



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Bio-baseret polymer som cement additiv -Et MUDP projekt

MUDP Rapport

Oktober 2022

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram, MUDP, som er et program under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense | Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk

Web: www.ecoinnovation.dk

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Lasse Nørbye Døssing

Grafiker/bureau: BioCrete ApS

Tryk: BioCrete ApS

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Indledning	5
1.1	Baggrund	5
1.2	Projektets formål	5
1.3	Projektets hovedaktiviteter	6
2.	Projekt gennemgang	7
2.1	Opsætning af laboratoriefaciliteter	7
2.2	Produktion af polymerer og forøgelse af produktudbytte	7
2.3	Test af polymerer	8
2.4	Resultater	8
3.	Konklusion	10

1. Indledning

Målet med projektet var at videreudvikle, skalere og teste biobaserede polymerer som additiv til både tørre og våde cement og beton produkter. Formålet var at øge anvendelsesmulighederne og give evidens for øgede egenskaber i det resulterende betonprodukt.

1.1 Baggrund

Cement- og betonindustrierne har altid fokuseret på at udvikle stærkere, mere holdbar og bæredygtig beton. Nogle af de vigtigste bæredygtighedsspørgsmål er sikring af styrke og holdbarhed. Hvis styrken og holdbarheden er dårlig, vil en konstruktionslevetid blive reduceret, og derved nedsætte det miljømæssige fodaftryk af den endelige beton. I industriernes søgen efter bæredygtig beton har man benyttet og tilsat en bred vifte af restprodukter fra andre industrier og kemiske additiver for at mindske brugen af cement. Generelt er cement blevet suppleret med mineralske tilsætningsstoffer som flyveaske, slagge, silicafumes for at forbedre betonens langtidsholdbarhed ved at producere tætte og kompakte mikrostrukturer. Eftersom disse additiver er restprodukter, har der igennem flere år været øget fokus på at udvikle nye cementproduktionsteknologier og derved muliggøre brugen af forskellige additiver til Portland cementbaseret beton for ultimativt at mindske brugen af cement, da denne udleder substantielle mængder CO₂ under produktion.

Tilsætning af cement additiver i form af mikrobielle organismer til beton eller mørtelblandinger er blevet undersøgt og har ført til udviklingen af selvhelbredende beton. Selvhelbredende beton er et resultat af en biologisk omdannelse af calciumbaserede næringsstoffer, såsom calciumlaktat, af bakterier til at udfælde kalksten (CaCO₃). Det udfældede CaCO₃ udfylder de revner, der dannes i betonen og heler derved betonkonstruktionen. Der er dog kun mikrobielle organismer, der besidder de nødvendige egenskaber til denne proces, da de skal kunne tilføres betonen og samtidig overleve i ekstreme forhold såsom høj pH og saltkoncentration.

BioCretes forskning og udvikling har i midlertidig identificeret en ny løsning og fundet, at visse biologisk producerede polymerer tilsat cement kan øge betonproduktets trykstyrke og holdbarhed.

1.2 Projektets formål

Formålet med projektet var at teste flere af disse potentielle polymerer samt foretage yderligere test af eksisterende polymerer for at optimere produktion og anvendelse til det punkt, hvor der er et polymer cement additiv produkt, der er klar til efterfølgende fuldskala produktionsstestning.

I projektet opførtes samtidig et mindre polymerproduktionsanlæg der var med til at teste en række polymerproduktionsparametre og forskellige applikationsprotokoller.

Ønsket med dette arbejde var at bringe vores polymerløsning fra et fungerende benctop-skala produkt til noget, der i cement- og betonindustrierne kan adopteres og implementeres med eksisterende procesudstyr og løsninger.

Udbredelse af BioCretes polymer baserede løsninger i betonproduktion har et enormt potentiale til at reducere CO₂-udledningen forbundet med cementproduktion uden at kompromittere produkttegenskaber.

1.3 Projektets hovedaktiviteter

Projektets hovedaktiviteter var:

- opsætning af laboratorium til fremstilling af polymerer
- produktion af polymerer og forøgelse af produktudbytte
- test af polymerer i certificerede cement og beton standarder.

2. Projekt gennemgang

Projektets hovedaktiviteter indebar opførelse af laboratorium til fremstilling af polymerer samt test i henhold til certificerede europæiske cement og betonstandarder.

Resultater fra betontest viser forøgelse i trykstyrke mellem 100% cement og cement tilføjet polymerer. Dette er med til at vise potentialet af biobaseret polymerer til at nedbringe cementbehovet i beton uden kompromittering af styrken.

Projektet blev gennemført via iterative erkendelser funderet på tidligere erfaringer for på denne måde at drage nytte af tidligere aktiviteter. Forståelsen kom fra både test, udvikling, fremstilling og brug af polymerer. Ved hver produktionsiteration blev der foretaget procesmodifikationer, hvorved nye funktionelle kapaciteter blev tilføjet for at sikre optimale polymeregenskaber.

2.1 Opsætning af laboratoriefaciliteter

Første fase af projektet indebar opsætning af en skaleret produktionsenhed til fremstilling af polymerer i forhold til tidligere benchtop produktionskapacitet.

Opførelsen af en polymerproduktionsenhed muliggjorde produktteknologitestning. Eftersom polymererne er biologisk fremstillet, blev produktionsenheden designet til at vedligeholde og dyrke relevante organismer og, efter vækst, til at isolere og forberede polymerer til anvendelse i cement og beton. Denne arbejdsopgave omfattede anskaffelse og installation af laboratoriefaciliteter såsom kryokonservering, steriliseringsudstyr, batch- og kontinuerlige dyrkningsapparater og installation af tørreovn og frysetørrer.

2.2 Produktion af polymerer og forøgelse af produktudbytte

Formålet med anden fase af projektet var at teste en række polymerkilder og typer for at forbedre ydeevne og egenskaber i det resulterende betonprodukt. I denne fase blev polymerer fremstillet via standard benchtop-teknikker for hurtig test og fejlfinding. Disse batches blev produceret i lav volumen, men med højkvalitets polymerer og tilsætningsstoffer, hvorved nøglekarakteristika blev evalueret for at danne basis for polymerrenhed og kvalitet. Denne fase evaluerede samtidig produktionseffektiviteten ved at kvantificere tilsætningsstofferne (enheder/L) ved hjælp af flowcytometri. Herefter blev lysmikroskopi brugt til at karakterisere polymerer efter form, størrelse, ensartethed og tilstedeværelse af forureningsprodukter. Disse kriterier blev brugt til at fremstille en protokol for polymerer af høj kvalitet. Denne vejledning blev brugt i alle efterfølgende opgaver til at udføre QA/QC-analyse af al efterfølgende polymerfremstilling.

Sideløbende blev polymerproduktionsvariabler testet for optimale udbytter med det formål at nedbringe produktionsomkostninger til polymerråvarer. Måltrettet lav-lødligheds vækstsubstrater blev karakteriseret og testet under polymerfremstilling for at identificere højvolumen og brugbare billige kulstofkilder uden at kompromittere polymerudbyttet, i forhold til det høj-lødligheds vækstmedium, der anvendtes i standard polymerproduktion. Systematisk levedygtighedsanalyser af hvert potentielt substrat til polymerproduktion blev gennemført i bioreaktorer hvor standard vækstmedier blev erstattet af forskellige kulstofkilder. Produktionshastigheder af po-

lymerer som funktion af hvert substrat blev brugt som et kritisk kriterium for udvælgelsen af potentielle substrater. For at fremme polymerproduktion blev lovende polymer substrater optimeret yderligere ved at justere specifikke vækstparametre såsom temperatur, saltholdighed, pH, iltning. Polymerer fremstillet af hvert optimeret substrat blev analyseret og sammenlignet med polymerer fremstillet ved hjælp af standard benchtop-teknikker.

De producerede polymerer blev herefter klargjort til nedstrømstestning, hvor forskellige mængder polymerer blev fordelt til efterfølgende test.

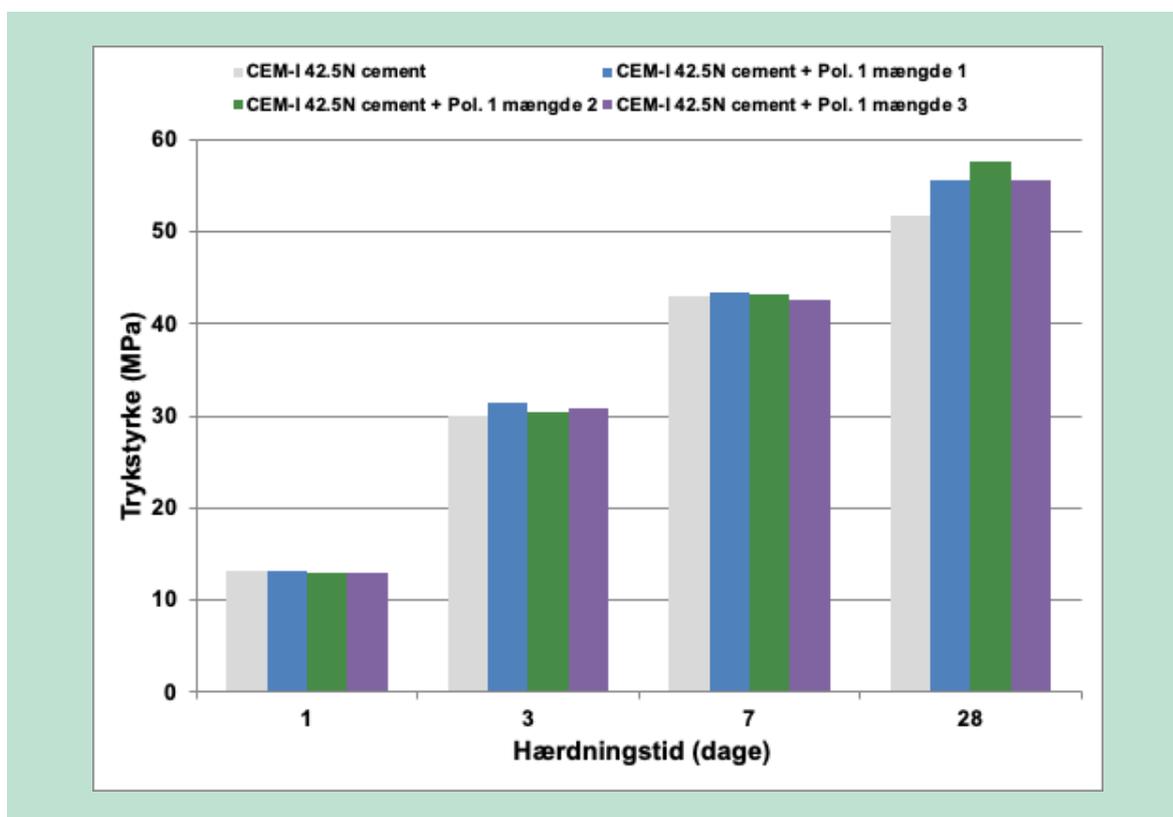
2.3 Test af polymerer

Polymerer blev derpå testet som cement additiv i standardiseret trykstyrketestprotokol i henhold til europæisk cement standarder. Dette var en vigtig aktivitet, da polymernes egenskaber kunne vurderes direkte mod industriens etablerede produkttegenskaber.

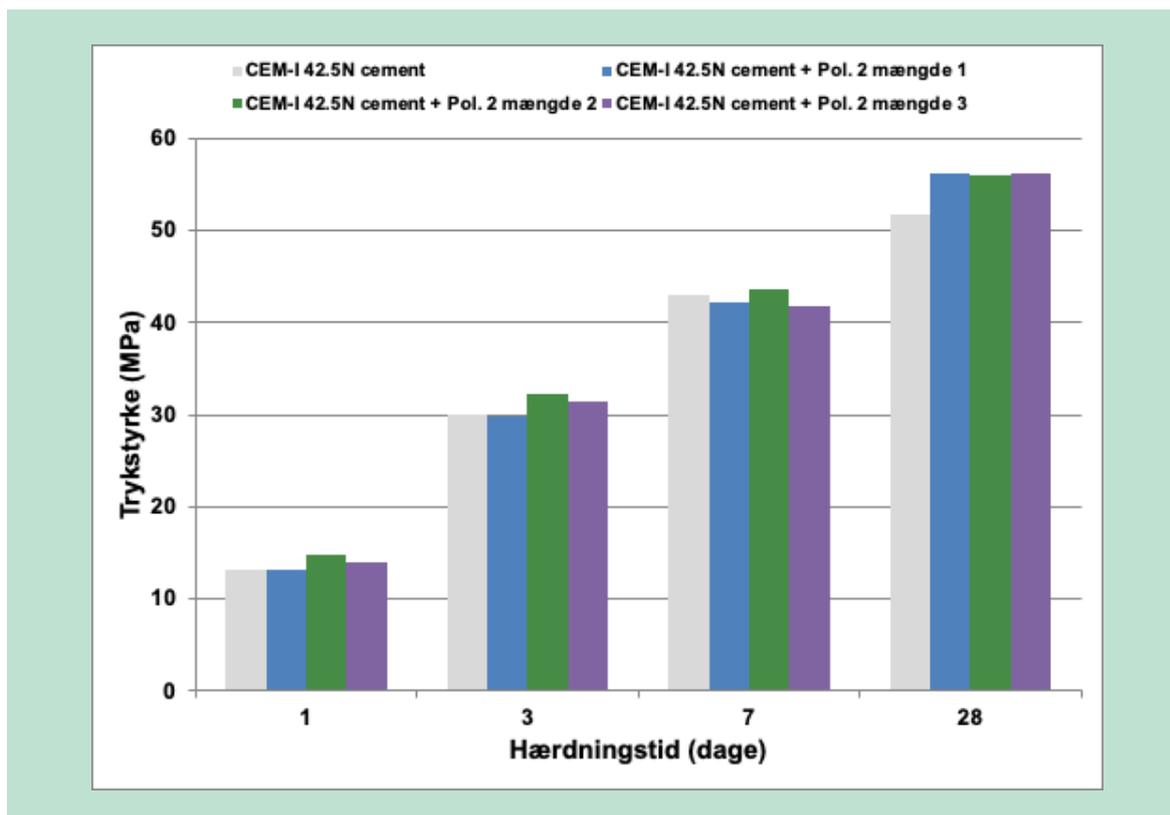
Benchmark blev defineret som sammenlignelige trykstyrker opnået under tidligere tests med benchtop-skala polymer produktion.

2.4 Resultater

Resultaterne viser en 7 og 11% stigning i trykstyrke efter 28-døgn mellem 100% cement og cement tilføjet forskellige polymerer og med forskellige mængder (se figur 1 & 2, fornedet).



FIGUR 1. : Figuren er et eksempel på trykstyrkeudviklingerne for 100% CEM-I 42.5 N cement samt for samme cement tilføjet en første type polymerer med forskellige mængder. Det ses, at opgradering giver en øget trykstyrke på 7 til 11% sammenlignet med ren cement efter 28-dage. Trykstyrketest er udført i henhold til europæiske cement standard EN 196-1:2016.



FIGUR 2. Figuren er et eksempel på trykstyrkeudviklingerne for 100% CEM-I 42.5 N cement samt for samme cement tilføjet en anden type polymerer med forskellige mængder. Det ses, at opgradering giver en øget trykstyrke på 8 til 8,5% sammenlignet med ren cement efter 28-dage. Trykstyrketest er udført i henhold til europæiske cement standard EN 196-1:2016.

Dette er lovende resultater, men samtidig noget lavere end hvad der er opnået via benchtop-skala forsøg med høj-lødligheds substrater. Der ligger derfor en del yderligere udvikling i at forstå, hvorfor en skalering af procesteknologien samt brugen af lav-lødligheds substrater giver forringet trykstyrke i det resulterende betonprodukt.

Det er dog vigtigt at nævne, at resultaterne *giver* grobund for at tro, at der kan findes en løsning, hvorved cement- og betonproducenter kan bruge polymerer til at øge tilsætningen af f.eks. supplerende cement materialer, for på den måde at nedbringe pris samt CO₂-udledning af det endelige betonprodukt betragteligt.

3. Konklusion

Projektets resultater viser et potentiale i brugen af biobaserede polymerer til forøgelse af trykstyrke i beton. Der er dog samtidig nogle uafklarede spørgsmål, der skal besvares før løsningen, er økonomisk og kommercielt relevant. Her tænkes især på at finde en billig lav-lødheds kulstofkilde, der samtidig kan sikre en kontinuerlig og høj ydeevne polymer.

Resultatet af MUDP-projektet er en verifikation af teknologiens muligheder, både med hensyn til det bæredygtige og det økonomiske perspektiv. Fremstillingen af polymerer er eftervist i et kontinuert produktionsflow og med høj produktkvalitet ved brug af høj-lødhedsvækstmedier.

Der ligger dog i forlængelse af projektet et stort arbejde i at videreudvikle polymerernes egenskaber før teknologien kan bringes de resterende skridt mod markedet. I løbet af dette arbejde skal der sikres et konsistent høj-kvalitets polymerprodukt samt nedbringelse af produktionsomkostningerne ved hjælp af lav-lødhedsvækstmedier.

Med de opnåede projektresultater er der opnået en bekræftelse af teknologiens potentiale, både egenskabs- og forretningsmæssigt. Det giver derfor grobund for en fortsættelse af produktudviklingen af disse polymerer som cementadditiv for derved at kunne udnytte det fulde forretningspotentiale, og samtidig reducere CO₂-aftrykket fra cementindustrien uden at kompromittere det resulterende betonprodukt.

Biobaserede polymerer som cement additiv

Målet med projektet var at videreudvikle, skalere og teste biobaserede polymerer som additiv til både tørre og våde cement og beton produkter. Formålet var at øge anvendelsesmulighederne og give evidens for øgede egenskaber i det resulterende betonprodukt.

I projektet opførtes samtidig et mindre polymerproduktionsanlæg der var med til at teste en række polymerproduktionsparametre og forskellige applikationsprotokoller.

Ønsket med dette arbejde var at bringe vores polymerløsning fra et fungerende benc-top-skala produkt til noget, der i cement- og betonindustrierne kan adopteres og implementeres med eksisterende procesudstyr og løsninger.

Udbredelse af BioCretes polymer baserede løsninger i betonproduktion har et enormt potentiale til at reducere CO₂-udledningen forbundet med cementproduktion uden at kompromittere produkttegenskaber.

Projektets hovedaktiviteter var:

- opsætning af laboratorium til fremstilling af polymerer
- produktion af polymerer og forøgelse af produktudbytte
- test af polymerer i certificerede cement og beton standarder.

Projektets resultater viser et potentiale i brugen af biobaserede polymerer til forøgelse af trykstyrke i beton. Der er dog samtidig nogle uafklarede spørgsmål, der skal besvares før løsningen, er økonomisk og kommercielt relevant. Her tænkes især på at finde en billig lav-lødheds kulstofkilde, der samtidig kan sikre en kontinuerlig og høj ydeevne polymer.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk