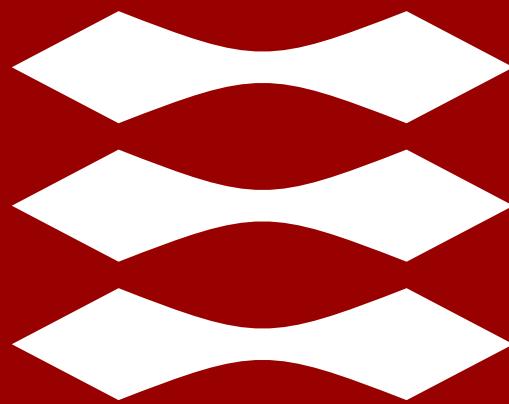


DTU



Anne Mette Tholstrup Bagger

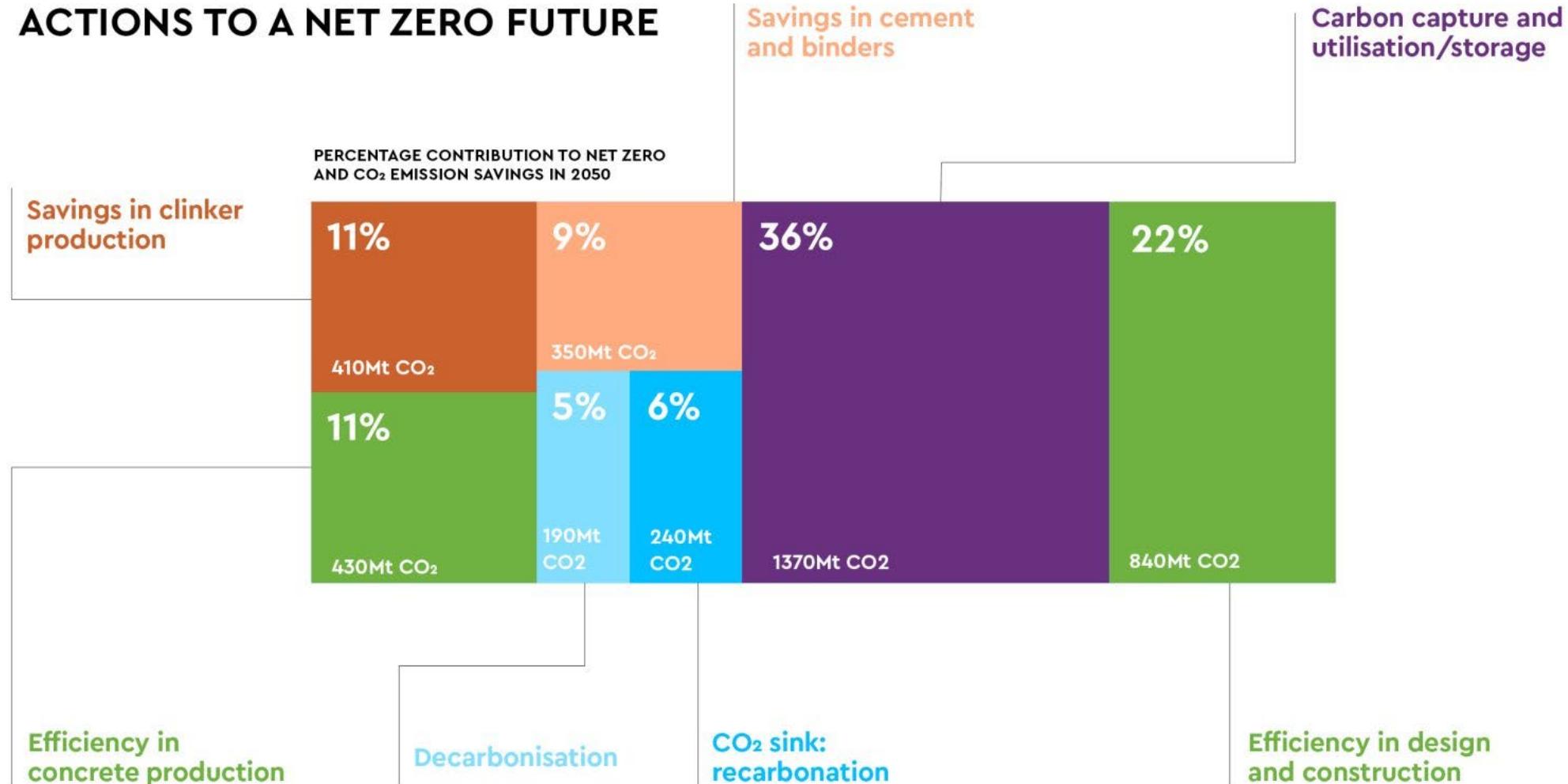
Pernille Erland Jensen (DTU), Wolfgang Kunther (DTU), Jussi Leveinen (Aalto University)

Kan mineaffald bruges som cementerstatning i beton?

Beton og cement

(Unsplash.com)

ACTIONS TO A NET ZERO FUTURE



Global Cement and Concrete Association (GCCA), Concrete Future - The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete, 2021

Løsninger

9%

350Mt CO₂

Savings in cement and binders

- Alternativer til Portland clinker cement
- Portland clinker cementerstatning



Supplementary cementitious materials (SCM) - Kemisk reaktivt

- Kulflyveaske (Kraftvarmeværker)
- Højovnsslægge (Stålindustrien)
- Mikrosilika (Ferrosilicium produktion)

→ Lav tilgængelighed
Fremtidig udfasning

→ Sen styrkeudvikling

Cement-
erstatning

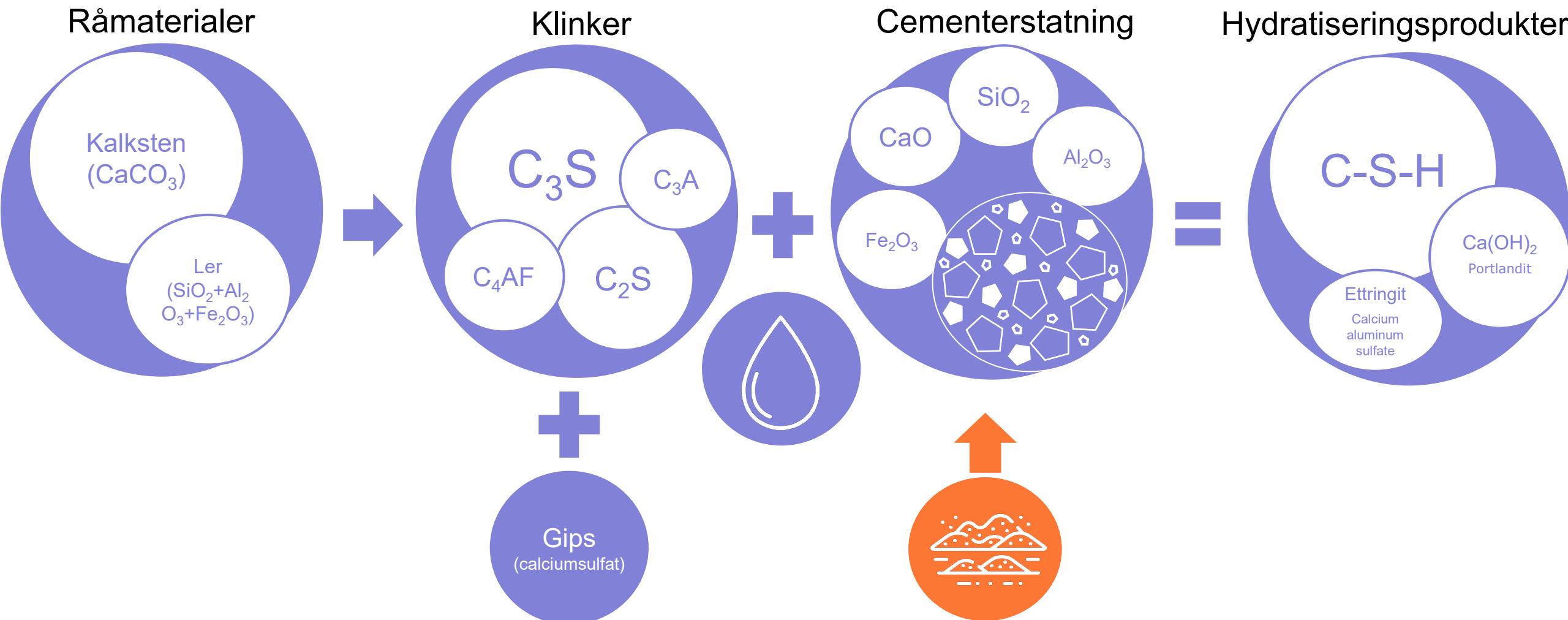
Filler – Inert (?) + fysisk bidrag

- Kalkfiller (Kalkbrud)

