

Notat om håndtering af aminslam fra CO2 fangstproces

Project name **Genanvendelse af Restprodukter**
Project no. **1100043274**
Client **Dansk Restprodukt håndtering 1**
Memo no.
Version **3.0 godkendt til offentliggørelse**

Prepared by **JEOE**
Checked by **KIMB**
Approved by **CTR**

Date 2025-10-20

Ramboll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 Copenhagen S
Denmark

T+45 5161 1000
<https://ramboll.com>

Contents

1	Introduktion	3
2	Carbon Capture Process (English)	4
2.1	Flue gas condenser (FGC)	5
2.2	Booster fan	5
2.3	CO ₂ absorber column	5
2.4	Water wash column	6
2.5	Heat exchangers in the carbon capture unit: Lean-rich (L-R HX), lean pre-cooler (LPC) and stripper overhead condenser (SOC)	6
2.6	CO ₂ stripping column	6
2.7	Reboiler	7
2.8	Solvent degradation	7
2.9	Flue gas emissions	7
3	Amin reclaimer proces	8
4	Analyser af aminslam prøver	9
4.1	Oversigt over analyser resultater	10
4.2	Brændværdi	11
5	Klassificering af aminslam	12
5.1	Affaldsbekendtgørelsen bilag 2	13
5.2	Affaldsbekendtgørelsen bilag 3	13
5.3	Aminslam fra carbon capture demonstrationsanlæg	14
6	Praktisk håndtering af aminslam	15

1 Introduktion

Amin-baseret CO₂ fangst er en blandt mange løsninger, der kan afhjælpe den igangværende klimakrise. Processen baseres på, at en aminopløsning "trækker" CO₂ ud af røggassen, og efterfølgende udskilles den opsamlede CO₂ fra aminopløsningen, hvorefter aminopløsningen kan genanvendes i processen. Grundet urenheder i røggassen fra affaldsforbrændingsanlæg, vil aminopløsningen degradere, og under dennes efterfølgende oprensningsproces produceres et affaldsprodukt, der betegnes aminslam, og som efterfølgende skal håndteres og bortskaffes som et restprodukt fra processerne.

Oprensningen af aminopløsningen med dannelse af aminslam, sker med en såkaldt "reclaimer", og i forbindelse med drift af det nuværende demonstrationsanlæg hos ARC til CO₂ fangst (Eng: carbon capture eller blot CC-anlæg), er det udtaget prøver fra reclaimeren i forbindelse med en driftskampagne, hvor CC-anlæggets anvendte amin er monoethanolamin (MEA). For sammenlignelighedens skyld, udtages der tillige prøve af selve aminopløsningen. De udtagne prøver blev efterfølgende sendt til analyse ved Teknologisk Institut.

I dette notat undersøges og beskrives forskellige forhold for de udtagne prøver af aminslam, og notatets formål er at:

- Kortlægge egenskaberne af aminslam
- Vurdere aminslammet som brændsel i forhold til brændværdi
- Vurdere evt. NO_x reduktionspotentiale ved bestemmelse af kvælstofindhold
- Vurdere evt. negativ indvirkning på anlæg og resterende restprodukter

Notatet har følgende struktur:

Afsnit 2 beskriver et aminbaseret CC-anlæg (CO₂ fangstanlæg) og dets bestanddele. Dette inkluderer absorber og stripper kolonner, varmevekslere, og en beskrivelse af solvent degradering. Dette afsnit på engelsk.

Afsnit 3 behandler kort den termiske reclaimerproces, som er den typiske måde hvorved aminslam dannes.

Afsnit 4 indeholder analyseresultaterne fra aminslam prøverne samt behandling af disse resultater.

Afsnit 5 omhandler fortolkningen af affaldsdirektivet i forhold til kendte aminer og hvorledes resultaterne for MEA aminslam skal betragtes.

Afsnit 6 omhandler praktisk håndtering af aminslam som næste skridt i håndtering af aminslam som affaldsrestprodukt.

2 Carbon Capture Process (English)

Amine-based post-combustion carbon capture is currently the most mature available carbon capture (CC) technology. The CC process is an additional flue gas cleaning step that separates CO₂ from the flue gas through absorption with a solvent. The process works by scrubbing the flue gas with a solvent that absorbs the CO₂ from the flue gas.

The process diagram of a typical amine-based CC plant is illustrated in Figure 2-1.

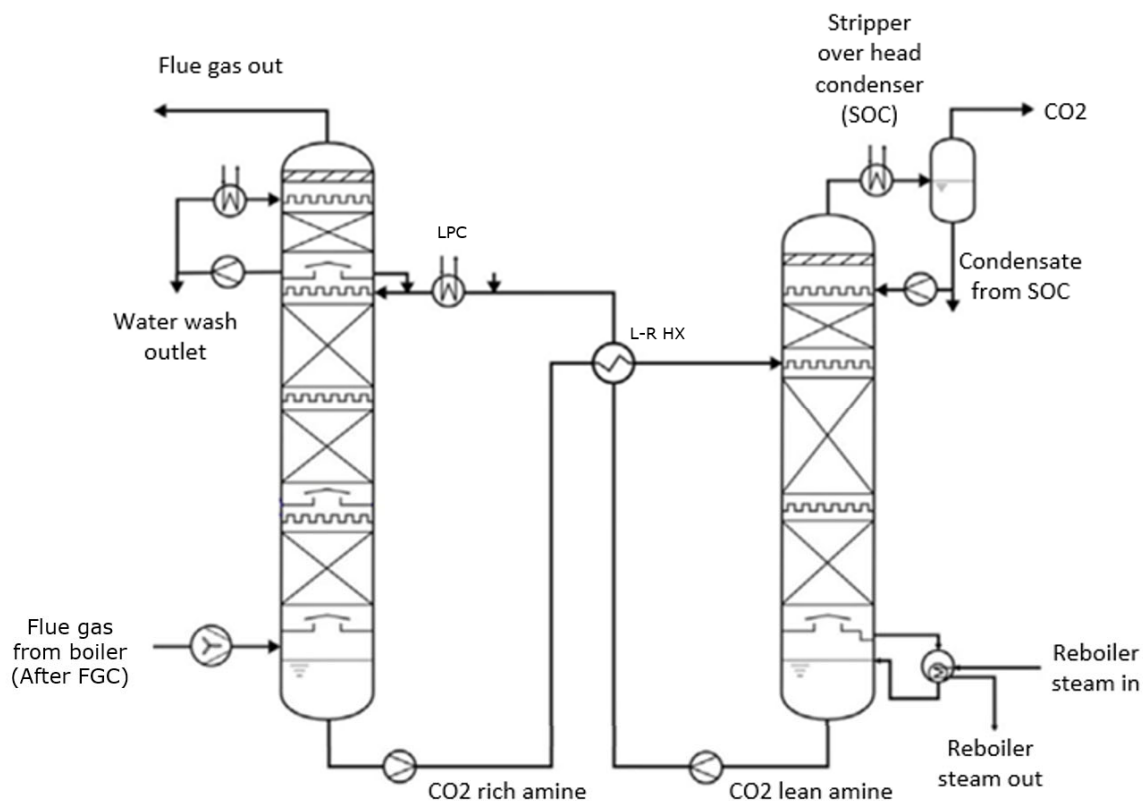


Figure 2-1: Carbon capture plant process. FGC: Flue gas condenser.

In the amine-based CC process, an aqueous amine solution (solvent) is used to separate the CO₂ from the flue gas by absorbing the CO₂. The absorption process typically occurs in a packed bed tower denoted as the absorber column. The CO₂ is absorbed by the solvent at a relatively low temperature in the absorber column, where the solubility of CO₂ is highest.

After absorption, the CO₂-loaded (also referred to as rich) solvent is directed to a separate column where the solvent is regenerated by separating CO₂ from solvent. The regeneration process takes place in a stripping or desorption process by heat addition and or depressurization. Typically, the solvent is heated with steam in a counter-current packed bed tower denoted as the stripper column. The heating causes the absorbed CO₂ to be released or desorbed from the solvent exiting the top of the stripper as a very pure CO₂ gas stream saturated with water.

The CO₂-lean amine stream exiting at the bottom of the stripper column is then returned to the absorber for another carbon capture cycle. After releasing the CO₂, it is typically compressed and liquefied for transportation.

Absorption-based CO₂ separation enables very high CO₂ capture rates (above 90%). The biggest drawback of chemical absorption CO₂ capture is that the process requires large amounts of heat energy for solvent regeneration.

Additionally, the amine-based CC technology is sensitive to impurities in the flue gas, such as NO_x, SO_x and other acidic components, and the CC plant will therefore typically be the last processing step in the flue gas cleaning process.

Apart from absorber and stripping columns that facilitate the absorption/desorption cycle of CO₂, the carbon capture process consists of a range of unit operations:

- Flue gas condensing
- Booster fan
- Absorber and water wash column
- Heat exchangers
- Stripper column
- Reboiler
- Reclaimer

In the following, these units will be described at high-level to provide insight into the CC process.

2.1 Flue gas condenser (FGC)

Generally, the temperature of the flue gas will also affect the absorption of CO₂ as a cold flue gas will enable higher absorption capacity, and a high temperature will lower the absorption capacity of the solvent.

The purpose of the flue gas condenser is to cool the warm flue gas before it enters the absorber column. This can be achieved with variety of technologies, but it is often realized as a direct contact cooler (DCC). A DCC is a packed column that reduces the flue gas temperature by injection of water. The DCC may also serve as a pre-water wash column, prior to the absorber, to remove SO_x, NO_x, particulate matter, etc., that would otherwise promote degradation of the solvent within the CC plant.

2.2 Booster fan

A booster fan is installed in the flue gas path to overcome the increased pressure loss that the carbon capture system causes. The booster fan is typically installed between the flue gas condensation and the absorber column, but this depends on the contractor of the CC plant.

2.3 CO₂ absorber column

In the absorber, the flue gas is contacted counter-currently with a solvent that absorbs CO₂ from the flue gas. The flue gas is fed to the absorber column through the bottom and the purified gas stream subsequently leaves out of the top of the absorber. The solvent that leaves the absorber column through the bottom is now rich in CO₂, which will be regenerated in the stripper column before reintroduction into the absorber column.

2.4 Water wash column

The flue gas leaving the absorption section enters the water wash column at about 10–20°C higher temperature than the flue gas inlet of the absorber. The flue gas contains a low amount of CO₂ but is saturated with water and contains volatile components like remains of absorbing solvent and its degradation products. To reduce loss of solvent and reduce the emission of volatile components, the flue gas leaving the absorption section needs to be cooled and conditioned before leaving to the atmosphere via the stack. This is normally done via one or several water wash sections at the top of the absorber.

Typically, there is a 'dirty stage', where most of the solvents are stored, and all the water – less than what was evaporated in the absorber – is returned to the cycle. In this stage, the recirculated cleaning water is cooled by cooling water (CW) to a similar temperature as in the flue gas condenser of approximately 40 °C. The water wash temperature is dictated by the absorber inlet temperature (together with the stripper exit temperature), because the entire solvent system needs to maintain a neutral water balance to avoid dilution or concentrating (drying out) the water-solvent mixture.

After the first water wash stage, there may be a second stage with an acid wash section. A side stream of the recirculated water may be cleaned with a system similar to FGC condensate cleaning system. This allows for the wash section to be operated colder than flue gas inlet temperature to more effectively absorb degradation products, some additional water can be produced here.

2.5 Heat exchangers in the carbon capture unit: Lean-rich (L-R HX), lean pre-cooler (LPC) and stripper overhead condenser (SOC)

The CO₂-rich amine solution from the absorber is transported towards the stripper. Before it is led into the stripper, it passes a heat exchanger, where it is heated with the lean stream extracted from the bottom of the stripper. The performance of this lean-rich heat exchanger (L-R HX) is very important in optimizing the efficiency of the carbon capture unit.

On the CO₂-lean side of the heat exchanger and before the CO₂-lean solvent enters the absorber, another heat exchanger named Lean Pre-Cooler (LPC) further cools the CO₂-lean solution. The LPC is necessary as the temperature of the lean solution entering the absorber needs to be lower than the temperature of the solution at the outlet of the absorber to enable an efficient absorption of CO₂ from the flue gas.

A Stripper-Overhead-Condenser (SOC) is installed at the top of the stripper to condense the steam and potentially to recover the heat. Part of the condensate is often returned to the stripper to act as a water wash for the gaseous CO₂ stream.

2.6 CO₂ stripping column

The heated, CO₂-rich solution is led into the stripper near the top of the stripper column. The stripper operates at a higher temperature to release the CO₂ from the solvent. Similar to the absorber, the stripper will also consist of packing material to enhance the liquid-gas interaction. Additional heating of the solvent is performed in the stripper to accelerate the release of CO₂, a reaction that occurs at 100 °C and above.

The stripper is thermally driven by the reboiler that heats the solvent solution to its boiling point at the bottom of the stripper, and by passing the steam up through the stripping column CO₂ will be released from the absorbents which flow downwards in the column. Typically, the stripper is operated at around 2 bar(a), but this is solvent dependent.

2.7 Reboiler

CO₂ absorbed into the solution will be released in the stripper by supplying heat in the reboiler. Common practice in CO₂ capture plants is that the energy required for stripping is supplied by low pressure steam at around 3 bar(a). A higher thermal load on the reboiler will enhance the stripping and elevate the capture rate (for instance from 90 to 95%), the stripping temperature and pressure will however be limited by the solvents ability to withstand thermal degradation, in this the hottest part of the carbon capture system.

2.8 Solvent degradation

In the carbon capture plant, the amine will gradually degrade potentially resulting in emissions of volatile degradation products. Thermal degradation in the stripper section of the plant as well as reactions with species in the incoming flue gas, specifically oxygen (O₂), sulfur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x, especially NO₂), and dust.

The degradation products will primarily be ammonia, but also short-chained aldehydes (formaldehyde and acetaldehyde). Emissions from the amine process includes chemical compounds such as amines (MEA, piperazine, AMP, or others depending on solvent), ammonia, acetaldehyde, formaldehyde, acetone, nitrosamines and nitramines.

The emission of less volatile compounds such as the solvent amines (AMP and Piperazine or MEA) and degradation products such as nitrosamines and nitramines are expected predominantly to occur through aerosols (liquid phase mists), which should be minimized with mist abatement design. Total amine emissions would be expected to be well below 10 mg/Nm³, and nitrosamines and nitramines are expected in very low concentrations.

The emissions of degradation products and amines origin from the amine-based process, which means a dedicated CEMS for the CC plant should be installed. The CEMS for the CC plant should measure solvent specific amines and degradation products. Overall, the emissions from amine-based CO₂ capture systems must be monitored and handled carefully.

2.9 Flue gas emissions

Emissions of amines and degradation products can be harmful to both humans and the environment. Generally, amines and their degradation products are considered to be carcinogenic. The HSE-aspects will depend on the type of amine used as solvent in the CC plant and must therefore be investigated (phase and potential hazardous properties) to avoid occupational exposure over the limits, provide accurate precautionary safety measures and to ensure correct storage and handling.

The HSE aspects related to emissions of amine and amine degradation products do provide a disadvantage for the amine technology, however, suitable mitigation systems are commercially available which can reduce the risk to an acceptable level.

Suppliers of the amine-based technology are aware of the concern with emissions and pay high attention to reducing this risk by e.g. selecting amines which reduces emissions, applying emission mitigation systems and safe operation of the CC plant to reduce emissions. Examples of emission mitigation systems that could be utilized to mitigate emissions are water wash, acid wash, demisters, Brownian demister unit, and wet electrostatic precipitator. Typical emission mitigation systems are water wash and acid wash.

The final choice of emission mitigation system depends on the contractor, amine solvent and flue gas composition. In brief, the risk is generally evaluated to be a risk which can be mitigated sufficiently.

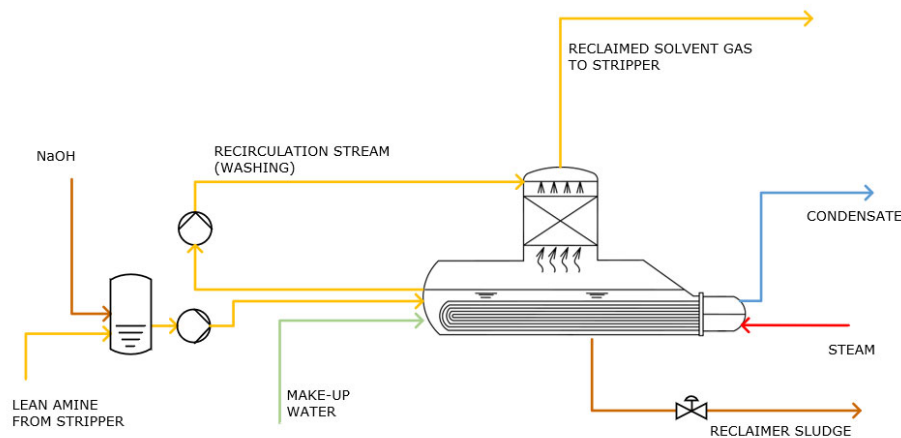
3 Amin reclaimer proces

Aminsolventet vil reagere med ilt og andre urenheder i røggassen og kan derved nedbrydes til en række forskellige degraderingsprodukter. Aminsolventet vil desuden reagere med sure stoffer, såsom HCl, HF, SO₂ og NO₂, som vil resultere i et tab af den aktive koncentration af amin. Nedbrydningsreaktionerne resulterer generelt i reduceret effektivitet af CO₂ absorptionen, hvilket øger driftsomkostningerne for hele carbon capture anlægget. Desuden kan urenheder fra den indkommende røggas og korrosionsprodukter akkumuleres i aminsolventet, hvilket forårsager uønskede reaktioner og yderligere accelererer aminnedbrydningen.

For at opretholde effektiviteten af CO₂ absorptionen og minimere nedbrydningseffekten af amin er en renseproces af solventet nødvendig. Typisk anvendes en termisk genvindingsproces, ofte kaldet "reclaimer", som vist i Figur 3-1.

Reclaimer-processen fungerer ved at udtrække en slipstrøm af solventstrømmen efter stripperkolonnen. Derefter tilføjes lud, NaOH, til solventet for at hæve damptrykket af amin og dermed separere amin fra de akkumulerede varme stabile salte (HSS). Varme anvendes i genvindingsprocessen for at fordampe amin (og damp) i en gasform og returnere det til stripperen. Der tilsættes også opfyldningsvand til processen for at genvinde så meget amin som muligt.

