

## Thiosulfate Leaching of Metals from Waste Electric and Electronic Equipment and Bottom Ash

Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE) and Municipal Solid Waste (MSW) represent two waste streams with high landfilling rates. WEEE and MSW consist of organics, metals and refractory oxides. The metals represent the monetary value in both of these waste streams and can be recycled as secondary raw materials. The organics can be recycled as a secondary raw materials or their energy content can be recovered e.g. through incineration. The refractory oxides can be utilized as aggregates for the building industry, thus, decreasing the need for natural resources. The increased recycling of these two waste streams is an important step towards circular economy.

In the current research, the leaching of Printed Circuit Boards (PCBs) and Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) bottom ashes were studied through a literature survey and experimental work. PCBs are a sub-group of WEEE and contain a high concentration of valuable metals. In the western world, PCBs are recycled in primary copper smelters, in which the relatively high content of copper, gold, silver and palladium can be recovered. Hydrometallurgy provides exact and predictable tools for smaller scale recyclers to extract valuable metals from PCBs. The most commonly used leaching agent for gold is cyanide. The hazardous properties and the bad reputation of cyanide have, however, forced the scientific world to look for less toxic alternatives for gold leaching. In the literature survey, articles regarding the leaching of valuable metals using e.g. thiosulfate and aqua regia were reviewed.

MSWI bottom ash is one of the ash wastes from the MSW incineration plant. Metals are often recovered from the MSWI bottom ash using magnetic and eddy current separators. The MSWI bottom ash can after proper treatment be utilized as soil cover or as aggregates by the building industry. The content of heavy metals in the MSWI bottom ashes can limit the use of it as a secondary raw material. In the literature survey of this work, articles regarding the use of MSWI bottom ash as a secondary raw material and alternative treatments of MSWI bottom ash were reviewed.

In the experimental part of this work, the use of thiosulfate solutions as leaching agents for PCB and MSWI bottom ash were assessed. Additionally, PCBs were leached using aqua regia. Gold is of great interest, since it represents 73% of the monetary value in PCBs. Thiosulfate is also regarded as one of the most promising replacements for cyanide in the hydrometallurgical gold industry. Gold leaching rate in thiosulfate solutions containing 0.1-0.2 M of  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0.01-0.05 M of  $\text{CuSO}_4$ , 0.2 M of  $\text{NH}_3$  and 0.2 M of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  at temperatures of 30-50 °C was investigated with Rotating Disc Electrode (RDE). The solution containing 0.02 M of  $\text{CuSO}_4$  and 0.1 M of  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  at 30 °C enabled the highest gold dissolution rate of 0.0265 mg/h. Additionally, gold and other metal leaching from crushed PCBs, pyrolysed PCBs and MSWI bottom ash was investigated in batch leaching tests. The pyrolysis of PCBs was carried out at 500 °C.

A successful pyrolysis of PCBs at 500 °C resulted in a 23% mass loss of the PCBs. The highest gold and copper extraction in the batch leaching of crushed and pyrolysed PCBs were 12% respectively 17%. With 32% aqua regia, 50% of the gold and all the silver and copper from the crushed PCBs were extracted to the solution. The thiosulfate solutions did not extract copper, gold, zinc, iron or lead from the MSWI bottom ash during the leaching tests.

## Lakning av metaller ur elektronikskrot och bottenaska med hjälp av tiosulfat

Elektronikskrot och kommunalt avfall representerar avfallsströmmar med en hög deponeringsgrad. Elektronikskrot och kommunalt avfall består av organiska material, metaller och eldfasta oxider. Metallerna utgör det monetära värdet i de båda avfallsströmmarna och de kan återvinnas som sekundär råvara. De organiska materialen kan återvinnas som sekundär råvara eller genom att ta tillvara energiinnehållet genom t.ex. avfallsförbränning. De eldfasta oxiderna kan utnyttjas som stommateriale inom byggnadsbranschen och därav minska behovet av naturtillgångar. En ökad återvinning av dessa avfallsströmmar är ett viktigt steg i strävan mot en kretsloppsekonomi.

I denna avhandling var lakning av mönsterkort och bottenaska från avfallsförbränningsverk studerade experimentellt och genom en litteraturöversikt. Mönsterkort är en undergrupp av elektronikskrot och innehåller höga koncentrationer av värdefulla metaller. I den västerländska världen är mönsterkorten ofta återvunna i primära kopparsmältverk, där deras relativt höga innehåll av koppar, guld, silver och palladium kan tas tillvara. Hydrometallurgiska metoder ger exakta och förutsägbara redskap åt återvinnare i mindre skala att återvinna de värdefulla metallerna ur mönsterkorten. Det vanligaste lagningsmedlet för guld är cyanid, men cyanidens farliga egenskaper och dåliga rykte har fått forskare att utforska alternativa lagningsmedel. I litteraturöversikten har vetenskapliga artiklar angående lakning av värdefulla metaller med till exempel tiosulfat och kungsvatten betraktats.

Metaller är ofta återvunna ur bottenaskan från avfallsförbränningsverk med magnet- eller virvelströmsseparatorer. Bottenaskan från avfallsförbränningsverken kan efter lämplig behandling användas som fyllningsjord eller stommateriale inom byggbranschen. Tungmetaller i bottenaskan från avfallsförbränningsverk kan innehålla tungmetaller som kan begränsa dess användning som sekundär råvara. Vetenskapliga artiklar angående användningen av bottenaska från avfallsförbränningsverk som sekundär råvara och alternativa behandlingar för askan har också betraktats.

I den experimentella delen av denna avhandling undersöktes tiosulfatlösningars lämplighet som lagningsmedel för mönsterkort och aska från avfallsförbränningsverk, där utöver utfördes lakning av mönsterkort med kungsvatten. Guld är den intressantaste metallen då den utgör 73 % av det monetära i mönsterkorten. Tiosulfat är en av de mest lovande ersättarna för cyanid inom den hydrometallurgiska guldindustrin. Tiosulfatlösningar bestående av 0,1-0,2 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0,01-0,05 M  $\text{CuSO}_4$ , 0,2 M  $\text{NH}_3$  och 0,2 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  undersöktes mellan temperaturerna 30-50 °C med en roterande skivelektrod. Tiosulfatlösningen innehållande 0,02 M  $\text{CuSO}_4$  och 0,1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  vid 30 °C möjliggjorde den högsta guldlakningshastigheten på 0,0265 mg/h. Utöver detta utfördes reaktorlakning av guld och andra metaller ur krossade mönsterkort, pyrolyserade mönsterkort och bottenaska från avfallsförbränningsverk. Mönsterkort pyrolyserades vid 500 °C.

En lyckad pyrolys av mönsterkort vid 500 °C resulterade i en 23 procents viktminskning av mönsterkorten. Den största utvinningen av guld och koppar från krossade och pyrolyserade mönsterkort var 12 % respektive 17 %. Med 32 % kungsvatten utvanns allt koppar och silver, samt 50 % av guldet ur de krossade mönsterkorten. Med tiosulfatlösningarna utvanns varken koppar, guld, zink eller bly ur bottenaska från avfallsförbränningsverk.