D2024-03 Sulfidjord Stabilisering

Projektledare - Anna Sturevik Storm

FOI handläggare - Tomas Björnehall

Vad är sulfidjord?



- Förekomst i Sverige
  - Norrlandskusten (främst)
  - Mälardalen
  - Skåne
- Bildning
  - Organiskt material avsätts på syrefria bottnar
- Egenskaper
  - Finkornig, ler/silt
    - Sand
  - Hög svavelhalt (1 000 – 20 000 mg/kg TS)
    - Kan variera kraftig inom samma jord
  - Hög vattenkvot (ofta > 100%)
  - Organiskt material

Problem med sulfidjord

- Orörd
  - Potentiell sur sulfatjord
  - Inga problem
  - Sulfidmineral stabila
- Exponerat för syre
  - Oxideras→ svavelsyra bildas (H_2SO_4) → pH sjunker
  - Aktiv sur sulfatjord
    - Miljörisk
      - Försurat vatten
        - Fiskdöd
      - Tungmetaller
    - Problem för branschen
      - Svårstabiliserat vid djupstabilisering
        - Hög bindemedelsmängd
        - Porösa och sköra KC-pelare
      - Dyr deponi

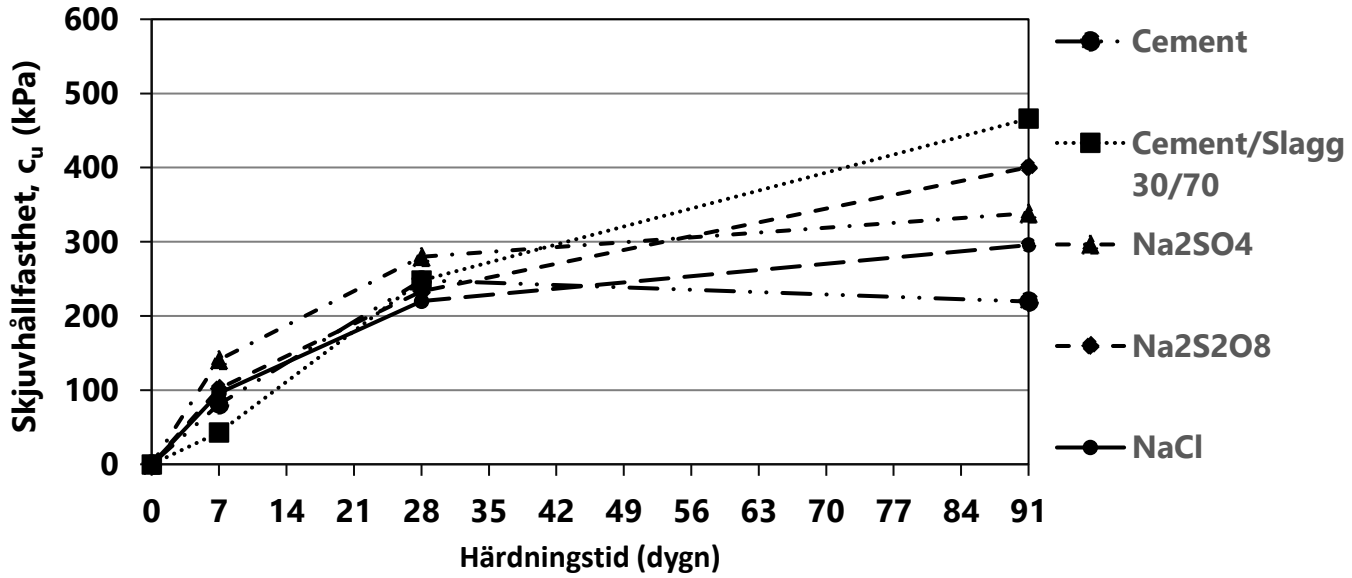
Bakgrund, förstudie

- Sulfidrika prover från Timrå 2023-2024
  - Svårstabiliserade med ”traditionella” bindemedel
    - Olika sorters cement, flygaska, slagg…
  - Tillsätta kemiska tillsatser?



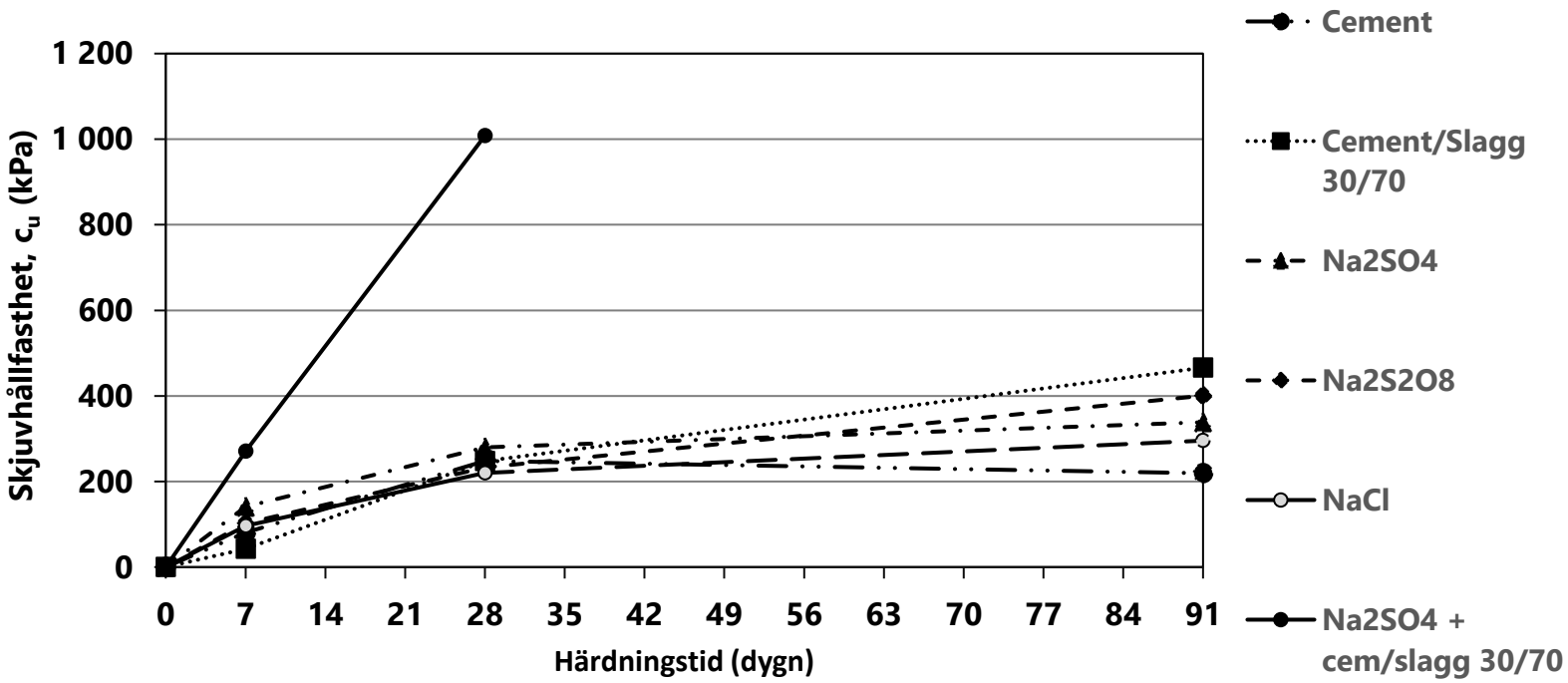
Bakgrund/förstudie

- Referenser, cem II och cem II+ slagg (Merit) → c_u **248** kPa 28 dygn
- Cem II + Natriumsulfat (Na_2SO_4) → c_u **280** kPa 28 dygn
  - Valt från Lambe (1960)
- Cem II + Natriumpersulfat ($Na_2S_2O_8$) → c_u **233** kPa 28 dygn
  - Valt p.g.a. erfarenheter från tidigare projekt
- Cem II + NaCl (Natriumklorid, bordssalt) → c_u **220** kPa 28 dygn
  - Valt för att se hur reaktionen funkar med bara tillsatta Na-joner utan S-joner.



Bakgrund/förstudie

- Salt + cem + slagg?
- Natriumsulfat (Na_2SO_4) + Cem II + slagg → **<u>1008</u>** kPa 28 dygn



- Kan vi reproducera detta resultat?

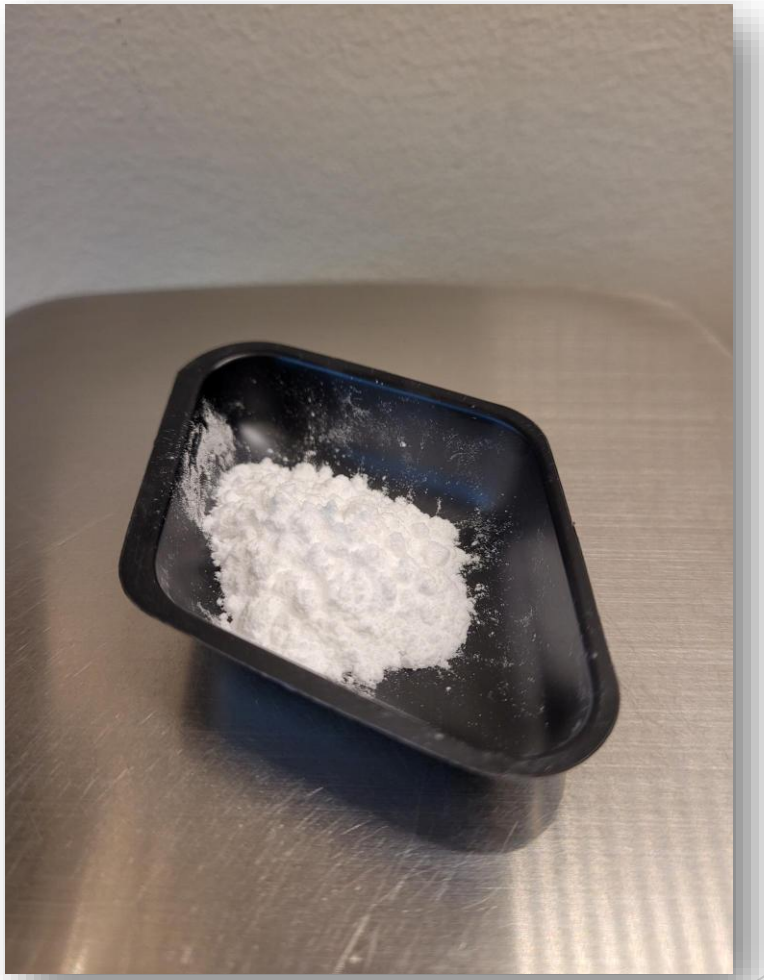
Vad består denna studien av?

- Litteraturstudie (LTU)
- Stabiliseringar i labb
- Karaktärisering
  - Benämning
  - Glödgning
  - Sedimentation
  - Avancerad karaktärisering (kommande)
    - Elektronmikroskop
    - XRD



Upplägg stabilisering

- 3 olika jordar
  - Jord A – ingen/mycket låg sulfidhalt
  - Jord B – moderat sulfidhalt
  - Jord C – hög sulfidhalt
- Samma bindemedelsproportioner, cem/slagg 30/70, tre olika mängder
  - 100 kg/m^3
  - 150 kg/m^3
  - 200 kg/m^3
- Tre olika kemiska tillsatser
  - Na_2SO_4 – Natriumsulfat
  - $CaSO_4*2H_2O$ – Gips, kalciumsulfathydrat
  - NaOH – Lut, natriumhydroxid