I øjeblikket findes der forskellige metoder til reclaiming af amin, som typisk baseres på erfaring og leverandørspecifikke forhold. Fælles er det tilbageværende slam fra processen, som kan anses som et affaldsprodukt som vil kræve korrekt bortskaffelse. Det er foretrukket hvis on-site forbrænding er muligt for at undgå transport af slammet til ekstern behandling.



Figur 3-1: Eksempel på reclaimerproces. Der findes forskellige procesdiagrammer.

4 Analyser af aminslam prøver

Figur 1 viser CC-anlæggets reclaimer-enhed (til venstre) og et billede af en af aminslam-prøver fra reclaimeren (til højre). Det nuværende demonstrationsanlæg hos ARC til CO₂ fangst har en termisk reclaimerproces. Under kampagne med anvendelse af monoethanolamin (MEA) i aminopløsningen, blev der udtaget prøver fra anlæggets reclaimer og af aminopløsningen, som blev sendt til analyse ved Teknologisk Institut.



Figur 1: (Venstre) Billede af reclaimerenheden på carbon capture demonstrationsanlæg. (Højre) Billede af aminslam fra reclaiming af et MEA solvent.

Formålet med de gennemførte analyser af aminslammet var grundlæggende at belyse aminslammets egenskaber og karakteristika med henblik på at kunne redegøre for, om aminslammet er forbrændingseget og, om forbrænding vil kunne medføre u hensigtsmæssige forhold på en affaldsforbrændingsanlæg. Prøverne af aminslam og aminopløsning er analyseret for følgende parametre:

- Vandindhold/tørstofindhold
- Brændværdi
- Kvælstofindhold
- Anioner
- Metaller
- Koncentration af monoethanolamin (MEA)

Indhold af anioner og metaller er inkluderet i undersøgelserne for at give et indblik i dannelsen af restprodukter fra den efterfølgende forbrænding af aminslammet, herunder evt. bidrag med tungmetaller. Dette behandles i afsnit 4.1. Tørstofindholdet, brændværdien og kvælstofindhold ønskes analyseret for

at vurdere i hvilken grad aminslammet er forbrændingseget. Brændværdien af aminslammet bliver vurderet i afsnit 4.2.

Kvælstofindholdet i aminslammet er interessant, da dette potentielt kan omdannes til NO_x ved forbrænding. Et studie har dog vist, at aminslam evt. kan benytte som DeNO_x reaktant og derved kan aminslammet evt. bidrage til reduktion af NO_x fra forbrændingen, hvis aminslammet tilsættes ved den rigtige temperatur¹. Kvælstofindhold er desuden interessant for at karakterisere aminslammet i forhold til koncentration af kvælstofholdige degraderingsprodukter fra carbon capture processen.

Koncentration af amin er relevant i forbindelse med klassificering af aminslam i henhold til affaldsbekendtgørelsen. Dette behandles i afsnit 5.

4.1 Oversigt over analyser resultater

Analyseresultaterne for en prøve af aminopløsningen og to prøver af aminslam prøver vises i tabel 1. Prøverne af aminslammet blev ekstraheret samme dag og repræsenterer et solvent som har været brugt i fire måneder i CO₂ fangstanlægget. Indholdet af metaller bestemmes ved brug af "inductively coupled plasma mass spectroscopy" (ICP-MS), og anioner blev bestemt med ionkromatografi. Teknologisk Institut dokumenterer, at deres ICP-MS metode har en detektionsgrænse for metallerne på 20-200 µg/L, mens detektionsgrænsen for anionerne ved ionkromatografi er 100 µg/L.

Tabel 1: Analyse af to aminslam prøver samt analyse af aminsolvent.

Analyse af	Aminopløsning	Aminslam 1	Aminslam 2
Enhed	µg/L	mg/kg	mg/kg
Fe	110000	154	151
Co	< 200	<0,5	<0,5
Ni	1100	1,8	1,7
Cd	< 20	<0,5	<0,5
Tl	< 20	<0,5	<0,5
Cr	1500	2,5	2,5
Hg	< 20	<0,5	<0,5
Enhed	µg/L	µg/L	µg/L
Klorid (Cl ⁻)	<100	<100	<100
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	2400	6900	<6000
Nitrit (NO ₂ ⁻)	<100	<100	<100
Nitrat (NO ₃ ⁻)	2000	3200	3200
Format (HCOO ⁻)	8500	7900	6600
Acetat (CH ₃ COO ⁻)	18000	12000	13000
Oxalat (C ₂ O ₄ ²⁻)	1500	<10000	<10000
Monoethanolamine (% w/w)		33,5	36,7
Brændværdi (MJ/kg), tør basis	Not measured	21,7	21,7
Tørstofsindhold (% w/w)		65,1	65,8
Kvælstof (% w/w), tør basis		14,6	14,1

¹ Botheju D., Glarborg P., Tokheim L-A, "The Use of Amine Reclaimer Wastes as a NO_x Reduction Agent", Energy Procedia, Volume 37, 2013, Pages 691-700, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213001689>

Metaller akkumuleres i aminopløsningen hovedsageligt på grund af korrosion af CC anlægget og absorbering af metaller fra affaldsforbrændingsanlæggets røggasser. Det ses i tabel 1, at aminslammet indeholder noget højere koncentrationer af metaller end aminopløsningen. Dette er forventet eftersom reclaimer processen fungerer ved at fordampe amin og vand hvorved ikke-flygtige komponenter, såsom metaller, efterlades i slammet.

Det ses i tabel 1, at koncentrationen af tungmetaller som Cd, Tl og Hg er under detektionsgrænsen for både aminsolvent og aminslam.

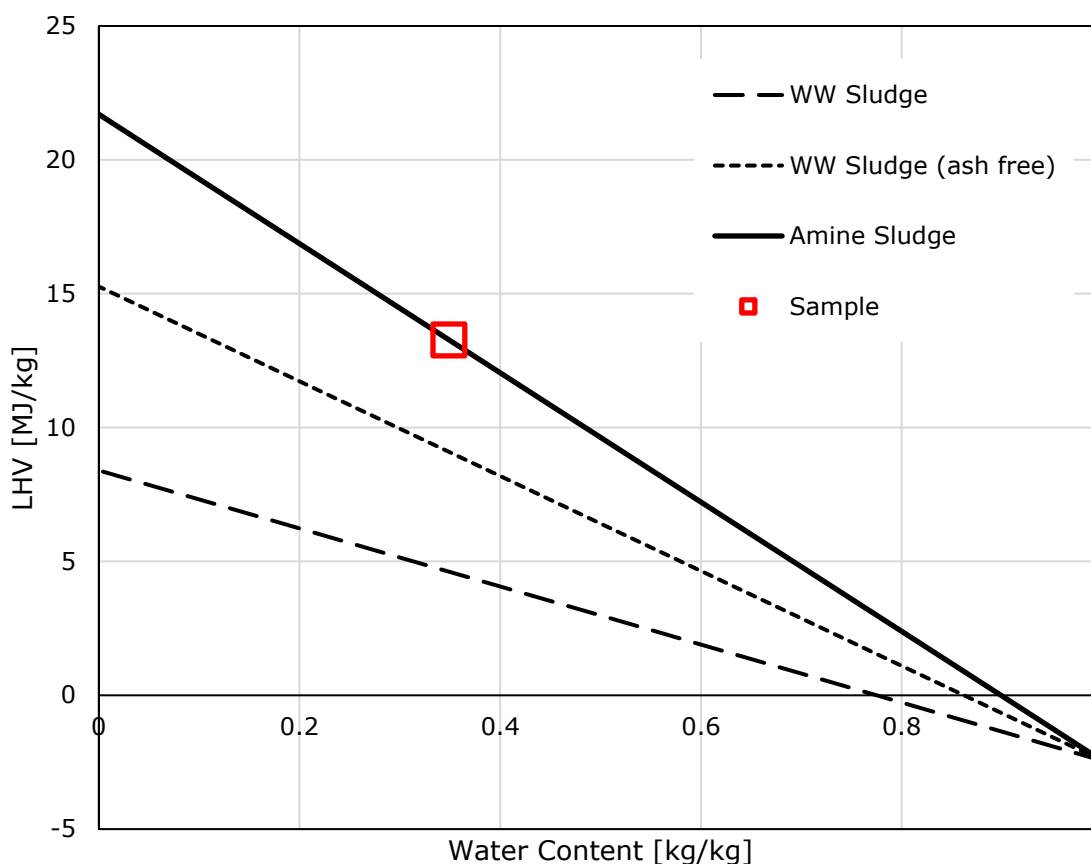
Tabel 1 viser, at ca. 15 % af den tørre masse af aminslammet består af kvælstof. Ved sammenligning mellem kvælstofmængden i slamprøverne med mængde af kvælstof, der kan forklares med slammets indhold af MEA ses, at ca. 80 % af slammets kvælstof hidrører fra dets indhold af MEA mens de resterende 20 % af kvælstoffet vil bestå af forskellige degraderingsprodukter af aminen og salte. Mængde af kvælstof i slammet der hidrører fra nitrat (NO_3^-) udgør kun ca. 0,1 %. Eftersom størstedelen af kvælstoffet i aminslammet er i form af MEA, kan der potentielt være et NO_x reduktionspotentiale i slammet, omend dette vil kræve undersøgelser med eksperimenter og test, da slammet skal kunne sprøjtes ind i kedlen ved rette røggastemperatur, ligesom det indsprøjtede slam skal kunne fordeles jævnt i hele strømmen af røggas.