→ Høj tilgængelighed
Opløsning af binder
→ Teknisk grænse

→ Tidlig styrkeudvikling
Bearbejdelighed

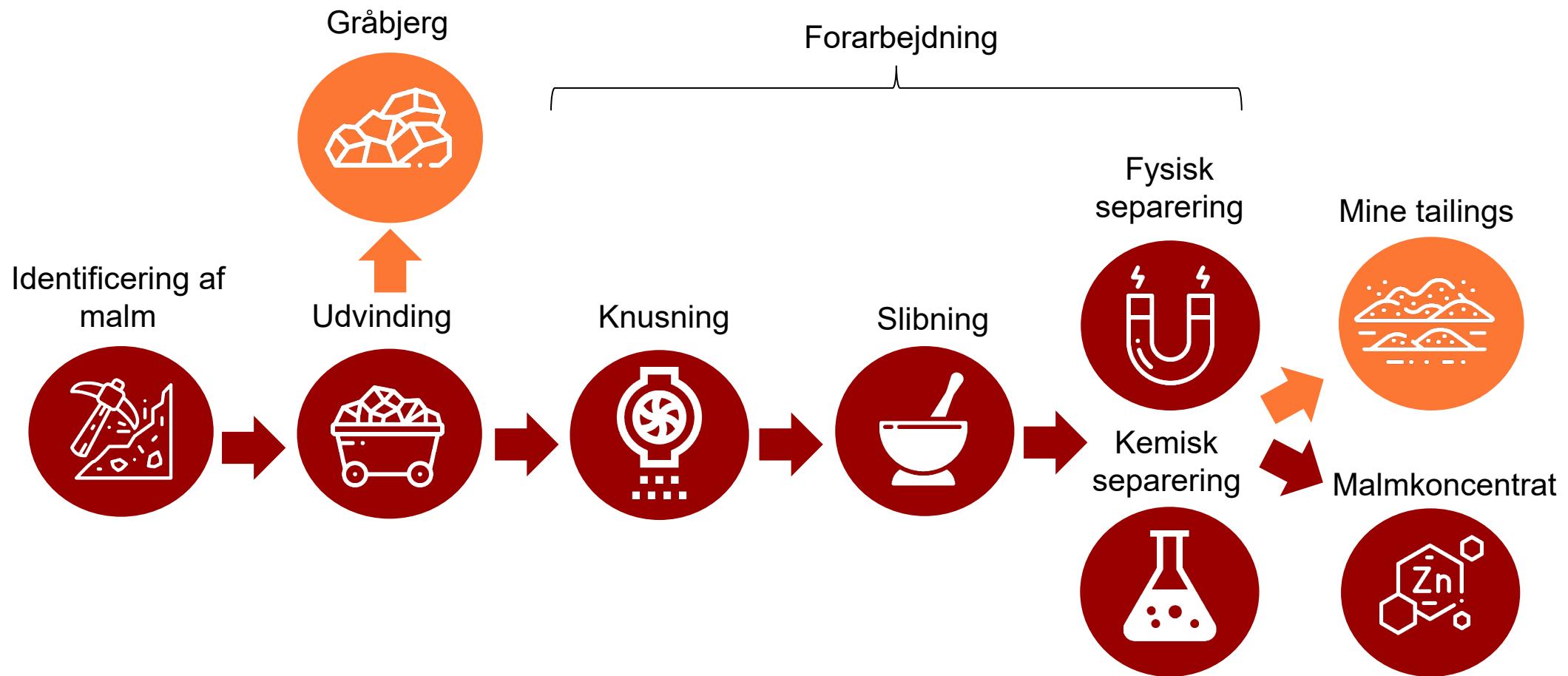
Cementerstatning

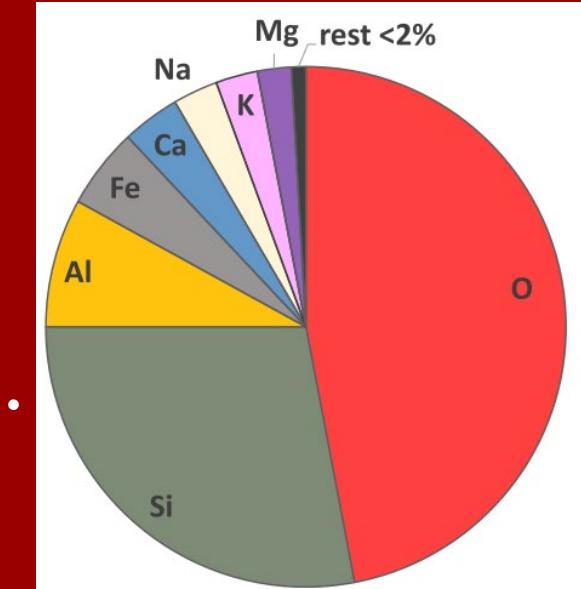




Mine tailings

(Unsplash.com)



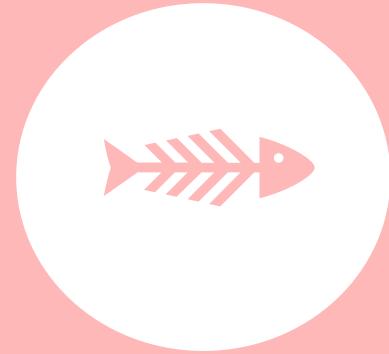


- Rig på Si, Al, Ca, Fe – Ligner mængden af elementer i jordskorpen men med stor variation afhængig af lokal geologi

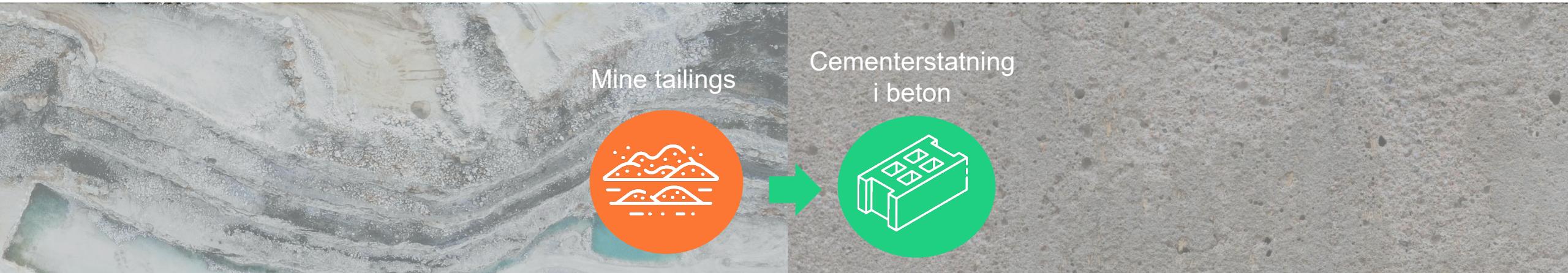
(UN Environment, K.L. Scrivener, V.M. John, E.M. Gartner, Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry, Cem Concr Res 114 (2018) 2–26)



- Deponeret som finkornet opslæmmet marteriale i opbevaringsfaciliteter (dæmninger, bassiner, søer, havet, genfyld mm)



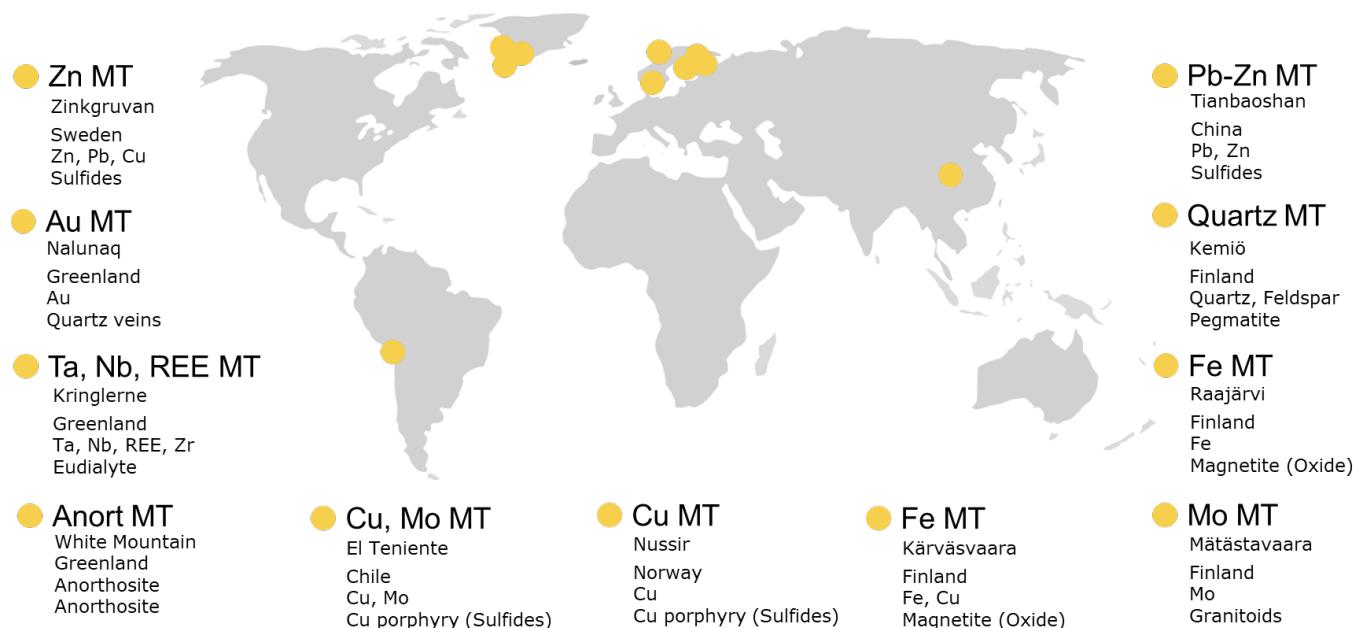
- Kan indeholde spor af sulfider og metaller som kan forårsage miljømæssige konsekvenser
 - Kollaps af tailings opbevaringsfaciliteter
 - Acid mine drainage



