MILJØMINISTERIET

Miljøstyrelsen

Nyttiggørelse af kommunal indsamlet PVC-affald

Uffe Rahbek og Erik Rasmussen

RGS90 Watech

Miljøprojekt **Nr. 1137** 2006

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.

PVC affald

Rapport til Miljøstyrelsen:

Nyttiggørelse af kommunalt indsamlet PVC affald

MST projekt nr. M3288-0191.

NEDDELING

PLASTSEP
Forbehandling

WAPRO PROCESSEN

Udført af:

RGS90 Watech A/S
Selinevej 4
2300 København S

Kontakt:
Uffe Rahbek, RGS90 Watech
Erik Rasmussen, RGS90 Watech

Indhold

FORORD 7

SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER 9

Behandlingspris for kommunalt indsamlet PVC-affald med Watech metoden *13*

SUMMARY AND CONCLUSIONS 14

1 INDSAMLING AF KOMMUNALT PVC AFFALD 16

1.1 DEMOGRAFISKE DATA FOR KOMMUNERNE 18

2 ANALYSE AF KOMMUNALT PVC AFFALD 19

2.1 TØLLØSE 20
2.2 HOLBÆK 21
2.3 TUNGMETALINDHOLD 23
2.4 ESTIMEREDE MÆNGDER KOMMUNALT INDSAMLET PVC AFFALD I DANMARK 24

3 PYROLYSE AF KOMMUNALT PVC AFFALD 25

3.1 PYROLYSE I 0,5 KG SKALA 25
3.2 PYROLYSE I 150 KG SKALA 27
3.3 KOKS 29
3.4 CALCIUMKLORID 30
3.5 ORGANISK KONDENSAT 31

4 SALT RAFFINERING 34

5 DATA FOR OPLØSELIGHED AF KLORIDSALTE 35

6 KARAKTERISERING AF SALTE FRA HALOSEP® RØGGASAFFALD BEHANDLING 36

7 UDFÆLDNING VED INDDAMPNING MODELSALTE FRA HALOSEP® RGA BEHANDLING 37

8 VURDERING AF EN SALTSEPARATIONSPROCES 39

8.1 TRIN 1: INDDAMPNING. 40
8.2 TRIN 2: NEDKØLING 40
8.3 MODELSALT "HALOSEP, AF-SUR" 41
8.4 MODELSALT "HALOSEP, VF-ALKALISK" 44
8.5 MODELSALT "HALOSEP, AF-ALKALISK" 46
8.6 GENERELT PROCESDESIGN 49

9 SAMLET TEKNISK, ØKONOMISK OG MILJØMÆSSIG VURDERING 51

10 KONKLUSION 53

11 REFERENCER: 55

Forord

Denne rapport beskriver resultaterne, der er opnået i studiet "Nyttiggørelse af kommunalt indsamlet PVC affald". Studiet er udført af RGS90 Watech med Uffe Rahbek som projektleder. Projektet er udført med økonomisk støtte fra Miljøstyrelsens program for renere produkter.

Der er taget afsæt i den eksisterende behandlingsteknologi for PVC affald, WAPRO®, der tidligere er udviklet med støtte fra Miljøstyrelsen. Tilknyttet denne teknik er et rensetrin til at fjerne letplast og metaller fra PVC, PLASTSEP®. Begge disse processer er tidligere afrapporteret overfor Miljøstyrelsen og der henvises til denne rapport vedrørende de tekniske detaljer i processen.

Formålet med arbejdet er

- at belyse sammensætningen af kommunalt indsamlet PVC affald
- at vise hvilken sortering, der kræves for at affaldet kan behandles i WAPRO® processen.
- at karakteriser de fremkomne produkter efter WAPRO® processen.
- at vurdere omkostningsniveauet for behandling af PVC affaldet
- at vurdere de miljømæssige konsekvenser ved behandling af PVC affaldet.
- At finde en metode til rensning af oliekondensatet for evt. klorider
- at deltage i samfundsøkonomiske studier vedrørende PVC håndtering.
- at undersøge muligheden for en raffinering af saltproduktet fra sambehandling af røggasaffald og PVC affald

Projektformuleringen er undervejs blevet ændret og udvidet efter aftale med Miljøstyrelsen således, at de sidste to punkter i ovenstående liste er taget med i projektet.

I forbindelse med projektet er der udarbejdet tre delrapporter. Denne afsluttende rapport opsummerer og kommenterer resultaterne. Rapporten giver et overblik over konklusionerne der kan drages fra de udførte analyser.

Som en del af studiet er leveret data til to miljøøkonomiske studier af forskellige processer til behandling af PVC affald.

- Det første studie var "PVC Recovery Options, Concept for Environmental and Economic System Analysis", ledet af Vinyl 2010. Arbejdet er færdigt og rapporten kan ses på internettet i ref.1.

- Den anden undersøgelse, var en dansk Miljø- og samfundsmæssigt analyse af behandling af PVC affald, der blev igangsat af Miljøstyrelsen. I dette studie sammenlignes deponi, forbrænding, RGS90 Watech og RGS90 Stigsnæs metoderne i en miljø økonomisk analyse. Studiet er endnu ikke afsluttet.

Følgegruppen med Tonny Christensen, Miljøstyrelsen; Klaus Müller, Genvindingsindustrien, Lars Blom, Plastindustrien i Danmark; Erik Rasmussen, RGS90 Watech takkes for konstruktiv kritik og gode ideer igennem projektforløbet.

Personalet på genbrugspladserne i Tølløse og Holbæk takkes for at hjælpe med at skaffe repræsentativt PVC affald fra de to kommuner.

Personalet Ved NKT-Cables i Stenlille takkes for hjælp med arbejdet i forbehandling og pilotanlæg.

Miljøstyrelsen takkes for at have deltaget i den finansielle støtte til projektet.

Sammenfatning og konklusioner

Baggrund og formål

Watech (tidligere NKT Research Center) har udviklet en ny proces til behandling eller recycling af PVC affald fra kabler. Det er vist, at processen også kan anvendes til behandling af PVC bygningsaffald. Der er opbygget et pilotanlæg som er placeret hos NKT Cables. Pilotanlægget er opbygget som en komplet minifabrik, der kan modtage PVC affald og omdanne dette til produkterne salt, koks, olie og tungmetalprodukt. Processen er kendetegnet ved, at der kun dannes produkter (salt, koks, olie og tungmetalprodukt) og minimum af fast affald. Processen gennemføres på en sådan måde, at der heller ikke dannes spildevand. Processen består af to adskilte procestrin, hvor første trin er "PLASTSEP" processen. I PLASTSEP separeres usorteret PVC-affald i en letplastfraktion (polyetylen mv.), en PVC-fraktion (rent PVC-affald) samt en række rene metalfraktioner (kobber, aluminium og jern). Det rensede PVC-affald fra PLASTSEP behandles herefter i den udviklede pyrolyseproces kaldet "WAPRO". I WAPRO sker behandlingen af PVC-affald med samtidig tilsætning af en passende kalkkilde. Disse processer (PLASTSEP® og WAPRO®) er tidligere afrapporteret overfor Miljøstyrelsen i MST projektrapport M3281. Der henvises hertil vedrørende de tekniske detaljer i processen.

Der er i dette projekt taget udgangspunkt i anvendelse af disse to ovennævnte processer for behandling af PVC affald. Det har været hovedformålet at få belyst hvorvidt PVC-affald indsamlet via kommunale indsamlingsordninger kan behandles med samme processer. Samtidig var det målet at videreudvikle processerne og udvikle behandlingsprocedurer for reelt forekomne affaldssammensætninger, med reelt forekomne variationer samt undersøge renheden af de udvundne produkter.

Detaljerede formål med arbejdet var

- at belyse sammensætningen af kommunalt indsamlet PVC affald
- at vise hvilken sortering, der kræves for at affaldet kan behandles i WAPRO® processen.
- at karakteriser de fremkomne produkter efter WAPRO® processen
- at vurdere omkostningsniveauet for behandling af PVC affaldet
- at vurdere de miljømæssige konsekvenser ved behandling af PVC affaldet
- at finde en metode til rensning af oliekondensat for eventuelle klorider
- at deltage i miljø- og samfundsøkonomiske studier vedrørende PVC håndtering
- at undersøge muligheden for yderligere raffinering af saltproduktet fra sambehandling af røggasaffald og PVC affald

Undersøgelsen

Denne rapport beskriver resultaterne, der er opnået i studiet "Nyttiggørelse af kommunalt indsamlet PVC affald". Studiet er udført af RGS90 Watech med Uffe Rahbek som projektleder. Projektet er udført med økonomisk støtte fra Miljøstyrelsens program for renere produkter. Som en del af undersøgelsen er leveret data til to miljøøkonomiske studier af forskellige processer til behandling af PVC affald.

- Det første studie var "PVC Recovery Options, Concept for Environmental and Economic System Analysis", ref.1 ledet af Vinyl 2010. Arbejdet er færdigt og rapporten kan ses på Internettet

- Den anden undersøgelse, var en dansk Miljø- og samfundsmæssig analyse af behandling af PVC affald, der blev igangsat af Miljøstyrelsen. I dette studie sammenlignes deponi, forbrænding, Watech metoden og Stigsnæs metoden. Studiet er endnu ikke publiceret.

Hovedkonklusioner

Mængden af PVC affald fra to kommuners genbrugsstationer er blevet bestemt og PVC affaldet er blevet karakteriseret for indhold af andre emner end PVC samt analyseret for indhold af bly og cadmium. Det viste sig vanskeligt at skaffe bare nogenlunde rene fraktioner af PVC affald, fordi en del kommuner har den praksis, at affald til deponi blandes i større containere for at spare plads på indsamlingsstederne. I nogle kommuner var PVC derfor blandet med byggeaffald og dette giver en yderligere udgift til sortering, når det skal nyttiggøres.

PVC affaldet, der blev brugt i dette studie, blev indsamlet i containere, der var specielt opstillet til PVC affald og med en tydelig mærkning og en forklaring på hvilken type af affald, der var ønsket i containeren. Dette affald viste sig på trods heraf også at indeholde betydelige mængder af andre materialer end PVC. Det var især indhold af anden plast og metaller, men også træ, husholdningsaffald og elektronikaffald betød at en bedre sortering eller forbehandling er hensigtsmæssig, men ikke nødvendig før affaldet kunne nyttiggøres i WAPRO®. Sorteringen blev foretaget med henblik på at fjerne ikke plastfraktioner. Dernæst blev affaldet neddelt til ca. 8 mm og sorteringen blev foretaget med PLASTSEP®, der er forbehandlingsmetode til WAPRO®.

Sorteringen af plastaffaldet ved PLASTSEP® processen resulterede i at henholdsvis 65 % og 75 % af affaldet kunne udsorteres som PVC, der kunne videre behandles i WAPRO®.

Det sorterede PVC affald kunne pyrolyseres og mellemprodukterne kunne behandles i WAPRO®. Produkterne fra behandling af det kommunalt indsamlede PVC affald havde samme kvalitet som tidligere set ved behandling af andet PVC affald (kabelaffald og bygnings PVC affald).

Det kommunalt indsamlede affald bestod af en stor del tagplader og blødgjort PVC (f.eks. badebassiner, legetøj og regntøj). Ved pyrolysen indvindes med denne type PVC-affald betydeligt mere olie end ved kabel affald. Til gengæld indvindes der ikke så meget salt og koks. Der blev udført pyrolyse i pilotanlægget, hvor en blanding af kommunalt indsamlet PVC blev

pyrolyseret sammen med kabel PVC. Denne blanding blev ligeledes nyttiggjort uden procestekniske problemer.

Såvel tagplader som det blødgjorte PVC affald indeholder cadmium og bly. Hvis de koncentrationer af tungmetallerne, som er fundet i dette studie er repræsentative for alt kommunalt indsamlet PVC-affald, så bliver der årligt deponeret ca. 500 kg cadmium og ca. 10 tons bly sammen med PVC affaldet. Det skønnes dog, at det indsamlede PVC affald delvist er af nyere dato, og det er sikkert, at bly og cadmiumindholdene kan være op til 10 gange højere i ældre PVC-affald. I WAPRO® processen koncentrerer disse tungmetaller i en filterkage, der kan køres til metalgenvinding eller særskilt deponi.

Behandling af kommunalt indsamlet PVC affald kræver et specielt fældningstrin for cadmium fra saltproduktet. Ekstra udgiften til dette ekstra procestrin er så lav, at den ingen betydning har for behandlingsprisen. Forbehandling og reaktionsbetingelser kan foregå på samme måde som for kabel PVC eller byggeaffalds PVC. Det er også vist at PVC-affaldet kan blandes med andre typer PVC-affald uden procestekniske problemer.

Det indvundne salt produkt kan indeholder andre stoffer end calcium, især hvis en uren kalkkilde anvendes ved behandlingen i WAPRO®. Det er vist, at det er muligt at fremstille calciumklorid, natriumklorid og kaliumklorid til renheder, der svarer til kommercielle produkter og derved kan værdien af saltprodukterne øges.

Behandlingsprisen for PVC affald er vurderet i forbindelse med Watechs deltagelse flere miljø og samfundsmæssige analyser. Med sambehandling af røggasaffald og skønnede danske PVC affaldsmængder vil behandlingsprisen udgøre 800 – 900 kr./ton affaldsplast.

Projektresultater

Det har ikke været muligt at få en præcis registrering for mængderne af PVC affald, der køres til deponi fra de undersøgte kommuner, fordi affaldet registreres sammen med andet affald til deponi.

Mængde og sammensætning af kommunalt indsamlet PVC affald i Danmark

Mængde, sammensætning og tiden for at fylde en container er blevet anvendt til at vurdere mængden af PVC affald pr. indbygger. Hvis disse erfaringstal bruges til at beregne indsamlingspotentialet i hele Danmark findes 7.300 tons PVC/år med tallene fra Tølløse som grundlag og 8.000 tons PVC/år med tallene fra Holbæk som grundlag. Sammen med disse PVC mængder vil der fremkomme 25-35 % andet affald især letplast. Det estimeres, at der i alt vil kunne indsamles mellem 10.000 og 12.500 tons PVC-affald i Danmark. Hertil kommer den mængde af PVC-affald, der indsamles ved WUPPI ordningen (1.500 – 2.000 tons pr. år). Desuden ender en del PVC affald i vore forbrændingsanlæg, men det vil være omkostningskrævende, at få udsorteret større mængder af dette PVC affald til nyttiggørelse i WAPRO®.

Kommunalt indsamlet PVC affald fra to genbrugspladser i henholdsvis Tølløse og Holbæk kommuner er analyseret for indhold af PVC og tungmetaller. Landkommunen Tølløse leverer betydeligt mere stift PVC, hovedsagelig fra tagplader mens Holbæk kommune overvejende indsamler blødt PVC.

Indholdet af PVC i "PVC affald" blev fundet til 65 % i Holbæk og 75 % i Tølløse, d.v.s. målt i forhold til den totale plastaffaldsmængde. Den del af affaldet, der ikke var PVC var hovedsagelig letplast, men der blev også fundet en del metaller, træ, husholdningsaffald og elektronikaffald.

Koncentrationen af tungmetaller i PVC delen var 1100-2300 ppm bly og 60-100 ppm cadmium. Det skal bemærkes, at der i kabelaffald og byggeaffald tidligere er målt 10 gange så høje blyindhold.

PVC affaldet med en variation på op til 80 % tagplader og ned til 10 % tagplader blev pyrolyseret i laboratoriet. WAPRO® processen er stabil overfor disse udsving i sammensætningen. Fra behandlingen i WAPRO® processen fremkom dog mere organisk kondensat (olie) end behandling af samme mængde kabel affald ville have gjort.

Produkter fra behandling af kommunalt indsamlet PVC affald

Koksproduktet kunne udvaskes til en bly koncentration under 1000 ppm og cadmium under 10 ppm i pilot skala forsøg. Disse metalindhold i koksproduktet var under de succeskriterier for tungmetalindhold, der tidligere blev fastlagt sammen med Miljøstyrelsen.

Saltproduktet (Calciumklorid) kunne fremstilles uden bly (< 0,1 ppm Pb) og cadmium (< 0,05 ppm Cd). I laboratorie forsøgene med kommunalt indsamlet PVC var det nødvendigt at foretage en sulfid polering ved pH 9,5 for at bringe cadmium koncentrationen under 0,05 ppm. Disse indhold i saltproduktet er ligeledes under de succeskriterier for tungmetalindhold, der tidligere blev fastlagt sammen med Miljøstyrelsen.

En effektiv renseproces til det organiske kondensat blev udviklet således at WAPRO® kan levere et olieprodukt (organiske oliekondensater) med et klorid indholdet på under 2-10 g/kg og dioxin-indholdet samtidig blev målt til 3-11 ng I-TEQ/kg.

Sortering af kommunalt indsamlet PVC affald

Samlet vurderes det kommunalt indsamlede PVC affald til at være en meget inhomogen type plast affald, der indeholder en del affald, der kan sorteres fra.

PLASTSEP® processen er i stand til at frasortere den del af affaldet, der er enten brændbart eller foreligger som rene metaller. I det undersøgte affald udgjorde denne mængde 25-35 vægt-% af affaldet. De rene metaller kunne sendes til genbrug eller recycling via eksisterende ordninger og letplasten kunne genbruges ved mekanisk recycling eller afsættes til energiudnyttelse.

Produkter fra sambehandling af kommunalt indsamlet PVC affald med røggasaffald

Endelig udførtes der forsøg med separation af blandet salt, der var fremkommet ved behandling af røggasrensningsaffald (RGA) med Halosep processen. Halosep processen behandler røggasaffald ved sur stabilisering eller alkalisk stabilisering. Saltproduktet herfra svarer til anvendelse af en uren kalkkilde (røggasaffald) i WAPRO®. Der blev lavet forsøg med et calciumkloridrigt saltprodukt med røggasaffald fra Amagerforbrænding (sur

stabilisering), et mindre calciumkloridrigt saltprodukt med røggasaffald fra Amagerforbrænding (alkalisk stabilisering) samt et saltprodukt, der havde højere natriumklorid og kaliumklorid koncentration med røggasaffald fra Vestforbrænding (alkalisk stabilisering).

Det blev undersøgt om natriumklorid, kaliumklorid og calciumklorid kunne adskilles i en enkel saltseparationsproces, således at der kunne laves produkter med specifikationer, som svarer til kommercielt tilgængelige saltprodukter.

Det blev vist, at det var muligt at fremstille tre saltprodukter, der var rige på henholdsvis natriumklorid, kaliumklorid og calciumklorid med anvendelse af røggasaffald fra Amagerforbrænding som kalkkilde, (sur stabilisering) og med anvendelse af røggasaffald fra Vestforbrænding som kalkkilde, (alkalisk stabilisering). Med anvendelse af røggasaffald fra Amagerforbrænding som kalkkilde, (sur stabilisering) kunne natriumklorid fremstilles med mere end 90 % renhed. Kaliumklorid (gødningssalt) kunne ikke isoleres i dette tilfælde, men endte i calciumklorid produktet. Sammensætningen af calciumklorid produktet var på trods heraf tæt på de kommercielle specifikationer for vejsalt.

Med anvendelse af røggasaffald fra Vestforbrænding som kalkkilde (alkalisk stabilisering) kunne kaliumklorid (gødningssalt) fremstilles mere end 90 % ren. Med røggasaffald fra Amagerforbrænding som kalkkilde,(alkalisk stabilisering) kunne natriumklorid og kaliumklorid ikke umiddelbart separeres. Det blev vist, at dette skyldtes opløst sulfat. Ved en sur stabilisering vil det opløste calciumklorid fra kalk (calciumkarbonat) undertrykke opløsning af sulfat, der vil forblive i røggasaffaldet som gips.

Behandlingspris for kommunalt indsamlet PVC-affald med Watech metoden

På grundlag af de indsamlede mængder fra Tølløse og Holbæk kommuner vil et estimat for indsamlingspotentialet for kommunalt PVC affald i hele Danmark være 10.000-12.500 tons ”Indsamlet PVC affald” eller ca. 7.300-8.000 tons rent PVC affald/år. Dette affald vil samlet indeholde 20-40 tons bly og 1-2 tons cadmium, som kan koncentreres i et tungmetal produkt med WAPRO®.

Kommunalt indsamlet PVC affald vil kunne behandles med samme omkostningsniveau som andet undersøgt PVC affald (kabelaffald og bygningsaffald) såfremt der kan skaffes affald af samme renhed, som det, der er brugt her i studiet. Beregninger i de Miljø og Samfundsmæssige analyser har vist, at behandlingsprisen for kommunalt indsamlet PVC ved sambehandling i af plastaffald med røggasaffald fra forbrændingsanlæg med Watech processer vil udgøre 800 – 900 kr./ton.

Summary and conclusions

This report describes the results that have been obtained in the study "Products from the Watech process by treatment of PVC waste collected by Danish municipalities". RGS90 Watech with Uffe Rahbek as project manager has performed the study. The project has received financial support from Miljøstyrelsens "program for renere produkter".

An important part of the study has been to supply technical, economic and environmental data to two different socioeconomic studies. The Socioeconomic studies describe and compare a number of different processes for the treatment of PVC waste.

- The first study was "PVC Recovery Options, Concept for Environmental and Economic System Analysis" initiated by Vinyl 2010, ref.1. This study has been finalized and the report can be seen on the Internet

- The second study was a Danish Environmental- and Socioeconomic analysis of treatment methods for PVC waste, which was initiated by Miljøstyrelsen (the Danish EPA). In this study different treatment methods are compared. The methods chosen were Disposal, Incineration, the Watech process and the Stigsnæs process. This study has not been published yet.

Conclusions

The amount of PVC waste that was collected by the local recycling station in two Danish municipalities has been determined. The collected PVC waste has been characterized with respect to content of other materials and plastics than PVC and it has been analyzed for its lead and cadmium content. It proved to be difficult to find reasonably clean fractions of PVC waste since many municipalities currently are mixing all "waste to disposal site" in big containers in order to save space at the collection sites (recycling stations). In some municipalities PVC waste are mixed with other building waste and this will require further sorting before the PVC waste can be treated and converted into useful products.

PVC wastes that were used in this study were collected in containers, which were dedicated to collection of PVC waste. The containers were clearly marked and having a clear explanation to the users of which type of waste that was wanted in the containers. In spite of this marking the collected PVC waste still had a significant content of other materials than PVC. In particular high contents of other plastics and metals were found, but also wood, household waste and electronic waste were found. A better sorting and pretreatment scheme would be nice but not necessary in order to treat the PVC waste in the Watech process (WAPRO®). Sorting was performed briefly in order to remove large non-plastic fractions. Hereafter the PVC waste was comminuted to about ca. 8-10 mm grain size and separation (sorting) was done using the PLASTSEP® process. The PLASTSEP process is the pretreatment process used before further PVC waste treatment in the WAPRO®process.

The sorting and separation using the PLASTSEP® process gave the result that 65 % and 75 % of the PVC waste could be sorted out as “clean” PVC waste from the two municipalities. The “clean” PVC could be further treated in the WAPRO®process. The 25% (respectively 35%) materials that were separated out in the PLASTSEP® process were metals (Copper, Aluminium, Iron, Steel) that can be recycled and a “Light” plastic fraction (Polyetylene, Polypropylene etc.) that could be recycled either mechanically or by energy recovery.

The ”clean” PVC waste could be pyrolysed and intermediate products could be treated in the WAPRO®process. The products from treatment of PVC waste from municipally collected PVC waste have the same quality as products from treatment of other PVC waste (cable waste and building waste).

The municipally collected PVC waste had high contents of roof gutters and plasticized PVC (for example bathing basins, toys and rain clothing). By pyrolysis of this type of PVC waste more oil product is recovered compared to cable waste. Also less salt product and less coke product is recovered from this PVC waste. Pyrolysis was performed in the WAPRO® pilot plant with a mixture of municipal collected PVC waste and cable waste. This mixture was treated and products recovered without any process technical problems.

Roof gutters and plasticized PVC contains the metals cadmium and lead. The municipal collected PVC waste in this study consists of relatively ”new” PVC waste. It has been seen before that the content lead and cadmium can be up to 10 times higher in relatively “old” PVC waste such as cable waste. In the WAPRO® process these heavy metals are concentrated in a filter cake that can be send to metal recovery or to a specific disposal site.

Treatment of municipal collected PVC waste requires a special precipitation stage for cadmium from the salt product. The extra cost for this process stage is so low that it can be neglected. Pretreatment and reaction conditions can be set the same way as for treatment of PVC cable waste or PVC building waste. It has been shown that municipal collected PVC waste can be mixed with other types of PVC waste without any process technical problems.

The recovered salt product may contain other salts than calcium chloride. When an alkaline source such as Flue Gas cleaning Waste is used as an additive in the WAPRO® process other salts is also formed. It has been shown that is possible to produce calcium chloride salt, sodium chloride salt and potassium chloride salt in a quality that corresponds to commercial products and hereby increasing the value of the salt product.

The treatment cost for PVC waste has been calculated in connection with the Watech participation in the Environmental and Socioeconomic studies initiated by Miljøstyrelsen. From the Socioeconomic study assuming Danish amounts of PVC waste and co-treatment with Flue Gas Waste the treatment cost will be in the range 800 – 900 kr/ton.

1 Indsamling af kommunalt PVC affald

Et af målene i projektet er at undersøge sammensætningen af det kommunalt indsamlede PVC affald. Det var allerede inden projektets start antaget, at sammensætningen ville variere fra land til by og derfor blev det besluttet at PVC-affald fra en landkommune, en større by og fra København skulle bruges i analyserne.

I projektets start var indsamling af PVC affald lige kommet i gang i enkelte kommuner og en del kommuner samlede på det tidspunkt ikke PVC affald ind til særskilt deponi. I stedet blev PVC-affald lagt sammen med andre typer af affald, der også skulle deponeres. Derfor var det en opgave i sig selv at finde containerpladser, der havde en ordning til indsamling af PVC, der passede til vores krav om en relativ ren plastfraktion.

Allerførst blev Tølløse valgt som repræsentant for en landkommune. Dette blev gjort fordi Tølløse geografisk ligger tæt på WAPRO® anlægget i Stenlille og fordi man i Tølløse allerede indsamlede PVC affald i særskilte containere. Personalet på denne genbrugsstation var desuden meget opmærksomme på, at affaldet fra genbrugsstationen havde en høj kvalitet og så meget som muligt blev nyttiggjort.

Derefter blev informationer fra container stationerne i større sjællandske byer undersøgt fra de kommunale hjemmesider på Internettet. Holbæk kommune indsamlede PVC affald på en måde, der var fuldt sammenlignelig med Tølløse og de var villige til at deltage i forsøget.

På et tidligt tidspunkt i projektet blev Københavns Kommune inddraget i projektet gennem Miljøkontrollen. Her var man også villig til at deltage i projektet og foreslog, at PVC affald blev indhentet både fra sortering af byggeaffald og fra en containerstation. Det var imidlertid ikke muligt for Miljøkontrollen at skaffe en bare nogenlunde ren fraktion af PVC affald tidligt i projektforløbet (første kvartal 2002). En del PVC blev på dette tidspunkt deponeret sammenblandet med andet byggeaffald.

I R98 årsberetningen for 2002 fortælles det at der er indsamlet 11 tons PVC affald, altså under 1 tons om måneden. Dette er svarende til de mængder, der bliver indsamlet i Tølløse Kommune og derfor ville sammensætningen af dette affald formentlig ikke kunne siges at afspejle det virkelige affald i Københavns Kommune.

Konklusionen blev, at det affald, der allerede var indsamlet fra Holbæk og Tølløse kommuner var repræsentativt for sammensætningen af kommunalt indsamlet PVC affald i Danmark. Det var ikke forventet, at flere prøver af PVC affald ville give et væsentligt bedre billede af de reelle affaldsmængder eller sammensætning af affald.

Tølløse og Holbæk leverede henholdsvis 1,8 tons og 1,2 tons PVC affald.

I Tølløse havde man sorteret tagplader ud for sig selv og denne fraktion udgjorde størstedelen af deres affald. Det var i god overensstemmelse med erfaringerne på stedet og det virker rimeligt, at der findes en del tilbygninger med PVC tag i en landzone. Både tagplader og blødt PVC blev kørt til Stenlille, hvor det blev behandlet i WAPRO® processen.

På pladserne i Tølløse og Holbæk var containerne skiltet tydeligt med PVC affald. Desuden var vist symbolet for genanvendelse (pile-trekanten med et 03 tal i midten) og en planche med billeder af de mest almindelige typer af PVC affald, der skal deponeres. Begge pladser er desuden tilknyttet WUPPI ordningen. Det vil sige, at det indsamlede PVC affald ikke indeholder affald, der er egnet til genanvendelse via WUPPI ordningen. PVC-bygningsaffald inklusive WUPPI affald er tidligere undersøgt behandlet med WAPRO® processen uden problemer, så procesteknisk kunne WUPPI affaldet også indgå som en del af affaldet, hvis det var ønskeligt.

Figur 1: *Billede af containerpladsen i Holbæk (fra Holbæk Kommunes hjemmeside www.holbkom.dk)*

1.1 Demografiske data for kommunerne

Tølløse og Holbæk kommuner har henholdsvis 9.300 og 34.000 indbyggere. Tabel 1 viser en oversigt over boligtyperne i de to kommuner.

Det ses, at Tølløse kommune har relativt flere landbrug og parcelhuse end Holbæk kommune har, hvilket kan forklare den større mængde tagplader indsamlet i Tølløse.

Boligtype	Holbæk	Tølløse
Stuehus til landbrug	562 (3 %)	529 (14 %)
Parcelhus	6369 (41 %)	2276 (60 %)
Række, kæde eller dobbelthus	1792 (12 %)	557 (15 %)
Flerfamiliehus	6206 (40 %)	286 (8 %)
Kollegier	319 (2 %)	3
Anden helårs bolig	62 (1 %)	78 (2 %)
Sommerhus	51 (1 %)	1
Fælles bolig	12	51 (1 %)
I alt	15 373	3781

Tabel 1: *Oversigt over boligtyper i Holbæk og Tølløse (kilde: Danmarks Statistik)*

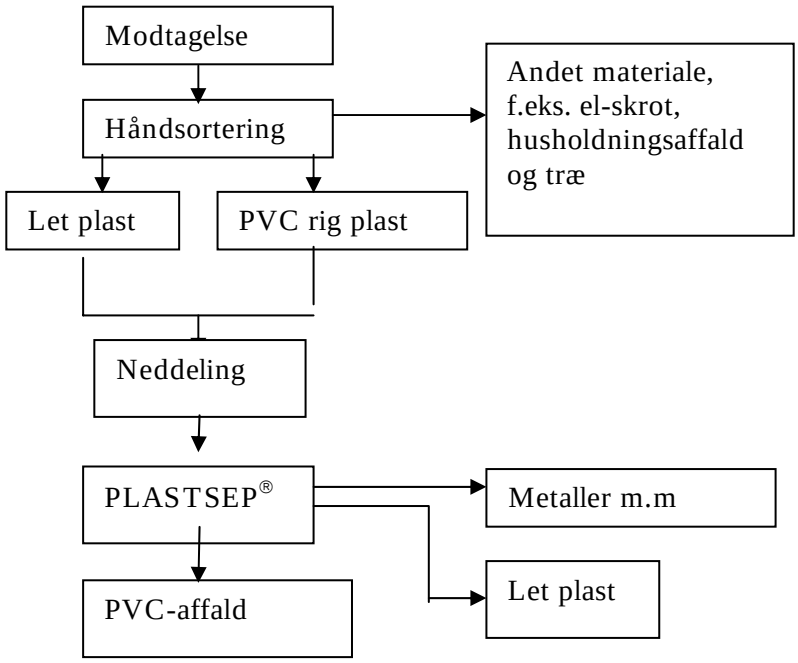
Holbæk kommune har desuden ca. 40 % boliger som flerfamiliehuse f.eks. boligkomplekser, mens Tølløse kommune kun råder over 8 % af denne boligtype. Det må forventes, at de mennesker, der bor i en-familie huse vil levere mere affald af bygningsmæssig karakter end de mennesker, der bor i lejligheder.

2 Analyse af kommunalt PVC affald

Det indsamlede PVC-affald blev vurderet ud fra forskellige kriterier. Behandlingen af PVC-affaldet er vist skematisk i Figur 2. Indledningsvis blev der foretaget en gennemgang af materialet for at vurdere renheden og typen af PVC produkter i affaldet. Affaldet blev læsset af i Stenlille og inden det blev neddelt i shredderen, blev det grovsorteret, således at store emner af letplast blev pillet fra samtidig med, at vi fik et overblik af hvilke typer af plast, affaldet indeholdt. Ved denne sortering kunne en mand fjerne ca. 130 kg/time af affald, der ikke var PVC. Denne måling blev lavet for at sikre det bedste sammenligningsgrundlag mellem PLASTSEP® og den manuelle sortering. Derefter blev affaldet igen blandet med PVC delen, neddelt og blev gjort klart til PLASTSEP®. Enkelte dele af elektronikskrot og husholdningsaffald blev dog ikke taget med i den videre behandling. Massen af dette var samlet ca. 10 kg., svarende 0,5 % af den samlede affaldsmængde.

Affaldet blev neddelt til 8 mm og blev separeret igennem PLASTSEP® anlægget i Stenlille. Ved behandling i PLASTSEP® anlægget sorteres affaldet op i følgende fraktioner:

1) En tung plast, rig på PVC, med mulige forureninger af f.eks. gummi, teflon.
2) En let plast, rig på f.eks. PE, PP og andre brændbare polymere.
3) En metal del, med blandet jern, kobber, aluminium og sand.



Figur 2*: Diagram for gennemgang af PVC-affaldet.*

Resultaterne for de gennemførte forsøg med er samlet i tabel 2 (side 17)

Figur 3 viser et billede af PLASTSEP® anlægget i Stenlille. Yderst til venstre ses indfødningstragten, bagest er transportsnegl og sink-float enheden. Yderst til højre er rystebordet. Forrest i billedet ved siden af teknikkerne ses containeren med frasorteret letplast og nederst til højre anes containeren med PVC plast og middling, der er en blanding af PVC plast og metal. Denne middling recycles gennem anlægget for at få sorteret alt materialet.

Figur 3: *PLASTSEP® anlægget i Stenlille til sortering af letplast og metaller fra PVC affald.*

2.1 Tølløse

Tølløse kommunes genbrugsstation havde delt indsamlingen af PVC affald op i tre kategorier:

1) WUPPI affald
2) Tagplader
3) Andet PVC affald

WUPPI affaldet er ikke taget med i dette studie af PVC affald, fordi det allerede er indarbejdet i en genanvendelsesproces og derfor ikke belaster anlæggene til deponi. Typen af PVC affald (WUPPI affald) er tidligere behandlet i WAPRO® processen med succes, så WUPPI affald kan behandles i WAPRO® processen, hvis det af en eller anden grund skulle være ønskeligt.

Tagpladerne blev, ligesom affaldet fra Holbæk, neddelt til 8 mm hvorefter metaller og letplast blev sorteret fra med PLASTSEP® anlægget. Det rensede PVC affald, der blev leveret fra PLASTSEP® anlægget, blev analyseret for indhold af bly og cadmium. Disse to tungmetaller er kendte stabilisatorer i PVC compounds og udgør et miljøproblem, hvis affaldet håndteres fejlagtigt jf. ref. 2.

Fraktionen ”Andet PVC-affald” er mere blandet end de to første fraktioner ”WUPPI affald” og ”Tagplader”. Visuelt blev der konstateret en betydelig større mængde forurening af ikke-PVC materialer i denne fraktion. Det ser ud

som en del plast affald er kommet i denne container, fordi man har prioriteret, at ukendt plast affald skulle behandles som om det var PVC affald for at være sikker på at undgå PVC i den brændbare fraktion.

Plast-affaldet blev neddelt og PVC delen i affaldet blev opkoncentreret med PLASTSEP® anlægget og analyseret for bly og cadmium. Figur 4 viser et billede af dette affald inden neddelingen.

Figur 4: *Blandet blødgjort PVC affald indsamlet i Tølløse kommune.*

Det har taget ca. 1 måned at indsamle de 1,8 tons affald af blandet PVC affald. D.v.s. at der bliver indsamlet ca. 2,3 kg blandet PVC affald pr. indbygger i Tølløse.

2.2 Holbæk

Holbæk genbrugsstation indsamler PVC affald i to fraktioner:

1) WUPPI affald
2) Blandet PVC affald

Forskellen på Holbæk kommunes og Tølløse kommunes indsamling er, at Tølløse kommune havde valgt at dele det blandede PVC affald op i en fraktion af tagplader og en anden blandet fraktion.

Figur 5 viser et billede af det PVC affald, der blev indsamlet i Holbæk kommune som blandet PVC-affald. Det ses, at en større del af affaldet er blødgjort plast i forhold til sammensætningen af PVC affald fra Tølløse, hvor den største del af PVC affaldet var tagplader.

Det er kendt, at tagplader og vinduesrammer af PVC kan være stabiliseret med cadmium. Cadmium kræver en lille ændring i fældningsproceduren i WAPRO® processen i forhold til proceduren for den mest almindelige

stabilisator bly. Derfor kunne det være fordelagtigt at oprette en særskilt linie til behandling af PVC-affald indeholdende cadmium. Dette kræver selvsagt, at cadmiumholdigt affald let kan sorteres fra cadmiumfrit affald og derfor blev det undersøgt om det affald, der var fri for tagplader også var fri for cadmium. Resultatet er vist i afsnittet om tungmetaller i affaldet. Det blev vist, at der var cadmium både i den del af affaldet, der var tagplader i og den del, der var blandet PVC affald uden tagplader. Resultaterne viste altså, at det ikke er muligt at isolere cadmium blot ved at udsortere tagpladerne og dermed er begrundelsen for denne udsortering væk.

Affaldet fra Holbæk kommune blev derfor behandlet videre som en fraktion uden en manuel sortering af tagpladerne fra det øvrige affald.

Figur 5: *Blandet PVC affald indsamlet i Holbæk kommune*

Det tog ca. 1 uge at indsamle de 1,3 tons blandet PVC affald i Holbæk kommune. Omregnet til et års indsamling, vil der gennemsnitlig blive indsamlet ca. 2,0 kg blandet PVC affald pr. indbygger.

Resultaterne for de gennemførte forsøg ses i tabel 2.

Indsamlingssted	Affaldsmængde	PVC indhold
Tølløse, tagplader	1455 kg	89 %
Tølløse, bøjeligt PVC affald fraktionen "andet PVC-affald"	370 kg	18 %
Tølløse, samlet	1825 kg	75 %
Holbæk, blandet PVC affald	1342 kg	65 %

Tabel 2: *PVC indholdet i de indsamlede mængder af blandet PVC affald.*

2.3 Tungmetalindhold

I PVC affald, vil en del af plasten være stabiliseret med bly og det er desuden kendt, at tagplader har været stabiliseret med cadmium. Cadmium kan kræve en smule ændret fældningsteknik i forhold til bly og derfor blev det forsøgt, at isolere cadmium med henblik på at kunne behandle dette affald for sig. Isolationen gik ud på at udsortere tagplader og vinduesprofiler, fordi vi antog, at cadmium for langt størstedelen ville være til stede i denne type affald.

Der blev udtaget en prøve af det neddelte plast fra hver af bunkerne med henholdsvis tagplader og øvrigt plast. Disse plastprøver blev afbrændt ved 550 ^{o}C i to digler og askeresten blev analyseret for tungmetallerne.

Det viste sig, at cadmium også findes i rig mængde i den del af PVC affaldet der ikke indeholder tagplader. Derfor er der ikke vundet noget m.h.t. cadmium ved at udsortere tagpladerne. Analyseresultaterne fra Tølløse affaldet er vist i tabel 3.

	Cd	Pb
Tagplader	97 ± 28 ppm	2260 ± 360 ppm
Øvrigt PVC-affald	62 ± 5 ppm	1107 ± 145 ppm

Tabel 3: *Cadmium og bly koncentrationer i plastaffaldet fra Tølløse*

På grund af de høje cadmium koncentrationer i det blandede affald blev en udsortering af tagpladerne undladt og affaldet fra Holbæk kommune er derfor behandlet som en fraktion.

2.4 Estimerede mængder kommunalt indsamlet PVC affald i Danmark

Det har ikke været muligt at få en præcis registrering for mængderne af PVC affald, der årligt køres til deponi fra de undersøgte kommuner, fordi PVC affald registreres centralt sammen med andet affald til deponi. I følge de ansatte på genbrugsstationerne fyldes en container på en uge i Holbæk af 34.000 indbyggere (svarende til 1,8 kg plast/indbygger/år), mens det tager ca. en måned for de 9300 indbyggere i Tølløse at fylde en container (svarende til 2,3 kg plast/indbygger/år). Hertil kommer den mindre mængde PVC affald, der er indsamlet under WUPPI ordningen.

Disse tal kan bruges som grundlag for at estimere den totale mængde PVC affald, der kan indsamles i Danmark, hvis det antages at hver dansker udsorterer på samme måde. I nedenstående tabel 4 er vist forskellen i skønnet for hele landet afhængig af om tallene fra Tølløse kommune eller Holbæk kommune lægges til grund for vurderingen. Det ses, at forskellen på de to estimater for PVC mængden kun er ca. 10 %.

	Tølløse basis	Holbæk basis
Indsamlet / indbygger / år	1,8	2,3
PVC koncentration	75 %	65 %
Forventet plast mængde Sjælland	4573 ton/år	5715 ton/år
Forventet plast mængde Jylland	5218 ton/år	6667 ton/år
Samlet PVC plast mængde i Danmark (til behandling) ekskl. WUPPI affald	9690 ton/år	12 382 ton/år
Samlet PVC mængde heraf i DK	7268 ton/år	8048 ton/år

Tabel 4: *Den totale mængde kommunalt indsamlet PVC plastaffald i Danmark vurderet ud fra henholdsvis Tølløse og Holbæk indsamlingerne ekskl. WUPPI affald.*

Hvis det antages, at dette affald vil indeholde samme koncentrationer af tungmetaller som det blev målt i PVC affaldet fra Tølløses kommune, så er det samlede indehold af disse to tungmetaller ca. 10 ton bly og 500 kg cadmium - opskaleret ud fra det undersøgte PVC affald, men eksklusive tungmetalmængden som er indeholdt i PVC-affald indsamlet via WUPPI og eksklusive tungmetalindholdet i det PVC-affald der går til forbrænding.

3 Pyrolyse af kommunalt PVC affald

Et af formålene med dette projekt var at undersøge om kommunalt indsamlet PVC-affald til deponering, (som er meget sammensat affald) giver specielle problemer i WAPRO® pyrolysen. WAPRO® pyrolysen har tidligere været testet med kabelaffald og med PVC byggeaffald.

Opgaven her er dels at styre processen med den sammensætning af hårdt og blødt PVC, som der er fundet på pladserne i Tølløse og Holbæk og dels at undersøge om tilstedeværelsen af cadmium kræver et ekstra trin ved tungmetaludfældningen fra returvandet.

For at belyse sammensætningens betydning for pyrolysen blev en serie forsøg i 0,5 kg skala gennemført. Ideen er at sammensætte en batch med et kendt forhold mellem mængderne af tagplader og blødgjort blandet PVC affald. Ved at vælge to yderpunkter med henholdsvis 80 % tagplader og med 12 % tagplader blev ekstremerne undersøgt. Disse yderpunkter afspejler hvad der kan forventes i ekstreme situationer og hvis processen kan drives tilfredsstillende med disse sammensætninger, så vurderes det, at affaldet kan behandles i processen, som det er. I langt de fleste tilfælde vil affaldet blive blandet med andet PVC affald, da det forventeligt vil blive modtaget og forbehandlet i samme anlæg. Derfor blev endnu et forsøg gennemført i reaktor 2 med et tagpladeindhold på ca. 50 % for at afprøve en situation, der ligger tættere på en normal proces frem for at stole på ekstrem værdierne.

Da denne forsøgsserie var gennemført, blev et 150 kg forsøg planlagt og udført. Sammensætning af PVC affaldet i dette forsøg var en blanding, som det kunne forventes ville udgøre en typisk blanding i en egentlig driftssituation. Blandingen, der behandledes var 48 % blødgjort kommunalt PVC affald, 44 % kabel affald og 8 % tagplader.

3.1 Pyrolyse i 0,5 kg skala

Figur 6: *Reaktor 2, der blev brugt til 0,5 kg forsøgene. I midten ses reaktoren med isolering og varmelegemer, til højre findes kondenser og gasvasker.*

Set fra et procesteknisk synspunkt kan det være betænkeligt, at indgangsmaterialets sammensætning varierer så meget som det gjorde i de to gennemførte indsamlings forsøg for henholdsvis Tølløse og Holbæk. Det vil give variationer i såvel produktmængder som energistrømme i anlægget, der skal designes efter ekstrem situationerne. Derfor er de forsøg, der blev udført i reaktor 2 tænkt som en måling af de ekstremer, som kunne forekomme, hvis affaldet ikke opblandes enten med andet PVC affald eller med kommunalt PVC affald fra andre kommuner. Svaret på spørgsmålet om i hvilken grad procesanlægget skal kunne imødekomme disse ekstremer kommer an på de udgifter, der er forbundet med dette sammenlignet med udgifterne til at sikre en ensartet blanding af affaldet.

De portioner af affald, der blev brugt i 0,5 kg forsøgene blev blandet efter recepten, der er vist i tabel 5. Desuden er der tilsat ca. 10 % kalk som calciumkarbonat, som skal reagere med en passende del af den dannede saltsyre i reaktoren.

Forsøg id.	stift kom. PVC (g) (tagplader)	bøjeligt kom. PVC (g)	% stift kom. PVC	Kalk (g)
R2kom1	64,00	450,00	12 %	50,00
R2kom2	253,83	257,28	50 %	54,58
R2kom3	400,42	100,49	80 %	52,52

Tabel 5: *Sammensætning af indgangsstrømmen til reaktor 2 forsøgsserien.*

Pyrolysen blev foretaget ved 375 °C og 2 bar. Dette gav i sig selv ingen proces tekniske problemer. Der kom omtrent lige mange gasudslip i forsøgene og der var ingen kapacitets problemer for gasvaskeren eller kondensoren.

Efter pyrolysen blev koksmængderne bestemt. Resultaterne er vist i tabel 6. Det bemærkes, at forsøget med det højeste indhold af blødt PVC affald, gav den største mængde af koks. Det kan forklares ved, at det bløde PVC-affald indeholder flere fyldstoffer end stift PVC og at disse fyldstoffer forbliver i koksen enten som klorider eller som de oprindelige fyldstoffer (f.eks. kridt), hvis de ikke reagerer ved 375 °C med saltsyre.

Forsøg	PVC + kalk mængde (g)	Koks (g)	% koks
R2kom1	544,3	239,9	44 %
R2kom2	565,7	242,0	43 %
R2kom3	553,4	207,1	37 %

Tabel 6: *Mængden af koks i de tre forsøg med forskellig sammensætning af PVC affaldet, der blev tilført reaktoren.*

3.2 Pyrolyse i 150 kg skala

Forsøgene i 150 kg skala, blev udført med WAPRO® pilotanlægget i Stenlille. Pilotanlægget er dokumenteret overfor Miljøstyrelsen i en tidligere udarbejdet rapport ref. 3. Figur 7 viser et billede af pilotanlægget i Stenlille.

I dette forsøg blev der taget udgangspunkt i de forsøg og overvejelser, der er beskrevet ovenfor. En blanding af PVC affald blevet lavet med den sammensætning, der er vist i tabel 7. Denne sammensætning demonstrerer en typisk sammensætning af blandet affald, der kan forventes i et anlæg til behandling af blandet PVC affald.

Inden affaldet blev hældt i pyrolysereaktoren blev det blandet med yderligere ca. 9 % kalk.

Affald	Mængde
Kommunalt, bøjeligt	44 %
Kommunalt, stift	7 %
Kabel	40 %
Kalk	9 %

Tabel 7: *Sammensætning af PVC affaldet, der brugt i 150 kg forsøget i reaktor 4 i Stenlille.*

Efter pyrolyse ved 375 °C, 1 bar og et energiforbrug på 8 kWh blev reaktoren tømt og fordelingen af produkterne blev målt. Resultatet er vist i tabel 8. Desuden er en del af materialet ledt ud gennem skorstenen som kuldioxid og vand (fra efterbrænderen), der ikke blev kondenseret ved de valgte procesbetingelser og en del er desuden opsamlet som saltsyre i gasvaskerne. Disse mængder blev ikke målt og derfor indgår de ikke i nedenstående tabel.

Produkter	Relativ fordeling
Koks	35 %
Vandigt kondensat	13 %
Olie kondensat	22 %
Sigterest (metaller og ikke pyrolyseret materiale)	11 %
Estimeret kuldioxid fra reaktion med kalk	12 %
Total materiale indvinding	81 %

Tabel 8: *Oversigt for materialet, der blev udtaget fra reaktoren umiddelbart efter pyrolysen.*

Figur 7: *Et kig ind af porten til pilotanlægget i Stenlille, hvor 150 kg forsøget blev udført.*

Tabel 9 viser en sammenligning af de fundne produktmængder med de mængder, der normalt forventes med blandet kabel PVC affald. Det ses, at den kommunale PVC-affalds blanding giver mere olie og gas og mindre salt og koks end f.eks. blandet kabel PVC gør. Den øgede mængde organisk kondensat kan forklares ved at affaldet har indeholdt mere blødgjort PVC. Den høje gasmængde skyldes at gastrykket i reaktoren var levere end det normale tryk i reaktor 2. Derved er en del af de gasser, der normalt kondenseres som oliekondensat passeret ud gennem efterbrænderen.

Produkt	Kommunalt PVC i reaktor 4	Kabel blanding
PVC, ind	100 kg	100 kg
Kalk, ind	10 kg	12 kg
Koks	23 kg	24 kg
Olie	24 kg	16 kg
CaCl2 36 % vandig	ca. 80 kg (*)	130 kg
Gas	24 kg	10 kg

Tabel 9: *Sammenligning mellem forsøget med kommunalt PVC affald og det kabel PVC affald. (*) Mængden af CaCl2 er beregnet ud fra en omsætning af klorid i det vandige kondensat til CaCl2.*

3.3 Koks

Primær koksen fra reaktoren blev ekstraheret med den normalt anvendte modstrømsekstraktion med saltsyre for at ekstrahere tungmetallerne.

Koksen blev herefter skyllet i rent vand for at fjerne de overskydende klorider. Denne udvaskning kunne ikke udføres helt så effektivt som sædvanlig, fordi mængden af koks var så lille, at omrøringen i skylletanken blev utilstrækkelig.

Koksen blev analyseret for tungmetaller og klor. Resultatet er givet i tabel 10. Det ses, at koksen overholder de mål, vi har opstillet for koncentrationer af tungmetaller i produktet og dermed adskiller koksens kvalitet sig ikke fra de tidligere koksprodukter, vi har lavet med andre typer af PVC affald.

	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cl (%)
Koksrest	912 ± 147	5,1 ± 1,6	1,6 ± 0,2 (*)
Mål/normal koks	1000	20	1,0

Tabel 10: *Tungmetaller og kloridkoncentration i koksproduktet sammenholdt med de ønskede specifikationer for produktet. (*) Denne høje klorid koncentration skyldes ufuldstændig omrøring p. gr. a. den ringe mængde koks. I laboratoriet blev koncentration efterfølgende nedbragt til 1,07 % ved et ekstra skyl.*

Klorid koncentrationen er højere end det vi måler i en koks fra eksempelvis kabel PVC. Højere klorid koncentration skyldes ufuldstændig omrøring p. gr. a. den ringe mængde koks i omrørertank ST1. I laboratoriet blev koncentration nedbragt til 10,7 g/kg (1,07 %) ved et ekstra skyl med varmt vand.

3.4 Calciumklorid

Calciumklorid udvindes ved at opslemme primærkoks i koldt vand (Returvand fra tungmetalfældningen i processen) ved pH=9,5. Ved disse betingelser er opløseligheden af bly minimal, mens noget cadmium stadig vil findes i opløsning. Som vist i Tabel 11 er cadmium koncentrationen 6 ppm i laboratorie forsøgene i 0,5 kg skala. I 150 kg forsøget var koncentrationen under detektionsgrænsen på 50 ppb allerede ved pH justeringen til 9,5. Derfor krævedes i dette tilfælde ikke et særskilt Cd-fældningstrin. Dette kan skyldes, at kloridkoncentrationen var 12 % i 150 kg forsøget mod 20 % i 0,5 kg laboratorie forsøget. Herved mindskes opløseligheden af tungmetallerne i basisk væske. Grunden til lavere klorid koncentration skyldes, at PVC-affaldet formentlig ikke har været så fyldt med kridt, som antaget, og på den måde er mere klorid endt som saltsyre i det vandige kondensat sammenlignet med en kørsel med kabel PVC. For at rette op på denne ubalance må der tilsættes mere kalk til affaldet inden pyrolysen. Forsøget blev udført med 9 % kalk og der dannes ca. 29 kg calciumklorid for hver 10 kg tilsat kalk. Ved at øge kalk tilsætning til 15 %, ville calciumklorid koncentrationen i denne første ekstraktion ved pH=9,5 være de ønskede 20 %.

Vi vurderer derfor, at et ekstra fældningstrin for cadmium vil være nødvendigt, når dette blandede affald behandles. Det er ikke nødvendigt med yderligere pH justering, så sulfid fældningen kan foregår umiddelbart efter, at koksen er separeret fra opløsningen af calciumklorid. De fældede sulfider, som udgør meget små mængder, kan f.eks. fjernes i et patronfilter.

Cadmiumindholdet i et calciumklorid mellemprodukt med mere end 20 % calciumklorid vil kunne fjernes ved en sulfid fældning (polering), som er blevet gennemført i laboratoriet. Resultatet herfra er vist i nedenstående tabel 11.

	Koncentration (ppm)
Cd i 20 % $CaCl_2$ ved pH=9,5	6
Cd i 20 % $CaCl_2$ ved pH=9,5 efter S^{--}	<0,05

Tabel 11: *Cadmium koncentrationerne i saltproduktet før og efter polering med sulfid.*

3.5 Organisk kondensat

Det organiske kondensat fra 0,5 kg forsøgene i reaktor 2 udgør 15-25 % af affaldet. Kloridkoncentrationerne i dette kondensat blev målt ved Schöniger metoden, hvor olien forbrændes i en atmosfære af ren ilt hvorefter eventuelle klorider i røggassen absorberes i en vandfase. Efterfølgende måles kloridkoncentrationen i dette vand på en ionkromatograf og indholdet omregnes til en koncentration i det organiske kondensat.

Måleresultaterne viser, at det organiske kondensat kan indeholde op til 30-90 g klorid/kg kondensat før rensning. Det er relativt meget klorid og værdien af oliekondensatet øges hvis kloridkoncentrationen kan nedbringes. Derfor har vi undersøgt forskellige metoder til at nedbringe klorid koncentration til et niveau på omkring 1 %, hvor kondensatet kan afsættes til olieindustrien.

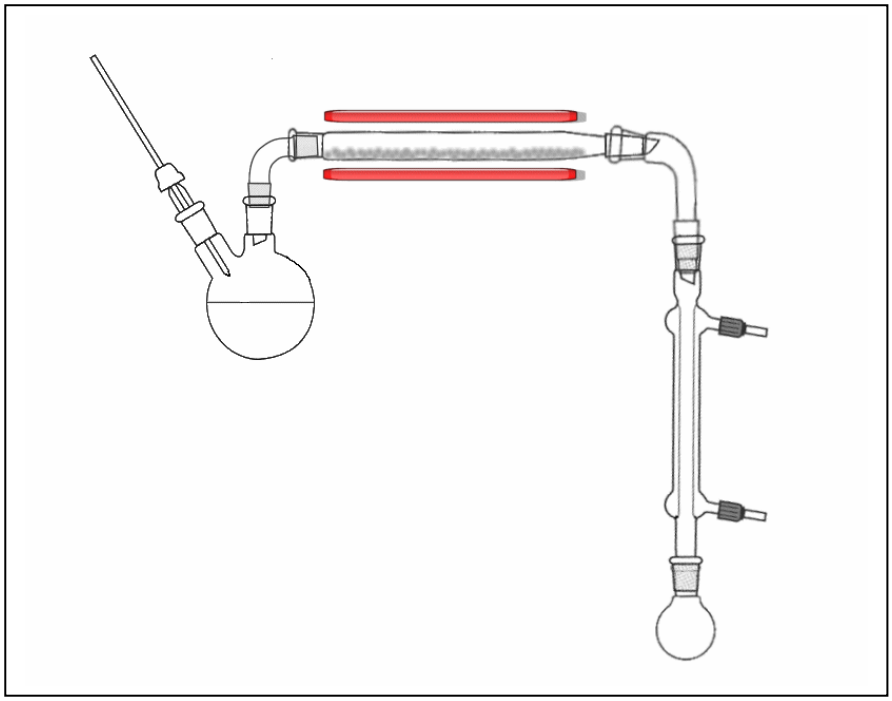
De metoder, der blev studeret til rensning af organisk kondensat for klor, var:

- katalytisk omdannelse i væskefase
- katalytisk omdannelse i gasfase ved reflux
- katalytisk omdannelse i soxhlet
- udfældning ved frysning
- omdannelse ved kontakt af gasfase med kalk
- omdannelse ved kontakt af gasfase med katalysator

Alle metoderne kunne nedbringe koncentrationen af klorid i den organiske fase, men de mest effektive var entydigt de processer, hvor gasfasen blev kontaktet med enten $Ca(OH)_2$ eller en katalysator.

Det blev også observeret ved destillationsforsøg, at kloridkoncentrationen var højere i fraktioner med højt kogepunkt og de var betydeligt lavere i de mere flygtige fraktioner. Kloridet må derfor være bundet i delvist nedbrudte PVC kæder og ikke opløst en i en emulgeret vandfase.

En skitse af opstillingen til rensning af organisk kondensat for klor er vist i figur 8. Efter en behandling i dette udstyr blev kloridkoncentrationen reduceret fra 30-90 g/kg til under 1 % (10 g/kg) i det organiske kondensat.



Figur 8: *Skitse af opstilling til rensning af det organiske kondensat for klor.*

Det ubehandlede organiske kondensat fra 150 kg forsøget indeholdt 90 g Cl/kg (9 % Cl). Kondensatet blev behandlet ved kontakt med kalk i form af $Ca(OH)_2$. Kloridkoncentrationen blev målt i kondensat med forskellige kogepunktsintervaller, som vist i tabel 12. Hvert af kogepunktsintervallerne repræsenterer et lige stort volumen af kondensatmængden. Ca. 20-25 % af den oprindelige mængde oliekondensat havde et kogepunkt højere end 230 °C og vil derfor ikke blive ført til det rensede olieprodukt. Denne tykke olie vil i processen blive recyclet til reaktoren og vil heri crackes yderligere under påvirkningen af varme. Alternativt kan den tykke olie krakkes ved højere temperatur. Herved øges kondensatmængden og tabet minimeres.

Den gennemsnitlige kloridkoncentration i det rensede oliekondensat er 0,86 % altså mindre end en tiende del af den oprindelige mængde. Det vurderes, at ved optimering af temperatur og opholdstid kan dette klorindhold sænkes yderligere. Den calciumhydroxid, der er brugt til at rense oliekondensatet skal returneres til reaktoren - eventuelt kan calciumkloridet udvaskes forinden. På denne måde nyttiggøres det fangede klorid som calciumklorid og samtidig udnyttes den overskydende alkalinitet.

Kogepunktsinterval	Klorid koncentration
30-80 °C	1,3 g/l
80-120 °C	4,5 g/l
120-180 °C	5,8 g/l
180-230 °C	22,6 g/l

Tabel 12: *Klorid indholdet i fraktioner af det rensede, organiske kondensat. Hvert kogepunktsinterval indeholder omtrentligt den samme mængde kondensat.*

De øvrige metoder, der blev undersøgt til reduktion af kloridkoncentrationerne var ikke så effektive og resultaterne kunne variere en del for forskellige kondensater. De mest effektive af disse andre metoder var

en forbehandling af kondensatet, hvor det i 24 timer blev kogt ved reflux med calciumhydroxid og derefter reflux med en katalysator til kloridfjernelse i kondensationszonen. Denne metode kunne fjerne ca. 80 % af kloridindholdet. De detaljerede undersøgelser er rapporteret i den anden delrapport for projektet.

Der blev målt dioxiner i det organiske kondensat både før og efter behandlingen af kondensatet. To forskellige behandlinger for dioxinfjernelse blev forsøgt. Dels behandlingen for klorider ved kontakt med calciumhydroxid og dels ved at blande kondensatet med koks fra pyrolysen. Dette blev gjort fordi aktivt kul er kendt for at kunne binde dioxiner og derfor ønskede vi at undersøge koksens absorptions affinitet overfor dioxiner. Resultaterne er givet i tabel 13.

Beskrivelse	Dioxin koncentration (I-TEQ ng/kg)
Ubehandlet kondensat mellem produkt	1301
Kondensat rystet med koks	1295
Kondensat (renset olie kondensat)	3-11

Tabel 13: *Dioxin koncentration i oliekondensatet dels, ubehandlet, behandlet med koks og behandlet for klorider ved opvarmning med $Ca(OH)_2$.*

Resultaterne viser noget høje koncentrationer af dioxiner i det ubehandlede organiske kondensat. Dette skyldes, at pyrolysen blev udført under ret lavt tryk (ca. 1 baro). Konklusionen er, at trykket bør hæves igen til ca. 2 baro.

Det ses også, at koks absorption ikke kan fjerne dioxiner fra olie kondensatet.

Og det ses, at rensetrinnet for klorider ved kontakt med $Ca(OH)_2$ fjerner mellem 99,2 og 99,8 % af dioxinerne i det organiske oliekondensat, således at dioxinkoncentrationen i oliekondensat produktet er 3-11 I-TEQ ng/kg. Det vurderes med baggrund heri, at et rensetrin for klor er særdeles vigtigt ikke bare for at overholde et lavt klorindhold, men også for at sikre lave dioxin niveauer i den fremstillede olie.

Usikkerheden på tallet skyldes, at en del dioxin koncentrationer var under laboratoriets detektionsgrænse. Det lave tal i intervallet er en I-TEQ koncentration, hvor nul er brugt for de komponenter, der ikke blev detekteret og den øvre grænse i intervallet er tilsvarende fundet ved at detektionsgrænsen for de pågældende komponenter er brugt som koncentration i de tilfælde, hvor dioxinen ikke kunne detekteres.

4 Salt raffinering

Behandling af PVC-affald i RGS90 Watech processen med anvendelse af en alkali kilde, som indeholder flere stoffer f. eks. Na, K og Mg ud over Ca, vil medføre dannelse af et blandet saltprodukt. Dette kunne være resultatet af at bruge dolomit som fyldstof i PVC eller anvendelse af røggasraffald (RGA) i stedet for det renere jordbrugskalk i Watech processen.

Det ønskes derfor afslutningsvis undersøgt hvorvidt et blandet saltprodukt kan skilles i et kalium rigt, et natrium rigt og et calcium rigt saltprodukt. Dette er vigtigt, fordi et kaliumrigt produkt vil kunne afsættes til gødnings- eller jordbrugsformål, hvis det kan fremstilles tilstrækkelig rent. Ved at gennemføre en saltseparation vil man også kunne undgå spredning af kalium gennem saltning af vejene. Det betyder samtidigt, at et calciumprodukt med lavt indhold af kalium også er ønskeligt. Et calciumprodukt med et vist indhold af natrium er derimod acceptabelt ved anvendelse til vejsalt formål.

I tabel 14 herunder ses data for kommercielle produkter, som blandede saltprodukter forventes at kunne indgå i.

	IS-FRITT vejsalt (Scantech)	KornKali gødning (Aller Mølle)	PEP-Electrolyt (Trouw)
	(Norge)	(Danmark)	(Holland)
$CaCl_2$	90-95	-	-
NaCl	1-5	9,4	12
KCl	1-3	63	6
Mg	-	3,6	-
S	-	5	-

Tabel 14: **Kommercielle** *produkter som et blandet salt vil kunne indgå i. Sammensætning af" IS-FRITT" (Vejsalt), Korn kali gødning, og PEP-electrolyt.*

Det er ønskeligt, at salt separationsprocessen kan designes således, at den kan anvendes med udtagning af få analyser til styring af processen. Dette vil afslutningsvis blive vurderet.

I det efterfølgende er alle tal i tabellerne normeret i de tilfælde at summen af produkterne gav mere end 100 %.

5 Data for opløselighed af kloridsalte

I nedenstående tabel 15 er vist opløseligheden af natriumklorid (NaCl), kaliumklorid (KCl) og calciumklorid ($CaCl_2$) i rene opløsninger. Det ses, at mens KCl og $CaCl_2$ opløselighed øges markant med temperaturen, ændres NaCl ikke så meget. Dette kan udnyttes når saltene skal separeres fordi NaCl ved inddampning vil fælde ud mens KCl kan forblive i opløsning indtil afkøling af væsken finder sted.

Salt	Opløselighed, 20 °C G /liter	Opløselighed, 100 °C g / liter
NaCl	357	391
KCl	347	567
$CaCl_2$	745	1590

Tabel 15: *Opløselighed af klorid salte i rene opløsninger. (Ref: Handbook of Chemistry and Physics, 55th edition, CRC Press).*

Opløseligheden af det enkelte salt vil typisk falde med tilstedeværelsen af andre salte. Dette er udtrykt ved opløselighedsproduktet givet i tabel 16.

Fra tabel 16 ses, at hvis f.eks. koncentrationen af natrium gange koncentrationen af klorid overstiger opløselighedsproduktet på 44,8 $mol^2/liter^2$ i en varm opløsning, så er opløsningen overmættet og NaCl salt fælder ud.

Salt	Opløselighedsprodukt, kold	Opløselighedsprodukt, varm
NaCl	37,3 $mol^2/liter^2$	44,8 $mol^2/liter^2$
KCl	21,7 $mol^2/liter^2$	57,8 $mol^2/liter^2$
$CaCl_2$	302 $mol^3/liter^3$	2940 $mol^3/liter^3$

Tabel 16: *Opløselighedsprodukter af kloridsaltene (Ref: Handbook of Chemistry and Physics, 55th edition, CRC Press).*

6 Karakterisering af salte fra Halosep® røggasaffald behandling

Indledningsvis er tre saltblandinger fra ekstraktion af salt fra behandling af to forskellige typer RGA undersøgt.

Den første saltblanding stammer fra saltekstraktion og behandling af røggasaffald fra Amagerforbrænding (AF) med vand (HALOSEP® alkalisk stabilisering og højt L:S forhold).

Den anden saltblanding stammer fra saltekstraktion og behandling af røggasaffald fra Vestforbrænding (VF) med vand (HALOSEP® alkalisk stabilisering og højt L:S forhold).

Den tredie saltblanding stammer fra saltekstraktion og behandling af røggasaffald fra Amagerforbrænding med tilsætning af saltsyre til RGA (HALOSEP® sur stabilisering og middel L:S forhold). Saltsyren blev tilsat gradvist således, at pH på intet tidspunkt var lavere end 8,0 for at holde calciumsulfat (gips) bundet i RGA.

Disse tre saltblandinger er brugt som model materiale i dette studie. Sammensætningerne er givet i tabel 17.

Komponent	”AF,Halosep, alk. stabilisering” g/l	”VF,Halosep alk. stabilisering” g/l	”AF,Halosep, sur stabilisering” g/l
Na	4,4	10,4	10,0
K	4,8	11,7	10,1
Ca	11,0	4,0	123,2
Cl	19,8	24,1	150,2

Tabel 17: *Sammensætning af saltblanding i indgangsstrømmen.*

7 Udfældning ved inddampning modelsalte fra Halosep® RGA behandling

For de tre modelsalte er opløselighedsprodukterne beregnet ud fra kendte klorid og modionskoncentrationer. Disse er vist i tabel 18. Det ses fra tabel 18, at resultatet fra at gange koncentrationerne sammen er mindre end opløselighedsproduktet og dette betyder kort sagt, at alle opløsninger kan inddampes inden en udfældning vil ske.

I tabellen er produktet af de aktuelle koncentrationer divideret op i opløselighedsproduktet for hhv. kold og varm opløsning. Dette giver et billede af hvor meget vand, der skal fjernes inden saltene begynder at fælde ud og det giver endvidere også et godt billede af hvilket salt, der sandsynligvis vil fælde ud først.

Opløsninger med høje koncentrationer af flere salte opfører sig ikke ideelt og balancen forstyrres desuden af andre opløste ioner, der ikke er taget med i disse beregninger, f.eks. sulfat, zink eller magnesium. Derfor var det nødvendigt at udføre en forsøgsserie, for at undersøge hvordan modelsaltene opfører sig ved inddampning og hvilke produkter, der fælder ud undervejs samt undersøge produktsammensætningerne og mængderne heraf.

Det ses fra sammensætningen af modelsaltene, at der er stor forskel i salt koncentrationen i opløsningerne. Fra Halosep, ”AF-sur” vil der teoretisk kunne udfældes salt efter en inddampning på 1,8 gange (det vil sige at 1 liter inddampes til 0,57 liter).

For Halosep, ”AF-Alk.” ses, at en koncentrering på 20 gange kan foretages før NaCl fælder ud i den varme opløsning. Her kan 10 liter teoretisk set inddampes til 488 ml før udfældningen sker.

Halosep, ”AF-sur” indeholder så meget Calcium, at $CaCl_2$ teoretisk set vil fælde ud først på trods af dens betydeligt større opløselighed.

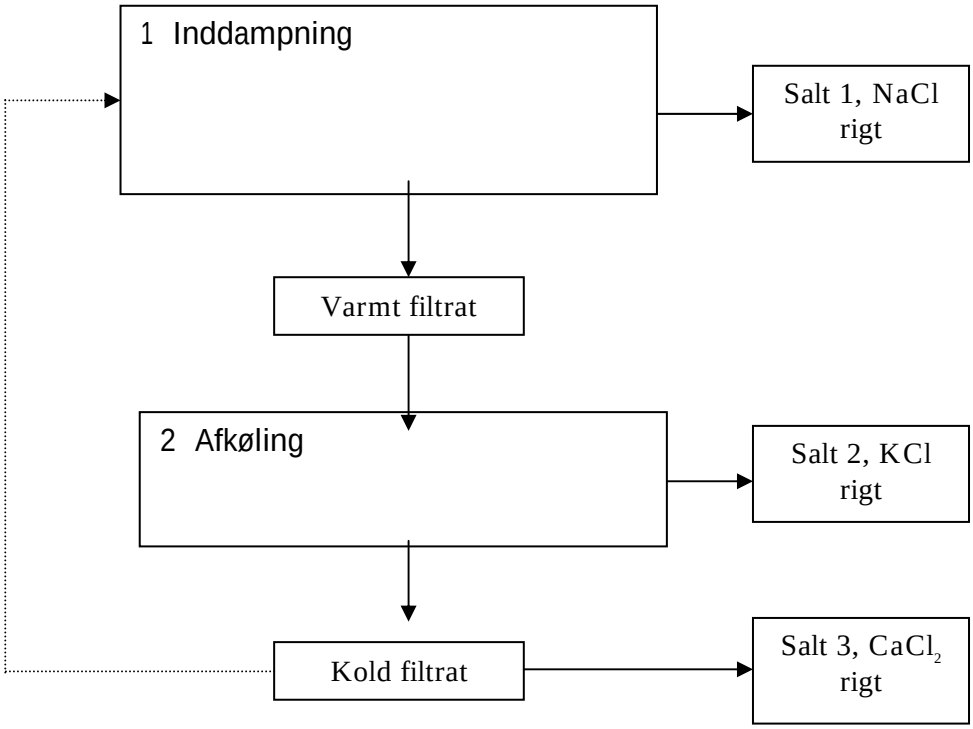
	NaCl	KCl	CaCl2
Halosep, AF-Sur Mættet/aktuel konc. kold Mættet/aktuel konc. varm	$[Na^+][Cl^-]$=1,8 4,5 4,9	$[K^+][Cl^-]$=1,1 4,5 7,3	$[Ca^+][Cl^-]^2$=55,2 **1,8** **3,8**
Halosep,AF-Alk. Mættet/aktuel konc. kold Mættet/aktuel konc. varm	$[Na^+][Cl^-]$=0,11 18,7 **20,5**	$[K^+][Cl^-]$=0,07 17,8 29,0	$[Ca^+][Cl^-]^2$=0,09 **15,2** 32,4
Halosep,VF-Alk. Mættet/aktuel konc. kold Mættet/aktuel konc. varm	$[Na^+][Cl^-]$=1,8 11,0 **12,1**	$[K^+][Cl^-]$=1,1 **10,3** 16,9	$[Ca^+][Cl^-]^2$=55,2 18,7 39,8

Tabel 18*: Grænse for hvor mange gange opløsningen teoretisk kan koncentreres før saltet fælder ud for de tre modelsalte. De fremhævede tal indikerer hvilket salt der først fælder ud ved de respektive betingelser.*

8 Vurdering af en saltseparationsproces

Det er ønskeligt, at en saltseparationsproces kan producere et kaliumkloridrigt produkt og et calciumkloridprodukt med mere 95 % $CaCl_2$, således at disse produkter lever op til specifikationerne for kommercielle produkter.

Saltseparationsprocessen er forsøgt delt op i flere trin, der hver for sig koncentrere et af de salte, der ønskes produceret. Processen er overordnet skitseret i figur 9. Det første trin er en inddampning, hvor det udnyttes at NaCl er mindst opløselig i varmt vand og derfor vil fælde først ud, hvis Na-koncentrationen er høj nok. Derefter følger en afkøling hvor KCl fælder ud og på den måde nedbringer klorid koncentrationen så meget, at relativt lidt NaCl vil fælde ud. Herefter har man en opløsning, der er fattigere på NaCl og KCl end den var i starten, mens den stadig indeholder den mængde $CaCl_2$, der oprindelig var i saltopløsningen.



Figur 9: *Skitse af processen for oparbejdning af saltprodukterne. Det afkølede filtrat kan enten bruges direkte som calcium rigt saltprodukt eller en del af filtratet kan føres tilbage for at hæve koncentrationen af calcium i indgangsstrømmen.*

8.1 Trin 1: Inddampning.

I dette trin fjernes overskydende vand og herefter sker en udfældning af salte ”Salt 1”, der filtreres fra mens opløsningen er varm. Det kan være nødvendigt at filtreringen gennemføres som en trykfiltrering fordi $CaCl_2$ er ret viskøs og derfor ikke løber hurtigt igennem et almindeligt stykke filterpapir.

Det udfældede salt er rigt på Natriumklorid, fordi opløselighedsproduktet er lavere for NaCl end for KCl. Dette forudsætter dog, at koncentrationerne for natrium og kalium er nogenlunde lige store. Hvis kalium koncentrationen er ca. dobbelt så stor som natriums, vil de to salte fælde ud samtidig. I dette første trin vil der også fælde en del calcium ud som kalk med mindre opløsningen gøres sur med HCl. Den udfældede kalk kan også fjernes ved en rekrystallisation i vand, hvor et renere natrium eller kalium produkt samtidig produceres.

8.2 Trin 2: Nedkøling

I saltseparationsprocessens andet trin nedkøles filtratet, hvorved en del KCl vil fælde ud som hvide krystaller ”Salt 2”. Hvis opløsningen inddampes for meget, kan $CaCl_2$ også fældes ud. Dette kan hindres ved at stoppe inddampningen, når væskens kogepunkt er steget til ca. 140 ^{o}C.

Det udfældede salt filtreres fra. Det indeholder mere K end Na, fordi hovedparten af Na er fældet ud varmt. Natrium kan dog fælde ud her hvis indholdet af kalium er væsentligt mindre end indholdet af natrium i indgangs saltopløsningen.

Herefter kan første og andet trin gentages eller filtratet kan bruges som det er, som det calcium rige produkt ”Salt 3”.

Denne procedure er forsøgt for de tre modelsalte fra henholdsvis basisk stabilisering af røggasaffald fra Vestforbrænding, basisk stabilisering af røggasaffald fra Amagerforbrænding og en sur stabilisering af røggasaffald fra Amagerforbrænding.

Som det allerede er nævnt under beskrivelsen af modelsaltene er koncentrationerne af natrium, kalium og calcium i de tre salte meget forskellige og det kan derfor ikke undre, at mindre justeringer til proceduren har været nødvendige for at isolere nogle brugbare produkter. Procedure og resultater for behandling af de tre modelsalte er beskrevet for hvert modelsalt i det følgende afsnit.

8.3 Modelsalt "Halosep, AF-Sur"

Karakteristisk for saltet fra Halosep, AF-sur er, at produktstrømmen er meget rig på Ca^{++}, som vist i tabel 17. Dette betyder, at strømmen ikke skal inddampes ret meget før en udfældning vil begynde. Teoretisk set er calcium koncentrationen så høj, at $CaCl_2$ vil fælde først ud, men i praksis vil den reelle aktivitet af kloriderne betyde at lidt af NaCl og KCl vil kunne tages ud inden $CaCl_2$ fælder ud i den varme opløsning.

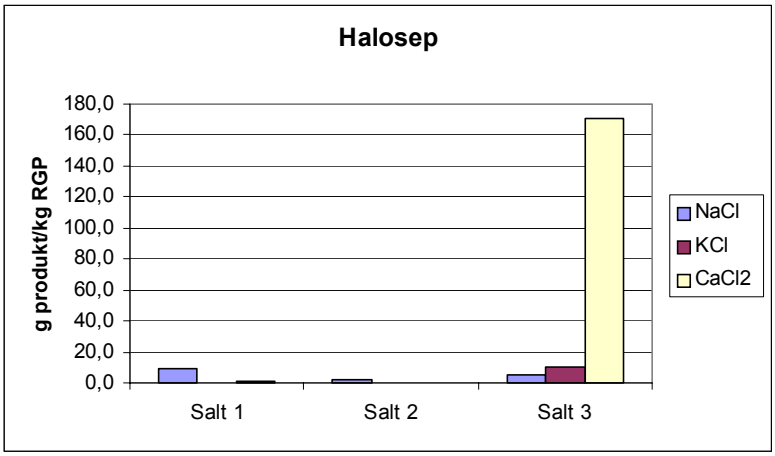
Ved inddampning i trin 1 og afkølingen i trin 2 fælder ca. 70 % af det NaCl, der blev tilført, ud og efterlader en 60 % $CaCl_2$ opløsning i vand. Samtidig indeholder restvæsken ca. 7 % KCl og 4 % NaCl. Inddampningen af Halosep, AF-HCl blev afbrudt da væskens kogepunkt nåede 140 °C.

Mængden af salt, der fældede ud ved afkøling var betydelig mindre end den mængde, der fældede ud varmt. Dette skyldes, at bundfaldet, der fremkom ved afkøling, måtte filtreres fra inden alt for meget $CaCl_2$ udfældede. Ved en fortsat afkøling fældede så meget salt ud, at der ikke kunne filtreres vand fra og vandet er derfor blevet indbygget som krystalvand i produktet.

	Mængde (g)	NaCl		KCl		$CaCl_2$	
		g/kg	g totalt	g/kg	g totalt	g/kg	g totalt
Salt 1	20,33	845,6	17,2	2,6	0,1	66,1	1,3
Salt 2	9,44	471,5	4,5	5,7	0,1	69,8	0,7
Salt 3	523,25	18,0	9,6	35,9	19,1	415,6	221,2

Tabel 19: *Sammensætning af produkterne efter Halosep, AF-HCl saltseparation.*

Produktmængder og sammensætning er vist i figur 10. Det bemærkes, at indholdet af calciumklorid er det mest væsentlige produktkilde og det ses, at indholdet af kalium er endt i calciumklorid produktet. På denne måde kan vi ikke opfylde målsætning om at tilvejebringe et kaliumrigt produkt. På den anden side set fås et calciumklorid produkt, der i følge specifikationerne kan anvendes til f.eks. vejsalt (cf. Tabel 14).



Figur 10: *Sammensætning af produkterne fra saltseparationen af Halosep, AF-Sur. Mængderne er givet i total mængde NaCl, KCl og $CaCl_2$ ved behandling af 1 kg RGP.*

Renheden af det Natriumsalt rige produkt (Salt 1) er vist i tabel 20 sammenholdt med specifikationen for KFK salt. Det ses, at produktet fra Halosep processen indeholder en del $CaCl_2$ og det vil således være nødvendigt med et skylle trin for at opnå en renhed, der svarer til disse kommercielle specifikationer. Alternativt kan Salt 1 dog afsættes direkte til vejsalt formål da kaliumindholdet er lavt.

	Salt 1	KFK Salt
NaCl	93 %	98,5 %
KCl	0,3 %	-
$CaCl_2$	7 %	-

Tabel 20: *Sammensætning af det NaCl rige produkt sammenlignet med KFK salt specifikationerne.*

Sammensætningen af det produkt, der blev udfældet ved afkøling af det inddampede ekstraktionsvæske er vist i tabel 21. Det var forventet at dette produkt ville være rigt på kalium, men det ses, at produktet overvejende består af NaCl og en vask, der kan fjerne det fangede $CaCl_2$ vil gøre produktet egnet som et NaCl produkt, d.v.s. at dette også ender om som et salt 1 produkt. Det er overraskende, at produktet indeholder så lidt kalium. Tilsyneladende var mætningen for KCl i kold væske endnu ikke nået og derfor fælder NaCl ud både i den varme og den kolde væske.

	Salt 2	Trouw Nutrition
NaCl	86 %	12 %
KCl	1 %	6 %
$CaCl_2$	13 %	

Tabel 21: *Sammensætning af det produkt, der blev udfældet ved afkøling af den inddampede ekstraktionsvæske sammenholdt med specifikationer fra salt fra Trouw Nutrition.*

Disse to produkter blev efterfølgende hældt sammen og vasket og derved blev et nyt produkt udvundet, hvis sammensætning ses i tabel 22. Man kan ses at sammensætningen nu gør produktet egnet til afsætning som NaCl.

	Rekryst. Salt 1+2 produkt
NaCl	98 %
KCl	0,1 %
$CaCl_2$	2 %

Tabel 22: *Sammensætning af oprenset, kombineret saltprodukt fra inddampning af Halosep.*

Den resterende masse er rig på $CaCl_2$ og sammensætning er givet i tabel 23. Det ses, at langt hovedparten af saltene i produktet er $CaCl_2$, man også at produktet indeholder relativt meget kalium. Koncentrationen af salt i produktet er ca. 60 %, mens ca. 40 % er vand, der er bundet til saltet som krystalvand. Det er i denne fraktion, at kalium genfindes. Det er ikke lykkedes med denne saltsammensætning at isolere kalium fra calcium og det skyldes, at

koncentrationen af calcium var så høj, at $CaCl_2$ fælder ud før KCl. Sammensætning er nu meget tæt på specifikationerne for vejsalt, som vist tidligere i tabel 14.

	Salt 3
NaCl	3 %
KCl	5 %
$CaCl_2$	92 %

Tabel 23: *Sammensætning af "Calciumklorid produktet".*

8.4 Modelsalt "Halosep, VF-Alkalisk"

Dette modelsalt kommer fra ekstraktion af salte med vand med røggasaffald fra Vestforbrænding. Der er altså ikke tilsat syre, som i forsøget ovenfor og derfor er de rene salte ekstraheret uden at calciumkarbonatet er åbnet.

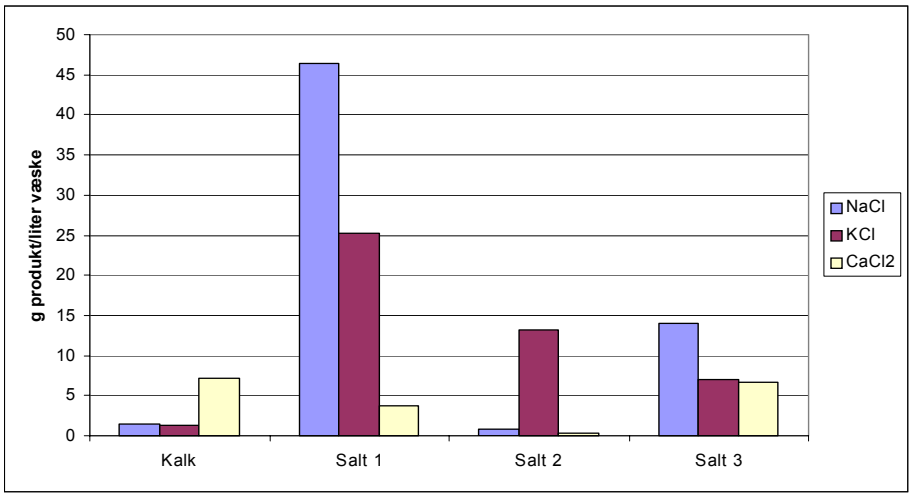
I lighed med tidligere er væsken inddampet. Den første portion, der fældede ud blev filtreret fra og indeholdt mest kalk. Denne del ville i et saltseparationsanlæg kunne returneres til indgangsstrømmen af RGA og ville her følge den del af calciumkarbonat, der forblev uopløst og endte i det stabiliserede RGA-produkt.

Sammensætningen og mængderne i produktstrømmen er givet i tabel 24. Tallene er givet med basis i mængden af ekstraktionsvæske. I dette forsøg blev brugt en blanding af ca. 1 del væske til 1 del RGA, så tallene svarer altså til en basis på kg RGA.

	Mængde (g/liter)	NaCl		KCl		$CaCl_2$	
		g/kg	g totalt	g/kg	g totalt	g/kg	g totalt
"Kalksten"	3,8	126,6	0,5	113,1	0,4	624,3*	2,4
Salt 1	26,8	577,8	15,5	313,5	8,4	47,3	1,3
Salt 2	6,2	43,3	0,3	702,6	4,4	20,2	0,1
Salt 3	33,2	141,1	4,5	69,7	2,3	67,6	2,2

Tabel 24: *Sammensætning af produkterne efter Halosep VF,alk. saltseparation. Calcium i "kalkstens fraktionen" er bundet som $CaCO_3$ og ikke som $CaCl_2$.*

Produktmængder og sammensætning fra tabel 24 er vist i grafisk form i figur 11.



Figur 11: *Sammensætning af produkterne fra saltseparationen af RGA fra Vestforbrændings, alk.. Mængderne er givet i total mængde NaCl, KCl og $CaCl_2$ ved behandling af 1 liter ekstraktionsvæske. 1 kg RGA blev ekstraheret med 1 liter vand.*

Renheden af det NaCl rige produkt er vist i tabel 25 sammenholdt med specifikationen for KFK salt. Det ses, at produktet fra processen indeholder

en del KCl og det vil således være nødvendigt med endnu et rensetrin for at opnå en renhed, der svarer til kommercielle specifikationer. Dette rensetrin opnås enklest ved at foretage en rekrystallisation i vand.

	Salt 1	KFK Salt
NaCl	62 %	98,5 %
KCl	33 %	-
$CaCl_2$	5 %	-

Tabel 25: *Sammensætning af det NaCl rige produkt sammenlignet med KFK salt specifikationerne.*

Sammensætningen af det produkt, der blev udfældet ved afkøling af den inddampede ekstraktionsvand er vist i tabel 26. Det ses, at produktet overvejende består af KCl. En rekrystallisation er dog nødvendigt hvis produktet skal sælges som rent KCl. Dette produkt kan sandsynligvis finde anvendelse som en del af et kornkali produkt uden rekrystallisation.

	Salt 2	Kornkali	CAS No. 7447-40-7
NaCl	6 %	9,4 %	
KCl	92 %	63 %	98 %
$CaCl_2$	3 %		

Tabel 26: *Sammensætning af det produkt, der blev udfældet ved afkøling af den inddampede ekstraktionsvæske sammenholdt med specifikationer på kornkali og teknisk rent KCl.*

Det resterende saltprodukt er rig på NaCl og man kan hælde denne portion tilbage til starten af processen hvor en fornyet inddampning vil udfælde NaCl. En efterfølgende afkøling vil herefter give et KCl rigt produkt. Efter et antal gentagelser vil $CaCl_2$ koncentrationen til sidst ende på et niveau, så denne rest kan bruges som $CaCl_2$ produkt. Sammensætning af væsken efter første inddampning og afkøling med efterfølgende filtrering er givet i tabel 27.

	Salt 3
NaCl	51 %
KCl	25 %
$CaCl_2$	24 %

Tabel 27: *Sammensætning af salt 3, der er det produkt, der findes efter NaCl og KCl er isoleret. Dette recycles til start af proces.*

8.5 Modelsalt "Halosep, AF-Alkalisk"

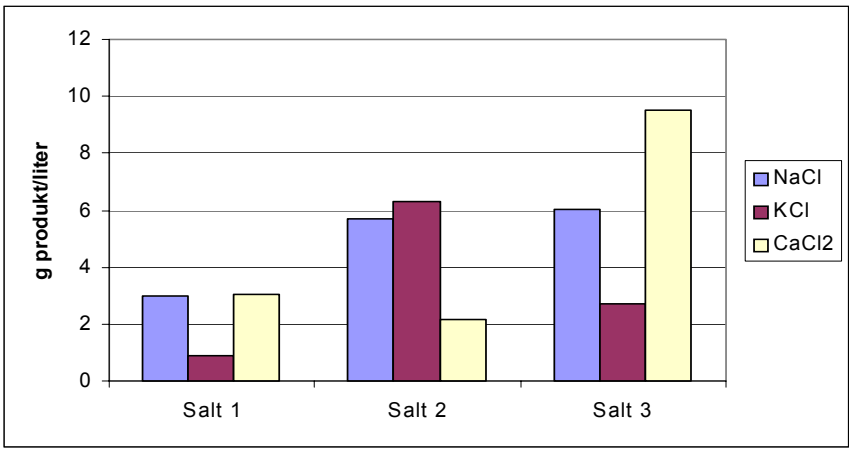
Saltet fra ekstraktion og behandling af røggasaffald fra Amagerforbrænding med vand uden syretilsætning indeholder mere calcium end det tilsvarende salt fra behandling af røggasaffald fra Vestforbrænding. Saltet indeholder desuden en del SO_4^{2-} . Dette gør det vanskeligere at skille ionerne ved fældning, fordi en del K_2SO_4 vil fælde ud, der hvor NaCl forventes at kunne isoleres. Sulfaterne og kloriderne opfører sig modsat hvad angår opløselighed idet calciumsulfat er stort set uopløseligt i vand, hvor calciumklorid er meget let opløselig. NaCl er stort set lige opløselig i koldt som i varmt vand, mens Na_2SO_4 er ca. ti gange så opløselig i varmt vand som i koldt vand. KCl og K_2SO_4 er begge ca. dobbelt så opløselige i varmt vand som i koldt vand.

Det betyder, at hvor det for modelsalt "***VF alkalisk***" blev benyttet, at NaCl ville fælde ud ved inddampning, så kan der i stedet ske det, at $CaSO_4$ fælder ud først, mens Na_2SO_4 forbliver i opløsning længere. Samtidig vil Na_2SO_4 kunne fælde ud ved afkøling sammen med KCl. Billedet bliver altså mere komplekst ved at sulfat-ioner findes i opløsningen.

Produkt	Mængde g/l	NaCl g/kg	g totalt	KCl g/kg	g totalt	$CaCl_2$ g/kg	g totalt
Salt 1	3,3	571	1,9	405	1,3	24	0,1
Salt 2	7,4	517	3,8	477	3,5	6	0,0
Salt 3	28	115	3,2	235	6,6	65	1,8

Tabel 28: *Sammensætning af saltprodukter fra inddampning af ekstraktionsvæsken fra Amagerforbrændings RGA.*

Fordelingen af produkterne er vist i figur 12, hvor det er antaget, at alt sulfatet er bundet til calcium i det salt, der udfældede ved inddampning af ekstraktionsvæsken, mens den var varm. Denne antagelse er rimelig ud fra en betragtning om at $CaSO_4$ (gips) er tungere opløselig end K_2SO_4 og Na_2SO_4. En del calcium kan dog også være bundet som $CaCO_3$.



Figur 12: *Sammensætning af produkterne fra inddampning af ekstraktionsvæsken fra Amagerforbrændings RGA, alk..*

Produktet, der fælder ud ved inddampning af ekstraktionsvæsken, mens væsken er varm er sammensat som vist i tabel 29. Det ses, at produktet er rigest på NaCl, men også indeholder meget calcium.

	Salt 1
NaCl	42 %
KCl	13 %
$CaCl_2$	30 %

Tabel 29: *Sammensætning af det NaCl rige produkt sammenlignet med KFK salt specifikationerne.*

Sammensætningen af det produkt, der blev udfældet ved afkøling af den inddampede ekstraktionsvand er vist i tabel 30. Selvom produktet indeholder mest KCl kan separationen ikke siges at være tilfredsstillende. Derfor blev det forsøgt at rekrystallisere saltene for at rense dem. Resultaterne fra dette forsøg er vist i tabel 32 og tabel 33 og vil blive diskuteret senere i dette afsnit.

	Salt 2
NaCl	40 %
KCl	45 %
$CaCl_2$	15 %

Tabel 30: *Sammensætning af det produkt, der blev udfældet ved afkøling af den inddampede.*

Den resterende masse er rig på NaCl og $CaCl_2$ og man kan tilbageføre denne fraktion til inddampning, hvorved NaCl vil fælde ud og $CaCl_2$ og KCl vil koncentreres. Sammensætning er givet i tabel 31. Produktet indeholder intet sulfat, da det er fældet sammen med calcium under inddampningen.

	Salt 3
NaCl	33 %
KCl	15 %
$CaCl_2$	52 %

Tabel 31: *Sammensætning af restproduktet efter NaCl og KCl er isoleret.*

I et forsøg på at rense saltene blev de produkter, der var fældet ud varmt og koldt, rekrystalliseret i vand.

Filterkagerne består af en blanding af natrium og kalium med lidt forurening af calcium. Calcium kommer dels fra $CaCO_3$ og dels fra $CaCl_2$ i den rest vand, der bliver hængende i filterkagen. Det salt, der udfældet varmt, vil som regel være mere rigt på Natrium end det salt, der er udfældet koldt.

Natrium og kalium burde kunne skilles bedre ad ved at rekrystallisere filterkagen. Da det er vigtigst at få et rent kaliumprodukt frem for et rent natrium produkt, så opslemmes den opvarmede filterkage i kogende vand, så en del kalium bliver opløst og mindst mulig natrium. I praksis blev det antaget, at filterkagen bestod af lige dele K og Na, svarende til 57 % NaCl og

43 % KCl. Da opløseligheden af KCl i kogende vand er 567 g/liter blev der brugt 0,43/0,567 = 0,75 ml vand pr. g filterkage til at opløse KCl.

Denne opslemning blev straks filtreret, mens den blev holdt varm. Filterkagen herfra burde indeholde relativt mere Na end K. Analyse resultaterne er vist i tabel 32 og tabel 33.

	”Salt 1, rekrystalliseret produkt”
NaCl	57 %
KCl	41 %
$CaCl_2$	2 %

Tabel 32: *Sammensætning af uopløselige del ved rekrystallisation af det blandede saltprodukt.*

	”Salt 2, rekrystalliseret produkt”
NaCl	51 %
KCl	48 %
$CaCl_2$	1 %

Tabel 33: *Sammensætning af den del af filterkagen, der kunne opløses i varmt vand og udfældes ved afkøling.*

Det ses, at separationen fortsat ikke er tilfredsstillende. Analyser viste imidlertid at den del, der var uopløselig i varmt vand indeholdt 118 g SO_4^{2-} / kg produkt. Da Na_2SO_4 er mere opløselig end K_2SO_4 vil denne effekt modvirke, at KCl er mere opløselig end NaCl i varmt vand. Derfor vanskeliggøres adskillelsen i dette tilfælde.

Det er demonstreret i afsnittet om Halosep, AF-Sur, at tilsætning af syre til ekstraktionsvæsken vil afhjælpe problemet, fordi calcium koncentrationen i dette tilfælde forhøjes og derved undertrykker opløseligheden af sulfater.

Det kan konkluderes at man ikke kan separere kalium fra natrium i dette tilfælde, hvor indholdet af sulfater er betydeligt i væsken. Derfor bør SO_4^{2-} undgås i en saltseparationsproces som den der er skitseret i figur 9. Det skønnes, at koncentrationen af sulfat skal være mindre en 1 % af klorid koncentrationen. Dette vurderes relativt nemt at opnå ved en passende alkalinitets justering i HALOSEP-ekstraktionstrinnet.

8.6 Generelt procesdesign

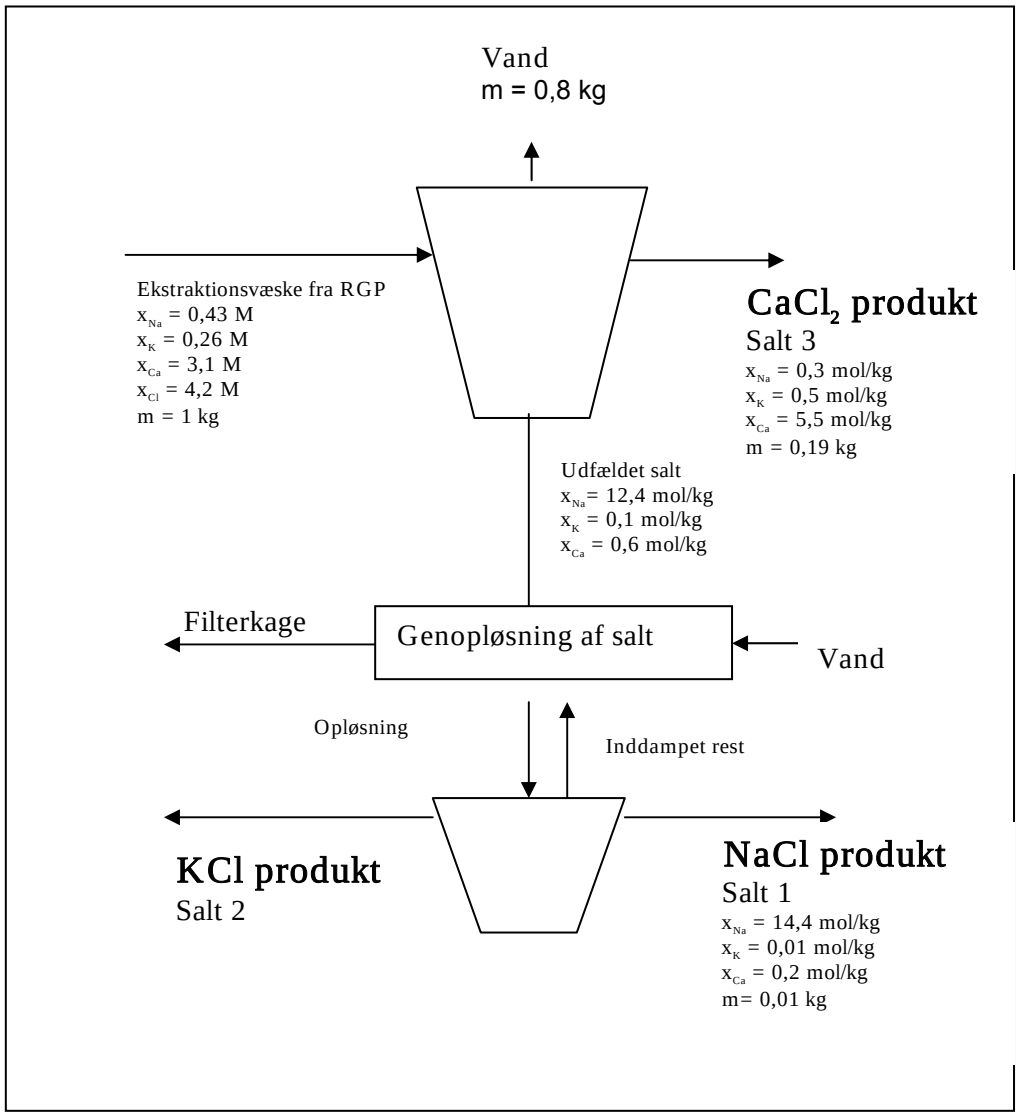
På baggrund af de viste resultater vil den mest generelle proces bestå af en inddampning indtil kogepunktet er ca. 140 ^{o}C. Det indikerer en calciumkloridkoncentration på ca. 60 %. Undervejs vil det være nødvendigt at tage bundfældet salt, kalk og eventuelt gips ud af hensyn til varmeovergangen i inddamperen.

Den væske, der er tilbage med kogepunkt på 140 ^{o}C, filtreres varm og ved afkøling vil en blanding af $CaCl_2$, NaCl og KCl fælde ud som et $CaCl_2$ produkt med mindre end 10 % forureninger af NaCl og KCl.

Det stof, der er udfældet undervejs vil bestå af en blanding af salt, kalk, uopløste stoffer, der har passeret centrifugen, eventuelt gips o.s.v. Dette salt må renses inden det giver et tilfredsstillende produkt. Første rensetrin består i en opløsning af vandopløselige salt i varmt vand. Denne opløsning filtreres, så kalk, gisp og opslemmede partikler fjernes. Denne filterkage kan føres tilbage til RGA strømmen og hermed recycles ind i WAPRO processen.

Den resterende opløsning inddampes igen hvorved et NaCl rigt produkt fælder ud. Ved afkøling fælder et KCl rigt produkt ud. Den resterende væske kan inddampes i yderligere sammen med næste hold rekrystalliserede salt.

Procesdiagrammet for denne proces er skitseret i figur 13. Tallene i figuren er opnået fra Halosep, AF og vil variere med sammensætningen af det røggasrensningsprodukt, der kommer ind i processen.



Figur 13: *Proces diagram for fremstilling af saltprodukter af ekstraktionsvæske fra RGA.*

9 Samlet teknisk, økonomisk og miljømæssig vurdering

Mængden af PVC affald fra to kommuners genbrugsstationer er blevet bestemt og PVC affaldet er blevet karakteriseret for indhold af andre emner end PVC samt analyseret for indhold af bly og cadmium. Det viste sig vanskeligt at skaffe bare nogenlunde rene fraktioner af PVC affald, fordi en del kommuner har den praksis, at affald til deponi blandes i større containere for at spare plads på indsamlingsstederne. I nogle kommuner var PVC derfor blandet med byggeaffald og dette giver en yderligere udgift til sortering, når det skal nyttiggøres.

PVC affaldet, der blev brugt i dette studie, blev indsamlet i containere, der var specielt opstillet til PVC affald og med en tydelig mærkning og en forklaring på hvilken typen af affald, der var ønsket i containeren. Dette affald viste sig også at indeholde betydelige mængder af andre materialer end PVC. Dette var især letplast og metaller, men også træ, husholdningsaffald og elektronikaffald gjorde at en bedre sortering/forbehandling er hensigtsmæssig, men ikke nødvendig før affaldet kunne nyttiggøres i WAPRO®. Sorteringen blev foretaget med henblik på at fjerne ikke plastfraktioner, dernæst blev affaldet neddelt til ca. 8 mm blev foretaget med PLASTSEP®, der er standard forbehandlingsmetoden til WAPRO®.

Sorteringen af plastaffaldet ved PLASTSEP® processen resulterede i at henholdsvis 65 % og 75 % af affaldet blev sorteret ud som PVC, der kunne videre behandles i WAPRO®.

Det har ikke været muligt at få en præcis registrering for mængderne af PVC affald, der køres til deponi fra de undersøgte kommuner, fordi affaldet registreres sammen med andet affald til deponi. Mængde, sammensætning og tiden for at fylde en container er blevet anvendt til at vurdere mængden af PVC affald pr. indbygger. Hvis disse erfaringstal bruges til at beregne indsamlingspotentialet i hele Danmark findes 7.300 tons PVC/år med tallene fra Tølløse som grundlag og 8.000 tons PVC/år med tallene fra Holbæk som grundlag. Sammen med disse PVC mængder vil der fremkomme 25-35 % andet affald især letplast. Det estimeres, at der i alt vil kunne indsamles mellem 10.000 og 12.500 tons PVC-affald i Danmark. Hertil kommer den mængde af PVC-affald, der indsamles ved WUPPI ordningen (1.500 – 2.000 tons pr. år). Desuden ender noget PVC i forbrændingen, men det skønnes at det vil være noget vanskeligere at få indsamlet større mængder af dette PVC affald til nyttiggørelse i WAPRO®.

Det sorterede PVC affald kan pyrolyseres og mellemprodukterne kan behandles i WAPRO®. Produkterne fra behandling af det kommunalt indsamlede PVC affald har samme kvalitet som tidligere set ved behandling af andet PVC affald (kabel og bygnings PVC affald).

Det kommunalt indsamlede affald består af en stor del tagplader og blødgjort PVC (f.eks. badebassiner, legetøj og regntøj). Ved pyrolysen indvindes mere

olie end ved kabel affald til gengæld indvindes der ikke så meget salt og koks. Desuden er lavet et pyrolyse i pilotskala, hvor en blanding af den kommunalt indsamlede PVC blev pyrolyseret sammen med kabel PVC. Denne blanding blev ligeledes nyttiggjort uden procestekniske problemer.

Såvel tagplader som det blødgjorte PVC affald indeholder cadmium. Hvis de koncentrationer af tungmetallerne, som er fundet i dette studie er repræsentative for alt indsamlet kommunalt affald, så bliver der årligt deponeret ca. 500 kg cadmium og ca. 10 tons bly sammen med PVC affaldet. Det skønnes, at det indsamlede PVC affald delvist er af nyere dato, og det er sandsynligt, at bly og cadmiumindholdene kan være op til 10 gange højere i ældre PVC-affald. WAPRO® koncentrerer disse tungmetaller i en filterkage, der kan køres til særskilt deponi eller behandling.

Det er vist, at de økonomiske omkostninger ved behandling af kommunalt indsamlet PVC affald kan begrænses til et specielt fældningstrin til cadmium fra saltproduktet. Forbehandling og reaktionsbetingelser kan foregå på samme måde som for kabel PVC eller byggeaffalds PVC. Det er også vist at PVC-affaldet kan blandes med andre typer PVC-affald inden reaktionen.

Det indvundne salt produkt kan indeholder andre ioner end calcium, især hvis en uren kalk kilde er brugt til at reagere med den dannede saltsyre fra PVC. Det er vist, at det er muligt at fremstille calciumklorid, natriumklorid og kaliumklorid til renheder, der svarer til kommercielle produkter og derved kan værdien af saltprodukter øges.

Behandlingsprisen for kommunalt indsamlet PVC affald vil samlet set være den samme som for andet PVC affald, såfremt der kan skaffes affald af samme renhed, som det, der er brugt her i studiet. Vedrørende behandlingsomkostninger for PVC affald henvises til ref. 3.

Beregninger i de Miljø og Samfundsmæssige analyser har vist, at behandlingsprisen for kommunalt indsamlet PVC ved sambehandling i af plastaffald med røggasaffald fra forbrændingsanlæg med Watech processer vil udgøre 800 – 900 kr./ton.

10 Konklusion

Kommunalt indsamlet PVC affald fra to genbrugspladser i henholdsvis Tølløse og Holbæk kommuner er analyseret for indhold af PVC og tungmetaller.

Landkommunen Tølløse leverer betydeligt mere stift PVC, hovedsagelig fra tagplader mens Holbæk kommune overvejende indsamler blødt PVC.

Indholdet af PVC i "PVC affald" blev fundet til 65 % i Holbæk og 75 % i Tølløse, d.v.s. målt i forhold til den totale plastaffalds mængde. Den del, der ikke var PVC var hovedsagelig letplast, men der blev også fundet en del metaller, træ, husholdningsaffald og elektronikaffald.

Koncentrationen af tungmetaller i PVC delen var 1100-2300 ppm bly og 60-100 ppm cadmium. Det skal bemærkes, at der er i kabelaffald tidligere fundet 10 gange så høje blyindhold.

PVC affaldet med op til 80 % tagplader og ned til 10 % tagplader blev pyrolyseret i laboratoriet. WAPRO® processen er stabil overfor disse udsving i sammensætningen. Fra behandlingen i WAPRO® processen fremkom dog mere organisk kondensat (olie) end behandling af samme mængde kabel affald ville have gjort.

Koksen kunne udvaskes til en bly koncentration under 1000 ppm og cadmium under 10 ppm i et 150 kg pilot skala forsøg. Disse metalindhold i koksproduktet er under de succeskriterier for tungmetalindhold, der tidligere er fastlagt.

Calciumklorid produktet kunne fremstilles uden bly (< 0,1 ppm Pb) og cadmium (< 0,05 ppm Cd). I laboratorie forsøgene med 0,5 kg PVC var det nødvendigt at bruge en sulfid polering ved pH 9,5 for at bringe cadmium koncentrationen ned under 0,05 ppm. Disse indhold i saltproduktet er ligeledes under de succeskriterier for tungmetalindhold, der tidligere er fastlagt.

En effektiv renseproces til det organiske kondensat er udviklet således at WAPRO® kan levere organiske oliekondensater med et klorid indholdet på under 2-10 g/kg og dioxin-indholdet samtidig blev målt til 3-11 ng I-TEQ/kg.

Samlet vurderes det kommunalt indsamlede PVC affald til at være en meget inhomogen type plast affald, der indeholder en del affald, der kan sorteres fra.

PLASTSEP® processen er i stand til at frasortere den del af affaldet, der er enten brændbart eller foreligger som rene metaller. I det undersøgte affald udgjorde denne mængde 25-35 vægt-% af affaldet. De rene metaller kan sendes til genbrug eller recycling via eksisterende ordninger og letplasten kan søges genbrugt ved mekanisk recycling eller til energiudnyttelse.

På grundlag af de indsamlede mængder fra Tølløse og Holbæk kommuner vil et estimat for indsamlingspotentialet for hele Danmark være 10.000-12.500

tons ”Indsamlet PVC affald” eller ca. 7.300-8.000 tons rent PVC affald/år. Dette affald vil samlet indeholde ca. 20 tons bly og 1 tons cadmium, som kan koncentreres i tungmetal filterkagen i WAPRO®.

Det konkluderes, at det kommunalt indsamlede PVC affald vil kunne behandles med samme omkostningsniveau som andet undersøgt PVC affald.

En række forsøg er lavet med adskillelse af blandet salt, der er fremkommet fra Halosep stabilisering af røggasrensningsprodukter (RGA). Dette har simuleret virkningen af at bruge en uren kalkkilde i WAPRO®. Der er lavet forsøg med en calciumrig væske fra RGA fra Amagerforbrændings (AF) (sur stabilisering), en mindre calciumrig væske fra ekstraktion af RGA fra Amagerforbrændings (AF) (alkalisk stabilisering) og en væske, der havde højere natrium og kalium koncentration end calcium koncentration fra RGA fra Vestforbrænding (VF) (alkalisk stabilisering).

Det er undersøgt om natrium, kalium og calcium kan adskilles i en enkel saltseparationsproces, således at der kan laves produkter med specifikationer, som svarer til kommercielt tilgængelige salt produkter.

Det er vist, at det er muligt at fremstille tre saltprodukter, der var rige på henholdsvis natrium, kalium og calcium med RGA fra AF, (HCl stabiliseret) og med RGA fra VF, (alkalisk stabilisering).

Med RGA fra AF, (sur stabilisering) kunne NaCl fremstilles med mere end 90 % renhed. KCl kunne ikke isoleres i dette tilfælde, men endte i $CaCl_2$ produktet. Sammensætningen af $CaCl_2$-produktet var på trods heraf tæt på de kommercielle specifikationer for vejsalt.

Med RGA fra VF, (Alkalisk stabilisering) kunne KCl fremstilles mere end 90 % ren.

Med RGA fra AF, (Alkalisk stabilisering) kunne natrium og kalium ikke separeres. Det blev dog vist, at det skyldtes opløst SO_4^{2-}. Ved en HCl stabilisering vil det opløste calcium fra $CaCO_3$ undertrykke sulfatet, der vil blive i RGA som gips.

Behandlingsprisen for kommunalt indsamlet PVC affald vil samlet set være den samme som for andet PVC affald, såfremt der kan skaffes affald af samme renhed, som det, der er brugt her i studiet. Vedrørende behandlingsomkostninger for PVC affald henvises til ref. 3.

Beregninger i de Miljø og Samfundsmæssige analyser har vist, at behandlingsprisen for kommunalt indsamlet PVC ved sambehandling i af plastaffald med røggasaffald fra forbrændingsanlæg med Watech processer vil udgøre 800 – 900 kr/ton.

11 Referencer:

Ref.1.
PVC Recovery Options, Concept for Environmental and Economic System Analysis", Vinyl 2010

Ref.2
Miljøprojekt nr. 851, 2003. Tungmetaller i affald.- guideog idékatalog til sortering af affald. Miljøstyrelsen 2003

Ref.3
Pilotanlæg for behandling af PVC affald (Watech processen). Erik Rasmussen Miljøstyrelsen 2000. MST projekt nr. M3281