

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Inst för Energiteknik
412 96 GÖTEBORG

ERFARENHETER AV VÅTOXIDATION VID
HÖGA TEMPERATURER OCH TRYCK

Rapport nr A82-112

Anders Lyngfelt

Februari 1982

Denna rapport har delvis finansierats av Nämnden för
Energiproduktionsforskning, projekt 1360 651 Våtoxidation,
CTH.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Summary	1
Inledning	2
Anläggningsbeskrivning APPM	4
Champion	9
Övriga anläggningar	10
Var finns kunskap idag?	11
Våtoxideration av torv	12
Slutsats	14
Referenslista	15

Bilagor

SUMMARY

The possibility of producing power from a wet air oxidation of peat is evaluated. Experiences from commercial plants performing wet air oxidation with a substantial degree of COD-reduction are reported. It is concluded that such a process is technically feasible.

INLEDNING

Våtoxideringsprocessen är känd sedan länge. Men det var först på 50-talet som man försökte använda den i samband med energi-produktion. Intresset för detta avtog dock med sjunkande oljepriser. Processen kom att användas i första hand för att göra avloppsslamm sterilt och lättavvattnat, men även för destruktions av mera speciella avfall i vattenlösning. För närvarande finns runt om i världen över 200 våtoxideringsanläggningar som destruerar avfall i olika former. Ett mycket begränsat antal arbetar vid de höga temperaturer som krävs för att uppnå fullständig förbränning. Någon erfarenhet av våtoxidering av torv i kommersiell skala finns inte.

Denna rapport är en del av ett underlag för bedömning av våtoxidering av torv i en process avsedd för kraftproduktion. Rapporten redovisar de erfarenheter som finns av våtoxidering vid höga temperaturer och tryck, dvs processer för höga oxidationsgrader (>70 - 80 %). Processer med låga oxidationsgrader, partiell våtoxidering, används för framställning av bränsle. Sådana processer berörs i förbigående men omfattas egentligen inte av rapporten. Anläggningar som arbetar vid så höga tryck och temperaturer att en fullständig (>95 %) förbränning uppnås har bedömts som mest intressanta att studera, dels eftersom en lägre temperaturnivå ger en sämre verkningsgrad för en kraftprocess, dels eftersom en ofullständig förbränning innebär ett sämre utnyttjande av bränslet och ställer krav på rening av utgående vätskeflöde.

Det finns såvitt känt bara tre anläggningar i världen som arbetar vid de höga tryck och temperaturer som krävs för att få en fullständig oxidations. En av dessa, Champions i Ontonagon, fungerar inte helt tillfredsställande och om en annan, Shells i Holland, finns inte någon tillgänglig information. Den tredje, som drivs av Associated Pulp & Paper Mills (APPM), fungerar däremot väl och rapporten är till stor del en beskrivning av denna anläggning. Vidare nämns i rapporten erfarenheterna från några andra anläggningar. Avslutningsvis diskuteras vilka skillnader som finns mellan torv och de bränslen för vilka våtoxideringen används med framgång. Rapporten grundar sig

