

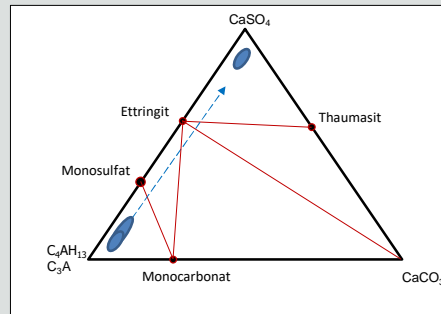
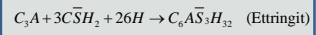


1



2

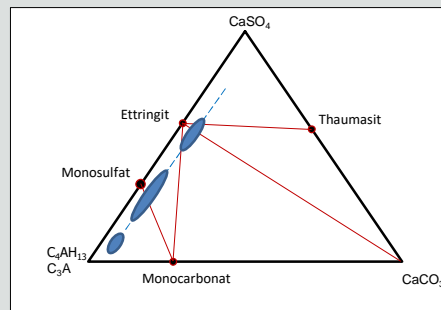
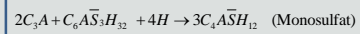
# Sulfatfaser under hydratisering



Overskydende faser:  
C-S-H  
CH  
Porevæske

3

# Sulfatfaser under hydratisering



Overskydende faser:  
C-S-H  
CH  
Porevæske

4

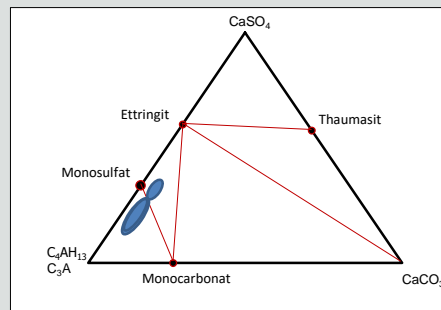
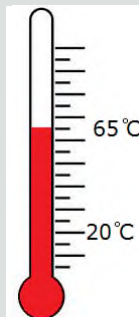
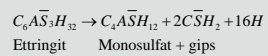
## Interne sulfatkilder



- Gips i cementen
- Sulfatholdige komponenter i tilslagene
- Sulfatholdige komponenter i tilsætninger og tilsætningsstoffer
- Blandevand

5

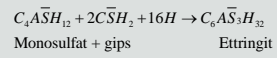
## Forsinket ettringitdannelse, DEF



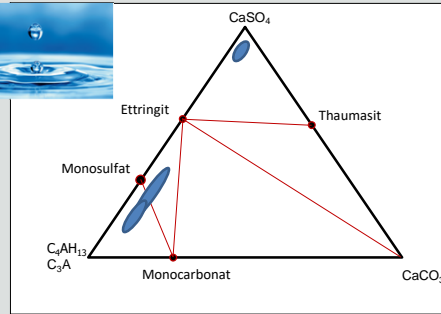
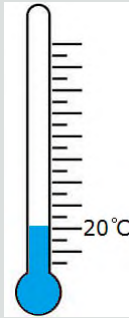
Overskydende faser:  
C-S-H  
CH  
Porevæske

6

# Forsinket ettringitdannelse



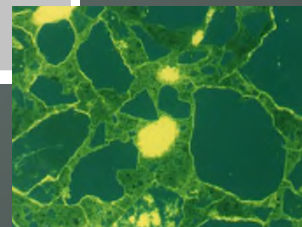
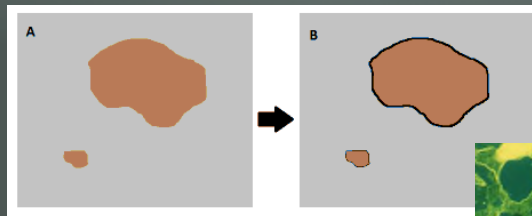
Monosulfat + gips                      Ettringit



Overskydende faser:  
C-S-H  
CH  
Porevæske

7

# Forsinket ettringitdannelse



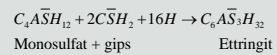
8

## Forsinket ettringitdannelse



9

## Eksterne sulfatkilder



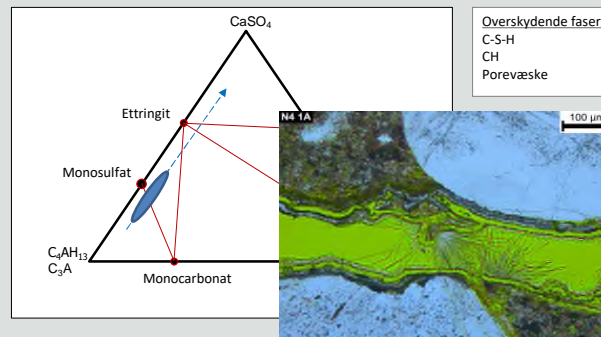
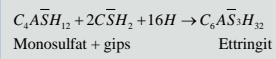
- Grundvand
- Havvand
- Spildevand
- Luftforurening
- Sulfatindhold i tøsalt
- Forsuring af gylle med svovlsyre

Sulfat



10

# Sulfatfaser



11

# Sulfater



Sulfatangreb i undersiden af et fundament pga. sulfatholdig jord og indtrængende vand



12

## Sulfater

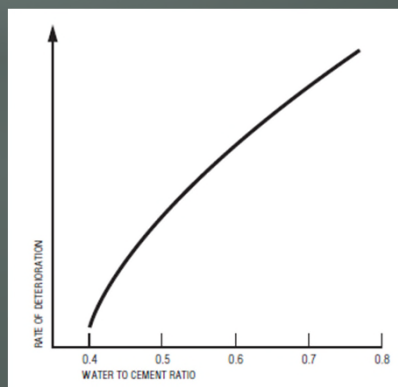
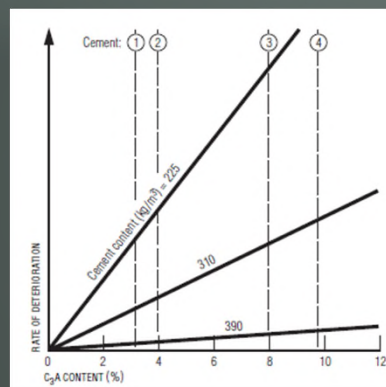


I afløbsledninger kan bakterier danne hydrogensulfid,  $H_2S$  som kan medføre et kombineret syre- og sulfatangreb



13

## Hvordan undgår man sulfatnedbrydning?



14

## Hvordan undgår man sulfatnedbrydning?



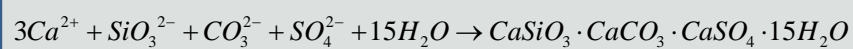
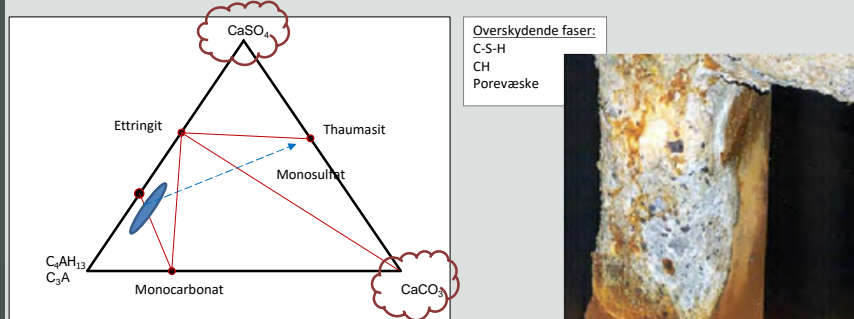
- Lavt v/c-forhold
- Højt cementindhold
- Puzzolaner
- (Lavalkali) sulfatbestandig cement (lavt C<sub>3</sub>A-indhold)

15

## Thaumasit



- Høj relativ fugtighed
- Lav temperatur (< 15°C)



16



## Sulfater i havvand og tøsalt



### Havvand:

- Havvand indeholder ca. 35 ‰ salt (35000 mg/l).
- Heraf ca. **7,7%  $\text{SO}_4^{2-}$  ~ 2700 mg/l**

### Tøsalt:

- Der spredes 1,5-2,5 kg tøsalt pr.  $\text{m}^2$  vej (og bro) i Danmark pr år
- Tøsalt indeholder 0,7-0,8%  $\text{SO}_4^{2-}$
- Der tilføres **10000 – 20000 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  per  $\text{m}^2$  bro – hvert år!**

17

## Sulfater i tøsalt



Er sulfatindholdet i tøsalt et problem for anlægskonstruktioner i Danmark?

18

## Ettringitdannelse ved frost- og chloridangreb



Hvis der er luftindblanding i betonen, giver disse omdannelser ikke anledning til særlige problemer.

