

Genanvendelse af nedknust teglaffald som delvis cementerstatning i beton og mørtel

Ida M. G. Bertelsen (imgber@dtu.dk)

Wolfgang Kunther (wolku@dtu.dk)

Lisbeth M. Ottosen (limo@dtu.dk)

Fint nedknust teglaffald kan erstatte en del af cementindholdet i beton og mørtel baseret på eksperimenter på DTU Sustain. Teglaffald kan dermed anvendes som supplerende cementerende materialer (SCM), altså delvis cementerstatning. Formålet med projektet, som er finansieret af Grundejernes Investeringsfond og Danielsens Fond, er at reducere cementforbruget og genanvende byggeaffald i produktionen af nye byggematerialer.

Aktualitet

Cementproduktion står for 8-9 % af den globale CO₂-udledning, hvilket hovedsageligt stammer fra den høje produktionstemperatur og kalcinerings af kalksten (Monteiro et al.). Tiltag til CO₂-reduktion inkluderer brug af alternative brændstoffer og cementsubstitutter som SCM, der kan bidrage til styrkeudvikling og holdbarhed. Almindelige SCM'er inkluderer kulflyveaske, højovns slagge og teknisk kalcineret ler. Når cement blandes med vand (og evt. SCM'er), opstår flere kemiske reaktioner, som sørger for, at cementen hærdner og opnår sin høje styrke og holdbarhed. Cementen fungerer dermed som "limen" i en beton og binder tilslagsmaterialerne sammen.

Det er muligt at erstatte en vis andel af cementen med forskellige typer SCM'er og det er noget, der forskes meget i for at øge bæredygtigheden af materialet. Den verdensomspændende produktion af traditionelle SCM'er imødekommer ikke den stigende efterspørgsel. Dette er især tilfældet for flyveaske, som anvendes som SCM i Danmark, hvor udbuddet er aftagende på grund af globale reguleringsmæssige restriktioner for kulfyret elproduktion (Juenger et al.). Af denne grund undersøges alternative SCM'er for at sikre det fremtidige udbud. Her kommer nedknust teglpulver kommer ind i billedet.

Figur 2. Tegltyper som hele mursten og nedknust teglpulver brugt i det eksperimentelle program som SCM

Evaluering af teglpulver som SCM

Teglpulver fremstillet af fem typer tegl er testet som SCM (delvis cementerstatning) i mørtel og cementpasta:

- Gule, gamle teglsten
- Røde, gamle teglsten
- Gule, nye teglsten
- Røde, nye teglsten
- Blandet fraktion af teglaffald med mørtelrester fra Norrecco A/S (Figur 1)

I Figur 2 er materialerne vist i original form og nedknust til fint pulver. Disse fem typer repræsenterer et bredt spektrum af teglfraktioner, som vil være at finde fra nedrivningsprojekter i Danmark. Laboratorietest evaluerede teglpulverets kemiske reaktivitet og trykstyrke i hhv. cementpasta- og mørtelprøver, hvor 40 % af cementen blev erstattet med nedknust teglpulver. Til sammenligning blev teknisk kalcineret ler og kvartspulver også testet, hvor førstnævnte er en reference med høj reaktivitet og sidstnævnte en med meget lav reaktivitet. Studiet anvendte en høj cementerstatningsgrad på 40 % for at fremhæve eventuelle forskelle mellem tegltyperne.



Figur 1. Teglfraktion fra bygge- og nedrivningsaffald indsamlet hos Norrecco A/S

Genanvendelse af bygge- og nedrivningsaffald

Bygge- og nedrivningsaffald udgør ca. 820 mio. tons (2017) i EU, hvilket er ca. 45 % af den samlede affaldsmængde. Heraf udgør beton og murværk den største andel af bygge- og nedrivningsaffald (Gálvez-Martos et al.). Ifølge Affaldsstatistikken (Ole Kiilerich et al.), udgjorde fraktionerne "Mursten" + "Tegl og keramik" samlet set 350.000 ton affald i 2020 i Danmark.

I henhold til EU's affaldsrammedirektiv (WFD) er bygge- og nedrivningsaffald en prioriteret affaldsstrøm og EU-landene skulle siden 2020 træffe de nødvendige foranstaltninger for at genbruge/genanvende mindst 70 %.

Udover direkte genbrug af mursten, genanvendes teglaffald fx som fyldmateriale. Men teglpulver kan potentielt også anvendes som SCM, hvis det nedknuses til fint pulver.