Sure gasarter såsom HCl, HF, SO_2 og NO_2 i røggassen kan absorberes og neutraliseres i aminopløsningen, hvilket resulterer i akkumulering af anioner som klorid, sulfat, nitrit og nitrat. Derudover kan der dannes organiske anioner ved degradering af aminer i form af formater, acetater og oxalater m.v.

Ved sammenligning af analyseresultaterne for aminopløsningen og aminslammet ses det, at koncentrationen af sulfat og nitrat er højere i aminslammet mens koncentrationen af format og acetat er lavere i aminslammet. En umiddelbar forklaring på sidstnævnte kunne være, at format og acetat ikke bindes godt nok i reclaimerprocessen, hvorfor de frigives fra aminopløsningen under reclaimerprocessen, men dette kan ikke afgøres på grundlag af nærværende analyseresultater. Det bør undersøges nærmere, hvilke reaktioner, der sker under reclaimerprocessen og, om der evt., mangler en optimering heraf på anlægget.

4.2 Brændværdi

Brændværdien af aminslammet blev bestemt til at være 21,7 MJ/kg på tør basis. Denne brændværdi er omsat til en brændværdi med det aktuelle vandindhold i figur 2. I denne figur ses brændværdien af aminslam som funktion af vandindholdet i aminslammet. Ved at korrigere for det aktuelle vandindhold i aminslammet fås en aktuel nedre brændværdi på ca. 13 MJ/kg.



Figur 2: Brændværdi af aminslam (Amine Sludge) og slam fra vandrensningsanlæg (WW Sludge). Aminslam-prøven er markeret med rødt og har en brændværdi på 13 MJ/kg.

Til sammenligning er slam fra kommunale spildevandvandrensningsanlæg også afbildet i Figur 2 ("WW sludge" i stiplede linjer). Det ses her, at brændværdien af aminslammet er væsentligt højere end for slammet fra spildevandvandrensningsanlæg, hvilket vil resultere i en nemmere afbrænding af aminslammet.

5 Klassificering af aminslam

Ved drift af CO₂ fangstanlæg, vil der forekomme rester af den brugte aminopløsning, i det slam, der skal behandles, og aminresterne i slammet fra reclaimeren skyldes, at ikke alt amin kan fordampes og genvindes, når der samtidig skal produceres et slamprodukt, hvor størstedelen af aminopløsningens forureninger er opkoncentreret.

Aminslammet vil derfor indeholde følgende bestanddele:

- Rester af den anvendte amin
- Vand
- Nedbrydningsprodukter fra den anvendte amin
- Natriumhydroxid (tilsættes som led i reclaimerprocessen)
- Varmestabile salte (reaktionsprodukt mellem natriumhydroxid og syrer)

Forskellige aminer er meget forskellige i forhold til deres miljø-/fareklassificering, og det vil være nødvendigt at hver enkel amin for sig i forhold til en fremtidig klassificering og miljøgodkendelse af CC-anlæg med tilhørende bortskaffelse af aminslam.

En stor udfordring er her, at flere leverandører af aminbaserede CC-anlæg, benytter sig af proprietær aminer og/eller aminblanding, hvor aminotypen betragtes som en forretningshemmelighed. Der eksisterer imidlertid nogle aminer, der generelt anvendes i industrien uden disse bindinger, og nedenfor gives tre af de mere kendte aminer, der frit kan anvendes af alle:

- Monoethanolamin (MEA)
- 2-amino-2-methyl-propanolamin (AMP)
- Piperazin (PZ)

MEA er et meget velkendt amin, der anvendes i CC-anlæg og MEA benyttes i dag på mange CO₂ fangstanlæg. Blandingen mellem AMP og PZ kendes også som CESAR1, og denne en aminopløsning bestående af disse to aminer i blanding kan betragtes som et avanceret solvent, men forbedrede fangstegenskaber sammenlignet med systemer, der udelukkende anvender MEA.

5.1 Affaldsbekendtgørelsen bilag 2

Aminslam fra CC-anlæg optræder ikke selvstændigt i affaldsbekendtgørelsen² bilag over affaldskoder, men slammet kan evt. klassificeres som: **07 07 10** "Andre filterkager og brugte absorptionsmidler" eller som **19 01 06** "Vandigt flydende affald fra røggasrensning samt andet vandigt flydende affald".

5.2 Affaldsbekendtgørelsen bilag 3

Ved klassificering af affald mht. til dets eventuelle farlige egenskaber skal affaldets indhold af aminer tages i betragtning idet aminer kan besidde forskellige farlige egenskaber. I nedenstående tabel 2 ses de tre førnævnte aminer farlige egenskaber i relation til affaldsbekendtgørelsens bilag 3 og aminernes klassificering i forhold til relevante faregrupper.

Tabel 2: Klassificering af aminer med hensyn til affaldsbekendtgørelsen bilag 3.

Kategori	MEA	AMP	PZ
HP3: Brandfarlig			H228
HP4: Hudirriterende og øjenskader	H314, H318	H315, H318	H314, H318
HP5: Specifik målorgantoksicitet / aspirationstoksicitet	H335		
HP6: Akut toksicitet	H302, H312, H332		
HP8: Ætsende	H314		H314
HP10: Reproduktionstoksisk			H361d
HP13: Sensibiliserende			H317, H334
HP14: Økotoksisk	H412	H412	

² Bekendtgørelse om affald, Bekendtgørelse nr. 1749 af 30/12-2024.

5.3 Aminslam fra carbon capture demonstrationsanlæg

Det totale indhold af aminer i aminslammet vil typisk udgøre 20 % eller mere, og eventuel klassificering af affaldet efter affaldsbekendtgørelsen som farligt affald vil derfor afhænge af, hvilke aminer, der er i aminslammet og, hvilken fordeling der er mellem de enkelte aminer i aminslammet.

I det følgende vurderes aminslammet mulige klassificering på baggrund af analyserne af MEA baseret aminskam som gengivet i tabel 1 og MEA's klassifikation som vist i tabel 2.

Nogle af fareklasserne i tabel 2 beror på MEA's irriteringsmæssige eller ætsende egenskaber grundet dets alkaliske natur, hvorfor fareklasser som HP4 og HP8 vil eventuelt kunne undgås, hvis aminerne kemisk omdannes gennem neutralisering til deres respektive klorid-/sulfatsalte eller lignende. Dette gælder tillige aminslammets indhold af overskydende natronlud fra den termiske reclaimerproces, og det vurderes på den baggrund, at faremærkning med HP4 og HP8 vil kunne undgås ved passende neutralisering med syre. Uden neutralisering forventes aminslammet at være stærkt alkalisk.

Neutralisering af aminslam vil dog ikke kunne reducere slammets farlige egenskaber forbundet med HP5, HP6 og HP14 klassificering, og i nedenstående tabel 3 ses, hvilke koncentrationsgrænser der gælder for de enkelte farlige egenskaber (faresætninger) for MEA, der udløser, at affaldet skal klassificeres som farligt affald, og dermed tildeles en eller flere af fareklasserne HP5, HP6 og/eller HP14.

Tabel 3: Karakterisering af MEA aminslam i forhold til affaldsbekendtgørelsen.

Fareklasse- og kategorikoder		Faresætningskode	Koncentrationsgrænse	Målt værdi
HP5	STOT SE 3	H335	20 %	33-37 %
HP6	Akut Tox 4 (Oral)	H302	25 %	
HP6	Akut Tox 4 (Dermal)	H312	55 %	
HP6	Akut Tox 4 (Inhal.)	H332	22,5 %	
HP14	Miljøfarlig (Vandlevende organismer) 3	H412	25 %	

6 Praktisk håndtering af aminslam

Aminslam vil på baggrund af analyseresultaterne som rapporteret i denne rapport, sandsynligvis skulle klassificeres som farligt affald, som det nærmere redegøres i de forrige afsnit. Dette gælder uanset, om aminslammet neutraliseres eller ej.

Det skal i den forbindelse bemærkes, at aminslammet bl.a. klassificeres som miljøfarligt (HP14), hvorfor det ved håndtering skal sikres, at der ikke er mulighed for udledning til miljøet.

Baseret på den målte brændværdi, er aminslammet forbrændingsegnet. Håndtering af aminslam i forbindelse med forbrænding rummer en række praktiske aspekter, der bør undersøges og karakteriseres nærmere, således at den praktiske håndtering ikke på et senere tidspunkt giver ubehagelige oplevelser. Det anbefales derfor på den baggrund, at der foretages nærmere undersøgelser og karakterisering af aminslammet, hvor bl.a. følgende forhold indgår:

- Lagerstabilitet ved at teste for sedimentering ("ren" form og fortyndet)
- Bundfældning og udfældning af forskellige faser. Dette kunne evt. bestemmes ved farveforskelle eller med si. (sedimenter faste stoffer, polymere forbindelser etc.)
- Temperatur følsomhed (hvorledes påvirker temperaturen lagerstabiliteten og slammets egenskaber)
- Påvirkes slammets egenskaber af evt. neutralisering
- Viskositet og andre fysiske egenskaber ved forskellige vandmængder