- Store mængder til afsætning
 - Globalt: 8 billion tons tailings produceret årligt + allerede deponeret tailing
(IRP, Mineral Resource Governance in the 21st Century: Gearing Extractive Industries towards Sustainable Development, 2020)
 - EU: 172 million tons cement produceret (2021)
(The European Cement Association, Cement and Concrete in Europe: Activity Report 2021, Cembureau (2021))
- Afgrænset i opbevaringsfaciliteter
- Favorable partikelstørrelse og kemisk sammensætning
- Stor geologisk variation
- Reducerer affaldsmængden for mineindustrien
- Bæredygtig løsning?
- Byggebranchen mangler nye cementerstatningsmaterialer til at reducere CO₂-udledningen

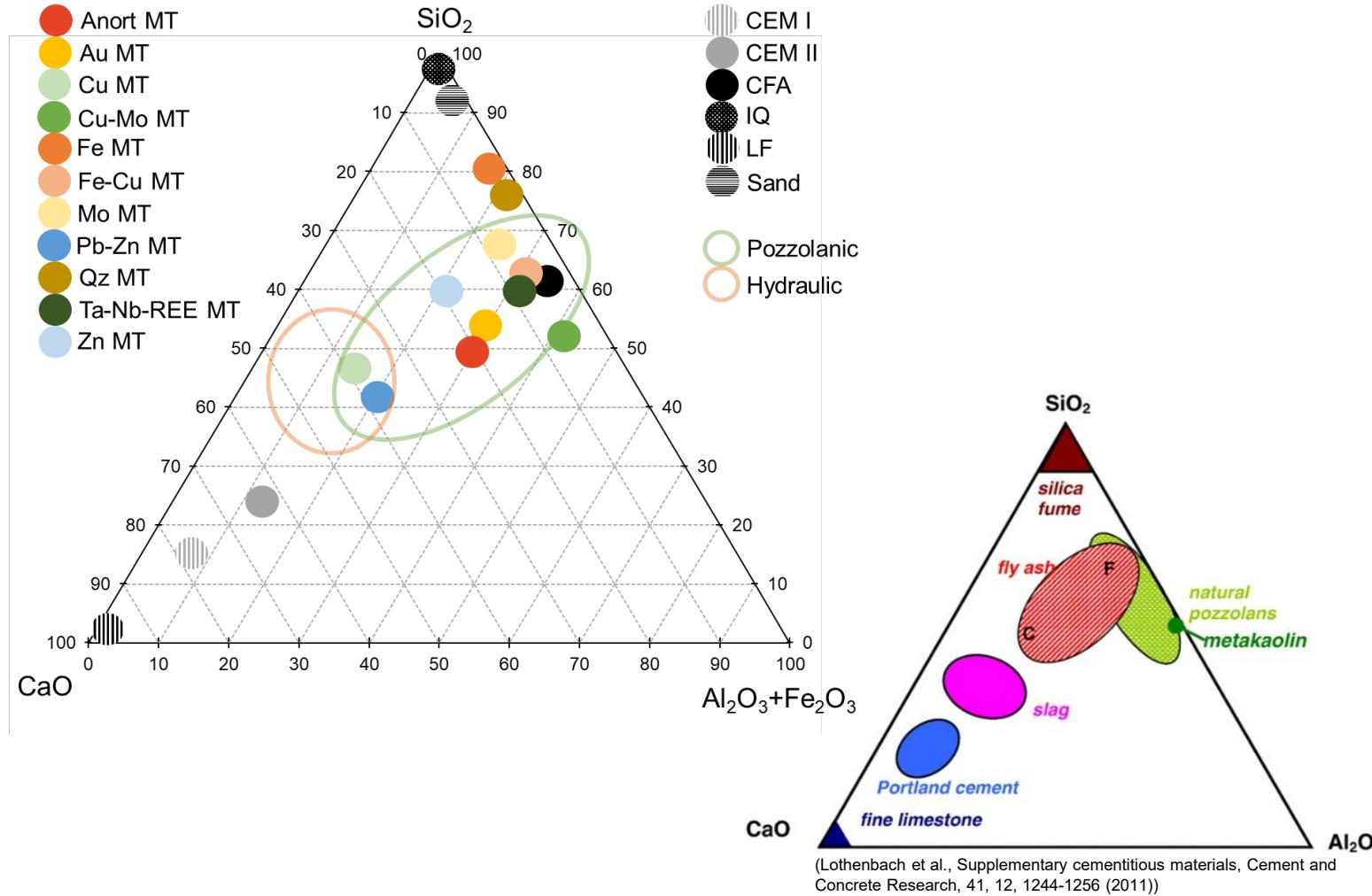
Materialer

Mine tailings





Mine tailings' egenskaber

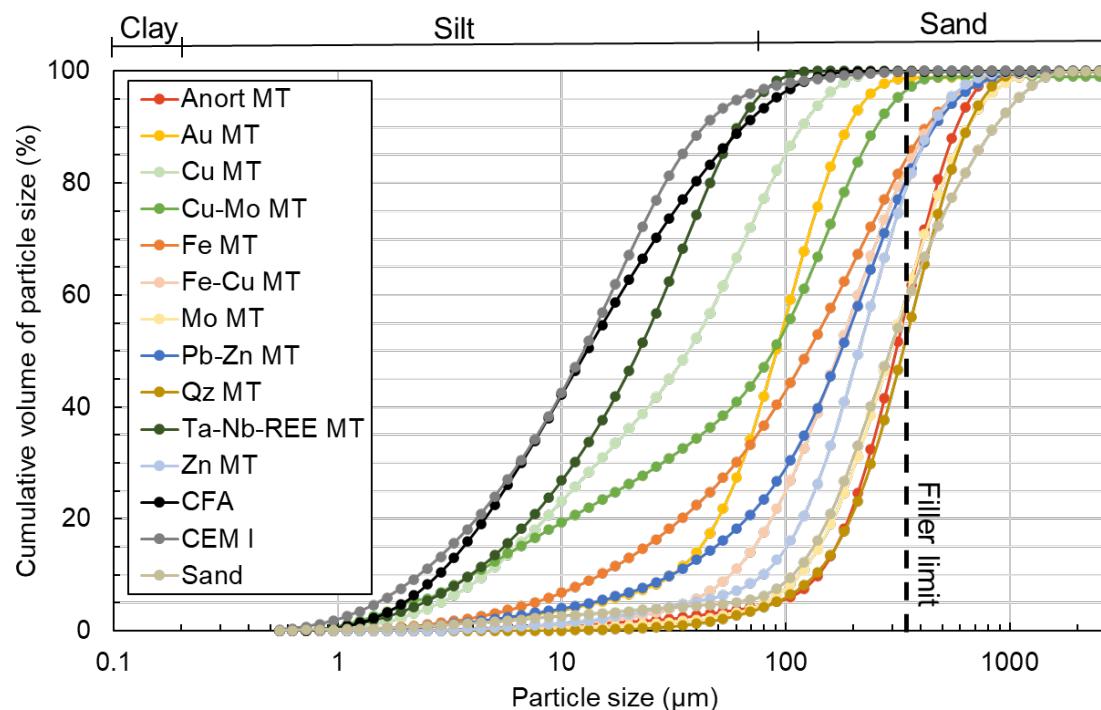


Kemiske indhold

- SiO_2 (21-47 %)
- Al_2O_3 (5-19 %)
- CaO (1-27 %)
- Fe_2O_3 (0-21 %)
- \approx Kulflyveaske (CFA)
- \neq Cement (CEM I, CEM II), Kalkfiller (LF), Sand, Inert kvarts (IQ)



Mine tailings' egenskaber

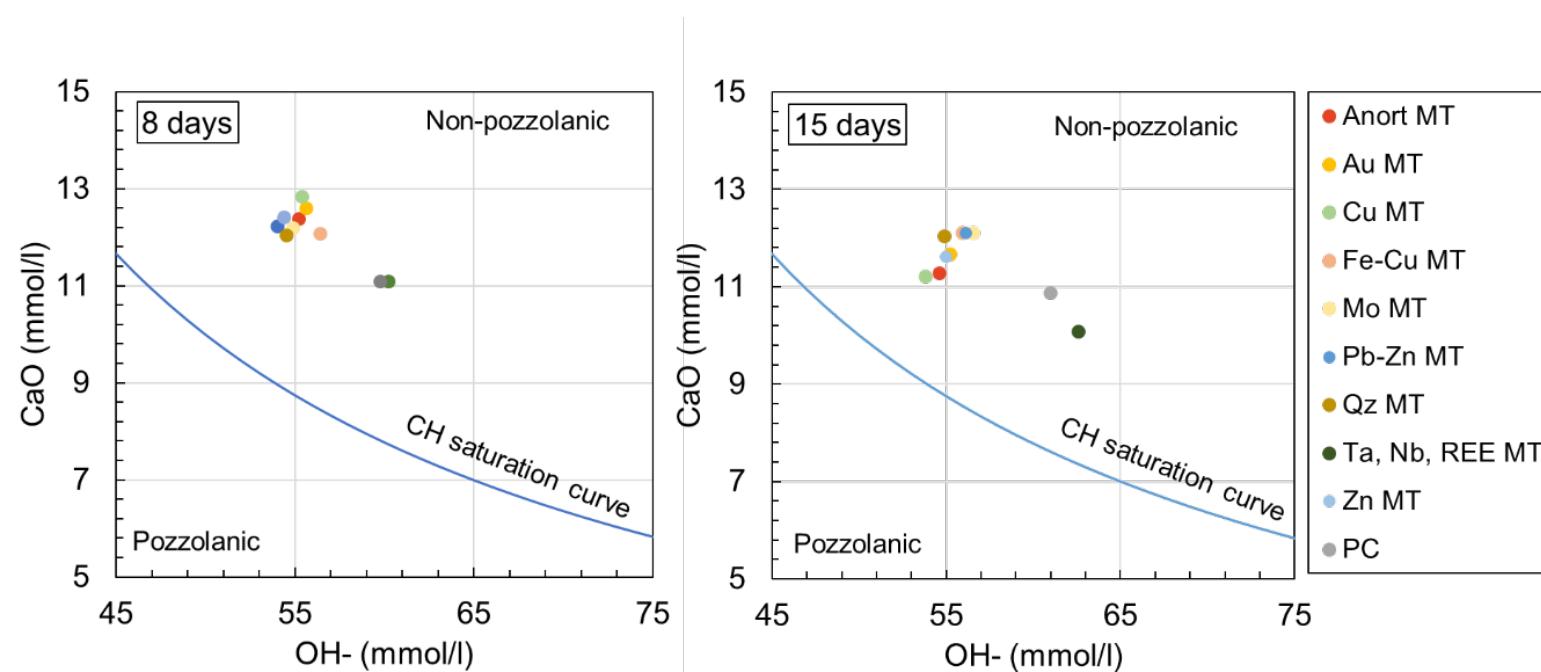


Partikelstørrelsesfordeling

- Partikelstørrelse rangerer fra silt til sand
- Rangerer mellem PC/CFA og sand
- MT sammenlignet med fillergrænsen (0.25 mm): Ta-Nb-REE MT, Cu MT, Au MT and Cu-Mo MT indeholder 90 % partikler finere end 0.25 mm

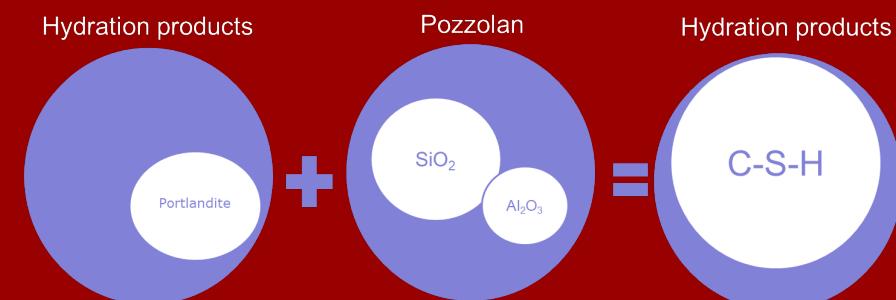


Mine tailings' egenskaber



Frattini test Pozzolansk materiale?

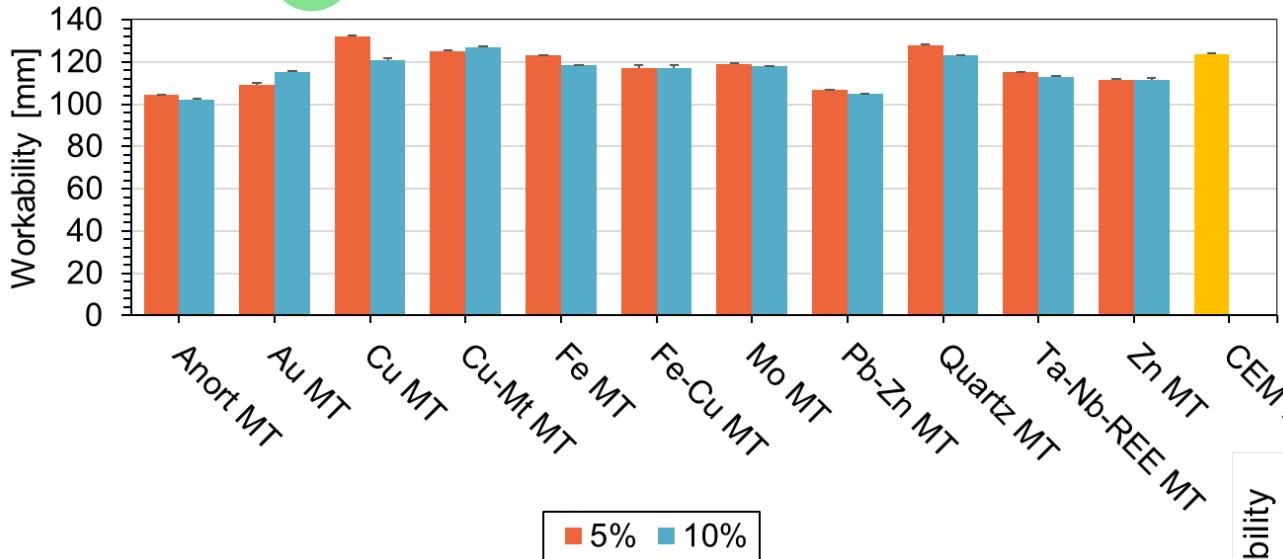
- 20 % MT i cementpasta
- Efter 8 og 15 dages hydratisering: ikke pozzolansk