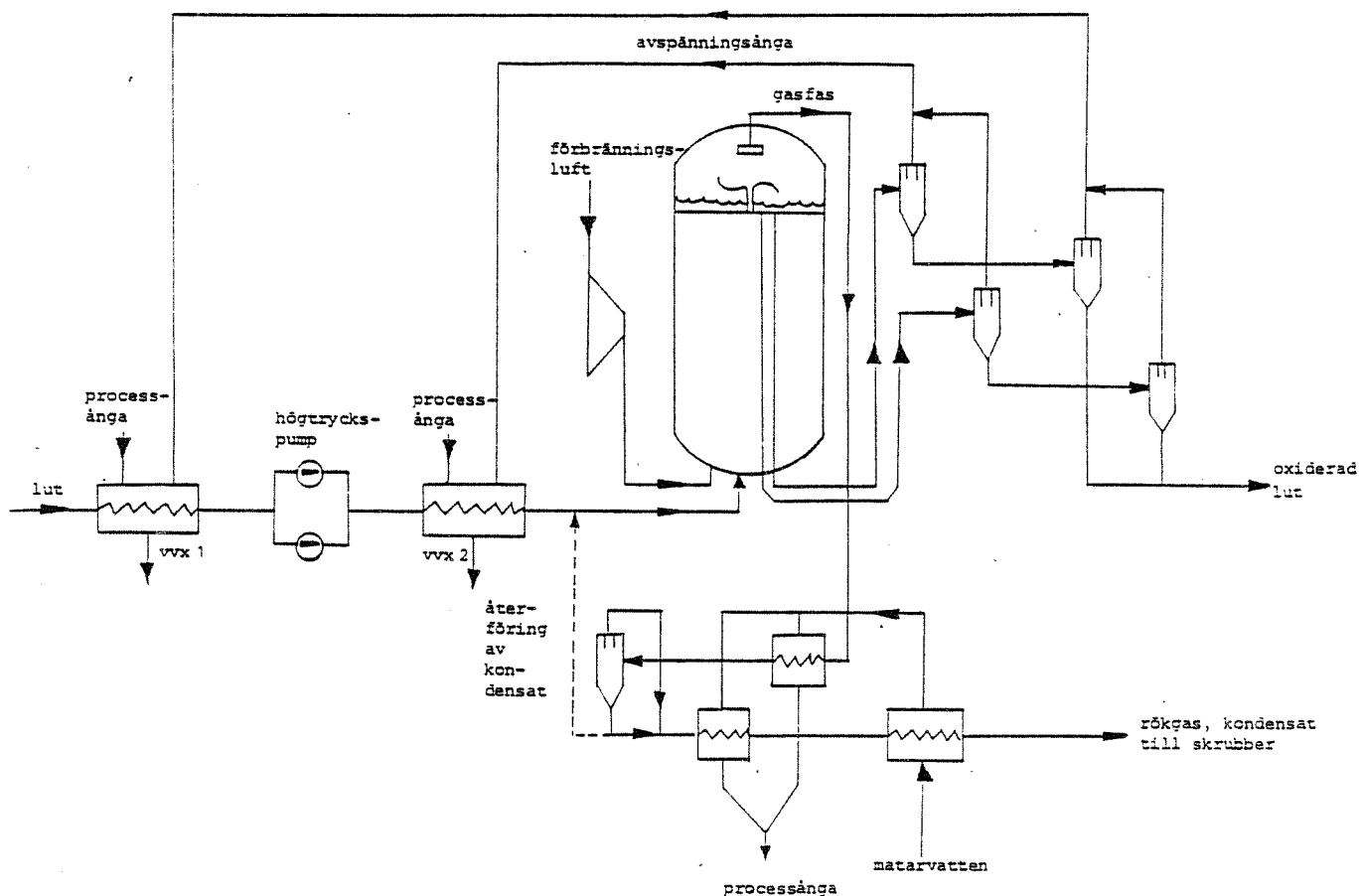
huvudsakligen på en studieresa hösten 1981. De företag, universitet och forskningscentra som besöktes då presenteras kortfattat i bilaga 1.

ANLÄGGNINGSBESKRIVNING APPM

Inledning

1967 startade APPM sin första anläggning för våtförbränning av sodalut . Anläggningen projekterades av Zimpro med aktivt deltagande av APPM. Kapaciteten var 2 ton COD/h, vilket bör motsvara 8 MW brutto termisk effekt. APPM byggde sedan själva en ny anläggning på 7 ton COD/h, vilken togs i drift 1979. Denna förbränner ungefär en tredjedel av den lut som produceras vid företaget. Resten förbränns med konventionella metoder.

Anläggningen producerar 36 ton ånga/h av trycket 20 bar. Av dessa åtgår för närvarande 8 ton/h för uppvärmning av ingående flöden, vilket man hoppas kunna minska. Anläggningen uppges ha en tillgänglighet på 95 %. För att underlätta den följande beskrivningen av processen visas denna schematiskt i figur 1. Anläggningen finns även beskriven i ref [1-3].



