

**RE:**

**SOURCE**

Slutrapport för projekt

---

# Omvandling av asbestcement till förädlade restprodukter - fortsättning

---

Projektperiod: Juli 2018 till december 2020  
Projektnummer: 44202-2

Med stöd från

**VINNOVA**  
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

**FORMAS** 

**Strategiska  
innovations-  
program**

## Omvandling av asbestcement till förädlade restprodukter - fortsättning

## Destruction of asbestos cement and refining process of residue for recycling - continuation

Titel på projektet – svenska <b>Omvandling av asbestcement till förädlade restprodukter - fortsättning</b>
Titel på projektet – engelska <b>Destruction of asbestos cement and refining process of residue for recycling - continuation</b>
Universitet/högskola/företag <b>RISE CBI Betonginstitutet</b>
Adress <b>Drottning Kristinas väg 26</b>
Namn på projektledare <b>Lars Kraft</b>
Namn på ev övriga projektdeltagare <b>Rikard Högberg, Barbara Ekström, Christopher De Flon, Rickard Cervin, Otto During, Roger Andersson, Tim Smith</b>
Nyckelord: 5-7 st <b>Asbestcement, förbränning, restprodukter, högtemperaturugn, arbetsmiljö, ämnesanalys, svepeletronmikroskop</b>

## Förord

Detta arbete är det tredje projektet och det andra forskningsprojektet som RISE AB och INASCO Asbestos Converting AB tillsammans har genomfört. Målsättningen med projektet var att visa på möjligheten att bygga upp en fungerande industriell återvinningsprocess av deponerat asbestavfall till säljbara mineraler. Återvinningen skall ske genom insamling, rengöring, ämneskontroll, förbränning, malning, separation, sortering och förädling av materialet.

Men många svårigheter har utmanat projektet, framför att när det gäller tekniska svårigheter, framför allt att bygga upp ett arbetsmiljösäkert provningslaboratorium och att finna en metod att i restprodukten separera ingående mineral från varandra. En annan svårighet har varit att finna rätt arbetskraft för det potentiellt farliga arbetet med asbesthanteringen. Här har resurser delvis fattats. Dock har INASCO tagit ett mycket stort ansvar här och efter bästa förmåga genomfört nästan allt laboratoriearbete på egen hand.

Vi vill tacka Energimyndigheten som har finansierat detta hälsomässigt och vetenskapligt riskfyllda projekt har visat gott tålamod och i slutet även förlängt projekttiden för att ytterligare ett försök avseende separation skulle hinna genomföras. Det har dock inte genomförts, även om INASCO nu har kommit en bit på vägen för förberedelserna av ett sådant försök. Men nu är detta projekt slut och INASCO behöver därför finna nya projekt för genomförandet av fortsatta försök. Tack även till RISE som gav mig förtroendet att ta hand om detta projekt och sålunda också bidragit till genomförandet.

Ett stort tack riktas till Rikard Cervin och hans medarbetare på SÖRAB som gjort det möjligt att genomföra projektet på en av deras återvinningsstationer. Utan deras deltagande hade inte dessa försök med återvinning av asbest kunna genomföras. För övrigt har även Christopher de Flon, Renova, Roger Andersson på SWERIM och Tim Smith på Laser Machining Inc. AB bidragit med entusiasm och idéer på våra totalt elva projektmöten vilket vi är tacksamma för.

Lars Kraft, Uppsala, 2020-12-22

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	4
Summary .....	5
Inledning och bakgrund .....	7
Asbestavfall, state-of-the art .....	7
Asbest i forntiden .....	8
Asbest idag .....	8
Vad är asbest? .....	8
Skadliga asbestfibrer .....	8
Tidigare forskning .....	9
Projektets huvudidéer .....	10
Projektets mål .....	11
Genomförande .....	11
Experiment .....	11
Asbestlaboratorium .....	13
Frigörande och ämnesanalys av restprodukt .....	14
Resultat och diskussion .....	14
Sammanfattning av resultat från delrapporter 1–10 .....	14
Sammanfattande diskussion .....	16
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg .....	18
Publikationslista .....	19
Projektkommunikation .....	19
Referenser .....	19
Bilagor .....	21

## Sammanfattning

Denna rapport redogör för fortsatta försök att omvandla asbestcement till nya säljbara produkter. Projektet är en fortsättning från ett tidigare mindre projekt med samma namn. I det föregående projektet konstaterades att mineralerna Spinell, Perovskit och Grossit bildades i förhållandevis stor utsträckning. Det bedömdes att separation av dessa mineral från varandra för försäljning kunde göra en industriell återvinningsprocess av deponerad asbest lönsam. I detta projekt har mycket arbete lagts ned på att validera själva omvandlingsprocessen och bekräfta att mineralen Spinell och Perovskit bildas. Projektet har dock under resans gång haft problem med att få förbränningsprocessen repeterbar. Det har framför allt berott på trånga lokaler och brist på tekniskt kompetent personal då inte många aktörer eller arbetare vill ta sig an arbete med asbest. Med en översikt av projektets resultat kan man dock konstatera att processen är validerad för bildning av mineralerna Spinell och Perovskit.

Projektet har också i stor utsträckning arbetat med försök att separera ingående material i restprodukten. Man har undersökt de fysikaliska metoderna dels att separera utifrån ingående minerals densitet, dels att separera med hjälp av magnetiska fält. Genom malning, centrifugering och sedimentation har man försökt skilja Spinell och Perovskit med högre densitet från övrigt material i restprodukten. Det har inte gått, varken i storleksordning av mm storlek eller i mikrometerstorlek. När det gäller separation i magnetiskt fält har en viss effekt av sortering av järnmineral observerats, dock i begränsad omfattning.

I de många förbränningarna som genomförts har man sett att järn har en förmåga att ansamlas i små kulor i materialet. Man kan men andra ord även utvinna järn ur restprodukten, förutom Spinell och Perovskit – förutsatt att de senare verkligen går att utvinna med andra metoder.

Det finns två andra metoder att utvinna och anrika material, Flotation och Urlakning. Dessa metoder för separation har inte undersökts i projektet. Däremot har ytterligare en metod, en virvelvindsteknik, diskuterats. Förberedelser för genomförande av ett sådant försök gjordes, men försöken har inte hunnit genomföras.

I förbränningarna används vanligt dyr  $\text{Na}_2\text{O}$  som ett flussmedel. Försök med andra Na-salter som flussmedel har visat att  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  skulle kunna ersätta  $\text{Na}_2\text{O}$  då både Spinell och Perovskit bildades även med dinatriumkarbonat.

När det gäller projektets samhällliga och kommersiella nytta är idén fortfarande mycket stark, men projektet har inte lyckats ta återvinningsprocessen nämnvärt närmare ett förverkligande. Men alla idéer är långt ifrån prövade ännu.

För att nyttiggöra motgångarna i detta projekt behövs ett nytt mer genomtänkt projekt som korrekt identifierar de hinder som måste övervinnas och vilken väg som skall väljas för att nå framgång.

## Summary

This report describes continued attempts to convert asbestos cement into new salable products. The project is a continuation of a previous smaller project with the same name. In the previous project, it was found that the minerals Spinel, Perovskit and Grossite were formed to a relatively large extent. It was considered that separation of these minerals from each other for sale could make an industrial recycling process of deposited asbestos profitable. In this project, a lot of work has been put into validating the conversion process itself and confirming that the mineral Spinel and Perovskit are formed. During the process, however, the project has had problems making the combustion process repeatable. This has primarily been due to cramped premises and a shortage of technically competent staff as not many players or workers want to take on work with asbestos. With an overview of the project's results, however, it can be stated that the process has been validated for the formation of the minerals Spinel and Perovskit. The project has also to a large extent worked with attempts to separate the constituents in the residual product. The physical separation methods have been investigated, that is to separate based on the density of constituent minerals, or to separate with the help of magnetic fields. Through grinding, centrifugation and sedimentation, attempts have been made to separate Spinel and Perovskit with higher density from other material in the residual product. It has not worked, neither in the order of mm size nor in micrometer size. Regarding separation in the magnetic field, a certain effect of sorting of iron minerals has been observed, but to a limited extent. In the many incinerations that have been carried out, it has been seen that iron has an ability to accumulate in small balls in the material. In other words, you can also extract iron from the residual product, in addition to Spinel and Perovskit – that is only if the latter can be extracted with other methods. There are two other methods of extracting and enriching materials, Flotation and Leaching. These separation methods have not been investigated in the project. However, another method, a whirlwind technique, has been discussed. Preparations for the implementation of such an experiment were made, but the experiments have not been completed. In the combustion, expensive  $\text{Na}_2\text{O}$  is usually used as a flux. Experiments with other Na salts as fluxes have shown that  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  could replace  $\text{Na}_2\text{O}$  as both Spinel and Perovskit were also formed using disodium carbonate. Regarding the social and commercial benefits of the project, the idea is still very strong, but the project has not succeeded in taking the recycling process significantly closer to a realization. But all ideas are far from tried yet. To take advantage of the setbacks in this project, a new, more thoughtful project is needed that correctly identifies the obstacles that must be overcome and the path to be taken to achieve such success.



BILD 1. Ett av de keramiska rören till rörugnen med ett fastbränt prov inuti röret. Bilden är tagen utanför asbestlabbet på SÖRABs återvinningsstation.

## Inledning och bakgrund

Det var när Christopher de Flon, på återvinningsföretaget RENOVA i Göteborg, till INASCO ställde den specifika frågan "Kan man omvandla asbest till något användbart?" som ett utvecklingssamarbete tog fart. Strax efter tog INASCO kontakt med dåvarande RISE CBI Betonginstitutet (CBI) och RISE YKM (Ytor Kemi och Material, f d Ytkemiska Institutet, YKI). Två skilda inledande konsultuppdrag gavs till dessa enheter för att undersöka ämnesinnehållet i en restprodukt från förbränd asbestcement. Det konstaterades i båda undersökningarna att ingen asbest förekom i restprodukten och RISE CBI Betonginstitutet visade också att huvuddelen av restprodukten bestod av mineralerna Spinell ( $MgAl_2O_4$ ), Perovskit ( $CaTiO_3$ ) och Grossit ( $CaAl_4O_7$ ).

Efter detta tog INASCO kontakt med CBI för samarbete och en första ansökan skickades in till utlysning på RE:Source. Ansökan godkändes och ett första projekt genomfördes från juni 2017 – dec 2017. I det projektet inköptes en rörugn och tre förbränningar och analyser av prov hann genomföras under den korta perioden. Försöken bekräftade bildning av Spinell, Perovskit och Grossit. Se slutrapport från det projektet [1]. **REF**

För att kunna förverkliga en industriell process måste dels dessa mineral kunna separeras från varandra i restprodukten, dels måste hela processen vara lönsam vilket betyder att process-, energi- och personalkostnader inte för överstiga intäkterna för omhändertagandet av asbestavfall och från försäljning av de framtagna säljbara mineralerna. För att ytterligare undersöka denna möjlighet gjordes en ny ansökan till Re:Source som också den beviljades. Denna rapport redogör för resultaten i detta andra forskningsprojekt. Projektets syfte var att alltså att ytterligare undersöka möjligheten till att destruera och omvandla asbest från ett miljöfarligt avfall till säljbara mineral. Perovskitstrukturer används till exempel i solceller [2, 3], Spinell i eldfasta produkter [4, 5] och Grossit är ett långsamt hydrauliskt cement [6].

### Asbestavfall, state-of-the art

Det mesta av all asbest som tas om hand om läggs idag på Deponi. Men försök görs för att återanvända materialet på olika sätt. En rapport från nederländska Bureau KLB [7] bekostad av departementet för infrastruktur och vattenförsörjning, gjorde en genomgång av olika metoder för destruering av asbest som utvecklats. Förutom de redan nämnda metoderna redogör de även för den hittills begränsat utvecklade metoden att bryta ned asbest biologiskt. De skriver också om att återanvändning av asbestkontaminerat stål i princip redan är en metod som är redo att implementeras. De nämner dock ingenting om någon metod som kan ge attraktiva och säljbara restprodukter, även om de nämner att högtemperaturuppvärmning av asbestcement baserade material kan ha svagt hydrauliska egenskaper såsom cement. De har heller inte med det arbete som genomförts i Italien i sina referenser.



## Asbest i forntiden

Asbest finns naturligt i stora kvantiteter på varje kontinent runt om i världen. Människan har använt sig av asbest och dess fibrer sedan urminnes tid, bl.a. har arkeologer funnit tecken på användning som veckor i ljus och lampor för över 6000 år sedan. Egyptierna mumifierade sina faraoner i asbesttyg för att skydda kropparna mot nedbrytning. Urinnevånare i Finland använde asbestfibrer som förstärkning i lerkärl. Även grekerna och romarna använde sig av asbestfibrer i tyger, bl a i servetter som kunde återvinnas genom att ”tvättas” i eld. Det finns gamla dokument som beskriver hur man använde sig av asbest. Dessutom dokumenterade de hur skadliga dessa fibrer kunde vara att inandas för arbetare i stenbrotten.

## Asbest idag

Asbestcement har använts till allt möjligt under de senaste hundra åren och användningsområdena ökade ända fram till 1970-talet då asbest började förbjudas runt om i världen pga. de många dödsfallen från asbestarbetare som då uppmärksammades. Enligt beräkningar hade man fram till 2003 i värden tillsammans använt sig av ca 181 miljoner ton asbest [8]. Efter det har tillverkningen dessutom fortsatt i många länder som Ryssland, Kina och Brasilien (och i Kanada<sup>1</sup> t o m 2012). År 2013 var världsproduktionen hela 1,94 Mton. Förr eller senare hamnat sedan materialet på deponi. Som exempel kan nämnas att över 15 Mton asbest, varav 90 % utgörs av asbestcement, ligger på deponi bara i Polen [9]. I Italien är en skattad siffra 30 Mton asbestavfall [10].

## Vad är asbest?

Asbest används som en materialterm för att beskriva en samling kristallina fibrösa silikatmineral, inom geologin klassificerade som serpentiner.

Bland dessa finns dels den vanligaste typen av asbest, Krysofil, som står för ca 95 % av all användning av asbest. Mineralen är en vackert silkesglänsande, fintrådig variant av serpentin, som ofta bildar ådror i vanlig serpentin. Andra namn är Reichenstein och Kadapa. Övriga asbestmineral är amfiboler såsom Krokidolit (fibrös Riebekit), Amosit, Tremolit och Antofyllit. Se TABELL 1.

## Skadliga asbestfibrer

Varje år dör 90 000 människor på grund av asbestrelaterade sjukdomar [11]. Asbest har hotat människors hälsa under lång tid. Därför är återanvändning och konvertering av asbest av vital betydelse ur miljö- och hälsoperspektiv.

Cancer orsakad av asbestfibrer beror av diameter, längd och förhållandet däremellan. Forskning har visat att asbestfibrer med diameter < 0,25 och med längder på över 8 µm orsakar tumörer oftare än fibrer med lägre längd/diameter förhållande.

---

<sup>1</sup> Kanada har ännu inte förbjudit användning av asbest i produkter, men väntas förbjuda asbest helt under 2018.

TABELL 1. Tabell över förekommande asbestmineral.

Asbestmineral	Kemisk formel	Kristallstruktur
Krysotil* (vit asbest)	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	Monoklin
Krokidolit (blå asbest)	$Na_2(Fe^{2+}_3Fe^{3+}_2)Si_8O_{22}(OH)_2$	Monoklin, prismatisk
Amosite (brun asbest)	$Fe^{2+}_7Si_8O_{22}(OH)_2$	Monoklin, prismatisk
Tremolit	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Monoklin, prismatisk
Antofyllite	$Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$	Ortorombisk/dipyramidal
Aktinolit <sup>a</sup>	$Ca_2(Mg, Fe)_5(Si_8O_{22})(OH)_2$	Ortorombisk/dipyramidal

\*) Magnesium kan bli utbytt av t ex Järn (Fe) eller andra katjoner. Likaså förekommer substitution av OH joner med flourid, oxid, eller klorid.

<sup>a</sup>) Egentligen en variant av Antofyllit.

TABELL 2 visar en sammanställning på uppmätta fiberstorlekar på tre olika sorters asbest, uppmätta dels vid gruvor, dels vid fabriker [12]. I kolumnen längst till höger anges inom parentes det antal % fibrer som har en längd/diameter förhållande > 40. Asbest med en stor andel fibrer med ett högt förhållande på längd/diameter har en hög carcinogenitet. Krokidolit, blå asbest, är generellt betraktad som den farligaste asbestsorten.

TABELL 2. Medianstorlekar och median på längd/diameterkvot av asbestfibrer\*.

Asbest	Mediandiameter (µm)	Medianlängd (µm)	Kvot längd/diameter (median)
Krysotil	0,05 - 0,06	0,34 - 0,55	6,3 - 8,0 (2,5 - 4,7)
Krokidolit	0,07 - 0,09	0,95 - 1,16	11,7 - 13,2 (9,6 - 11,5)
Amosite	0,20 - 0,26	1,83 - 2,53	8,4 - 8,8 (2,9 - 5,1)

### Tidigare forskning

Att omvandla eller förstöra miljöfarlig asbest är ny unik idé. Man har på många platser runt om i världen forskat på detta. På samma sätt är det inte heller något nytt att man tänker sig att kunna omvandla den hälsofarliga fibrösa asbesten materialet till ofarligt material som sedan kan användas som sekundärt material i olika tillverkningsprocesser. I den vetenskapliga litteraturen ges olika exempel på destruering av miljöfarlig asbest. I de flesta fall föreslås även användning av restmaterialet i olika typer av material, huvudsakligen byggnadsmaterial. Här följer några exempel.

Från Italien finner man ett stort antal artiklar som handlar om destruering och neutralisering av asbestavfall. Redan 2006 undersöker Leonelli et al. neutralisering av asbest med termokemisk behandling via mikrovågor för att erhålla magnesiumoxid ämnen såsom forsterit ( $Mg_2SiO_4$ ) att använda som sekundär råvara i bl.a. kakel och klinker. Asbestcementen upphettas som mest till ca 1200 °C. De menar i sina slutsatser att metoden är konkurrenskraftig i fråga om kostnader och energiåtgång och den bildade forsteriten fungerade framgångsrikt som sekundär råvara i kakel och golvklinker. Små tillsatser vid tillverkning av porslin fungerade också väl.

Den vanligaste metoden är dock destruering av asbesten i förbränningsugn vid hög temperatur. Gualtieri et al. [13-15] och Viani och Gualtieri [16, 17] och Viani et al. [18] har genomfört en del undersökningar på smältor från asbest vid 1200 °C och

undersökt olika typer av tillämpningar av restprodukten, bl.a. som restmaterial i betong [13], i olika industriella tillämpningar t.ex. tegel, tegelstenar, glasull, frittör, golvklinker samt även som grönt och rosa pigment [14], som tillsats i geopolymer [15], som nytt calcium sulfoaluminat cementklinker [16] och som råmaterial för tillverkning av magnesiumfosfat-cement [17]. I de senare arbetena destruerades asbesten i temperaturer upp till 1300 °C. Dock kunde ingen lönsamhet för processerna skapas.

Liknande experiment har utförts i Polen av Kusiorowski et al. [9, 19] där restmaterialet framgångsrikt användes i upp till 10 vol% som råvara i väggklinker [9] och i sintrade keramer.

Två andra destrueringsmetoder som nämns är dels krossning och nedmalning i högenergetisk kvarn [10], dels termokemisk nedbrytning med återanvänd svavelsyra [20]. I det första fallet kan restmaterialet användas produkt för bindemedel vid stabilisering av lera [21]. I det andra fallet bildas CaSO<sub>4</sub> som kan återanvändas, förutsatt att den är tillräckligt ren.

En rapport från nederländska Bureau KLB [7] bekostad av departementet för infrastruktur och vattenförsörjning gjorde en genomgång av olika metoder för destruering av asbest som utvecklats. Förutom de resan nämnda metoderna redogör de även en del för den hittills begränsat utvecklade metoden att bryta ned asbest biologiskt. De nämner bl.a. att återanvändning av asbestkontaminerat stål i princip redan är en metod som är redo att implementeras. De nämner dock ingenting om någon metod som kan ge attraktiva och säljbara restprodukter, även om de nämner att högttemperaturuppvärmning av asbestcement baserade material kan ha svagt hydrauliska egenskaper såsom cement.

Det finns även andra exempel i litteraturen om återvinning av asbestmaterial, bl.a. från Tyskland och Japan.

Dessa exempel visar på varierande och stor potential för återanvändning av det omvandlade materialet. Asbestcementen har med andra ord en god potential att t.o.m. bli en attraktiv råvara. Man kan det bli lönsamt?

### Projektets huvudidéer

Projektets idé är som nämnts att arbeta fram en process där mineralen Spinell, Perovskit och Grossit skall kunna separeras från varandra i restprodukten och förädlas till säljbara mineral, samt att utarbeta en potentiellt lönsam industriell process.

Det sistnämnda möjliggörs genom att utveckla en energieffektiv laserförbränning av asbestavfallet. Den möjligheten är dock något som projektet inte har hunnit undersöka. (Dock har två ansökningar för finansiering av ett sådant projekt angående utveckling av sådan teknik utarbetas vid sidan om projektet, dock utan beviljande.) Den vanligaste metoden för destruering av asbesten är dock förbränning i ugn vid hög temperatur vilket innebär stora energiförluster. Men genom utveckling av förbränning och sintring med laser [22] kan energiförlusterna minskas då laserstrålen också är en energi av hög kvalitet. INASCO Asbestos Converting AB har tillsammans med Laser Machining Inc LMI AB (35 år inom fiberlaserverksamheten) föreslagit en teoretisk metod för hur man omvandlar asbest till användbara mineraler med en betydligt lägre förbrukning av energi. Tekniken är redan etablerad för sintring av andra mineraler [23].

## Projektets mål

Målet med föreliggande projekt är att kunna validera att förädlad material från asbestavfall produceras i en egen utvecklad process. Processen skall kunna visa på potentiell vinst, dels genom försäljning av de förädlade restprodukterna, dels genom en energieffektiv laserförbränning av avfallet. Ett lyckat genomförande av projektet kommer visa på stor potential av resurshushållning och i förlängningen potential att bidra till ett förbättrat miljötänkande hos både privatpersoner och organisationer.

I beslutet från Energimyndigheten daterat 2018-06-04 upprepas de mål som gavs i ansökan, nämligen att:

1. Optimera och bestämma möjlig mängd med tillräckligt bra kvalitet av Spinell, Perovskit och Grossit som kan utvinnas ur asbesten.
2. Fastställa mängderna för de olika ämnen som bildas vid förbränningen. Detta sker för olika former av asbest.
3. Fastställa hur mycket av de ingående restprodukterna som försvinner i separationsprocessen.
4. Ta fram runt ett kilo av varje material som kan utgöra ett säljprov.
5. Ta fram en kalkyl för den totala energianvändningen för att omvandla ett ton asbestcement till produkter genom hela värdekedjan (transporter, krossning, malning, blandning, förbränning, malning av restprodukter, separationsprocess och förpackning).
6. Fastställa säljbara mängder av respektive produkt.

Tyvärr måste det konstateras att dessa mål var alldeles för högt ställda och att inget av dessa mål har uppnåtts. Faktum är att en teknik som gör det möjligt att separera de ingående materialen i restprodukten inte hade tagits fram innan ansökan. En grov underskattning av svårigheten att separera ingående material gjordes, främst i ansökan, men även i beslutet.

Projektet har därför nästan helt och hållet ägnat sig åt att finna en metod för att separera ingående mineral i restprodukten för att om möjligt uppfylla något av ovanstående mål. Att bestämma mängderna för varje ämne, enligt punkt två ovan, gjordes dock översiktligt redan i föregående projekt när det gäller mängden Spinell[1]. I de prover som då analyserades bedömdes halten vara så hög som 20 %.

## Genomförande

Rapporten redovisar 10 st bilagor av vilka de nio första numrerade 1-9 redovisar både genomförandet och de resultat som projektet fått fram.

## Experiment

Projektet har fått ägna sig mycket åt att ordna reservdelar till rörugnen som inköptes redan i föregående projekt. BILD 1 i början av denna rapport illustrerar ett problem som inträffade ett par gånger i projektets inledning. Provet hade här kokat över i uppvärmningsprocessen och därför limmat fast degel och prov mitt i röret. Detta gör att röret blir obrukbart för nya experiment och ett nytt arbetsrör måste införskaffas.

Röret består av tät sintrad aluminiumoxid. Eftersom nya rör från originaltillverkaren Carbolite kostar 20 000 SEK vände vi oss till tillverkare i Kina istället. En annan gång gick röret sönder i mitten. Se BILD 2 nedan.

Två ggr beställdes rör från två olika kinesiska tillverkare till en kostnad endast ~ 20 % av priset från Carbolite. Det visade sig dock att de rör som vi fick från den första tillverkaren var dels för små och dels ganska porösa, vilket vi tror orsakar migration av  $Al^{3+}$  joner från röret in i provet. Det samma gäller för övrigt de deglar som vi beställde. Även sådana beställdes av två ggr av samma tillverkare som av aluminiumoxid rören. Undersökning i SEM visar att migration av  $Al^{3+}$  joner sker i gränsskiktet mellan deglar och prov. Se Delrapport nr 2. När vi inte var nöjda med de första keramiska rören från den första tillverkaren i Kina sökte INASCO reda på en ny tillverkare som gjorde täta och bättre rör. Men även denna gång blev det inte bra. De skickade oss rör som hade en dubbel rörstorlek mot vad vi trodde oss beställt. Det hade skett ett missförstånd. Ytterligare en månad senare (i april 2020) fick vi så till slut de senast använda rören.

När det gäller deglarna har vi nästan endast använt de först skickade deglarna från den första tillverkaren, eftersom de inte var lika hårda och svåra att säga bort från restprodukten som deglarna från den andra tillverkaren. Därför är det på sin plats att redan här påpeka att de höga aluminiumoxidhalterna som observerats i proverna tros bero på migration av  $Al^{3+}$  joner, främst från deglarna.

Deglarna beställdes i två storlekar, dels små i storleken 120 x 35 x 35 mm vilket ger prover på ca 50–60 g i degeln, dels med måtten 10 st stora deglar, avsedda för provning hos SWERIM i Luleå, med höjd på 148 mm, diametern 127 mm och godstjocklek 4,2 mm.

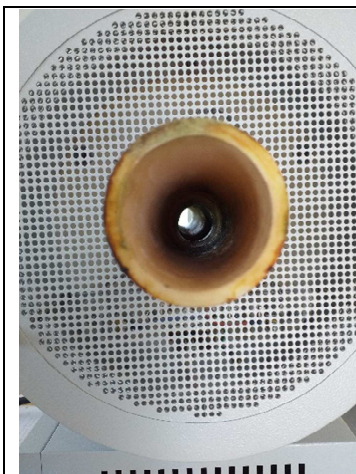


BILD 2. Arbetsrör av på mitten.



BILD 3. 100 st deglar för försök i rörugnen beställdes.



BILD 4. Ankomst av väl förpackade stora deglar.



## Asbestlaboratorium

Av SÖRAB tilläts projektet använda ett mindre hus som finns på återvinningsanläggningen i Löt i Söderhall. Huset har en sammanlagd area på ca 45 m<sup>2</sup>.

Huset har fungerat som raststuga och har ett mindre rum med omklädningsrum och dusch samt ett större rum med kök samt en liten toalett.

De mesta förberedelser för av hanteringen av asbestcement gjordes redan i föregående projekt då en trekammersluss och helmaskutrustning med tryckluftsfiler har inköptes. Trekammerslussen placerades i det mindre rummet där dusch finns, vilket är en stor fördel ur säkerhetsaspekt, då vatten drar till sig luftburna partiklar. I detta projekt inköptes ytterligare utrustning i form av en kvarn och en stor sikt som ensam upptar ca 0,5 m<sup>2</sup> i anspråk. Därför byggdes den innersta kammaren något större med hjälp av träreglar och byggplast. Likväl har proceduren att krossa och mala asbest, att sikta, eventuellt mala igen, väga upp rätt proportioner samt blanda tillsats med asbestcement varit en mycket besvärlig process att genomföra i det trånga utrymmet. BILD 5–10 nedan illustrerar lite av arbetsförhållandena. Det är INASCO som har ansvarat för varje provberedning.



BILD 5. Trekammerslussen sedd från duschen.



BILD 6. Interiör från sluss ett, den yttersta slussen.

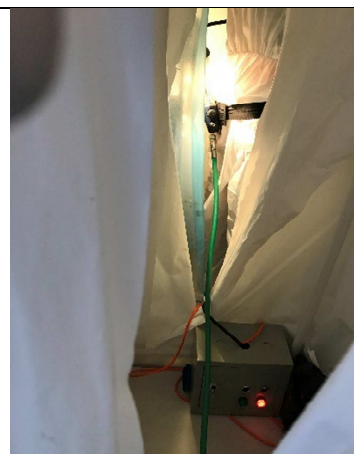


BILD 7. Den andra och den tredje inre kammaren



BILD 8. T v i inre kammaren med kuvös för blandning.



BILD 9. T h i inre kammaren. Pressning över sikten.

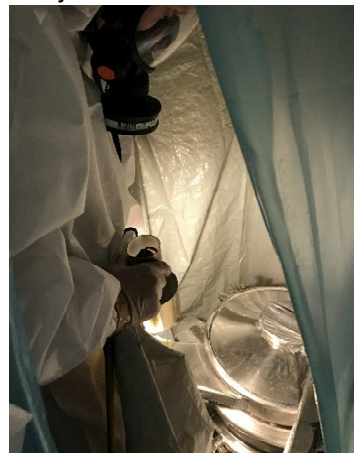


BILD 10. Sikten blottad för arbete med asbestmaterial.

## Frigörande och ämnesanalys av restprodukt

INASCO levererade färdiga deglar till CBI för analys. Innan ämnesanalys kan göras måste restprodukten sågas ut från degeln och därefter torkas. För bestämning kvantitativt av innehållet måste en viss mängd pulver av provet malas ned från vilket ett stickprov tas.

Efter att pulvret malts läggs det på provhållare och placeras i svepelektronmikroskop för analys. Detta beskrivs i bifogade delrapporter och åskådliggörs där med bilder.

## Resultat och diskussion

Som redan nämnts under rubriken ”Projektets mål” har resultaten genomgående varit magra, åtminstone i förhållande till de uppsatta målen. Dock har ämnesanalyser av prover som tillverkats i början och i slutet av projektet visat på förekomst av Spinell och Perovskit. Grossit har däremot oftast inte observerats. Istället bedöms att andra föreningar av Ca-Si-Al har bildats. Inga ämnesanalyser i XRD valdes att utföras, pga. av de problem som har förekommit när det gäller repeterbarheten i de tillverkade proverna. Proverna har helt enkelt skilt sig från varandra i alldeles för stor omfattning för att några säkra vetenskapliga slutsatser blivit möjliga. Se särskilt delrapport 6, men även delrapporter 7,8 och 9.

## Sammanfattning av resultat från delrapporter 1–10

Inledningsvis gjordes ett försök med den inköpta kvarnen för att se om stora eller små kulor maler asbesten effektivast. Det visade sig att stora kulor var effektivare, troligen pga. att de får en större rörelsemängd än de större och därför slår asbesten hårdare. Se BILAGA 1. Delrapport 1.

I Delrapport 2 jämfördes tre olika tillsatser, dels utan eller med flussmedel  $\text{Na}_2\text{O}$ , dels ett försök med  $\text{NaOH}$  som flussmedel. De slutsatser som rapporten gav var att:

- Perovskit har bildats i samtliga tre förbränningar.
- I förbränning med flussmedel  $\text{Na}_2\text{O}$  bildar perovskiten i huvudsak ett finmaskigt mönster medan den i förbränning utan flussmedel och med  $\text{NaOH}$  som tillsats istället tycks bilda mer sammansatta korn samt som platta lager lokalt på ytor.
- Spinell bildades inte med  $\text{NaOH}$ , men bildades i förbränning med ordinarie flussmedel  $\text{Na}_2\text{O}$  och möjligen som en förorenad variant i prov utan flussmedel.
- Medelsammansättningen i restprodukten i proverna var svår att fastlägga.
- För att få en medelsammansättning av hela provet måste en särskild metodik samplingsmetodik tillämpas

Se BILAGA 2. Delrapport 2.

Delrapport 3 är en separationsstudie där försök att separera ingående material baseras på idé att hårdare mineral som Spinell skall motstå nötning och behålla en större medelkornstorlek varför en separation skall kunna ske genom malning, centrifugering och sedimentation. Rapporten presenterar dels en initial struktur och

elementanalys av restprodukten från förbränning nr 003, dels försök med malning av pulver och efterföljande ämnesanalys efter siktning av pulver till tre olika storlekar, dels några resultat från efterföljande försök av separation av ämnesinnehållet medelst centrifugering och sedimentation. Separationsförsöken visade ingen skillnad i ämnesinnehåll för olika fraktioner av små korn i mikrometer området. Slutsatsen av försöken var att malning, centrifugering och sedimentation inte är en framkomlig väg för att kunna separera mineralen Spinell och Perovskit från varandra ur restprodukten. Se BILAGA 3, Delrapport 3.

Delrapport 4 redovisar försök på separation med användning av elektriska och magnetiska fält. Genom INASCO's försorg skickades prover till Ukraina för försök. Försöken visade på en möjlighet att kunna separera en magnetisk fraktion i restprodukten. Det är det järn och de järnföreningar som förekommer i restprodukten. Dock har förbränningarna visat att det järn som finns närvarande i proverna har en förmåga att ansamlas i kulor, oftast i botten av deglarna pga. järns högre densitet än restprodukten i övrigt. Se BILD 3a och 3b i BILAGA 4. Delrapport 4.

Idén bakom Delrapport 5 var att jämföra ämnesinnehållet i pulver av olika kornstorlekar i restprodukterna från fem likadana förbränningar av likadana blandningar och förbrännings-scheman, dels för att se om förbränningsprocessen är repeterbar, dels för att se om ämnesinnehållet förändras vid malning till olika kornstorlekar. Resultaten visade att ämnesinnehållet avviker mellan analyserna av proverna. Men en viss överensstämmelse finns då variationskoefficienterna visar på värden mellan 0,06 – 0,15 förutom för Na- och Mg-oxid som ju endast förekommer i små mängder och även för Fe-oxider. Att järnoxiderna avviker är inte konstigt eftersom järn har en förmåga att ansamlas punktvis såsom tidigare visats i Delrapport 8P05916-2. Variationerna i ämnesinnehållet bedöms bero på två saker, dels har inte en korrekt sampling av ett medelvärdespulver åstadkommit, dels har inte en tillräcklig mängd analyser gjorts på varje prov. Det bedömdes därför ändå som att förbränningsprocessen har validitet och en tillräcklig repeterbarhet. För ämnesfördelningen i de olika kornstorlekarna av respektive visar analysen att ingen skillnad finns för kornstorlekar < 0,5 mm eller > 1 mm. Rapport 8P05916-3 från separationsförsöken visade heller ingen skillnad för mycket små korn. En intressant sak var att enstaka spinellkorn fanns intakta i prov 03 nedtill till korn < 0,05 mm. Se BILD 4 i Delrapport 5, BILAGA 5.

Delrapport 6 är den mest problematiska rapporten i forskningsprojektet. Ämnesinnehållet i fyra restprodukter med mycket olika utseende undersöktes. Rapporten visar i bilder hur olika proverna ser ut. Ämnesinnehållet i de fyra restprodukterna skiljde sig också åt och observationerna sammanfattas i rapporten på följande vis:

- Perovskit förekom endast i prov 26 och prov 32.
- Spinell förekom i prover 24, 26 och 32.
- Grossit förekom endast i prov 26 i symbios med Hibonit. (CA2 + CA6)
- Bulkmaterialen tycks i samtliga prover bestå av Gehlenit eller andra Ca-Si-Al-oxider.
- I porerna av prov 30 B hade det utbildats Portlandcementklinkern Alite (C3S).



- Variationen mellan proverna är oväntat stor och måste bedömas som problematisk.
- I de enskilda proverna varierar ytstrukturerna mer jämfört med hur strukturen varierar i bulken.

Rapporten gav följande slutsats: Analysen av proverna underkänner repeterbarheten i de utförda blandningarna och förbränningarna. Se BILAGA 6. Delrapport 6.

Delrapport 7 i BILAGA 7 hade ungefär likadant innehåll och slutsats som Delrapport 6. Syftet var att kontrollera processens repeterbarhet samt innehåll av mineraler i restprodukterna från förbränningar nr. 33 – 36. Slutsatserna i rapporten lyder: ”Utifrån resultaten på ämnesanalysen och blandningarnas olika utseende blir slutsatsen att blandningarna inte kan ha blandats på samma sätt. Detta trots att så skall ha skett enligt uppgift. Någoting är dock fel.”

En annan intressantare slutsats var att järnoxider spjälkas vid den kraftiga upphettningen i rörugnen och rent järn ansamlas i mindre kroppar som små järnkulor. Detta har observerats i de flesta av restprodukterna.

Delrapport nr 8 i BILAGA 8 undersöker ämnesinnehåll i restprodukter när  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  används som flussmedel. Även repeterbarheten bedömdes. Slutsatsen av undersökningen var att  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  som flussmedel missgynnar bildning av Spinell och Perovskit. Restprodukterna från proverna 46 och 47, som hade  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  som flussmedel, hade ett liknande ämnesinnehåll, vilket tydde på bättre repeterbarhet jämfört med i Delrapporter nr 6 och 7.

I Delrapport 9 presenteras ytterligare ämnesanalyser på restprodukter. Restprodukterna från förbränningar 50, 51, 52 och 62 undersöktes i SEM och EDS för bestämning av ämnesinnehåll. Syftet var att kontrollera processens repeterbarhet (prover 50-52) samt om mineralerna Spinell och Perovskit bildats. Två olika natriumbaserade tillsatser, provades som flussmedel,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  i prover 50-52 samt  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  i prov 62. Bildanalys av proverna med  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  visade en bubblig struktur orsakad av gasbildning som måste ha skett vid högtemperatur. Ämnesanalysen i proverna 50-52 visade på en god repeterbarhet och Spinell och Perovskit bildades vid försök med  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  som flussmedel. Se BILAGA 9.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  kan därför komma att ersätta  $\text{Na}_2\text{O}$  vid en framtida industriell process eftersom den är betydligt billigare. Nackdelen är att processen då ger en viss negativ klimatpåverkan för utsläpp av  $\text{CO}_2$ , enligt rådande vetenskaplig konsensus.

I BILAGA 10. Delrapport 10 redovisas affärsplanen för INASCO Asbestos Converting AB. Den saknar dock en ekonomisk redovisning och plan som visar att en lyckad process för omvandling av deponerad asbestcement till säljbara restprodukter kan bli lönsam.

### Sammanfattande diskussion

Delrapport 6 och 7 visade på uppenbara problem med repeterbarheten försöken. Dessa problem gjorde att projektet stod och stampade. I diskussioner med INASCO ifrågasattes hela processagerandet. Efter en del diskussioner visade det sig att man ställt vågen ovanpå en sviktande kartonglåda. Detta rättades till och Delrapporter 8

och 9 visade återigen på den repeterbarhet av processen (malning, siktning, blandning och förbränning) som redan konstaterats i Delrapport 5.

Överlag kan man konstatera att problem som uppstått har berott på trånga lokaler och brist på tekniskt kompetent personal då inte många aktörer eller arbetare vill ta sig an arbete med asbest.

Repeterbarheten i processen är alldeles nödvändig för att en konstant bildning av säljbara mineral skall kunna ske. Innan detta steg är fastlagt är inte heller försök med separation meningsfulla eftersom det är de säljbara mineralen som man vill sortera ut från varandra.

Huvuddelen av projektet har dock handlat om att finna vägar för separation av de mineraler som de facto bildas i förbränningsprocessen. Två tekniker har provats, dels malning, centrifugering och sedimentation, dels separation i elektriska och magnetiska fält. Ingen av dessa metoder har visat sig vara en framkomlig väg förutom när det gäller separation av järnföreningar i magnetiska fält. Nu verkar det dock inte alldeles nödvändigt eftersom järnet har en förmåga att själv ansamlas i kulor på botten av deglarna. En förlängning av bränntiden över 1500 °C bör kunna åstadkomma en mer fullständig separation av järn. Hur det påverkar bildning av Spinell och Perovskit återstår att undersöka.

I samtal med Jan Bida på MinFo diskuterades de separationsmetoder som förekommer inom industrin; anrikning genom tvättning (sand, grus), anrikning genom separation. För vår del handlar det alltså om separation. Detta kan ske med fyra olika metoder: Densitet separation (sedimentation), Magnetisk separation, Flotation och Urlakning. De sista nämnda är kemiska processer och de två första fysikaliska. När det gäller separation utifrån densitetsskillnader beskriver "Basics in Mineral Processing Handbook" från Metso [24] att skillnaden i densitet mellan de mineral man vill åt måste vara minst 1,25 g/cm<sup>3</sup>. När skillnaden är större än 2,5 g/cm<sup>3</sup> blir separationen enkel. Spinell har en densitet på 3,6 g/cm<sup>3</sup> och Perovskit på 4,2 g/cm<sup>3</sup> (som mest). TABELL 3 sammanfattar densiteter för ingående mineral som observerats i proverna enligt föregående projektrapport [1]. Vi ser i den tabellen att densitetsskillnaderna är alldeles för små för att centrifugering och sedimentation skall kunna fungera.

De metoder som återstår att undersöka för anrikning av ingående mineral är Flotation, som föreslås i Delrapport 3 eftersom anrikning genom urlakning inte bedöms som en attraktiv metod.

Sedan våren 2020 har dock ytterligare en metod diskuterats. Det gäller en slags virvelvindsteknik där ingående mineral eller ämnen dras isär från varandra.

TABELL 3. Densitet hos de föreningar som observerats i restprodukterna.

Ämne	Kemisk formel	Densitet (g/cm <sup>3</sup> )
Spinell	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3,64
Grossit	CaAl <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	2,88
Gelenit	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> SiO <sub>7</sub>	2,98
Perovskit	CaTiO <sub>3</sub>	3,98 - 4,26

Åkermanit	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	2,94
Götit	$\text{FeO}(\text{OH})$	3,3 - 4,3
Trikalciualuminate	$(\text{CaO})_3 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)$	3,06

Det är företaget MIBA som säger att de förfogar över en teknik som kan frigöra mineralerna från varandra genom att i korngränserna dra isär ingående mineral. Detta gör att man får en renare struktur och det blir betydligt mindre slitage på de ytor som träffar materialet om man jämför med en vanlig malning. Sådana försök kräver ca 40 kg malen restprodukt för att köra ett prov i deras stora vortex-maskin som de kallar för Liberix.

Planen i projektet var ursprungligen att bränna mycket material i Luleå hos Swerim, men det skulle kosta 80 000 SEK i betalning för varje försök vilket gjorde det hela omöjligt. Projektet beslöt då i sista stund att istället köpa in en större högttemperaturugn från Kina för ca 60 000 SEK att tillverka restprodukt med. Ugnen kom dock inte på plats i laboratoriet förrän i början av november vilket har gjort att dessa sista försök inte har kunnat genomföras. Åtminstone inte inom ramen för detta projekt.

Förbränning med laserteknik är också en teknik som bör utvecklas och provas men som heller inte kunnat ges utrymme i detta projekt. En väl utvecklad sådan fungerande teknik gör processen mer energi- och kostnadseffektiv.

## Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

När det gäller uppfyllandet av de mål som projektet sökte medel för har projektet inte varit lyckat. Målsättningarna var alldeles för högt ställda och problemet med separation av ingående mineral underskattades. En genomtänkt strategi för att angripa problemet med separationsteknik utarbetades inte i tillräcklig utsträckning.

Problem med repeterbarhet i produktionen av restprodukt har tyvärr också varit ett genomgående problem i projektet. Förklaringar till dessa problem har dock klarlagts.

Vetenskapliga slutsatser av värde från de genomförda projekten är

- Förbränningsprocessen ger repeterbara resultat när prepareringen av prov in i ugnen sker på ett korrekt sätt och om ugnen fungerar på tillfredsställande sätt.
- Försök med olika flussmedel har visat att  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  kan vara en ersättare till den dyra  $\text{Na}_2\text{O}$  som tidigare har använts i INASCO's tillsats. Det minskar kostnaderna i en framtida industriell process.
- Förutom utvinning av Spinell och Perovskit kan även Järn i mindre mängder utvinnas från processen.
- Flotation eller vortex-teknik är separationstekniker som behöver provas för separation av ingående mineraler i restprodukten för att möjliggöra en framtida lönsam återvinningsprocess av asbestcementen.

När det gäller projektets samhälleliga och kommersiella nytta är idén fortfarande mycket stark, men projektet har inte lyckats ta återvinningsprocessen nämnvärt närmare ett förverkligande. Men alla idéer är långt ifrån prövade ännu.

För att nyttiggöra motgångarna i detta projekt behövs ett nytt mer genomtänkt projekt som korrekt identifierar de hinder som måste övervinnas och vilken väg som skall väljas för att nå framgång.

## Publikationslista

Ett abstract med titeln ”*Destruction and refining of deposited asbestos materials into saleable recycled materials*” skickades in för presentation på den planerade Re:Source dagen 17-18 mars 2020. Tyvärr blev den och även efterföljande konferens inställd. Vi kommer försöka få presentationen publicerad som en artikel istället.

## Projektkommunikation

Vi har inte lyckats och heller inte velat sprida information om projektet, delvis för att vi inte har haft särskilt intressanta resultat att presentera. Dock har information till projektet gått ut till samarbetsparter, tänkta samarbetsparter samt konsulter.

## Referenser

1. Kraft, L., *Omvandling av deponerad asbestcement till förädlade restprodukter*. <https://databas.resource-sip.se/storage/Slutrapport%C3%B6r%20projekt%2044202-1%20Omvandling%20av%20deponerad%20asbestcement.pdf>, 2017.
2. Hodes, G., *Perovskite-Based Solar Cells*. *Science*, 2013. **342**(6156): p. 317-318.
3. Burschka, J., et al., *Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells*. *Nature*, 2013. **499**(7458): p. 316-319.
4. Schmidtmeier, D., G. Buchel, and A. Buhr, *Magnesium aluminate spinel raw materials for high performance refractories for steel ladles*. *Materiały Ceramiczne*, 2009. **61**(4): p. 223-227.
5. Sarkar, R., *Refractory applications of magnesium aluminate spinel*. *Interceram: Refractories Manual*, 2010. **1**: p. 11-14.
6. Sarkar, R. and J. Srinivas. *Effect of cement and sol combined binders on high alumina refractory castables*. in *Refractories World Forum*. 2016.
7. Le Blansch, K., K. den Boeft, and J. Tempelman, *On the lookout for practicable sustainable options for asbestos waste treatment*. 2018, Bureau KLB: Den Haag.
8. Li, J., et al., *Asbestos and asbestos waste management in the Asian-Pacific region: trends, challenges and solutions*. *Journal of Cleaner Production*, 2014. **81**: p. 218-226.
9. Kusiorowski, R., T. Zaremba, and J. Piotrowski, *The potential use of cement-asbestos waste in the ceramic masses destined for sintered wall clay brick manufacture*. *Ceramics International*, 2014. **40**(8, Part A): p. 11995-12002.

10. Colangelo, F., et al., *Treatment and recycling of asbestos-cement containing waste*. Journal of Hazardous Materials, 2011. **195**: p. 391-397.
11. Michelle Whitmer and W. Pacheco, *Asbestos Facts & Statistics*. <https://www.asbestos.com/asbestos/statistics-facts/>, 2021.
12. Hwang, C.Y., *Size and shape of airborne asbestos fibres in mines and mills*. . British Journal of Industrial Medicine. , 1983. **40**(3): p. 273-279.
13. Gualtieri, A.F. and M. Boccaletti, *Recycling of the product of thermal inertization of cement–asbestos for the production of concrete*. Construction and Building Materials, 2011. **25**(8): p. 3561-3569.
14. Gualtieri, A.F., et al., *Recycling of the product of thermal inertization of cement–asbestos for various industrial applications*. Waste Management, 2011. **31**(1): p. 91-100.
15. Gualtieri, A.F., et al., *Recycling of the product of thermal inertization of cement-asbestos in geopolymers*. Construction and Building Materials, 2012. **31**: p. 47-51.
16. Viani, A. and A.F. Gualtieri, *Recycling the product of thermal transformation of cement-asbestos for the preparation of calcium sulfoaluminate clinker*. Journal of Hazardous Materials, 2013. **260**: p. 813-818.
17. Viani, A. and A.F. Gualtieri, *Preparation of magnesium phosphate cement by recycling the product of thermal transformation of asbestos containing wastes*. Cement and Concrete Research, 2014. **58**: p. 56-66.
18. Viani, A., et al., *Crystal chemistry of the high temperature product of transformation of cement-asbestos*. Journal of Hazardous Materials, 2013. **248–249**: p. 69-80.
19. Kusiorowski, R., T. Zaremba, and J. Piotrowski, *Influence of the type of pre-calcined asbestos containing wastes on the properties of sintered ceramics*. Construction and Building Materials, 2016. **106**: p. 422-429.
20. Nam, S.-N., S. Jeong, and H. Lim, *Thermochemical destruction of asbestos-containing roofing slate and the feasibility of using recycled waste sulfuric acid*. Journal of Hazardous Materials, 2014. **265**: p. 151-157.
21. Kraft, L., *Experimental study of CKD as soil stabiliser*. 2007, NTAS F2007-3, Norut Teknologi A/S: Narvik, Norway, . p. 33.
22. Qian, B. and Z. Shen, *Laser sintering of ceramics*. Journal of Asian Ceramic Societies, 2013. **1**: p. 315-321.
23. Sofia, D., D. Barletta, and M. Poletto, *Laser sintering process of ceramic powders: The effect of particle size on the mechanical properties of sintered layers*. Additive Manufacturing, 2018. **23**: p. 215-224.
24. *Basics in Mineral Processing Handbook*, in <https://www.metso.com/insights/basics-in-minerals-processing-handbook/>. 2018, Metso.

## Bilagor

- BILAGA 1. Jämförelse mellan små och stora stålkulors effektivitet vid malning av asbestcement i malningsmaskin.
- BILAGA 2. Delrapport 2 - Analys av prover med olika flussmedel.
- BILAGA 3. Separationsstudie 1 - malning centrifugering och Sedimentering.
- BILAGA 4. Separationsstudie 2 försök med separation medelst elektriska och magnetiska fält.
- BILAGA 5. Analyser av prover 01 - 05 i SEM och EDS.
- BILAGA 6. Rapport 6, Analys av restprodukt i proverna 24, 26, 30B, 32.
- BILAGA 7. Ämnesanalys av restprodukter från prov 33–36.
- BILAGA 8. Ämnesanalys av prover 45–47 med Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> som flussmedel.
- BILAGA 9. Ämnesanalys av prover från restprodukter i förbränningar 50, 51, 52 och 62.
- BILAGA 10. Business plan by INASCO AB for converting asbestos cement into saleable rest products.