



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

Bioaffald til produktion af flydende silikater MUDP-projekt

MUDP Rapport

Marts 2025

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Flemming Gundorph Hansen & Anne Marie Hansen, Bollerup Jensen A/S

Grafiker/bureau:

Bollerup Jensen A/S

Tryk:

Bollerup Jensen A/S

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.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) 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
[MUDP's hjemmeside](#)

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

Indhold

1.	Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram	5
1.1	Formål	5
1.2	Projektets relevans	5
1.3	Hovedresultater	5
1.4	Projektførløb og erfaringer	6
1.5	Konklusion og perspektivering	7
Bilag 1.	Analyseresultater af træaskeprøver	8
Bilag 2.	Analyseresultater af træaskeprøver – fluid bed	9
Bilag 3.	Analyseresultater af halmaskeprøver	10

1. Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

1.1 Formål

Formålet med projektet er at identificere nye biobaserede silikatråvarer til fremstilling af flydende silikater. Anvendelse af en biobaseret SiO_2 -kilde vil give et mere miljøvenligt produkt med en markant reduceret CO_2 -udledning.

1.2 Projektets relevans

Flydende natrium- og kaliumsilikat (vandglas) bruges til mange forskellige tekniske applikationer, herunder som binder eller til imprægnering. Vandglas produceres ud fra natrium- eller kaliumråglas, der produceres i udlandet ved at smelte silikatsand og tilsætte enten natriumkarbonat eller kaliumkarbonat. Der er således tale om et produkt der består af naturlige råvarer, men hvor der i fremstillingsprocessen udledes CO_2 . For at give produktet en bedre miljøprofil og specielt et lavere CO_2 -aftryk er det aktuelt at se på et alternativ, som udleder mindre CO_2 . Der findes en del planter, som naturligt akkumulerer silicium. En af disse planter er ris, der produceres i meget store mængder. Under fremstilling af ris til konsum, får man en masse risavner til overs. Lokalt hvor man producerer ris, afbrænder man risavner (Rice Husk), og den resulterende risavne-aske (Rice Husk Ash eller RHA) har et meget højt indhold af SiO_2 . Hvis man kan anvende risavne-aske giver det den fordel, at der skal bruges mindre energi til at omdanne denne råvare til vandglas, end der skal ved brug af silikatsand. En udfordring ved brug af risavne-aske, er den lange transportvej fra Asien. Derfor blev det også undersøgt til dette projekt om man kan bruge lokale biobaserede asker.

1.3 Hovedresultater

Projektet startede med en screening af lokale biobaserede asker fra EMINERALS A/S. Det viste sig desværre at SiO_2 -indholdet i asker fra halm og træ var for lavt til at være kommercielt interessant (under 48% vægt/vægt), og ydermere også kontamineret med kulstof eller uorganiske forbindelser i høje koncentrationer såsom calciumoxid eller kaliumoxid, Se Bilag 1-Bilag 3 (TABEL 1-TABEL 3).

Afbrændingstemperaturen spiller desuden en rolle i forhold til om den SiO_2 der dannes ved afbrænding af det biologiske materiale ender på krystallinsk form eller på amorf form. Kigger man i litteraturen kan man se at højere afbrændingstemperaturer giver anledning til at der dannes krystallinsk SiO_2 . Faktisk skal afbrændingstemperaturen helst ligge under 750 grader celsius for at man primært får dannet amorf SiO_2 .

Ved et Teams-møde mellem Bollerup Jensen A/S, EMINERAL A/S og Ørsted A/S blev det bekræftet at man i Danmark ikke anvender afbrændingstemperaturer under 900 grader, bl.a. for at undgå at der kan dannes dioxin. En så høj afbrændingstemperatur vil helt sikkert give anledning til dannelse af den uønskede krystallinske SiO_2 . Derfor vil SiO_2 indholdet i den resulterende træ- og halmaske med stor sandsynlighed bestå af høje mængder af krystallinsk SiO_2 . Krystallinsk SiO_2 er, udover at være inhalations toksisk, også umuligt at omdanne til flydende silikat (vandglas) under de milde procesbetingelser der ønskes anvendt i dette projekt, og er derfor uønsket.

Det generelt høje indhold af urenheder (Bilag 1-Bilag 3), det lave indhold af SiO₂ i træ- og halmaske samt den forøgede sandsynlighed for at der også er tale om den uønskede krystallinske form af SiO₂ gjorde at lokalt tilvejebragt træ- og halmaske hurtigt blev fravalgt som mulige biobaserede silikatråvarekandidater.

Fokus blev derfor rettet mod risavne-aske (Rice Husk Ash eller RHA) idet ris er en silicium akkumulerende plante, hvilket betyder at RHA normalt indeholder mere end 85% vægt/vægt af SiO₂. Afbrændingstemperaturen spiller imidlertid stadigvæk en rolle for om der kan dannes krystallinsk SiO₂ eller amorf SiO₂. Ramkripa International, der er RHA leverandør, har bekræftet at man ikke gør noget for at styre temperaturen når man afbrænder risavner. Dette vil i praksis betyde, at der kan være en stor batch-batch variation af den RHA, der produceres i forhold til indhold af uønsket krystallinsk SiO₂. Jo højere indhold af krystallinsk SiO₂ desto lavere ekstraktionseffektivitet opnås, hvilket betyder at der genereres mere fast affald i processen.

Til alle forsøg anvendtes en RHA med 90% SiO₂ indhold. Det er ukendt hvor meget af SiO₂ indholdet, der er amorf og hvor meget der er krystallinsk, men analyser hos Danmarks Teknologiske Institut (DTI) har bekræftet at råvaren indeholder både amorf og krystallinsk SiO₂.

Da det var en betingelse for tilskuddet, at der blev gennemført analyse af den anvendte RHA for furan og dioxin blev dette foretaget som det første. De fundne værdier var under de gældende grænseværdier i POP-forordningen (Nr. 2019/1021).

Alle væsker der blev produceret, var sorte og helt uigennemsigtige pga. opløst kulstøv, selv med et 0,2 µm filter lykkedes det ikke at lave en helt klar væske.

TABEL 1. Oversigt over gennemførte forsøg til fremstilling af kaliumvandglas ud fra 90% RHA.

	Kogetid	Temperatur	Tilsluttet SiO ₂ koncentration	Opnået SiO ₂ koncentration	Udnyttelsesgrad
Forsøg 1	120 min	100 grader	10,1 vægt pct.	3,6 vægt pct.	36%
Forsøg 2	120 min	100 grader	16,4 vægt pct.	9,9 vægt pct.	60%
Forsøg 3	240 min	100 grader	16,4 vægt pct.	9,1 vægt pct.	56%
Forsøg 4	240 min	100 grader	16,0 vægt pct.	7,0 vægt pct.	44%

1.4 Projektforløb og erfaringer

Projektet forløb desværre ikke efter planen, da det viste sig umuligt at fremstille vandglas med de ønskede specifikationer under anvendelse af den valgte RHA med 90% SiO₂ indhold som SiO₂ kilde. Det var generelt svært at arbejde med RHA, da dens densitet var meget lav, således fylder 1 kilo aske ca. 10 liter. Skulle det opskaleres til fuldskala ville det kræve proces-tanke med et volumen, der er mere end 10 gange større end dem der anvendes i dag, for at kunne producere de samme batchstørrelser.

Alle ekstraktioner blev lavet med KOH som base, da anvendelse af KOH kræver den laveste temperatur (98-100 grader celsius). De resulterende produkter indeholdt stadigvæk meget ureageret aske, uanset hvilken kogetid der anvendtes (2-4 timer) – den maksimalt opnåede udnyttelsesgrad var på 60% af den tilstedeværende SiO₂ i asken. Dette betyder omvendt at der stadigvæk er 40% af den tilstedeværende SiO₂ tilbage i det faste affald som er tilbage efter kogningen, og en delmængde heraf vil desuden være krystallinsk SiO₂. Det resulterende faste affald falder ikke ind under bioaskebekendtgørelsen, da risavner ikke fremgår af Bilag 1, så det må bortskaffes på anden vis, hvilket ville give en yderligere udfordring for projektet.

Projektet forløb desværre ikke efter planen, da det viste sig umuligt at fremstille vandglas med de ønskede specifikationer under anvendelse af den valgte RHA med 90% SiO₂ indhold som SiO₂ kilde. Det var generelt svært at arbejde med RHA, da dens densitet var meget lav, således fylder 1 kilo aske ca. 10 liter. Skulle det opskaleres til fuldskala ville det kræve proces-tanke med et volumen, der er mere end 10 gange større end dem der anvendes i dag, for at kunne producere de samme batchstørrelser.

Alle ekstraktioner blev lavet med KOH som base, da anvendelse af KOH kræver den laveste temperatur (98-100 grader celsius). De resulterende produkter indeholdt stadigvæk meget ureageret aske, uanset hvilken kogetid der anvendtes (2-4 timer) – den maksimalt opnåede udnyttelsesgrad var på 60% af den tilstedeværende SiO_2 i asken. Dette betyder omvendt at der stadigvæk er 40% af den tilstedeværende SiO_2 tilbage i det faste affald som er tilbage efter kogningen, og en delmængde heraf vil desuden være krystallinsk SiO_2 . Det resulterende faste affald falder ikke ind under bioaskebekendtgørelsen, da risavner ikke fremgår af Bilag 1, så det må bortskaffes på anden vis, hvilket ville give en yderligere udfordring for projektet.

1.5 Konklusion og perspektivering

Desværre forløb projektet ikke planmæssigt idet udnyttelsesgraden maksimalt var 60%, hvilket var sammenligneligt med for-projektet, og derfor gav anledning til et signifikant dårligere CO_2 regnskab og til en stor mængde fast affald. Grundet den lave massefylde af risavne-asken (RHA) viste det sig umuligt at opløse en stor nok mængde af aske, til direkte at kunne lave flydende kaliumsilikat, der havde et sammenligneligt SiO_2 indhold som en af Bollerup Jensens kommercielle hyldevarer. Den maksimale SiO_2 tilsigtede koncentration som var praktisk mulig var 16,4% - men pga. den lave udnyttelsesgrad blev den endelige SiO_2 koncentration kun på 9,9%. De kommercielle hyldevarer har til sammenligning mindst 26% SiO_2 .