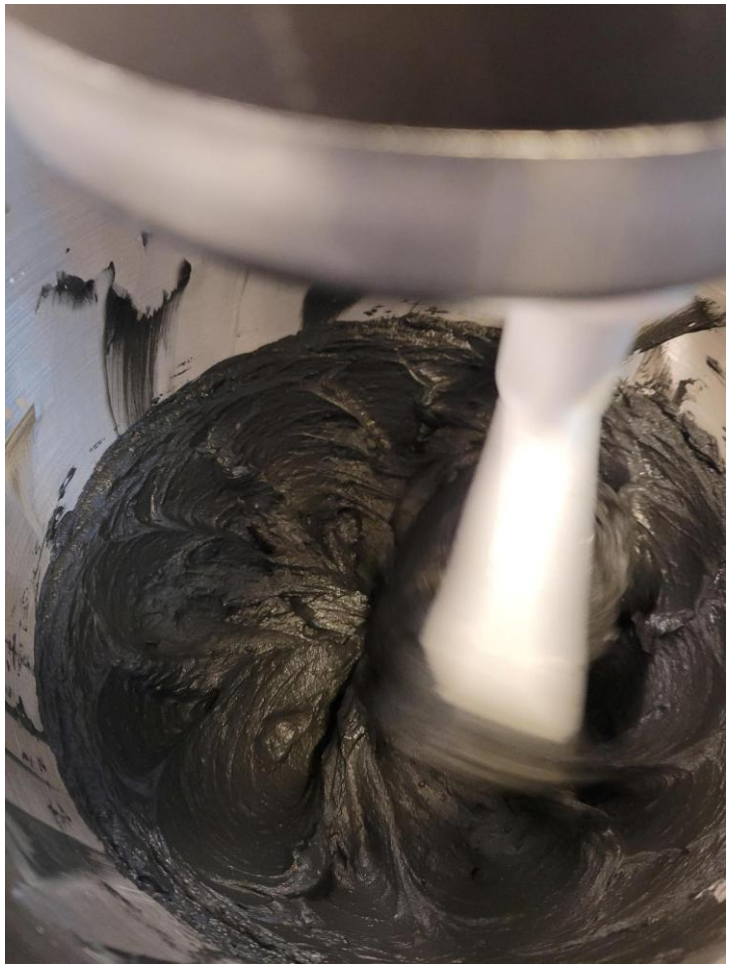


Upplägg stabilisering

- Initialt enbart våt metod
  - vct = 1,0
  - Torr metod
    - ska utföras under hösten 2025
- Mängden kemisk tillsats beror på varje förenings joninnehåll
  - Na_2SO_4 – 71 g/l ≈ **7%** av bindemedelsmängden
  - $CaSO_4*2H_2O$ – 86 g/0,982 l ≈ **9%** av bindemedelsmängden
    - p.g.a. kristallvattnet
  - NaOH – 34 g/l ≈ **3%** av bindemedelsmängden



Upplägg stabilisering



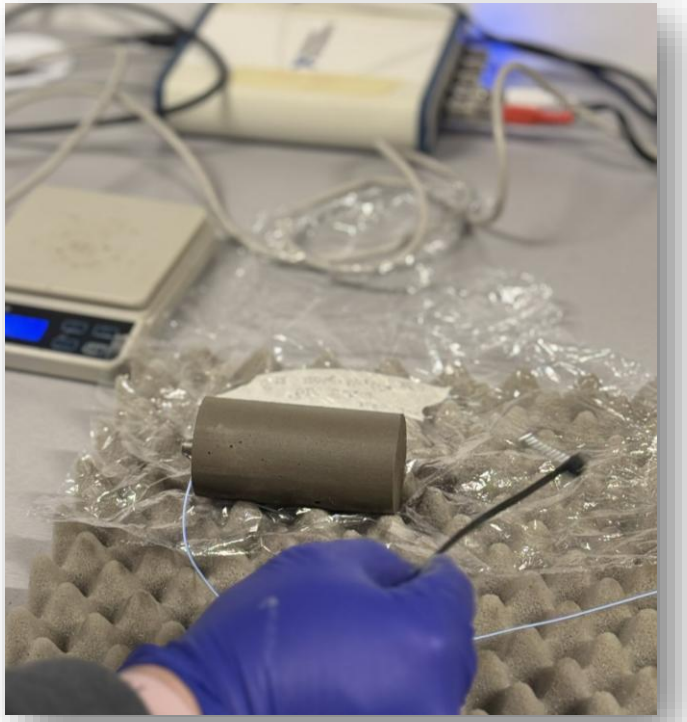
- Val av salter
- Kommersiellt gångbart
  - Na_2SO_4 – givet med tanke på förstudien
    - Höjer pH
    - Aktiverar puzzolana reaktioner
    - Bidrar till ettringitbildning
    - Bildar NaOH i den kemiska processen
  - $CaSO_4*2H_2O$ – intressant att se vad som händer när vi inte tillsätter Na-joner.
    - Höjer pH
    - Aktiverar puzzolana reaktioner
    - Bidrar till ettringitbildning
  - NaOH – Påverkar S-jonerna stabiliseringen negativt, vi provar ett ämne utan.
    - Höjer pH
    - Aktiverar puzzolana reaktioner
    - Akademiskt intressant, inte passande för verkligt bruk.

Upplägg stabilisering

- Stabilisering
  - 90 provkroppar
    - 30 per jordtyp
  - 10 olika recept per jordtyp
    - 1 utan salt (endast 150 kg/m^3), 9 med salt
      - 3 olika bindemedelsmängd per salt (100, 150 och 200 kg/m^3)
    - 3 provkroppar per recept
- Seismiska mätningar
- Enaxliga tryckförsök



Seismiska mätningar - Resonansfrekvens



- Seismiska mätningar utfördes efter 7 (om möjligt), 14, 21 och 28 dygn
- Enaxligt tryckförsök efter 28 dygn
  - De seismiska mätningarna användes för att beräkna tillväxt över tid med resultat från enaxliga tryckförsök som referenspunkt

Resultat hittills

Jord	Benämning	W_N %	W_L %	$W_{stab.}$ Medel %	ρ t/m³	Glödgnings-förlust % +550˚C/+950˚C	Sulfidhalt mg/kg TS
A	(fsa)(si)Cl	44	39	48	1,78	2/6	ca 660
B	gysiSuCl	63	61	64	1,59	3/4	ca 3 750
C	gysiSuCl	124	117	114	1,30	7/9	ca 15 000

Observera, ca 30% - 40% av glödgningsförlust i sulfidjord teoretiskt bör komma från det organiska innehållet.

Teckenförklarning:

- Lila, triangel – Na_2SO_4
- Blå, kvadrat – $CaSO_4*2H_2O$
- Grön, cirkel – NaOH
- Svart, romb - ej salt

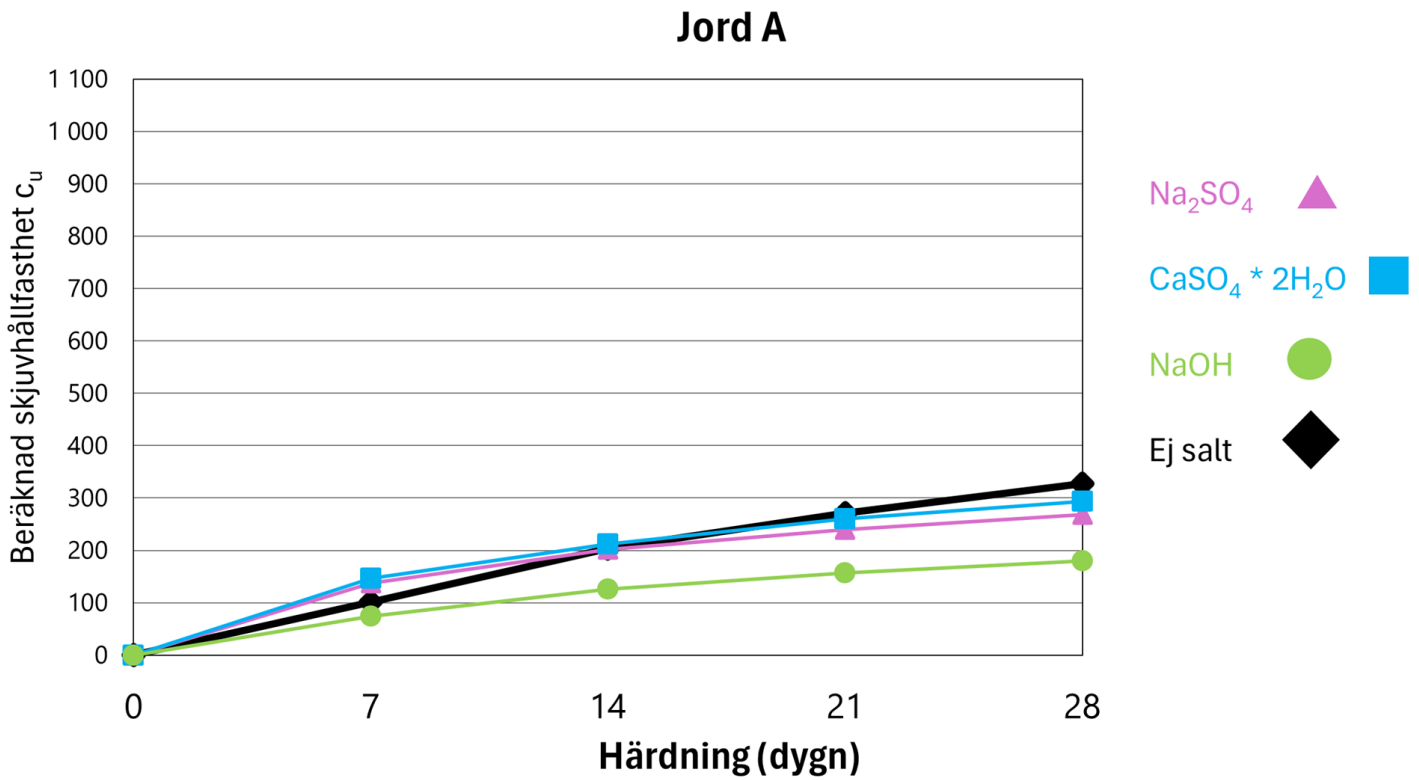
Na_2SO_4 

$CaSO_4 * 2H_2O$ 

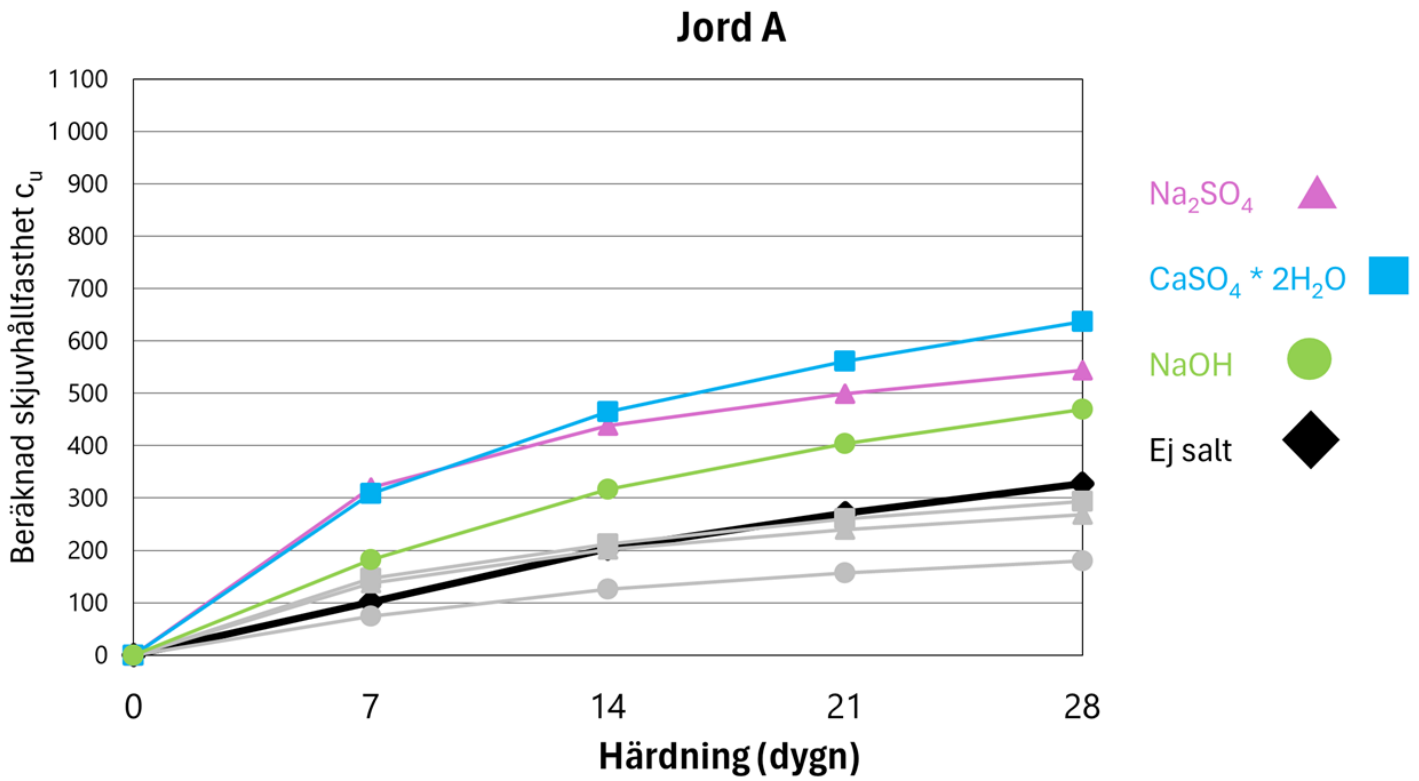
NaOH 

Ej salt 

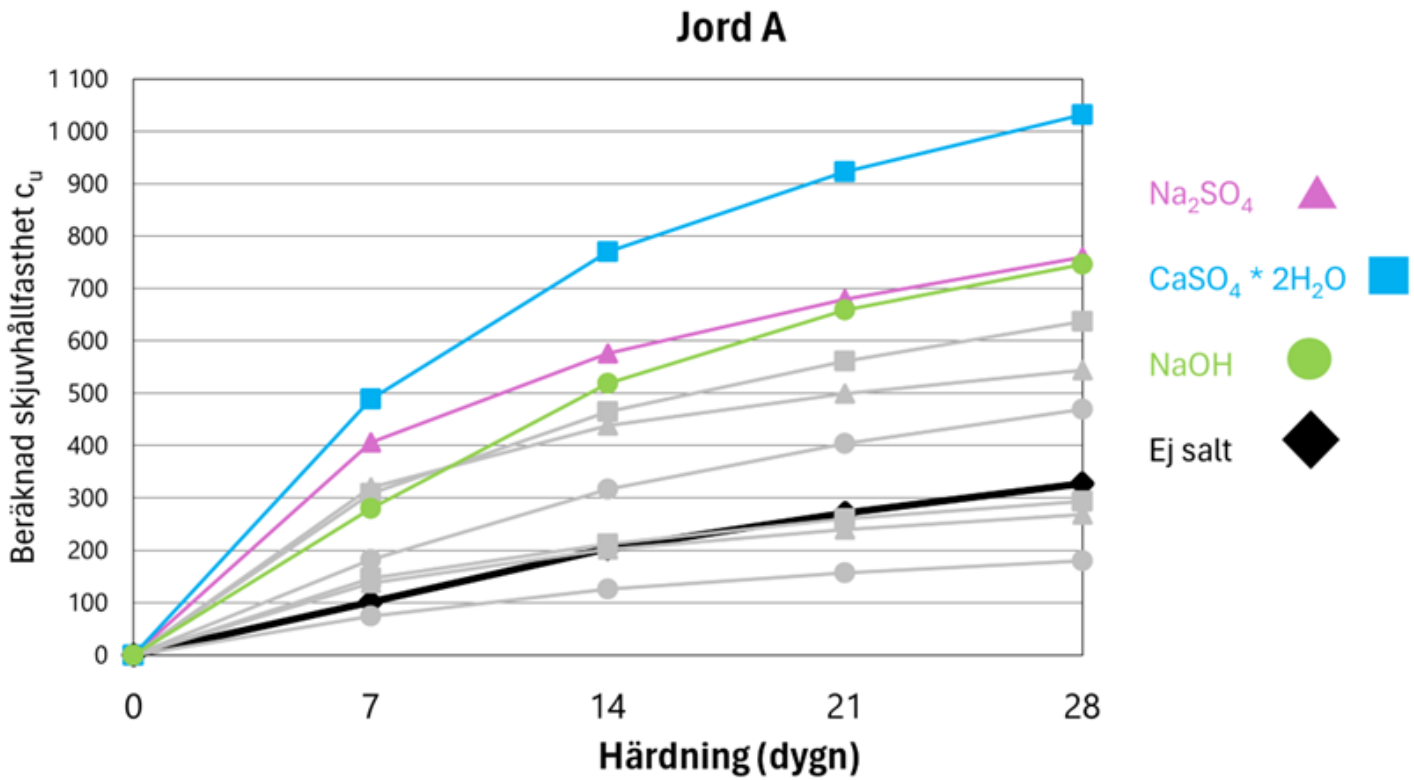
Jord **A** – 100 kg/m^3



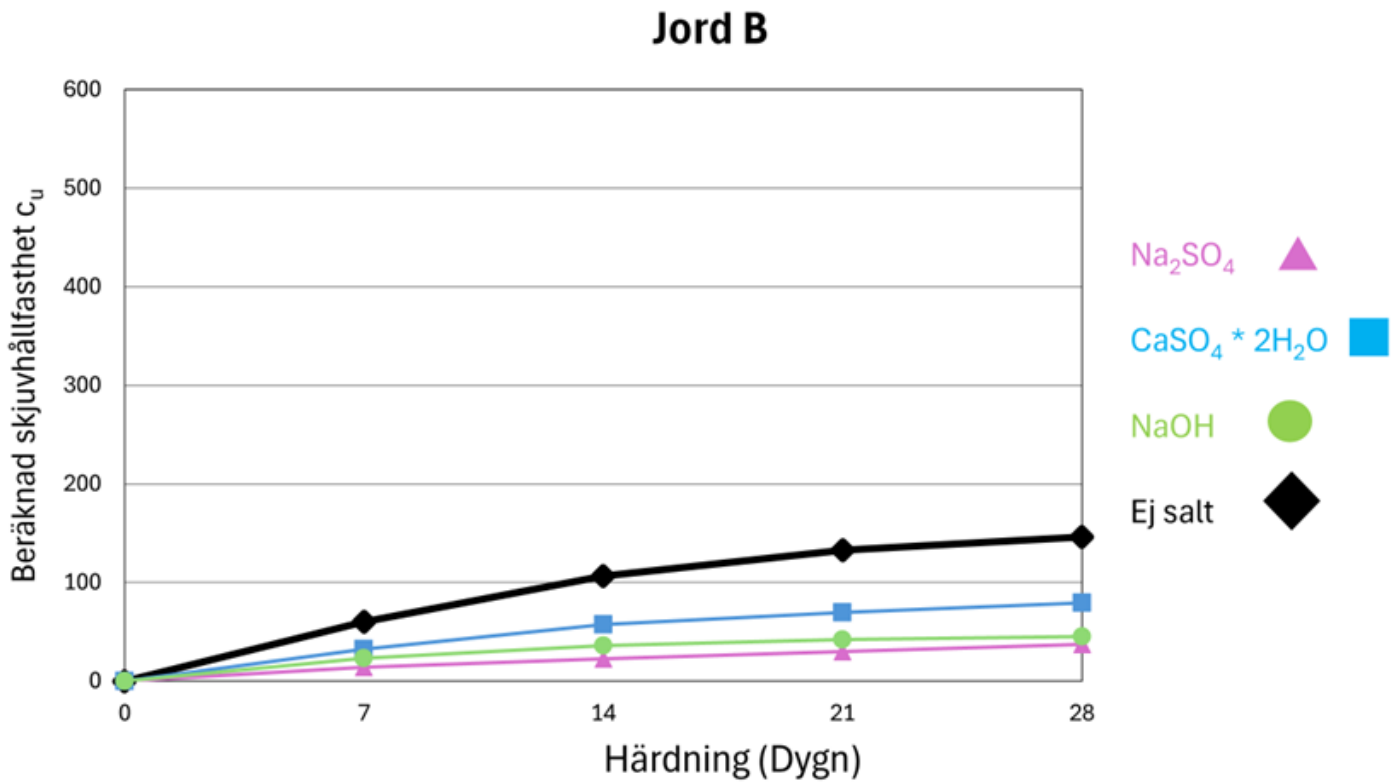
Jord **A** – 150 kg/m^3



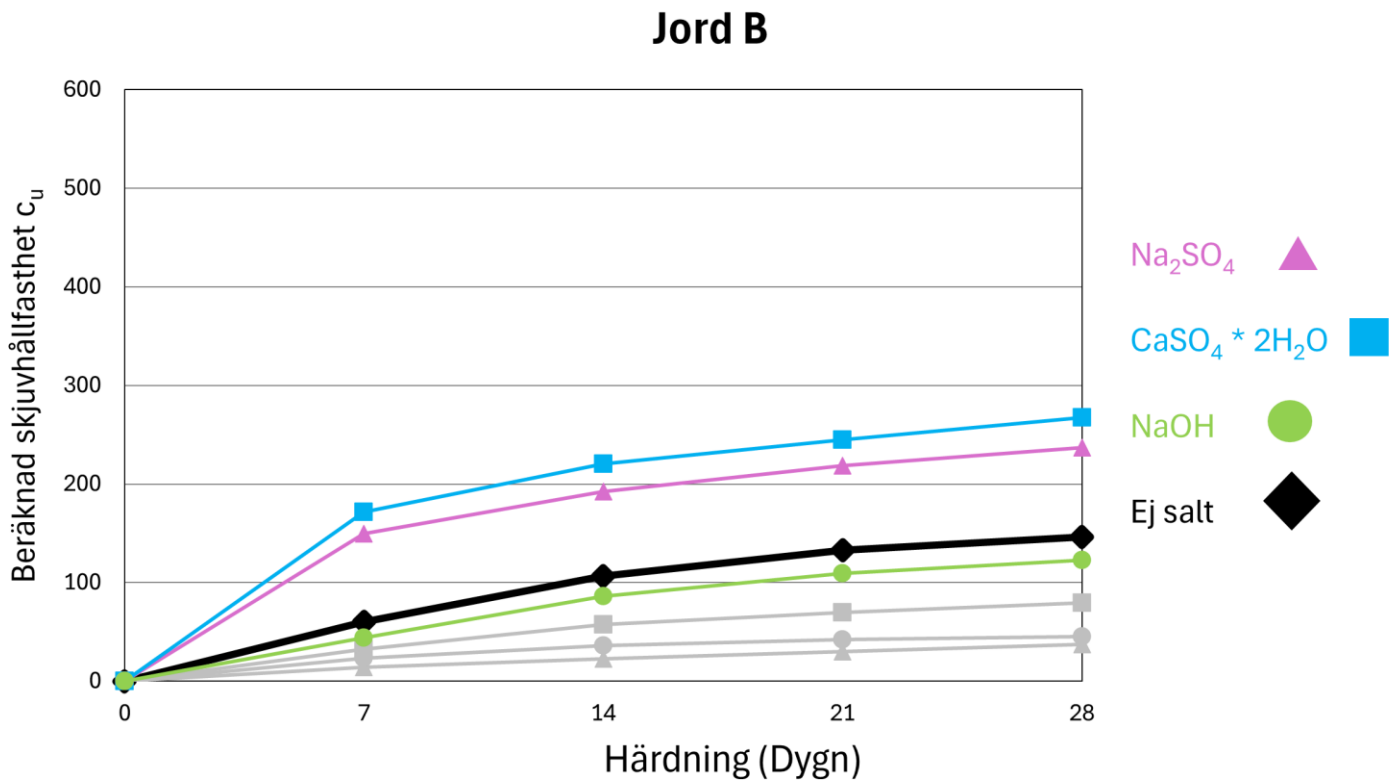
Jord **A** – 200 kg/m^3



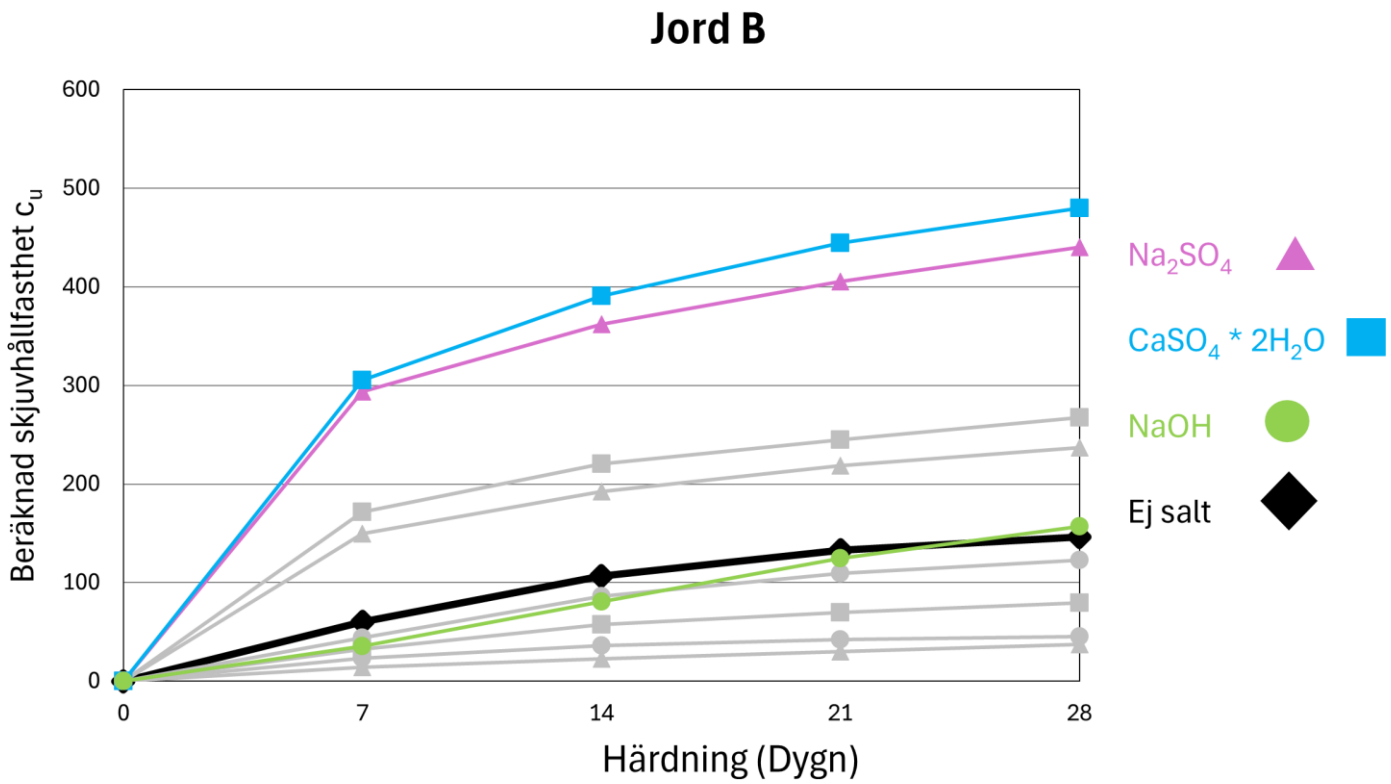
Jord **B** – 100 kg/m^3



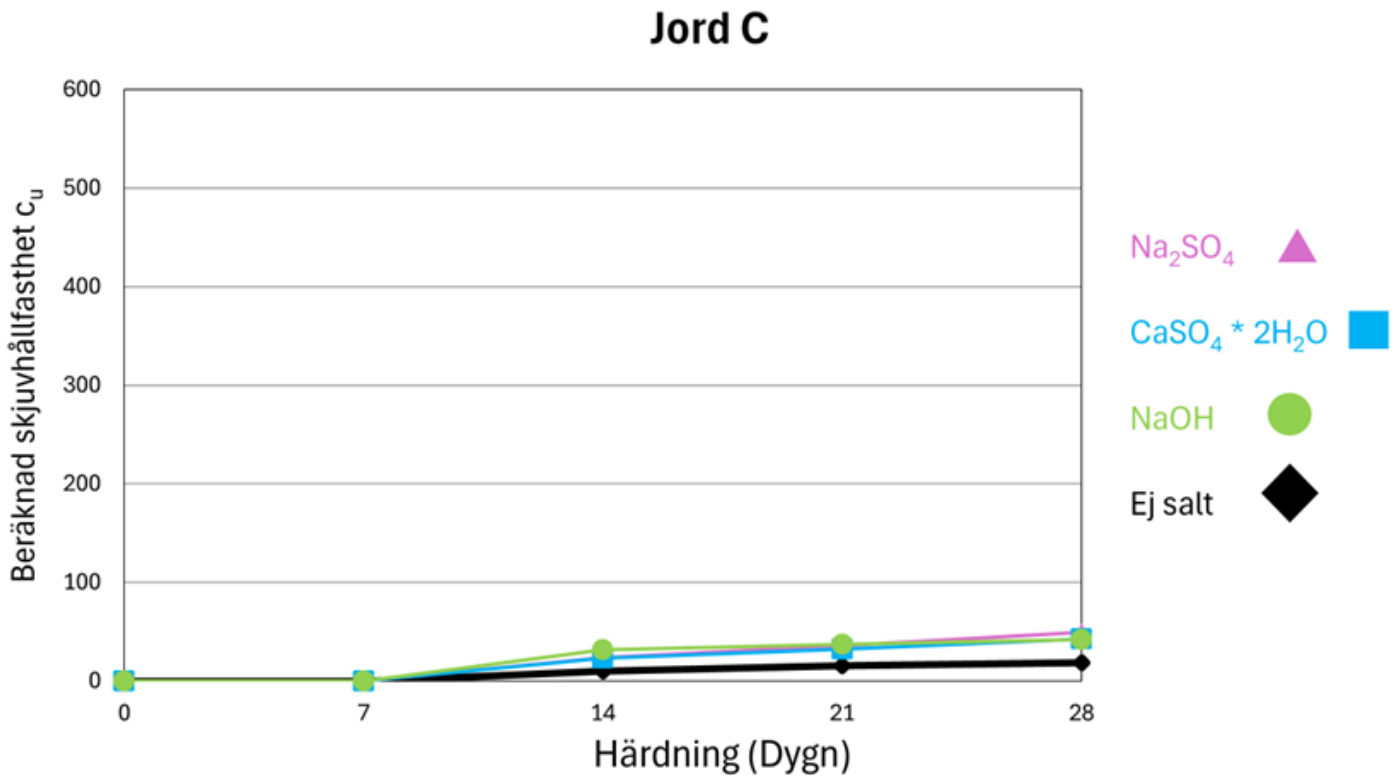
Jord **B** – 150 kg/m^3



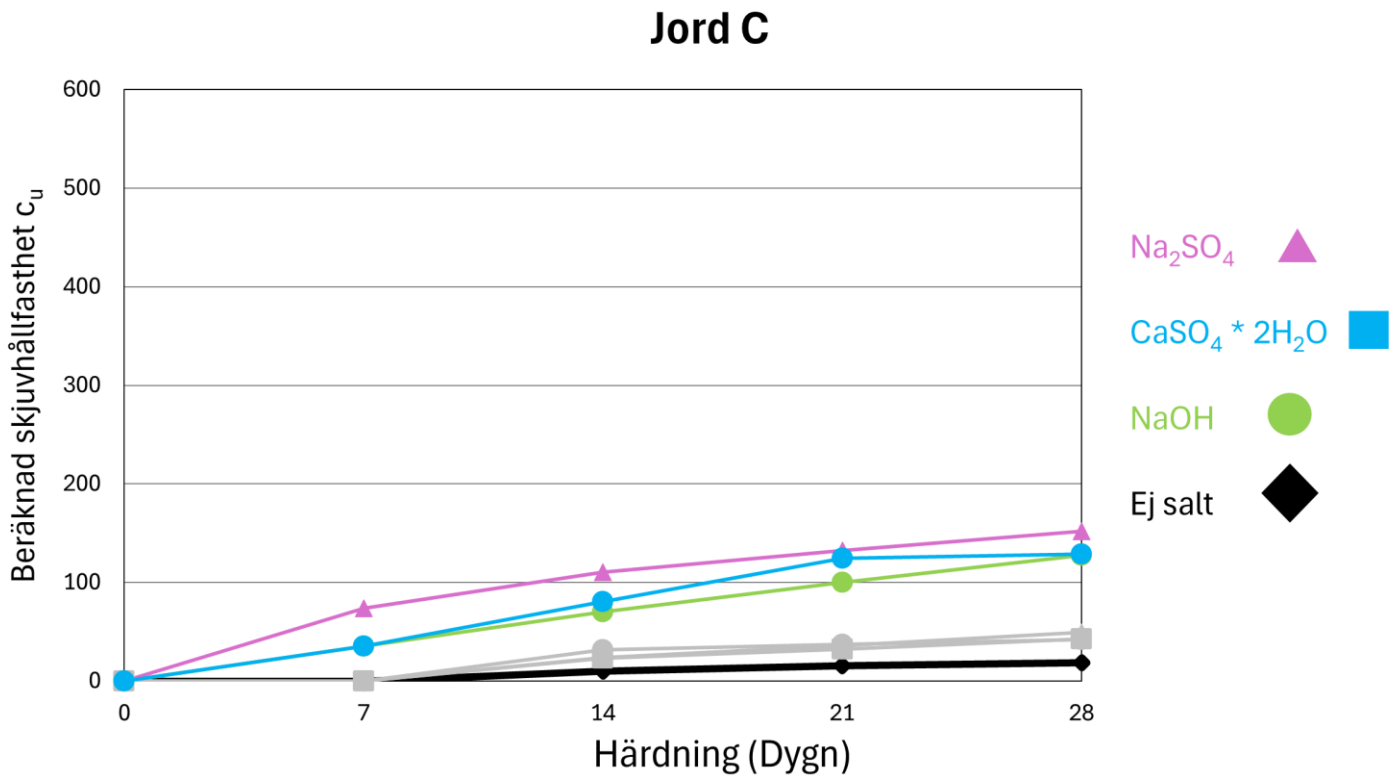
Jord **B** – 200 kg/m^3



Jord **C** – 150 kg/m^3



Jord **C** – 200 kg/m^3



Resultat hittills/slutsatser

- 100 kg/m^3 → för lite bindemedel för att stabilisera (dessa) sulfidjordar
  - 9 st provkroppar från jord C för mjuka för enaxliga tryckförsök efter 28 dygn
    - Fortfarande för efter 225 -241 dygn
  - Lågt c_u även för jord B
- Troligen onödigt med våt metod för låga bindemedelsmängder i jord C
  - Proverna mycket blöta utanpå
  - Tillräckligt med vatten i den naturliga jorden för kemiska reaktioner
- Trots svårstabiliserade jordar ger de kemiska tillsatserna en snabbare härdning och ökad c_u
  - Generellt bäst resultat med $CaS0_4*2H_2O$ och Na_2SO_4
- Mängden bindemedel fortfarande mycket viktig
- Mängden salt behöver undersökas mer
  - Kan vi få ut större effekt med mer salt?
  - Har vi använd för mycket salt?

Användning?

- Salter ökar generellt c_u mycket i det testade jordarna
  - Ekonomisk vinning?
  - Miljövinning?

Tack för visat intresse!

TRAFIKVERKET

Förbättrad stabilisering av sulfidjord med kemiska tillsatser, D2024-03

Utmaningar med stabilisering i Sulfidjord

- Organiskt innehåll, hög vattenkvot, hög svavelhalt
- Ger ofta lägre hållfasthetstillväxt
- Krävs större bindemedelsmängd för att uppnå hållfasthetstillväxt
- Risk för hårda, spröda pelare
- Inte lika vedertagen åtgärd i norr som i södra Sverige

FoI-handläggare, Trafikverket
Tomas Björnehall

Förbättrad stabilisering av sulfidjord med kemiska tillsatser, D2024-03

Möjligheter med projektet, nytta för Trafikverket

- Fler resultat med alternativa bindemedelsrecept i sulfidjord
- Kan tillsats av salter ge högre hållfasthetstillväxt?
- Försöka förstå orsaken
- God samverkan med andra BIG-projekt,
  tex gemensam litteraturstudie i *A2024-15 Stabilisering av sulfidjord*.
- **Minskad bindemedelsmängd => mindre kostnad och miljöpåverkan**

FoI-handläggare, Trafikverket
Tomas Björnehall

TRAFIKVERKET

Förbättrad stabilisering av sulfidjord med kemiska tillsatser, D2024-03

Fortsatta frågor

- Försök med torr metod
- Beständighet över tid?
- Risk för urlakning av salter?

FoI-handläggare, Trafikverket
Tomas Björnehall