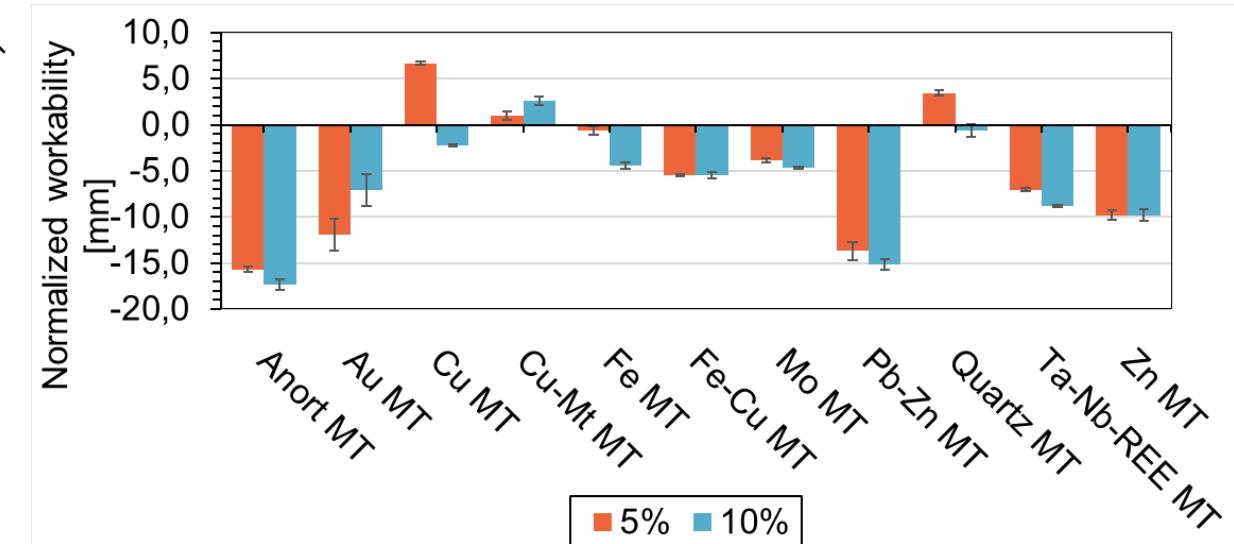


Mine tailings i mørtel

1 2 3 4
Resultater



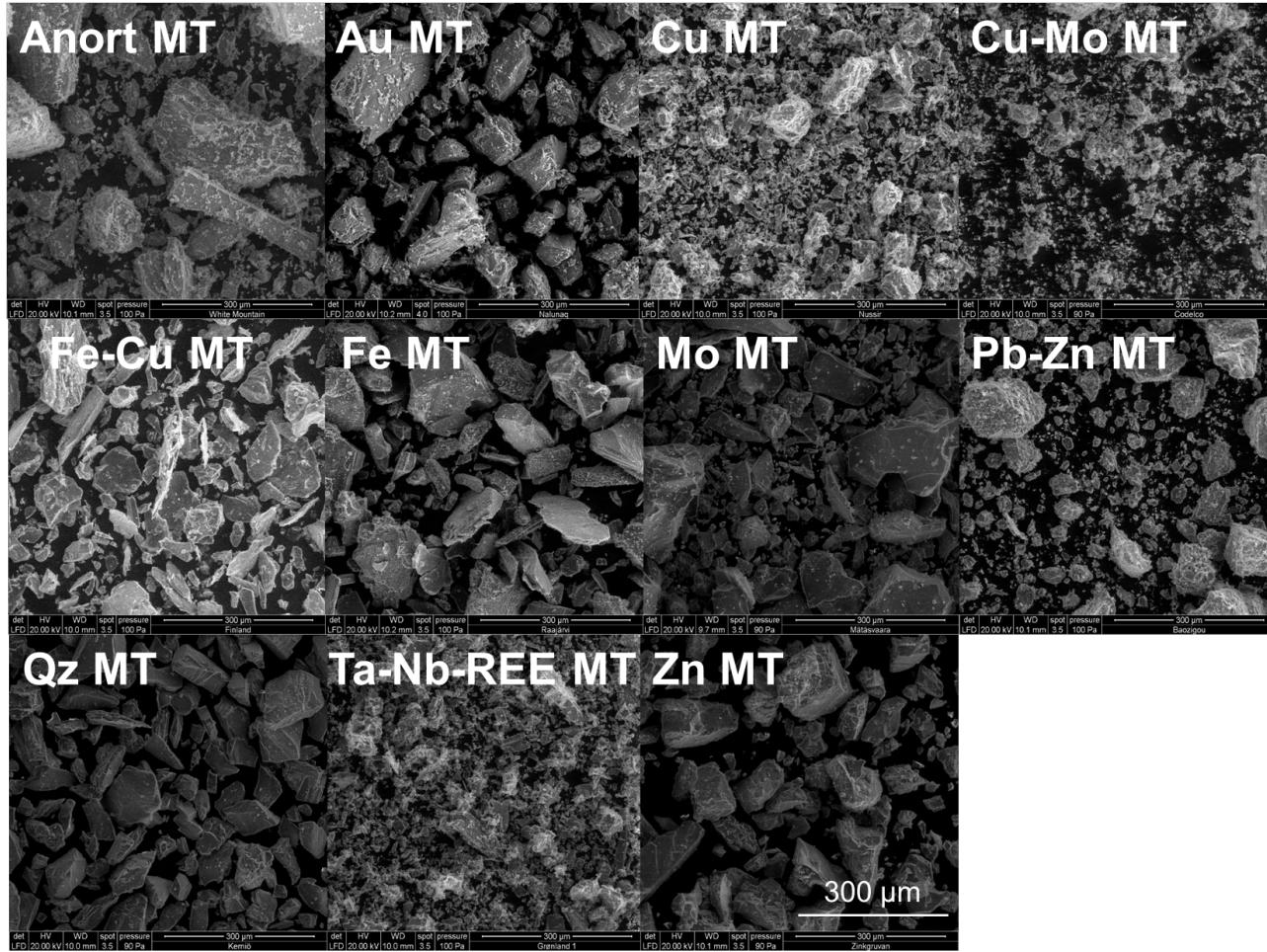
- Generel reduktion af flydemål sammenlignet med referencen
- MT har større partikelstørrelse – mindre cementpasta skal bruges til at dække alle partikler
- Partikelmorfologi: skarpkantede partikler (ikke runde) skal bruge mere cementpasta til at dække partikler
- MT mineralogi: porer kan optage vand – reducere bearbejdelighed





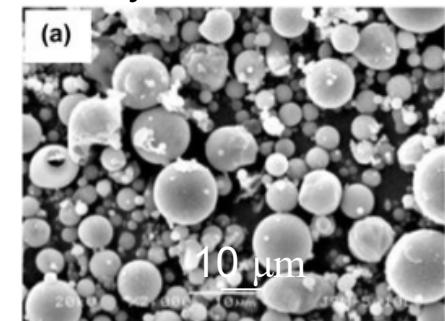
Mine tailings i mørtel

1 2 3 4
Resultater



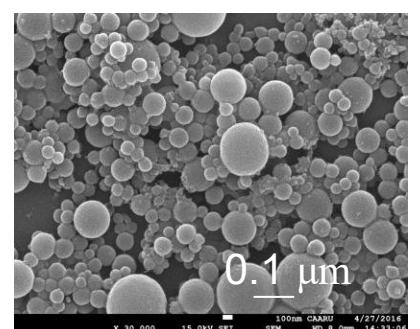
Mikroskob billeder af MT

Kulflyveaske



(Fan & Shang, 2016)

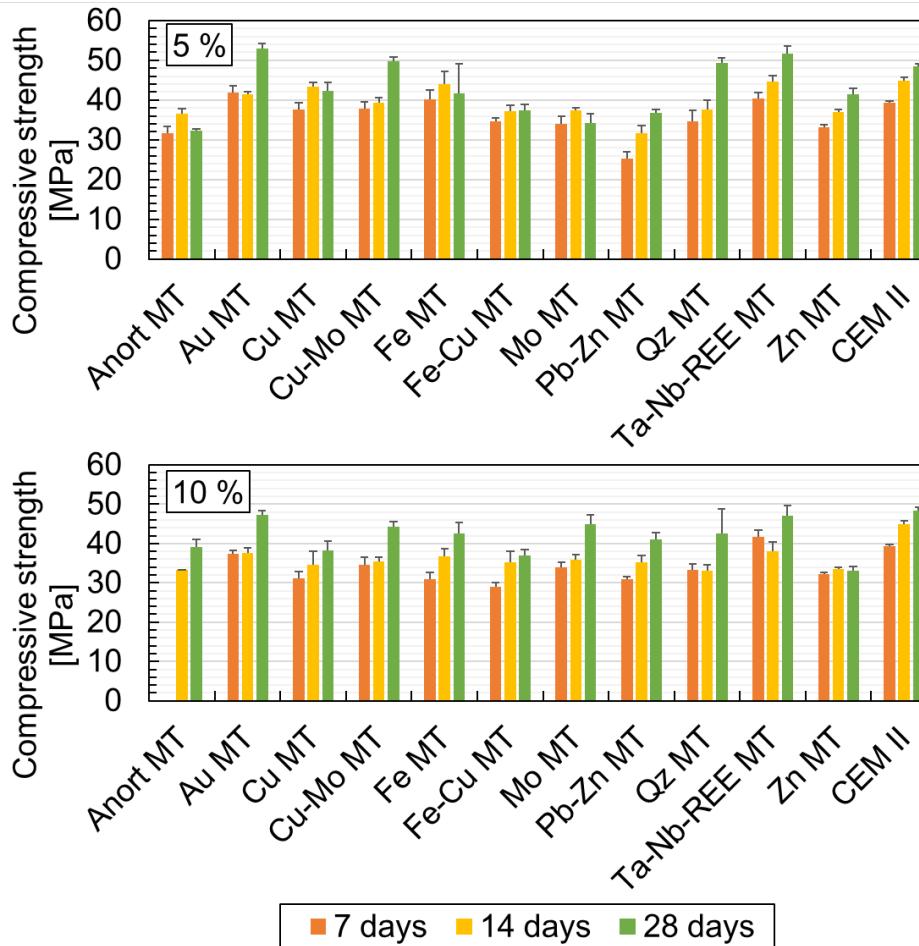
Mikrosilika



(Devi et al., 2016)



