



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Opdatering af videngrundlaget om teknologier til behandling af CCA- imprægneret træ

Miljøprojekt nr. 1487, 2013

**Titel:**

Opdatering af videngrundlaget om teknologier til behandling af CCA-imprægneret træ

**Redaktion:**

Guilin Hu, Pia Brunn Poulsen, Knud Christiansen, Jesper Cramer og Birgitte Holm Christensen

Force Technology

**Udgiver:**

Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K  
www.mst.dk

**År:**

2013

**ISBN nr.**

978-87-93026-20-9

**Ansvarsfraskrivelse:**

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. 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.

# Indhold

<b>SERIETITEL</b>	<b>3</b>
<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>DEFINITION AF BEGREBER</b>	<b>8</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>10</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>13</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>17</b>
1.1 BAGGRUND OG FORMÅL	17
<b>2 TEKNOLOGI-STATUS</b>	<b>19</b>
2.1 BIOLOGISK PROCES	19
2.2 KEMISK PROCES	20
2.3 ELEKTRISK PROCES	20
2.4 PYROLYSE	21
2.5 FORBRÆNDING	22
2.6 FORGASNING	23
2.7 OPSUMMERING	25
<b>3 FORBRÆNDING AF CCA-TRÆ</b>	<b>27</b>
3.1 KLASSIFICERING AF CCA-TRÆ	27
3.2 FORBRÆNDINGSTEKNIK	29
3.3 MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER VED FORBRÆNDING AF CCA-TRÆ	29
3.3.1 <i>As i røggas</i>	30
3.3.2 <i>Dioxin i røggas</i>	30
3.3.3 <i>SO<sub>2</sub> i røggas</i>	30
3.3.4 <i>Spildevand</i>	31
3.3.5 <i>Slagge og fast restprodukt</i>	31
3.4 ØKONOMISKE KONSEKVENSER VED FORBRÆNDING AF CCA-TRÆ	31
<b>4 BEHANDLINGSOMKOSTNINGER OG FEASIBILITY</b>	<b>33</b>
4.1 FORBRÆNDING I AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG	33
4.1.1 <i>De tekniske aspekter</i>	33
4.1.2 <i>De økonomiske aspekter</i>	33
4.2 IQR SFC FORGASSER	34
4.2.1 <i>De tekniske aspekter</i>	34
4.2.2 <i>De økonomiske aspekter</i>	34
4.3 CHARTHERM PROCES	34
4.3.1 <i>De tekniske aspekter</i>	34
4.3.2 <i>De økonomiske aspekter</i>	35
4.4 ALTERNATIV BEHANDLING	35
4.4.1 <i>Genbrug</i>	35
4.4.2 <i>Eksport</i>	35
<b>5 LOVGIVNING I NABOLANDE</b>	<b>37</b>

5.1	SVERIGE	37
5.2	TYSKLAND	38
<b>6</b>	<b>AFSÆTNING AF METALLER</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>MILJØEFFEKTER</b>	<b>43</b>
7.1	KOMMERCIELLE TEKNOLOGIER	43
7.1.1	<i>IQR Systems forgasningsteknologi</i>	43
7.1.2	<i>Chartherm's pyrolyse proces (Thermya)</i>	45
7.1.3	<i>Tyske forbrændingsteknologier</i>	45
7.2	IKKE-KOMMERCIELLE TEKNOLOGIER	45
7.2.1	<i>Watech's ekstraktionsproces (Stena Metall)</i>	45
7.2.2	<i>Elektrodialyse (DTU Byg)</i>	46
7.3	MILJØFORHOLD VED DEN EKSISTERENDE BEHANDLING AF CCA-TRÆ	47
7.3.1	<i>Deponering af CCA-imprægneret træ</i>	48
7.3.2	<i>Utilsigtet medforbrænding af CCA-imprægneret træ</i>	48
7.3.3	<i>Eksport af CCA-imprægneret træ</i>	49
7.4	DISKUSSION/SAMMENLIGNING	49
<b>8</b>	<b>DISKUSSION OG KONKLUSION</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCER</b>	<b>54</b>

# Forord

Miljøstyrelsen har bedt FORCE Technology om at opdatere videngrundlaget om teknologier til behandling af ”CCA-imprægneret træ” forstået som affaldstræ imprægneret med stoffer, der indeholder fx kobber, krom, arsen eller andre uorganiske stoffer.

Miljøstyrelsen igangsatte projektet oktober 2011 og FORCE Technology afsluttede projektet marts 2013.

Opgaven har overordnet bestået i - baseret på tidligere undersøgelser af samme temaer - at opdatere den faglige viden om teknologiske løsninger i Danmark og udlandet. Da projektet blive igangsat var det et krav, at væsentlige dele af det imprægnerede affaldstræ skulle behandles på en sådan måde, at metaller fra CCA-behandlet træ opkoncentreres, før træet kunne genanvendes eller energinyttiggøres. Meget tydede imidlertid på, at sådanne teknologier ikke var til rådighed, hvorfor Miljøstyrelsen igangsatte projektet, der afrapporteres i nærværende rapport.

Formålet med projektet var at vurdere de tekniske muligheder for at opfylde kravet i dag samt at vurdere de omkostninger, der - sammenlignet med alternativer - vil være forbundet med en udvinding af metallerne.

De tidligere undersøgelser af behandlingsmetoder er fra 2005 [Miljøprojekt 1208] og 1998-2002 [Miljøprojekt 1055]; den teknologiske udvikling er gået stærkt, og især den teknologiske udredning i Miljøprojekt Nr. 1055 har trængt til opdatering.

Baseret på rapportens resultater har Miljøstyrelsen ændret kravet til, at imprægneret træ skal deponeres med mindre, at træet er egnet til materialenyttiggørelse eller forbrænding.

Projektet har haft følgende delopgaver:

- Teknologi-status
- Udenlandske erfaringer
- Forbrænding af CCA-træ
- Lovgivning i Sverige og Tyskland
- Afsætning af metaller
- Miljøeffekter ved opkoncentrering
- Behandlingsomkostninger og feasibility

Projektansvarlig var Jesper Cramer, FORCE Technology, Industrielle Processer.

Øvrige deltagere fra FORCE Technology var:

- Guilin Hu, Industrielle Processer
- Pia B. Poulsen, Anvendt Miljøvurdering
- Knud Christiansen, Emissionsreduktion

- Birgitte Holm Christensen, Energi, Klima og Miljø

Thilde Fruergaard Astrup fulgte projektet for Miljøstyrelsen.



# Definition af begreber

Følgende begreber, som findes i affaldsbekendtgørelsen (BEK nr. 1309 af 18. december 2012), er anvendt i rapporten:

**Genbrug:** Enhver operation, hvor produkter eller komponenter, der ikke er affald, bruges igen til samme formål, som de var udformet til.

**Nyttiggørelse:** Enhver operation, hvis hovedresultat enten er, at affald opfylder et nyttigt formål ved at erstatte anvendelsen af andre materialer, der ellers ville være blevet anvendt til at opfylde en bestemt funktion, eller at affaldet bliver forberedt med henblik på at opfylde den bestemte funktion i anlægget eller i samfundet generelt.

Nyttiggørelse omfatter blandt andet genanvendelse og genvinding.

**Genanvendelse** er defineret som enhver nyttiggørelsesoperation, hvor affaldsmaterialer omforarbejdes til produkter, materialer eller stoffer, hvad enten de bruges til det oprindelige formål eller til andre formål. Heri indgår omforarbejdning af organisk materiale, men ikke energiudnyttelse og omforarbejdning til materialer, der skal anvendes til brændsel eller til opfyldningsoperationer.

Genanvendelse/genvinding omfatter forgasning og pyrolyse under anvendelse af komponenterne som kemikalier.

**Genvinding**, som ikke er specifikt defineret i affaldsbekendtgørelsen, skal forstås som oparbejdning af affaldet, så råvaren kan bruges i fremstilling af nye produkter.

**Bortskaffelse:** Enhver operation, der ikke er nyttiggørelse, også hvis operationen som sekundær konsekvens fører til genvinding af stoffer eller til energiudnyttelse.





# Sammenfatning og konklusioner

På grund af de miljøskadelige effekter af krom og arsen er det i EU ikke længere tilladt at anvende Cr og As i imprægneringsmidler til træ. Behandling af brugt CCA-træ er af den samme grund underlagt stramme miljøkrav i de forskellige EU-lande. For at nyttiggøre ressourcerne i brugt CCA-træ og for at mindske miljøeffekterne er der i løbet af det seneste årti udviklet behandlingsteknologier i flere lande. Metoderne involverer både biologisk nedbrydning, vådkemiske ekstraktioner, ekstraktion med elektrodialyse eller termiske processer som pyrolyse, forgasning og forbrænding. De forskellige metoder er beskrevet og evalueret i en række tidligere rapporter fra Miljøstyrelsen om behandling af CCA-træ i Miljøprojekt Nr. 1055, 1184, 1185, 1186, 1207 og 1208. Denne rapport indeholder en opdatering af den tidligere viden om den teknologiske udvikling af både kendte men også nye metoder, som kan behandle brugt CCA-træ. Rapporten har fokus på de kommercielle teknologier.

Vi har undersøgt den tekniske udvikling i behandlingsmetoder til CCA-træ gennem litteratursøgninger, telefoniske interviews og spørgeskemaer. Undersøgelsen viser, at forbrændings- og forgasningsprocesser bliver anvendt kommercielt til behandling af CCA-træ i lande som Tyskland og Sverige. I Tyskland er dedikeret forbrænding meget anvendt til behandling af CCA-træ. MVV Umwelt GmbH er et af disse firmaer i Tyskland, som har flere anlæg til forbrænding af spildtræ inklusiv CCA-træ. I Sverige bliver forgasningsprocessen fra det svenske firma IQR- den såkaldt SFC (soot free combustion) forgasningsteknologi - anvendt kommercielt til behandling af CCA-træ. I begge tilfælde bliver den termiske energi i CCA-træ udnyttet til produktion af el og varme. Røggasaffald fra forbrændingsprocessen og aske fra forgasningsprocessen, som indeholder CCA-metallerne, bliver deponeret som farligt affald. IQRs SFC forgasningsteknologi er specielt udviklet til behandling af CCA-træ og kan effektivt tilbageholde CCA-metaller i asken grundet den relative lave forgasningstemperatur på omkring 700°C.

Undersøgelsen har ikke fundet kommercielle anlæg, som benytter processer, der er baseret på biologisk nedbrydning, våd kemisk ekstraktion eller ekstraktion med elektrodialyse. De dansk udviklede teknologier som Stena Metalls Watech proces (våd kemisk ekstraktion), DTU Bygs elektrodialyseproces, Kommunekemi lavtemperatur pyrolyse og askeopbejdningsproces, TK Energis fixed-bed trinopdelte forgasningsproces og Kommunekemi og Wilson Engineerings modstrømsforgasningsproces er ikke kommet videre end pilotforsøg. Det franske firma Thermya har udviklet den såkaldt Chartherm proces, som bygger på lavtemperaturpyrolyse. I denne proces bliver CCA-metaller effektivt tilbageholdt i koksresten på grund af den relative lave pyrolysetemperatur. CCA-metallerne i koksen bliver efterfølgende separeret fra koksen ved en mekanisk behandling. Teknologien har været færdigudviklet i flere år, men har ikke endnu fundet kommerciel anvendelse.

Den økonomiske vurdering i denne rapport viser, at dedikeret forbrænding og IQRs SFC forgasningsteknologi under nuværende rammebetingelser/lovgivning er relativt billige metoder til behandling af CCA-træ, hovedsageligt på grund af indtægter fra salg af el og varme. Vi har vurderet, at under danske forhold ville nettobehandlingsomkostningerne med slag-

ge/askedeponering for disse to metoder være omkring 400 kr./t CCA-træ, hvilket er lidt lavere end den afhentningspris ved danske havne på omkring 500 kr./t, som de tyske firmaer kræver for at brænde CCA-træ i deres forbrændingsanlæg. Det er dog uvist, om dedikeret forbrænding af CCA-træ kan udføres i eksisterende affaldsforbrændingsanlæg uden driftsmæssige problemer, idet CCA-træets fysiske egenskaber er anderledes end almindeligt affald (f.eks. højere brændværdi og lavt askeindhold).

Ressourcegenanvendelse og miljøeffekter er to centrale problemstillinger ved behandling af CCA-træ. Undersøgelsen viser, at den termiske energi i CCA-træ kan udnyttes fuldt ud med dagens teknologier. Men CCA-metaller er svære at sælge af flere årsager, hvoraf de vigtigste er, at det i EU ikke længere er tilladt at anvende Cr og As som imprægneringsmidler, og at det er meget omkostningstungt at separere og rense CCA-metallerne til en brugbar kvalitet. Det nødvendige økonomiske incitament er lige nu ikke til stede for genanvendelse af CCA-metaller.

Ved behandling af CCA-træ er arsen ( $\text{As}^{3+}$  og  $\text{As}^{5+}$ ), som er kræftfremkaldende og giftigt, det mest kritiske stof med en grænseværdi på 0,1% som farligt affald ifølge affaldsbekendtgørelsen. Kobber ( $\text{Cu}^+$ ), som er meget giftig for levende organismer, er kritisk for vandmiljøet. Krom er mindre kritisk, da det meste af kromet i CCA-træ og i restprodukter fra behandling af CCA-træ findes som  $\text{Cr}^{3+}$  og ikke  $\text{Cr}^{6+}$ , som er kræftfremkaldende og giftigt. De skadelige miljøeffekter af disse kritiske stoffer fra behandlingen af CCA-træ kan ske gennem forurening af både luft og vand.

Miljøeffekterne kan være forskellige ved de forskellige behandlingsmetoder. Ved termisk behandling af CCA-træ ender størstedelen af CCA-metallerne i de faste restprodukter som slagge, aske og røggasaffald og i spildevand, hvis der anvendes våde røggasrensningsmetoder. En meget lille andel af CCA-metallerne emitteres med røggassen. De moderne røggas- og spildevandsrensningsteknologier kan dog begrænse emissioner af disse metaller til de tilladte grænseværdier, som er reguleret af EU's direktiver.

