

# Aske med eksplosionsfare

Metallisk aluminium i aske fra affaldsforbrændingsanlæg kan reagere med vand og udvikle brint. Det kan medføre eksplosionsfare i rum med begrænset ventilation.

Af Frank Huess Hedlund

I februar 1983 skulle en ansat på et japansk affaldsforbrændingsanlæg løsne noget sammenkittet flyveaske, som blokerede for fri passage til askegraven. Han gik op på et galleri, åbnede en inspektionslem og begyndte at bearbejde blokeringen med en metalstang.

En pludselig eksplosion slyngede ham ud over kanten, så han styrtede 7,5 meter ned. Han blev fundet med forbrændinger i ansigtet og alvorlige kvæstelser, herunder en brækket ryg, som betød, at han blev lam i den nedre del af kroppen.

## Emerging risks

Det japanske affaldsforbrændingsanlæg

var helt nyt. Det var taget i drift marts 1982 og havde således knapt været i drift i et år. Det modtog almindeligt husholdningsaffald, men der var over tid sket ændringer både i affaldets sammensætning og i myndighedernes krav til miljøanlæg til rensning for sure røggasser. Disse ændringer medførte, at der opstod nye faremomenter ved askehåndteringen.

Den japanske ulykke er derfor interessant som precursor i et såkaldt "emerging risk" perspektiv. Emerging risks er risici, som ikke tidligere eksisterende, men opstår som følge af den almindelige udvikling i samfundet. Der er ingen tvivl om, at vores samfund som følge af øget velstand er blevet mere og mere sikkert; her forstået som fravær af samfunds-

## ■ Serie om ulykker med farlige stoffer

Der er foregået en del ulykker i Danmark. Men der er ikke tradition for efterforskning og systematisk vidensdeling. Med ganske få undtagelser er dyrt høstede erfaringer i fare for at blive glemt.

Santayana har sagt, at de, der ikke kender historien, er dømt til at gentage den.

Artiklen er nummer 17 i en serie, som vil råde bod på denne sorte plet ved at beskrive tidligere hændelser udvalgt for deres læringspotentiale.



Foto: Wikimedia Commons

Flyveaske er den finkornede askefraktion, som føres med af forbrændingsluften/røggassen. Tidligere blev asken udskilt i elektrofiltre, men mange anlæg er gået over til posefiltre, da de er mere effektive. Dette foto viser flyveaske fra et kulfyret kraftværk, en askefraktion som er værdifuld som blandekomponent ved fremstilling af cement.

skabte skadelige påvirkninger, altså bedre arbejdsmiljø, mindre nedslidning, færre skadelige kemikalier og renere ydre miljø. Aaron Wildavsky har meget rammende udtrykt dette som *Richer is safer* [1]. Men selvom man kunne fristes til at tage denne positive udvikling for givet, vil det være en misforståelse at tro, at det er en naturlov. Udviklingen går ikke altid den rigtige vej. Der opstår også nye risici.

Ifølge forskellige teorier for risikomanagement [2] manifesterer sådanne nye risici sig ofte som mindre hændelser, såkaldte precursors, i den tidlige fase. Sådanne precursors omtales ofte om såkaldt svage signaler, selvom signalerne nogle gange næppe kan siges at være helt så svage endda. Men de viser altså, at nye dårligt forståede farer melder deres ankomst. Risikomanagement af emerging risks lægger derfor vægt på årvågenhed, så signalet identificeres korrekt som en precursor, en tilbunds-gående opklaring af hændelsen, så man kan kortlægge dens årsager, hvilket giver mulighed for at imødegå de nye farer på et tidligt tidspunkt, inden de når at lave for megen ravage.

I en ideel verden behøver nye farer derfor kun melde deres ankomst en enkelt gang. Så bliver de grundigt under-

søgt, og forebyggende foranstaltninger indført, så det effektivt forhindres, at hændelserne gentager sig. I praksis er forløbet desværre sjældent så smukt. Der er en række eksempler på, at viden fra meget alvorlige ulykker, altså smertelige erfaringer lært på den hårde måde, viser sig at gå tabt på grund af mangelfuld registrering, overfladisk opklaring, utilstrækkelig deling af erfaringer og almindelig glemsel<sup>1</sup>.

Det har været et underliggende tema for mange af de tidligere artikler i denne serie i Dansk Kemi. Dette indlæg er ingen undtagelse.

Jeg kan selvfølgelig tage fejl, men mine samtaler med kemikere på nogle danske forbrændingsanlæg viser, at en påstand om, at aske under visse omstændigheder kan danne hydrogen, ikke sådan bare lige uden videre bliver taget for gode varer. Jeg har vel at mærke fuld forståelse for en sådan skepsis, for jeg afviste selv muligheden, temmelig kategorisk endda, første gang jeg blev præsenteret for den. Selvom der er anekdotisk evidens for småeksplosioner ved askehåndtering på danske anlæg, ligger branchens kendskab til disse hændelser bestemt ikke allerøverst i de arkæologiske lag af erindringer.

### Den japanske ulykkesopklaring i 1983

De første ulykkesundersøgelser på det japanske affaldsforbrændingsanlæg fulgte et ret klassisk forløb<sup>2</sup>. Man kunne ikke umiddelbart fastslå årsagen til eksplosionen, og konklusionen var derfor, at det måtte være den ansattes (skadelidtes) egen uforsigtighed. Han anlagde

derefter en civilretlig erstatnings sag mod både leverandøren af anlægget og operatøren.

Skadelidtes advokat indkaldte Hiroshi Takatsuki fra universitetet i Kyoto som ekspertvidne. En af hans første prioriteter var at undersøge askens sammensætning. Røntgendiffractionsanalyser viste overraskende, at der var metallisk aluminium til stede i akse, Takatsukis arbejdshypotese var herefter, at metallisk aluminium havde reageret med vand i den befugtede akse og dannet hydrogen. De første laboratorieforsøg var dog ikke overbevisende. Et prøveemne udskåret fra en aluminiumsdåse og opvarmet i en ovn til 800°C for at genskabe betingelserne i forbrændingsovnen udviklede kun beskedne mængder hydrogen i vand. Leverandøren af det nye affaldsforbrændingsanlæg insisterede også, at alle metalliske forbindelser (oxidationstrin nul) i det indfyrede affald, herunder metallisk aluminium, ville blive oxideret fuldstændigt ved passage gennem ovnen. Skadelidte tabte derfor erstatnings sagen.

### Metallisk aluminium i basisk aske

Domsafgørelsen blev anket, og Takatsuki fortsatte sine undersøgelser. Kort fortalt ræsonnerede han, at affalds- og røggassammensætningen havde ændret sig over tid. Der havde siden 1960'erne været en stigning i mængden af metallisk aluminium i det indfyrede affald på grund af den øgede brug af alufolie, langtidsholdbare emballager med aluminium, og senere også alubakker, etc. Der var også mere PVC i affaldet, som

ved forbrænding nedbrydes til HCl. Da der samtidig var et stigende internationalt fokus på at reducere problemer med sur nedbør, var det nye japanske anlæg udstyret med en røggasrensingsproces med tilførsel af dolomit, en bjergart med et højt indhold af calcium-magnesiumcarbonat  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  for at fjerne de sure luftarter.

Ved tilførsel af dolomit i støkiometrisk overskud vil nogle af de overskydende reaktanter kalcinere - de fraspalter  $\text{CO}_2$  og bliver til metaloxider, som ved efterfølgende kontakt med vand danner hydroxid, en stærk base. I forbrændingsanlæg af fluid bed typen kan emner med et højt overflade-/vægtforhold, for eksempel aluminiumsfolier, let blive revet med af forbrændingsluften, så opholdstiden er kort og forbrændingen ufuldstændig. Derfor er der mere metallisk aluminium i flyveasken fra fluid bed anlæg end fra anlæg med ristefyring.

Metallisk aluminium kan reagere med vand på trods af, at aluminium (og for eksempel zink) i fugtig luft er væsentligt mere korrosionsbestandigt end jern. Metallet reagerer omgående med ilt og danner et ganske tyndt lag af oxider kun få Ångstrøm tykt, som effektivt beskytter mod yderligere oxidation. Passiveringslaget er stabilt ved neutralt pH, men nedbrydes af syrer og baser. Laget er faktisk så stabilt, at metallisk aluminium ved neutralt pH i visse tilfælde kan overleve turen gennem en forbrændingsovn.

Ved opfugtning bliver asken basisk grundet reaktionen med metaloxider. Ved pH større end cirka 9 sker der en begyndende nedbrydning af passiveringslaget, for eksempel

<sup>1</sup> I dansk sammenhæng er dødsulykken på en træpillefabrik i Aars et skoleeksempel på, at ulykker gentager sig, hvis opklaringen er overfladisk [8]. Fejlagtig anvendelse af flydende kuldioxid til bekæmpelse af glødebrande i træpillelagre er et godt eksempel på, at viden fra storulykker kan blive glemt [9].

<sup>2</sup> Vi så det samme forløb i Danmark, da en lastbilchauffør omkom under afhentning af syreaffald hos en producent af minkfoder. Først efter 1½ års efterforskning kom politiet frem til, at det ikke skyldtes chaufførens egen uforsigtighed [10].

Stand 24  
 LabDays 2022  
 7. og 8. sep. i Kbh.



## HAR DU BRUG FOR PRÆCIS DOSERING?

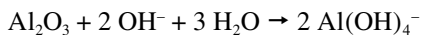
HOS OS FINDER DU ET STORT UDVALG AF PUMPER OG LABORATORIEUDSTYR TIL ATTRAKTIVE PRISER

Kontakt os hvis du har spørgsmål eller brug for hjælp til at finde den rette løsning.

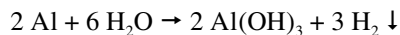
info@drifton.dk  
Telefon 3679 0000

Se hele udvalget på webshoppen [www.drifton.dk](http://www.drifton.dk)



Derved blotlægges metallisk aluminium, som reagerer med vand og reducerer det til hydrogen. Der er flere reaktionsvarianter, for eksempel



Reaktionerne er eksoterme.

Takatsukis nye forsøg med flyveasken fra forbrændingsanlægget viste kraftig udvikling af brint og et tydeligt forbrug af ilt. I en lukket beholder målte Takatsuki en gassammensætning på 20 vol% hydrogen og 10 vol% oxygen. Da hydrogens nedre antændelsesgrænse er på 4 vol%, vil der kunne dannes antændelige blandinger. Iltforbruget overraskede ham. Med disse undersøgelser i hånden blev ankesagen vundet, 11 år efter ulykken var sket.

Ovenstående beskrivelse må tages med visse forbehold. Kildeteksten er på japansk [3], og selvom Google Translate på fænomenal vis kan tyde det rene volapyk, kan det være lidt vanskeligt at følge med i maskinoversættelsen. Men hvis man accepterer, at "alkohol" i virkeligheden betyder metaloxider, at "forsuring" betyder oxidation og "vandgas" er hydrogen, så passer det med konteksten i artiklen. Og når Takatsuki skriver, at han endelig fik flækket krabben, så må det svare til, at vi herhjemme får knækket nødden. Det piner dog Takatsuki, at han ikke har en god forklaring på, hvorfor atmosfæren bliver iltfattig. Han må give stafetten videre, eller med hans egne ord: Andre må overtage kosten.

## Andre uheld i Japan

Takatsuki lader til at være den første, som beskæftiger sig med eksplosionsfare forårsaget af metallisk aluminium i asken fra forbrændingsanlæg af husholdningsaffald. Ulykken i 1983 skete på et fluid bed anlæg med tør røggasrensning.

En anden japansk ulykke med eksplosion skete i 1995 på et affaldsforbrændingsanlæg for husholdningsaffald, hvor en eksplosion i en "askebunke" slyngede varm aske ud over tre ansatte. Eksplosionen skete i forbindelse med knusning af askeklumper og efter, at de havde oversprøjtet asken med vand. Den ene omkom og de to andre kom alvorligt til skade. Det pågældende anlæg anvendte ristefyring, ikke fluid bed [4]. Det er nok rimeligt at formode, at der må være tale om bundaske, altså slagge. Samme artikel oplyser, at der på andre japanske forbrændingsanlæg for husholdningsaffald ikke helt sjældent forekom såkaldt



Foto: Anon.

Slagge (bundaske) fra et forbrændingsanlæg med ristefyring, hvor føden til dels består af industriaffald. Selvom slaggen har passeret en sold for at fjerne større emner, for eksempel hjulkapsler og andre metaldele, er det tydeligt, at sammensætningen er heterogen og stærkt afhængig af sammensætningen af det indfyrede affald.

"mindre eksplosioner", formentlig forårsaget af brintudvikling.

## Porebeton

Affaldsforbrændingsanlæg producerer betydelige mængder aske og slagge og det har været en prioritet at forsøge at nyttiggøre fraktionerne i stedet for at lægge dem i deponi. I Tyskland anvendes nogle af disse fraktioner ved fremstillingen af tørmørtel. I 1990 beskrev en tysk artikel, at denne mørtel efter tilsætning af flyveaske i visse tilfælde var begyndt at svulme op [5]. Ved mikroskopi af asken kunne der konstateres små klumper af metallisk aluminium. Årsagen til opsvulmningen var reaktionen mellem metallisk aluminium og den basiske mørtel, som udviklede hydrogen. Deres argumentation var den samme som Takatsukis:

1) Husholdningernes stigende forbrug af alufolie, industriens stigende anvendelse af alufolie i emballager, som spærrelag i for eksempel juicekartoner samt som temperaturbestandig emballage i færdigretter, 2) at denne aluminium ender i affaldsfraktionen, som går til forbrænding, samt 3) den korte opholdstid af alufolier i fluid bed anlæg.

Men det burde på ingen måde komme som en overraskelse, at metallisk aluminium udvikler brint i basisk miljø, bemærker tyskerne. For det har længe været udnyttet ved produktion af porebeton, som netop fremstilles ved at tilsætte cirka 0,2 vægtprocent aluminiumspulver til en betonblanding. Det dannede hydrogen får betonen til at skumme op, hvorefter den udskæres i blokke og stilles til efterhærdning. Der er ikke hydrogen i de

salgsfærdige blokke, for opskunningsmidlet hydrogen forsvinder hurtigt ved simpel diffusion. Men, skriver tyskerne, der bør sikres god ventilation ved produktionsprocessen. Den svenske Wikipedia oplyser, at processen blev udviklet i den lille svenske by Yxhult, hvilket har inspireret til handels- og firmanavnet Ytong, et velkendt handelsnavn på markedet for porebeton.

## Andre erfaringer

I Danmark blev der i begyndelsen af 1990'erne foretaget udvaskningsforsøg for at undersøge sammensætningen af perkolatet ved udludning af flyveaske fra forbrændingsanlæg med våd røggasrensning. Ved forsøgsrækken blev der konstateret gasudvikling, når asken blev udludet - det var brint, eller knaldgas - som måtte udluftes fra prøveflaskerne af plast for at undgå, at de revnede [6].

I New Hampshire, USA, blev der i 1997 rapporteret om brintudvikling i et deponi, der modtog bundaske og flyveaske. Deponiet var udført med et drænsystem i bunden til opsamling af perkolat. I disse rør blev der målt over 5 vol% hydrogen, altså over hydrogens nedre antændelsesgrænse på 4 vol%. Man var ikke uvant med forekomst af metan og andre brændbare gasser, men hydrogen var en ny fare, som forøgede risikoen [7].

I Danmark er der anekdotiske oplysninger om to eksplosioner i forbindelse med askehåndtering. Begge skete i 1990'erne. Den første skete ved transport af flyveaske i en snekketransportør, hvor en roterende spiralformet skrue fører materialet frem inde i et rør. For



at forebygge støvdannelse var asken befugtet inden transport. På grund af et produktionsstop havde asken opholdt sig i transportøren i nogen tid. Ved genstart skete der en "eksplosion". Ingen kom til skade. Årsagen mentes at være en ansamling af hydrogen dannet under produktionsstopet. Antændelseskilden blev formodet at have været friktion mellem skrue og rør, evt. hvis der havde været et lille fremmedlegeme til stede. Løsningen var bedre udluftning. Det er den eneste danske hændelse, hvor der findes en skriftlig kilde, omend beskrivelsen er temmelig rudimentær, men der tales om eksplosioner i flertal [6]. Detaljerne fremkom ved en telefonisk forespørgsel til forfatteren, som oplyste dem efter hukommelsen. På det pågældende anlæg er hændelsen gået i glemmebogen, der er ikke længere folk på stedet med erfaringer fra den tid. Jeg har ikke kunnet finde andre, som har hørt om hændelsen.

Den anden hændelse skulle være sket, da frisk bundaske (slagge) blev opbevaret i et lukket rum. Uden varsel skete der en eksplosion, hvorved askeklumper blev slynget ud med så stor kraft, at der kom store buler i en metalport. Flere personer har oplyst, at de har set fotos af bulerne i porten. Disse fotos har dog ikke kunnet fremskaffes.

Løsningen var at opbevare den friske slagge under åben himmel. Efter det oplyste ligger den nu og "modner" i op til 4-6 måneder, inden endelig bortskaffelse.

Det er også usikkert, om der var tale om dannelse af hydrogen. Flere personer mener at have hørt, at der muligvis kunne være tale om fosfin. Personligt finder jeg det overordentligt vanskeligt at tro, at aske af enhver art skulle kunne danne fosfin, og jeg er mest tilbøjelig til at tro, at der er tale om en vandrehistorie af uklar oprindelse, en såkaldt urban legend. Men da jeg som tidligere nævnt også kategorisk havde afvist, at flyveaske skulle kunne danne hydrogen, er det nok klogest at undlade at udtale sig om dette. Bundakse (slagge) har en helt anden sammensætning end flyveaske. Folk i branchen har oplyst, at smeltet aluminium kan løbe igennem forbrændingsanlæggets risteværk, hvis der er mange engangsdauser i affaldet. Og aluminium er nu engang et reaktivt metal.

På den anden side af Øresund har gasudvikling i forbindelse med håndtering af aske fra affaldsforbrændingsanlæg givet anledning til en række eksplosioner. I ingen af tilfældene har årsagen kunnet bestemmes med sikkerhed, men formodningen har været, at det skyldtes udvikling af brint. Svenskerne har også haft hændelser med eksplosion ved opbe-

## ■ Lidt terminologi - affaldsforbrændingsanlæg

Der findes to hovedtyper af affaldsforbrændingsanlæg. Ved ristefyring skubber ledeplader materialet rundt på et risteværk. Ved fluid bed fyring neddeles affaldet, inden det blæses ind i et varmt leje af sand, der holdes fluidiseret af en kraftig vertikal strøm af forbrændingsluft.

Der findes også to typer af røggasrensning for sure luftarter. En tør og en våd proces. Ved den tørre proces indblæses en basisk slurry, for eksempel læsket kalk, direkte i røggassen. Vandet fordamper og aske og overskud af reaktant fjernes i filtre. Ved denne proces udskilles flyveasken altså ikke forud for røggasrensningsprocessen, og den findes derfor i røggasrensningsproduktet sammen med reaktionsprodukterne og overskydende reaktanter. Ved den våde proces udskilles flyveasken i pose- eller elektrofiltre forud for røggasrensningsprocessen, som typisk er en serie gasscrubbere, hvor røggas og scrubbervæske mødes i modstrøm.

På moderne anlæg fjernes dioxin også fra røggassen. Det gøres typisk ved indsprøjtning af aktivt kul i den varme røggas, som adsorberer dioxin og derefter fjernes i posefiltre samme med flyveasken. Posefiltre er mere effektive end elektrostatiske filtre, men de tåler ikke temperaturer over cirka 180°C. Røggassen køles derfor først i en varmeveksler. Desuden indsprøjtes en slurry, eksempelvis af kalk eller dolomit, som ved fordampning køler røggassen lidt, men primært fungerer som filterhjælp for at forbedre filterkagens egenskaber i posefiltrene.

Endelig skelnes mellem flyveaske og slagge. Flyveaske, eller blot aske, føres med røggassen og fjernes fra denne. Slagge er den faste fraktion, som forlader ovnen. Den omtales nogle gange som bundaske.

Det japanske anlæg i 1983 var af fluid bed typen og anvendte en tør røggasrensningsproces. Indfyringskapaciteten var 2x50 t/d og på ulykkestidspunktet kørte anlægget otte timer om dagen. Ulykkesasken kom fra et elektrostatiske filter.

I Danmark blev rensning af røggas fra affaldsforbrændingsanlæg for sure luftarter obligatorisk fra juli 1992.

varing af slagge i lukkede rum og udkast af slaggeklumper. Enten har vi i Danmark været heldigt forskånet for disse hændelser, eller også har svenskerne et mere finmasket rapporteringssystem.

Endelig må det nævnes, at vi i Aalborg Havn har haft en alvorlig eksplosion af hydrogen i lastrummet på skibet Sierksdorf, som sejlede med en last af slagge, der kom fra et anlæg til behandling af aluminiumsholdigt affald. Flere besætningsmedlemmer kom til skade, heraf en meget alvorligt. Skibets skrog blev så beskadiget af eksplosionen, at det kort efter sank i havnen. Denne hændelse bliver emnet for en anden artikel.

## Epilog

Artiklen er skrevet som frivilligt arbejde. Jeg udtaler mig som privatperson, ikke på vegne af mine arbejdsgivere eller andre.

Frank Hedlund (ph.d.) er risikoe ekspert i Cowi og ekstern lektor på DTU i risk management.

E-mail:

Frank Huess Hedlund: fhhe@cowi.com

## Referencer

1. A.B. Wildavsky, Searching for Safety. New Brunswick, NJ, USA: Social Philosophy and Policy Center, and Transaction Publishers, 1988.

2. J.R. Phimister, V.M. Bier, and H.C. Kunreuther, Accident precursor analysis and management: The National Academies Press, 2004.
3. H. Takatsuki, "Conclusions drawn from an accidental explosion at an ash bunker (集じん灰バンカー爆発事故の教訓)," J. Waste Sci. (廃棄物学会誌), vol. 5, no. 5, pp. 441-448, 1994.
4. S. Mizutani, S. Sakai, and H. Takatsuki, "Investigation of hydrogen generation from municipal solid waste incineration fly ash," J. Mater. Cycles Waste Manag., 2(1):16-23, 2000, doi: 10.1007/s10163-999-0016-3.
5. R. Oberste-Padberg and K. Schweden, "Zur Freisetzung von Wasserstoff aus Mörteln mit MVA-Reststoffen," Wasser, Luft und Boden Umwelttechnik für Ind. und Kommune, vol. 6, pp. 61-62, 1990.
6. O. Hjelmar, "Stofudvaskning fra flyveaske fra affaldsforbrændingsanlæg. Rapport til Miljøstyrelsen," VKI, Hørsholm, Danmark, 1993.
7. C.N. Musselman, W.A. Straub, J.N. Bidwell, J.E. Carpenter, and J.R. Preshler, "Gas generation at a municipal waste combustor ash monofill - Franklin, New Hampshire," Proceedings of the Air and Waste Management Association's Annual Meeting and Exhibition. Air & Waste Management Assoc, 1997.
8. F.H. Hedlund, "Støvekspllosion ødelægger dansk træpillefabrik - igen," Dansk Kemi, 95(10):14-16, 2014.
9. F.H. Hedlund, "Kuldioxid er uegnet til kvælning af glødebrande," Dansk Kemi, 99(1):16-19, 2018.
10. F.H. Hedlund, "Affald er aldrig veldefineret - udvikling af kulilte årsag til dødsulykke," Dansk Kemi, 102(2): 20-25, 2021.