Mine tailings i mørtel

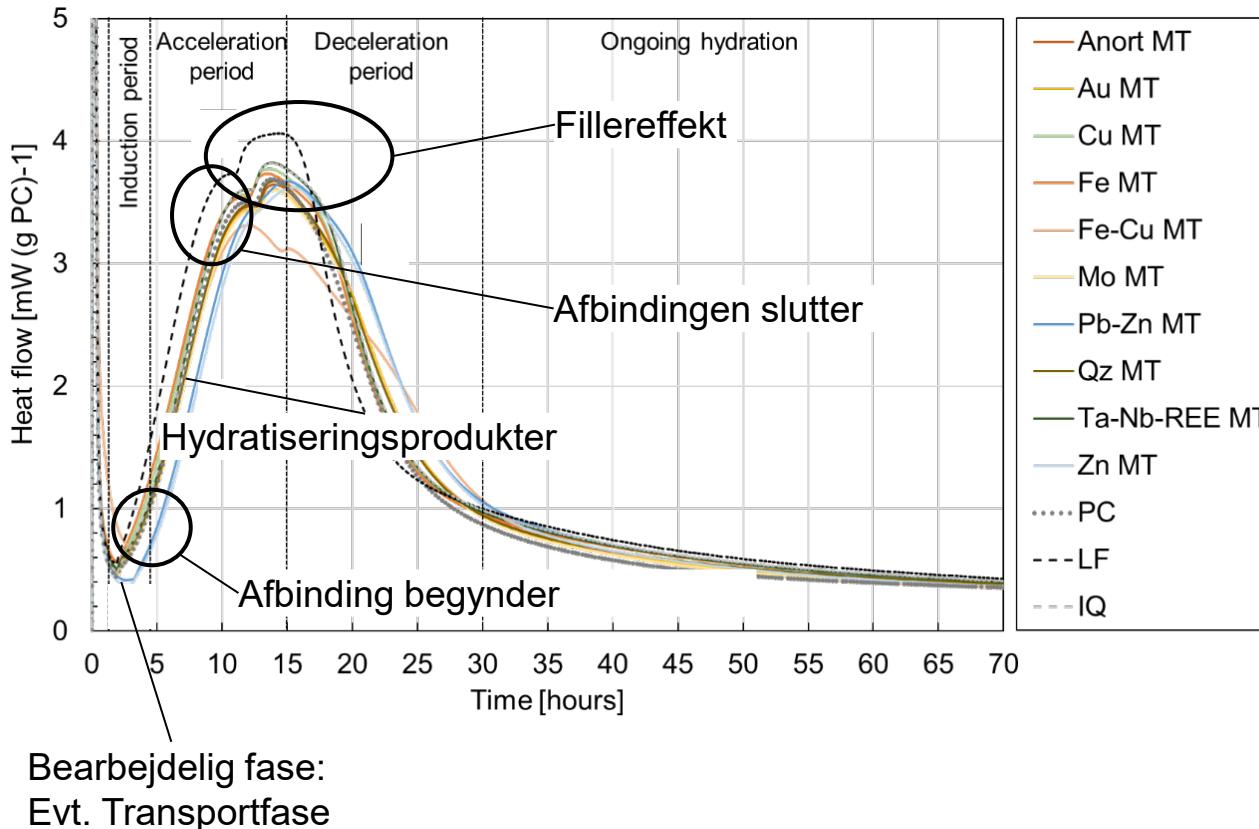


Trykstyrke

- 5 og 10 % MT i mørtel
- Trykstyrke efter 7, 14 og 28 dage
- 5 %
 - tidlig styrkeudvikling – lavere end referencen
 - Senere styrkeudvikling – nogle lig med eller højere end referencen
- 10 %
 - Generelt lavere end referencen
 - Nogle MT blev højere end ved 5 %

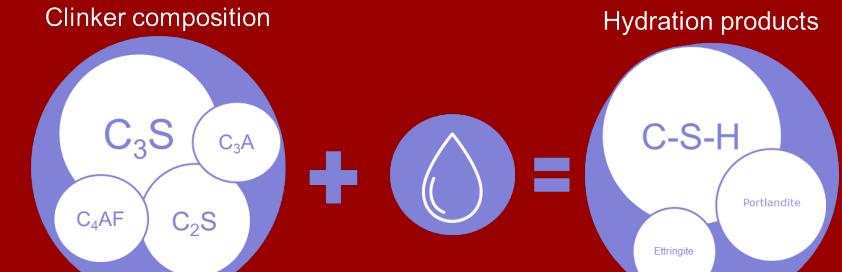


Mine tailings i cementpasta



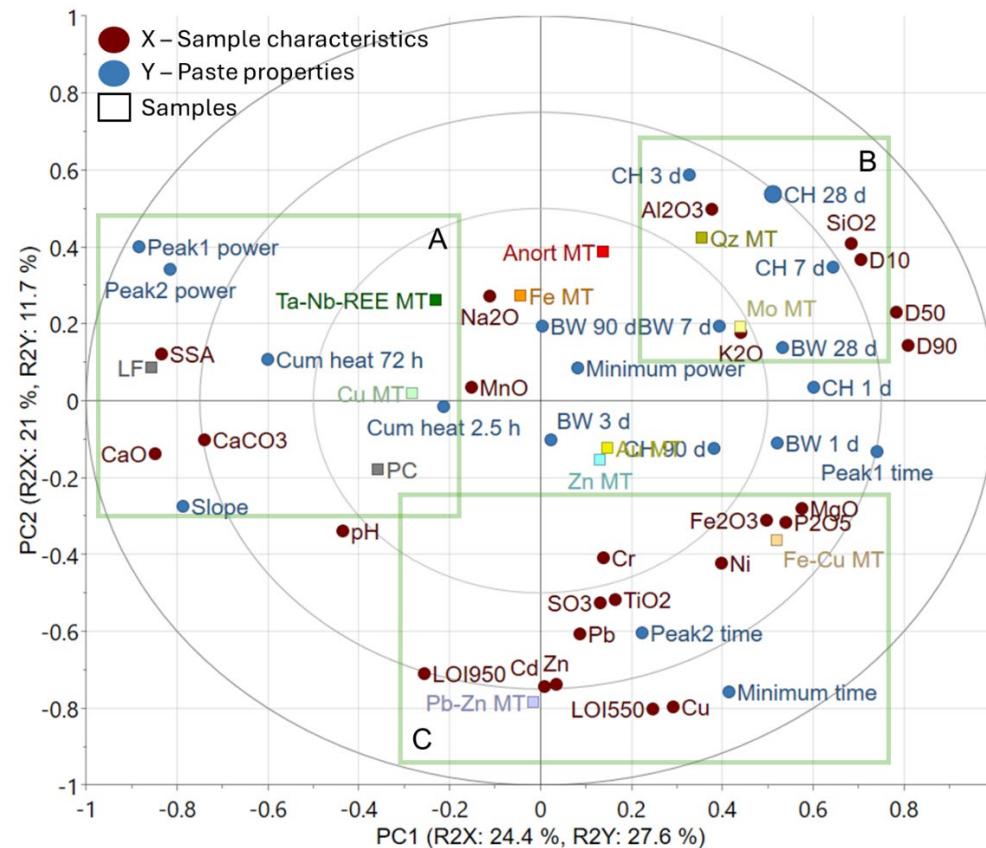
Hydratisering

- Varmeudviklende process: kalorimeter
- Clinker composition
- +
- Hydration products
- 20 % MT i cementpasta
- Samme hydratisering som CEM I og IQ
- Ikke samme varmeudvikling som LF





Mine tailings i cementpasta

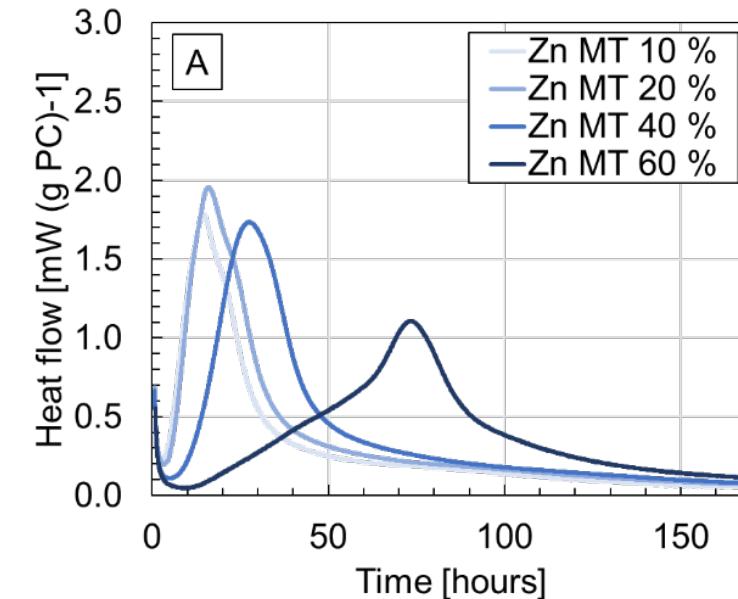
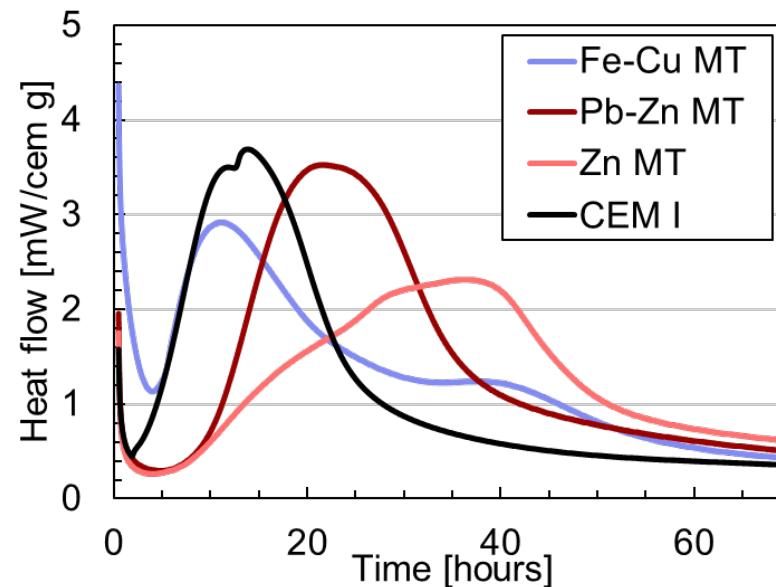


