

3.5.6 Kalcineret ler som tilsætning

Betonhåndbogen

Kapitel 3: Delmaterialer

Udgivet af

Dansk Betonforening
18.02.2026
Version 1.0

Forfattere

Gunnar Hansen



Indholdsfortegnelse

3.5.6.0	Indledning	3
3.5.6.1	Miljøbelastning	5
3.5.6.2	Fysiske egenskaber	6
3.5.6.3	Kemiske egenskaber	8
3.5.6.4	Anvendelse	9
3.5.6.5	Normer og standarder	11
3.5.6.6	Prøvning	12
3.5.6.7	Litteratur	13

3.5.6.0 Indledning

Kalcineret ler fremstilles ved varmebehandling ved omkring 700 °C af naturligt ler udgravet fra en lergrav.

Når det kalcinerede ler efter varmebehandlingen formales til et fint pulver – typisk til en partikelstørrelse lidt mindre end cementkorn - får det formalede kalcinerede ler puzzolanegenskaber. Kalcineret ler kan derfor anvendes som et produkt, der delvis kan erstatte cement. Cementerstatningsprodukter benævnes i standarderne som "tilsætninger" og i litteraturen ofte som SCM = Supplementary Cementitious Materials.

Kalcineret ler kan forekomme i forskellige udgaver.

Denne artikel omhandler primært et kalcineret ler-produkt fremstillet i Danmark af producenten NovaClay. Kalcineret ler-produkt er tilladt i den danske betonstandard DS 206, hvis kravene i standardens Anneks R opfyldes. Der er andre kalcinerede ler-produkter på det internationale marked og andre typer indblandet i cement, som kun delvis er omhandlet af nærværende artikel.

Tidligere var der en opfattelse af, at kalcineret ler skulle fremstilles af plastisk ler med højt indhold af smektit eller kaolinite, som er en ren, lys lertype. Denne lertype har gode SCM-egenskaber.

Kalcineret ler baseret på kaolinite, har været anvendt som et SCM i mange år. Siden midten af 1930'erne har man i Brasilien anvendt kalcineret ler som SCM i bl.a. beton til store dæmningsbygværker. I USA blev der i 1970'erne fremstillet cementer iblandet kalcineret ler.

I 2010'erne fandt man frem til, at undgå at kalcineret ler skulle fremstilles af smektit og kaolinite. Hvis der blev suppleret med kalkfiller kunne man anvende andre, mere almindelige lertyper, hvis de havde en reaktionsgrad som smektit og kaolinite. Med tilsætning af kalkfiller til almindeligt ler opnåede man næsten samme reaktion med cementen, som med ren kaolinite. Desuden blev vandbehovet i betonblandingen reduceret, og bearbejdigheden af den friske beton kunne opretholdes betydeligt længere end med ren kaolinite.

Endvidere er det eftervist, at puzzolanegenskaber for kalcineret ler kan øges ved ekstra formaling, fx i RISE rapport 2021:25 [1].

Kalcineret ler på markedet og i standarder: I Europa er der fra starten af 2020erne markedsført cementer – ofte kaldet "LC3 cement" fx FutureCem fra Aalborg Portland. FutureCem er baseret på plastisk ler (smektit og kaolinite).

Det er fra 2024 i den danske betonstandard DS 206 blevet muligt at anvende kalcineret ler som tilsætning i betonblandingen på tilsvarende vis som fx flyveaske.

Kalcineret ler er betegnet som kalcineret ler-produkt i DS 206 Anneks R [2]. Anneks R angiver regler for, hvilke betingelser et kalcineret ler-produkt skal opfylde i Danmark for at kunne anvendes som en tilsætning.

Der gives i Anneks R mulighed for at producere kalcinerede ler-produkter, hvor leret i lergraven indeholder væsentlige mængder af kalkfiller. Det betyder, at lokale, danske lertyper kan anvendes, hvis kravene i Anneks R opfyldes.

Det kalcinerede ler-produkt skal fremstilles inden for et snævert temperaturbånd og med et snævert interval for opholdstiden i kalcineringskammeret.

Det kalcinerede ler-produkt må anvendes i alle eksponeringsklasser, hvor der må anvendes kalkfillercement (CEM II/A-LL). Begrænsninger i mængden af cement der må erstattes, og hvilke cementtyper, produktet må anvendes med, fremgår af DS 206.

Fremstilling: Den danske undergrund indeholder meget store mængder ler – ofte opblandet med kalk og kvarts. Ved fremstilling af kalcineret ler-produkt udvælges de lerforekomster med den højeste reaktivitet og den største koncentration af lerminerale. Forekommer der også kalk i det udgravede materiale, kan det også give den kalcinerede ler en start-reaktivitet, da kalkfiller i den rette mængde øger den tidlige betontrykstyrke lidt.

Håndtering af ler er ikke noget nyt i Danmark – teglindustrien har gjort det i århundreder. Ved fremstilling af kalcineret ler-produkt anvendes de tilsvarende metoder ved håndtering af råmaterialet som i teglindustrien.

Figur 1

Opstart af en lergrav, samt overdækket lager af ler.



Kalcineringen af leret, sker hos NovaClay ved at det udtørrede materiale passerer igennem et udstyr, som giver det tørrede materiale en varmebehandling, der sikrer en ensartet kalcineringsstemperatur i et ensartet tidsrum. Temperaturen skal holdes så lav, at kalkindholdet forbliver som ubrændt kalk, uden at der frigives kemisk CO₂.

Bemærk, at selv om varmebehandlingen betegnes som kalcinering, sker der således IKKE en spaltning af kalk til CaO og CO₂. Kalcinering betyder da også ifølge diverse opslagsværker, blot en kraftig opvarmning af et stof, hvorved det omdannes.

Afslutningsvis formales materialet til den ønskede finhed.

Andre produktionsmetoder kan også anvendes.

3.5.6.1 Miljøbelastning

Kalcineret ler-produkt fremstilles af materialer fra råstofgrave, og dermed forbruges råstof til produktet. Ler er imidlertid et råstof, der fortsat skabes, idet lerminerale typisk består af eroderede bjerge, og bjerge på jordkloden har en naturlig erosion, hvorved der til stadighed dannes ler.

Det er værd at bemærke, at råstof til kalcineret ler-produkt typisk er lerforekomster, som teglindustrien ikke ønsker eller kan at anvende på grund af et højt kalkindhold som er uhensigtsmæssigt ved produktion af mursten. Derved bliver indvinding af råstof til kalcineret ler-produkt ikke en begrænsning af teglindustrien, men en mere optimal måde at udnytte de knappe råstofforekomster på.

Forekomsten af ler på jordkloden er betydelig større end forekomsten af kalk, som er et primært råstof til cementproduktion. En erstatning af cement med kalcineret ler-produkt vil derved yderligere bidrage til en mere optimal udnyttelse af jordens råstofforekomster. Ved fremstilling af kalcineret ler-produkt frigives ikke CO₂ fra leren, fordi processen holder temperaturen ved kalkpartiklerne under spaltningstemperaturen for kalk. Derimod kan opvarmning medføre en vis CO₂-belastning.

Den samlede udledning af CO₂, ved fremstilling af kalcineret ler-produkt, kan holdes under 50 kg CO₂ pr. tons færdigt produkt, som angivet i NovaClay's EPD [3]. Den lave værdi er opnået blandt andet ved anvendelse af biogas og grøn elektricitet.

3.5.6.2 Fysiske egenskaber

Kalcineret ler-produkt er et meget letflydende og luftigt pulver med en partikelstørrelse nær eller lidt finere end cement. Kalcineret ler-produkt er et forholdsvis blødt materiale, sammenlignet med fx cementklinker, hvilket giver afrundede partikler efter formaling. Typisk vil partikelstørrelsesfordelingen være som angivet i tabel 1.

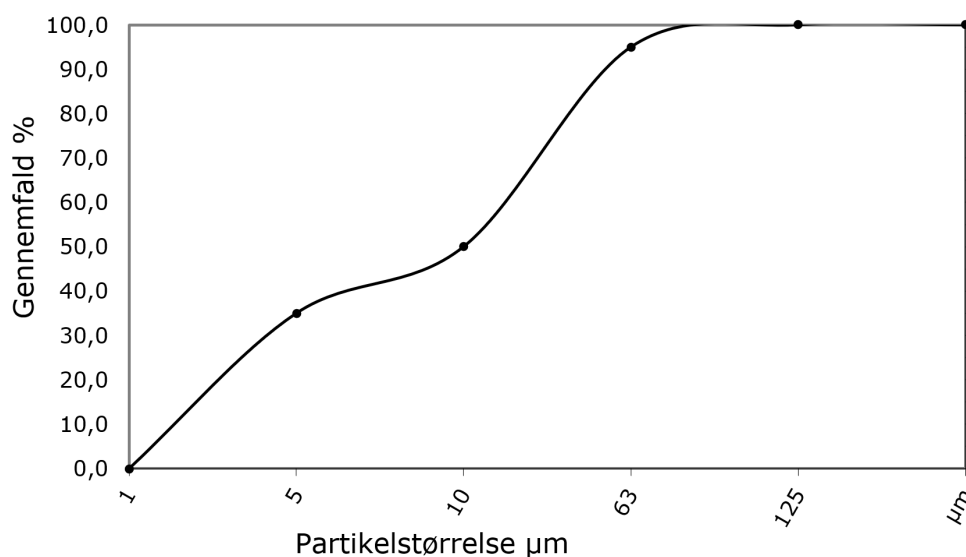
Tabel 1

Partikelstørrelsesfordeling for formalet kalcineret ler-produkt. Her er 50 % af materialet under 10 μm , hvilket benævnes D(50 %) = 10 μm .

Partikelstørrelse, μm	Gennemfalds-%, vægt
125	100
63	95
10	50
5	35
1	0

Figur 2

Partikelstørrelsesfordeling for formalet kalcineret ler-produkt.



Ofte ses 2 "buler" på en sumkurve, hvilket normalt er udtryk for henholdsvis en andel af ler og kalk og en andel af kvarts. I det valgte eksempel på Figur 2 er den gennemsnitlige størrelse af de formalede ler og kalkpartikler tæt på 4 μm og kvartspartiklerne har en gennemsnitlig størrelse på ca. 20 μm .

Denne partikelstørrelsesfordeling giver en fin pakning omkring cementpartikler, som typisk er 10-15 μm i gennemsnitlig partikelstørrelse.

Partikelstørrelsen af cement angives ofte også som en specifik overflade, kaldet Blaine, i enheden m^2/kg , og er ofte i området 200 til 400 m^2/kg .

Hvis kalcineret ler skulle angives på tilsvarende måde, ville niveauet være over 1000 m^2/kg . Prøvningslaboratorier, som foretager disse målinger, angiver, at deres metode til bestemmelse af Blaine ikke egner sig til måleområder over 7-800 m^2/kg , og derfor angives der normalt ikke Blaine for kalcineret ler.

De lidt blødere partikler i det kalcinerede ler-produkt er lidt mere vandkrævende end formalet cement, typisk måles vandbehov til 32 %, hvor typiske målinger for CEM I cement er omkring 29 %.

I den forbindelse kan nævnes, at vandbehovet for kalcineret ler-produkt har samme vandbehov ved $D(50\%) = 16\text{ }\mu\text{m}$ (Blaine ca. $500\text{ m}^2/\text{kg}$), som hvis det formales yderligere til $D(50\%) = 7\text{ }\mu\text{m}$ (Blaine ca. $1.400\text{ m}^2/\text{kg}$).

En finere formaling fører til en øget overflade på produktet, som derved kan aktiveres hurtigere, hvilket bl.a. angives i [1], og fra erfaringer med anvendelse af kalcineret ler-produkt.

Partikeldensiteten er ca. 2.700 kg/m^3 .

3.5.6.3 Kemiske egenskaber

Råmaterialet for egnet materiale analyseres dels ud fra indholdet af oxider (XRF-metode), dels med en røntgendiffraktionsanalyse (XRD-metode).

Typiske værdier for egnet materiale:

Tabel 2
Bestanddele af råmateriale

Oxider målt med XRF	Typisk indhold vægt-%		Mineralindhold målt med XRD	Typisk indhold vægt-%
Siliciumdioxid	45-65		Kvarts	10-30
Aluminiumoxid	10-20		Kalk	2-30
Jernoxid	3-7		Kaolinite (ler)	2-10
Kaliumoxid	2-4		Illite (ler)	20-50
Magnesiumoxid	1-3		Blandede lertyper	5-15

Kalcineret ler-produkt er et lerprodukt, der som beskrevet, har gennemgået en varmebehandling, hvorved specielt lerminerallerne ændrer struktur, så der opstår en puzzolanvirkning ved at silicium og aluminiumdelen af leret reagerer med produkter fra reaktionen mellem vand og cement, efter følgende reaktion [1] og [4]:

- Silicium og aluminium fra lerminerallerne i kalcineret ler reagerer med calciumhydroxid (portlandit fra cementens reaktion med vand) til Calcium Silikat Hydrat (C-S-H) og Calcium Aluminat Hydrat (C-A-H).
- Foruden ovennævnte puzzolanreaktion, reagerer C-A-H med kalkfiller og danner calciumcarbonaluminat.

3.5.6.4 Anvendelse

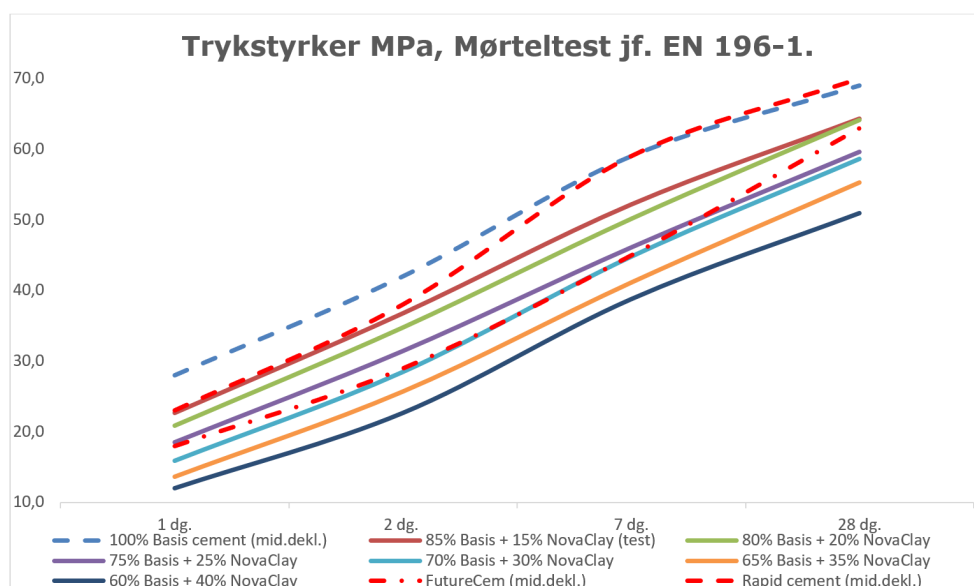
Kalcineret ler-produkt kan anvendes som cementerstatning. Dele af cementen i en betonblanding kan direkte erstattes i forholdet 1:1 med kalcineret ler-produkt.

Det kan man, fordi der i forhold til holdbarhedskrav i DS 206 er bestemt, at k-værdi i v/c-tal sammenhæng er sat til 1,0 under forudsætning af, at det kalcinerede ler-produkt opfylder krav angivet i Anneks R i DS 206.

I forhold til betons trykstyrke virker kalcineret ler-produkt som de fleste kendte SCM-produkter (tilsætninger) i en betonblanding, hvilket vil sige, at der ved proportionering for styrke bør indregnes en aktivitetsfaktor for produktet, når det erstatter cementklinker med høj styrke. Valget af aktivitetsfaktor afhænger af flere parametre, som fx cementtype og cementerstatningsmængde.

Som illustration er der udført en serie mørteltest, hvor der er lavet en blanding af CEM II/A-LL (Basis cement fra Aalborg Portland) og forskellige erstatningsmængder af kalcineret lerprodukt, samt en sammenligning til CEM I (Rapid cement) og CEM II/B-M(Q-LL) (Futurecem fra Aalborg Portland).

Figur 3
Trykstyrkeudvikling, Mørteltest med kalcineret lerprodukt.



Kalcineret ler-produkt kan foruden anvendelse som cementerstatningsprodukt i henhold til DS 206, også anvendes som cementerstatningsprodukt i andre betonprodukter, som fx rør og belægningssten. Her anvendes produktet som et fillermateriale, der virker som et cementerstatningsmateriale. For rørprodukter er det alene betonens styrkeudvikling, som definerer grænsen for hvor meget cement, som må erstattes. For belægningssten skal betonen også overholde prøvningskrav til frostbestandighed.

Derudover kan kalcineret ler-produkt anvendes i kombination med slagge i alkali-aktiveret beton – der er fx lavet rør med denne type beton, hvor 40% af formalet højovnsslagge er erstattet med kalcineret ler-produkt.

Når kalcineret ler-produkt anvendes i betonprodukter vil farven blive lidt brunlig og i alkali-aktiveret beton bliver farven markant brun. I Figur 4 ses et rør med cement + kalcineret ler-produkt og et rør med slagge + kalcineret ler-produkt:

Figur 4

Farve af friskstøbt betonrør med alm. cement og et betonrør med iblandet kalcineret ler-produkt.



3.5.6.5 Normer og standarder

Kalcineret ler-produkt må anvendes til bærende konstruktioner i henhold til DS 206 og bagvedliggende eurocodes, som et cementerstatningsprodukt for CEM I og CEM II/A-LL. Til eksponeringsklasse X0 og XC1 er det stort set kun trykstyrkeudviklingen i den aktuelle beton, som sætter begrænsning for, hvor meget cement der må erstattes med kalcineret ler-produkt.

For øvrige eksponeringsklasser er der i DS 206 afsnit 5.2.5.4 (4) angivet grænser for, hvor meget cement der må erstattes – se [2].

For ikke-bærende betonprodukter som fx rør må kalcineret ler-produkt anvendes som et fillermateriale i henhold til DS EN 12620.

Til rørproduktion må kalcineret ler-produkt erstatte en del af cementen i henhold til DS 2420-1, idet det er eftervist at kalcineret ler-produkt har puzzolanegenskaber.

3.5.6.6 Prøvning

Krav til prøvning og kvalitetsstyringssystem er angivet i Anneks R i DS 206. Der skal foreligge en 3. parts overvåget certificering i henhold til kravene i DS 206, hvis kalcineret ler-produkt skal anvendes i bærende konstruktioner.

For øvrig anvendelse er det prøvningsmetoderne angivet i DS EN 12620, som er gældende.

3.5.6.7 Litteratur

1. RISE Report 2021:25, Activated clay as supplementary cementitious material. Gilles Plusquellec, Arezou Babaahmadi, Emilie L'Hopital, Urs Mueller.
2. DS 206: 2024. Beton- Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse – Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark.
3. NEPD-6959-6348_NovaClay—Calcined Clay..
4. Cement and Concrete Research 114:49-56.Calcined Clay limestone cement (LC3). Karan Scrivener, F. Martirena, S. Bishnoi, S. Maity.

www.novaclay.dk indeholder yderligere information om NovaClay