19

## Hvordan undgår man sulfatnedbrydning?



- Lavt v/c-forhold
- Højt cementindhold
- Puzzolaner
- (Lavalkali) sulfatbestandig cement (lavt  $C_3A$ -indhold)
- **Luftindblanding**

20

## Krav til luftindblanding:



- I **1954** udgav DIF " *Foreløbige retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton*"
- **Betonnormen 1973**: »Hvis betonens overflade kan blive udsat for vekselvis frysning og optøning i vandmættet tilstand, skal der anvendes et luftindblandende tilsætningsstof«  
Grænsen for luftindholdet var ikke fastsat!
- Omkring **1980** begyndte VD at stille krav til luftindholdets størrelse i danske broer, samt krav til anvendelse af lavalkalicerement.
- I **1986** udkom Basisbetonbeskrivelsen, hvor der var specifikke krav til beton udsat for frost – stort set svarende til de krav, der stilles i dag.

21

## Luftindblanding i danske anlægskonstruktioner



- Konstruktioner opført frem til 1970 er sandsynligvis ikke luftindblandede
- Konstruktioner opført mellem 1970 og 1980 er måske (tilstrækkeligt) luftindblandede – afhængig af projektspecifikke krav
- Broer efter 1980 er med stor sandsynlighed luftindblandede
- Andre konstruktioner udsat for frost er sandsynligvis luftindblandede efter 1986

22

# Sulfater/frost/chlorid ????



**Beskadiget betonkonstruktion under utilstrækkeligt fungerende fugtisolering**




23


# Sulfater/frost/chlorid ????



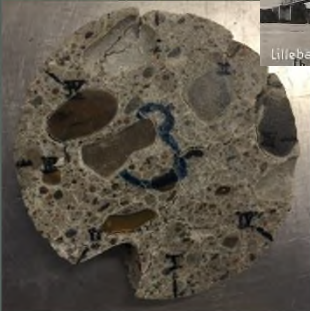
24

## Sulfatnedbrydning







Lillebæltsbroen,  
uskadt beton



Lillebæltsbroen, beton  
med revner

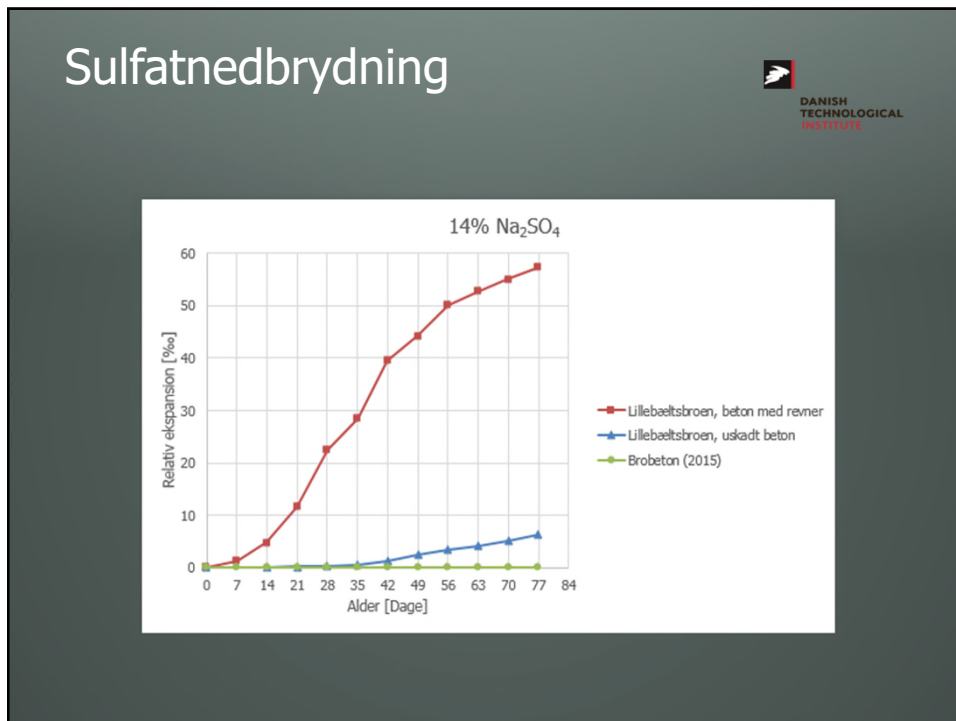


Brobeton SR5 (2015)



Lillebæltsbroen

25



26

## Sulfatnedbrydning



### Konklusion

- Sulfater i cement er naturligt og normalt
- Sulfater i beton kan skyldes eksterne eller interne kilder
- Sulfater kan være skadelige på en række forskellige måder, men der ses sjældent store skader i Danmark
- Tøsalt er en sulfatkilde, som har været overset
- Derfor kan der være sulfatangreb i konstruktioner udsat for tøsalt
- Konstruktioner der ikke er udført med sulfatbestandig cement, kan risikere sulfatnedbrydning pga. tøsalt

27

## Tak for opmærksomheden



28