Sammenhænge

- Multivariat statistik: Partial Least Square Analysis (PLS)
- Sammenhæng mellem MT egenskaber og cementpastaegenskaber
- Box A: Sammenhæng mellem finpartikulært MT og varmeudvikling – fysisk bidrag
- Box C: Sammenhæng mellem metaller, svovl og tidspunkter for hydratiseringens faser



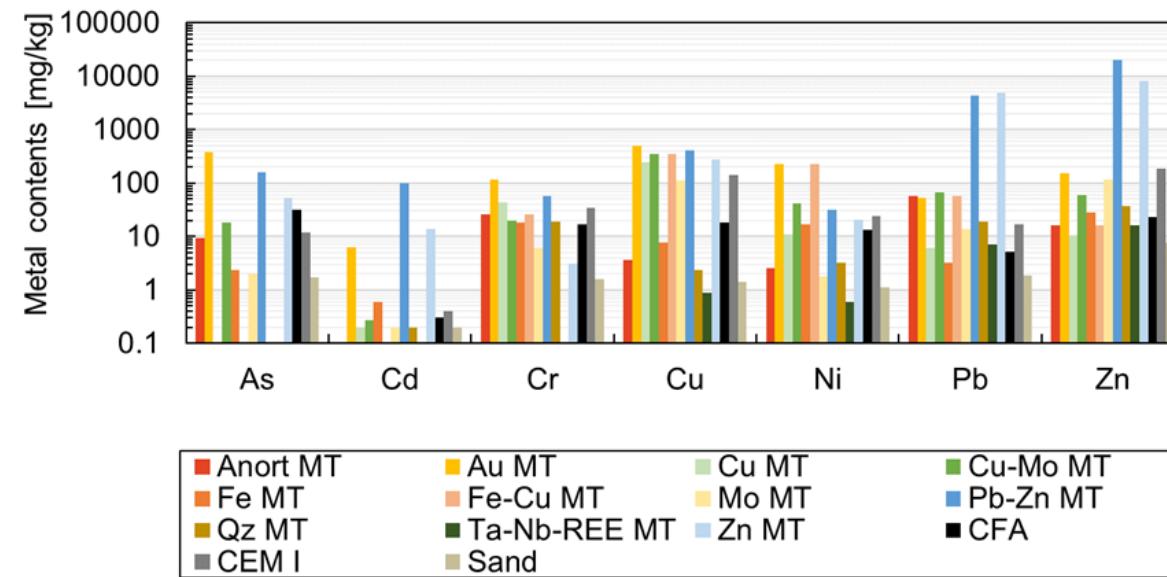
Mine tailings i cementpasta



- 50 % MT i cementpasta
- Forsinket begyndelse på afbindingen (10 timer)
- 10-60 % Zn MT i cementpasta
- Forsinket begyndelse på afbindingen med stigning i erstatningsgraden
- 20 % Zn MT: større varmeudvikling



Mine tailings' miljørisiko



- MT metalindhold
- Højere end CFA, CEM I, sand

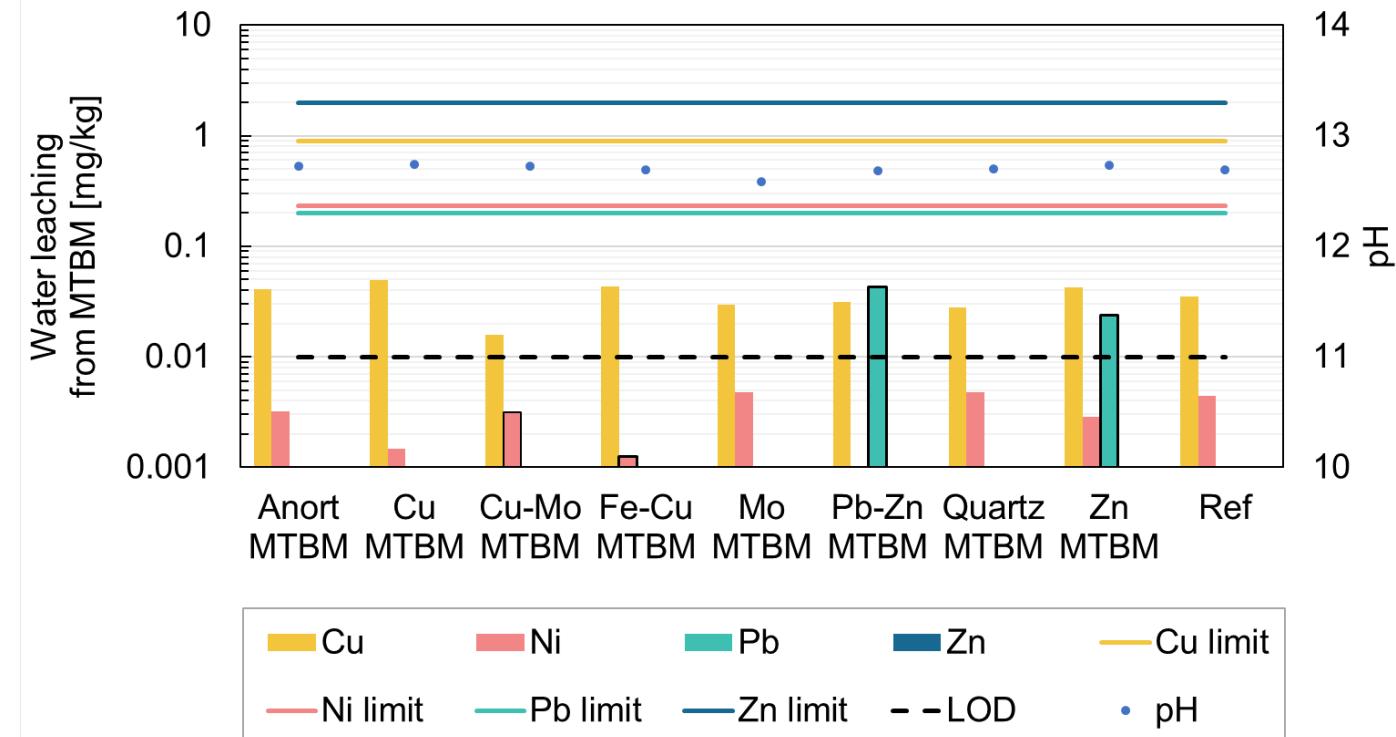


Mine tailings' miljørisiko



Udvaskningsforsøg af metaller

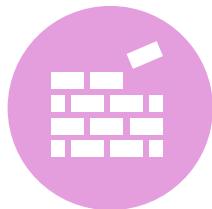
- 5 % MT i mørtel
- Samme metaludvaskning som referencen
- Under EU grænseværdier
- Højere Pb-udvaskning fra Pb-Zn MTBM and Zn MTBM → højt oprindeligt indhold
- Ingen Zn-udvaskning
- Metalbinding fra mørtel



Konklusion



- Større partikelstørrelse end CFA men rig på $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$
- MT er krystalinske og ikke pozzolanske



- MT viste dårligere bearbejdelighed/reduceret flydemål
- Generalt lavere trykstyrke
- Begrænset bidrag til varmeudvikling – men sammenhæng med finpartikulært materiale
- Metal-indhold forsinkede afbindingstiden



- Mørtel med MT tilbageholdt metaludvaskning



- MT har bergrænset bidrag som cementerstatning i sin oprindelige form
MEN stort potentiale ved viderebehandling →

Videre forskning

- Reaktivitet
 - Forbehandling afhængig af MT egenskaber
 - Finpartikulære MT viste større varmeudvikling og trykstyrke
 - Opløselighed afhængig af specifikke mineral (ino- og phyllosilikater) - alkaliaktivering