Figur 1 APPM:s process för våtoxidation av sodalut

Inmatningssystem

Luten filtreras (3 mm maskor) och späds sedan i två steg, i det första från 180 till 140 g COD/l, i det andra till 125 g COD/l. I det andra steget styrs spädningen av densitetsmätning med gammastrålning till ett börvärde. Luten värms i en tubvärmeväxlare till 90°C med flashånga från den oxiderade luten samt processånga. Ångflödet regleras automatiskt. En fem-cylindrig kolvump (Aldrich) höjer trycket på luten till det aktuella processtrycket. Pumpmotorn har effekten 500 kW och är varvtalsreglerad. Vatten, c:a 1 l/s, injiceras till skydd för pumparna och följer med luten. Efter pumpen går luten genom ett pulskärl och sedan vidare till värmeväxlare 2 där den värms till 170 - 190 °C med flashånga samt processånga. Ångflödet styrs automatiskt så att börvärdet för temperaturen uppnås. Börvärdet bestäms av önskad reaktortemperatur.

Kompressorer

Luften komprimeras först i tre steg i en centrifugalkompressor till trycket 13 bar och sedan i ytterligare tre steg i en kolvkompressor till sluttrycket 210 bar. Bägge kompressorerna är av märket Nuovo Pignone. Centrifugalkompressorerna drivs av en asynkron motor på 3400 kW och kolvkompressorerna av en 3500 kW synkronmotor. Luftflödet är 31 000 kg/h och kan regleras inom ett smalt område genom strypning vid luftintaget. Luften har efter kompressionen temperaturen 150 °C.

Reaktor

I den första anläggningen leddes luft och lut tillsammans genom värmeväxlare 2. Detta uppgavs ha gett stora problem med försmutsning. Luften förs nu separat in i reaktorn. För att minska bubbelstorleken i reaktorinflödet är ingående lut- och luftflöden motriktade. Reaktorn har ett 150 mm tjockt ytterhölje av kolstål i fyra lager. Reaktionsblandningen innehålls av en 20 mm tjock nickelklädd innerbehållare. Denna har 2 m innerdiameter och är 30,8 m hög. Trycket mellan inner- och ytterbehållare upprätthålls med luft från kompressorn. Bli tryckskillnaden mellan inner- och ytterbehållare för stor träder en

säkerhetsventil i funktion.

Reaktorn har åtta bottenar för att hindra omblandning i vertikalled. Varje botten har fyra hål försedda med "chinese hats". Toppen av innerbehållaren är avdelad för att separera ånggasen (rökgas + ånga) från den oxiderade luten. Detta går till så att reaktionsblandningen slungas mot väggarna med en tvåarmad roterande anordning. Utloppsventilen för den oxiderade luten styrs av nivågivare så att vätskenivån i separatorn hålls konstant. Skulle detta inte fungera kan nivån snabbt sänkas genom minskning av luftgenomblåsningen eftersom luftbubblorna upptar en inte obetydlig del av reaktorn.

Oxiderad lut

Hela utloppssystemet för den oxiderade luten är dubblerat. Underhålls- och rengöringsarbeten utförs alltså utan att processen avbryts. Trycket på den oxiderade luten släpps i två steg, först till 20 bar och sedan till 5 bar. Ångan från det första steget utnyttjas till att värma luten i värmeväxlare 2 och ångan från det andra steget värmer luten före värmeväxlare 1. Den oxiderade luten späds med varmvatten till önskad koncentration.

Produktion av sekundärånga

Den mättade rökgas (ånggas) som lämnar reaktorn består till mer än hälften av ånga. Nära 2/3 av det tillförda vattnet innehålls i detta gasflöde. Ångasen används till att producera processånga av trycket 20 bar. Detta sker i två ånggeneratorer och en förvärmare som värmer matarvattnet från 106 °C till mättnadstemperatur. För att minska behovet av ånga för uppvärmning av ingående lut har man för avsikt att återföra kondensatet från första ånggeneratorn till reaktorn. Det heta kondensatet (297 °C) skulle dels minska ingående lutflöde då spädningen skulle minska motsvarande, dels sänka erforderlig temperatur på detta.

Små, gasformiga organiska molekyler går snabbt över i reaktorns gasfas där det är osäkert om det överhuvudtaget sker någon förbränning. Ånggasen innehåller därför en del metan, aceton,

aldehyd och paraffiner. Försök att förbränna dessa gaser katalytiskt har misslyckats då halterna är för låga för att ge tillräckligt hög temperatur. Ånggaskondensatet är relativt rent, det innehåller i stort sett endast lite metanol. Skrubbern uppgavs producera skapligt rent varmvatten.

Möjligheten att återvinna en del av kompressorarbetet genom att expandera rökgasen genom en turbin utnyttjas inte. Detta beror på att man anser att anläggningen är för liten för att det skall vara lönsamt.

Reglering

Man understryker från APPM den mycket stora betydelsen av att köra processen under konstanta driftförhållanden. Tre viktiga mål för regleringen är att hålla konstant reaktortemperatur, Na-halt och luftfaktor.

Luftfaktor: Målet är att hålla syrekoncentrationen i rökgasen omkring 0,6 %. Detta styrs genom reglering av ingående lutflöde via högtryckspumpen. Normalt hålls syrekoncentrationen mellan 0,45 och 0,75 %.

Na-halt: Målet är att hålla Na-halten i reaktorn på 110 g/l (räknat som NaOH) vilket skulle ge en halt på c:a 200 g/l i den oxiderade luten. Vid en så hög halt skulle troligtvis utfällning av karbonat skapa stora problem. Den oxiderade luten späds därför med ett konstant flöde varmt vatten, innan ånga spänns av i steg 2, vilket ger önskad koncentration: 180 g/l. Styrningen sker genom inställning av börvärdet för COD-halten, omkring 125 g/l, vid andra spädningen. Eftersom bränsletillförseln till reaktorn, och därmed luftfaktorn, bestäms av koncentrationen och flödet är förändringar av dessa kopplade. Ändringar av börvärden sker, om så behövs, med flera timmars mellanrum så att systemet skall hinna stabiliseras.

Reaktortemperatur: Temperaturen i toppen av reaktorn är 320 °C och styrs genom inställning av börvärde för temperaturen på luten från värmeväxlare 2. Det är fullt möjligt att reglera reaktortemperaturen inom ett snävt intervall, $\pm 1/2$ °C, då en

temperaturförändring på ingående medium huvudsakligen resulterar i ökad förångning i reaktorn.

Vid återföring av kondensat är tanken att Na-halten skall styras genom justeringar av börvärdet för kondensatflödet. Detta hade dock i september 1981 ännu inte införts.

Processen kan stoppas tillfälligt för rengöring eller andra underhållsarbeten genom "bottling up". Bottling up innebär helt enkelt att från- och tillflöden till reaktorn stängs (fjäderbelastade sätesventiler). Värmeförlusterna från reaktor är små i förhållande till dess stora värmeinnehåll. Vid återstart kan man alltså köra igång processen som om ingenting hänt om inte alltför lång tid förflutit.

Erosion, försmutsning, korrosion

Mediet har kraftigt eroderande egenskaper. Detta gör att skarpa rörkrökar inte får förekomma. Vidare måste exempelvis skydd finnas runt lågtryckssidan av strypventiler. I reglerventilerna används pluggar av mjukt stål (stainless steel 318) som eroderas ner successivt av flödet. Pluggen vrids 1/3 varv per skift för att få jämn erosion. Zirkoniumoxid används i flänsarna.

Man har knappast några problem med försmutsning på uppströms- sidan. Genom "bottling up" kan värmeväxlarna rengöras utan nedkörning av processen. Detta behöver sällan göras. På nerströmssidan är däremot försmutsningen kraftig. Rengöring sker varannan vecka i samband med att man växlar utloppssystem. Dessa skulle kanske klara en månad utan rengöring, men man måste ändå byta för att göra service på reglerventilerna. Vid byte av utloppssystem späds luten lite extra för att inte karbonat- utfällning skall ske.

Man har inte haft några problem med korrosion.

Underhåll och bemanning

Det finns två högtryckspumpar av vilka den ena står i reserv. Normalt görs ett byte mellan dessa varannan vecka varvid service

görs på den som tagits ur drift. Vidare utförs underhållsarbeten vid byte av utloppssystem för den oxiderade luten. Anläggningen ställs av två gånger om året. Under sommaren ställs den av tre veckor. Sex man arbetar då kontinuerligt med underhåll.

Under normal drift sköts anläggningen av två operatörer (4-skift). Det skulle egentligen räcka med en man, men man vill inte lämna någon ensam med anläggningen.

CHAMPION

Champions anläggning i Ontonagon togs i drift 1977-78. Den är projekterad av Zimpro och var avsedd att våtoxidera sodalut (NSSC-lut) och avloppsslamm. Designkapaciteten var $70 \text{ m}^3/\text{h}$, eller ungefär 33 MW brutto termisk effekt, alltså något större än APPM:s. Anläggningen har inte fungerat som avsetts. En viktig orsak till detta är att lutinflödet bara är drygt hälften av avsedd kapacitet. Detta ger problem med bland annat lufttillförseln. Visserligen har man två parallellkopplade kompressorer, men en kompressor ger för litet och två ger för mycket luft. Vidare ger varierande flöde problem med reglerventilerna då dessa bara kan arbeta inom ett smalt område. Olika flöden kräver alltså olika ventiler. Man har också haft problem att hålla en stabil reaktortemperatur. Reaktortemperaturen är för låg (högst 313°C , designtemperaturen 320°C har aldrig uppnåtts) för att ge avsedd COD-reduktion. Denna har vidare försämrats av understökiometri. En bidragande orsak till svårigheterna att reglera processen är svårigheter att kontrollera ingående COD-halt.

Till skillnad från APPM har Champions anläggning expansions-turbiner (7 MW) för rökgasen. Dessa har dock aldrig använts eftersom de är feldimensionerade. Då de ansluts faller trycket i reaktorn. Speciellt missnöjd var man med att reaktorn saknade manhål i botten vilket gjorde rengöringen mycket tidsödande och besvärlig.

Champion har i flera år sökt en person som kan sköta anläggningen. En viktig orsak till svårigheterna i Ontonagon är

att man egentligen inte har någon personal avdelad för att göra detta!! Den slutsats som kan dras är att det knappast går att köpa en nyckelfärdig våtförbränningsanläggning utan att det krävs en hel del engagemang och utvecklingsarbete för att få en väl fungerande process.

ÖVRIGA ANLÄGGNINGAR

Vid Borregaard A/S, Sarpsborg, togs 1958 en anläggning för våtförbränning av kalciumbaserad sulfitlut i drift. Detta är den största WAO-anläggning som byggts med en kapacitet ungefär tre gånger större än APPM:s. Reaktionstemperaturen var något lägre: 300 °C. Anläggningen finns beskriven i ref [4]. Då anläggningen projekterades fanns ingen erfarenhet av våtoxideration vid så höga tryck och i så stor skala, det fanns praktiskt taget ingen erfarenhet alls av våtoxideration i kommersiell skala. Praktiska problem, som till exempel att få fungerande kompressorer, försenade anläggningen och gav betydande merkostnader. De ekonomiska förutsättningarna för anläggningen raserades av 60-talets sjunkande oljepriser och anläggningen stängdes 1963. Idag använder man ligninerna, lutens huvudsakliga beståndsdel, som råvara för produktion av bland annat lignosulfonater. De tekniker som arbetade med anläggningen finns till största delen kvar på Borregaard Engineering och utgör en värdefull kunskapsresurs.

En anläggning för våtförbränning av avloppsslamm från två miljoner personequivallenter togs i drift i Chicago 1962. Se även ref [5-7]. Den stängdes efter drygt 10 års drift på grund av en svår olycka med läckande ånga. Trots den låga koncentrationen på slammet, 40 g COD/l, skulle ett litet överskott av kraft ha producerats. Den ånga och rökgas som skulle expanderats innehöll dock för mycket föroreningar för att turbinen skulle kunna fungera längre tider. Anläggningen var projekterad för en hög oxidationsgrad, 70 - 80 %, men i praktiken låg man betydligt lägre, snarare beroende på bristande vilja än förmåga. När det gäller våtförbränning av avloppsslamm har utvecklingen blivit att man normalt väljer låga tryck och en låg oxidationsgrad. Man får då ett lättavvattnat och sterilt slamm. Den avvattnade

produkten kan förbrännas, vilket görs i exempelvis Green Bay, Wisconsin. I Newark Bay, New Jersey, byggs för närvarande en mycket stor anläggning där c:a 300 ton torrs substans per dag skall våtoxideras partiellt. Det erhållna bränslet skall användas för produktion av kraft och ånga.

Biberist Papierfabrik, Schweiz, våtförbränner processvatten, 90 % COD-reduktion, för att kunna återvinna fyllnadsmaterial (kaolin). Se även ref [8-10]. Samma process installeras för närvarande på Midtecs pappersfabrik i Kimberley, Wisconsin.

VAR FINNS KUNSKAP I DAG ?

Zimpro Inc har under lång tid haft i det närmaste monopol på våtoxideringsprocessen. Många patent inom området är vid det här laget utgångna men Zimpro har fortfarande en nyckelställning i kraft av sin stora erfarenhet inom området. De allra flesta våtoxideringsanläggningar i världen är byggda av, eller på licens av, Zimpro. Ett annat företag som bör nämnas i samband med våtoxidering är Niigata engineering som, delvis tillsammans med Zimpro, byggt ett stort antal WAO-anläggningar i Japan. Vidare finns Barber-Colman och Wet Com Engineering Comp med Wetox- eller Puretecprocessen, en våtoxideringsprocess i en horisontell reaktor med omrörda avdelningar som har separat luftinblåsning. Se även ref [11-15]. Astro Metallurgical Corporation har tagit över Lockheeds engagemang i våtoxidering och arbetar med en packad bubbelkolonn med heterogen katalysator. Bayer AG och Ciba-Geigy AG har enligt obekräftade uppgifter startat en anläggning för våtoxidering av avfall från färgämnestillverkning vid Schelde-Chemie, Brunsbuttel [16].

För våtoxidering av torv vid höga temperaturer är det främst kunskaperna hos APPM, Zimpro och Borregaard som är intressanta. Zimpro har fått i uppdrag av DOE att studera partiell våtoxidering av torv och kommer därför att ha viss praktisk erfarenhet torv. Den hittills mest omfattande studien av våtoxidering av torv gjordes av Cederquist vid Stora Kopparbergs Centrallaboratorium. Cederquist studerade framför allt filtrerbarheten hos partiellt våtoxiderad torv [17,18]. Försök

med våtförbränning av torv har också utförts vid Centre for Waste Management Programs, Michigan Univ. of Techn. [19] och på Ontario Research Foundation (ORF) [20]. Den kraftprocess baserad på torv som ORF föreslår har kommenterats av rapportförfattaren i ref [21]. De erfarenheter som finns av en process som är lik partiell våtoximation, nämligen våtkolning kan också visa sig värdefulla. Omfattande försök gjordes i Sösdala [22] och JP Energy OY i Finland har tagit upp processen.

VÅTOXIMATION AV TORV

Erfarenheterna av våtoximation av torv är små. I första hand är det fråga om autoklavförsök och de flesta är gjorda vid låga temperaturer. Främst har möjligheterna att öka filtrerbarheten hos torv med en partiell våtoximation (10-15 % oxidationsgrad) studerats. Det finns relativt stor erfarenhet av en liknande process, nämligen våtkolning. Då det inte finns någon erfarenhet av våtoximation av torv i större skala inskränker sig detta avsnitt till att diskutera skillnaderna mellan torv och de bränslen för vilka det finns sådan erfarenhet.

För att processen skall få en så god värmeekonomi som möjligt bör torven tillföras reaktorn med en så hög koncentration som är möjligt utan risk för torrkokning i reaktorn, dvs 10 - 12 % torrsubstans. Om kondensat återföres till reaktorn innebär detta att torrsubstanshalten kan vara ännu högre på ingående torv. Begränsande för torrsubstanshalten är säkerligen pumpbarhet, försmutsning av värmeväxlarytor m m.

En viktig skillnad mellan torvslurry och lut är torvslurryns kraftiga försmutsning av värmeväxlarytor vid högre temperaturer. Indirekt värmeväxling av ingående slurry försvåras därför kraftigt vid temperaturer över 100 - 120°C. Detta problem kan lösas genom direkt värmeväxling med till exempel flashånga från utgående vätskefas såsom i JP Energy OY:s förvärmningstorn [23]. Vidare kan temperaturen på slurryn, som tillförs reaktorn, sänkas om processtrycket sätts högre. En återföring av kondensat möjliggör också en lägre slurrytemperatur. Ett högre

entalpiinnehåll i tillförd luft, t ex om en adiabatisk (våt) kompression är genomförbar, skulle också ge samma resultat. Ytterligare en möjlighet är att använda syrgasanrikad luft, vilket skulle ge samma effekt som en tryckökning, nämligen en minskning av förångningen.

En annan väsentlig skillnad är pH-värdet. Torvens pH kan vara så lågt att en betydande del av bildad ättikssyra inte kvarhålls i vätskan som acetat. En hel del ättikssyra kommer då att följa med gasfasen och huvudsakligen hamna i kondensatet. I så fall finns ytterligare ett skäl att återföra kondensat till reaktorn. En annan möjlighet är att man inte försöker våtförbränna ättikssyran utan i stället väljer lägre tryck och temperatur på processen, exempelvis 270 °C och 100 bar. En sådan process bör då kompletteras med någon form av rening.

Torvens askinnehåll är inte något nytt i våtförbrännings-sammanhang, avloppsslamm har normalt ett askinnehåll som är flera gånger större än torvens per kg torrsubstans. Det är inte samma aska eller samma strömningsförhållanden i en reaktor som våtförbränner torv och det är därför svårt att förutse hur askan kommer att ackumuleras i denna. Det är naturligtvis eftersträvansvärt att den aska som samlas i reaktorn skall kunna tas ut på ett så enkelt sätt som möjligt.

Erosion är ett stort problem i samband med våtförbränning vid höga tryck. Innehållet av partiklar är betydelsefullt för mediets eroderande egenskaper och kan kanske till och med påverka valet av torv.

Risken för sprickbildning genom spänningskorrosion bör noggrant studeras. En indikation på vilka konstruktionsmaterial som krävs fås ur torvens kloridhalt då korrosionsbenägenheten huvudsakligen bestäms av denna samt av temperaturen. Syrafast stål uppges klara kloridhalter i en våtoxidationsprocess upp till mellan 300 och 400 ppm [24], vilket skulle ge god marginal för vanlig torv, men dessa siffror gäller vid temperaturer och tryck under 290 °C och 120 bar. Skulle inte syrafast stål vara tillräckligt motståndskraftigt finns material som exempelvis titan.

Regleringen av en våtoxiderationsprocess för torv blir i ett avseende enklare än för lut. Vid lutoxidation används styrning av COD-halt och inflöde för att uppnå en viss Na-halt och en viss luftfaktor. I fallet torv är det endast luftfaktorn som är intressant. Kravet att exakt reglera COD-halten på ingående flöde blir därmed mindre då en drift i COD-halt kan kompenseras genom att ändra flödes hastigheten. Alltför stora variationer i flödes hastigheten bör dock undvikas då dessa påverkar reaktorns värmebalans. Snabba variationer i ingående COD-halt bör kunna undvikas genom ett tillräckligt stort, omblandat lager.

SLUTSATS

Det förefaller inte att finnas några avgörande skillnader mellan torv och de bränslen för vilka våtoxideration genomförts med framgång. Erfarenheterna av våtoxideration vid höga temperaturer och tryck i större skala är begränsade men APPM:s anläggning visar att processen är fullt tekniskt genomförbar. För att få APPM:s process att producera kraft i stället för ånga erfordras gasturbin, ångturbin med mellanöverhettning och kondensator, alltsammans känd teknik. Det vore också lämpligt att förbättra processens värmeekonomi. Det bör alltså vara tekniskt fullt möjligt att genomföra en kraftprocess baserad på en våtoxideration av torv.

REFERENSER

1. Morgan, J.E. och Saul, C.M., The Zimmermann process in a soda pulp mill recovery system. Development of a commercial process. Appita, 22(1968) 60-75.
2. Maddern, K.N., Wet air oxidation recovery at Burnie. Appita, 34(1980) 130-134.
3. Pradt, L.A., New soda recovery plant used at eucalyptus pulp mill. Pulp. Pap., okt(1969) 56-68.
4. Blikstad, F., Zimmermannprocessen for celluloseindustrien. Nor. Skogind., nr 5(1956) 172-180.
5. Teletzke, G.H., Wet Air Oxidation. Chem. Eng. Prog., 60(1964) 33-38.
6. Angegend, F.-J., Die Nass-Luft-Oxydation von Schlamm. Brennst.-Wärme-Kraft, 18(1966) 252-256.
7. Hurwitz, E. och Dundas, W.A., Wet oxidation of sewage sludge. J. Water Pollut. Control Federat., 32(1960) 918-929.
8. Fenchel, U., Klärschlammverwertung durch Nassoxidation nach Zimpro. Papier (Darmstadt), 32, nr 10A(1978) V54-V60.
9. Flynn Jr, B.L., Swiss mill is trying wet air oxidation to get rid of sludge and recover filler. Pap. Trade J., maj(1976) 23-24.
10. Fenchel, U. och Ulrich, C., Nassoxydation von Klärschlamm und Zellstoffablaue mit dem Zimpro-Verfahren. Wochenbl. Papierfabr., 104(1976) 733-734.
11. Cadotte, A. och Laughlin, B., New development in waste disposal. Pulp Pap. Can., 80(1979) T341-T344.
12. Gavelin, G., Kan våtförbränningen komma tillbaka? Kem. Tidskr., nr 7(1981) 92-96.