Rensning af CCA-træ for CCA-metaller med våd kemisk ekstraktion eller elektrodialyse vil muligvis kunne reducere de skadelige miljøeffekter fra eventuel energiudnyttelse af det rensede træ. Men der er uklarhed om miljøeffekterne fra selve rensningsprocesserne, idet disse processer stadigvæk er i udviklingsfasen.

Denne undersøgelse viser, at praksis for behandling af CCA-træ er forskellig i de forskellige lande. Tyskland har i årtier brugt dedikeret forbrænding, mens Sverige i de seneste år er begyndt at behandle CCA-træ med IQRs SFC forgasningsteknologi. Nogle lande inklusiv Danmark vælger at deponere og eksportere det indsamlede CCA-træ. Forskellene i praksis for behandling af CCA-træ kan delvis skyldes forskelle i imprægneringspraksis i de forskellige lande, som har medført markant forskel i indholdet af CCA-metaller i det indsamlede spildtræ. Generelt blev CCA-imprægnering anvendt meget i de nordiske lande, mens det ikke har været så udbredt i for eksempel Tyskland.

Hovedkonklusionen på undersøgelsen er, at termiske behandlingsmetoder, som udnytter den termiske energi i CCA-træ, har vundet frem af flere årsager bl.a. lav nettobehandlingspris, mulighed for deponering af faste restprodukter, som indeholder CCA-metaller, og effektiv røggasrensningsteknologi, som kan sikre opfyldelse af emissionskrav. Metoder, som kan genvinde CCA-metaller,

har svært ved at komme ind på det kommercielle marked på grund af de høje behandlingsomkostninger og den begrænsede værdi af de genvundne produkter.

# Summary and conclusions

Today, production of impregnated wood with agents containing Chromium and Arsenic is forbidden in the EU due to the harmful effects to the environment. For the same reason, treatment of waste CCA wood is subject to strict environmental requirements in the different EU countries. To utilize the resources in waste CCA wood and to minimise the environmental effects, treatment technologies in several countries have been developed during the latest decade. The methods involve biological decomposition, wet chemical extractions, extraction with electrodialysis or thermal processes such as pyrolysis, gasification and combustion. The different methods are described and evaluated in a number of earlier reports from the Danish EPA about treatment of CCA wood in environmental project no. 1055, 1184, 1185, 1186, 1207 and 1208. This report contains an update of the former knowledge about the technological development of both known but also new methods which can treat waste CCA wood. This report is focused on the commercial technologies.

We have examined the technical development in treatment methods for CCA wood through review of literature, telephone interviews and questionnaires. The examination shows that combustion and gasification processes are used commercially for treatment of CCA wood in countries like Germany and Sweden. In Germany, dedicated combustion is much applied for treatment of CCA wood. MVV Umwelt GmbH is one of these companies in Germany with several plants for combustion of waste wood including CCA wood. In Sweden, the gasification process from the Swedish company IQR – the so-called SFC (Soot Free Combustion) technology – is applied commercially for treatment of CCA wood. In both cases, the thermal energy in CCA wood is utilised for production of electricity and heat. Flue gas from the combustion process and ash from the gasification process which contain the CCA metals are deposited as hazardous waste. IQR's SFC gasification technology is especially developed for treatment of CCA wood and can effectively retain CCA metals in the ash due to the relatively low gasification temperature of approx. 700°C.

The present examination has not found commercial plants which use processes that are based on biological decomposition, wet chemical extractions or extraction with electrodialysis. The Danish-developed technologies such as Stena Metall's Watech process (wet chemical extraction), DTU Byg's electrodialysis process, Kommunekemi's low temperature pyrolysis and ash processing, TK Energi's fixed-bed staged gasification process and Kommunekemi's and Wilson Engineering's counter flow gasification process have only been tested in pilot scale experiments. The French company Thermya has developed the so-called Chartherm process which is built on low temperature pyrolysis. In this process, CCA metals are effectively retained in the coke residue due to the relatively low pyrolysis temperature. Subsequently, the CCA metals in the coke are separated from the coke through a mechanical treatment. The technology has been fully-developed for several years but has not found commercial use so far.

The economic assessment in this report shows that under existing framework conditions and legislations dedicated combustion and IQR's SFC gasification technology are relatively cheap methods for treatment of CCA wood, mostly due to revenues from the sale of electricity and heat. We have estimated that under Danish framework conditions the net treatment cost with slag/ash depositing for these two methods would be approx. 400 DKK/t CCA wood which is slightly lower than the price (of approx. 500 DKK/t, collection price at Danish harbours) which the German companies request to burn CCA wood in their combustion plants. It is not clear whether dedicated combustion of CCA wood can be carried out in existing waste-to-energy plants without causing operational problems considering that the physical properties of CCA wood are different from "normal" waste. CCA wood has for example higher heating value and lower ash content than "normal" wastes.

Resource recycling and environmental effects are two central problems when treating CCA wood. The examination shows that the thermal energy in CCA wood can be fully utilised with the technologies of today. But CCA metals are difficult to sell due to several reasons. The most important reasons are that impregnation with agents containing Cr and As is now forbidden in the EU and that it is very cost-intensive to separate and treat the CCA metals to a usable quality. The necessary economic incentive is right now not available for recycling of CCA metals.

When treating CCA wood, arsenic ( $\text{As}^{3+}$  and  $\text{As}^{5+}$ ), which is carcinogenic and toxic, is the most critical substance with a limit value of 0.1% as hazardous waste according to the Danish statutory order on waste ("affaldsbekendtgørelsen"). Cobber ( $\text{Cu}^+$ ) which is very toxic for organisms is critical for the water environment. Chromium is less critical as most of the chromium in CCA wood and in residues from treatment of CCA wood is found as  $\text{Cr}^{3+}$  and not as  $\text{Cr}^{6+}$  which is carcinogenic and toxic. The hazardous environmental effects of these critical substances from treatment of CCA wood can take place through pollution of both air and water.

The environmental effects can be different with the different treatment methods. With thermal treatment of CCA wood the major part of the CCA metals ends in the solid residues such as slag, ash and fly ash, and in waste water where wet flue gas cleaning methods are used. A very small part of the CCA metals is emitted with the flue gas. However, the modern flue gas and waste water cleaning technologies can limit emissions of these metals to the permitted limit values which are regulated by EU directives.

Cleaning of CCA wood for CCA metals with wet chemical extractions or electrolysis might be able to reduce the hazardous environmental effects from a possible energy utilization of the cleaned wood. But there is an uncertainty about the environmental effects from the actual cleaning processes as these processes are still at the developmental stage.

The present examination shows that practices for treatment of CCA wood are different in the different countries. Germany has for years used dedicated combustion, while Sweden has in the recent years started to treat CCA wood with IQR's SFC gasification technology. Some countries including Denmark choose to deposit and export the collected CCA wood. The differences in practice for CCA wood treatment can partly be due to the differences in impregnation practice in the different countries which have resulted in a distinctive difference in the content of CCA metals in the collected waste wood.

Generally, CCA impregnation was much used in the Nordic countries while it has not been that widespread in for instance Germany.

The main conclusion of the present examination is that thermal treatment methods which utilise the thermal energy in CCA wood have gained ground because of several reasons including low net treatment price, possibility of depositing of solid residues which contain CCA metals and effective flue gas cleaning technology which can ensure fulfilment of emission requirements. Methods which can recover CCA metals have difficulties in getting into the commercial market due to the high treatment costs and the limited value of the recovered products.





# 1 Indledning

## 1.1 BAGGRUND OG FORMÅL

CCA-træ er træ, der er trykimprægneret med Cr-, Cu- og As-holdige kemikalier. Koncentrationer af Cr, Cu og As i CCA-træet kan være op til henholdsvis omkring 3500, 2500 og 4000 mg/kg [Hansen et al. 2008]. På grund af variation i produktion, naturlig udvaskning, indblanding af andre type affaldstræ under indsamling, osv., vil de faktiske koncentrationer af disse metaller i det indsamlede CCA-træ være væsentligt lavere og variere en hel del. Ifølge Hansen et al. (2008), er de forventede koncentrationer af Cr, Cu og As i det indsamlede CCA-træ ved den kommunale indsamlingsordning henholdsvis omkring 900, 1300 og 800 mg/kg. Brugt træ imprægneret med As vil ofte klassificeres som farligt affald, når det ender som affald på grund af den høje koncentration af As i træet. Produktion af nyt imprægneret træ med Cr og As er i dag forbudt i EU.

Baseret på den mængde CCA-træ, der antages ophobet i Danmark, er der en forventning om, at der årligt i Danmark kan indsamles ca. 100.000 tons CCA-træ (if. tal fra Miljøstyrelsen i 1999). Hovedparten af det CCA-imprægnerede træ eksporteres - hovedsageligt til Tyskland.

I Danmark har der siden 2009 været krav i affaldsbekendtgørelsen om, at væsentlige dele af det indsamlede imprægnerede træ bliver genanvendt eller nyttiggjort på en sådan måde, at metalindholdet opkoncentreres separat, og at træaffaldet herefter genanvendes, eller energiressourcen i træaffaldet udnyttes. I Danmark findes der ikke noget fuldskalaanlæg, der kan opfylde kravene i affaldsbekendtgørelsen, hvorfor formålet med dette projekt er at få kortlagt status for teknologudvikling på området, dansk som udenlandsk, samt få belyst (miljø)effekterne af udvalgte teknologier. Disse skal danne grundlaget for beslutninger eller aktionsplaner, som kan bane vejen for opfyldning af målet i affaldsbekendtgørelsen om behandling af CCA-træ - eller en eventuel revidering af kravene til behandling af CCA-træ.

Som nævnt i rapportens forord er kravet - baseret på resultaterne af dette projekt - blevet ændret til, at det imprægnerede træ skal deponeres med mindre, at træet er egnet til materialenyttiggørelse eller forbrænding.



## 2 Teknologi-status

I dette kapitel præsenteres et skematisk overblik over status på eksisterende teknologier til behandling af CCA-imprægneret træ. Der præsenteres både danske og udenlandske erfaringer. Erfaringerne er opdelt efter teknologitype.

Med baggrund i tidligere rapporter fra Miljøstyrelsen, der har behandlet området, har vi etableret en oversigt over relevante teknologier og relevante virksomheder. Udvalgte virksomheder er blevet kontaktet og interviewet om status på området og er blevet spurgt, om de har kendskab til relevante teknologier eller virksomheder indenfor dette område. Der har udelukkende været fokus på at kontakte virksomheder, hvor den anvendte teknologi/proces har været på et pilotstadium, fuldskala eller kommerciel. Virksomheder og forskningsinstitutioner med teknologier/processer på laboratorieniveau er ikke blevet kontaktet.

Resultatet er en oversigt over følgende teknologier/procestyper, der enten er eller har været anvendt til behandling af CCA-imprægneret træ:

- Biologisk
- Kemisk
- Elektrisk
- Pyrolyse
- Forbrænding
- Forgasning

Disse teknologier/procestyper gennemgås kortfattet i det følgende, og status på området præsenteres skematisk.

### 2.1 BIOLOGISK PROCES

Der kan i litteraturen findes metoder baseret på biologisk nedbrydning eller kombination af biologiske, mekaniske og kemiske aktiviteter. Disse typer af processer er ikke blevet undersøgt yderligere, da disse teknologier stadig er på laboratorie- eller forskningsstadiet.

## 2.2 KEMISK PROCES

CCA-metallerne i CCA-træ kan udtrækkes eller udvaskes med våd-kemiske metoder ved anvendelse af syrer eller baser. Det rensede træ kan udnyttes til energiproduktion eller andre formål. CCA-metallerne kan opkoncentreres eller genanvendes. Tabel 2-1 lister de kendte processer baseret på denne type metode.

TABEL 2-1 OVERSIGT OVER DANSKE OG UDENLANDSKE ERFARINGER MED BEHANDLING AF CCA-TRÆ – KEMISK PROCES

Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
Stena Metall, Danmark (købt proces af RGS90) Watech	Watech ekstraktionsproces. Vådkemisk proces (modstrømsekstraktion med varm fortyndet saltsyre), der fremstiller rent træbrændsel, samt et tungmetalprodukt, der kan sendes til videre oparbejdning. Cu kan ekstraheres fra produktet ved ionbytning, hvorefter det resterende produkt behandles med kalk for at fælde Cr og As.	CCA træ	Pilot	Forsøgsanlæg beskrevet i Miljøprojekt Nr. 1207. Resultaterne viser, at processen virker. Den kemiske proces tager 97-99 % af metallerne ud af træet, hvorved indhold af Cu, Cr og As er på niveau med andet træaffald. Behandlingsomkostninger (for et ekstraktionsanlæg, der behandler 25.000 t/år) er beregnet til ca. 600 kr./t for ekstraktion og efterfølgende genanvendelse af træet til spånpladeproduktion, og til 800 kr./t for ekstraktion og efterfølgende energiuudnyttelse i et biomassefyret kraft/varme anlæg. Affaldsprodukter ved processen er: Tungmetalholdig filterkage, sand, grus, sten og jord, jern og søm, samt spildevand. Det blev ikke undersøgt i projektet, om tungmetallerne kunne afsættes – kun at det var muligt at udfælde dem fra ekstraktionsvæsken. Processen har ligget på standby siden 2008, men kan genoplives igen, så snart de ydre omstændigheder bliver mere gunstige. Barriererne ved processen er primært eksport af CCA-træ, forbrændingsafgiften, samt manglende udsortering af CCA-træ i en særskilt fraktion.	[Rasmussen 2008] og [1]

[1] Personlig kontakt med Erik Rasmussen, Stena Metall.

## 2.3 ELEKTRISK PROCES

CCA-metallerne i CCA-træ kan udtrækkes ved anvendelse af elektriske metoder såsom elektrolyse eller elektrodialyse. Det rensede træ kan udnyttes til energiproduktion eller andre formål. CCA-metallerne kan opkoncentreres eller genanvendes. Tabel 2-2 lister de kendte processer baseret på denne type metode.

TABEL 2-2 OVERSIGT OVER DANSKE OG UDENLANDSKE ERFARINGER MED BEHANDLING AF CCA-TRÆ – ELEKTRISK PROCES

Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
DTU Byg,	Elektrodialyse	CCA-træ	Pilot	Processen er udviklet af DTU	[1] og [Pedersen

Danmark				<p>Byg. Ioner af As, Cr og Cu udtrækkes af CCA-træet i et syrligt vandbad ved anvendelse af elektrodialyse. Der kan opnås udtrækningsgrad på ca. 82 % for Cr, 88 % for Cu og mindst 96 % for As. Behandlingsomkostning er ca. 820 kr./t.</p> <p>Metoden kan også bruges til behandling af asken fra forbrænding af CCA-træ.</p> <p>DTU Byg har plan om at forske mere i teknologien for at reducere behandlingsomkostningen.</p> <p>DTU Byg samarbejder også med Osmose Denmark A/S om mulighed for udnyttelse af CCA-metallerne til fremstilling af nye imprægneringsmidler.</p>	et al. 2005]
---------	--	--	--	---	--------------

[1] Spørgeskemabesvarelser fra Lisbeth Ottosen, DTU Byg.

## 2.4 PYROLYSE

CCA-træ kan behandles med pyrolyse. CCA-metallerne opkoncentreres i koksen, som efterfølgende skal behandles. Pyrolysegassen og koksen kan udnyttes til energiproduktion eller andre formål. Tabel 2-3 lister de kendte processer baseret på denne type metode.

TABEL 2-3 OVERSICHT OVER DANSKE OG UDENLANDSKE ERFARINGER MED BEHANDLING AF CCA-TRÆ - PYROLYSE

Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
Thermya, Frankrig	"Chartherm" proces med lav temperatur pyrolyse og efterfølgende koks formaling og mekanisk separation af CCA-fraktion fra koks.	CCA-træ	Fuldskala	<p>Fransk virksomhed. Processen er specielt udviklet til CCA-træ behandling. Der opnås ca. 99,9% opkoncentrering af metaller (As, Cu og Cr) i koksen. Ved efterfølgende koksformaling og separation bliver en CCA-fraktion adskilt fra koksen. Der findes ikke detaljerede informationer om renheden og anvendelsesmuligheder af de to fraktioner.</p> <p>Der er bygget et demo-anlæg i Frankrig med en kapacitet på 1.500 kg/h. Behandlingspris er ca. 150 EUR/t CCA-træ under franske rammevilkår.</p>	[1] og Chartherm web site: <a href="http://www.chartherm.com/english/chartherm/index.html">http://www.chartherm.com/english/chartherm/index.html</a> .
Kommunekemi A/S, Danmark	Lavtemperatur pyrolyse og efterfølgende oparbejdning af metaller fra koksen. DTU Byg var involveret i laboratorieforsøget for oparbejdning af metaller fra koksen.	CCA-træ	Pilot	<p>Pyrolyse: Pilotforsøg. Oparbejdning af metaller fra koksen: Laboratorieforsøg. Processen viste sig at være alt for dyr og var desuden ikke effektiv nok.</p> <p>Processen blev derfor dropet.</p> <p>Kommune Kemi har ikke siden dengang været involveret i forsøg med DTU Byg.</p>	[Vestervang & Nørholm 2008]

[1] Personlig kontakt med og spørgeskemabesvarelser fra Thermyas tekniske vice præsident Jean-Sebastian Hery (Frankrig).

## 2.5 FORBRÆNDING

CCA-træ kan forbrændes i et affaldsforbrændingsanlæg for at udnytte den termiske energi i CCA-træet. CCA-metallerne opkoncentreres i flyveaske/røggasrensningsproduktet og slaggen, som skal behandles efterfølgende eller deponeres. Tabel 2-4 lister de kendte CCA-træ forbrændingsanlæg.

TABEL 2-4 OVERSIGT OVER DANSKE OG UDENLANDSKE ERFARINGER MED BEHANDLING AF CCA-TRÆ - FORBRÆNDING

Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
University of Florida, USA	Forbrænding af CCA-træ med tilsætning af additiver for at reducere fordampning af As.	CCA-træ	Lab	En metode på forskningsstedet som går ud på at øge tilbageholdelsesgraden af As i asken ved at tilsætte additiver ved CCA-træ forbrænding. Det er rapporteret, at ca. 60-85 % As kan tilbageholdes i asken ved brug af Ca-baserede additiver. Er ikke undersøgt nærmere i dette projekt.	[Lida et al. 2004]
Hornitex Werke, Tyskland	Forbrænding	CCA træ	Fuldskala	Manglende data, så metoden er ikke nærmere beskrevet i Miljøprojekt Nr. 1208. Virksomheden (et møbelfirma) ville ikke medvirke. Er derfor ikke undersøgt nærmere i dette projekt.	[Hansen et al. 2008]
Foster Wheeler, Finland	Fluid-bed forbrænding brugt på to værker i Sverige. Processen er ifølge Foster Wheeler begrænset til at medforbrænde CCA-træ sammen med andet træaffald.	Affaldstræ	Fuldskala	Brugt på to kraftværker i Sverige, der dog begge angiver, at de ikke behandler CCA-træ. Foster Wheeler arbejder ikke med og har ikke intentioner om at udvikle teknologi til udvinding af metaller fra asken.	[Cramer et al. 2006] og [1]
Högdalenverket, Sverige (Foster Wheeler)	CFB (circulating fluidised-bed) forbrænding. Foster Wheeler teknologi.	Affaldstræ, tørv, plastaffald, papir, pap	Fuldskala	Svensk kraftværk, der ikke behandler CCA-træ, da det er miljøfarligt affald.	[Cramer et al. 2006] og [2]
Igelstaverket, Sverige (Foster Wheeler)	FB (fluidised-bed) forbrænding. Foster Wheeler teknologi.	Affaldstræ, tørv, plastaffald, papir, pap	Fuldskala	Svensk kraftværk, der ikke behandler CCA-træ. De behandler udelukkende kreo-sot-behandlet træ sammen med andet affald.	[Cramer et al. 2006] og [3]
MVV Biomasse RheinMain, Tyskland	Forbrænding i spreader stoker	Affaldstræ, CCA-træ	Fuldskala	Tysk virksomhed. Dedikeret anlæg til forbrænding af affaldstræ inklusiv CCA-træ. Bygget i 2003. Anlæggets kapacitet er ca. 90.000 t/y.	MVV Umwelt GmbHs hjemmeside

Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
BMKW Königs Wusterhausen, Tyskland	Forbrænding i cirkulerende fluid bed	Affaldstræ, CCA-træ	Fuldskala	Dedikeret anlæg til forbrænding af affaldstræ inklusiv CCA-træ. Bygget i 2003. Kapacitet er ca. 120.000 t/y.	MVV hjemmeside MVV Umwelt GmbHs hjemmeside
BMKW Mannheim, Tyskland	Forbrænding i spreader stoker	Affaldstræ, CCA-træ	Fuldskala	Dedikeret anlæg til forbrænding af affaldstræ inklusiv CCA-træ. Bygget i 2003. Anlæggets kapacitet er ca. 110.000 t/y.	MVV Umwelt GmbHs hjemmeside

[1] Personlig kontakt til Jaakko Riiali, Foster Wheeler (Finland).

[2] Personlig kontakt til Eva-Katrin Lindman, Fortum – Högdalenverket (Sverige).

[3] Personlig kontakt til Jan Erik Haglund, Söderenergi – Igelstaverket (Sverige).

## 2.6 FORGASNING

CCA-træ kan behandles med forgasning. CCA-metallerne opkoncentreres i asken, som skal behandles efterfølgende eller deponeres. Gassen fra forgasning kan udnyttes til energiproduktion eller andre formål. Tabel 2-5 lister de kendte processer baseret på denne type metode.

TABEL 2-5 OVERSIGT OVER DANSKE OG UDENLANDSKE ERFARINGER MED BEHANDLING AF CCA-TRÆ - FORGASNING

Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
TK Energi, Danmark	Forgasning. Fixed-bed trinopdelt proces efter De laCotte-princippet. Forgasser bestående af internt opvarmet pyrolysezone, gasforbrændingszone og forgasningszone). Næsten 100% af Cr og Cu, samt 95 % af As kan gen findes i bundasken fra forgasseren. Behov for proces, der kan udskille As fra Cr og Cu i asken.	CCA træ	Pilot	Forsøgsdrift. Forsøg kørte stabilt på trods af indbrud af falsk luft til forgasseren. Dog er driften stadig omkostningstung.  Er ikke kontaktet i dette projekt.	[Jørgensen et al. 2008]
Amer/Geertruide nberg, Holland	Fluid-bed forgasningsanlæg	Affaldstræ	Fuldskala	Hollandsk kraftværk som ejes af Essent og anvender Lurgi CFB forgasningsteknologi. Lurgi har solgt sin aktivitet i forgasning af biomasse til EnviroTherm. Enviro Therm i dag markedsfører CFB forgasningsteknologi til biomasse i almindelighed, men ikke specifikt til CCA-træ.	[Cramer et al. 2006] og [1]
SVZ - Schwartze Pumpe GmbH, Schweiz	Forgasning i tryksat forgasser	Affald (CCA træ) og brunkul	Kommerciel	BGL proces til forgasning af fastbrændsel som ejes af SVZ. Teknologien er nu solgt til Global Energy Inc.	[Cramer et al. 2006]
Procone, Tyskland	Speciel medstrømsforgasser	Rent affaldstræ	Kommerciel	Teknologien markedsføres i dag af den nye virksomhed BENREG Europe GmbH. Firmaet har ikke forgasningsteknologi, som er målrettet	[2] og [Cramer et al. 2006]

Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
				til CCA-træ.	
IQR Systems AB, Sverige (Industrial Quality Recyclings)	IQRs Soot Free Combustion (SFC) teknologi. Processen er en kombination af lavtemperaturforgasning og efterfølgende forbrænding af forgasningsgas.	Træaffald, bio-brændsel og CCA træ	Kommerciel	Forholdsvis ny proces. Fin-des på to svenske værker. Munkforsverket (fra 2011) og Svenljungaverket (2008). Er bygget til udelukkende at kunne håndtere træaffald og biobrændsel. Kapacitet: 2 – 25 MW. Ingen slagge. Aske fuldstændig udbrændt. Kan håndtere op til 60% fugtighed i brændslet. Lav følsomhed for variationer i brændselskvalitet. Stort set alt Cu, Cr og As (99,9 %) ender i bundasken efter forgasningen.	IQR [3]
Munkfors verket, Sverige	IQRs SFC teknologi. Processen er en kombination af lavtemperaturforgasning og efterfølgende forbrænding af forgasningsgas.	Træaffald, bio-brændsel og CCA træ	Fuldskala	Munkforsverket blev etableret i 2011 og behandler udelukkende træaffald. I øjeblikket er værket i en indkøringsfase og behandler kun en mindre del CCA træ. Kapaciteten er ca. 20.000 tons per år. Cu, Cr og As bindes i bundaske og flyveaske, som deponeres i Norge, da det er billigere. 99,9% af Cu, Cr og As ender i bundasken ifølge IQR.	IQR [3]
Svenljungaverket, Sverige	IQRs SFC teknologi. Processen er en kombination af lavtemperaturforgasning og efterfølgende forbrænding af forgasningsgas.	Primært CCA træ, men også kreosot træ og andet træaffald	Fuldskala	Svenljungaverket blev etableret i 2008 og behandler udelukkende træaffald – primært CCA træ. Kapaciteten er ca. 16-20.000 tons per år. Cu, Cr og As bindes i bundaske og flyveaske, som deponeres i Norge, da det er billigere. 99,9% af Cu, Cr og As ender i bundasken ifølge IQR.	IQR [3] og [4]



Firmanavn og land	Proces	Brændsel	Status	Kommentarer	Kilde
KommuneKemi / Wilson Engineering A/S, Danmark	Pilotforsøg med modstrømsforgasning. Forgasningsgassen blev rensset og anvendt som støttebrændsel på de eksisterende roterovnsforbrændingsanlæg. I samarbejde med Wilson Engineering A/S og den russiske virksomhed ERG blev der udviklet en proces til oparbejdning af metallerne i asken via et ionbytteranlæg. Den russiske virksomhed afslørede aldrig helt hemmeligheden bag processen, men der blev anvendt flussyre eller natriumfluorid til oparbejdningen af metallerne.	CCA træ	Pilot	Der er ikke sket yderligere med denne proces, da processen var alt for dyr. For stor investering og for høje driftsudgifter. Cu og Cr kunne godt oparbejdes fra asken, men der var problemer med As. Brugen af fluorholdige kemikalier gav desuden miljømæssige problemer i form af fluorholdigt spildevand.	[Hansen et al. 2008] [Vestervang & Dahl 2008] [Cramer et al. 2006]
PyroArc, Norge	Pyroarc processen er en skaktovnsforgasning.	Læder og garveri-affald	Kommerciel	Det er indikeret i Miljøprojekt Nr. 1055, at denne proces sandsynligvis vil kunne videreudvikles til at behandle CCA-træ. Processen er dog ikke undersøgt nærmere i dette projekt.	[Cramer et al. 2006]

[1] Spørgeskemabesvarelser fra Werner-Fr. Staab – manager for process engineering i Enviro Therm (Holland)

[2] Personlig kontakt til og email korrespondance med Georg O. P. Jaeger, CEO Benreg Europe GmbH

[3] Personlig kontakt til Daniel Karlström, IQR Systems AB (Sverige)

[4] Personlig kontakt til Sven-Arne Persson, Svenljunga Energi AB (Sverige)

## 2.7 OPSUMMERING

Baseret på ovenstående resultater kan undersøgelsen opsummeres således:

- De udviklingsprojekter (Watechs kemiske ekstraktionsproces, DTU Bygs elektrodialyseproces, Kommunekemis forgasningsproces, osv.), som er startet i perioden 2002-2005 i Danmark og havde til formål at opfylde kravene i affaldsbekendtgørelsen for behandling af CCA-træ, er ikke kommet videre efter pilotforsøgene.
- I udlandet har vi heller ikke fundet udviklingsaktiviteter med henblik på genvinding af CCA-metallerne fra CCA-træ.
- Der er til gengæld de seneste 10 år sket en fremgang i behandlingsmetoder, som udelukkende udnytter den termiske energi i CCA-træet i blandt andet Tyskland og Sverige. I Tyskland er dedikeret forbrænding af CCA-træ meget anvendt som behandlingsmetode. I Sverige benyttes behandlingsmetoder baseret på forgasning og efterfølgende forbrænding af forgasningsgassen. I begge lande er det kun den termiske energi i CCA-træet, der bliver udnyttet. CCA-metallerne bliver deponeret.

Forbrænding af CCA-træ bliver uddybet yderligere i Kapitel 3, mens Kapitel 4 indeholder tekniske og økonomiske vurderinger af de kommercielle og afprøvede teknologier til behandling af CCA-træ.



## 3 Forbrænding af CCA-træ

Tidligere undersøgelser [Hansen et al., 2008] har vist, at værdien af CCA-træ stort set ligger i dets brændværdi. CCA-træ har en nedre brændværdi, som afhængigt af vandindholdet i træet kan variere mellem ca. 9 og 14 MJ/kg. I sammenligning med husholdningsaffald, som har en nedre brændværdi på ca. 10 MJ/kg, er CCA-træ et udmærket brændsel. Udnyttelse af den termiske energi i CCA-træ er derfor vigtigt mht. ressourceudnyttelse af CCA-træ. Selv om forbrænding af CCA-træ i Danmark er i dag stærkt begrænset af dansk lovgivning, er forbrænding af CCA-træ, som nævnt i Kapitel 2, i udlandet og især i Tyskland en praktisk anvendt behandlingsmetode for CCA-træ. Dette kapitel skal gennem en afklaring af de tekniske, emissionsmæssige og økonomiske forhold ved forbrænding af CCA-træ bidrage til beslutningsgrundlaget for udvikling af fremtidige løsninger til udnyttelse af CCA-træ.

### 3.1 KLASSIFICERING AF CCA-TRÆ

CCA-træ indeholder kobber (Cu), krom (Cr) og arsen (As) i høje koncentrationer.

Nedenstående Tabel 3-1 viser klassificeringen af disse metaller ifølge Forordning (EF) Nr. 1272/2008 Bilag VI Tabel 3-2:

TABEL 3-1 R-SÆTNING KNYTTET TIL CU-, CR- OG AS-HOLDIGE KEMIKALIER

<b>Metal</b>	<b>Giftighed/R-sætning</b>
As(III) som $As_2O_3$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Carc. Cat 1; R45 (Kan fremkalde kræft)</li><li>• T+; R28 (Meget giftig ved indtagelse)</li><li>• C; R34 (Ætsningsfare)</li><li>• N; R50-53 (Miljøfarlig: Meget giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet)</li></ul>
As(V) som $As_2O_5$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Carc. Cat 1; R45 (Kan fremkalde kræft)</li><li>• T; R23/25 (Giftig ved indånding og ved indtagelse)</li><li>• N; R50-53 (Miljøfarlig: Meget giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet)</li></ul>
Cr(III) som $Cr_2O_3$	(Findes ikke på "Listen over den harmoniserede klassificering", men er i den tidligere "Listen over farlige stoffer" klassificeret som) <ul style="list-style-type: none"><li>• Xn; R20/22 (Sundhedsskadelig: Farlig ved indånding og ved indtagelse)</li><li>• R43 (Kan give overfølsomhed ved kontakt med huden)</li></ul>
Cr(VI) som $CrO_3$	<ul style="list-style-type: none"><li>• O; R9 (Brandnærende: Eksplosionsfarlig ved blanding med brandbare stoffer)</li><li>• Carc. Cat. 1; R45 (Kan fremkalde kræft)</li><li>• Muta. Cat. 2; R46 (Kan forårsage arvelige genetiske skader)</li><li>• Repr. Cat. 3; R62 (Mulighed for skade på forplantningsevnen)</li><li>• T+; R26 (Meget giftig ved indånding)</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T; R24/25-48/23 (Giftig ved hudkontakt og ved indtagelse; Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding)</li> <li>• C; R35 (Alvorlig ætsningsfare)</li> <li>• R42/43 (Kan give overfølsomhed ved indånding og ved kontakt med huden)</li> <li>• N; R50-53 (Miljøfarlig: Meget giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet)</li> </ul>
Cu(I) som $\text{Cu}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xn; R22 (Sundhedsskadelig: Farlig ved indtagelse)</li> <li>• N; R50-53 (Miljøfarlig: Meget giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet)</li> </ul>
Cu(II) som $\text{CuSO}_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xn; R22 (Sundhedsskadelig: Farlig ved indtagelse)</li> <li>• Xi; R36/38 (Lokalirriterende: Irriterer øjnene og huden)</li> <li>• N; R50-53 (Miljøfarlig: Meget giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet)</li> </ul>

Det kan ses i Tabel 3-1, at det er As(III), As(V) og Cr(VI) med R-sætningerne R45 (kræft), R46 (mutagent), R26 (meget giftigt ved indånding) eller R28 (meget giftigt ved indtag), der er de mest kritiske stoffer. Indholdet af Cr(VI) i CCA-træ er dog normalt meget lavt, da det meste Cr(VI) omdannes til Cr(III) efter imprægneringen [Wasson et al. 2005]. Cr(III)-oxid bliver anvendt som gult pigment i industrien. As er derfor det eneste reelt kritiske stof.

Nedenstående Tabel 3-2 viser grænseværdier for definition af farligt affald. Arsen-koncentrationen kan være op til ca. 0,4% i nyt CCA-træ, men vil være en del lavere i det indsamlede gamle CCA-træ på grund af naturlig udvaskning og iblanding af rent træ.

CCA-træ er klassificeret som farligt affald på baggrund af koncentrationen af arsen i nyt CCA-træ, idet graden af naturlig udvaskning kan variere meget afhængig af anvendelsesmiljø og alder.

TABEL 3-2 GRÆNSEVÆRDIER FOR FARLIGE STOFFER IFØLGE AFFALDSBEKENDTGØRELSEN.

Egenskab	%
Meget giftig (R26, R27, R28, R39) <sup>1)</sup>	0,1
Giftig (R23, R24, R25) <sup>1)</sup>	3
Giftig (R48, R39) <sup>1)</sup>	1
Sundhedsskadelig (R20, R21, R22) <sup>1)</sup>	25
Sundhedsskadelig (R48) <sup>1)</sup>	10
Ætsende (R35) <sup>1)</sup>	1
Ætsende (R34) <sup>1)</sup>	5
Lokalirriterende (R36, R37, R38) <sup>1)</sup>	20
Lokalirriterende (R41) <sup>1)</sup>	10
Sensibiliserende (R42, R43) <sup>1)</sup>	1 <sup>2)</sup>
Kræftfremkaldende, kategori 1 eller 2 (R45, R49) <sup>1)</sup>	0,1 <sup>2)</sup>
Kræftfremkaldende, kategori 3 (R40) <sup>1)</sup>	1 <sup>2)</sup>
Mutagen, kategori 1 eller 2 (R46) <sup>1)</sup>	0,1 <sup>2)</sup>
Mutagen, kategori 3 (R68) <sup>1)</sup>	1 <sup>2)</sup>
Reproduktionsskadelig, kategori 1 eller 2 (R60, R61) <sup>1)</sup>	0,5 <sup>2)</sup>
Reproduktionsskadelig, kategori 3 (R62, R63) <sup>1)</sup>	5 <sup>2)</sup>
Miljøfarlig, vandmiljøet (R50, R51, R52, R53) og øvrige økosystemer (R54, R55, R56, R57, R58, R59) <sup>1)</sup>	ikke fastsat
Smitsom	ikke fastsat
Øvrige	ikke fastsat

1) Der henvises til bekendtgørelse om klassificering, emballering, mærkning, salg og opbevaring af kemiske stoffer og produkter samt til bilag VI, tabel 3.2. i Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1272/2008 af 16. december 2008 om klassificering, mærkning og emballering af stoffer og blandinger.

2) Koncentrationsgrænsen gælder for det enkelte kemiske stof med den pågældende egenskab.

### 3.2 FORBRÆNDINGSTEKNIK

CCA-træ er klassificeret som farligt affald og må ikke blandes med ikke-farligt eller andet farligt affald. Denne undersøgelse behandler derfor kun dedikeret forbrænding af CCA-træ tænkt som forbrænding i kampagner i et eksisterende eller nybygget forbrændingsanlæg.

I Tyskland blev der i 2003 bygget flere dedikerede forbrændingsanlæg til affaldstræ (inklusive CCA-træ). Forbrændingsteknologierne er spreader stoker og cirkulerende fluid bed i modsætning til de danske affaldsforbrændingsanlæg, som anvender ristefyring.

Der er i Danmark ikke udført forsøg med dedikeret forbrænding i fuldskala. Forbrændingsegenskaberne for CCA-træ kan være en del anderledes end for almindeligt affald delvist på grund af den højere brændværdi og lave askeindhold. Belastningen på røggas- og spildevandsbehandling kan være meget større end ved forbrænding af almindeligt affald på grund af de højere koncentrationer af CCA-metallerne og andre stoffer. Det er derfor uvist, om dedikeret forbrænding af CCA-træ kan ske i eksisterende affaldsforbrændingsanlæg uden driftsmæssige problemer.

### 3.3 MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER VED FORBRÆNDING AF CCA-TRÆ

Forbrænding af CCA-træ kan give anledning til en række miljøskadelige effekter på grund af indholdet af As, Cr og Cu, hvis der ikke tages de nødvendige foranstaltninger. Følgende er en kortfattet beskrivelse af de kendte miljømæssige konsekvenser ved forbrænding af CCA-træ.

### 3.3.1 As i røggas

CCA-træ indeholder høje koncentrationer af As, normalt i form af arsenat. Ved forbrænding fordampes en del As i form af både arsenit og arsenat. Arsenit dannes og fordampes ved relative lave temperaturer fra omkring 300°C ved reduktion af arsenat [Helsen et al. 2004, 2005, Wasson et al. 2005, Yan et al. 2008]. Selv arsenat vil begynde at fordampe ved temperaturer højere end omkring 600°C [Helsen et al. 2005]. Afhængig af forbrændingsbetingelserne kan fordampning af As i CCA-træet variere fra omkring 20% op til omkring 90%. En høj fordampningsgrad af As er normalt forbundet med lang tids udbrænding af koks/aske ved høj temperatur og med god lufttilstrømning, som tit er tilfældet i ristfyring, som igen er meget anvendt til affaldsforbrænding [Pedersen et al. 2010, Astrup et al. 2010, McMahon et al. 1986, Hirata et al. 1993]. Fuldskala-målinger ved Amagerforbrænding (ristfyring, 14% medforbrændingsforsøg) har for eksempel vist, at ca. 80% As i CCA-træet er fordampet i dette tilfælde [Terkildsen og Cramer 1994].

For at undgå luftforurening med As skal røggassen fra forbrænding af CCA-træ behandles, før den ledes ud i atmosfæren. Røggasrensingsanlægget til afsvovling kan for eksempel effektivt tilbageholde As i røggassen.

### 3.3.2 Dioxin i røggas

Dannelsesprocessen for dioxin (både PCDD og PCDF) i en forbrændingsproces er meget kompliceret og påvirkes af både forbrændingsbetingelserne og den kemiske sammensætning af brændslet [Dam-Johansen et al. 1996, Helsen et al. 2005, Tame et al. 2007, Jørgensen et al. 2009, Aurell et al. 2007]. Dioxin kan dannes både i røggas og i aske. Diverse undersøgelser har vist, at dioxindannelse fremmes af blandt andet Cu gennem den såkaldte "de novo"-proces. Dioxindannelse fremmes også af ulmende forbrænding i forhold til forbrænding med flamme [Tame et al. 2003a, 2005]. Der er undersøgelser, som har vist, at fyring med CCA-træ har medført signifikant mere dioxindannelse end fyring med almindeligt træ [Tame et al. 2003b], især under ulmende forbrænding, formentlig på grund af en kombination af forbrændingsprodukter fra den ufuldstændige forbrænding og tilstedeværelse af Cu, som er til stede i høj koncentration i CCA-træ. Fuldskala-målinger ved Amagerforbrænding har også vist en stor stigning i dioxindannelsen (ca. 3 gange i røggassen, 5 gange i slaggen og 8 gange i faste restprodukter) ved tilsætning af 8 % CCP-træ (CCP står for Cu, Cr og P (fosfor)) i forhold til fyring med normalt affald uden CCP-træ [Terkildsen og Cramer 1994]. Det vurderes at CCA-træ vil give en lignende effekt.

Det vurderes, at der er stor risiko for forøget dioxindannelse ved forbrænding af CCA-træ afhængig af den måde, CCA-træ bliver brændt på. Dioxin i røggas kan dog meget effektivt renses på røggasrensingsanlægget [Dam-Johansen et al. 1996]. Det meste dioxin, som dannes i forbrændingsprocessen, vil derfor ende i spildevand, slagge og faste restprodukter. Hvor størstedelen af dioxinen ender, afhænger af den anvendte røggasrensingsproces – tør/våd, placering af el/posefilter, mm.

### 3.3.3 SO<sub>2</sub> i røggas

Der er relativt begrænset information om SO<sub>2</sub>-emission fra forbrænding af CCA-træet. Fuldskala-forsøg på FASANs (nu: AffaldPlus+) forbrændingsanlæg i Næstved [Astrup et al. 2010] har vist, at tilsætning af 11% CCA-træ i

husholdningsaffald medfører ca. 100% stigning i SO<sub>2</sub>-koncentrationen i røggassen. Men emissionsniveauet er relativt lavt med en SO<sub>2</sub>-koncentration på ca. 93 ppm. Det er uvist, om den øgede SO<sub>2</sub>-emission er forårsaget af den høje koncentration af CuSO<sub>4</sub> i imprægneret træ. CuSO<sub>4</sub> var et meget anvendt kemikalie i imprægneringsmidler.

Den relative høje stigning i SO<sub>2</sub>-emissionsniveauet kan betyde, at røggasrensning på forbrændingsanlægget skal tilpasses for at kunne håndtere den øgede mængde af svovl.

### **3.3.4 Spildevand**

Hvis man benytter en våd røggasrensningsproces efter forbrændingen af CCA-træ, vil spildevandet fra røggasrensningen indeholde blandt andet As, Cr, Cu og dioxin. Det vil derfor være nødvendigt at rense spildevandet, så det overholder grænseværdierne for disse stoffer, før man leder det til recipienten.

En tør eller semitør røggasrensningsproces vil ikke producere spildevand.

### **3.3.5 Slagge og fast restprodukt**

Ved forbrænding af CCA-træ bliver det meste (ca. 80-90 %) af det Cr og Cu, som er i træet, tilbageholdt i slaggen. Andelen af As i træet, som bliver tilbageholdt i slaggen, afhænger meget af forbrændingsbetingelserne. Det resterende Cr, Cu og As tilbageholdes af den efterfølgende røggasrensningsproces og havner delvist i de faste restprodukter eller såkaldte røggasaffald. Slagge og de faste restprodukter har højt indhold af CCA-metaller og skal enten deponeres eller uskadeliggøres med andre behandlingsmetoder.

## **3.4 ØKONOMISKE KONSEKVENSER VED FORBRÆNDING AF CCA-TRÆ**

Til sammenligning med forbrænding af almindeligt husholdnings- og industriaffald produceres der ved forbrænding af CCA-træ spildevand, slagge og faste restprodukter, som indeholder høje koncentrationer af de miljøskadelige stoffer As, Cr, Cu og dioxin. Som nævnt ovenfor er det muligt at undgå produktion af spildevand ved at anvende en tør røggasrensningsproces, som det faktisk er tilfældet hos de fleste affaldsforbrændingsanlæg i Danmark. I det følgende vurderes de økonomiske omkostninger ved forbrænding af CCA-træ med en efterfølgende tør røggasrensningsproces.

I forhold til forbrænding af almindeligt husholdnings- og industriaffald kan der være flere omkostninger ved forbrænding af CCA-træ. Det kan eksempelvis være til deponering af slagge eller andre omkostninger forbundet med de foranstaltninger, som er nødvendige for håndteringen af CCA-træ. I dag er deponering en normal praksis ved behandling af farlige faste restprodukter fra affaldsforbrændingsanlæg. Ifølge Affaldsstatistik 2009 fra Miljøstyrelsen deponeredes der ca. 100.000 tons faste restprodukter fra affaldsforbrændingsanlæg i 2009.

På grund af indholdet af As i slagge vil der ved forbrænding af CCA-træ komme højere udgifter til deponering af slagge. Med en antagelse om, at CCA-træet har en askeprocent på 10% (ifølge Hansen et al. 2008), og at deponeringspris er 787 kr./t (prisen oplyst af Vestforbrænding), vil merudgiften til deponering af slagge fra CCA-træ forbrænding være ca. 80 kr./t brændt

CCA-træ. Deponeringspris kan dog ændre sig afhængig af deponeringsmuligheder.

Det er svært at vurdere omkostningerne forbundet med de nødvendige tilpasninger af anlægget, da de vil afhænge af udformningen af det aktuelle anlæg.

Det vurderes, at forbrænding af CCA-træ i stedet for almindeligt affald muligvis kan øge indtægten ved salg af el og varme, hvis træet er meget tørt [Hansen et al. 2008], som det normalt er tilfældet. Den øgede indtægt ved salg af el og varme vil delvist kunne kompensere for den øgede udgift til deponeringen af slaggen.



## 4 Behandlingsomkostninger og feasibility

Kapitel 2 beskriver flere teknologier, som kan eller muligvis kan anvendes til behandling af CCA-træ. Disse teknologier har vi opdelt i 4 kategorier:

- Teknologier som er afprøvede (eller er i funktion) i fuldskala-anlæg.
- Teknologier som har fuldskala-anlæg, men som ikke er afprøvet til behandling af CCA-træ.
- Teknologier som er i pilotforsøgsfasen.
- Teknologier som er i laboratorieforsøgsfasen.

Dette kapitel vil kun vurdere teknologier, som er afprøvet i fuldskala-anlæg eller er kommercielt tilgængelige, idet risikoen for at løbe ind i tekniske eller økonomiske problemer er for stor ved at bruge uafprøvede eller ukommercialiserede teknologier.

Betingelser eller modeller til beregning af behandlingsomkostninger er specificeret ved de enkelte beregninger.

### 4.1 FORBRÆNDING I AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

#### 4.1.1 De tekniske aspekter

Forbrænding af CCA-træ og konsekvenserne heraf er beskrevet i Kapitel 3 og vil ikke blive gentaget her.

Forbrænding af CCA-træ i udpegede affaldsforbrændingsanlæg bliver praktiseret i Tyskland, Finland og muligvis også andre europæiske lande. Teknisk set er der ikke nogen hindring i at bruge den samme praksis til behandling af CCA-træ som i Tyskland.

#### 4.1.2 De økonomiske aspekter

Det følgende er en økonomisk beregning for forbrænding af CCA-træ i et almindeligt affaldsforbrændingsanlæg.

*Bruttoomkostning:*

Ifølge rapporten ”Opdatering af effektiviseringspotentialer på forbrændingsområdet i Danmark”, som er udarbejdet af COWI for Miljøstyrelsen i 2006, og BEATE rapporten ”Benchmarking af affaldssektoren 2010 Forbrænding”, som er udarbejdet af Affald Danmark, RenoSam, DI og Dansk Energi, er gennemsnitsbruttoomkostningen (ekskl. moms, indtægter og affaldsafgift) for forbrænding af et ton affald i Danmark i dag estimeret til ca. 900 kr./ton.

Ved forbrænding af CCA-træet benytter vi denne gennemsnitsbruttoomkostning plus et tillæg på 5 % for de ekstra foranstaltninger til håndtering af CCA-træet (skøn uden konkret basis) og 80 kr. for slaggedeponering.

#### *Indtægter:*

Ifølge ovennævnte BEATE rapport er gennemsnitsindtægten fra salg af el og varme fra affaldsforbrænding ca. 600 kr./t affald. Det antages, at CCA-træet har en gennemsnitsbrændværdi, som er 20 % højere end almindeligt affald. Med denne antagelse vil salget af el og varme indbringe ca. ekstra 120 kr./t brændt CCA-træ.

#### *Nettoomkostning:*

Nettoomkostningen kan beregnes ved at trække indtægterne fra den vurderede bruttoomkostning. Det resulterer i en nettopris på 305 kr./t brændt CCA-træ.

## 4.2 IQR SFC FORGASSER

### **4.2.1 De tekniske aspekter**

Den svenske virksomhed IQR Systems AB har udviklet SFC-forgasningsteknologien (Soot Free Combustion), som kan anvendes til behandling af CCA-træ. Det er en proces, som består af et medstrømsforgasningstrin efterfulgt af et forbrændingstrin. Forbrændingsvarmen bruges til produktion af damp eller fjernvarme. Ca. 99,9 % af alle CCA-metaller i CCA-træet tilbageholdes i asken fra forgasningstrinet. Asken fra forgasningen deponeres. Det har ikke været muligt at skaffe emissionsdata fra denne proces.

Der er bygget i alt to kommercielle anlæg i Sverige (Munkfosverket og Svenljungaverket). Anlægskapaciteten er på hvert af de to anlæg ca. 20.000 t/år. Der skulle være 4-5 sådanne anlæg i Danmark for at håndtere det estimerede årlige behandlingsbehov på ca. 100.000 tons.

### **4.2.2 De økonomiske aspekter**

Ifølge spørgeskemasvaret fra Munkforsverket i Sverige koster deres anlæg ca. 100 mio. SEK, svarende til ca. 85 mio. DKK. Bruttobehandlingsomkostningen er estimeret til at være ca. 800-900 kr./t CCA-træ med antagelser af en tilbagebetalingstid på 15 år og en total årlig driftsomkostning på ca. 10 % af den initiale anlægspris. Hvis man antager, at indtægten fra salg af el og varme er 600 kr./t CCA-træ ligesom indtægt fra salg af el og varme i et typisk dansk affaldsforbrændingsanlæg, vil nettobehandlingspris være omkring 350-450 kr./ton CCA-træ, som er i samme niveau med dedikeret forbrænding. På grund af manglende data må der påregnes en del usikkerhed i denne vurdering.

## 4.3 CHAR THERM PROCES

### **4.3.1 De tekniske aspekter**

Den franske virksomhed Thermya har udviklet den såkaldte "Chartherm" proces specielt til behandling af CCA-træ og andet forurenede træ. Det er en kombineret pyrolyse og delvis forgasning, som sker i en modstrømsreaktor. Teknologien producerer en tjærefri produktgas, som brændes for at levere energi til selve processen og en koksfraktion, som indeholder ca. 99,9 % af alle CCA-metaller i træet. Koksen bliver efterfølgende formålet og behandlet i en centrifuge for at adskille CCA-metallerne fra kulstof. Processen foregår ved relativ lav temperatur og producerer derfor en forholdsmæssig lille mængde

gas, men til gengæld en stor mængde koks. Chartherms proces producerer ikke overskudsvarme, som kan sælges.

Med denne proces er emissionen af CCA-metallerne i røggassen minimeret. CCA-metallerne er i høj grad opkoncentreret i en blanding. Koksen er beskrevet som relativ ren og kan bruges til andre industrielle formål eller brændes for at udnytte dens termiske energi. Det har ikke været muligt at skaffe data om sammensætningen af koksen, især med hensyn til koncentration af As, som kan have stor indflydelse på koksens genanvendelighed til brændsel eller andre formål. Der er heller ikke oplysninger om muligheden for salg af de opkoncentrerede CCA-metaller.

Der er bygget et demoanlæg i Frankrig med en kapacitet på 10.000 ton/år. Driftserfaringer med denne proces er derfor meget begrænsede. Anlægskapaciteten er relativ lille. Der skulle være 10 sådanne anlæg for at håndtere de estimerede ca. 100.000 t CCA-træaffald/år i Danmark.

#### **4.3.2 De økonomiske aspekter**

Ifølge spørgeskemasvaret fra Thermya er nettobehandlingsomkostningen ca. 1.100 kr./t CCA-træ.

### 4.4 ALTERNATIV BEHANDLING

#### **4.4.1 Genbrug**

I EU må brugt træ kun genbruges, hvis produktet eller den proces, det skal igennem, ikke bringer menneskers sundhed i fare eller skader miljøet. Træ imprægneret med arsen må som hovedregel ikke genbruges.

#### **4.4.2 Eksport**

CCA-træ i Danmark kan også eksporteres til andre lande for at blive behandlet. I dag eksporteres hovedparten af CCA-træet til Tyskland og en mindre del til Holland og Sverige. Prisen for eksport af CCA-træ til Tyskland er ifølge Vestforbrænding ca. 500 kr./t inkl. transport fra Frederikssund til kraftvarmeværker i Tyskland.



## 5 Lovgivning i nabolande

For bedre at kunne vurdere mulighederne i Danmark er der gennemført en udredning af lovgivningen i Sverige og Tyskland for at forstå de rammer, der gælder i disse lande, herunder viden om de tekniske løsninger, der anvendes. Det er forsøgt at finde baggrund for myndighedernes begrundelse for reglerne for at forstå, hvorfor det er muligt at forbrænde CCA-træ i nogle lande, men ikke i andre lande.

De forskellige måder at håndtere CCA-træet på kan skyldes, at indholdet af tungmetaller varierer meget mellem affald af forskellig oprindelse. As-indholdet er højere i affaldstræ af svensk oprindelse end i affaldstræ af f.eks. tysk oprindelse [Jermer, J.et al]. Dette stemmer overens med det faktum, at CCA-typen af træbeskyttelsesmidler er blevet brugt i langt mindre omfang i Tyskland.

### 5.1 SVERIGE

I Sverige dominerede anvendelse af træ behandlet med CCA indtil 1994, hvor der blev indført restriktioner på anvendelsesområderne for træet. CCA-behandlet træ må kun bruges, når træet er placeret i jordkontakt, i marine anlæg, hvor sikkerhedskrav er skærpede eller i fugtige miljøer, hvor udskiftning er vanskelig, som f.eks. indbygget i beton.

Det har ikke været muligt at finde egentlige estimater over mængderne af imprægneret affaldstræ i Sverige. Ses der bort fra master og sveller har mængden af imprægneret træ udgjort ca. 5-8% af den totale mængde solgt træ til det svenske hjemmemarked siden begyndelsen af 1970'erne. Derfor kan mængden af imprægneret træ i affaldsstrømmen forventes at ligge på ca. 5% af den totale mængde træ i årene fremover.

Sverige har ingen særlige regler for håndtering af udtjent CCA-imprægneret træ. Den primære årsag hertil er ifølge Naturvårdsverket<sup>1</sup>, at det ikke er muligt visuelt at skelne imprægneret affaldstræ fra ikke-imprægneret affaldstræ. Derimod er der for nyimprægneret affaldstræ en henstilling til, at træet afbrændes i kontrollerede anlæg, og at asken og filterindholdet deponeres forsvarligt.

Kontakt til både IQR Systems AB (der leverer forgasningsanlæg til behandling af CCA-træ) og Svenljungaverket (der behandler CCA-træ i deres forgasningsanlæg) i Sverige viser, at Sverige deponerer den CCA-holdige bundaske i Norge.

Deponi af CCA-træ er i Sverige ikke en løsning, idet det fra 2002 er blevet forbudt at deponere brændbart affald, herunder CCA-imprægneret træ.

---

<sup>1</sup> Denne institution er den myndighed, der overvåger miljøforholdene i Sverige, og som kan sidestilles med den danske Miljøstyrelse.

## 5.2 TYSKLAND

Reglerne for forbrænding af resttræ i Tyskland findes især i "die neue TA Luft" [TA Luft 2002]. Dette regelsæt har i nogle tilfælde dannet baggrund for reglerne i Tysklands nabolande, herunder regler for EU.

Reglerne for mindre fyringsanlæg (mindre end 50 MW) findes i 1. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzgesetz) "Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen".

Ifølge disse regler må der anvendes følgende typer træ:

- 1) Naturlige stykker træ med vedhæftet bark, herunder træpiller
- 2) Naturligt træ som savsmuld, spåner og bark
- 3) Træbriketter fremstillet efter DIN 51731 eller tilsvarende kvalitet
- 4) Malet og lakeret træ uden træbeskyttelse og organiske halogenforbindelser
- 5) Resttræ, spånplader eller lignende træ uden organiske halogenforbindelser.

Der må således ikke afbrændes CCA-træ i anlæg mindre end 50 MW. Derimod må man gerne afbrænde malet og lakeret træ. I Danmark bliver denne type træ betragtet som affald og skal derfor forbrændes på affaldsforbrændingsanlæg.

Er anlægget større end 50 MW, findes reglerne i 13. BImSchV "Verordnung über Grossfeuerungsanlagen".

I denne type anlæg må anvendes samme typer materialer som i anlæg mindre end 50 MW.

Den 13. BImSchV er implementering af EU-direktiv 2001/80/EF om begrænsning af luftformige emissioner fra store fyringsanlæg. Dette direktiv er i Danmark implementeret i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 808 af 25. september 2003. Direktivet indeholder følgende definition på "trælignende" brændsler, der må anvendes i anlæggene:

"Biomasse": Produkter bestående af vegetabilsk materiale, helt eller dele heraf, hidrørende fra landbrug eller skovbrug, der kan anvendes til udnyttelse af energiindholdet, og følgende affald, der anvendes som brændsel:

- a) vegetabilsk affald fra landbrug og skovbrug
- b) vegetabilsk affald fra levnedsmiddelindustrien, hvis forbrændingsvarmen genanvendes
- c) korkaffald
- d) træaffald undtagen træaffald, der kan indeholde halogenerede organiske forbindelser eller tungmetaller som følge af behandling med træbeskyttelsesmidler eller overfladebehandling, herunder navnlig sådant træaffald fra bygge- og nedrivningsaffald

Det vil sige, at det ikke er tilladt at afbrænde CCA-imprægneret træ i disse anlæg.

For afbrænding af træ indeholdende træbeskyttelse (CCA-imprægneret træ) gælder den 17. BImSchV "Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen". I dette regelsæt findes også en liste over de træbrændsler, der ikke er omfattet af 17. BImSchV. Denne opdeling svarer til det danske Miljøministeriums bekendtgørelse nr. 1356 af 21. december 2011.

Dvs. at der i Tyskland i princippet er mulighed for at afbrænde CCA-imprægneret træ på særligt godkendte affaldsforbrændingsanlæg.

TA Luft anfører endvidere, at det kan være svært for myndigheder, ansatte og anlægsejere at kontrollere sammensætningen af træaffaldet.

Det tyske imprægneringsforbund, Deutscher Holzschutzverband e.V. (DHV), har tidligere opbygget en virksomhed til indsamling af affaldstræet, System Direkt GmbH & Co. Her kan man bestille afhentning af affaldstræ. Ved mindre mængder af affaldstræ bestilles "big-bags" med et volumen på 1 m<sup>3</sup>. Når disse er fyldte, afhentes de under ordningen. Denne ordning kan benyttes af f.eks. gartnere og vinbønder, men private kan også benytte sig af ordningen. Ved større mængder af imprægneret affaldstræ vil afhentningen foregå i større containere med plads til 40 m<sup>3</sup>. Hvor godt denne ordning fungerer, er ikke nærmere undersøgt. Dele af det indsamlede affaldstræ bliver forbrændt i tyske dedikerede anlæg til spildtræ. Denne undersøgelse har ikke omfattet en afklaring af den tyske behandlingssituation.





## 6 Afsætning af metaller

As, Cu og Cr i imprægneringsmidler forekommer normalt i oxideret tilstand som  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  og  $\text{Cr}^{6+}$ . Efter imprægnering omdannes det meste Cr til oxidationstilstand  $\text{Cr}^{3+}$ . Udover de oprindelige oxidationstilstande vil As og Cu efter en termisk behandling også findes i oxidationstrinene  $\text{As}^{3+}$  og  $\text{Cu}^+$  [Wasson et al. 2005]. Efter behandling af CCA-træet vil disse metaller opkoncentreres i aske, faste restprodukter eller vandige opløsninger som oxider eller salte.

Salg af metallerne fra CCA-træbehandling er i virkeligheden salg af oxider eller salte af disse metaller. Ifølge Lars Nyborg fra Osmose Denmark A/S benyttes CCA-restprodukt ikke i dag til fremstilling af ny CCA-imprægneringsmidler. Dette vil med stor sandsynlighed være muligt, men vil kræve noget udviklingsarbejde, inden en kommerciel produktion kan påbegyndes. I Finland har der tidligere været udført indledende forsøg med gode resultater.

Salte til CCA-imprægneringsmidler kan komme fra andre kilder. Således er Osmose i øjeblikket involveret i et projekt sammen med en nordisk kobberproducent, hvor man ser på muligheden for at anvende kobberarsenat fra kobberproduktionen (her i Norden) til fremstilling af CCA-imprægneringsmidler (udenfor EU). Dette projekt er dog i en meget tidlig fase, og det er endnu for tidligt at sige, om det bliver til noget.

På verdensplan bliver CCA-imprægneringsmidler stadigvæk benyttet til imprægnering af træ.

Ifølge Miljøprojekt Nr. 1055 [Cramer et al. 2006] udgør værdien fra eventuel genanvendelse/salg af metallerne fra CCA-træbehandling ca. 2 % af den totale værdi af CCA-træ som affaldsbrændsel.



# 7 Miljøeffekter

Dette kapitel beskriver miljøeffekterne nærmere ved anvendelse af de forskellige teknologier. Overblikket over status for eksisterende teknologier indenfor behandling af CCA-imprægneret træ er præsenteret i Kapitel 2, ”Teknologistatus”.

Oversigten i Kapitel 2 viser, at der findes følgende interessante teknologier, dvs. teknologier, der enten i dag behandler CCA-imprægneret træ eller processer, der i laboratorieskala/pilotskala har vist sig at kunne behandle CCA-imprægneret træ:

- IQR Systems forgasningsteknologi – kommerciel
- Chartherm’s pyrolyseproces (Thermya) – kommerciel
- Tyske forbrændingsteknologier – kommerciel i Tyskland
- Watech’s ekstraktionsproces (Stena Metall) – ikke-kommerciel
- Elektrodialyse (DTU Byg) – ikke-kommerciel

Disse teknologier beskrives nærmere nedenfor i de enkelte afsnit.

Ifølge Miljøstyrelsen eksporteres hovedparten af Danmarks CCA-imprægnerede træ. Dette sker hovedsageligt til Tyskland, hvor det forbrændes. Der kan dog forekomme deponering af små mængder af CCA-imprægneret træ i Danmark (hvor meget vides ikke), ligesom der kan forekomme en utilsigtet medforbrænding i almindelige affaldsforbrændingsanlæg, hvis udsorteringen af det CCA-imprægnerede træ f.eks. ikke sker korrekt på genbrugsstationerne. Derfor er miljøeffekterne ved disse scenarier for behandling af CCA-imprægneret træ i Danmark i dag også beskrevet kort. Miljøeffekterne ved forbrænding af CCA-træ er desuden detaljeret beskrevet i Kapitel 3 ”Forbrænding af CCA-træ”.

## 7.1 KOMMERCIELLE TEKNOLOGIER

### 7.1.1 IQR Systems forgasningsteknologi

IQR Systems forgasningsteknologi – Soot Free Combustion unit – anvendes i dag på to værker i Sverige – Svenljungaverket (siden 2008) og Munkforsverket (siden august 2011). Forgasseren er bygget til udelukkende at håndtere træaffald, herunder CCA-imprægneret træ, samt biobrændsel. Ifølge oplysninger fra IQR Systems<sup>2</sup> kan deres forgasser håndtere træ med et fugtindhold på op til 60%. Asken bliver total udbrændt, og stort set alt Cu, Cr og As (99,9 %) ender i bundasken efter forgasningen. Bundasken deponeres efterfølgende (i Norge).

IQR Systems angiver, at  $\text{NO}_x$ - og  $\text{SO}_2$ -emissioner kan holdes meget lave uanset brændslet. Forgasseren påstås endda at kunne holde de lave emissioner selv ved kun 10% last.

---

<sup>2</sup> Personlig kontakt med Daniel Karlström (IQR), samt IQR’s hjemmeside [www.iqr.se](http://www.iqr.se).

Der er endnu ikke de store erfaringer med behandling af CCA-impregneret træ fra det nye Munkforsverket, der stadig er i sit opstartsår. Men Svenljungaverket har i nogle år behandlet CCA-impregneret træ. Det har dog ikke været muligt at få oplysninger om præcist hvor stor en andel af brændslet, der er CCA-impregneret træ. Svenljungaverket angiver, at størstedelen er CCA-impregneret træ, men at kreosotimpregneret træ og andet træaffald også behandles.

Der eksisterer en analyserapport fra Svenljungaverkets bundaske fra 2009. Resultaterne er angivet i Tabel 7-1 nedenfor. Til sammenligning er angivet analysedata fra bundaske fra forsøg, hvor 11% CCA-impregneret træ er medforbrændt på forbrændingsanlæg med almindeligt husholdningsaffald [Astrup et al. 2010].

TABEL 7-1 ANALYSE AF METALINDHOLD I BUNDASKE FRA SVENLJUNGAVERKET (SVERIGE), DER BENYTTET EN FORGASSER FRA IQR SYSTEMS AB (SVERIGE) [SVENLJUNGA ENERGI AB 2009]. DATA ER SAMMENLIGNET MED DATA FRA METALINDHOLD I BUNDASKE VED FORSØG MED MEDFORBRÆNDING PÅ DANSK ANLÆG [ASTRUP ET AL. 2010].

Analyseparameter	Bundaske fra Svenljungaverket (S) 2009 Træaffald, herunder CCA-træ (> 50 %)	Bundaske fra FASAN (DK) Almindeligt husholdningsaffald + 11 % CCA-træ
Fugtindhold	0,3 %	
	Enhed mg/kg TS	Enhed mg/kg TS
As	7900	57,3
Cd	< 0,5	1,02
Co	26	27,3
Cu	8800	5500
Cr	6700	527
Hg	< 0,045	0,03
Ni	73	515
Pb	67	4470
V	96	47,7
Zn	660	3420

Når man sammenligner med koncentrationerne af Cr, Cu og As i bundasken ved behandling på Svenljungaverket og ved medforbrænding af 11% CCA-træ på almindeligt forbrændingsanlæg i Danmark, er det interessant at se, at den svenske forgasningsproces tilsyneladende tilbageholder en stor del af både Cu, Cr og As i bundasken. Resultaterne fra medforbrændingsforsøgene indikerer, at As i denne proces emitteres via røggassen i stedet (som også er beskrevet i Kapitel 3 "Forbrænding af CCA-træ"). Resultaterne tyder på, at det samme gør sig gældende for Cr.

Der er ikke oplysninger om hvor stor en del af den indfyrede mængde, der bestod af CCA-træ på Svenljungaverket, men hovedparten skulle være CCA-træ, dvs. mere end 50%. De langt højere værdier af Cr, Cu og As i bundasken fra Svenljungaverket viser, at langt hovedparten af Cr, Cu og As ender i bundasken, som IQR Systems AB også oplyser – eller også, at bundasken er bedre udbrændt og derved vejer mindre (hvorved koncentrationen af metallerne er højere). Ifølge IQR Systems' hjemmeside er asken fuldstændig udbrændt, hvilket er en fordel, da mængden af aske og dermed deponeringsomkostningerne således holdes på et minimum.

Miljømæssigt set vil det helt klart være en fordel, hvis Cr, Cu og As stort set kun findes i en lille mængde bundaske, som skal deponeres.

### **7.1.2 Chartherm's pyrolyse proces (Thermya)**

Den franske virksomhed Thermya har udviklet den såkaldte "Chartherm" proces specielt til behandling af CCA-træ og andet forurenet træ. Det er en kombineret pyrolyse og delforgasning, som sker i en modstrømsreaktor. Der produceres en gasstrøm, som brændes for at levere energi til selve processen, samt en koksfraktion, som indeholder ca. 99,9% af CCA-metallerne i træet. Koksen bliver efterfølgende formålet og behandlet i en centrifuge for at adskille CCA-metallerne fra kulstof. Ved processen produceres der ikke overskudsvarme, som kan sælges, men koksen, der er beskrevet som relativt ren, kan efterfølgende bruges til andre industrielle formål eller forbrændes for at udnytte dens termiske energi.

Der er bygget et demoanlæg i Frankrig med en kapacitet på 10.000 ton/år. Driftserfaringer med denne proces er derfor meget begrænsede.

Det har ikke været muligt at skaffe data om sammensætningen af koksen eller emissioner i øvrigt fra processen. Ifølge Chartherm's hjemmeside er metallerne direkte genanvendelige, men indeholder dog en lille procentdel kul. Det vides dog ikke, hvor store afsætningsmulighederne er for metallerne.

Som for IQR's forgasningsproces er det miljømæssigt set en klar fordel, at Cr, Cu og As stort set kun findes i én udgående strøm. I denne proces er emissionen af CCA-metallerne i røggassen således minimeret.

### **7.1.3 Tyske forbrændingsteknologier**

Det tyske affaldsbehandlingsfirma MVV Umwelt GmbH har bygget flere forbrændingsanlæg til forbrænding af spildtræ inklusiv CCA-træ. Det fremgår af firmaets hjemmeside, at røggasaffald fra disse anlæg bliver deponeret i gamle miner i Tyskland, og at bundasken/slaggen bliver anvendt til anlægsbygning. Der mangler konkrete oplysninger om emission af CCA-metaller og slagge-kvalitet fra disse forbrændingsanlæg. Det er derfor vanskeligt at udtale sig om de miljømæssige forhold for disse tyske forbrændingsteknologier.

Det må imidlertid formodes, som beskrevet i Kapitel 3, at koncentrationerne af Cr, Cu og As i røggas, bundaske og faste restprodukter vil blive høje, og at det kræver ekstra foranstaltninger til røggasrensning for at overholde emissionsgrænser, samt evt. deponeringskrav for bundasken. Den største fordel er dog, at den samlede mængde røggas, bundaske og faste restprodukter, som kræver behandling, bliver meget mindre. Det kan betyde mindre omkostninger til behandling og også bedre mulighed for eventuel genvinding af As, Cr og Cu fra bundaske og faste restprodukter. En anden fordel med dedikeret forbrænding er, at forurening af bundasken fra almindeligt affald kan undgås.

## **7.2 IKKE-KOMMERCIELLE TEKNOLOGIER**

### **7.2.1 Watech's ekstraktionsproces (Stena Metall)**

Watech's ekstraktionsproces er en vådkemisk proces, der ved hjælp af varm fortyndet saltsyre ekstraherer tungmetallerne ud af det CCA-imprægnerede affaldstræ. Der er udført omfattende forsøg på pilotstadiet, der er beskrevet nærmere i Miljøprojekt Nr. 1207 [Rasmussen 2008].

Ifølge Erik Rasmussen i Stena Metall er der ikke sket mere med processen siden 2008. Resultaterne viser, at processen virker. 97-99% af metallerne fjernes fra CCA-træet, hvorved indholdet af Cr, Cu og As er på niveau med andet træaffald. Se Tabel 7-2.

TABEL 7-2 KONCENTRATIONER AF CCA-METALLER I "WATECH"-BEHANDLET AFFALDSTRÆ SAMMENLIGNET MED AFFALDSTRÆ TIL SPÅNPLADEPRODUKTION, AFFALDSTRÆ FRA NEDRIVNING, RETURFLIS BRÆNDSEL OG TRÆBRÆNDELSE. KILDE: RASMUSSEN 2008.

Stof	Watech behandlet træ	Træaffald til spånpladeproduktion	Affaldstræ fra nedrivning	Returflis brændsel	Træbrændsel
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Cu	20 ± 5	69	73	17	14
Cr	31 ± 5	84	45	18	21
As	n.d. (<3?)	48	9	6	1
Klor	429 ± 4	-	-	1000	-

n.d. = ikke detekteret

- = ikke målt

Processen foregår som en fire trins modstrømsekstraktion med skylning, der fremstiller "rent" træbrændsel (det behandlede affaldstræ). Ekstraktionsvæsken behandles med bl.a. kalk for at fælde tungmetallerne. Restprodukterne fra processen er således det behandlede affaldstræ, en tungmetalholdig filterkage, samt spildevand. Den tungmetalholdige filterkage deponeres efterfølgende.

Resultaterne fra pilotforsøgene viste, at det "rene" træbrændsel, der er resultatet af Watech's ekstraktionsproces, har så lille et restindhold af Cr, Cu og As, at det f.eks. vil kunne genanvendes i spånpladeproduktion eller til energiudnyttelse i f.eks. biomassefyrede kraftvarmeanlæg eller affaldsforbrændingsanlæg. Det angives dog i Miljøprojekt Nr. 1207, at bundaskeproduktet, der fremkommer ved energiudnyttelse, ikke helt levede op til et af de opstillede mål (at kunne udsprede asken på landbrugsjord), idet bundaskeproduktet havde et for højt Cu og Cr-indhold, hvorimod indholdet af As levede op til det opstillede mål på under 5 mg/kg TS for alle tre metaller.

Processen giver primært mening, hvis restprodukterne (metallerne) kan afsættes/sælges efterfølgende. I Miljøprojekt Nr. 1207 [Rasmussen 2008] blev der imidlertid ikke undersøgt, om tungmetallerne kunne afsættes. Noget tyder på, at det vil være meget vanskeligt at sælge de genindvundne CCA-metaller, da imprægnering af træ med Cr og As i dag er forbudt i EU.

Processen har ligget på standby siden 2008, men kan ifølge forfatteren genoptages igen, så snart de primære barrierer for processen (såsom den økonomiske fordel ved at eksportere CCA-træ, forbrændingsafgiften, samt manglende udsortering af CCA-træ i særskilt fraktion) er fjernet<sup>3</sup>.

### 7.2.2 Elektrodialyse (DTU Byg)

DTU Byg har indenfor de sidste 10-15 år forsket i metoder til at udtrække Cu, Cr og As fra CCA-imprægneret træ med det formål, at CCA-niveauet i det behandlede træ bliver så lavt og så hurtigt, at det behandlede CCA-træ efterfølgende kan blive behandlet i et konventionelt forbrændingsanlæg, således at træets energiressourcer herved kan udnyttes.

I processen neddeles CCA-træet (i 2-4 cm stykker) og lægges i et syrligt vandbad bestående af fosforsyre og/eller oxalsyre, hvorefter det våde træ på-

<sup>3</sup> Personlig kommunikation med Erik Rasmussen, Stena Metall, december 2011.

trykkes et elektrisk felt. Der kan opnås en udtrækningsgrad på ca. 82% for Cr, 88% for Cu og mindst 96% for As. Behandlingstiden er mellem 11 og 21 dage. [Pedersen et al. 2005].

I Miljøprojekt Nr. 1207 [Rasmussen 2008] angives, at CCA-indholdet i indsamlet CCA-imprægneret affaldstræ kan forventes at være på henholdsvis 1200 (Cu), 850 (Cr) og 750 (As) mg/kg tørstof (angivet i første kolonne i Tabel 7-3 nedenfor). Med de opnåede udtrækningsgrader af metallerne vil restindholdet af metaller være næsten på niveau med andet almindeligt træaffald.

TABEL 7-3 OVERSIGT OVER FORVENTET BEREGET METALINDHOLD EFTER ELEKTRODIALYSE AF CCA-IMPRÆGNERET AFFALDSTRÆ (BASERET PÅ OPLYSNINGER I [RASMUSSEN 2008]).

Metal	Metalindhold i indsamlet CCA-træ	Udtrækningsgrad ved elektrodialyse	Forventet metalindhold ved elektrodialyse <sup>1</sup>	Træaffald til spånpladeproduktion	Affaldstræ fra nedrivning
	mg/kg TS	%	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Cu	1200	88	144	69	73
Cr	850	82	153	84	45
As	750	96	30	48	9

<sup>1</sup> Denne kolonne indeholder det forventede metalindhold efter elektrodialyse. Er beregnet ved at procentdelen angivet i anden kolonne er fratrukket metalindholdet angivet i første kolonne.

Ifølge Lisbeth Ottosen, DTU Byg vil metoden også kunne anvendes til behandling af asken fra CCA-træ forbrænding. DTU Byg mener, at metallerne fra den elektrokemiske dialyse vil kunne anvendes til f.eks. nyt CCA imprægneringsmiddel. Dette vil dog ikke kunne sælges indenfor EU, da det som hovedregel ikke længere er tilladt at anvende Cr og As som imprægneringsmidler i EU.

Affald fra denne proces vil være kemikalier i form af rester af syrebadet, som højst sandsynligt vil skulle bortskaffes hos Kommunekemi.

Elektrolyse er en energikrævende proces. Der foreligger ikke oplysninger om, hvor stort energiforbruget er i forhold til den energi, der efterfølgende kan udnyttes ved forbrændingen af det behandlede træ. Men det er klart, at processen primært giver mening, hvis restprodukterne (metallerne) kan afsættes/sælges efterfølgende. Noget tyder på, at det vil være meget vanskeligt at sælge de genindvundne CCA-metaller, da imprægnering med Cr og As i dag er forbudt i EU. Se Kapitel 6 "Afsætning af metaller".

### 7.3 MILJØFORHOLD VED DEN EKSISTERENDE BEHANDLING AF CCA-TRÆ

CCA-imprægneret træ i Danmark følger i dag en af nedenstående tre veje, når det bliver til affald:

1. Det CCA-imprægnerede træ deponeres, indtil man finder en egnet behandlingsmetode.
2. Der kan forekomme en utilsigtet medforbrænding af CCA-imprægneret træ i almindelige affaldsforbrændingsanlæg, hvis udsorteringen af det CCA-imprægnerede træ ikke sker korrekt.
3. CCA-imprægneret træ eksporteres til nyttiggørelse i udlandet. Dette sker ifølge Miljøstyrelsen primært til Tyskland, men også i nogen grad til Holland og Sverige.

Ifølge Miljøstyrelsen eksporteres hovedparten af det danske CCA-imprægnerede affaldstræ, dvs. ovenstående punkt 3 er den primære behandlingsvej for CCA-imprægneret træ i Danmark i dag.

### **7.3.1 Deponering af CCA-imprægneret træ**

Et nyere studie fra England [Mercer & Frostick 2012] viser, at der sker en udvaskning af metallerne fra CCA-imprægneret træ og i sådan en grad, at den direkte udvaskning af metallerne kan medføre en overskridelse af gældende grænseværdier. Ved deponering af CCA-imprægneret træ vil perkolatet (nedsivende vand, der er forurennet med stoffer fra det overliggende affald) imidlertid blive opsamlet og behandlet.

Der er generelt ikke meget litteratur omkring de specifikke miljøbelastninger fra deponering af CCA-imprægneret træ alene. I Miljøprojekt Nr. 1208 [Hansen et al. 2008] beskrives, at udvaskningsforsøg med CCA-imprægneret træ viser, at der vil ske en udvaskning af As på mellem 2 og 3% i løbet af 1½ år.

Perkolatdata fra danske deponier, hvor der har været/bliver deponeret CCA-imprægneret træ, viser, at der udvaskes Cu, Cr og As. Det vides ikke, hvor stor en del, der skyldes det CCA-imprægnerede træ, da CCA-træ kun udgør en lille del af det deponerede affald [Hansen et al. 2008].

Perkolatdata afslører imidlertid ikke direkte noget om miljøbelastningerne fra deponeringen af det CCA-imprægnerede træ, da perkolatet bliver opsamlet og renset, før det ledes videre.

### **7.3.2 Utsigtet medforbrænding af CCA-imprægneret træ**

Forsøg med 11% medforbrænding af (hovedsageligt) CCA-imprægneret træ sammen med almindeligt husholdningsaffald på et dansk affaldsforbrændingsanlæg har vist, at både luftemissioner og indholdet af metaller i asken (bundaske og flyveaske) ændres væsentligt, selv når der tages højde for de almindelige udsving i emissioner/udledninger, som skyldes de operationelle forhold på affaldsforbrændingsanlægget [Astrup et al. 2011, Astrup et al. 2010].

Resultaterne viste, at når CCA-imprægneret træ blev medforbrændt med almindeligt husholdningsaffald steg luftemissionerne af As efter røggasrensningen væsentligt i forhold til forbrænding af almindeligt husholdningsaffald (uden CCA-træ), men var dog stadigvæk under den tilladte grænseværdi. For Cr så man kun en mindre stigning i luftemissionerne [Astrup et al. 2011, Astrup et al. 2010].

Generelt viste forsøgene, at kun omkring 0,1% (vægt) af den tilførte mængde metaller blev emitteret med røggassen, og at de fleste metaller primært kunne findes i bundasken (bl.a. Cu, Cr og As). Over 50% af den tilførte mængde As fandtes i bundasken, men ved forsøget med medforbrænding af CCA-imprægneret træ fandt man kun ca. 20 % (vægt) af inputmængden af As i bundasken. For Cr fandt man over 80 % af inputmængden i bundasken. Generelt så det ud til, at medforbrænding af CCA-træ ikke havde den store effekt på koncentrationerne af Cr i bundasken (variationerne svarede til de typiske variationer ved normal drift), hvorimod koncentrationen af Cr i flyveasken var højere end normalt ved medforbrænding af CCA-træ [Astrup et al. 2011, Astrup et al. 2010].



Utsigtet medforbrænding af CCA-træ på almindelige affaldsforbrændingsanlæg i Danmark må således forventes at medføre øgede luftemissioner af Cu, Cr og især As, da den generelle koncentration af Cu, Cr og As stiger i det indfyrede affald. Dog vil luftemissionen af As stige væsentligt (i forhold til afbrænding af almindeligt husholdningsaffald), da As er flygtigt og en større andel af As vil kunne findes i røggassen. Koncentrationen af As i den emitterede røggas forventes at kunne overholde emissionskravene. Herudover forventes større mængder af Cu, Cr og As i asken – primært i bundasken, men for Cr's vedkommende også i flyveasken.

### 7.3.3 Eksport af CCA-imprægneret træ

Ifølge oplysninger fra Miljøstyrelsen blev en del affaldstræ eksporteret i 2011. Det er dog ikke muligt at få et præcist overblik over mængden af eksporteret CCA-træ, da eksportdata dækker over følgende træaffaldsfraktioner:

- Affald af forarbejdet kork og træ
- Savsmuld, spån, afskåret materiale, tømmer, spånplader og finer indeholdende farlige stoffer (fra træforarbejdning, red.)
- Glas, plast og træ, som indeholder eller er forurenet med farlige stoffer (bygningssaffald, red.)
- Træ indeholdende farlige stoffer (fra mekanisk behandling af affald, red.)
- Træ indeholdende farlige stoffer (kommunalt indsamlet affald, red.)

Eksport af CCA-træ sker ifølge Miljøstyrelsen primært til Tyskland, men også til Holland og Sverige i nogen grad. I både Tyskland og Sverige behandles det eksporterede CCA-træ på værker, hvor der sker en dedikeret forbrænding.

Som beskrevet i Kapitel 3 vil koncentrationerne af Cr, Cu og As i røggas, bundaske og faste restprodukter blive høje med dedikeret forbrænding. Der kræves ekstra foranstaltninger til røggasrensning for at overholde emissionsgrænser, samt evt. deponeringskrav for bundasken. Den største fordel er dog, at den samlede mængde røggas, bundaske og faste restprodukter, som kræver behandling, bliver meget mindre. Det kan betyde mindre omkostninger til behandling og også bedre mulighed for eventuel genvinding af As, Cr og Cu fra bundaske og faste restprodukter. En anden fordel med dedikeret forbrænding er, at forurening af bundasken fra almindeligt affald kan undgås.

### 7.4 DISKUSSION/SAMMENLIGNING

Situationen i dag er, at det danske CCA-imprægnerede træ enten deponeres eller eksporteres til fx Sverige eller Tyskland, hvor brændværdien i træet udnyttes ved dedikeret forbrænding/forgasning. Ved deponering af CCA-træet mistes den værdi, der ligger i brændværdien af CCA-træet. Brændværdien udgør næsten 98% af de økonomiske værdier i CCA-træ [Cramer et al, 2006]. Set fra et ressourcemæssigt perspektiv er det en stor fordel, at CCA-træets brændværdi udnyttes.

Som beskrevet i Kapitel 3 "Forbrænding af CCA-træ" vil hovedparten af Cu og Cr ende i bundasken (afhængigt af forbrændingsbetingelserne), hvorimod As er flygtigt, hvorfor størstedelen vil ende i røggasaffald. For at undgå dette vil det således være en fordel at genindvinde CCA-metallerne for genanvendelse inden træets energiudnyttelse. Herved undgås røggasrensning for den

større mængde As og deponering af bundaske med højt indhold af Cu, Cr og As i forhold til almindeligt husholdningslignende affald/almindeligt træ.

Udvinning af metallerne fra CCA-træet inden energiudnyttelse kan teknisk set lade sig gøre, hvilket Watech's ekstraktionsproces og Chartherm's pyrolyseproces viser. Men det giver kun mening, hvis metallerne (CCA-restproduktet) kan afsættes til genanvendelse. Det tyder på, at det vil være meget vanskeligt at sælge de genindvundne CCA-metaller til andet end ny CCA-imprægnering. Med EU's forbud mod anvendelse af Cr og As til imprægnering er det ikke muligt at sælge de blandede CCA-metaller i EU. Så længe de genindvundne CCA-metaller ikke kan afsættes til genanvendelse, giver udvinning af metallerne ikke de store miljøfordele (se Kapitel 6 "Afsætning af metaller") i betragtning af, at udvinningen af CCA-metallerne kræver yderligere energi.

IQR Systems forgasningsteknologi ser ud til at have den fordel, at stort set al Cr, Cu og As opkoncentreres i bundasken, der så kan deponeres. Denne proces ser derfor ud til at være et brugbart alternativ, når restproduktet fra udvinning af CCA-metallerne ikke kan afsættes. Fordelen ved denne proces er desuden, at der ikke er det store behov for en nøjagtig udsortering af CCA-træet i forhold til andet træaffald, da alt træaffald kan behandles samme sted. Omvendt betyder det en større investering, idet anlægget skal have en større kapacitet.

I Tabel 7-4 nedenfor er de mest relevante miljøforhold ved de forskellige teknologier til behandling af CCA-imprægneret affaldstræ opsummeret.

TABEL 7-4 OVERSIGT OVER DE MEST RELEVANTE MILJØFORHOLD VED DE FØRSKELLIGE TEKNOLOGIER TIL BEHANDLING AF CCA-IMPRÆGNERET AFFALDSTRÆ.

Behandlingsproces	Ressource genindvinding	Luftforurening	Jordforurening
<i>Behandling i DK i dag</i>			
Deponering	-	-	Mulig udsivning af tungmetaller fra deponi til perkolat afhængig af deponeringsforholdene.
"Utilsigtet" medforbrænding	Termisk energi	En øget udledning af metaller med røggas – især As. En øget dioxindannelse.	Mulig udsivning af tungmetaller fra slagge som er anvendt til anlægsbyggeri.
Eksport til f.eks. Tyskland og Sverige (dedikeret forbrænding)	Termisk energi	-	Mulig udsivning af tungmetaller fra deponi af slagge til perkolat afhængig af deponeringsforholdene.
<i>Mulige fremtidige behandlingsprocesser</i>			
Chartherm's pyrolyse	Koks til andre industrielle anvendelser.	-	Mulig udsivning af tungmetaller fra deponi af CCA-metaller til perkolat afhængig af deponeringsforholdene.
IQR Systems forgasning	Termisk energi	-	Mulig udsivning af tungmetaller fra deponi af aske afhængig af deponeringsforholdene.

<b>Behandlingsproces</b>	<b>Ressource genindvinding</b>	<b>Lufforurening</b>	<b>Jordforurening</b>
<b>Watech's ekstraktions-proces</b>	CCA-metaller og rent træ til industrielle anvendelser.	-	Mulig udsivning af tungmetaller fra deponi af restprodukt fra processen afhængig af deponeringsforholdene.
<b>DTU Byg Elektrodialyse</b>	CCA-metaller og rent træ til industrielle anvendelser.	-	-

## 8 Diskussion og konklusion

Denne undersøgelse har vist, at udviklingen af alternative behandlingsteknologier til forbrænding af CCA-træ med henblik på genvinding af CCA-metallerne næsten er gået i stå i disse år. Det skyldes muligvis de manglende økonomiske incitamentter på grund af høje behandlingsomkostninger og manglende aftagere af metallerne.

Termisk behandling af CCA-træ udelukkende med henblik på udnyttelse af den termiske energi indeholdt i CCA-træ vinder dog frem i fx Tyskland og Sverige. I de seneste årtier er der bygget flere dedikerede forgasnings- og forbrændingsanlæg til spildtræ inklusiv CCA-træ i disse to lande.

Der kan være flere grunde til denne udvikling. Termiske metoder og især forbrænding er en relativ billig behandlingsteknologi for CCA-træ. Moderne røggasbehandlingsmetoder kan meget effektivt forhindre luftforurening fra forbrænding af CCA-træ. CCA-metallerne opkoncentreres normalt i slagge/aske og faste restprodukter fra termiske behandlinger og kan deponeres. Selvom prisen for deponi er relativ høj, er den ikke den store forhindring for denne behandling på grund af den relative lille mængde, der skal deponeres. Termiske behandlinger af CCA-træ med effektiv udnyttelse af dets termiske energi er CO<sub>2</sub>-neutrale og kan dermed bidrage positivt til landets VE (vedvarende energi) regnskab.

Termisk behandling af CCA-træ med effektiv udnyttelse af træets termiske energi vurderes også at være en mulighed i Danmark. Kommercielle teknologier og internationale erfaringer er tilgængelige. Med dedikeret forbrænding eller IQRs SFC forgasningsteknologi vil behandlingsomkostningen være sammenlignelig med prisen for forbrænding af almindeligt husholdningslignende affald eller for eksport til Tyskland.

For teknologier med fokus på genvinding af CCA-metallerne er der behov for videreudvikling og etablering af fuldskalaanlæg, som kan demonstrere, at de kan levere de forventede økonomiske og miljømæssige resultater. Det vurderes at være for tidligt at betragte disse teknologier som mulige kandidater på lige fod med de kommercielle termiske behandlingsmetoder. Desuden tyder det på, at det vil være meget vanskeligt at sælge de genindvundne CCA-metaller til andet end ny CCA imprægnering. Dette kan også vise sig som en begrænset mulighed, da imprægnering med Cr og As i dag er forbudt i EU.

Økonomisk set er eksport af CCA-træ til fx Tyskland og Sverige også en fornuftig løsning, når eksportprisen ligger på omkring 500 kr./t. Denne løsning indebærer imidlertid, at Danmark sender CO<sub>2</sub>-neutralt brændsel ud af landet – brændsel som ville kunne have bidraget positivt i Danmarks VE regnskab. Desuden kan de relativt lave eksportpriser være medvirkende til, at der ikke bliver udviklet nye danske behandlingsteknologier.



## 9 Referencer

Astrup, T., Pedersen, A. J., Hyks, J., Frandsen, F. J. Residues from waste incineration. PSO-5784 final report, Revised version, 2010.

Astrup, T., Riber, C., Pedersen, A.J. Incinerator performance: effects of changes in waste input and furnace operation on air emissions and residues. Waste Management & Research, 29(10). Supplement 57–68, 2011.

Aurell, J. and Marklund, S. Investigation of Dioxin formation- and destruction mechanisms in waste incineration plants in order to improve the quality of the residues. PSO-5731 final report for phase 1, 2007, Department of Chemistry, Umeå University.

Christensen I.V., Pedersen A.J., Ottosen L.M., Ribeiro A. “Electrodialytic remediation of CCA-treated wood in larger scale”.  
<http://www.ccaresearch.org/Pre-Conference/pdf/Christensen.pdf> (08-02-2012)

Cramer J., Malmgren-Hansen B., Overgaard J., Larsen O.H. Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald – Fase 3. Miljøprojekt Nr. 1055, 2006. Miljøstyrelsen.

Dam-Johansen, K. and Jensen, L. S. Dioxin fra affaldsforbrænding. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 14, 1996 (ISSN 0908-9195, ISBN 87-7810-557-9).

Hansen, V., Cramer, J., Hasler, B., Larsen, A. and Poulsen, P. B. Miljø- og samfundsøkonomisk analyse af indsamling og behandling af imprægneret affaldstræ. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt Nr. 1208, 2008.

Helsen, L. and Van den Bulck, E. Review of disposal technologies for chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste, with detailed analyses of thermalchemical conversion processes. Environmental Pollution, 2005, 134, pp301-314.

Helsen, L., Van den Bulck, E., Van Bael, M. K., Vanhoyland, G. and Mullens, J. Thermal behaviour of arsenic oxides (As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and the influence of reducing agents (glucose and activated carbon). Thermochimica Acta, 2004, 414(2), pp145-153.

Hirata, T., Inoue, M. and Fukul Y. Pyrolysis and combustion toxicity of wood treated with CCA. Wood Science and technology. 1993, 27(1), pp35-47.

Jermer, J., Ekvall A., von Bahr, B., Tullin, C. WASTE WOOD MANAGEMENT IN SWEDEN – AN UPDATE. SP Swedish National Testing and Research Institute, PO Box 857, SE-501 15, Borås, Sweden.

Jørgensen, J., Dahl, J. and Hove, E. A. Investigation of Dioxin formation- and destruction mechanisms in waste incineration plants in order to improve the

quality of the residues - Phase 2 and 3. PSO-5731 final report for phase 2 and 3, 2009 (FORCE Technology internal report no.: FORCE 107-30919).

Jørgensen L., Hansen M.W., Cramer J., FORCE Technology. Trinopdelt forgasning af imprægneret affaldstræ. Miljøprojekt Nr. 1186, 2008. Miljøstyrelsen.

Lida, K., Pierman, J., Tolaymat, T., Townsend, T., Wu, C.Y. Control of Chromated Copper Arsenate Wood Incineration Air Emissions and Ash Leaching using Sorbent Technology. *Journal of Environmental Engineering*, 130(2), 2004, pp.184-192.

McMahon, C. K., Bush, P. B. and Woolson, E. A. How much arsenic is released when CCA treated wood is burned?. *Forest Products Journal*. 36(11/12), pp45-50.

Mercer, T.G and Frostick, L.E. Leaching characteristics of CCA-treated wood waste: A UK study. *Science of the Total Environment*, Vol. 427-428, 15 June 2012, pp. 165-174.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712005037>

Pedersen, A. J., Christensen, I.V., Ottosen, L.M., Ribeiro, A.B., Villumsen, A. Electrodialytic remediation of CCA treated waste wood in pilot scale. *Engineering Geology*, 77, 2005, pp331-338.

Pedersen, A. J., van Lith, S. C., Frandsen, F. J., Steinsen, S. D. and Holgersen, L. B. Release to the gas phase of metals, S and Cl during combustion of dedicated waste fractions. *Fuel Processing Technology*, 2010, 91, pp1062-1072.

Rasmussen E., RGS90 A/S. Nyttiggørelse af trykimprægneret træ. Nyttiggørelse af trykimprægneret træ ved metalekstraktion. Miljøprojekt Nr. 1207, 2008. Miljøstyrelsen.

Tame, N. W., Dlugogorski, B. Z. and Kennedy, E. M. PCDD/F formation in flaming combustion, smoldering, and oxidative pyrolysis of “eco-friendly” treated wood. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2005, 30(1), pp1237-1243.

Tame, N. W., Dlugogorski, B. Z. and Kennedy, E. M. Assessing influence of experimental parameters on formation of PCDD/F from ash derived from fires of CCA-treated wood. *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37(18), pp4148-4156.

Tame, N. W., Dlugogorski, B. Z. and Kennedy, E. M. Increased PCDD/F formation in the bottom ash from fires of CCA-treated wood. *Chemosphere*. 2003, 50(9), pp1261-1263.

Tame, N. W., Dlugogorski, B. Z. and Kennedy, E. M. Formation of dioxin and furans during combustion of treated woods. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2007, 33(4), pp384-408.

Terkildsen, L. og Cramer, J. Combustion of contaminated wood waste. 1994, dk-TEKNIK project rapport for Danish Ministry of Energy, research program 1991 (ENS journal no. 1323/91-0020, ISBN 87-7782-054-1).

Vestervang, S. (Kommune Kemi A/S) & Dahl F. (Wilson Engineering A/S). Behandling og oparbejdning af aske fra CCA-imprægneret træ. Miljøprojekt Nr. 1184, 2008. Miljøstyrelsen.

Vestervang, S. & Nørholm N.D., Kommune Kemi A/S. Pyrolyse af CCA-imprægneret træ. Miljøprojekt Nr. 1185, 2008.

Wasson, S. J., Linak, W. P., Gullett, B. K., King, C. J., Touati, A., Huggins, F. E., Chen, Y., Shah, N. and Huffman, G. P. Emission of chromium, copper, arsenic, and PCDDs/Fs from open burning of CCA-treated wood. Environ. Sci. Technol., 2005, 39(22), pp8865-8876.

Yan, Xiu-Lan, Chen, Tong-Bin, Liao, Xiao-Yong, Huang, Ze-Chun, Pan, Jia-Rong, Hu, Tian-Dou, Nie, Can-Jun and Xie, Hua. Arsenic transformation and volatilization during incineration of the hyperaccumulator *Pteris vittata*. Environ. Sci. Technol., 2008, 42(5), pp1479-1484.





## Opdatering af videngrundlaget om teknologier til behandling af CCA-imprægneret træ

For at nyttiggøre ressourcerne i brugt CCA-træ og for at mindske miljøeffekterne er der i løbet af det seneste årti udviklet behandlingsteknologier i flere lande. Metoderne involverer både biologisk nedbrydning, vådkemiske ekstraktioner, ekstraktion med elektrodialyse eller termiske processer som pyrolyse, forgasning og forbrænding.

Denne rapport indeholder en opdatering af den tidligere viden om den teknologiske udvikling af både kendte men også nye metoder, som kan behandle brugt CCA-træ. Rapporten har fokus på de kommercielle teknologier.

Hovedkonklusionen på undersøgelsen er, at termiske behandlingsmetoder, som udnytter den termiske energi i CCA-træ, har vundet frem af flere årsager bl.a. lav nettobehandlingspris, mulighed for deponering af faste restprodukter, som indeholder CCA-metaller, og effektiv røggasrensningsteknologi, som kan sikre opfyldelse af emissionskrav. Metoder, som kan genvinde CCA-metaller, har svært ved at komme ind på det kommercielle marked på grund af de høje behandlingsomkostninger og den begrænsede værdi af de genvundne produkter



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

Strandgade 29  
1401 København K  
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

**[www.mst.dk](http://www.mst.dk)**