. Lea. Edward Arnold (Publishers Ltd.) London 1956.
- [57 P 2]\* Foreløbig oversigt over alkalireaktioner i beton i Danmark. Niels Munk Plum, Ervin Poulsen og G. M. Idorn. Ingeniøren. B. København 1957. Nr. 27. 66. årg. pp. 721-34. Statens Byggeforskningsinstitut. Særtryk 91. 24 pp. 23 litteraturhenvisninger.
- [58 N 4]\* Betonstøbning om vinteren. P. Nerenst, E. Rastrup og G. M. Idorn. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1958. Anvisning 17. 89 pp. 2. reviderede udgave. 31 litteraturhenvisninger.
- [59-30] Tilsetnings- og påstrykningsstoffer for betong og puss. Intern rapport fra Norges Byggeforskningsinstitut. Oslo 1959.
- [59-32] Nordisk Betong. Stockholm 1959. 3. årgang, nr. 3.
- [59 F 2] The Successive Determination of Manganese, Sodium and Potassium in Cement by Flame Photometry. C. L. Ford. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association. Research Department. Philadelphia, March 1959. Bulletin 104. 15 pp. ASTM Bulletin No. 233. October 1958. Reprint.

- [59 I 1] Vand til betonstøbning. Betontekniske synspunkter. G. M. Idorn. Beton-Teknik. København 1959. Nr. 2. årg. 25. pp. 43-52. 5 litteraturhenvisninger. Engelsk resumé.
- [59 L 6] Petrografisk undersøgelse af betongrus. - Hvorfor og hvordan. Gunnar Larsen. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1959. Særtryk 111. Beton-Teknik nr. 3, 1959. pp. 73-103.
- [59 M 4]\* Betonbogen. Fra Cement til Beton. Erik V. Meyer, C. S. Forum og H. Krenchel. Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor. København 1959. 108 pp.
- [60 B 4] Chemical Reactions Involving Aggregate. Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement. Per Bredsdorff, G. M. Idorn, Alice Kjær, Niels Munk Plum og Ervin Poulsen. The Danish National Institute of Building Research. Copenhagen 1960. With 105 references to literature.
- [60 N 1] Destructive Forces in Concrete. Frost Action in Concrete. Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement. P. Nerenst. Copenhagen 1960. With 74 references to literature.
- [61 C 1]\* Vandforekomster i Danmark med særligt henblik på betonstøbning. W. Christensen og A. Kjær. Ingeniøren. Nr. 4. København 1961.
- [61 J 1]\* Alkaliudvalgets vejledning 2. Vedligeholdelse og istandsættelse af beton- og jernbetonkonstruktioner. Arne Jeppesen. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1961. 152 pp. 69 litteraturhenvisninger.
- [61 P 1]\* Alkaliudvalgets vejledning 1. Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner i beton. Niels Munk Plum. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1961. 60 pp. 36 litteraturhenvisninger.

## Progress Reports

udgives af Akademiet for de Tekniske Videnskaber og Statens Byggeforskningsinstitut. Ialt vil udkomme 21 rapporter, der kan bestilles enkeltvis til en pris af kr. 12,- hos sekretariatet, c/o SBI, Borgergade 20, København K. Der kan opnås en rabat på 25 % ved bestilling af hele serien.

- A1 *Alment om alkalireaktioner i beton - Alkali Reactions in Concrete - General.* P. Nerenst. 1957. 47 p. A4. Danish text with an English summary.
- B1 *Concrete on the West Coast of Jutland, Part I.* G. M. Idorn. 1958. 57 p. A4. English text with a Danish summary.
- B2 *Concrete on the West Coast of Jutland, Part II.* G. M. Idorn. 1958. 54 p. A4. English text with a Danish summary.
- B3 *Durability and Maintenance of Concrete Structures on Danish Railways.* Arne Jeppesen. 1958. 75 p. A4. English text with a Danish summary.
- D1 *A Classification of Danish Flints etc. Based on X-Ray Diffractometry.* A. Tovborg Jensen, C. J. Wøhlk, K. Drenck, E. Krogh Andersen and G. M. Idorn. 1957. 37 p. A4. In English.



- D<sub>2</sub> *Flintforekomster i Danmark – The Occuring Flints in Denmark.* H. Gry and B. Søndergaard. 1958. 63 p. A4. Danish text with an English summary.
- E<sub>1</sub> *Petrografisk undersøgelse af danske kvartære grusaflejringer – Petrographic Investigation of Quaternary Danish Gravel Deposits.* B. Søndergaard. 1959. 74 p. A4. Danish text with an English summary.
- F<sub>123</sub> *The Alkali Content of Danish Cements – A New Danish Alkali-Resistant Cement – Methods for the Determination of Alkalies in Aggregate and Concrete.* Erik V. Meyer, L. Ditlevsen and Johs. Andersen. 1958. 21 p. A4. In English.
- H<sub>1</sub> *Evaluation of Alkali Reactions in Concrete by the Chemical Test.* K. E. Haulund Christensen. 1958. 58 p. A4. English with a Danish summary.
- I<sub>1</sub> *Investigations of Danish Aggregates at Building Research Station.* F. E. Jones. 1958. 62 p. A4. In English.
- K<sub>1</sub> *Experiments on Concrete Bars. Expansions During Storage in Climate Room.* Axel Efsen and Ole Glarbo. 1960. 38 p. A4. In English with a Danish translation.
- K<sub>2</sub> *Experiments on Concrete Bars. Freezing and Thawing Tests.* Erik Trudsø. 1958. 39 p. A4. English text with a Danish summary.
- L<sub>1</sub> *Investigation of the Effect of Some Pozzolans on Alkali Reactions in Concrete.* A. H. M. Andreasen, K. E. Haulund Christensen and P. Bredsdorff. 1957. 88 p. A4. English text with a Danish summary.
- M<sub>1</sub> *Preparation of Samples for Microscopic Investigation.* Ervin Poulsen. 1958. 46 p. A4. English text with a Danish summary.
- N<sub>1</sub> *Disintegration of Field Concrete.* G. M. Idorn. 1956. 39 p. A4. English text with a Danish summary.
- N<sub>2</sub> *Studies of Disintegrated Concrete, Part I.* G. M. Idorn. 1961. 72 p. A4. In English.
- N<sub>3</sub> *Studies of Disintegrated Concrete, Part II.* G. M. Idorn. 1961. 47 p. A4. In English.

## SBI-anvisninger

- 39: *Byggefejl, billedsamling ved Børge T. Lorentzen.* 1957. 20 blade i samlemappe. A5. Kr. 4,-.
- 40: *Gulve direkte på jord, Poul Becher og Harry W. Petersen.* 1958. 20 p. A5. Kr. 4,-.
- 41: *Jernbetondek i boligbyggeri.* 1958. 56 p. A5. Kr. 8,-.
- 42: *Vinduer, forbedring og vedligeholdelse, Klaus Blach, Preben Ankerstjerne og Johannes Brixen.* 1958. 16 p. A5. Kr. 4,-.
- 43: *Normalrum og normalspændvidder for etagebyggeri, Aage Dalgas Rasmussen og Finn Vedel-Petersen.* 1958. 64 p. A5. Kr. 8,-.
- 44: *Overfalsede skabslåger, normalmål og normaldetaljer, Klaus Blach, Johannes Brixen og Preben Ankerstjerne.* 1958. 16 p. A5. Kr. 4,-.
- 45: *Enfamiliehusets arbejdsplan – en vejledning for arkitekter og håndværksmestre, udarbejdet i samarbejde med Håndværksrådet.* 1959. 16 + 8 p. A5. Kr. 4,-.  
SBI-skemaer til arbejdsplan, 20 stk. A3, kan købes særskilt for kr. 8,-.  
*SBI-datostokke 1961-65.* 1960. 5 ark i omslag. Kan købes særskilt for kr. 4,-.
- 46: *Plan i køkkenet, Finn Vedel-Petersen.* 1959. 36 p. A5. Kr. 4,-.
- 47: *Modulprojektering. Foreløbig vejledning fra SBI's modulkomité ved Mogens Frisendal.* 1959. 32 p. A5. Kr. 4,-.
- 48: *Byggeri hele året 1. Planlægning og materiel.* 1959. 64 p. A5. Kr. 8,-.
- 49: *Byggeri hele året 2. Arbejdets udførelse.* 1959. 52 p. A5. Kr. 8,-.
- 50: *Før De bygger eget hus.* 1960. 32 p. A5. Kr. 4,-.
- 51: *Små oliefyrr – valg, installation, drift, Ib Gregersen.* 1960. 33 p. A5. Kr. 4,-.
- 52: *Luftvarmeanlæg for småhuse.* 1960. 59 p. A5. Kr. 4,-.
- 53: *Planlægning af byggeprisen ved enfamiliehuse, Erik Allin og Fleming Nielsen.* 1961. 28 p. A5. Kr. 4,-.

Foruden SBI-anvisninger udsendes andre publikationsserier, bl. a. Rapporter, Landbrugsbyggeri, Nyt Skolebyggeri og Særtryk.  
*Alle instituttets publikationer* kan købes gennem boghandlerne eller hos Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, København V. BY 9288. Samme sted fås SBI-publikationsliste, der er bestillingsseddel med en kort omtale af hver publikation.

TEGN ET SBI-ABONNEMENT for 24 kr. om året.

De får da hvert år tilsendt alle ny SBI-anvisninger og andre udvalgte SBI-publikationer til en samlet bogladepris af mindst 32 kr. og De bliver holdt orienteret om alt, hvad SBI udsender.  
De bliver SBI-ABONNENT ved at indsende 24 kr. til TEKNISK FORLAG, V. Farimagsgade 31, giro 20490.

Efter at alkaliudvalget har påvist, at der i ikke permanent tørre betonkonstruktioner, hvortil der er anvendt almindelig Portland cement og almindelige kvartære grusmaterialer, består risiko for skadelige alkalikiselreaktioner, er forebyggelse af disse alkalikiselreaktioner nu blevet erkendt; et spørgsmål som såvel den projekterende ingeniør som entreprenøren ikke kommer uden om før og inden opførelse af betonkonstruktioner i vådt miljø. Vejledningen definerer 3 miljø-klasser til en af hvilke, en konstruktion kan henføres. For hver af disse klasser angives de forskellige mulige forebyggende foranstaltninger. Endvidere gives der generelle retningslinier for den opnåede risikoformindskelse samt visse principper for valg af det mest økonomiske foranstaltningsæt.