

A Novel Electroscrubbing Process for Gas Cleaning

Ph.d.-afhandling af Sebastian Nis Bay Villadsen, Postdoc ved Danmarks Tekniske Universitet.

Mail: snbvi@mek.dtu.dk, telefon: 29 45 37 66. Forfattet 28. januar 2020.

LUGTFRI BIOGAS

Min ph.d.-afhandling går ud på at fjerne lugt med strøm. Helt konkret blev jeg sat til at udvikle en ny proces til at fjerne svovl fra biogas. Jeg blev ansat på et projekt der handlede om at anvende biogas på en ny måde. Dette krævede at biogassen blev rensede grundigere end hvad man var vant til. Ifølge projektet skulle den nye proces desuden overholde en række krav, nemlig:

- Den måtte ikke lave affald
- Den skulle rense biogassen fuldstændigt
- Den skulle være klar til at blive testet inden for *et år*

Det lykkede at udvikle processen så den overholdte alle kravene. Første succesfulde forsøg skete efter 1,5 måned og anlægget var klar til test inden for et år. Dette er uhørt hurtigt. Ikke nok med det, resultaterne tyder på, at processen er billigere end de konkurrerende processer. I kølvandet på min ph.d. starter vi et nyt projekt med et budget på 22 mio. kr. Her er målet at teste processen i fuld skala inden for de næste tre år.

ANVENDELSE AF BIOGAS; POWER-TO-X

Biogas består af cirka 2/3 metan og 1/3 CO₂. Gassen kommer fra genanvendelsesanlæg og gårdanlæg, og er en grøn energikilde. Som udgangspunkt er metanen det værdifulde i biogassen. I dag anvendes biogas primært til at lave elektricitet og varme. Der findes dog også en række biogasanlæg, der opgraderer biogassen. Opgradering af biogas foregår i dag ved, at man fjerner CO₂-indholdet. Dermed står man med en ren metangas, der kan bruges i naturgasnettet.

Forskere arbejder imidlertid på at udvikle andre former for anvendelse af biogas. Biogas har en specielle egenskaber, der giver mulighed for spændende anvendelser. Det specielle ved biogas er først og fremmest at det er en grøn energikilde, som er baseret på kulstof. Det betyder, at biogas er som kulstofkilde til produktion af syntetiske brændstoffer. For at lave syntetiske brændstoffer skal biogassen igennem katalytiske processer og tilføres energi i form af brint. Denne anvendelse af biogas som kulstofkilde til syntetiske brændstoffer kalder forskere for anden-generations (2G) opgradering af biogas.

MEGA-STORE PROJEKTET

2G-opgradering af biogas var temaet i MeGa-StoRE projektet. Projektet gik ud på at lave: **Methane Gas for Storage of Renewable Energy** (MeGa-StoRE). Dette blev gjort i et samarbejde mellem DTU og virksomhederne Elplatek, Greenhydrogen.dk og Nature Energy, med support fra ForskEL/EUDP¹.

Det overordnede formål med projektet var at bruge CO₂'en i biogas til at lave syntetisk naturgas. I dag udeledes der store mængder CO₂ fra biogasanlæg. I dette projekt ville vi vise, at man kan bruge CO₂'en til at lave syntetiske brændstoffer. Ikke bare i laboratoriet, men ude på et rigtigt biogasanlæg med rå biogas.

¹ Journalnummer: 12393.

BIOGASRENSNING

Første trin i anvendelsen af biogas er at rense biogassen. Det gælder først og fremmest om at fjerne svovlbrinte (H_2S). Uanset hvad man bruger biogas til, så skal H_2S fjernes. Udover at være meget giftig for mennesker, så er H_2S også svært korrosivt. Stort set alt udstyr, der kommer i kontakt med den rå biogas bliver beskadiget på grund af H_2S .

Biogassen skal renses ekstra grundigt hvis man vil lave syntetiske brændstoffer. H_2S er nemlig gift for de katalysatorer man bruger til processen. Derfor var en vigtig del af MeGa-StoRE-projektet at udvikle en ny måde at rense biogas på. Gudskelov havde projektpartnerne en god ide. Biogassen skulle renses ved at bruge en kombination af strøm og kemi; såkaldt elektrokemi. Processen var ny og banebrydende og ingen i industrien lavede noget lignende.

Jeg blev som nyuddannet civilingeniør præsenteret for denne ide. Der var ingen tvivl om at ideen var god, og jeg sagde ja tak til stillingen som ph.d.-studerende. At få lov til at starte fra bunden med en helt ny proces var en drømme-ph.d. for mig. På den måde kunne jeg selv vælge hvad jeg fandt interessant. Drømme-ph.d.'en kom dog med en enkelt hage: Processen skulle være klar til pilottest 8,5 måned efter jeg startede.

BILTEMA & HARALD NYBORG

Litteraturstudie og kurser. En ph.d.-studerende starter ofte med et 6-måneders langt litteraturstudie og tager undervejs kurser for at udbygge sin viden. Med en baggrund i fysik og materialer kunne jeg godt bruge at få frisket min kemividen lidt op. Takket være den ambitiøse tidsplan havde jeg dog ikke 6 måneder til litteraturstudie og kurser. Faktisk havde jeg slet ikke tid til noget som helst andet end at starte mine forsøg.

Mit ph.d.-studie startede med at jeg cyklede i Biltema og købte kloakrør. Laboratoriet jeg var tilknyttet havde ikke gasrensningsudstyr stående, så jeg byggede mit eget. Fokus var på hurtigst muligt at få stablet en forsøgsopstilling på benene. Dette blev gjort ved at bruge let tilgængelige og billige komponenter:

- I stedet for kemiske reaktorer af stål og glas brugte jeg kloakrør af plastik.
- I stedet for specielle dyser og rør brugte jeg et billigt brusehoved og en haveslange.
- I stedet for avancerede fyldlegemer med optimerede overfladeareal brugte jeg LECA-nødder.

Som materialeingeniør vidste jeg at polymere og keramiske materialer var gode til at håndtere H_2S . Derfor synes jeg ikke der var brug for at købe dyre, specialdesignede kemi-opstillinger. Jeg havde desuden ikke tid.

SOUR POWER CLEANING TOWER

I værkstedet fik jeg hurtigt strikket en gasskrubber sammen. Princippet i en gasskrubber er, at en gas bliver vasket med en væske. Dette foregår i et såkaldt skrubbetårn, som jeg lavede af et kloakrør. Væsken bliver spredt med bruseren udover LECA-nødderne inden i tårnet. Gassen kommer ind i bunden og ud af toppen af tårnet. Ideen er så, at væsken fjerner en bestemt urenhed i gassen fordi denne urenhed bliver absorberet i væsken. I bunden af skrubbere lavede jeg en elektrokemisk celle. Den bestod af to stykker kul stukket ned i væsken. De to stykker kul var tilkoblet en strømforsyning så jeg kunne sætte strøm til væsken. Tårnet og den elektrokemiske celle udgør tilsammen en såkaldt elektrokrubber.

H_2S er en sur gas. Når den bliver opløst i en væske laver den en syre. For at genskabe væske som den var før skal den opløste svovl oxideres og fjernes fra væsken. Dette sker i den elektrokemiske celle. På den måde bruger man indirekte strøm til at fjerne svovl fra gas. Med fire ord kan man beskrive processen: *sour, power, cleaning tower*. En sur væske bruger elektricitet til at rense biogas i et skrubbetårn.

"HVAD SKAL VI NU LAVE DE NÆSTE TRE ÅR?"

Jeg havde en teoretisk forståelse af hvor meget strøm, der skulle til at rense gassen. Men jeg havde ingen ide om hvor meget strøm, der faktisk skulle til i virkeligheden. Ligeledes var der en række andre parametre jeg havde måtte gætte mig til. Disse parametre inkluderede tryk, temperatur, højde og bredde af skrubberen, koncentration og mængde af både gas og væske. Der skrives tykke bøger om hvordan man skal designe sit skrubbertårn. Jeg havde imidlertid ikke haft lejlighed til at læse dem.

Første forsøg startede med at mætte systemet. Det vil sige at jeg lukkede H_2S ind i systemet uden at have tændt for strømmen. Jeg målte så hvor meget H_2S der kom ind og ud. Når jeg målte det samme på udgang som på indgangen så var systemet mættet. Efter mere end to timer var systemet endeligt ved at være mættet, og jeg tændte derfor for strømmen.

Den første måling kom efter 20 min. og konklusionen var klar; H_2S blev fjernet. Ikke det hele, men mærkbart meget. Jeg ventede på en måling mere. Samme resultat. Cirka 25 % af H_2S 'en blev fjernet. Forsøget havde kørt i mere end tre timer og tålmodigheden løb fra mig. Jeg skruede et godt stykke op for strømmen og nu blev over 90 % af H_2S 'en fjernet. Det første forsøg var en bragende succes.

Jeg præsenterede stolt de første resultater til min vejleder. Han reaktion var: "Det er ikke godt det her!" Jeg spurgte ham undrende hvad han dog mente og han svarede "Hvad skal vi nu lave de næste 3 år?"

