

# Modellering af et system til sortering af elektrisk og elektronisk affald

Jonathan Frank  
Odense Tekniske Gymnasium

23. februar 2015

## Indledning

Produktion af elektrisk og elektronisk affald (WEEE-affald) er et voksende globalt problem, der i dag udgør mere end 8.3 millioner tons pr. år og forventes at vokse med 5% p.a.[4], hvoraf betragtelige andele af denne vækst skyldes kassation af it-udstyr grundet den hastige teknologiske udvikling, som medfører, at udstyr forældes længe før opslidning finder sted. Samtidig med dette er it-udstyr også en af de mest miljømæssigt problematiske affaldsfraktioner grundet et højt indhold af plastic, tungmetaller samt sjældne jordarter mv., der kan medføre permanent jordforurening i tilfælde af udslip og desuden går til spilde grundet utilstrækkelig genvinding, hvilket er et økonomisk problem.

På trods af denne affaldsfraktions høje indhold af værdifulde materialer såsom guld, sølv samt kobber mv. med en anslået værdi på \$64.405 pr. ton findes der på nuværende tidspunkt ingen udbredte genvindingsmetoder, der samtidigt er økonomisk og miljømæssigt forsvarlig, hvilket medfører, at betydelige mængder WEEE-affald eksporteres til u-lande, hvor genvinding sker gennem uforvarlige metoder såsom ekstraktion af metaller ved afbrænding eller opløsning af det omgivende plast [3]. Af denne grund er det formålet med dette projekt at udvikle en rent mekanisk proces til separation af affaldets bestanddele, som derved kan udføres miljømæssigt forsvarligt i nærheden af de hovedsageligt vestlige kilder til selve affaldet, hvilket er til gavn for økonomi, ressourceforbrug samt miljøet.

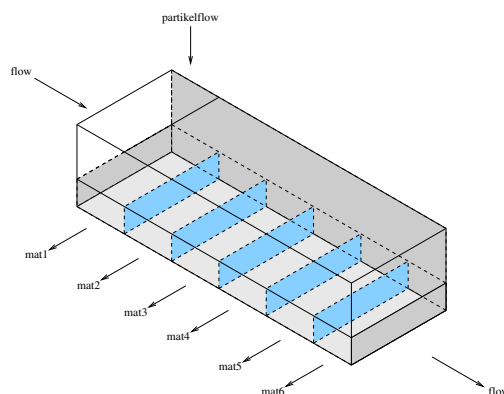
## Problemformulering

I forbindelse med dette projekt undersøges, hvorledes behandling af WEEE-affald kan forbedres ved implementation af en mekanisk affaldssorteringsproces, der adskiller partikulært affald i densitetsafhængige fraktioner ved hjælp af en sedimentationstank. I denne sammenhæng udarbejdes følgende:

- En analyse af vanskelighederne ved sortering af WEEE-affald samt nogle af konsekvenserne ved at undlade dette.
- En beskrivelse samt en computersimulation af det nævnte affaldssorteringsystem, således at væsentlige parametre for systemet kan optimeres.
- En vurdering af hvilke effekter, der vil opstå ved et skift til det beskrevne system.

## Baggrund

Mekanisk sortering i form af bundfældning i enten væske- eller gasformige medier anvendes allerede den dag i dag som en simpel og miljøvenlig metode til sortering af materialer såsom plast [2]. Et anlæg baseret på denne metode udnytter, at ensformige partikler bestående af forskellige materialer udsættes for den samme opdrift (vertikal) og friktion (horisontal) grundet fælles volumen og form, mens tyngdekraften (vertikal) på den enkelte partikel er varierende, da densiteten af den enkelte partikel afhænger af den kemiske sammensætning. På denne måde får den enkelte partikel en resulterende kraft og dermed banekurve, hvis retning og størrelse er en funktion af dens densitet.



Figur 1: Skitse af sedimenteringstank til sortering af partikulært WEEE-affald

## Metode

For at bestemme affaldspartiklernes banekurve igennem sedimenteringstanken er det nødvendigt at undersøge væskeflowet over tid. Dette beskrives som et vektorfelt, hvor hastighedsvektoren  $v$  for en væskepartikel er en funktion af stedkoordinatet  $(x,y)$  samt tiden  $t$ .

Denne hastighedsvektor kan beskrives ved hjælp af Navier-Stokes ligningerne [1], der består af to differentilligninger, der definerer ændringen i hastighedsfeltet over tid. Den første, der gælder for ukomprimerbart flow, angiver at divergensen af hastighedsændringen i et punkt i hhv.  $x$ - og  $y$ -retningen skal være 0, således at væske ikke kan ophobes i punktet:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

Den anden differentialligning, der gælder for ukomprimerbar såvel som komprimerbar flow, beskriver ændringen af hastighedsvektoren i et punkt med hensyn til tiden:

$$\begin{aligned} \frac{\delta \vec{v}}{\delta t}(t) &= -(\nabla \cdot \vec{v}) \cdot \vec{v} + \frac{1}{\rho} \cdot (\nabla \vec{p} + u \cdot \nabla^2 \vec{v} + \vec{F}) \quad (2) \\ &= \frac{1}{\rho} \cdot \nabla \vec{p} + \frac{1}{\rho} \cdot u \cdot \nabla^2 \vec{v} + \frac{1}{\rho} \cdot \vec{F} \quad (\text{for ukomprimerbart flow}) \end{aligned}$$

hvor  $\rho$  er væskens densitet, og  $u$  er væskens kinetiske viskositet. Da der ikke findes nogen analytisk løsning af Navier-Stokes ligningerne med undtagelse af meget simple tilfælde, anvendes en numerisk løsningsmetode i form af en computersimulation til at beregne hastighedsfeltet til tiden  $t$ . For at gøre dette er det nødvendigt at omsætte sedimentationstanken fra et kontinuert til et diskret system bestående af afgrænsede væskeceller, der indeholder væskepartikler med egenskaberne tryk og hastighed, der evalueres for hvert tidsstep  $\Delta t$ .

Ved at summere accelerationsbidraget fra det ydre tryk på den enkelte væskecelle ( $\frac{1}{\rho} \cdot \nabla \vec{p}$ ), eksterne kræfter såsom tyngdekraften ( $\frac{1}{\rho} \cdot \vec{F}$ ) samt bidraget forårsaget af væskens viskositet ( $\frac{1}{\rho} \cdot u \cdot \nabla^2 \vec{v}$ ) findes den resulterende acceleration på partiklerne i hver væskecelle til tiden  $t$  iht. Navier-Stokes ligningen. Denne integreres over tidssteppet for at beregne forflyttelsen af de enkelte partikler i væskecellen:

$$\Delta s = \iint \delta v(t) \delta t \quad (3)$$

## Resultater

Den beskrevne simulation er udført med følgende parametre:

Dimensioner: 1x10 m

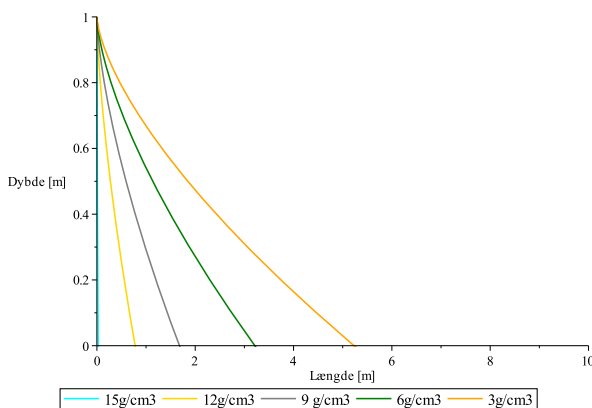
Cellestørrelse: 1x1 mm

Tidsstep: 1 ms

Kildetryk: 1 bar

Masseflow (partikler): 64.7 g/s

Herved fås følgende banekurver, når en affaldspartikel ad gangen placeres i sedimenteringstanken:



Figur 2: Banekurver for affaldspartikler af varierende densitet

Ud fra ovenstående output fra simulationen konkluderes det, at der i høj grad sker spredning af affaldspartikler med forskellig densitet, således at sedimentationstanken opfylder sit formål.

Ved simulation, hvor væsketrykket samt masseflowet for affaldspartikler varieres, konstateres følgende:

- Den bedste spredning opnås ved at minimere kildetrykket for kilden til affaldspartikler. For højt tryk medfører simpelthen, at partiklerne bliver "blæst" til tankens bund
- Det eksperimentelt fundne grænsetilfælde, hvor 20% af de ønskede affaldsfraktioner er sammenblandet, forekommer når:
  - Det målte masseflow for affaldspartikler bliver større end 64,7 g/s
  - Værdien af det målte volumenflow i m<sup>3</sup>/s for vand bliver mindre 0.15 \* tankens længde

## Konklusion

Det er ved hjælp af en computersimulation, som er baseret på en diskretiseret form af Navier-Stokes ligningen for ukomprimerbart flow, undersøgt, at denne virkemåde er realistisk og kan udnyttes i et anlæg, der bearbejder 1 ton affald på 4.3 timer (64.7 g pr. sekund) og formår at fraktionere affaldet med 80% korrekt opdeling.

Herved kan der opnås en estimeret fortjeneste på 19530 DKK/ton fratrukket udgifter til elektricitet. Medregnet skift af procesvand, diverse faste udgifter samt reparation og vedligehold vil denne fortjeneste naturligvis aftage, hvilket dog ikke er væsentligt, da fortjenesten ved den nye metode er en faktor 100 større end termisk neddeling.

## Litteratur

- [1] David Cline et al. Fluid Flow for the Rest of Us: Tutorial of the Marker and Cell Method in Computer Graphics, October 2005. (document)
- [2] Gjergj Dodbiba et al. Sorting Techniques for Plastics Recycling. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 6(2):186–191, April 2006. (document)
- [3] P. Gramatyka et al. Recycling of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 30(1):535–538, January 2007. (document)
- [4] Brett H. Robinson. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 408:183–191, July 2009. (document)