Gl. gul mursten.
Dalum. Ca. 1900

Gl. rød mursten.
Bispebjerg kirkegård.
ca. 1900

Ny gul mursten.
Egersund
Wienerberger

Ny rød mursten.
Egersund
Wienerberger

Blandet teglaffald
fra Norrecco A/S

Projektdetaljer

Forskningsprojektet "Genanvendelse af nedknust teglaffald som delvis cementerstatning i beton og mørtel" er udført ved DTU Sustain og finansieret af Grundejernes Investeringsfond og Danielsens Fond. Projektperioden løb fra 2020 til 2025. Udover udgivelse af videnskabelige artikler, er der ifm. projektet udført fire studenterprojekter om emnet:

S. A. Kahr. "Genanvendelse af den fine fraktion af murstensaffald i mørtel". 2021.

D. Reza. "Genanvendelse af murstenspulver som SCM i cement-baseret mørtel". 2021.

M. Klitdal. "Crushed brick powder as partial cement replacement in mortars". 2021.

K. K. Pedersen & A. V. Christensen. "Genanvendelse af formleret murstensaffald som delvis cementerstatning i beton". 2025

Genanvendelse af nedknust teglaffald som delvis cementerstatning i beton og mørtel

Resultater

Trykstyrken af mørtelprøver med 40 % cementerstatning med fint nedknust teglpulver blev testet efter 28 dage og 91 dage og resultaterne er vist i Figur 3.

Hovedkonklusionerne er:

- Mørtelprøverne tilsat teglpulver klarede sig i alle tilfælde dårligere end referencemørtelen med 100 % cement (CEM I) samt mørtelprøverne tilsat teknisk kalcineret ler, hvilket var forventeligt. Dog opnåede de alle en bedre trykstyrke end mørtelprøverne tilsat kvartspulver. Dette resultat viser, at der har foregået reaktioner mellem teglpulver og cement.
- Gamle teglsten gav højere trykstyrke end nye teglsten, og op til 85 % af referencemørtlen (tilsvarende krav i EN 450-1 for flyveaske) efter 91 d. Den blandede fraktion af teglaffald fulgte godt efter med en trykstyrke på ca. 74 % af referencemørtlen, hvilket er rigtig gode styrker ved en så høj erstatningsgrad. Der vurderes ikke at være betydelige forskelle mellem de undersøgte tegltyper ift. anvendelsen som SCM. Det blev observeret, at styrkeudviklingen sker langsommere end for den tekniske kalcinerede ler.

En grundig beskrivelse af projektets resultater er publiceret i en videnskabelig artikel (Bertelsen et al.). Her dokumenteres det bl.a., at reaktivitetstest for prøver bestående af cementpasta og nedknust teglpulver også viser, at teglpulveret besidder puzzolansk egenskaber samt at der ikke store variationer mellem de fem typer teglpulver.

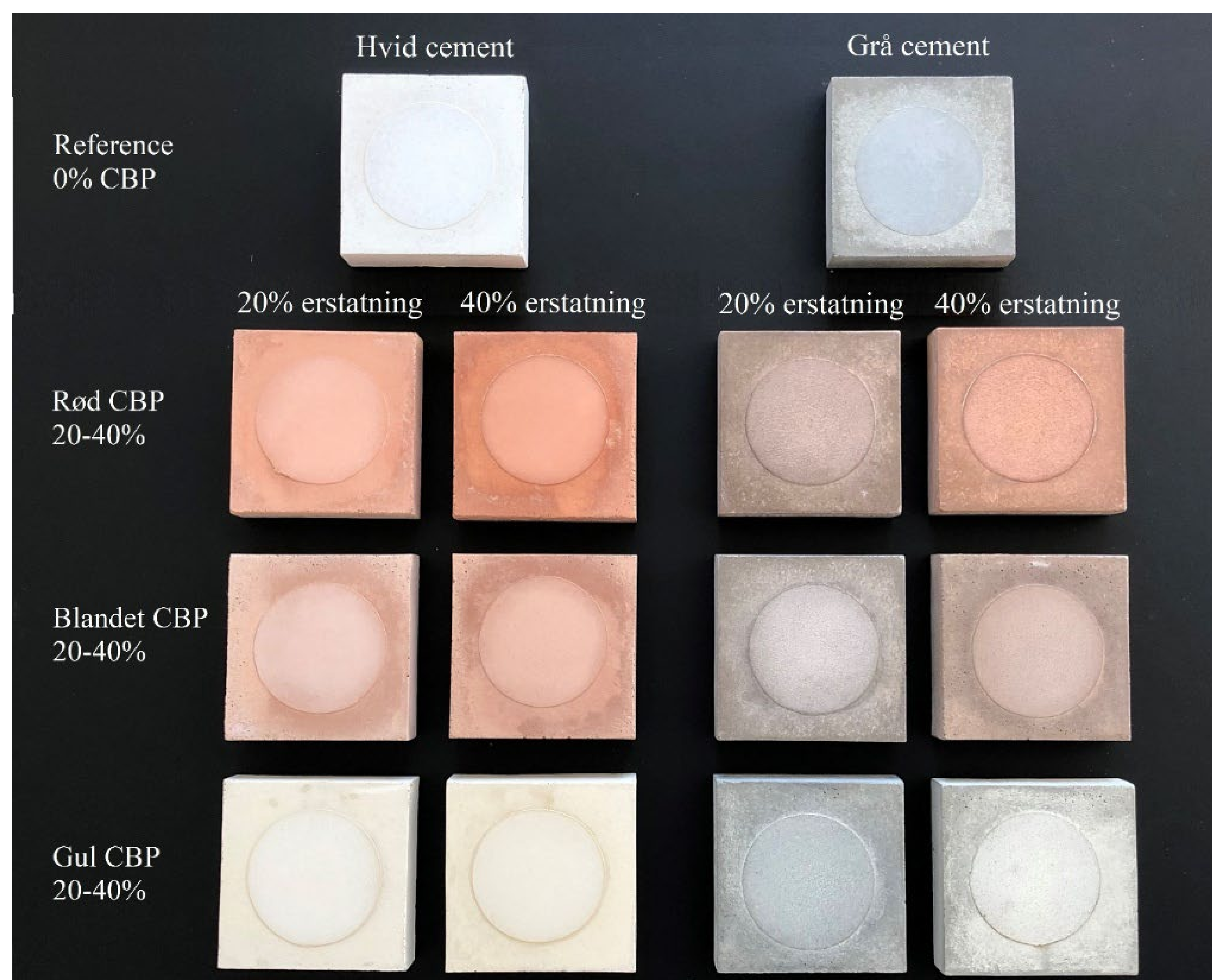
Ud fra et genanvendelsesperspektiv er dette en fordel, da en større andel af den producerede mængde teglaffald vil kunne genanvendes som SCM i beton og mørtel.

Figur 3. Trykstyrke af mørtelprøver med 40 % cementerstatning af hhv. nedknust teglpulver, teknisk kalcineret ler samt kvartspulver. Referencemørtlen, CEM I, indeholder 100% cement og ikke SCM. Resultaterne er publiceret i (Bertelsen et al.)

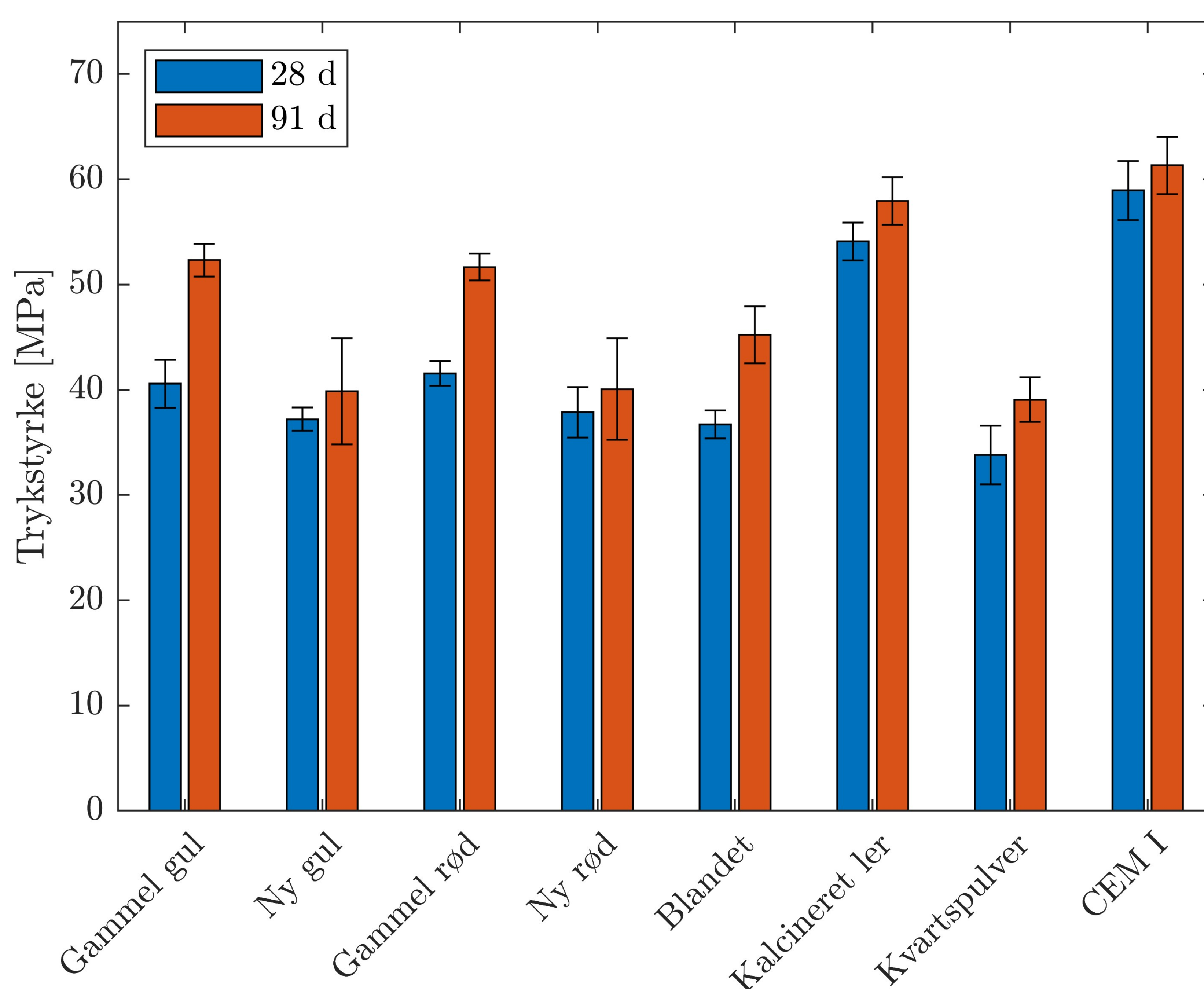
Farvepotentiale for teglpulver som delvis cementerstatning i mørtelprøver

Udover at nedknust teglpulver kan gå ind og erstatte dele af cementen samtidig med at materialet opnår tilstrækkelig styrke, er der også et stort æstetisk potentiale for dets anvendelse. Mørtelprøver støbt med hhv. hvid og grå cement med erstatning med hhv. 20 % og 40 % nedknust teglpulver er vist i Figur 4.

Mørtelprøverne blev støbt med teglpulver fra hhv. gamle røde teglsten (Rød CBP), gamle gule teglsten (Gul CBP) og den blandede fraktion af teglaffald fra Norrecco A/S (Blandet CBP), og viser tydeligt farveeffekten på det færdige produkt, især når der anvendes hvid cement og teglpulver med rødlig farver.



Figur 4. Mørtelprøver støbt med hhv. hvid og grå cement og hhv. 20 % og 40 % erstatning med nedknust teglpulver (CBP). Resultaterne er publiceret i (Bertelsen et al. (b))



Litteratur

- Bertelsen, I., et al. "Relevance of the Mineralogy of Recycled Clay Brick Powder as SCM for Cementitious Binder Applications." Journal of Building Engineering, 2025, doi:https://doi.org/10.1016/j.job.2025.113580.
- Bertelsen, I., et al. (b) "Red clay brick powder as a partial substitution for cement." DSCS conference, Naples 2025.
- Gálvez-Martos, José Luis, et al. "Construction and Demolition Waste Best Management Practice in Europe." Resources, Conservation and Recycling, 2018, doi:10.1016/j.resconrec.2018.04.016.
- Juenger, Maria C. G., et al. "Supplementary Cementitious Materials: New Sources, Characterization, and Performance Insights." Cement and Concrete Research, 2019, doi:10.1016/j.cemconres.2019.05.008.
- Monteiro, Paulo J. M., et al. "Towards Sustainable Concrete." Nature Materials, vol. 16, no. 7, Nature Publishing Group, 2017, pp. 698–99, doi:10.1038/nmat4930.
- Ole Kiilerich, et al. Affaldsstatistik 2020. 2022.