VINKESLIBER & SKRUEMASKINE

Det var lykkedes mig at få første succesfulde resultat fra en hjemmebygget opstilling efter 1,5 måned. Allerede 7 måneder senere var jeg klar til de første pilotforsøg på et rigtigt biogasanlæg. Den nye opstilling var 50 gange så stor som den i laboratoriet. Forsøgene på den rå biogas bekræftede hvad jeg havde observeret i laboratoriet; H_2S blev fjernet kun ved brug af strøm.

Takket være den ambitiøse tidsplan havde jeg tid til en runde mere. Efter en grundig analyse af mine data og en række supplerende kurser på DTU byggede jeg en ny og forbedret version af elektrokrubberen. Frem igen med vinkesliberen og skruemaskinen! Den nye opstilling blev gjort fuldautomatisk og designet til kun at skulle serviceres en gang om ugen. Resultaterne stemte overens med de tidligere forsøg og laboratoriet. Konklusionerne på forsøgene var klare:

- **H_2S bliver fjernet.** Med en korrekt mængde strøm var der så lidt H_2S i den rensede gas at jeg ikke kunne måle noget.
- **Processen er fleksibel.** Rå biogas svinger i koncentration og det gør H_2S derfor også. Ved at ændre på strømmen kan processen justeres til at følge med i ændringen i den rå biogas.
- **Ingen affald.** H_2S bliver splittet til elementært svovl (S) og brint (H_2). Svovlet filtreres fra væsken og kan bruges som gødning. Professor Jørgen Eriksen fra institut for agroøkologi ved Aarhus Universitet fortalte at svovlet kunne betegnes som økologisk gødning, hvilket i dag er forholdsvis dyrt. Brinten er heller ikke et affaldsprodukt. Hvis biogassen skal konverteres til syntetiske brændstoffer kræver det brint. Derfor kan brinten passende blive i biogassen.
- **Processen er billig.** Processen bruger kun strøm. Det er derfor forholdsvis let at finde ud af hvor meget det koster at få fjernet svovlet. Hvis man sammenligner strømforbruget med H_2S -mængden står det klart, at processen er billig. Faktisk var de ikke-optimerede forsøg jeg lavede billigere end selv den billigste teknologi på markedet. Det forventes, at en optimeret elektrokrubber bliver væsentligt billigere.

BE-CLEAN-PROJEKTET

Processen viste lovende takter. Derfor valgte jeg at skrive en ansøgning til Energistyrelsen om støtte til videre arbejde. Tanken var, at processen vil være med til at hjælpe biogassektoren i Danmark. Billigere og bedre rensning vil komme alle anlæg til gode, uanset hvad man bruger biogassen til. Derfor synes jeg det var en god ide at få processen ud af laboratoriet og ind op biogasanlæggene. Det synes Energistyrelsen også.

Biogas Electro-Cleaning (BE-Clean) projektet med et samlet budget på små 22 mio. kr blev støttet². Formålet med projektet bliver, at vi om tre år skal have en fuldskala demonstrationsmodel af min elektrokrubber. De to danske virksomheder Elplatek og Union står for at bygge demonstrationsmodellen. De får support af Dansk Gasteknisk Center. DTU er også med i projektet. Her skal en ny ph.d. arbejde videre med processen. Der er mange aspekter af processen vi endnu ikke forstår i detaljer. Jeg glæder mig meget til at vejlede den næste ph.d.-studerende.

BIOGAS I FREMTIDEN

Biogasindustrien i Danmark er en af verdens mest avancerede. Håbet med den nye proces er, at vi kan være med til fortsat at have Danmark i spidsen. Både så vi selv kan blive mere grønne, men også så vi kan hjælpe andre med på vejen. Videreudvikling af biogasproduktionen er den mest oplagte måde at gøre både dansk og internationalt landbrug grønt. Der findes mere end 12.000 biogasanlæg i Europa, og alle har brug for gasrensning.

Anvendelsesmuligheder af biogas bestemmes af rensningen. Rå biogas kan ikke bruges til andet en flaring. Let rensset biogas kan bruges i en motor, men den ruster motoren over tid. Opgraderet biogas kan komme i naturgasnettet. Drømmen er, at biogas rensset med den nye proces kan bruges til at lave bæredygtige syntetiske brændstoffer. Hvis BE-Clean projektet lykkes, så går der ikke længe inden vi kan flyve på ko-prutter.

² Journalnummer: 64019-0601, støttet af EUDP.