Bilag 1. Analyseresultater af træaskeprøver

TABEL 2. Oversigt over analyseresultater af træaskeprøver. Data er leveret af E Mineral A/S.

Brændsel type	Træ		
Asketype	Flyveaske		
Kraftvarmeværk	Skærbækværket		
Antal askeprøver	6		
	Lav-høj	Gennemsnit	Standard afvigelse
SiO ₂ vægtpct.	13-36	21,7	8,1
Al ₂ O ₃ vægtpct.	2,4-5,5	3,5	1,2
Fe ₂ O ₃ vægtpct.	1,2-2,0	1,6	0,3
CaO vægtpct.	22-32	27,7	3,7
MgO vægtpct.	3,0-4,4	3,9	0,5
TiO ₂ vægtpct.	0,16-0,33	0,2	0,1
MnO ₂ vægtpct.	0,91-1,2	1,1	0,1
Na ₂ O vægtpct.	1-1,7	1,4	0,3
K ₂ O vægtpct.	6,5-15	11,2	3,1
P ₂ O ₅ vægtpct.	2,4-3,6	3,1	0,4
SO ₃ vægtpct.	1,7-7,9	5,2	2,4
Cl vægtpct.	0,68-3,0	2,1	1,0

Bilag 2. Analyseresultater af træaskeprøver – fluid bed

TABEL 2. Oversigt over analyseresultater af træaskeprøver fra fluid bed. Data er leveret af Emineral A/S.

Brændsel type	Træ			Træ			
Asketype	Flyveaske - fluidbed			Bundaske - fluidbed			
Kraftvarmeværk	Asnæsværket			Asnæsværket			
Antal askeprøver	10			10			
	Lav-høj	Gennemsnit	Standard afvigelse		Lav-høj	Gennemsnit	Standard afvigelse
SiO ₂ vægtpct.	32-48	40,6	5,5	%Si, tør	27-32	29,40	1,4
Al ₂ O ₃ vægtpct.	2,5-2,9	2,7	0,1	%Al, tør	0,8-1,5	1,1	0,3
Fe ₂ O ₃ vægtpct.	0,88-1,1	1,0	0,1	%Fe, tør	0,34-0,57	0,47	0,08
CaO vægtpct.	17-40	21,5	6,8	%Ca, tør	7,7-8,8	8,20	0,3
MgO vægtpct.	2,2-3,4	2,6	0,4	%Mg, tør	0,78-0,93	0,86	0,05
TiO ₂ vægtpct.	0,13-0,16	0,1	0,0	%Ti, tør	0,05-0,06	0,05	0,01
MnO ₂ vægtpct.	0,36-0,64	0,5	0,1	%Na, tør	0,5-1,0	0,8	0,2
Na ₂ O vægtpct.	0,62-1,0	0,8	0,1	%K, tør	5,9-6,4	6,20	0,2
K ₂ O vægtpct.	4,5-7,9	5,9	0,9	%P, tør	0,36-0,43	0,40	0,02
P ₂ O ₅ vægtpct.	2-2,9	2,3	0,2	%S, tør	0,01-0,02	0,02	0,00
SO ₃ vægtpct.	5-9	6,5	1,3	%C, tør	<0,1	<0,1	0,00
Cl vægtpct.	0,34-0,79	0,5	0,1	Vand%	0,1-0,3	0,20	0,07

Bilag 3. Analyseresultater af halmaskeprøver

TABEL 3. Oversigt over analyseresultater af halmaske-prøver. Data er leveret af EMINERAL A/S.

Brændsel type	Halm		
Asketype	Bundaske		
Kraftvarmeværk	Fynsværket		
Antal askeprøver	92		
	Lav-høj	Gennemsnit	Standard afvigelse
%Si Slagge	11,4-26,6	19,2	3,1
%Fe Slagge	0,1-1,7	0,2	0,2
%Ca Slagge	2,8-9,6	5,5	1,4
%Na Slagge	0,1-1,9	0,5	0,3
%K Slagge	15,2-61,8	29,0	8,4
%Cl Slagge	0,4-8,3	1,4	1,3
%Kulstof Slagge	0,2-36,9	10,9	7,7

Bioaffald til produktion af flydende silikater

Projektets formål var at identificere nye biobaserede silikatråvarer til fremstilling af flydende silikater til anvendelse i forskellige applikationer, hvilket vil give et mere miljøvenligt produkt med en reduceret CO₂-udledning. Projektet forløb desværre ikke planmæssigt idet udnyttelsesgraden maksimalt var 60%, og derfor gav anledning til et signifikant dårligere CO₂ regnskab og til en stor mængde fast affald. Grundet den lave massefylde af risavneasken (RHA) viste det sig umuligt at opløse en stor nok mængde af aske, til direkte at kunne lave flydende kaliumsilikat, der havde et sammenligneligt SiO₂ indhold som en af Bollerup Jensens kommercielle hyldevarer.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk