



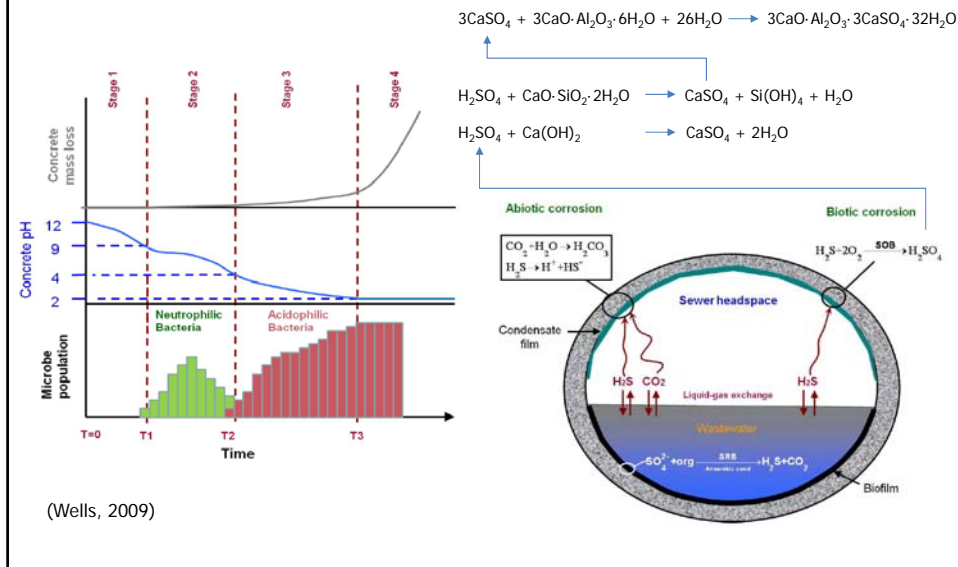
Formål



Udvikling af betonrør, der er modstandsdygtige overfor svovlbrintekorrosion, så der kan opnås minimum 75 års levetid i spildevandsledninger.



Svovlbrintekorrosion – processen



Motivation



- Ændret strategi for håndtering af spildevand:

Centralisering (lange trykledninger).

Separation af spildevand og regnvand.



Lang opholdstid uden ilttilførsel.

Opkoncentrering af kemiske stoffer.



Øget dannelse af svovlbrinte.

- Det danske afløbssystem:
 - består af 56.500 km ledning og 1,2 mio brønde.
 - aktuel årlig renoveringsindsats – 400 km ledning og 4000 brønde.
 - renoveres og udbygges for 1 mia. kr. om året.
- I Flandern (6 mio. indbyggere) er estimeret et årligt værditab på 40 mio. kr. direkte relateret til svovlbrintekorrosion.

Om projektet



- Finansiering: Miljøstyrelsen (MUDP 2012)
- Tidsramme: 2,5 år (kick-off marts 2013)
- Deltagere:
 - Teknologisk Institut – projektleder, udvikling/test af teknologier
 - RC Betonvarer A/S – implementering i produktion af betonnør
 - Aalborg Forsyning, Kloak A/S – etablering af forsøgsstrækning
 - HOFOR – etablering af forsøgsstrækning

Teknologier



- Kalkstenstilslag – offermateriale, neutraliserer syren så angreb på cementpastaen reduceres.
- Calcium aluminate cement – mere syreresistent hydratiseringsprodukt (aluminhydrat stabilt ned til pH 3-4), ved syrenedbrydning af calcium aluminate hydrater dannes mere aluminhydrat som fylder porerne.
- Slaggecement – tættere mikrostruktur, syreindtrængning reduceres.
- Geopolymer (alkalisk aktiveret flyveaske/slagge) – syreresistent binder som erstatning for cementpasta.

Mix design – jordfugtig beton



	Reference	Kalksten tilslag	Calcium aluminat cement	Slagge cement	Geopolymer
Portland cement	332	332			
Calcium aluminat cement			400		
Slaggecement				385	
Flyveaske	74	74			380
0/4 mm sand	709		709	709	709
2/4 mm grus	250		250	250	250
2/8 mm sten	750		750	750	750
0/2 mm kalksten		700			
2/12 mm kalksten		1020			
Vand	127	127	137	132	
Natriumsilikat opløsning					96
Natriumhydroxid opløsning					44
Total	2242	2253	2246	2226	2229

Prøvefremstilling – kompaktor



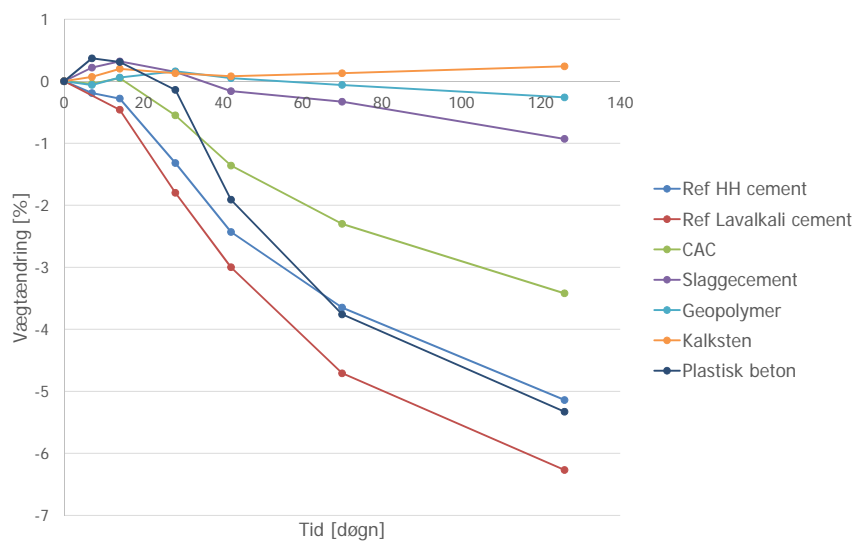
Cylindriske prøveemner med diameter 100 mm og højde 80 mm blev fremstillet med kompaktor, hvor materiale blev kompakteret mellem 2 excentrisk roterende stempelhoveder ved et tryk på 4 bar til den ønskede densitet.

Syretest – procedure

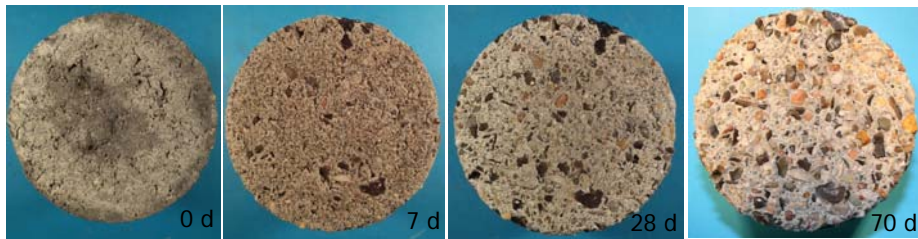


- Syretesten er en modificeret version af ASTM C267.
- Prøveemner lagres i vand ved 20 grader i 28 døgn.
- Prøveemner eksponeres til en 1 vægt% svovlsyreopløsning (pH~1), 6 prøveemner af hvert mix design eksponeres i separate kasser med 9 liter svovlsyreopløsning.
- Prøveemner vejes (VOT) og fotograferes efter 0, 7, 14, 28, 42, 70 og 126 døgn.
- Svovlsyreopløsningen udskiftes ved hver inspektion af prøveemnerne.

Syretest – vægtændring



Reference



Sammenligning (70 døgn)



Kalksten



Geopolymer



CAC



Slaggecement



Sammenligning (105 døgn)



Vand



Reference

CAC

Kalksten

Geopolymer

 H_2SO_4 

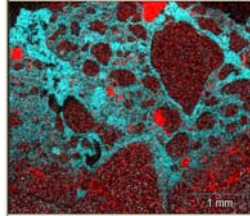
Mikroskopi (105 døgn)



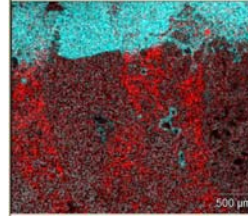
Mikroskopi – indtrængning



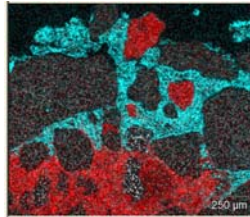
Reference – 2,5 mm



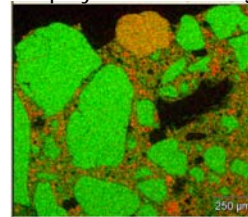
Kalksten – 1,5 mm



CAC – 1 mm



Geopolymer – intet angreb

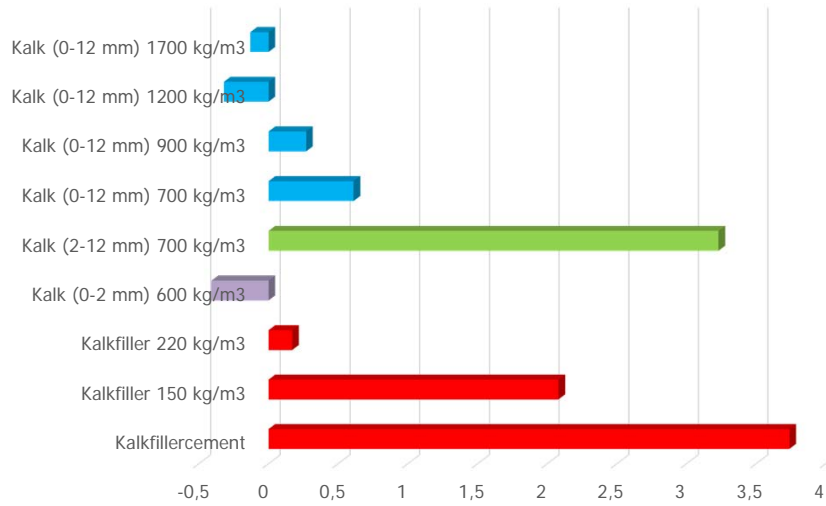


Kalksten – yderligere forsøg

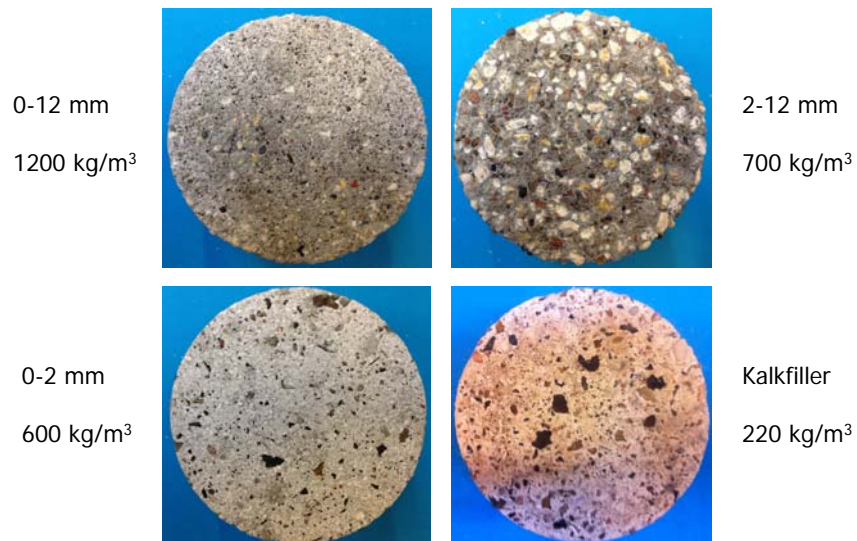


- Er det nødvendigt med en 100% substitution af normale tilslag med kalksten?
- Hvad betydning har finheden af kalksten?
- Kan man ikke bare anvende kalkfiller?
- Risiko for dannelse af thaumasite ($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$)?
 - Favoriseret ved lav temperatur og høj pH.
 - Eksponering af prøveemner til svovlsyre ved 8-10 grader.

Kalksten – massetab (70 døgn)



Kalksten (70 døgn)



Konklusion på labforsøg



- Alle testede teknologier performer bedre end referencen i forhold til massetab:
 - Kalksten > Geopolymer > Slaggecement > CAC > Reference
- Geopolymer angribes ikke, men er dog ikke umiddelbart velegnet til rørproduktion (klistret pasta, hærdning ved hævet temperatur).
- Prøver med kalksten angribes, men der dannes et stabilt lag af gips på overfladen (i øvrigt er der konstateret 25% forøget styrke).
- Finheden af kalk har stor betydning:
 - Kalksten over 2 mm har ingen/begrænset effekt.
 - Jo finere kalk, jo mindre mængde er nødvendig.
- Resultaterne kan dog ikke umiddelbart omsættes til en estimeret levetid under de virkelige forhold i en kloak.

Fuld skala demonstration



- Kalksten (præcis størrelsesfordeling ikke fastlagt) og slaggecement er udvalgt.
- Der er fremstillet testrør af de 2 udvalgte teknologier hos RC Betonvarer, som opfylder krav til overfladekvalitet og styrke.
- Aalborg Forsyning har stillet en rørstrækning (225 meter, Ø400 mm rør) med høj svovlbrinteforekomst til rådighed ved Vaarst syd for Aalborg.
- Rørene til strækningen er under produktion.
- Rørene lægges i jorden indenfor de næste par måneder og lægges skiftevis Reference-Kalksten-Slaggecement.

Rørproduktion – RC Betonvarer



Rørproduktion – RC Betonvarer



Rørproduktion – RC Betonvarer