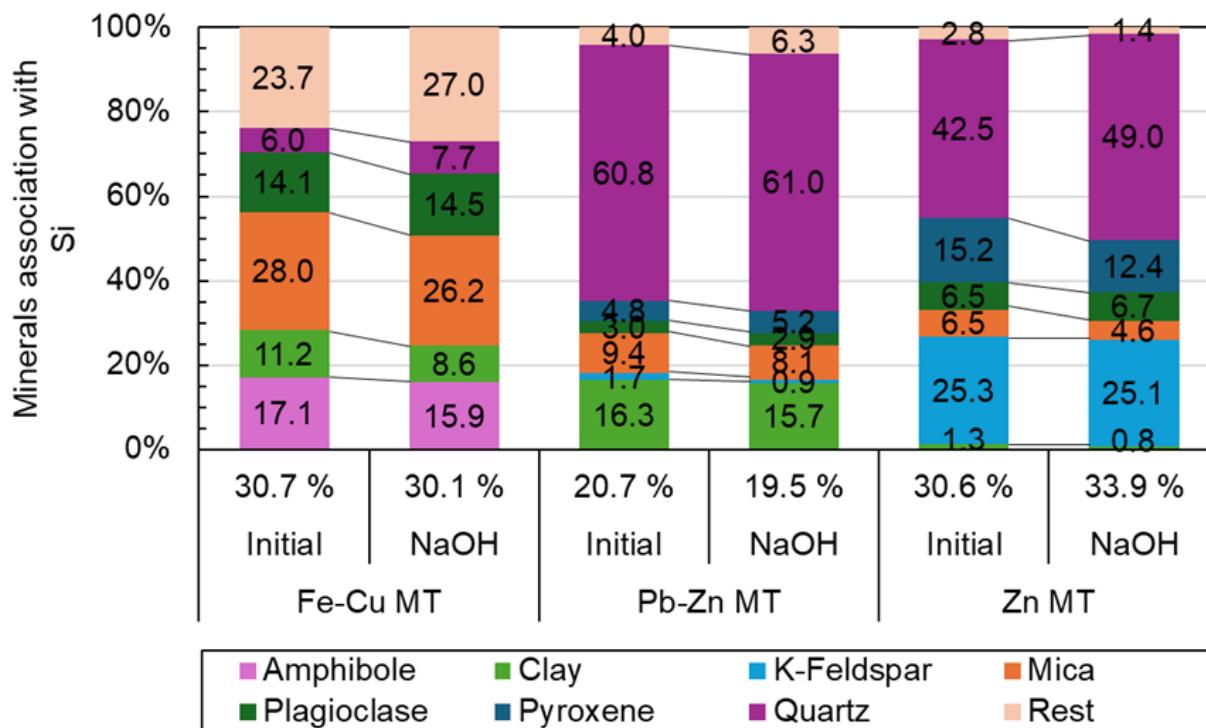


BETOLAR

- Alternative anvendelsesmuligheder
 - Fint tilslag: sanderstatning – global sandmangel

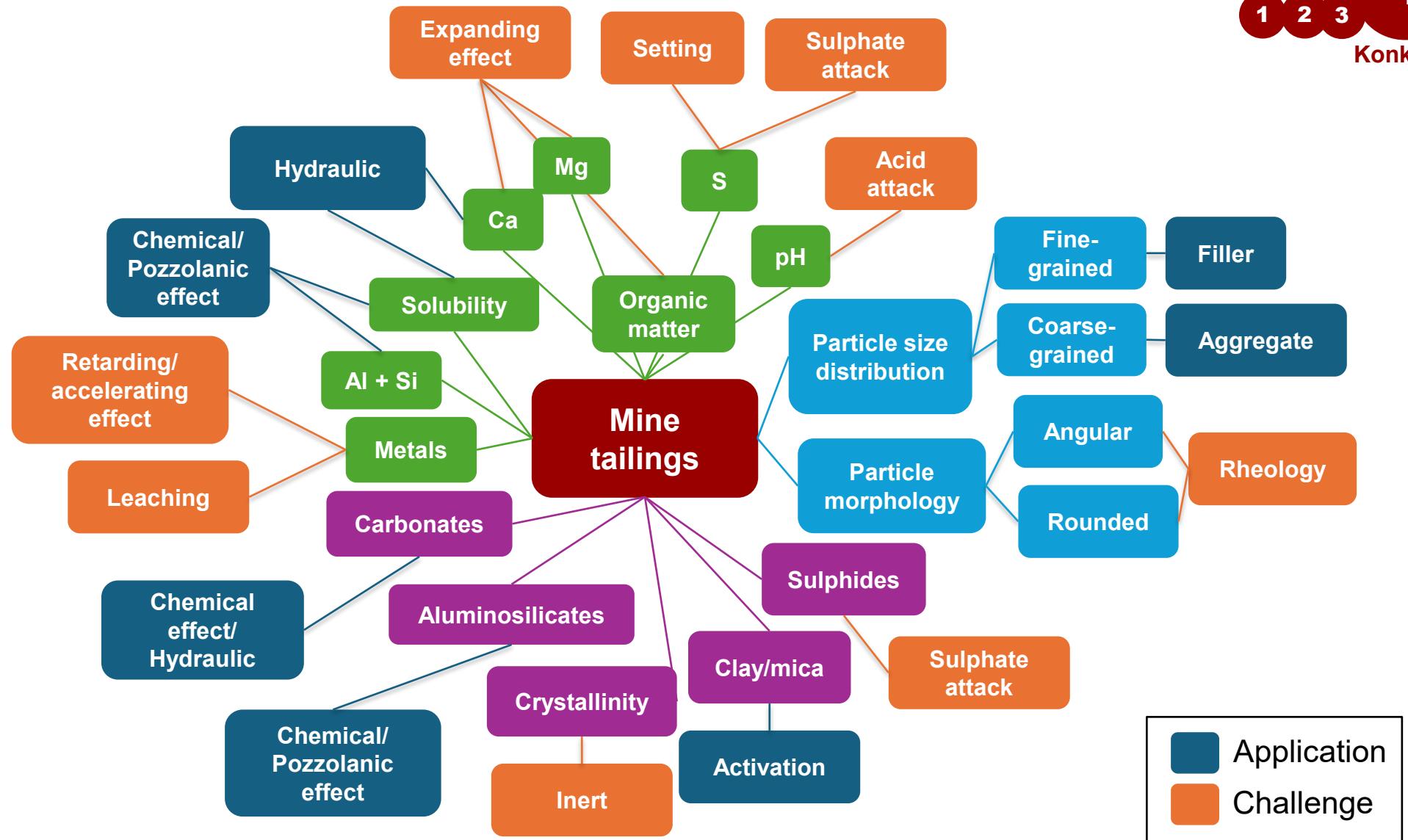
(UN environment programme, Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis, 2022)

Videre forskning



Alkalisk opløselighed

- Alkalisk opløselighedstest (NaOH)
 - Al: <1.5 %
 - Si: <2 %
 - Andre materialer: 40-80 % Al and Si
-
- Mineralers forbindelse til Si
 - Ler- og glimmermineraler: større opløselighed
 - Plagioklas og kvarts: mindre opløselighed



Anerkendelser

- Joint Alliance forskningsprojekt med Nordic five Tech partner



- Funding: Aase og Ejnar Danielsen's fond, Ingeniør og Kaptajn Aage Nielsens fond, Ingeniør Peter Hansens fond

Publikationer

- I. Simonsen, A.M.T., Solismaa, S., Hansen, H.K. & Jensen, P.E., (2019). *Evaluation of mine tailings' potential as supplementary cementitious materials based on chemical, mineralogical and physical characteristics*, Waste Management. 102, p. 710-721
- II. Simonsen, A.M.T., Pedersen, K.B. & Jensen, P.E. (2020). *Applying Chemometrics to Evaluate Mine Tailings' Potential As Partial Cement Replacement*, RICON19: REMINE International Conference on Valorization of mining and industrial wastes into construction materials by alkali-activation. KnE Publishing, Vol. 2020. p. 178-187 (Kne Engineering).
- III. Bagger, A.M.T., Pedersen, M.T., De Weerdt, Lode, S., K., Kunther, W., Jensen, P.E. *The influence of mine tailings as alternative mineral additive on the hydration of Portland cement*, manuscript in preparation
- IV. Bagger, A.M.T., Kirkelund, G., Lode, S., Jensen, P.E., Kunther, W., *Dissolution behavior and mineralogical changes of mine tailings subjected to NaOH solution*, accepted
- V. Bagger, A.M.T., Kunther, W., Sigvardsen, N.M. & Jensen, P.E. (2021). *Screening for key material parameters affecting early-age and mechanical properties of blended cementitious binders with mine tailings*, Case Studies in Construction Materials. 15, 12 p., e00608.
- VI. Bagger, A.M.T., Pedersen, M.T., de Weerdt, K., Lode, S., Jensen, P.E., Kunther, W., *On metal and sulfur's effect on hydration of blended cement with high-level replacement of mine tailings*, manuscript in preparation
- VII. Bagger, A.M.T., Lode, S., Kunther, W. Jensen, P.E. (2024). *Metals in mine tailings and prospects for use in cementitious materials*. Accepted for: 12th ACI/RILEM International Conference on Cementitious Materials and Alternative Binders for Sustainable Concrete.
- VIII. Bagger, A.M.T., Kunther, W., Jensen P.E., *Multi-exposure heavy metal leaching of mine tailing blended mortar*, submitted for publication
- IX. Bagger, A.M.T., Pedersen, K.B., Hansen, H., Kunther, W., Jensen. P.E. *Electrodialytic extraction of copper, lead and zinc from sulfide mine tailings: Optimization of current density and operation time*, accepted

Tak for jeres opmærksomhed