

Nyttiggørelse af trykimprægneret træ

Nyttiggørelse af trykimprægneret træ ved metalekstraktion

Erik Rasmussen
RGS90 A/S

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.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	10
1 INDLEDNING	14
1.1 PROJEKTETS MÅL	14
1.2 PROJEKTÆNDRINGER IHT. STYREGRUPPEMØDER	15
2 INDLEDENDE UNDERSØGELSER	16
2.1 METALLER I CCA-IMPRÆGNERET TRÆ OG TRÆAFFALD	16
2.2 METALLER I "INDSAMLET TRÆAFFALD"	16
2.3 METALLER I TRÆAFFALD TIL GENANVENDELSE/ENERGIUDNYTTTELSE	17
2.4 METALLER I BEHANDLET TRÆAFFALD (SCENARIO GENANVENDELSE)	18
2.5 METALLER I ASKE FRA BEHANDLET TRÆAFFALD (SCENARIO ENERGIUDNYTTTELSE)	19
2.6 SAMMENFATNING MÅL FOR BEHANDLINGSPROCES	21
3 OPVARMNINGSFORSØG	22
3.1 FORBEHANDLING AF TRÆAFFALD VED OPVARMNING	22
4 UDVASKNING AF IMPRÆGNERINGSMIDLERNE	24
4.1 UDVASKNING AF ARSEN OG PH	24
4.2 UDVASKNING AF ARSEN, KOBBER SAMT KROM. PH-VÆRDI	25
4.3 UDVASKNING AF ARSEN, KOBBER OG KROM. TID, TEMPERATUR	25
4.4 UDVASKNING AF ARSEN, KOBBER OG KROM. VANDINDHOLD	27
4.5 UDVASKNING AF ARSEN, KOBBER OG KROM. SKYLNING	29
4.6 UDVASKNING AF METALLER. SYREMÆNGDE	30
5 PILOTANLÆG TIL EKSTRAKTION AF TUNGMETALLER	31
5.1 PILOTANLÆG TYPE 1. "RISLE OG NEDDYKKET"	31
5.2 PILOTANLÆG TYPE 2. "OMRØRT"	32
5.3 PILOTANLÆG TYPE 3. "TROMLE"	33
6 RESULTATER FRA EKSTRAKTIONSFORSØG	34
6.1 PILOTANLÆG TYPE 1 OG 2. "BEHANDLET TRÆ RESULTAT"	34
6.2 ANALYSER AF UBEHANDLET OG BEHANDLET TRÆ	35
6.3 ASKEMÆNGDER/METALINDHOLD I ASKE FRA BEHANDLET TRÆ	35
7 EKSTRAKTIONSVÆSKE BEHANDLING	38
7.1 SELEKTIV FÆLDNING AF ARSEN MED $FeCl_3$	38
7.2 SELEKTIV FÆLDNING AF KOBBER OG KROM MED METAL	38
7.3 SELEKTIV IONBYTTNING AF KOBBER	38
7.4 UDFÆLDNING/NEUTRALISERING MED KALK	39
8 DESIGN AF WATECH EKSTRAKTIONSPROCES	41

8.1	MODSTRØMSEKSTRAKTION (STATIONÆR FAST FASE)	41
8.2	FORSØG MODSTRØMSEKSTRAKTION (STATIONÆR FAST FASE)	42
8.3	MODSTRØMSEKSTRAKTION (STATIONÆR VÆSKEFASE)	43
8.4	MODSTRØMSEKSTRAKTION I EKSTRAKTIONSSNEGL	44
8.5	BEHANDLING AF EKSTRAKTIONSVÆSKE	44
8.6	MASSEBALANCE MODSTRØMSEKSTRAKTION (STATIONÆR TRÆFASE)	46
9	TEKNISK ØKONOMISK & MILJØMÆSSIG VURDERING AF EKSTRAKTIONS BEHANDLING	48
9.1	FLOWSHEET TEKNISK ØKONOMISK MILJØMÆSSIG ANALYSE	48
9.2	DEPONERINGSPRISER, ENERGIPRISER OG CO ₂ AFGIFTER	49
9.3	TEKNISK ØKONOMISK ANALYSE (25.000 TON/ÅR): SCENARIO GENANVENDELSE	50
9.4	TEKNISK ØKONOMISK ANALYSE (25.000 TON/ÅR): SCENARIO ENERGIUDNYTTELSE	52
9.5	FØLSOMHEDSANALYSE FOR ET 25.000 TON/ÅR ANLÆG	53
9.6	MILJØMÆSSIG VURDERING AF WATECH EKSTRAKTIONS BEHANDLING	55
10	KONKLUSIONER	57
11	REFERENCELISTE	58
12	ANALYSER	59
13	BILAG :	61
13.1	BILAG 1: KEMISK SAMMENSÆTNING FOR TRÆFRAKTIONER I AFFALDSTRÆ	61
13.2	BILAG 2 (REF.4) : BEREGNET KEMISK SAMMENSÆTNING AF INPUT AFFALDSTRÆ TIL SPÅNPLADEPRODUKTION	62
13.3	BILAG 3 : IKKE-TOKSISKE MILJØEFFEKTER FOR RENT AFFALDSTRÆ DISPONERING SCENARIER (REF.4)	63
13.4	BILAG 4 : TOKSISKE MILJØEFFEKTER FOR RENT AFFALDSTRÆ DISPONERING SCENARIER (REF.4)	64
13.5	BILAG 5: PRINCIP FLOWSHEET AF PILOTANLÆG EKSTRAKTIONS BEHANDLING I FIRE TRIN.	65
13.6	BILAG 6:	66

Forord

Denne rapport er slutrapport i forbindelse med projektet "Nyttiggørelse af trykimprægneret træaffald ved metalekstraktion". Projektet er udført af RGS90 Watech med støtte fra Miljøstyrelsen.

Projektet er gennemført i perioden 2003-2007 af medarbejdere fra RGS90 Watech:

- Uffe Rahbek, RGS90 Watech (Projektleder)
- Tine Rohde, RGS90 Watech
- Lone Overgård, RGS90 Watech
- Erik Rasmussen, RGS90 Watech (Teknisk chef)

Projektet blev i perioden 2003-2005 udvidet med RGS90 Watech deltagelse i en miljø- og samfundsmæssig analyse af indsamling og behandling af imprægneret affaldstræ.

Projektet har været fulgt af en styregruppe med deltagelse af Uffe Rahbek, Erik Rasmussen samt Karsten Ludvigsen fra RGS90 A/S. Miljøstyrelsen blev repræsenteret af Tonni Christensen, som var formand for styregruppen.

Teknisk chef Erik Rasmussen har afløst civilingeniør Uffe Rahbek i forbindelse med færdiggørelse af rapporten og hos Miljøstyrelsen har civilingeniør Anne Nielsen afløst Tonni Christensen i forbindelse med færdiggørelse af rapporten.

Sammenfatning og konklusioner

Imprægneret træ er hovedsageligt et problem i bortskaffelsesfasen, i det der kun genereres mindre mængder affald ved fremstilling af imprægneret træ. I løbet af det imprægnerede træs levetid vil tungmetaller og organiske opløsningsmidler fra imprægneringen delvist udvaskes til jord og grundvand, men størstedelen af tungmetallerne vil forblive i træet indtil det bortskaffes. Trykimprægneret træaffald indeholder en række tungmetaller. De stoffer, der er mest fokus på er kobber, krom og arsen. Indholdet af disse tungmetaller kan variere meget i indsamlet trykimprægneret træaffald.

I Affaldsstrategi 2005-2008 (Regeringen 2003) skønnes det, at der siden 1960'erne er anvendt (ophobet) ca. 4 mio. tons imprægneret træ, og at disse mængder skal bortskaffes inden for de næste 40 år. Affaldsmængderne i Danmark var estimeret til 50.000 tons i 2004 og forventes at stige til ca. 100.000 tons/år omkring år 2010.

Målene (sigtelinierne) i Affaldsstrategi 2005-2008 for imprægneret træ er fortsat at få udnyttet energi- og råvareresourcerne i det imprægnerede affaldstræ.

Målet med dette projekt er at undersøge om Watechs ekstraktionsproces kan anvendes til at fjerne tungmetaller fra trykimprægneret træ således at målene i regeringens Affaldsstrategi 2005-2008 kan nås.

Det er undersøgt hvilke metalindhold der findes i forskellige fraktioner affaldstræ bl.a.

- nyt CCA (kobber, krom og arsen) imprægneret træaffald
- indsamlet CCA imprægneret træaffald fra indsamlingsordning
- affaldstræ til genanvendelse i spånplader
- affaldstræ fra nedrivninger
- returflis til energiudnyttelse (brændsel)
- træbrændsel

Med baggrund i de fundne metalindhold i forskellige affaldstræ fraktioner er der opstillet målsætninger for kvaliteten af det behandlede træaffald fra Watech behandlingsproces. De to undersøgte scenarier for nyttiggørelse af det behandlede træaffald er henholdsvis

Scenario 1: genanvendelse af behandlet træaffald til spånpladeproduktion

Scenario 2: nyttiggørelse af behandlet træ ved energiudnyttelse i biomassefyret kraftvarme anlæg

I tabellen herunder er vist det forventede metalindhold i indsamlet affaldstræ fra kommunale indsamlingsordninger sammen med målsætninger for metalindhold (kobber, krom og arsen) i behandlet træ ved de to scenarier.

Stof	Metalindhold	Metalindhold	Metalindhold
	I indsamlet affaldstræ (fra ref.3)	Mål for behandlet træ Scenario 1 Genanvendelse	Mål for behandlet træ Scenario 2 Energiudnyttelse
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Kobber	1.200	40	5
Krom	850	40	5
Arsen	750	20	5

Forventet metalindhold i indsamlet affaldstræ fra kommunale indsamlingsordninger sammenlignet med målsætninger for metalindhold for kobber, krom og arsen i behandlet træ ved genanvendelse heraf i spånpladeproduktion eller udbringning af aske fra energiudnyttelse af behandlet træ på landbrugsjord

Det er herefter blevet detailundersøgt både i laboratorieskala samt i pilotskala om Watechs ekstraktionsproces, der blev udviklet i forbindelse med behandling af PVC affald, kunne videreudvikles til behandling af tungmetaltholdigt trykimprægneret træaffald.

Ekstraktion af tungmetallerne kobber, krom og arsen blev forsøgt med indsamlet ubehandlet trykimprægneret træaffald og med trykimprægneret affaldstræ, der var forbehandlet med en varmebehandling. Der blev ikke fundet nogen fordel i en forbehandling med varme.

Ekstraktion af tungmetaller kunne ikke gennemføres hurtigere med træ, der i forvejen var mættet med vand ligesom anvendelse af ultralyd ikke øgede ekstraktionseffektiviteten signifikant.

Det er vist, at med en passende kombination af temperatur, pH og opholdstid kan Watechs ekstraktionsproces anvendes til behandling af kobber, krom og arsenholdigt affaldstræ. De ekstraherede tungmetaller kan opkoncentreres i et tungmetaltholdigt produkt. Det er muligt selektivt at ekstrahere kobber fra ekstraktionsvæsken ved ionbytning og herefter kun udfælde krom og arsen.

En række anlægsprincipper (risle proces, neddykket proces og omrørt proces) er detailundersøgt, og de bedste resultater blev opnået med en omrørt proces.

Det er endvidere fundet, at dersom Watech ekstraktionsproces udformes som en fire trins modstrøms ekstraktion med skylning kan der opnås et behandlet træaffaldsprodukt, som mht. kobber, krom og arsenindhold er sammenligneligt med træaffaldskategorierne "returflis brændsel" og "træ brændsel", og det behandlede træaffaldsprodukt er renere end det affaldstræ, som i dag anvendes til spånpladeproduktion (se tabellen herunder)

Stof	CCA indhold Watech processen (behandlet træ)	CCA indhold Træaffald til spån- pladeproduktion, ref.4	CCA indhold Affaldstræ fra nedrivning (Burman 2005)	CCA indhold Returflis brændsel (Burman 2005)
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Kobber	20 ± 5	69	73	17
Krom	31 ± 5	84	45	18
Arsen	n.d. (<3 ?)	48	9	6
Klor	429 ± 4	-	-	1000

Koncentrationer af metaller i "Watech" behandlet affaldstræ sammenlignet med affaldstræ til spånpladeproduktion, affaldstræ fra nedrivning og "returflis brændsel"

Den teknisk økonomiske analyse har vist, at Watech ekstraktionsbehandling har en ganske interessant økonomi, hvor "genanvendelsesscenariet" er betydeligt mere økonomisk attraktivt sammenlignet med "energiudnyttelsesscenariet".

En økonomioversigt (indtægter og udgifter) udtrykt i kr/ton for "Scenario genanvendelse i spånplader" for et 25.000 ton/år anlæg ses herunder.

Ekstraktion behandling Økonomioversigt (25.000 ton/år) (Scenario genanvendelse)		Kr/ton
Indtægter		1.235
Udgifter ekskl. renter og afskrivning		628
Overskud før renter og afskrivninger		607
Overskud før renteudgifter		478
Overskud før skat		394

Økonomioversigt (ekstraktionsbehandling 25.000 ton/år) "Scenario genanvendelse"

Fra økonomioversigten kan det beregnes, at pay-back tiden på et 25.000 ton/år Watech behandlingsanlæg for "Scenario genanvendelse i spånplader" er ca. 4 år, hvilket umiddelbart ser økonomisk attraktivt ud. Overskuddet før skat i % af de samlede investeringsomkostninger udgør ca. 28 %.

Tilsvarende ses herunder en økonomioversigt (indtægter og udgifter) for "Scenario energiudnyttelse" for et 25.000 ton/år anlæg.

Ekstraktion behandling Økonomioversigt (25.000 ton/år) Scenario energiudnyttelse	Kr/ton
Indtægter	1.235
Udgifter ekskl.. renter og afskrivning	823
Overskud før renter og afskrivninger	412
Overskud før renteudgifter	283
Overskud før skat	199

Økonomioversigt (ekstraktionsbehandling 25.000 ton/år) "Scenario energiudnyttelse"

Pay-back tiden for et 25.000 ton/år Watech behandlings anlæg med "Scenario energiudnyttelse" er ca. 7 år, hvilket umiddelbart ser økonomisk fornuftigt ud. Overskuddet før skat i % af investeringer udgør i dette Scenario ca. 14,2 %.

En væsentlig besparelse i Watech ekstraktionsbehandling kan opnås, hvis brugt saltsyre erstatter den anvendte "tekniske saltsyre". Brugt saltsyre fremkommer altid i større mængder fra WAPRO processen til behandling af f.eks PVC-, shredder- og WEEE affaldsplast. Der er derfor stor synergi muligheder mellem WAPRO til behandling af halogenholdig affaldsplast og behandling af trykimprægneret træ med Watechs ekstraktionsbehandling.

Det vurderes miljømæssigt samlet set, at behandlet træ fra Watechs ekstraktionsbehandling i en miljøvurdering vil have forbedrede miljømæssige egenskaber i form af mindre miljøpåvirkning end det anvendte affaldstræ til såvel energiudnyttelse som spånpladeproduktion.

Antagelsen om at kunne anvende det ekstraktionsbehandlede affaldstræ til genanvendelse i spånpladeproduktion eller til energiudnyttelse på biomassefyret kraftvarmeværk kan derfor bekræftes.

Miljømæssigt kan Watech ekstraktionsbehandling forbedres ved at overveje etableringen af 3-4 mindre decentrale anlæg, hvorved afstandene til behandlingsanlæggene kan reduceres med skønsmæssigt 60-75 %. Dette medfører mindre transport og heraf følgende miljøforbedring (især pga. af mindre CO₂ udledning).

Summary and conclusions

In Denmark, the main environmental problem associated with used impregnated wood is considered to be end disposal, since only small amounts of impregnated wood waste are generated during the manufacturing process. During its lifetime, impregnated wood will leach some heavy metals and organic solvents used in the impregnation process into soil and ground water but most of the heavy metals will remain in the wood until end disposal.

Impregnated wood waste contains a number of heavy metals. The heavy metals most widely used are copper, chromium and arsenic. The concentration of these heavy metals may vary significantly in the impregnated wood collected.

In the national Danish waste strategy "*Affaldsstrategi 2005-2008*" (The Danish government 2003) it is assessed that since the 1960's about 4 million tonnes of impregnated wood has accumulated in Denmark and that these amounts must be disposed of over the next 40 years. The amount of impregnated wood was estimated at about 50,000 tonnes in 2004 and is expected to rise to about 100,000 tonnes/year around 2010.

The goals in the national Danish waste strategy "*Affaldsstrategi 2005-2008*" aim at utilizing the raw material and energy resources in the impregnated wood waste.

The main purpose of this project is to investigate whether the Watechs extraction process can be used to treat impregnated wood waste by selectively removing heavy metals from the impregnated wood waste.

Different wood waste fractions have been investigated for their metal content. The wood waste fractions investigated are:

1. new CCA (Copper, Chromium, Arsenic) impregnated wood waste
2. collected CCA impregnated wood waste from collection schemes
3. wood waste to be recycled in chipboard
4. wood waste from demolition of buildings
5. return wood chips for energy utilization (fuel)
6. wood fuel

Goals have been set for the quality of the treated wood waste from the Watech extraction process using the metal contents found in the different wood waste fractions. Two scenarios for utilization of the treated wood waste have been investigated:

Scenario 1: Reuse of the treated wood waste for chipboard production

Scenario 2: Utilization of the treated wood waste by energy recovery in a biomass fired combined heat and power plant

The expected metal content in collected wood waste from municipal collection schemes is shown in the table below. Also shown in this table are

goals for metal contents in the treated wood waste from the extraction process in the two scenarios.

Substance	Metal content In collected wood waste (from ref.3)	Metal content Goal treated wood Scenario 1 Recycling	Metal content Goal treated wood Scenario 2 Energy recovery
	mg/kg DM*	mg/kg DM*	mg/kg DM*
Copper	1.200	40	5
Chromium	850	40	5
Arsenic	750	20	5

Expected metal content in collected wood waste from municipal collection schemes and goals for metal contents in the treated wood waste for the two scenarios. Scenario 1 is reuse of treated wood chips in chipboard production. Scenario 2 includes spreading the ashes from energy utilization on agricultural soil. *DM=Dry Matter.

It has been investigated in detail both in laboratory scale and in pilot scale experiments whether the Watech extraction process (developed for the treatment of coke from WAPRO pyrolysis of PVC waste) could be further developed to treat wood waste impregnated with heavy metals.

Extraction of heavy metals Copper, Chromium and Arsenic from collected untreated impregnated wood waste was investigated. Also impregnated wood waste that had been pre-treated by heat treatment was investigated. The heat treatment of the wood waste gave no advantage in the extraction process.

It was found that the extraction of heavy metals could not be accelerated with wood waste that had been saturated with water prior to the extraction process and furthermore the use of ultra sound did not increase the extraction efficiency significantly.

It has been shown that by using a suitable combination of temperature, pH and residence time then the Watech extraction process can be used to treat CCA impregnated wood waste. The heavy metals extracted are concentrated in a heavy metal product. It is possible to extract copper selectively from the extraction liquid by ion exchange and hereafter precipitate only Chromium and Arsenic.

A number of extraction process principles have been investigated in detail and the best results were obtained by using a “stirred” process.

It has been found that when the Watech extraction process is performed as a four-stage counter current extraction including water leaching, then a treated wood waste product with CCA contents similar to the CCA content of wood waste categories “return wood chips” and “wood fuel” can be obtained. The treated wood waste has a lower CCA content than the “waste wood used in chipboard today. This is shown in the table below.

Substance	CCA content Watech process (treated wood)	CCA content Wood waste for chipboard production, ref.4	CCA content Wood waste from demolition (Burman 2005)	CCA content Return wood chips (fuel) (Burman 2005)
	mg/kg DM*	mg/kg DM*	mg/kg DM*	mg/kg DM*
Copper	20 ± 5	69	73	17
Chromium	31 ± 5	84	45	18
Arsenic	n.d. (<3 ?)	48	9	6
Chlorine	429 ± 4	-	-	1000

Concentrations of heavy metals in treated wood waste (Watech process) compared with wood waste metals for chipboard production, wood waste from demolition and return wood chips (fuel). *DM=Dry Matter.

A technical economic analysis has shown that a Watech extraction treatment plant is profitable and Scenario 1 "reuse of treated wood in chipboard" is more attractive financially than Scenario 2 "utilization of the treated wood waste by energy recovery in a biomass-fired combined heat and power plant".

A financial overview showing income and expenses for a 25,000 tonnes/yr Danish Watech extraction plant in Scenario 1 "reuse of treated wood in chipboard" is summarized in the table below.

Extraction treatment Financial overview (25.000 ton/yr) Scenario 1: Reuse in particle board		DKK/tonne
Income		1.235
Expenses excl. interest and depreciation		628
Profit before interest and depreciation		607
Profit before interest		478
Profit before tax		394

Financial overview. Extraction treatment 25,000 tonnes/yr. Scenario reuse in chipboard.

From this financial overview it can be calculated that the payback time for a 25,000 tonnes/yr Watech treatment plant in the Scenario 1 "reuse as chipboard" is about 4 years, which may be considered financially attractive. In this Scenario 1 profit before tax in % of the investment costs is about 28 %.

A financial overview showing income and expenses for a 25,000 tonnes/yr Danish Watech extraction plant in Scenario 2 "energy recovery" is shown in the next table below.

Extraction treatment Financial overview (25,000 tonnes/yr) Scenario 2: Energy recovery		DKK/tonne
Income		1,235
Expenses excl. interest and depreciation		823
Profit before interest and depreciation		412
Profit before interest		283
Profit before tax		199

Financial overview. Extraction treatment 25,000 tonnes/yr. "Scenario energy recovery"

From this financial overview it can be calculated that the payback time for a 25,000 tonnes/yr Watech treatment plant in the Scenario 2 "energy recovery" is about 7 years, which may be considered financially feasible. In this Scenario 1 profit before tax in % of the investment costs is about 14.2 %.

A significant improvement in the Watech extraction treatment plant economics can be obtained if recycled or used hydrochloric acid replaces the new technical hydrochloric acid used in the process. Recycled or used hydrochloric acid is produced in large quantities in the WAPRO process from treatment of PVC, shredder, or WEEE waste plastics. There are many synergy possibilities between the WAPRO process for halogenated plastic waste treatment and treatment of impregnated wood waste using the Watechs extraction process.

From an environmental analysis it can be concluded that treated wood waste from a Watech extraction treatment plant will have improved environmental characteristics in the form of less impact on the environment than the wood waste used today for both energy recovery and recycling in chipboard production.

The assumption that the Watech-treated wood waste can be utilized either by recycling in chipboard production or in energy utilization in a biomass-fired combined heat and power plant can therefore be confirmed.

In order to further improve the environmental characteristics of the Watech extraction treatment it may be considered to establish 3-4 smaller plants in different locations in Denmark. Distances to the treatment plants can be reduced by approx. 60-75%. This means less transport and a significant improvement in the environmental profile of the Watech treatment plant due to less CO₂ emission to the atmosphere.

1 Indledning

Imprægnering af træ foretages for at forlænge træets levetid og beskytte det mod mikrobiel nedbrydning (råd, svamp o. lign). Til imprægneringen af træet har der været anvendt en lang række imprægneringsmidler f.eks. arsen, kobber, krom, bor, zink, fluor, tin og kreosot.

Imprægneret træ er hovedsageligt et problem i bortskaffelsesfasen, i det der kun genereres mindre mængder affald ved fremstilling af imprægneret træ. I løbet af det imprægnerede træes levetid vil tungmetaller og organiske opløsningsmidler fra imprægneringen delvist udvaskes til jord og grundvand, men størstedelen af tungmetallerne vil forblive i træet indtil det bortskaffes. Ved bortskaffelse af imprægneret træ giver indholdet af specielt krom, kobber og arsen (CCA) problemer. Stofferne fjernes ikke ved forbrænding i et affaldsforbrændingsanlæg, men forefindes i restprodukterne. Restprodukterne udgøres hovedsagelig af en blanding af flyveaske og røggasrensningsprodukter som kaldes røggasrensningsaffald (RGA). Tungmetaller vil kunne genfindes i forbrændingsslagger eller i røggasrensningsaffald, krom og kobber findes hovedsagelig i forbrændingsslaggen, mens arsen hovedsageligt findes i røggasrensningsaffaldet, men også i forbrændingsslaggen.

En anden type imprægneret træ er imprægneret med kreosot, hvilket dog ikke giver problemer ved forbrænding (Videncenter for Affald, 2004a). Det kreosotbehandlede træ kan forbrændes i særlige anlæg, der er godkendt til at forbrænde farligt affald.

Siden d. 1. april 2001 har alle landets kommuner skulle anvise imprægneret træ, bortset fra kreosotbehandlet træ, til deponering og etablere indsamlingsordninger fra husholdninger. Det er træaffaldets høje indhold af tungmetaller som genfindes i restprodukterne fra affaldsforbrænding, der har medført ovennævnte håndteringskrav. Forekomsten af metallerne minimerer nemlig muligheden for at genanvende restprodukterne. Derfor deponeres imprægneret træ i dag på lossepladserne.

Affaldsmængderne af trykimprægneret træ i Danmark har tidligere været estimeret af Miljøstyrelsen til ca. 50.000 tons i 2004 og mængderne forventes at stige til ca. 100.000 tons/år omkring år 2010.

I Affaldsstrategi 2005-2008 (Regeringen 2003) skønnes det, at der siden 1960'erne er anvendt (ophobet) ca. 4 mio. tons imprægneret træ, og at disse mængder skal bortskaffes inden for de næste 40 år.

Sigtelinierne i Affaldsstrategi 2005-2008 for imprægneret træ er fortsat at få udnyttet råvare- og energiressourcerne i det imprægnerede affaldstræ.

1.1 Projektets mål

Watech har udviklet en ny patenteret proces til behandling/recycling af PVC-affald (ref.12). I processen sker der først en termisk nedbrydning af PVC materialet i en reaktor. I den efterfølgende patenterede separationsproces

(ref.13) separeres klor og bly fra dannet koks (reaktionsproduktet fra PVC) i en ekstraktionsproces med vand.

Det primære formål med projektet har været at få undersøgt om trykimprægneret træ, der er en prioriteret affaldsstrøm, kan behandles med Watechs udviklede teknologi for metalekstraktion af koks fra PVC. Udnyttelse af eksisterende udstyr såsom laboratorieanlæg, semi-teknisk anlæg samt pilotanlæg kan anvendes optimalt til at gennemføre en hurtigere teknologiudvikling m.h.p at tilvejebringe de nødvendige tekniske, økonomiske og miljømæssige data.

Resultatet fra Watech ekstraktionsbehandling er en række nye produkter, som kan bruges til andre formål. Produkterne fra separationsprocessen er salt, tungmetaller og koks (fra PVC). Produkter fra behandling af trykimprægneret træ vil tilsvarende være behandlet træ, salte, kobber, krom og arsen.

Der gennemføres en teknisk økonomisk og miljømæssig analyse af et Watech ekstraktionsbehandlingsanlæg med enten genanvendelse af det behandlede træ som råvare i f.eks. spånpladeproduktion eller udnyttelse af energien i træet i form af rensat træ, der kan nyttiggøres som brændsel.

1.2 Projektændringer iht. styregruppemøder

Det var oprindeligt planlagt at udføre egentlige pyrolyseforsøg af trykimprægneret træaffald med WAPRO (Watechs pyrolyseproces) i forbindelse med gennemførelse af projektet.

Med baggrund i de indledende undersøgelser besluttede styregruppen i januar 2003, at projektet udelukkende skulle fokusere på at få ekstraktionsprocessen optimeret og detailundersøgt denne som en særskilt behandlingsmetode.

Projektet blev i perioden 2003-2005 udvidet med RGS90 Watechs deltagelse i en miljø- og samfundsmæssig analyse af indsamling og behandling af imprægneret affaldstræ. Den miljø- og samfundsmæssige analyse blev igangsat af Miljøstyrelsen.

2 Indledende undersøgelser

Der har gennem årene været foreslået en lang række behandlingsmetoder for trykimprægneret træaffald. Ud over deponering er forbrænding, pyrolyse, forgasning og metalekstraktion de processer, der potentielt kan anvendes til behandling af træet.

2.1 Metaller i CCA-imprægneret træ og træaffald

Tungmetalkoncentrationerne i trykimprægneret træaffald kan variere meget. Herudover er det således, at kobber, krom og arsen næsten altid er til stede i det trykimprægnede træaffald. Det er vigtigt, at man får beskrevet nærmere hvad der menes med trykimprægneret træaffald idet dette i sig selv ikke er en særlig veldefineret affaldsstrøm. I dette projekt skelnes der mellem følgende fem typer træaffald.

1. Nyt CCA imprægneret træaffald (imprægneret produktions træaffald)
2. Indsamlet træaffald (nyt og gammelt bygge- og anlægsaffald)
3. Indsamlet træaffald (andet træ produktionsaffald)
4. Indsamlet CCA-imprægneret træaffald (fra indsamlingsordning)
5. Indsamlet kreosot imprægneret træaffald (fra indsamlingsordning)

Affaldstræ typer 1,2,3 og 4 vil alle indeholde varierende mængder kobber, krom og arsen. Kilden til kobber, krom og arsen i alle typer træaffald (kategori 1,2,3 og 4) kan antages at være nyt imprægneret træ. Tabel 1 herunder viser kobber, krom og arsen indholdene i nyt trykimprægneret træ (ref.1 og ref.2)

Stof	Ref.1	Ref.2
	mg/kg	mg/kg
Kobber	2.000	1.800
Krom	4.500	3.000
Arsen	2.500	2.400

Tabel 1: Kobber, krom og arsen indhold i "nyt CCA-imprægneret træ"

I dette projekt er der udelukkende arbejdet med trykimprægneret træaffald type 4.

2.2 Metaller i "indsamlet træaffald"

I tabel 2 herunder ses metalindholdet i trykimprægneret træaffald fra Tølløse genbrugsstation.

Stof	Tølløse genbrugsstation
	mg/kg TS
Kobber	1.075 ± 42
Krom	325 ± 40
Arsen	295 ± 35

Tabel 2: Kobber, krom og arsen indhold i indsamlet "trykprægneret træaffald" fra Tølløse genbrugsstation (type 4)

Det ses af **tabel 2**, at der er et noget lavere indhold af kobber, krom og arsen i type 4 (indsamlet CCA imprægneret træaffald) end i type 1 "nyt imprægneret træ". Endvidere ses det, at der findes relativt mere kobber i vores prøver en man skulle forvente ud fra det fundne kromindhold og arsenindhold. Det kan hænge sammen med at det affaldstræ, som vi har fået fra Tølløse genbrugsstation er sammensat af CCA imprægneret træ og nyere CCA imprægneret affald, der indeholder mere kobber og intet arsen.

I tabel 3 herunder ses de forventede metalindhold i indsamlet træaffald til behandling, der blev anvendt i det samfundsmæssige studie (ref.3).

Stof	Metalindhold I indsamlet affaldstræ (fra ref.3)
	mg/kg TS
Kobber	1.200
Krom	850
Arsen	750

Tabel 3: Forventet kobber, krom og arsen indhold anvendt i den samfundsmæssige analyse af indsamling og behandling af imprægneret affaldstræ (ref. 3.)

Det ses, at kobberniveauet i det indsamlede affaldstræ fra Tølløse er på samme niveau som det forventede kobberindhold medens krom og arsenindholdet er ca. det halve. Dette tyder på en vis fortynding med rent træ, hvilket i praksis er uundgåeligt.

Det skal bemærkes, at den kemiske sammensætning i indsamlet CCA imprægneret træaffald kan variere noget og en behandlingsprocedure må kunne klare disse store variationer.

2.3 Metaller i træaffald til genanvendelse/energiudnyttelse

I et studie gennemført i 2006 af Affald Danmark og Institut for Miljø og Ressourcer, DTU (ref. 4) har man beregnet den kemiske sammensætning af input affaldstræ til spånpladeproduktionen (bilag 1). Det oplyses endvidere, at spånpladeproducenten er meget restriktiv med hensyn til det anvendte affaldstræ. Det fundne metalindhold i affaldstræ til genanvendelse i spånplader (ref.4) er sammenlignet med metalindhold i affaldstræ fra

nedrivning (ref.14), returflis brændsel (ref.14) samt træbrændsel (ref.14). Resultaterne er vist i tabel 4.

Stof	CCA indhold Træaffald til spånpladeproduktion, Affald DK og IMR ref.4	CCA indhold Affaldstræ fra nedrivning (Burman 2005) ref. 14	CCA indhold Returflis brændsel (Burman 2005) ref. 14	CCA indhold Træbrændsel (Burman 2005) ref. 14
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Kobber	69	73	17	14
Krom	84	45	18	21
Arsen	48	9	6	1

Tabel 4: Kemisk sammensætning af input "affaldstræ til spånpladeproduktion", "affaldstræ fra nedrivning", "returflis brændsel" samt "træbrændsel"

Af tabel 4 ses det tydeligt, at træaffald til spånpladeproduktion og træaffald fra nedrivning indeholder en sammenlignelig mængde (skøn 2-5 %) imprægneret træ. Forskellen i arsenindhold kan f.eks skyldes forskelle i træets alder.

2.4 Metaller i behandlet træaffald (Scenario genanvendelse)

I tabel 3 har vi data for det forventede metalindhold i trykimprægneret affaldstræ til behandling. I tabel 4 har vi data for det affaldstræ, der i dag anvendes til fremstilling af spånplader. Med baggrund i tabel 3 og tabel 4 kan man opstille mål for en behandlingsproces for trykimprægneret træ og opstille rensegrader for kobber, krom og arsen fra trykimprægneret træ (tabel 5), der medfører at det behandlede træ kan genanvendes til spånpladeproduktion. Dette er vist i tabel 5, hvor rensegraderne for kobber, krom og arsen er vist i absolutte tal "mg/kg TS" og som "% -rensning".

Stof	CCA indhold Træaffald til spånpladeproduktion, ref.4	Metalindhold indsamlet affaldstræ (fra ref.3)	Målsætning (behandlet træ)	Målsætning % rensning
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	% rensning
Kobber	69	1.200	20-100	92-98
Krom	84	850	20-100	89-97
Arsen	48	750	10-100	87-98

Tabel 5: Vurdering af målsætning for rensningsgrader (i %) for kobber, krom og arsen ved genanvendelse af behandlet træaffald i f.eks spånpladeproduktion

I kolonnen målsætning "behandlet træ" (tabel 5) er der valgt et koncentrationsinterval for kobber krom og arsen, som er sammenligneligt med de målte metalkoncentrationer i træaffald til spånpladeproduktion. Den nedre grænse for metalkoncentrationerne er valgt som ca. 4 gange mindre end koncentrationerne af kobber, krom og arsen i træaffald til

spånpladeproduktion. Herved bliver de nedre grænser for metalindhold sammenlignelige med værdierne for metalindholdene i "returflis brændsel".

Af tabel 5 ses, at målsætningerne for rensegrader for henholdsvis kobber, krom og arsen i behandlingsprocessen typisk ligger i området 90–95 %.

2.5 Metaller i aske fra behandlet træaffald (Scenario energiudnyttelse)

En anden måde at vurdere en behandlingsproces på, er at vurdere askens sammensætning fra en evt. energiudnyttelse i f.eks et forbrændingsanlæg med kraftvarmeudnyttelse eller et biomassefyret kraftvarmeværk.

Ved forbrænding af "behandlet indsamlet CCA imprægneret affaldstræ" opstår der en askefraktion. I det samfundsmæssige studie (ref.3) er askemængden fra behandlingsprocessen vurderet til 10,3-12,3 %. Askeindholdet fra afbrænding af rent træ udgør typisk omkring 1-3 %.

En væsentlig del af denne aske udgøres dog af sand og jord, som i praksis fjernes i væsentlig grad inden selve behandlingsprocessen. Det kan antages, at 60-80 % af sand og grus indholdet separeres fra i en forbehandlingsproces, som en separat sand og grus fraktion. Askefraktionen fra energiudnyttelse af behandlet CCA imprægneret træaffald vil skønsmæssigt udgøre ca. 6 %.

I tabel 6 herunder ses de beregnede indhold af kobber, krom og arsen i asker fra energiudnyttelse af behandlet indsamlet CCA imprægneret træ. I kolonne 2 (i parentes) er til sammenligning vist askedata for "returflis brændsel" fra tabel 4. Til sammenligning er i tabel 6 er også indsat grænseværdier for udbringning af aske fra afbrænding af biomasse på landbrugsjord samt indhold af CCA metaller i flyveaske.

Stof	Målsætning (behandlet træ)	CCA indhold (aske (6 %) fra energi- udnyttelse af behandlet træ / (returflis brændsel)	CCA indhold (ved udbringning af aske som aske fra biomasse)	CCA indhold (metal indhold som i flyveaske)
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Kobber	20	330 (233)	-	100
Krom	20	330 (330)	100	40
Arsen	10	160 (100)	-	60

Tabel 6: Vurdering af mål for rensningsgrader (i %) for kobber, krom og arsen i scenariet "energiudnyttelse ved forbrænding". Tallene i parentes er data for returflis.

Det ses af tabel 6, at ved afbrænding af "returflis brændsel" med meget lavt tungmetalindhold (data for aske fra "returflis brændsel" ses i parentes i kolonne 2 i tabel 6), vil anvendelse af aske ved tilførsel af jord ikke umiddelbart være mulig med de foreløbige rensegrader idet det må forventes, at asken fra "returflis brændsel" også vil have for høje indhold af kobber, krom og arsen.

Hvis man som målsætning (mål 2) vil anvende asken fra energiudnyttelse af "behandlet træaffald" ved udbringning på landbrugsjord eller som flyveaske kræves der altså rensning af CCA-træaffaldet ned til et indhold af kobber, krom og arsen på af størrelsesordenen 5 mg/kg kobber, 5 mg/kg krom og 5 mg/kg arsen. Dette er vist i tabel 7 sammen med kravet de tilhørende rensegrader (i %).

Stof	Metalindhold I indsamlet affaldstræ (fra ref.3)	Mål 2 Krav til behand- lingsproces	Mål 2 Krav % rensning	CCA indhold i aske (6 %) fra energiudnyttelse
	mg/kg TS	mg/kg TS	% fjernet	mg/kg TS
Kobber	1.200	5	99,6	80
Krom	850	5	99,4	80
Arsen	750	5	99,3	80

Tabel 7: Vurdering af mål for rensningsgrader (i %) for kobber, krom og arsen ved udbringning af aske fra energiudnyttelse af affaldstræ på landbrugsjord eller som flyveaske (mål 2).

Herudover vil der desuden være en række andre krav til askens indhold af andre tungmetaller f.eks cadmium, bly, kviksølv og nikkel. Den mængde aske, der må spredes på et givent areal, afhænger af, hvor høj cadmium koncentrationen er i asken. Asken opdeles i kategorier T1, T2 og T3 efter nedenstående skema i tabel 8. Der er samtidig begrænsninger på den samlede mængde fosfor, der må tilføres jorden. Som et gennemsnit over en treårig periode må der højst tilføres 30 kg fosfor pr. ha. pr. år.

Aske Kategori	Maks. Cd-koncentration (mg Cd/kg asketørstof)	Maks. udbringningsmængde (tons asketørstof/ha/5 år)
T1	15	0,2
T2	8	0,4
T3	0,5	5

Tabel 8: Kategorisering af aske(T1, T2 og T3) fra forbrænding af biomasse.

Desuden gælder følgende grænseværdier for andre tungmetaller ved udbringning af aske på landbrugsjord (tabel 9).

Tungmetal	Grænseværdi (mg/kg tørstof)
Kviksølv	0,8
Bly	120
Nikkel	30
Krom	100

Tabel 9: Grænseværdier for andre tungmetaller i aske fra forbrænding af biomasse.

I nedenstående tabel 10 er grænseværdier for metalindhold i aske fra biomasse (ref.6) vist sammen med fundne metalindhold i flyveaske, jord og kompost.

	Aske fra biomasse (ref. 6)	Flyveaske (fundne værdier)	Jord (fundne værdier)	Kompost (fundne værdier) (ref. 5)
Arsen (ppm)	25	61	5	5
Kobber (ppm)	-	100	13	79
Krom (ppm)	100	37	12	16

Tabel 10: Grænseværdier for metalindhold i aske fra biomasse sammenlignet med fundne værdier for kobber, krom og arsen indhold i flyveaske, jord og kompost

Sammenholdes grænseværdien for arsen i tabel 10 "aske fra biomasse" med arsenindholdet i tabel 7 "aske 6 % fra energiudnyttelse" ses det, at der muligvis kan blive behov for yderligere sænkning af målet for arsen indhold i det behandlede træ.

2.6 Sammenfatning mål for behandlingsproces

I de foregående afsnit er det undersøgt hvilke mål der må stilles til Watechs behandlingsproces afhængig af om det behandlede træ kan genanvendes til spånpladeproduktion eller det kan energiudnyttes i et biomassefyret kraft/varme anlæg.

Scenario 1: Genanvendes til spånpladeproduktion

Scenario 2: Energiudnyttelse i et biomassefyret kraft/varme anlæg

Målsætningerne for rensningen i behandlingsprocessen tager udgangspunkt i de forventede metalindhold i indsamlet træaffald til behandling, der blev anvendt i den miljø- og samfundsmæssig analyse af indsamling og behandling af imprægneret affaldstræ (ref.3).

Med udgangspunkt heri er der opstillet en tabel 11 der sammenholder det forventede metalindhold i indsamlet træaffald til ekstraktionsbehandling med målsætninger for metalindhold i behandlet træ for kobber, krom og arsen i de to scenarier.

Stof	Metalindhold I indsamlet affaldstræ (fra ref.3)	Scenario 1 Genanvendelse Mål for behandlet træ	Scenario 2 Energiudnyttelse Mål for behandlet træ
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Kobber	1.200	40	5
Krom	850	40	5
Arsen	750	20	5

Tabel 11: Sammenfatning af mål for metalindhold (kobber, krom og arsen) i behandlet træ ved genanvendelse i spånpladeproduktion eller udbringning af aske fra energiudnyttelse af behandlet træ på landbrugsjord

Scenario 1 "genanvendelse i spånpladeproduktion" svarer til en rensning for metaller på ca. 97 % og Scenario 2 "energiudnyttelse" svarer til en rensning for metaller på ca. 99,5 %.

3 Opvarmningsforsøg

Watechs PVC proces (ref. 13) omfatter en udvaskning og indvinding af tungmetallerne (ref.12) fra pyrolyseret plast. Derfor er det nærliggende at forsøge en ekstraktion af metallerne i træet på ikke behandlet træ eller på opvarmet (delvist pyrolyseret) træ.

Det indsamlede CCA-imprægnerede træaffald fra Tølløse var blevet hakket til flis allerede ude på genbrugspladsen. Alle forsøg er gennemført med dette neddelte (flis hakket) materiale.

3.1 Forbehandling af træaffald ved opvarmning

Indledningsvis blev det undersøgt, om der var procestekniske fordele i at opvarme det indsamlede CCA-imprægnerede træaffald. Ideen med denne forbehandling af træaffaldet var, at man ved at opvarme træet før udvaskning (ekstraktion) af metallerne kobber, krom og arsen kunne få åbnet træets struktur og gøre dette mere modtagelig for en udvaskning af tungmetallerne. Den enkleste måde kunne være at tørre træet først ved en passende høj temperatur, så der herved opstår sprækker i træet, som ekstraktionsvæsken hurtigere kan diffundere ind og ud af. Det var samtidig vigtigt, at træet ikke opvarmedes for meget eftersom arsen relativt nemt kunne fordampe allerede ved et par hundrede grader. Fordampningen, som reelt er en sublimation sker ved ca. 325 °C. Hvis man opvarmer træaffaldet til for høje temperaturer vil selve pyrolysen af træet også være høj. Ved temperaturer større end ca. 200 °C omdannes træaffaldet således til varierende blandinger af trækul, kondensat samt pyrolysegas. Dette betyder, at en væsentlig del af energien i træet må udnyttes internt i behandlingsanlægget og at afsætning som "behandlet træflis" ikke er mulig.

Hvis behandlet træaffald skal kunne afsættes til spånpladeproduktion er det altså vigtigt, at det behandlede træaffald er så identisk som muligt med den råvare som spånpladeproducenten normalt anvender, dvs. affaldsflis. Opvarmning af træaffaldet ud over normale tørretemperaturer for træflis er derfor heller ikke realistiske i dette scenario.

Det blev indledningsvis forsøgt at varme træet op til hhv. 90, 150 og 180 °C inden ekstraktion af metaller med Watechs udvaskningsproces.

Træaffaldet (flis) blev opvarmet i en varmluftsovn, der var forvarmet til de valgte forvarmningstemperaturer 90, 150 og 180 °C. Træaffaldet blev placeret i varmluftsovnen og der blev udtaget prøver til ekstraktionsforsøg hver 30 min. og hvert opvarmningsforsøg strakte sig over to timer, dvs. der udtoges træprøver efter 30, 60, 90 og 120 min. Kun ekstraktion af arsen blev undersøgt ved disse forsøg.

Det blev vist, at ca. 80 % af arsenindholdet kunne ekstraheres i et trin i ekstraktionsprocessen. Det blev desuden observeret, at arsen fordamper i nogen grad fra træaffaldet allerede ved 150 °C.

Der blev dog ikke observeret nogen væsentlig accelereret udvaskning af arsen ved en for opvarmning af træaffaldet og der blev derfor ikke lavet flere forsøg i denne retning.

4 Udvaskning af imprægneringsmidlerne

Watechs ekstraktionsproces (ref.12) forsøges herefter anvendt på ubehandlet indsamlet CCA-imprægneret træaffald, som blot var blevet neddelte med en flishakker. Dette kaldes i det efterfølgende "Imp. Træaffald". Der anvendes fortyndet saltsyre (HCl) som ekstraktionsvæske ved lave pH.

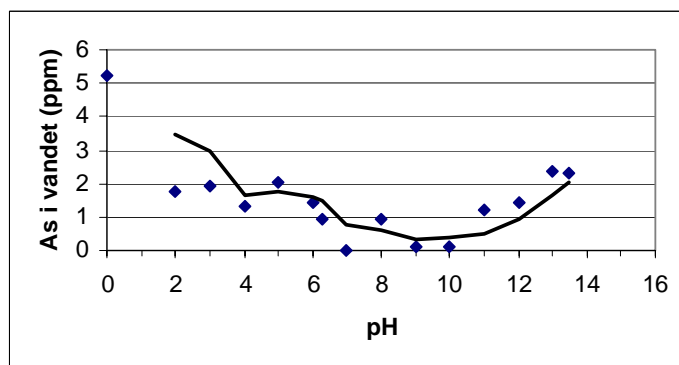
4.1 Udvaskning af arsen og pH

En screening af arsens opløselighed med anvendelse af Imp. Træaffald, som funktion af pH blev udført ved stuetemperatur og resultatet er vist i tabel 12.

pH	Koncentration i mg/L (ppm)
0	5,204
2	1,759
3	1,907
4	1,304
5	2,037
6	1,452
6,3	0,917
7	0
8	0,921
9	0,128
10	0,085
11	1,215
12	1,429
13	2,380
13,5	2,288

Tabel 12: Udvaskning af arsen fra ubehandlet trykimprægneret træaffald ved 20 C og forskellige pH værdier. Opholdstiden er ca. 5 minutter.

På figur 1 er arsens opløselighed i ekstraktionsvæsken, hvor lavt pH er udført med HCl tilsætning og højt pH er udført med NaOH tilsætning, vist grafisk. Den fuldt optrukne kurve viser det løbende gennemsnit taget for tre punkter.



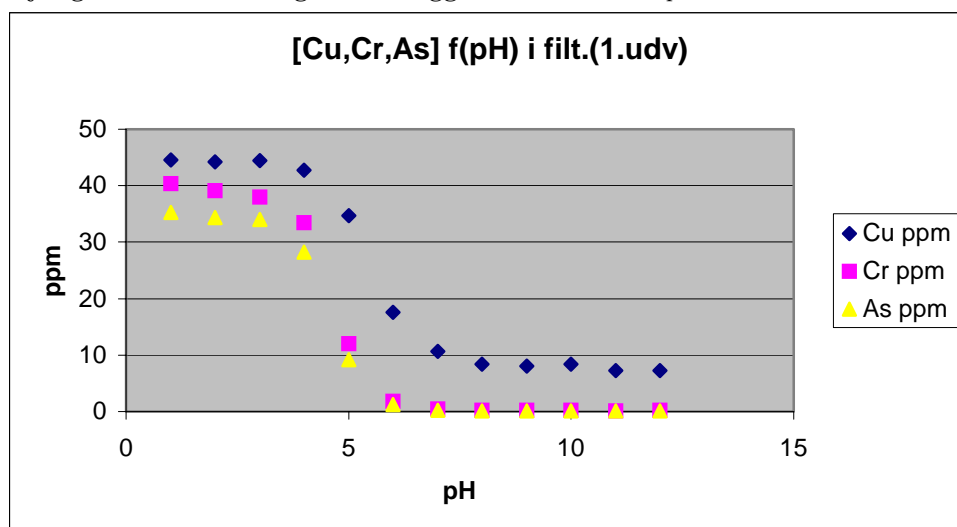
Figur 1: Ekstraktion af arsen vist som funktion af pH i ekstraktionsvæsken.

Det ses af **figur 1** og **tabel 12**, at arsen bedst udvaskes ved meget lave eller meget høje pH værdier.

4.2 Udvasning af Arsen, kobber samt krom. pH-værdi

I figur 2 herunder ses resultater fra udvasning af kobber, krom og arsen i et ekstraktionstrin med Watech processen (typisk anvendes her flere trin). Der er anvendt et andet væske:træ forhold end i figur 1. Figur 2 illustrerer blot, at ekstraktion ved høje pH værdier ikke er mulig for kobber og krom. Det blev derfor valgt at fortsætte undersøgelserne af ekstraktion med lave pH værdier fordi kobber og krom samtidig har en høj opløselighed her.

Syreforbruget ved at bringe blandingen af træ og vand ned til pH=0 er meget højt og derfor er det valgt at fastlægge ekstraktionens pH til 1.



Figur 2: Ekstraktion af arsen, kobber og krom vist som funktion af pH i ekstraktionsvæsken fra første ekstraktions trin.

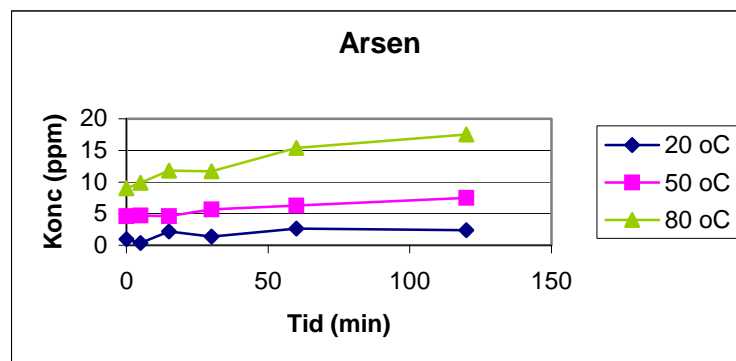
4.3 Udvasning af Arsen, kobber og krom. Tid, temperatur

Herefter blev der udført en række forsøg ved fast pH=1 for at få klarlagt hvilken betydning opholdstid og ekstraktionstemperatur havde på processen. Da vi ikke havde observeret nogen stor betydning af om træet har været opvarmet først (se afsnit 4), så blev forsøgene lavet på ubehandlet affaldstræ dvs. uden forbehandling. Træet var som nævnt tidligere neddelt med en

flishakker og det var derfor meget blandet fsa. størrelse. De mindste dele havde karakter af groft støv, mens de største dele var omkring 15x1 cm.

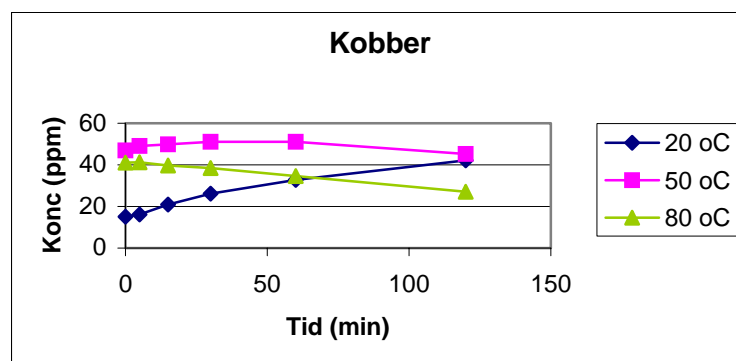
Der blev udført forsøg med tre forskellige ekstraktionstemperaturer 20 °C, 50 °C og 80 °C. Der blev under forsøget udtaget prøver af ekstraktionsvæsken efter 10 min, 20 min, 30min, 60 min og 120 min opholdstid.

Resultaterne fra ekstraktion ved pH=1 for arsen er gengivet i grafen på **figur 3** nedenfor. Det ses, at der endnu ikke er ligevægt efter 60 min ved 50 og 80 C.



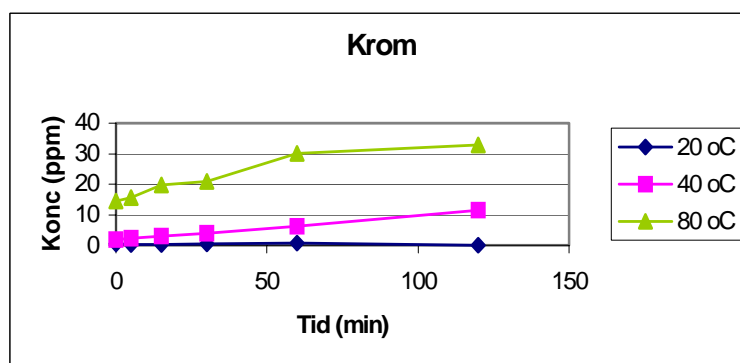
Figur 3: Ekstraktion af arsen som funktion af tid og temperatur ved pH=1

Resultaterne for ekstraktion ved pH=1 for kobber er gengivet i grafen på **figur 4** nedenfor. Kurverne ved høje temperaturer for kobber udviser et maksimum.



Figur 4: Ekstraktion af kobber som funktion af tid og temperatur ved pH=1

Den faldende koncentration af kobber efter 30-60 min ved højere temperatur, kan skyldes, at CuCl (kobber (I) klorid) kun er lidt opløselig i sur væske. Det er altså muligt, at Cu^{++} reduceres til Cu^{+} i processen.



Figur 5: Ekstraktion af krom som funktion af tid og temperatur ved pH=1.

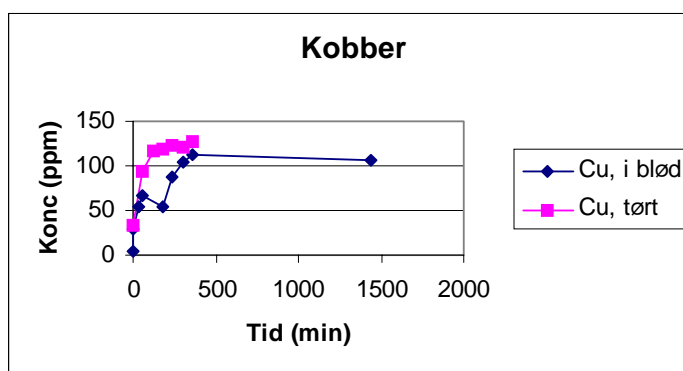
For krom var der ikke opnået ligevægt efter 60 min ved 50 °C, medens der næsten var opnået ligevægt ved 80 °C. Ud fra disse forsøg finder vi, at det bedste kompromis vedrørende ekstraktionstemperatur er 80 °C ved pH=1. Herefter skal opholdstiden i ekstraktionsvæsken forsøges optimeret.

4.4 Udvaskning af Arsen, kobber og krom. Vandindhold

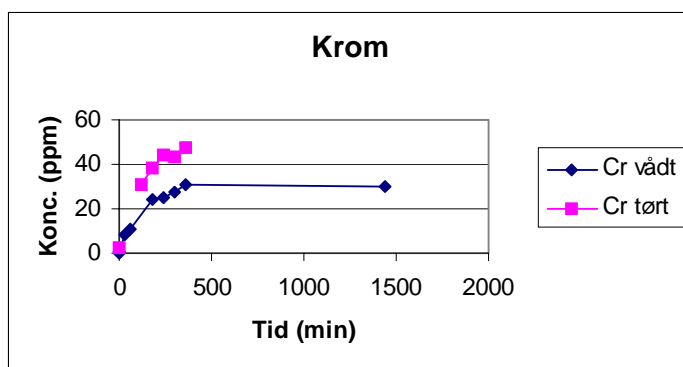
I afsnit 4.3 blev det observeret, at det selv efter to timers opholdstid i ekstraktionsvæsken ikke ser ud til at ligevægt er nået. Forsøget blev udført på tørt affaldstræ (flis).

Herefter blev to langtidsforsøg (ca. 7 timer) udført for at undersøge effekten af opholdstid og "start vandindhold" i affaldstræet (flis). Det første forsøg blev udført med tørt affaldstræ (flis) og det andet blev lavet på mættet affaldstræ (flis), dvs. affaldstræ (flis) der havde stået i blød i koldt vand ved 20 °C i 24 timer ved naturlig pH, dvs. pH=5,4 inden selve ekstraktionsforsøget blev udført.

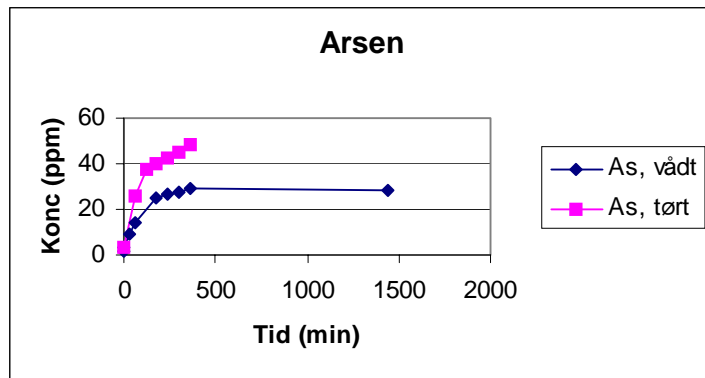
I figur 6,7 og 8 er koncentrationen af tungmetallerne i ekstraktionsvæsken vist som funktion af opholdstiden dels for det affaldstræ (flis), der var sat i blød i almindeligt vand ved 20 °C i 24 timer før udvaskningen og dels for tørt affaldstræ (flis), der blev ekstraheret, som det var.



Figur 6: Koncentrationen af kobber i ekstraktionsvæsken som funktion af tiden for træ og for træ, der har stået i blød i 24 timer i vand.



Figur 7: Koncentrationen af krom i ekstraktionsvæsken som funktion af tiden for træ og for træ, der har stået i blød i 24 timer i vand.



Figur 8: Koncentrationen af arsen i ekstraktionsvæsken som funktion af tiden for træ og for træ, der har stået i blød i 24 timer i vand.

Det ses af de tre kurver i **figur 6-8**, at kobber, krom og arsen koncentrationerne i ekstraktionsvæsken er noget højere i de tilfælde, hvor affaldstræet er ekstraheret som det er, dvs. tørt affaldstræ. Dette skyldes sandsynligvis, at der er forskel i de to prøvers indhold af metaller frem for forskellen i behandlingen. Vi konkluderer derfor, at en forbehandling med iblødsætning i vand ikke er nogen fordel for behandlingsprocessen.

Det fremgår ligeledes af kurverne i figurerne 6, 7 og 8, at efter ca. to timers opholdstid er ca. 80 % af metallerne udvasket fra affaldstræet i forhold til hvad der kan udvaskes efter seks timer. Derfor fastlægges opholdstiden i ekstraktionsprocessen til to timer.

I **figur 9** herunder er vist et billede af det trykimprægnerede træ efter (venstre) og før (højre) udvaskningen ved pH=1. Man ser tydeligt ændringen i farve fra grønligt (affaldstræ før behandling) til det lysebrunt (behandlet affaldstræ).



Figur 9: Trykimprægneret affaldstræ før (højre) og efter (venstre) behandling.

4.5 Udvaskning af Arsen, kobber og krom. Skylning

Inden det behandlede træ forlader ekstraktionsprocessen skylles det afslutningsvis med rent vand for at fjerne restmetaller samt klorid. Skyllevandet genanvendes efterfølgende som ekstraktionsvæske.

Træaffald fra ekstraktionen blev afslutningsvis skyllet med koldt vand og herefter analyseres "det behandlede træaffald" for slutindhold af arsen, kobber, krom og klor. Resultaterne er vist i nedenstående **tabel 13**. Sammenlignes metalindholdene i det behandlede træ i tabel 13 med kravene for Scenario 1 "genanvendelse" fra tabel 11 ses, at det behandlede træs indhold af kobber, krom og arsen ligger fornuftigt lavt i forhold til kravene i Scenario 1. I absolutte tal ligger kobber og krom metalindholdene i det behandlede træ 2-3 gange lavere end i det affaldstræ der i dag anvendes til spånpladeproduktion. Målene for Scenario 2 (anvendelse af aske til udspreddning på landbrugsjord) kan dog ikke opfyldes. Klorindholdet i det behandlede træ (Watech processen) er mindre end klorindholdet i "returflis brændsel" (se tabel 13)

Komponent	Koncentration i behandlet træ (mg/kg TS)	Scenario 1 Genanvendelse Mål for behandlet træ	Scenario 2 Energiudnyttelse Mål for behandlet træ
	Mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Kobber	20 ± 5	40	5
Krom	31 ± 5	40	5
Arsen	n.d. (*) (<3ppm?)	20	5
Klor	429 ± 4	-	-

Tabel 13: Koncentrationer af metaller og klor efter ekstraktion ved pH=1 og skylning med vand. (*) Arsen koncentrationen var under detektionsgrænsen for arsen, men der kan være nogle ppm på grund af måletekniske årsager.

Den opnåede træ kvalitet i det behandlede affaldstræ er vist i tabel 14. Kvaliteten af det med Watechs ekstraktionsproces behandlede træ er meget tæt på kvaliteten af returflis, dog er kobber og kromindholdet en anelse forhøjet.

Stof	CCA indhold Watech processen (behandlet træ)	CCA indhold Træaffald til spån- pladeproduktion, ref.4	CCA indhold Affaldstræ fra nedrivning (Burman 2005)	CCA indhold Returflis brændsel (Burman 2005)
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Kobber	20 ± 5	69	73	17
Krom	31 ± 5	84	45	18
Arsen	n.d. (*) (<3 ?)	48	9	6
Klor	429 ± 4	-	-	1000

Tabel 14: Koncentrationer af metaller i "Watech" behandlet affaldstræ sammenlignet med affaldstræ til spånpladeproduktion, affaldstræ fra nedrivning og "returflis brændsel"

4.6 Udvaskning af metaller. Syremængde

Den første portion vand indstilles med saltsyre (HCl) så pH=1,0. Hertil blev forbrugt ca. 12 % teknisk HCl (34 %) i forhold til træ mængden. Efter vask med vand ved 80 °C filtreres træet fra gennem et filter og der tilsættes vand, så væskevolumenet er det samme, som det var ved starten. Hvis der herefter igen tilsættes træ er pH=1,2 i væsken og der skal derfor anvendes ca. 3 % teknisk HCl (34 %) i forhold til træmassen. Vi estimerer derfor, at syre forbruget til ekstraktionsbehandling med Watech processen er under 4-5 % af input træ mængden.

5 Pilotanlæg til ekstraktion af tungmetaller

Ekstraktionsteknisk er der nu flere måder at gennemføre ekstraktionen på. Man kan f.eks. lade affaldstræet være statisk og kun flytte ekstraktionsvæske dvs. en ekstraktion hvor affaldstræet kontaktes med ekstraktionsvæsken ved simpel overrisling eller man kan lade affaldstræet være helt neddykket i ekstraktionsvæsken. Endelig kan man udføre ekstraktionen med at supplere med en form for omrøring af affaldstræet f.eks. hvor affaldstræet holdes omrørt i ekstraktionsvæsken. Ekstraktionen kan desuden udføres i et eller flere trin som en medstrøms ekstraktion eller som en modstrømsekstraktion. Modstrømsekstraktion anvendes normalt i Watech ekstraktionsprocessen.

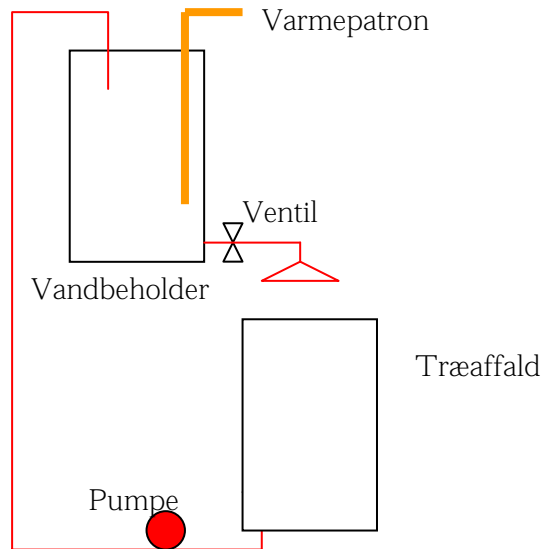
Indledningsvis blev to forskelligt udformede pilotanlæg anvendt til at gennemføre forsøgene med større mængder affaldstræ(flis).

5.1 Pilotanlæg type 1. "risle og neddykket"

Den ene pilotanlæg opstilling bestod af et isoleret kar hvori træaffaldet placeres. Der var monteret en rist ca. 10 cm over bunden og fra pumpeumpen under risten blev ekstraktionsvæsken pumpet til en ekstern beholder, der var udstyret med 2 kW varmepatroner, så ekstraktionsvæsken kunne opvarmes til den valgte ekstraktionstemperatur. Fra opvarmningsbeholderen løb væsken gennem en slange med hane ned over træaffaldet. Denne pilotanlæg opstilling (type 1) er skitseret i **figur 10**.

Pilotanlæg opstillingen blev brugt til at udføre forsøg med forskellige væske/faststof forhold og varierende opholdstider for træaffaldet. Alle forsøg blev udført ved temperaturen 80 °C og pH=1.

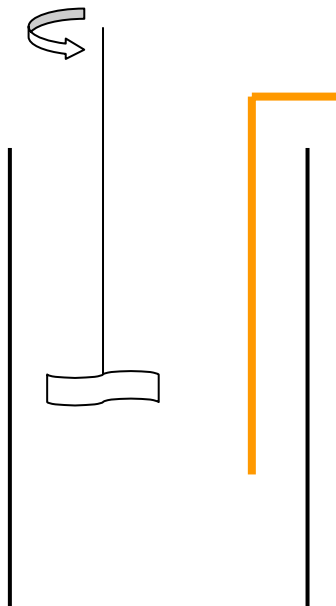
Ulemperne ved denne opstilling var, at små træsplinter kunne passere bundristen og forårsage tilstopning af pumpeystemet. Desuden var det vanskeligt at opnå en tilstrækkelig god kontakt mellem træaffaldet og væsken i denne ekstraktionsbeholder blot ved overbrusning. Dette gav samlet set en dårligere udvaskning af tungmetallerne i affaldstræet.



Figur 10: Pilotanlæg type 1 (risle og neddykket) opstilling til forsøg med ekstraktion af tungmetaller fra affaldstræ.

5.2 Pilotanlæg type 2. "Omrørt"

For at forbedre kontakten mellem affaldstræet og væsken blev et andet pilotanlæg med opstilling bygget. Dette pilotanlæg er skitseret i figur 11 og den består af et kar med varmpatron og en passende omrøring. Det betød, at lidt større væske/tørstof forhold var nødvendigt for at få en affaldstræ/væske blanding, der kunne omrøres i. Det viste sig at være vanskeligt at få fugtet affaldstræet, der flyder ovenpå væsken.



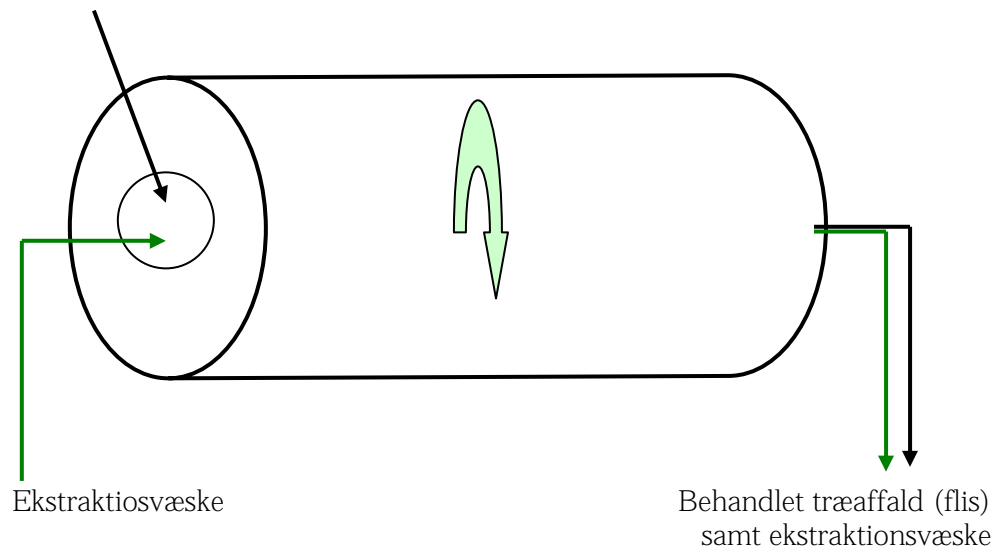
Figur 11: Pilotanlæg type 2 opstilling med varmpatron og omrøring for at sikre god kontakt mellem træ og ekstraktionsvæske.

5.3 Pilotanlæg type 3. "tromle"

En tredje løsning kunne være en vasketromle som også kunne sikre god kontakt mellem affaldstræ og ekstraktionsvæske. Denne type pilotanlæg opstilling anbefales undersøgt i en eventuel næste periode af projektet.

I vasketromlen er der monteret ledeplader, som sikrer den nødvendige opholdstid for træaffaldet. Hele tromlen roteres hvorved der sikres en god kontakt mellem træ og væske. Ekstraktionsvæsken kan tilledes i medstrøm eller modstrøm. Vasketromlen er vist i figur 12.

Ubehandlet træaffald (flis)



Figur 12: Pilotanlæg type "vasketromle" som sikrer opholdstid og en god kontakt mellem træ og ekstraktionsvæske.

6 Resultater fra ekstraktionsforsøg

En række forsøg med ekstraktion af affaldstræ i de to pilotanlæg opstillinger blev udført. Der blev udført følgende forsøg med de to typer pilotanlæg

Type 1: Ekstraktionsvæsken rislede over træaffaldet

Type 1: Træet var dækket af ekstraktionsvæsken, der blev cirkuleret

Type 2: Træet var opslemmet i ekstraktionsvæsken og holdt i bevægelse af en omrører. Type 2A er udført uden skylning og type 2B er udført med skylning af det behandlede træ.

Tørstofindholdet i det behandlede træ var efter ekstraktionen omkring 40-50 % i lighed med tidligere udførte forsøg. Træet blev tørret ved simpel afdrypning på en rist.

6.1 Pilotanlæg type 1 og 2. "behandlet træ resultat"

Metalkoncentrationerne i det ubehandlede affaldstræ træ og det der blev opnået i behandlet affaldstræ med de to typer pilotanlæg er samlet i tabel 15.

Metal	Ubehan. træ Type 1 ppm	Ubehan. træ Type 2 ppm	Risle behand Type 1 ppm	Dyppet behandl. Type 1 ppm	Omrørt behandl. stort træ Type 2A ppm	Omrørt, behandl. småt træ Type 2A ppm	Omrørt behandl. +skyl Type 2B ppm
Cu	1450	638	52	15	5	3	1
Cr	270	195	145	53	41	20	6
As	210	129	58	8	4	0	0

Tabel 15: Metalkoncentrationer i ubehandlet og behandlet affaldstræ fra pilotanlæg type 1 og type 2 forsøg beregnet ud fra metalkoncentration i asken samt askemængden.

Reduktionen i metalmængden i træet er vist i tabel 16 for de forskellige behandlinger. Der var stor forskel på det resultat der opnåedes ved behandlingen afhængigt af pilotanlægs type. Endvidere var det krom der var det metal, der var vanskeligst at få ekstraheret fra affaldstræet. Det ses, at mere end 95 % af metallerne kunne ekstraheres fra affaldstræet. Et kromindhold på under 5 mg/kg (mål Scenario 2) kunne dog ikke opnås.

Metal	Risle Type 1	Neddypet Type 1	Omrørt stort træ Type 2A	Omrørt småt træ Type 2A	Omrørt Type 2B + skyl
Cu	92 %	98 %	>99 %	>99 %	>99 %
Cr	47 %	81 %	80 %	89 %	97 %
As	54 %	94 %	97 %	>97 %	>97 %

Tabel 16: Reduktion i det behandlede affaldstræs metal koncentrationer

6.2 Analyser af ubehandlet og behandlet træ

Analyserne af ubehandlet træ er foretaget på følgende måde. Affaldstræet fra forsøgene blev først forasket i en ovn ved 550 °C. Asken blev herefter oplukket med kongevand og indholdet af arsen, kobber og krom blev dernæst bestemt ved atomabsorbtion.

I tabel 17 er kobber, krom og arsen indhold i aske fra "ubehandlet trykimprægneret træaffald" sammenstillet med "krav til aske til anvendelse i jordbrug" samt en aske fra en brændeovn. Arsen kan muligvis være delvis fordampet ved de 550 °C, som træet er forasket ved, så tallene i tabellen kan derfor ikke direkte regnes om til arsen indholdet i træet. Arsen fordampningen kan dog anses for at være begrænset vurderet ud fra tabel 17 idet det målte Arsen-Krom forhold på ca. 76 % svarer dog meget godt til de forventede værdier på fra 60-80 %, som er beskrevet i tabel 1 (side 16). En vis fordampning af arsen kan dog ikke udelukkes.

Metal	Konc. i aske ubehandlet CCA træaffald (ppm)	Krav til aske for jordbrug	Aske fra brændeovn (ppm)
Aske %	0,9	-	?
Cu	161.150	< 1.000	520
Cr	30.400	< 100	33
As	23.200	< 25	0

Tabel 17: Metal koncentrationer i aske fra ubehandlet CCA træaffald samt krav til aske til anvendelse i jordbrug.

Forskellige analyse metoder blev afprøvet til analyse for kobber, krom og arsen i behandlet træ. Det blev vurderet, at den mest præcise metode var en vådoxidation af træet med koncentreret svovlsyre og salpetersyre og derefter blev koncentrationerne i væskefase bestemt ved atomabsorbtion (AAS).

6.3 Askemængder/metal indhold i aske fra behandlet træ

I tabel 18 ses askemængder samt kobber, krom og arsenindhold i askerne fra de tre pilotforsøg samlet. Eventuelle søm blev taget fra asken inden den blev vejlet og oplukket.

Aske/Me tal	Risle Type 1 (ppm)	Neddyppet Type 1 (ppm)	Omrørt, Type 2A småt træ (ppm)	Omrørt Type 2A stort træ (ppm)	Omrørt Type 2B +skyl (ppm)
Aske %	0,38	0,35	0,35	0,15(*)	0,32
Cu	13.780	4.240	910	2.998(*)	240
Cu,2% aske	(2.618)	(742)	(159)	(225)	(40)
Cr	38.170	15.027	5.410	27.300(*)	1.960
Cr,2% aske	(7.250)	(2.630)	(3.785)	(2.040)	(310)
As	15.320	2.330	0	2.733(*)	0
As,2%aske	(2.910)	(407)	(0)	(205)	(0)

Tabel 18: Askemængder (% af oprindelig vægt) og metalkoncentrationer i aske fra træaffald ved de forskellige behandlingsmetoder.(*) Analysefejl sandsynlig. Med tal i parentes er vist metalindholdene i askerne korrigeret til 2 % aske

Kommentar til resultat kolonne 5 (store træstykker). Ud fra data i tabel 15 var det forventet, at kobber, krom og arsen indholdene ville være ca. dobbelt så høje i tabel 18, kolonne 5 "stort træ" sammenlignet med tabel 18, kolonne 4 "småt træ". Da askemængden er usædvanlig lille (0,15 %) er der sandsynligvis sket en analysefejl.

Det ses af tabel 18, at askemængden typisk udgjorde omkring 0,3-0,5 % af den oprindelige vægt af det tørrede træ. Denne gløderest var noget mindre end forventet, og det betyder at den mængde tungmetaller, der ikke er vasket ud, bliver mere koncentreret i asken end først antaget. Indholdet af tungmetaller i askerne ville således blive mere end halveret hvis sømmene ikke var taget fra.

Askemængden fra forbrænding af rent træflis udgør normalt 0,3 – 4 % af træ mængden (2 % i gennemsnit) i et kraft varme forbrændingsanlæg for biomasse. I tabel 18 er det vist (tal i parentes) hvad metalindholdene i askerne ville være, hvis askemængden udgjorde 2 %.

Det ses, at grænseværdien for anvendelse af asken til jordbrugsformål ikke er nået for krom. Det ses ligeledes, at der er meget stor forskel på effektiviteten af de forskellige behandlingsmetoder.

Tungmetalkoncentrationerne, der er målt i afsnit 7.1, 7.2 og 7.3 i denne rapport, kan derfor anses for at være høje værdier i forhold til en reel forbrænding fordi askemængden der blev målt ved foraskning af det behandlede træaffald kun udgjorde 0,3-0,5 %.

På figur 13 ses aske fra ubehandlet træaffald og behandlet træaffald. Askemængden fra det behandlede træaffald udgør under en tredjedel af asken fra det ubehandlede træaffald. Man ser desuden en tydelig farveforskel på askerne.



Figur 13: Aske fra hhv. ubehandlet CCA affaldstrø (venstre) og fra Watech behandlet affaldstrø (højre).

7 Ekstraktionsvæske behandling

Ved ekstraktionsbehandlingen opstår der en ekstraktionsvæske, som skal behandles. Det er vigtigt for processens succes, at ekstraktionsvæsken kan behandles, genanvendes eller skaffes bort på en forsvarlig måde. Det blev derfor først undersøgt om ekstraktionsvæsken med saltsyre og tungmetaller kan regenereres og anvendes i et nyt ekstraktionstrin.

Der er herefter undersøgt forskellige metoder til selektivt at fjerne kobber, krom og arsen ved pH=1 i kloridholdig væske.

7.1 Selektiv fældning af arsen med FeCl_3

Arsen kan fældes som mineralet scorodit ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Udfældningen kan foretages i svagt sur eller basisk væske. Hvis man tilsætter jern(III) til ekstraktionsvæsken ved pH=1 fælder arsen ikke ud og derfor blev det konkluderet, at metoden ikke umiddelbart kan anvendes til selektiv arsen fældning og hvis saltsyren skal regenereres.

Ekstraktionsvæsken blev herefter tilsat base til pH=6 og derefter blev igen tilsat FeCl_3 . Koncentrationen af arsen i den filtrerede ekstraktionsvæske blev herved reduceret fra 25 til 15 ppm. Herefter konkluderes, at denne metode ikke er egnet til regenerering af ekstraktionsvæsken.

7.2 Selektiv fældning af kobber og krom med metal

For at reducere problemet med at fjerne kobber og krom til at gælde et metal blev det forsøgt at bytte disse metaller elektrokemisk i ekstraktionsvæsken. Aluminium blev tilsat væsken hvorved der blev dannet et sort bundfald og det tilsatte aluminium var blevet opløst.

Kobberkoncentrationen i ekstraktionsvæsken blev herved reduceret med ca. 80 % fra 84 ppm til 17 ppm og metallet (kobber) blev genfundet i bundfaldet. Krom koncentrationen blev dog reduceret med 10 % fra ca. 11 ppm til 10 ppm. Dette krom blev ligeledes genfundet i bundfaldet. Metoden vurderes derfor som måske egnet til selektiv fjernelse af kobber.

7.3 Selektiv Ionbytning af kobber

Ionbytning blev forsøgt ved anvendelse af to forskellige typer fra DOW. De to ionbytter materialer var Dowex Marathon (stærk basisk anion), der virker i pH området 0-14. Det andet ionbytter materiale var Dowex M4195 (svag basisk) specielt til kobber, nikkel og kobolt.

Dowex M4195 fjernede alt kobber fra opløsningen ved pH=1 uden at fjerne hverken arsen eller krom. Dette kan være en fordel fordi kobber således kan trækkes ud for sig selv og nyttiggøres. Ionbytteren kunne regenereres med koncentreret HCl. Ved regenerering fås en ca. 1.000 ppm kobberopløsning i koncentreret saltsyre. Mængden af syre fra regenerering udgør ca. 250 L/ton træaffald, der er blevet behandlet.

Dowex Marathon blev ligeledes testet ved pH=1 og pH=2,5 i ekstraktionsvæsken, men var ikke i stand til at fjerne hverken krom eller arsen fra den væske, der var rensat for kobber.

Desuden blev det forsøgt med pH=6, hvor arsen koncentrationen blev reduceret fra 25 ppm til 8 ppm.

Ionbytning vurderes som teknisk egnet til selektiv fjernelse af kobber, men pga. det store saltsyreforbrug til regenerering af ionbytteren bliver metoden økonomisk uegnet til regenerering af ekstraktionsvæsken.

7.4 Udfældning/neutralisering med kalk

Herefter blev udfældning af tungmetaller ved kalktilsætning forsøgt. Den anvendte kalkkilde var calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

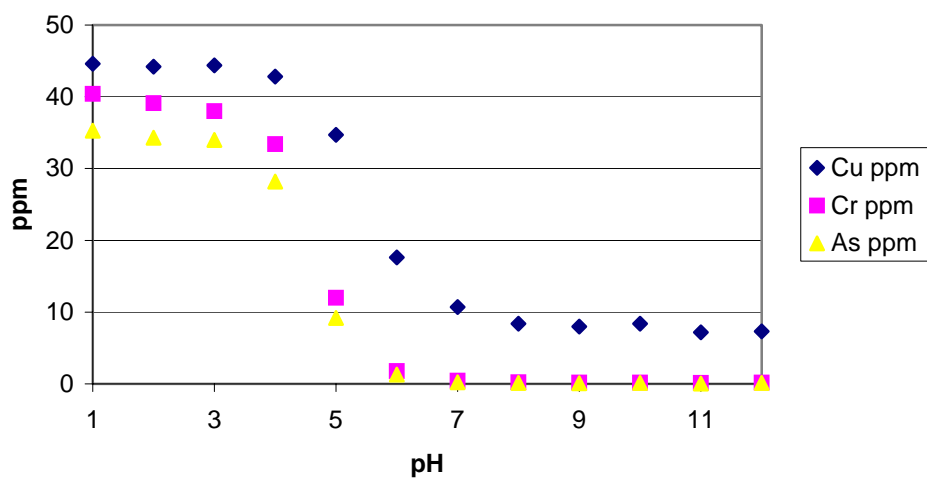
Ekstraktionsvæsken blev tilsat kalk og der sås et tydeligt farveskifte i ekstraktionsvæsken samtidig med, at der blev dannet bundfald. Den kalkbehandlede ekstraktionsvæske blev filtreret og koncentrationerne af tungmetaller blev målt i filtratet. Resultatet er vist herunder i tabel 19 og i figur 13.

Metoden vurderes som teknisk økonomisk egnet til regenerering af ekstraktionsvæske. Filtratet vil kunne genanvendes i processen, men pga. saltindholdet kan det ikke genanvendes fuldstændigt. En vis mængde spildevand må derfor påregnes.

Til neutralisering af 10 liter ekstraktionsvæske krævedes ca. 300 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$, hvilket svarer til et kalkforbrug på ca. 30 kg pr. ton ekstraktionsvæske.

pH	Cu Ppm	Cr Ppm	As ppm
1	45	40	35
2	44	39	34
3	44	38	34
4	43	33	28
5	35	12	9
6	18	2	1
7	11	0,5	0,2
8	8	0,2	0,2
9	8	0,2	0,1
10	8	0,2	0,1
11	7	0,15	0,1
12	7	0,2	0,2

Tabel 19: Kobber, krom og arsen koncentration i vandet som funktion af pH. Data er afbildet i figur 14.



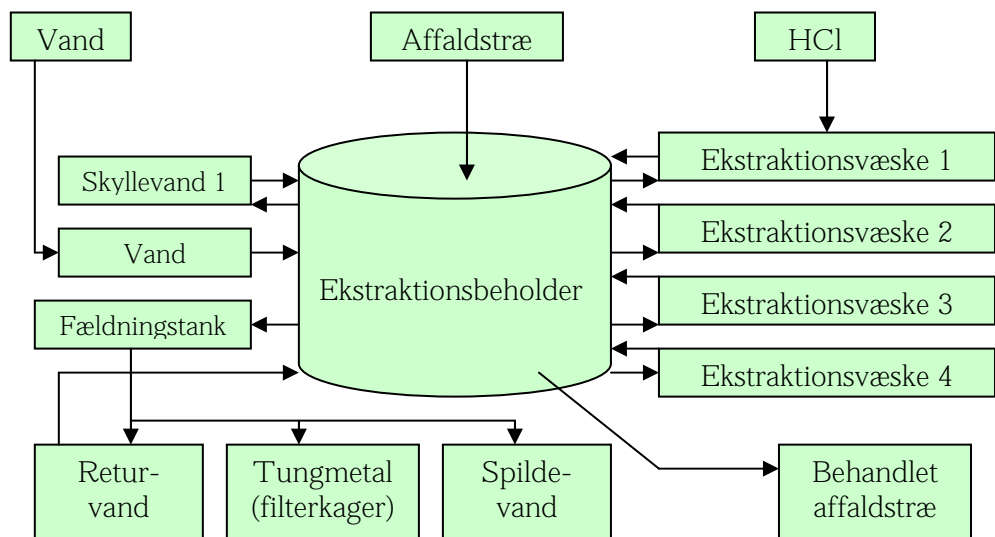
Figur 14: Kobber, krom og arsen som funktion af pH i ekstraktionsvæsken.

Det vil formentlig være nødvendigt med et yderligere fældningstrin med sulfid for at sikre, at vi bringer arsen koncentrationen ned under de 13 ppb, der er grænseværdien for tilledning af arsen til rensningsanlæg. Herved udfældes der også mere kobber.

8 Design af Watech ekstraktionsproces

Med baggrund i de udførte undersøgelser kan Watech ekstraktionsbehandling generelt udføres som vist i bilag 5. Ekstraktionsprocessen kan udføres som en fire trins ekstraktion i modstrøm med ekstraktionsvæske tilsat saltsyre. Efter ekstraktionstrinene udføres et antal skylletrin med vand, der ligeledes laves i modstrøm. Restfugt indholdet i affaldstræet efter behandling svarer ca. til vægten af træet selv efter dræning af træet dvs. der forventes ca. 45-50 % vandindhold.

Det betyder, at relativt meget materiale overføres med det residuale vand fra et trin til det næste og derfor er det igen nødvendigt med relativt højt væske/faststof forhold i processen. I figur 15 er vist et eksempel på en specifik procesudformning (ekstraktion i modstrøm og stationær fast fase) på Watech processen til ekstraktionsbehandling.



Figur 15: Eksempel på udformning af Watech ekstraktionsproces i modstrøm (4 trin) samt 2 skylletrin

8.1 Modstrømsekstraktion (stationær fast fase)

I denne type ekstraktion har man lige så mange beholdere som man har ekstraktionstrin plus en beholder, der bruges til tømning og fyldning efter ekstraktionen. Hver beholder indeholder træ og væske og når ligevægt mellem tungmetallerne i træet og væsken har indstillet sig, så pumpes væsken videre til næste beholder med mere forurenat træ.

Fordelen ved denne ekstraktionsteknik er at det er simpelt at bygge rørføring og beholdere fordi man kun flytter væske og altid fra beholder og til enten nabo tanken eller til fældningstanken. Princippet i denne type modstrømsekstraktion er vist i bilag 6.

Udfordringen med denne ekstraktionsteknik ligger i at kunne pumpe væsken fra træet uden at træaffaldet følger med og samtidig med en så stor hastighed at processen forløber tilpas hurtigt. Desuden skal tømning og fyldning af hver enkelt beholder kunne foregå let.

8.2 Forsøg modstrømsekstraktion (stationær fast fase)

En række forsøg blev herefter udført for at måle mængden af syre, der skal tilføres en ekstraktionsproces med modstrøm som skitseret i figur 15 med mulighed for at udføre fire skylletrin.

Pilotanlægget til gennemførelse af ekstraktionsforsøg med både type 1 og type 2 (se tabel 15) blev opbygget ved anvendelse af 1000 L palletanke med en ekstraktionsbeholder (EB1) og med mulighed for at udføre op til fire ekstraktionstrin (fire tanke TM1, TM2, TM3 og TM4) samt fire skylletrin (fire tanke ST1, ST2, ST3, ST4), en fældningstank (FB1) samt en holdetank/buffertank (HT1) med tilhørende rørforbindelser som vist i bilag 5.

I nedenstående tabel 20 er koncentrationerne i ekstraktionsvæske efter modstrømsekstraktion vist. Det ses af tabel 20, at det ikke har været nødvendigt at tilsætte yderligere syre til ekstraktionsvæske. Kun det hold skyllevand, der efterfølgende er blevet til "ekstraktionsvæske til fjerde metalekstraktion" er tilsat syre.

Mængden af saltsyre der blev tilsat udgjorde 155 ml (34 % saltsyre/kg træ). Ud fra de målte pH værdier, som var mindre end 0,5 i TM1, TM2 og TM3, bedømmes det, at der er tilsat rigeligt med saltsyre og en reduktion i saltsyremængden på ca. 30 % synes derfor realistisk. Syreforbruget til ekstraktionsbehandling i modstrøm udgør herefter ca. 108 ml 34 % saltsyre, der modsvarer ca. 3,5 % (w/w) saltsyre i forhold til mængden af affaldstræ.

Basis 1 kg TS	TM1 ppm	TM2 ppm	TM3 ppm	TM4 ppm	Skyl1 ppm	Skyl2 ppm	Skyl3 ppm	Skyl4 ppm	spild ppm
Cu	69	24	16	3	0	0	0	0	0
Cr	(22)	14	10	2	0	0	0	0	3
As	27	12	7	1	0	0	0	0	0
pH	0,35	0,43	0,42	1,0	1,9	3,4	6,5	7,0	10-
Syre tilsat	0	0	0	155 ml/kg	0				

Tabel 20: Metal koncentrationer i ekstraktionsvæskebeholdere TM1, TM2, TM3, og TM4 samt skylletanke ST1, ST2, ST3 og ST4 ved en 4-trins modstrømsekstraktion med 4 skylletrin.

Massen af det vaskede træaffald var 2,7 kg våd vægt. Træet blev tørret ved 100 °C i et døgn. Herefter var massen af træet 872,3 g.

Herunder ses de beregnede ekstraherede mængde tungmetaller ud fra data i tabel 20. Der blev anvendt type 2 affaldstræ (data fra tabel 15) til forsøget.

Basis 1 kg TS	Ubehandlet træaffald "Type 2"	Behandlet træaffald "Type 2"	Behandlet træaffald "Type 2"
Metal	ppm	Ekstraktion L:S=10 "ppm" ekstraheret	Ekstraktion L:S=10 % ekstraheret
Cu	638	662	108
Cr	195	211	(108)
As	129	259	209

Tabel 21: Ekstraheret metal mængde samt % -ekstraktion for træ behandlet med en fire trins modstrømsekstraktion. Basis er 1 kg træaffald TS

Man ser af tabel 21, at metalindholdet i affaldstræet sandsynligvis har været højere for den anvendte "type 2" træmængde ved dette forsøg end det analyserede "type 2" affaldstræ eftersom ekstraktionsprocenterne er større end 100 %. Den høje målte arsenekstraktion på 209 % kan skyldes, at der har været anvendt to forskellige analysemetode. Efter forsøget er træet forasket, og askemængden blev bestemt. Resultatet er vist i tabel 22.

	Mængde % (w/w)
Aske	1,1 %

Tabel 22: Askemængde i % (w/w) pr kg TS input træ fra affaldstræ, der er rensat i en fire trins modstrømsekstraktion

8.3 Modstrømsekstraktion (stationær væskefase)

Denne teknik minder meget om modstrømsekstraktion med stationær faststoffase. Her foregår ekstraktionsprocessen blot ved at faststoffet transporteres til en anden tank, mens væsken bliver i tanken, klar til at modtage næste portion træ eller til at blive pumpet til fældningstanken. Faststoffet kan fjernes enten ved, at det snegles væk fra bunden af tanken eller ved at det holdes i et net, der kan hejses op af tanken.

I denne metode vil syreekstraktionen og skylleene blive holdt hver for sig for at undgå at der skal fyldes rent skyllevand i den tank, der lige er blevet tømt for den mest forurenede syre.

Metoden har den fordel at en fire trins ekstraktion kan laves i to tanke, således at de fire trin plus fire skyl kan udføres i fire tanke i alt. Det kræver dog at faststoffasen holdes i et net så træet kan "bytte" plads i to kar. Arbejdsgangen er demonstreret i tabel 23.

Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 4	Kommentar
Træ(4) TM1	Træ(3) TM3	Træ(2) S1	Træ(1) S3	
				Væske(1) til fældning Væske(3) til (1) Frisk vand til (3)
Træ(3) TM4	Træ(4) TM2	Træ(1) S4	Træ(2) S2	
				Træ(1) til produkt lager
Træ(4) TM3	Træ(5) TM1	Træ(2) S3	Træ(3) S1	
				Væske(2) til fældning Væske(4) til (2) Friske vand til (4)
Træ(5) TM2	Træ(4) TM4	Træ(3) S2	Træ(2) S4	
				Træ(2) til produkt lager
Træ(6) TM1	Træ(5) TM3	Træ(4) S1	Træ(3) S3	

Tabel 23: Skematisk fremstilling af en fire trins modstrømssyre ekstraktion med stationær væskefase.

Da denne teknik minder meget om modstrømsekstraktion med stationær faststoffase blev der ikke udført forsøg hermed.

8.4 Modstrømsekstraktion i ekstraktionssnegl

Der blev designet og opbygget en ekstraktionssnegl (figur 16) til indbygning i Watech pilotanlægget til udførsel af modstrømsforsøg med kontinuert ekstraktionsbehandling. Ekstraktionssneglen blev opbygget med en syrebestandig coating. Pilotforsøg med denne ekstraktionsudformning blev af tidsmæssige årsager ikke udført.



Figur 16: Ekstraktionssnegl til kontinuert ekstraktionsforsøg

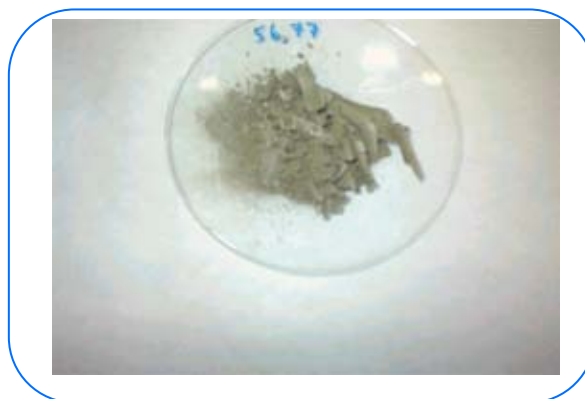
8.5 Behandling af ekstraktionsvæske

Med baggrund i resultaterne fra afsnit 8 blev kalkfældning valgt til behandling af ekstraktionsvæsken. Først blev calciumcarbonat undersøgt. Til forsøget blev 1 liter ekstraktionsvæske udtaget fra første metaludvaskning (fra TM1 i tabel 20) og calciumkarbonat blev tilsat. Før calciumkarbonat tilsætning var pH i ekstraktionsvæsken 0,44. Det er en del lavere end det forventede pH=1, men

det kan forklares ved, at der blev tilsat for meget saltsyre samt at noget vand er fordampet fra de åbne kar. Væsken blev neutraliseret til pH ca. 7 med calciumcarbonat og derefter blev pH justeret til 9,5 med calciumhydroxid. Dette gav 42,76 g bundfald. Bundfaldet var overvejende hvidt bestod til dels af ureageret kalk.

Samme procedure blev forsøgt med en ny portion ekstraktionsvæske (ekstraktionsvæske fra TM1 i tabel 20). Næste forsøg blev der neutraliseret med calciumhydroxid. Der blev udtaget 977,25 g ekstraktionsvæske med pH=0,58. Væsken blev neutraliseret med 36,68 g calciumhydroxid. Teoretisk kunne pH være neutraliseret med 19,5 g calciumhydroxid, og overforbruget kan forklares med at en del af den anvendte calciumhydroxid formentlig var omdannet til calciumcarbonat. Bundfaldet blev filtreret fra og vejede 4,53 g. Dette bundfald var mørkegråt og ses på figur 17.

En del af den samme ekstraktionsvæske (TM1 fra tabel 20) blev inddampet inden pH justering for at bestemme tørstof indholdet i ekstraktionsvæsken. Der blev fundet 5 % tørstof i ekstraktionsvæsken. Dette skyldes især saltindhold i form af dannet calciumklorid og en mindre mængde opløst træ tørstof.



Figur 17: Bundfald fra pH-justering af ekstraktionsvæsken med $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Det kan derfor konkluderes, at en stor del af stofferne i ekstraktionsvæsken forbliver i opløsning som salt ved fældningsprocessen med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ og kan følge spildevandet ud. En stor del af det rensede ekstraktionsvæske kan genanvendes i processen. Spildevandsmængde fra processen kan herved minimeres.

Koncentrationen af tungmetaller som funktion af pH under udfældning i TM1 ekstraktionsvæske med fældning af kridt og hydratkalk samt hydratkalk alene er vist i tabel 24.

	TM1 Væske fældet med CaCO ₃ og Ca(OH) ₂			TM1 Væske fældet med Ca(OH) ₂		
pH	Kobber ppm	Krom ppm	Arsen ppm	Kobber ppm	Krom ppm	Arsen ppm
0,44	-	131	146	112	44	40
1,02	281	106	142	-	-	-
5,9	105	121	0	-	-	-
9,5	130	-	0	28	3	0

Tabel 24: Indhold af tungmetaller i TM1-ekstraktionsvæske ved pH neutralisering

Af tabel 24 ses, at arsen og krom udfældes mest effektivt ved anvendelse af calciumhydroxid. Efterpolering med sulfid af den del af den neutraliserede ekstraktionsvæske, som bliver til spildevand kan være nødvendig for at nedbringe tungmetalindholdet inden udledning af spildevand til renseanlæg.

Bundfaldet fra udfældning med kalk er analyseret og der er fundet nedenstående indhold af tungmetaller (tabel 25)

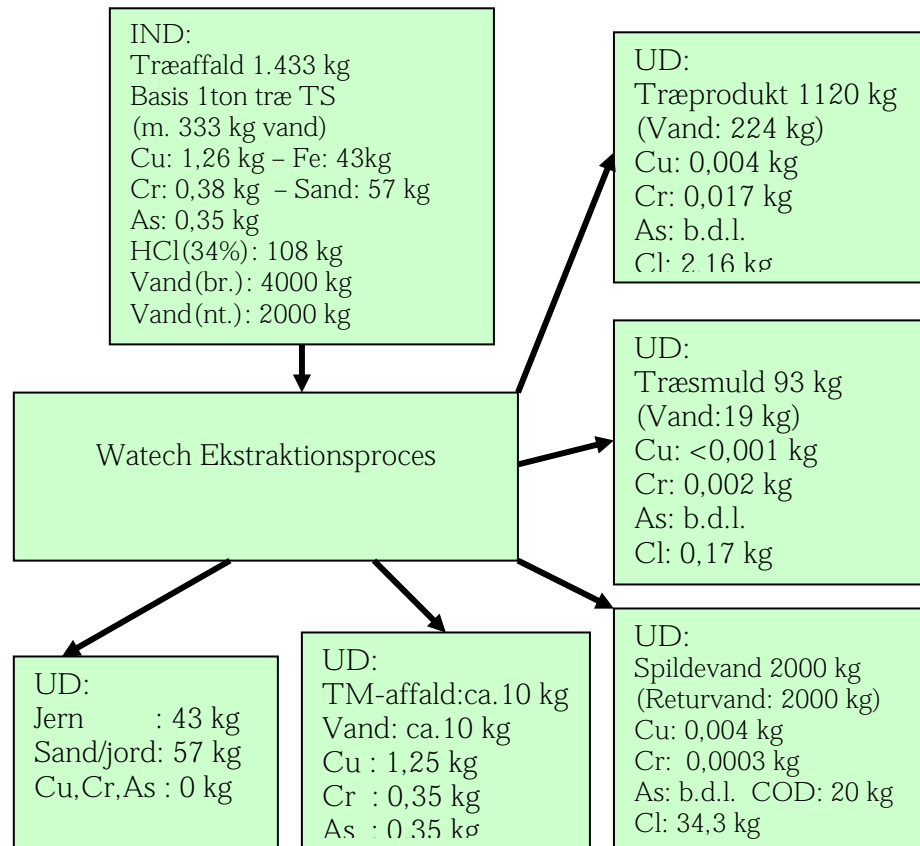
	Kobber	Krom	Arsen
Bundfald I	10,6 g/kg	6,1 g/kg	8,4 g/kg
Bundfald II	3 g/kg	2 g/kg	1 g/kg

Tabel 25: Indhold af tungmetaller i bundfaldet fra den pH neutraliserede ekstraktionsvæske.

En del af massen i bundfaldet fra fældningsprocessen er formentlig træstøv, fældede organiske forbindelser og overskydende calciumkarbonat fra den anvendte hydratkalk.

8.6 Massebalance modstrømsekstraktion (stationær træfase)

På figur 18 herunder er vist en typisk massebalance for ekstraktionsprocessen med baggrund i de opnåede resultater.



Figur 18: Typisk massebalance for Watech ekstraktionsbehandling.

Det forventes, at en stor del (mere end 50 %) af det rensede ekstraktionsvæske genanvendes som ekstraktionsvæske. Af figur 18 ses, at man ved 50 % genanvendelse af rensede ekstraktionsvæske får omkring 4 % saltindhold i spildevandet. Ved højere genanvendelse stiger saltindholdet i spildevandet tilsvarende. Hvor høj genanvendelse der kan opnås afhænger af de specifikke udledningskrav for den recipient hvortil Watech anlægget udleder spildevandet til.

Træaffald tilføres sortering/neddelingsprocessen, hvor sand, grus, sten, søm og andre fremmede stoffer sorteres fra dels med en magnet og dels gennem en sortertromle. Det sand og jord, der sorteres fra, transporteres til specialdeponi (klasse 3 jord), da det kan indeholde imprægneringsmidler. Det forsorterede træaffald hakkes herefter til flis og mellemlagres (med befugtning).

Fra mellemlageret føres det neddelte træaffaldsflis til ekstraktionsprocessen. Modstrømsekstraktionen udføres med varm, fortyndet saltsyre.

Efter ekstraktionen fås en saltsyre opløsning med kobber, krom, arsen og lidt COD. Denne opløsning behandles med kridt og hydratkalk. Herved fældes tungmetallerne. Opløsningen fra udfældning behandles med sulfid for at få udfældet eventuelle rester af kobber, krom og arsenindhold. De fældede tungmetaller fjernes med en filterpresse og filterkagen deponeres sammen med aske. Vandfasen fra afvandringsprocessen deles i spildevand og returvand, der kan genanvendes i processen.

Efter ekstraktionen transporteres træaffaldsflisen til et skylletrin til fjernelse af restklorid. Dette udføres som en modstrømsekstraktion med varmt vand.

Det behandlede træaffaldsflis separeres fra væsken i to trin. Fra det grove trin fremkommer "behandlet træflis produkt" og fra det fine trin fremkommer et "træ(sav)smulds lignende produkt". Disse produkter kan køres sammen, hvis man ønsker det.

Efter tørring sendes produkterne på lager for henholdsvis træflis og træsmuld.

En mindre del af "Træsmuld produkt" eller "Træflis produkt" bruges til opvarmning af skyllevand, ekstraktionsvæske samt til tørringsformål. Træflis produktet afsættes til genanvendelse i spånpladeproduktion.

9.2 Deponeringspriser, energipriser og CO₂ afgifter

Prisen for deponering af trykimprægneret træ i Danmark varierer noget for de forskellige deponi/lossepladser (pris eksempler fra AV Miljø, ref.7 og Odense Miljøcenter, ref.8 er 950 kr/ton og 914 kr/ton inkl. statsafgift). Som udgangspunkt kan man regne med at deponiprisen udgør ca. 550 kr./ton ekskl. moms og statsafgift. Inklusive statsafgiften på 375 kr /ton udgør deponiprisen typisk ca. 925 kr/ton ekskl. moms.

Ved 25.000 tons trykimprægneret affald om året udgør dette altså en samlet udgift til deponi på ca. 14 millioner kr./år ekskl. statsafgift. Affaldet indeholder ca. 3-5 % sand og jord samt ca. 2-4 % jern fra søm og skruer, altså 500-1.000 tons jern og ca. 25 tons kobber og 12 tons krom. Man må påregne, at jern skal renses efter en eventuel separation og derfor kan den fulde metalværdi ikke forventes. Man må derfor regne med, at den samlede metalskrot værdi i affaldet vil være omkring 150.000-300.000 kr.

"Rent træflis" til brændselsformål koster omkring 310 kr/kfm ekskl.. moms svarende til ca. 600 kr./tons tørstof (ref. 11). Rent træflis har et energiindhold på ca.14 MJ/kg ved 20-25 % vandindhold (ref.10) svarende til ca. 42 kr/GJ. Dette synes at være en relativ dyr energikilde, idet prisen for "energi fra kul" udgør ca. 15 kr/GJ ved et energiindhold på 27 MJ/kg og en kulpris ca. 50-54 euro/ton(400 kr/ton) (ref.9). Energiprisen (kr/GJ) på kulbasis udgør altså kun ca. en tredjedel af energiprisen på træflisbasis (se tabel 26). Hertil skal lægges

en CO₂ afgift på kul på 13 euro/ton udledt CO₂. Energifrisen i kr/GJ på kul basis bliver derfor samlet set 28 kr/GJ.

Energikilde	Energiindhold GJ/ton	Energifpris Kr./ton	Energifpris Kr./GJ inkl. afgift
Træflis	14 GJ/ton	600	42
Kul	27 GJ/ton	400	28
Træaffald produkt	14 GJ/ton	350	25
CO2 afgift	-	+100 kr/t CO2	13

Tabel 26: Energiindhold, energipris samt afgift på kul til vurdering af prisfastsættelse af behandlet "Træaffald produkt". Forudsætning 3,5 ton CO₂/ton kul

Med stigende CO₂ afgifter på kul og olie (pt. kan der kalkuleres med en afgift på 13 euro/ton (100 kr/ton) udledt CO₂ fra fossile brændsler) kalkuleres derfor indledningsvis med, at det behandlede "Træflis produkt" kan afsættes i dag til ca. 350 kr./tons svarende til 25 kr./GJ (se tabel 26) til genanvendelse i spånpladeproduktion eller til energiudnyttelse. Prisen på 350 kr/tons "Træflis produkt" fra behandlingen udgør 89 % af kulprisen inkl. CO₂ afgift. Man kan med baggrund i ovennævnte indledende overvejelser beregne, at det er de sparede udgifter til deponering, der udgør den største værdi i affaldet.

9.3 Teknisk økonomisk analyse (25.000 ton/år): Scenario genanvendelse

Herunder er foretaget en teknisk økonomisk vurdering af en Watech ekstraktions behandlingsproces som vist i figur 19 og massebalance fra figur 18. "Træaffald produkt" anvendes primært til genanvendelse i spånpladeproduktion og i mindre udstrækning til energiudnyttelse. Økonomiberegningerne er baseret på et 25.000 ton/år anlæg m. 25 % vandindhold, 3 % jernindhold og 4 % sand/jord i det modtagne træaffald. Der er herudover forudsat 20 % vandindhold i behandlet "Træflis produkt" og "Træsmuld produkt". Indtægterne til behandlingsprocessen er vist i tabel 27. Modtageprisen er anført inklusiv statsafgift på 375 kr/ton.

Ekstraktions behandling Indtægter	Enhedspris Kr/ton	Antal ton
Modtagepris	925 ^(*)	25.000
Jernmetal	450	750
"Træaffald produkt"	350	19.550
"Træsmuld produkt"	350	1.625

Tabel 27: Enhedspriser indtægter ekstraktionsbehandling. (*)inkl. statsafgift

Indtægterne kommer primært fra den pris, der bliver opkrævet for at modtage (behandle) træet og dels for den pris, der kan opnås for det behandlede "træaffald produkt". "Træsmuld produkt" udnyttes internt i processen til opvarmning og tørring af behandlet træaffald. Træsmuld er derfor værdisat

som "træaffald produkt". "Træsmuld produkt" kan også søges afsat til andre formål. Træsmuld kan i følge landboorganisationernes maskin- og bygningsrådgiver købes for 0,45 kr/kg (ref.15).

De variable udgifter i forbindelse med behandling af trykimprægneret træ ved Watech ekstraktionsmetoden er vurderet ud fra massebalancen i figur 18 samt de øvrige data, der er opnået på dette tidspunkt i udviklingen af processen. I økonomivurderingen er det antaget at spildevand fra rensning af ekstraktionsvæske går til rensning på et kommunalt spildevandsanlæg og at saltsyren købes som teknisk saltsyre (ny). Opvarmning sker ved energiudnyttelse af behandlet træflis og udfældede tungmetaller sendes til deponering.

Udgifterne til behandlingsprocessen er samlet i tabel 28.

Ekstraktionsbehandling Udgifter (Scenario genanvendelse)	Enhedspriser Kr/ton	Antal ton (pr. år)
Affald (sand/jord)	150	1.000
Affald (tungmetal)	1.100	650
Affaldsafgift (internt anvendt renset træ)	375	3.250
Vand/spildevand	33	50.000
Diesel (køretøjer)	8.000	20
Opvarmning (vand/tørring)	350	3.250
Kemikalie (syre)*	521	3.250
Kemikalier (kridt)*	400	250
Kemikalier (kalk)*	1.000	125
	Enhed	Antal
El	kwh	300.000
Personale	350.000 kr/år	12
Anlægsinvestering	Kr	29.000.000
Bygningsinvestering	Kr	6.000.000
Leje grund (m ²)	20 kr/m ² /år	30.000
Andre udgifter (div.)	Kr	1.550.000
Vedligeholdelse (% af Investering)	6 %	35.000.000
Renteudgifter (% af Investering)	6 %	35.000.000
Afskrivninger (år)		
Anlæg	10 år	-
Bygninger	20 år	-

Tabel 28: Enhedspriser udgifter ekstraktionsbehandling (*)

Omkostningerne til etablering af anlægget er endnu behæftet med nogen usikkerhed fordi teknologien ikke er endeligt valgt. Priserne er vurderet ud fra skøn over priserne for dels et tank ekstraktionsprincip dels et kontinuert system med ekstraktionsnøgle. Den billigere tankløsning forventes at kræve mere bemanning end den dyrere kontinuerte løsning. Denne usikkerhed vurderes i afsnit 10.5 følsomhedsanalyse. Indtægter og udgifter som kr/ton for "Scenario genanvendelse i spånplader" ses samlet i tabel 29.

Ekstraktions behandling Økonomioversigt (Scenario genanvendelse)	Kr/ton
Indtægter	1.235
Udgifter ekskl.. renter og afskrivning	628
Overskud før renter og afskrivninger	607
Overskud før renteudgifter	478
Overskud før skat	394

Tabel 29: Økonomioversigt ekstraktionsbehandling "Scenario genanvendelse"

Fra tabel 29 kan det beregnes, at pay-back tiden på Watech behandlings anlægget for dette Scenario er ca. 3,6 år, hvilket umiddelbart ser økonomisk attraktivt ud. Overskuddet før skat i % af investeringer udgør ca. 28,1 %.

9.4 Teknisk økonomisk analyse (25.000 ton/år): Scenario energiudnyttelse

Ved scenariet energiudnyttelse forudsættes det, at "træaffald produkt" afsættes til energiudnyttelse i et biomassefyret kraft/varme anlæg. I tabel 30 er udgifterne til behandling samlet for "Scenario energiudnyttelse".

I tabel 31 er indtægter og udgifter for "Scenario energiudnyttelse" samlet.

Ekstraktions behandling Økonomioversigt Scenario energiudnyttelse	Kr/ton
Indtægter	1.235
Udgifter ekskl.. renter og afskrivning	823
Overskud før renter og afskrivninger	412
Overskud før renteudgifter	283
Overskud før skat	199

Tabel 31: Økonomioversigt ekstraktionsbehandling "Scenario energiudnyttelse"

Fra tabel 31 kan det beregnes, at pay-back tiden på Watech behandlings anlægget for "Scenario energiudnyttelse" er ca. 7 år, hvilket umiddelbart ser økonomisk fornuftigt ud. Overskuddet før skat i % af investeringer udgør i dette Scenario ca. 14,2 %.

Ekstraktions behandling Udgifter (Scenario energiudnyttelse)	Enhedspriser Kr/ton	Antal ton (pr. år)
Affald(sand/jord)	150	1.000
Affald(tungmetal)	1.100	650
Affaldsafgift	375	18.250
Vand/spildevand	33	50.000
Diesel (køretøjer)	8.000	20
Opvarmning (vand/tørring)	350	3.250
Kemikalie (syre)*	521	3.250
Kemikalier (kridt)*	400	250
Kemikalier (kalk)*	1.000	125
	Enhed	Antal
El	kwh	300.000
Personale	350.000 kr/år	12
Anlægsinvestering	Kr	29.000.000
Bygningsinvestering	Kr	6.000.000
Leje grund (m ²)	20 kr/m ² /år	30.000
Andre udgifter (div.)	Kr	800.000
Vedligeholdelse (i % af Investering)	6 %	35.000.000
Renteudgifter (i % af Investering)	6 %	35.000.000
Afskrivninger (år)		
Anlæg	10 år	-
Bygninger	20 år	-

Tabel 30: Enhedspriser udgifter ekstraktionsbehandling (Scenario energiudnyttelse)

9.5 Følsomhedsanalyse for et 25.000 ton/år anlæg

I dette afsnit vurderes det hvilken betydning forskellige ændrede forudsætninger har på anlægs økonomien. Følgende ændringer i forudsætninger er vurderet:

- Case 1: Anlægsinvesteringer + 25 % og bygningsinvestering +50 %
- Case 2: "Træaffald produkt" pris - 60 kr/ton
- Case 3: Højere vandindhold (+100 % mere flis til tørring)
- Case 4: Mere tungmetal til deponi (+100 % mere til deponi)

Hvis anlægsinvesteringerne øges med 25 % og bygningsinvesteringerne med 50 % øges anlægsinvesteringen med 7,3 mio. kr og investering i bygninger med 3 mio. kr i alt med 10,3 mio. kr. Herved øges omkostningerne til

vedligeholdelse med 25 kr/ton, renteudgifterne med 25 kr/ton og afskrivningerne med 35 kr/ton.

Hvis prisen for "træaffald produkt" træflis sænkes med fra 350 kr/ton til 290 kr/ton sænkes indtægterne med 60 kr/ton.

Hvis vandindholdet i det indsamlede træaffald er højere end de antagne 25 %, så kræves der mere behandlet træaffald til tørring. Hvis der skal anvendes 100 % mere træaffald til tørring falder indtægterne fra salg af "træ affald produkt" og afgiftsbetalingen stiger tilsvarende. Endvidere stiger udgiften til deponering. I "genanvendelses scenariet" er den samlede effekt derfor negativ med ca. 95 kr/ton. I "energiudnyttelse scenariet" er effekten negativ med ca. 47 kr/ton.

Hvis tungmetalmængden til deponi øges med 100 % øges udgifterne til deponering med 29 kr/ton.

I tabel 32 og tabel 33 økonomioversigterne for de to scenarier samlet. For Scenario genanvendelse har case 1 "højere anlægsinvesteringer" og case 3 "højere vandindhold" størst betydning for anlægsøkonomien. I worst case (case 3) tilfældet er pay-back tiden dog kun steget fra ca. 4 år til ca. 5 år. Overskuddet før skat i % af investeringer udgør i Scenario genanvendelse (case 3) ca. 21 %.

For Scenario energiudnyttelse har case 1 "højere anlægsinvesteringer" og case 2 "lavere træaffald produktpris" størst betydning for anlægsøkonomien. I worst case (case 1) tilfældet er pay-back tiden steget fra ca. 7 år til ca. 12 år. Overskuddet før skat i % af investeringer udgør i Scenario energiudnyttelse (case 1) ca. 8,1 %.

Ekstraktions behandling	Basis	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Økonomioversigt	Kr/ton	Kr/ton	Kr/ton	Kr/ton	Kr/ton
Scenario 1: genanvendelse	Kr/ton	Kr/ton	Kr/ton	Kr/ton	Kr/ton
Indtægter	1.235	1.235	1.165	1.190	1.235
Udgifter ekskl.. renter og afskrivning	628	653	628	678	657
Overskud før renter og afskrivninger	607	582	547	512	578
Overskud før renteudgifter	478	418	418	383	449
Overskud før skat	394	309	334	299	365

Tabel 32: Følsomhedsanalyse ekstraktionsbehandling "Scenario genanvendelse"

Ekstraktions behandling Økonomioversigt Scenario 2: energiudnyttelse	Basis Kr/ton	Case 1 Kr/ton	Case 2 Kr/ton	Case 3 Kr/ton	Case 4 Kr/ton
Indtægter	1.235	1.235	1.165	1.190	1.235
Udgifter ekskl. renter og afskrivning	823	848	823	821	852
Overskud før renter og afskrivninger	412	387	342	369	383
Overskud før renteudgifter	283	223	213	240	254
Overskud før skat	199	114	129	156	170

Tabel 33: Følsomhedsanalyse ekstraktionsbehandling "Scenario energiudnyttelse"

En betydelig besparelse i processen kan opnås, hvis ny teknisk saltsyre erstattes af brugt saltsyre. Brugt saltsyre fremkommer altid i større mængder fra WAPRO processen til behandling af f.eks PVC-, shredder- og WEEE affaldsplast. Der er derfor store synergimuligheder mellem WAPRO til behandling af halogenholdig affaldsplast og behandling af trykimprægneret træ med Watechs ekstraktionsproces.

9.6 Miljømæssig vurdering af Watech ekstraktions behandling

Her tages der udgangspunkt i de resultater der er beskrevet i ref. 4, hvor man har sammenlignet tre scenarier for disponering af affaldstræ i Danmark. De tre scenarier var:

- Affaldsforbrænding,
- Energiudnyttelse på biomassefyret kraftvarmeanlæg
- Genanvendelse i spånpladeproduktion.

Baggrunden for at anvende resultaterne fra dette studie som udgangspunkt er, at det behandlede træ fra Watechs ekstraktionsproces typisk kan bringes til at indeholder mindre kobber, krom og arsen mængder end det affaldstræ, der allerede i dag anvendes til spånpladeproduktion (jf. tabel 4). Det er endvidere målt, at askeindholdet fra forskning af ekstraktionsbehandlet træ er lavt (jf. tabel 22).

Det kan derfor antages, at ekstraktionsbehandlet affaldstræ både teknisk og miljømæssigt vil kunne anvendes både til energiudnyttelse på et biomassefyret kraftvarmeanlæg og til spånpladeproduktion.

Konklusionerne fra den indledende livscyklusvurdering (ref.4) viste følgende samlede vurdering (citater):

" Miljøvurderingen kan ikke bruges til en entydig vurdering af, hvilken af de tre disponeringsscenarier for affaldstræ, der er mest miljørigtig. Det afhænger af, hvilke miljøeffekter der vægtes mest.

Spånpladeproduktion har dog på de fleste punkter i denne miljøvurdering de bedste resultater, dvs. den mindste miljøpåvirkning. Der fortrænges mest fossile brændsel, og der er mærkbare gevinster i forhold til de ikke-toksiske effekter. Men samtidig bindes nogle af de forurenende stoffer i spånpladerne og løsningen udgør derfor en potentiel miljøbelastning senere, som ikke er medtaget i denne vurdering. Hvis de toksiske effekter vægtes højt kan dette være af betydning.

Energimæssigt har biomassefyrede kraftvarmeværk en fordel set i forhold til affaldsforbrændingsanlæg, mens de to løsninger stort set er ligeværdige for de ikke toksiske effekter. Forbrænding har et lidt mindre miljøpåvirkningspotentiale i forhold til de toksiske miljøeffekter pga. den mere effektive røggasrensning. Dette kan også medføre, at jo dårligere træaffaldet er sorteret, jo højere miljøbelastning kan der opstå ved udnyttelse af affaldet på et biomasseværk.”

For detaildata fsa. de ikke-toksiske miljøeffekter (se bilag 2) og de toksiske miljøeffekter for de tre scenarier for disponering af rent affaldstræ (se ref.4)

Det vurderes miljømæssigt samlet set, at behandlet træ fra Watechs ekstraktionsproces i en miljøvurdering, som den i ref. 4 udførte, vil have forbedrede miljømæssige egenskaber i form af mindre miljøpåvirkning end anvendte affaldstræ til spånpladeproduktion.

Antagelsen om at kunne anvende det ekstraktionsbehandlede affaldstræ til genanvendelse i spånpladeproduktion eller til energiudnyttelse på biomassefyret kraftvarmeværk kan derfor bekræftes.

10 Konklusioner

Det er blevet undersøgt såvel i laboratorieskala som i pilotskala om Watechs ekstraktionsproces, der blev udviklet i forbindelse med behandling af PVC affald, kunne videreudvikles til behandling af tungmetalholdigt trykimprægneret træaffald.

Det er vist, at med en passende kombination af temperatur, pH, opholdstid og procesudformning kan ekstraktionsprocessen anvendes til behandling af kobber, krom og arsenholdigt affaldstræ. De ekstraherede tungmetaller kan opkoncentreres i et tungmetalholdigt produkt. Det er en mulighed selektivt at ekstrahere kobber fra ekstraktionsvæsken ved ionbytning eller selektiv udfældning og herefter kun udfælde krom og arsen.

En række anlægsprincipper (risle proces, neddykket proces og omrørt proces) er detailundersøgt, og de bedste resultater blev opnået med en omrørt proces.

Den omrørte proces er afprøvet i pilotanlæg, og det er fundet, at udformes Watech ekstraktionsprocessen som en fire trins modstrøms ekstraktion med skylning er det vist, at kvaliteten af det behandlede træ lever op til de opstillede mål for behandlingen for genanvendelse af behandlet træaffald til spånpladeproduktion.

Det er endvidere vist, at askemængden der fremkommer ved energiudnyttelse af det behandlede træaffald er meget lille. Askeproduktets indhold af kobber og arsen lever op til de opstillede mål (udspredning af aske i jordbruget) for behandlingen ved energiudnyttelse af behandlet træaffald, medens kromindholdet er for højt.

Den teknisk økonomiske analyse har vist, at der vil kunne opnås en attraktiv projektøkonomi i "Scenario genanvendelse", med payback tider på ca. 4 år og fornuftig projektøkonomi i "Scenario energiudnyttelse" med payback tider på ca. 7 år.

En miljømæssig analyse viste, at det ekstraktionsbehandlede affaldstræ med miljømæssig fordel kan anvendes til genanvendelse i spånpladeproduktion eller til energiudnyttelse på biomassefyret kraftvarmeværk.

Det er derfor primært økonomiske forhold der burde afgøre hvad det ekstraktionsbehandlede affaldstræ anvendes til.

11 Referenceliste

Clausen, C.A. and Smith, R.L.: CCA removal from treated wood by chemical, mechanical, and microbial processing. Proceedings of the 4th International Wood Preservation Symposium "The challenge-Safety and Environment", Cannes-Mandelieu, France 1998

2) Nurmii, A.J., and L. Lindroos, 1994. Recycling of treated timber by copper smelter. Proceedings from the 25th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation, IRG, Stockholm, Sweden

3) Miljøstyrelsen, 2007. Miljø og samfundsmæssig analyse af indsamling og behandling af imprægneret affaldstræ.

4) Affald Danmark og Institut for Miljø og ressourcer DTU, 2006. Indledende miljømæssig vurdering af disponeringen af affaldstræ i Danmark.

5) Miljøstyrelsen:

www.mst.dk/udgiv/publikationer/1999/87-7909-321-3/html/kap05.htm

6) Bekendtgørelse nr. 39 af 20 januar 2000: Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål.

7) AV miljø: Priser fra AV Miljø's hjemmeside
www.av.dk.takster.html

8) Odense Miljøcenter 2006: Priser på affald 2006

9) Vestas hjemmeside, rapport fra : Emerging Energy Research: Comparative costs of energy (Coal, Natural gas, Wind), October 2006

10) Skov-info, 1996: Træ til energi (Flis og brænde)

11) Miljøministeriet, Skov-og Naturstyrelsen: Nordjyllands statsskovdistrikt, 2007:

12) Watech patent EP 0 814 875

13) Watech patent EP 1 034 014

14) David Burman, Januar 2005: Förbränding af returbrändsle (RT Flis)

15) www.bmr.dk

12 Analyser

Analyserne af ubehandlet træ blev indledningsvis foretaget på følgende måde. Affaldstræet fra forsøgene blev først forasket i en ovn ved 550 °C. Asken blev herefter oplukket med kongevand og indholdet af arsen, kobber og krom blev dernæst bestemt ved atomabsorbtion.

Forskellige analysemetoder blev prøvet til analyse for kobber, krom og arsen i behandlet træ. Det blev vurderet, at den mest præcise metode var en vådoxidation af træet med koncentreret svovlsyre og salpetersyre og derefter blev koncentrationerne i vandfase bestemt ved atomabsorbtion (AAS).

Der blev anvendt et atom absorptions spektrofotometer type GBC Avanta E

13 Bilag:

13.1 Bilag 1: Kemisk sammensætning for træfraktioner i affaldstræ

	Dækspån (Novopan)	Midtspån (Novopan)	Rest til forbrænding (Novopan)	Vægtet 40 % dækspån og 60 % midtspån (Novopan)	Returtræflis prøve (Burman, D., 2005)
<i>Enhed</i>	<i>mg/kg TS</i>	<i>mg/kg TS</i>	<i>mg/kg TS</i>	<i>mg/kg TS</i>	<i>mg/kg TS</i>
As	39,7	52,8	20,1	47,6	5,63
Ba	181	140	784	156	152
Be	<0,009	<0,01	0,14	0,01	0,01
Cd	0,31	0,31	1,11	0,31	0,40
Co	1,52	1,88	3,81	1,74	0,62
Cr	46,1	108	61,1	83,2	19,9
Cu	40,1	87,8	60,2	68,7	13,8
Hg	0,06	0,05	0,13	0,06	0,02
La	<0,09	<0,1	1,48	0,10	0,07
Mo	0,21	0,31	1,32	0,27	0,24
Nb	0,10	0,30	2,27	0,22	0,53
Ni	1,16	1,85	8,72	1,57	1,30
Pb	56,9	31,3	200	41,54	24,6
S	495	444	1700	464	286
Sc	<0,02	<0,02	<0,1	0,02	0,03
Sn	1,33	3,2	9,53	2,45	0,88
Sr	12,3	10,5	48,7	11,22	10,2
V	0,68	0,67	6,77	0,67	0,73
W	1,49	1,35	<7	1,41	<0,95
Y	0,18	0,17	2,07	0,17	0,20
Zn	134	119	1310	125	403
Zr	1,7	3,35	119	2,69	2,57
Cl	-	-	-	-	-
Si	1393	1884	29.59	1688	2011
Al	326	264	3567	289	518
Ca	2351	2151	9363	2231	2465
Fe	319	363	6736	345	512
K	510	452	1625	475	573
Mg	332	261	1055	289	490
Mn	98,4	90,6	198	93,7	101
Na	553	615	1602	590	701
P	68,5	84,7	332	78,2	66,2
Ti	689	797	2230	754	603

13.2 Bilag 2 (ref.4): Beregnet kemisk sammensætning af input
affaldstræ til spånpladeproduktion

Sammensætning af
modtaget affald på Novopan

	<i>Enhed mg/kg TS</i>
As	43,2
Ba	246
Be	0,03
Cd	0,42
Co	2,02
Cr	79,4
Cu	188
Hg	0,07
La	0,29
Mo	0,42
Nb	0,51
Ni	2,59
Pb	64,0
S	639
Sc	0,03
Sn	3,45
Sr	16,5
V	1,55
W	2,2
Y	0,45
Zn	316
Zr	19,4
Cl	-
Si	5695
Al	1475
Ca	3240
Fe	7835
K	637
Mg	397
Mn	108
Na	731
P	114
Ti	961

13.3 Bilag 3 : Ikke-toksiske miljøeffekter for rent affaldstræ disponering scenarier (ref.4)

Eksempel: Energiforbrug og -produktion

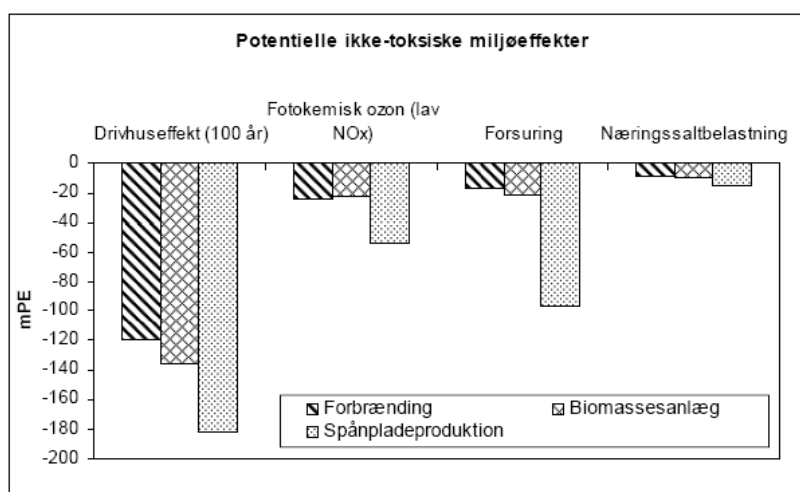
	Affaldsforbrænding	Biomassefyret kraftvarmeværk	Spånpladeproduktion
Transport	83	226	182
Forbehandling	0	62	62
Energi til behandling			
Elektricitet ²	-10.160	-13.963	-10.379
Varme ²	-12.275	-12.323	-9.618
Fuel olie			-8.878
Sparet energi fra jern og aluminium genanvendelse	-97		-369
Biomasseforbrænding ³			4
Total	-22.449	-25.998	-28.996

Tabel 9: Primær energiforbrug (MJ fossil energi) pr ton TS affaldstræ

Miljøeffekter

De potentielle miljøeffekter er normaliserede i forhold til en gennemsnitsborgers påvirkning på hver af de opgjorte miljøeffekter og givet i tusindedele af en personækvivalent (mPE). De miljøeffekter, der har de største værdier, er dermed de effekter der er størst i forhold til et gennemsnitligt belastningsniveau. Negative værdier repræsenterer en besparelse eller en undgået påvirkning, hvor positive værdier repræsenterer en potentiel påvirkning.

Målt på denne måde er drivhuseffekten det største ikke-toksiske miljøpotentiale, hvilket har direkte sammenhæng med den sparede fossile energi. Dermed indebærer spånpladeproduktion af affaldstræet den største besparelse på emission af drivhusgasser, mens også udnyttelse i biomassefyret kraftvarmeværk og forbrænding resulterer i en forholdsvis stor besparelse.



Figur 3: Ikke-toksiske miljøeffektpotentialer ved disponering af 1 ton TS affaldstræ

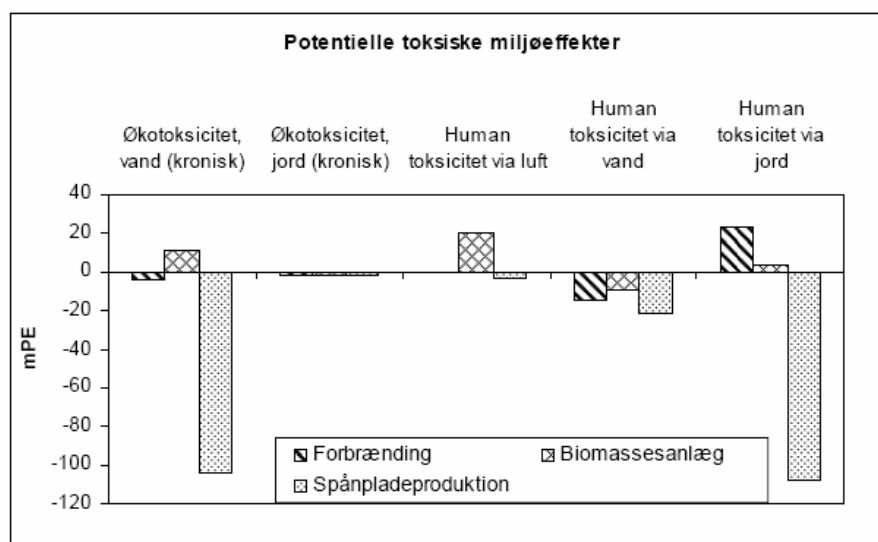
13.4 Bilag 4 : Toksiske miljøeffekter for rent affaldstræ disponering scenarier (ref.4)

De toksiske miljøeffekter skyldes primært tungmetalfurening til vand, jord og luft. Her er miljøeffekterne mindre afhængige af energibesparelser.

Set i forhold til en gennemsnitsborgers påvirkning, ses den største potentielle besparelse af toksiske effekter fra spånpladeproduktion, hvilket primært skyldes, at tungmetallerne i affaldstræet "ophobes" i spånpladerne. En anden grund er, at løsningen også medfører sparet fuelolie til tørring af træ, der er forholdsvis tungmetalbelastet.

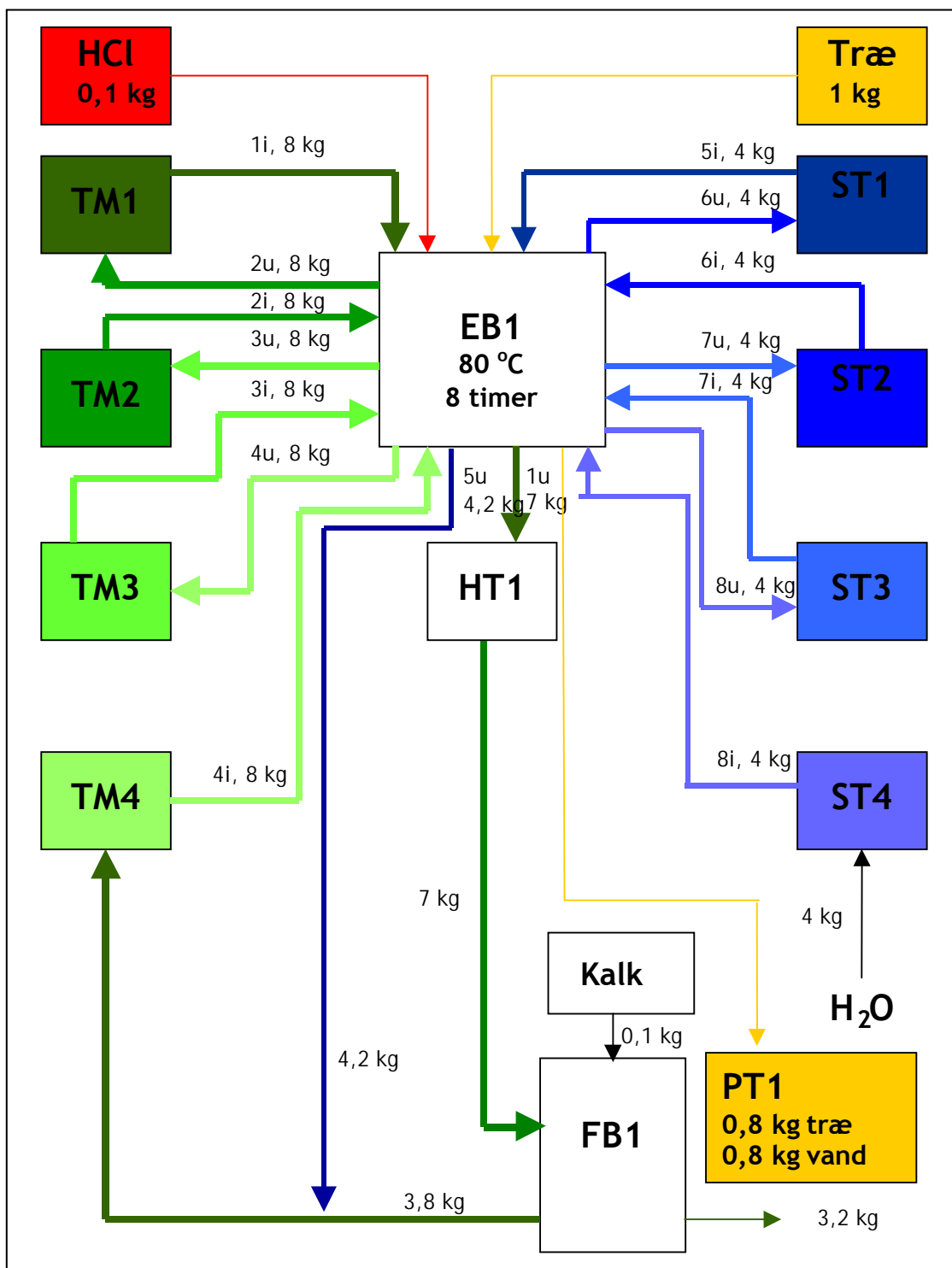
Generelt ses, at spånpladeproduktion har de mest markante besparelser af miljøeffekter på området, mens biomassefyret kraftvarmeværk og affaldsforbrændingsanlæg har en mindre betydning.

Biomassefyrede kraftvarmeværker emitterer i de fleste tilfælde flere toksiske stoffer end forbrænding, fordi der renses mindre effektivt end på et affaldsforbrændingsanlæg. Da der er stor usikkerhed forbundet med emissionerne og karakteriseringsfaktorerne for de toksiske miljøeffekter, kan resultater, der ligger i intervallet -20 til 20 mPE dog ikke kan tillægges stor betydning.



Figur 4: Toksiske miljøeffektpotentialer ved disponering af 1 ton TS affaldstræ

13.5 Bilag 5: Princip flowsheet af pilot anlæg ekstraktions behandling i fire trin.



EB1: Ekstraktionsbeholder
 TM1, TM2, TM3, TM4: Ekstraktionsvæskebeholdere trin 1, trin 2, trin 3, trin 4
 ST1, ST2, ST3, ST4: Skyllevandsbeholdere trin 1, trin 2, trin 3, trin 4
 FB1: Fældningsbeholder
 HT1: Holdetank (buffertank)

13.6 Bilag 6:

Figur 16: Modstrømsekstraktion. I dette eksempel er beholder 3 tømt for væske og indholdet af rent træ skiftes ud med nyt affald. I næste ekstraktionstrin tages væsken fra beholder 2 ud til fældning, mens de øvrige væsker flytter et trin i pilens retning.