13. Okänd, Can Wetox handle spent sulfite liquor. Can. Chem. Process., nov(1977) 20-22.
14. Cadotti, A.P. och Laughlin, R.G., Air/water pollution minimized by burning under water. Ontario Research Foundation 1977.
15. Okänd, Wet oxidation: a brief description. Ontario Research Foundation, datum saknas.
16. Perkow, H., Steiner, R. och Vollmuller, H., Wet air oxidation - a review. Ger. Chem. Eng., 4(1981) 193-201.
17. Cederquist, K.N. och Bering, P., Wet combustion - a process for the utilization of peat. Acta Polytech. Chem. Incl. Metall. Ser., 3, nr 1(1952) 1-34.
18. Cederquist, K.N., Våtförbränning. Sven. Papperstidn., 58(1955) 154-164.
19. Bettinger, J.A., Lamparter, R.A. och McDowell, D.C., Coal combustion by wet oxidation. The Center for Waste Management Programs, Michigan Technological University 1980.
20. Gallo, T. och Shepherd, J.D., Wet oxidation of peat. Ontario Research Foundation, datum saknas.
21. Lyngfelt, A. och Leckner, B., En termodynamisk analys av en våtoxidationsprocess för kraftproduktion, A82-110, Inst för Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1982.
22. Våtkolning av torv. AB Svensk torvförädling 1960.
23. Smith, Randall T., Environmental aspects of alternative wet technologies for producing energy/fuel from peat. Energy Resources Co Inc 1981.
24. Oettinger, T.P. och Fontana, M.G., Austenitic stainless steels and titanium for wet air oxidation of sewage sludge. Mater. Perform., 15, nr 11(1976) 29-35.

BILAGA 1, FÖLJANDE ORGANISATIONER BESÖKTES VID STUDIERESAN:

Ontario Research Foundation (ORF), Mississauga: Ett forskningscentrum som utvecklat Wetox-processen, en våtoxideringsprocess i en horisontell reaktor med omrörda avdelningar som har separat luftinblåsning. Wetox-processen arbetar vid 40 bar och 230 C.

Zimpro Inc., Rothschild, Wis. Förutom i Australien har praktiskt taget alla våtförbränningsanläggningar byggts av, eller på licens från, Zimpro.

Midtec, Kimberley, Wis., är en pappersfabrik som håller på att installera en WAO-process för förbränning av organisk substans i processvattnet och återvinning av kaolin (fyllnadsmaterial). En likadan process används vid Biberist Papierfabrik, Schweiz, sedan 1977.

Champion, Ontonagon, Mich., är en massafabrik som våtoxiderat lut sedan 77 - 78. Anläggningen har inte fungerat såsom avsetts, framför allt på grund av att den är feldimensionerad.

Michigan University of Technology, Houghton. Här har våtoxidering av bland annat högsvavligt kol och torv studerats.

Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago byggde vid sin anläggning i Stickney den hittills största anläggningen för våtoxidering av avloppssläm. Den var i drift 1962 - 1973.

University of Kentucky, Lexington. Här arbetar man med att, med hjälp av katalysator, våtförbränna av tjäror från kolförgasning.

Phillips Petroleum, Bartlesville, Okla., har utvecklat en katalysator för våtoxidering av ättiksyra.

Associated Pulp and Paper Mills (APPM), Burnie, Australien, har en anläggning för våtoxidering av lut. Det är en andra generation, den första togs i drift 1967 och ersattes av den nuvarande 1979.