



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Sigtning af slagge inden sortering

Miljøprojekt nr. 1893

November 2016

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Jakob Top, Meldgaard Holding A/S

Lasse Meldgaard, Meldgaard Recycling A/S

Britt Rerup, Meldgaard Recycling A/S

Grafiker/bureau:

Carsten Petersen, SB Engineering ApS & diverse
kilder

Fotos:

Anders Hedegaard, Meldgaard US Inc & diverse
kilder

ISBN: 978-87-93529-30-4

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.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
Summary	6
1. Indledning	7
1.1 Baggrund og tidligere erfaringer med forbehandling af USA-slagge	7
1.2 Formål	7
2. Forberedelse, analyse og design	8
2.1 Slagge som råvare i USA	8
2.1.1 Produktion af slagge i USA	8
2.1.2 Sammensætning og struktur af amerikansk slagge	9
2.1.3 Problemer ved forsortering af USA-slagge i traditionelle forsorteringsanlæg	10
2.2 Meldgaards samarbejdspartnere i Danmark, Tyskland og USA	14
2.3 Fastlæggelse af kravspecifikationer til ny forbehandling af USA-slagge	15
2.3.1 Generelle kravspecifikationer	15
2.4 Design og udarbejdelse af testanlæg	16
2.4.1 Valg af Trampolinsigte som bedst egnede sigtetyper	16
2.4.2 Øvrige designovervejelser	17
2.5 Afprøvning af testanlæg med trampolinsigte	17
2.5.1 Afprøvning af testanlæg i USA	17
2.5.2 Konklusion og evt. designtilpasninger	18
3. Produktion af fuldskala forbehandlingsanlæg	19
3.1 Opbygning af fuldskala anlæg	19
4. Testkørsel af fuldskalaanlæg	20
4.1 Testkørsel i Danmark uden USA-slagge, resultater og eventuelle tilpasninger	20
4.2 Transport og opstilling af anlæg i USA	20
4.3 Testkørsel i USA med USA-slagge	24
4.3.1 Testkørsel, testresultater og evt. designtilpasninger	24
4.4 Godkendelse af anlæg på basis af testforsøg	27
5. Projektets resultater	28
6. Konklusion	29
7. Referencer	30

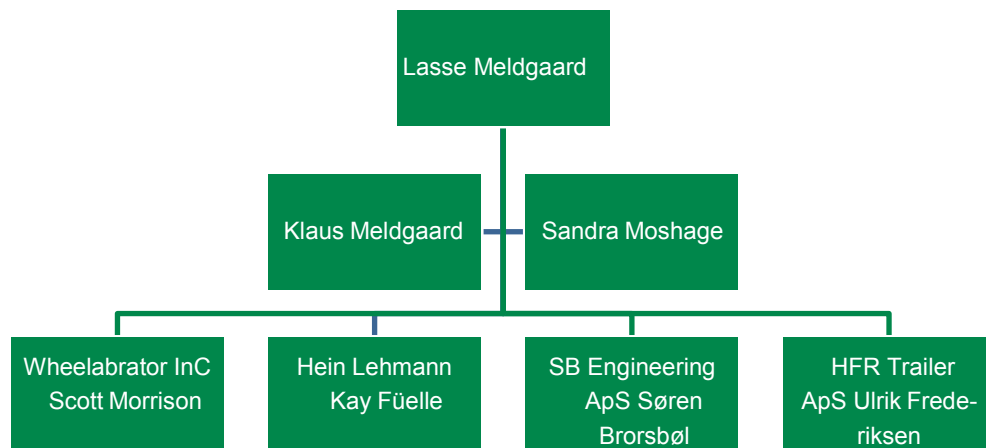
Forord

Formålet med projektet har været at udvikle et sorteringsanlæg, som kan sortere den specielle, våde sammenblanding af flyveaske, gips og slagge fra forbrænding af affald, som findes i USA, således det bliver muligt at frasortere metal og jern fra USA-slagge med Meldgaards danske sorteringsanlæg (Triple Eddy Current).

Projektet har strakt sig over 13 måneder, hvor vi har udviklet, tegnet, konstrueret og til sidst afprøvet et helt nyt anlæg. Projektet er delvist finansieret af midler fra Miljøstyrelsens "Program for grøn teknologi 2013".

Projektet er styret af en projektgruppe med 3 Meldgaard-repræsentanter (se herunder) i samarbejde med specialkonsulent Jørgen G. Hansen fra Miljøstyrelsen (indtil udgangen af 2014) og civilingeniør Thilde Fruergaard Astrup fra Miljøstyrelsen (fra 2015).

Processen er ligeledes gennemført i samarbejde med vore underleverandører og samarbejdspartnere i USA:



Projektet har været delt op i 4 arbejdsopgaver, hvoraf den ene var projektstyring og de øvrige 3 var en faseopdeling af den praktiske gennemførelse af projektet.

Sammenfatning

Denne rapport omhandler et projekt i Meldgaard Recycling A/S vedr. udvikling af et nyt mobilt forsorteringsanlæg, som kan medvirke til at sortere slagge fra forbrænding af affald i USA.

I USA består affaldsslaggerne af en sammenblanding af bundaske, flyveaske og gips, hvilket medfører våde slagge som klumper og medfører at normale sorteringsanlæg stopper til. Derfor kan slaggen ikke behandles, som vi normalt ville gøre i Danmark og de fleste andre steder i verden. Meldgaard Recycling A/S er førende inden for sortering af slaggeaffald i Danmark, men har, ligesom konkurrenterne på det internationale marked, haft svært ved at håndtere de amerikanske slagge.

Dette projekt har haft som formål at finde den rette forsorteringsteknik til at løse de udfordringer, vi har for at kunne komme ind på det amerikanske marked.

Allerede inden projektet modtog støtte, har Meldgaard Recycling A/S forsøgt at finde løsninger til at sortere slagge i USA med vores traditionelle "Triple Eddy Current"-sorteringsanlæg, men den nødvendige forsotering har gjort det vanskeligt. Til forsotering er der både blevet testet tromlesigte, vibrationssigte og stjernesigte – alle uden den store succes. Vi havde derfor en god idé om, hvad der skulle til, da vi gik i gang i december 2013. Markedet for mulige løsninger var stort set afdækket, og vi havde erfaringer med fordele og ulemper ved forskellige sigtemetoder. Derfor stod det også forholdsvis hurtigt klart, at vi var nødt til at bygge vores egen test-sigte, som levede op til vores behov.

I samarbejde med leverandører, ingeniører og opbyggere blev der konstrueret et testanlæg, som blev sendt til USA. Testsigten var med Trampolin-teknologi (også kaldet Flipflow), og heldigvis viste det sig, at den kunne løse vores udfordring i forhold til de våde, klumpende slagge. Vi besluttede derfor at gå videre med Trampolin-sigten og bygge et anlæg med denne teknologi i fuld skala. Vi fik udarbejdet tegninger til konstruktion af anlægget hos vores faste samarbejdspartner på dette område, som har mange års erfaring hermed.

Gennem hele projektet har vi brugt erfarne medarbejdere og samarbejdspartnere med specifik knowhow inden for slaggesorteringsanlæg, og vi har selv været en del af konstruktionsprocessen, både i Danmark og USA. Sigteteknologien viste sig at være en succes, hvorfor denne løsning blev opskaleret. Vi designede og producerede et helt nyt anlæg i Danmark, som herefter blev fragtet til USA og efter test sat i produktion.

I dag er anlægget bygget op i direkte forbindelse til et eksisterende affaldsforbrændingsanlæg i Baltimore, således at den "friske" slagge, som normalt transporteres direkte til deponi, i stedet passerer vores anlæg, som forsotterer slaggen og frasorterer metaller.

Projektet har været yderst succesfuldt. Vi har fundet den rigtige teknologi, der sætter os i stand til at sortere slagge i USA, og derudover har vi opnået ny viden om sortering af friske slagge direkte fra forbrændingsanlægget.

Summary

This report describes a project in Meldgaard Recycling A/S concerning the development of a new mobile sorting facility, which can sort ashes from waste incineration in the USA.

In the USA ashes from waste incineration consist of a mixture of bottom ash, fly ash and gypsum, causing wet ashes which clump and lead to clogging of normal sorting facilities. Therefore, the bottom ashes cannot be treated as we would normally do in Denmark and most other places of the world.

Meldgaard Recycling A / S is leaders within sorting of bottom ashes in Denmark, but like our competitors at the international market, Meldgaard has found it difficult to handle the American bottom ashes.

The aim of this project has been to find the right separation technics to solve the challenges of entering the American market.

Even before this project was initiated, Meldgaard Recycling A / S has tried to find solutions to separate bottom ashes in the USA with our traditional "Triple Eddy Current" sorting facility, but the necessary pre-sorting made it difficult. For pre-sorting we have tested the 3 methods, Drum screen, Vibrating screen and Star screen, but all without success. Nevertheless, this meant that we at least had a good idea of what was needed when we started in December 2013. The market for possible solutions was largely identified and we had experience with the pros and cons of the different sorting methods. Therefore, relatively early it was clear that we had to construct our own test screen which fulfilled our needs.

In cooperation with suppliers, engineers and builders a test facility was constructed, which was shipped to the United States. The test screen was with the "trampoline technology" (also called Flip Flow), and fortunately it turned out that it could solve our challenges in relation to the wet, clumping bottom ashes. Therefore, we decided to go ahead with trampoline technology and construct a full scale facility. At our experienced business partner, we had drawings developed for construction of the facility.

Throughout the project we have used experienced staff and partners with specific expertise in separation and sorting of bottom ashes and we have been a part of the design process, both in Denmark and the United States. The screening technology proved to be a success, which is why this solution was up scaled. We designed and produced a new full scale facility in Denmark, which was then shipped to the United States and put into test and production.

Today, the sorting facility is built directly in connection to an existing waste incineration plant in Baltimore, so that the "fresh" bottom ashes, which usually are transported directly to landfill, instead pass our plant for presorting and sorting out the metals.

The project has been successful. We have found the right technology that enables us to sort bottom ashes in the USA, and in addition we have gained new knowledge about separation and sorting of fresh bottom ashes directly from the incinerator.

1. Indledning

1.1 Baggrund og tidligere erfaringer med forbehandling af USA-slagge

Meldgaard Recycling A/S er førende inden for sortering af slaggeaffald i Danmark, hvor vi sorterer ca. 85 % af slaggerne fra forbrænding af affald. Da vi har svært ved at øge vores markedsandele i Danmark, og fordi vi er overbeviste om, at vi kan præstere på nye markeder, er vores nyeste tiltag et forsøg på at bevæge os ind på det amerikanske marked, hvor miljøudfordringen i USA er stor med en omfattende smid- væk-kultur og stort ressourceforbrug.

En stor del af affaldet i USA deponeres, men over 10 % forbrændes med slaggeproduktion til følge (se figur 1). Stort set ingen gør noget ved de resulterende slagge, som i stedet deponeres på lossepladser. I modsætning til Danmark, er der, bortset fra nogle små jernfraktioner, altså ingen genanvendelse af restproduktet fra affaldsforbrændingen, som jo er fyldt med værdifulde ressourcer, f.eks. jern, aluminium og kobber. Dette medfører et voksende behov for lossepladsareal samt tabt mulighed for at genanvende metal fra slaggerne og dermed for at formindske udvinding af naturressourcer.

Meldgaard har tidligere samarbejdserfaringer med et af de to store privatejede affaldsforbrændingsselskaber i USA, hvor vi uden større held har forsøgt at sortere slagge med traditionelle anlæg. Hurtigt viste slaggen sig at være meget anderledes end den vi kender i Danmark. I 6-8 mdr. blev forskellige løsninger afprøvet, herunder sortering af meget tør slagge, men uden den store succes. Sorteringen medførte blandt andet meget stor slitage på materiellet.

1.2 Formål

Formålet med projektet er at udvikle et forsøringsanlæg, som kan håndtere den specielle, våde sammenblanding af flyveaske, gips og slagge, som findes i USA.

I Danmark, og de fleste andre steder i verden, har man kun "tørre" slagge som vore maskiner kan klare, men i USA blandes slaggen med de øvrige restprodukter fra affaldsforbrændingen, og det medfører, at slaggen "kugler" sig sammen og ikke kan behandles, som vi normalt ville gøre, idet maskinerne simpelthen stopper til. Derfor er det nødvendigt, at vi kan forsørte de amerikanske slagge på en måde, så de efterfølgende kan behandles i vores Triple Eddy Current-sorteringsanlæg. Det er netop forsøringen af slaggen, vi vil fokusere på i dette projekt.

Vores mål er at udvikle og fremstille en maskine, der kan forsørte slaggerne således, at de kan efterbehandles af vores regulære "Triple Eddy Current"-sorteringsanlæg, så vi efterfølgende kan udskille metallerne i slaggen til genanvendelse.

Projektets mål	Succeskriterier
Forsøring af slaggen i en grov og en fin fraktion før behandling i regulære sorteringsanlæg.	Ingen tilstoppelse i Triple Eddy current-systemet i sorteringsanlægget.
Udbrede kendskabet til danske virksomheders evne til at løse miljømæssige udfordringer.	Omtale i minimum 3 fagblade i ind- og udland.

Lykkes projektet kan det potentielt bidrage væsentligt til at løse de nævnte miljøudfordringer i USA.

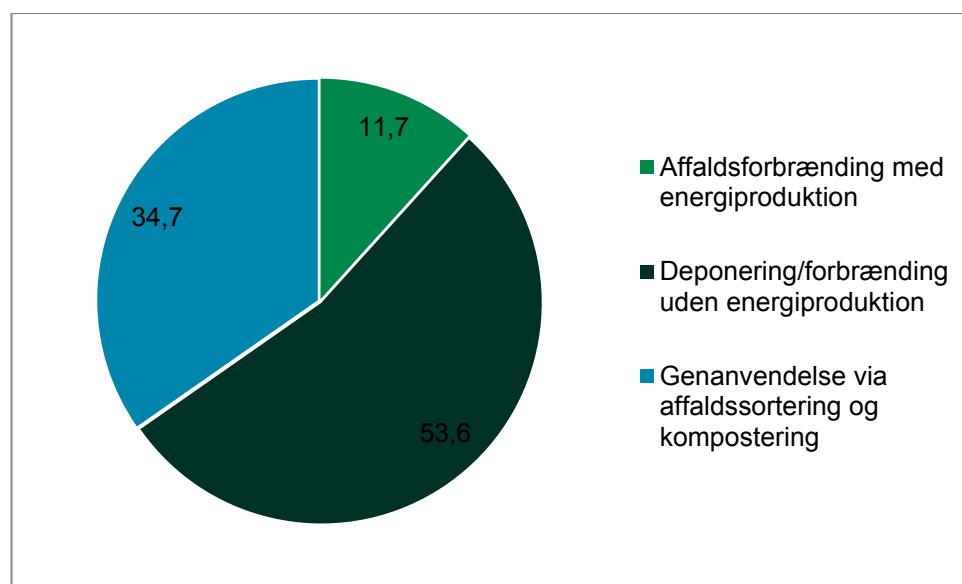
2. Forberedelse, analyse og design

2.1 Slagge som råvare i USA

2.1.1 Produktion af slagge i USA

I USA er man først i 1990-erne begyndt at udnytte affald til energiproduktion i større omfang. Behandlingen sker på forbrændingsanlæg, og der er nu cirka 80 forbrændingsanlæg i USA, se også figur 1.

Der 80 forbrændingsanlæg producerer hver i snit ca. 150.000 tons slagge om året. Til sammenligning produceres der årligt i Danmark i alt 650.000 tons.



Figur 1: Affaldsbehandling i USA, 2011. Kilde: Rapport fra "Studietur til San Francisco", Affald Plus juni 2015 (data i rapporten er taget fra officielle statistikker fra myndighederne i USA og gælder for hele USA).

Derudover ligger de sidste årtiers slagge flere steder deponeret og klar til at blive sorteret, og "bjerger" på over 5 mio. tons er slet ikke unormale.

Det er først i de senere år, at man i USA har fået øjnene op for de værdier, der er i forbrændingsresterne i takt med et øget statsligt og samfundsmæssigt pres hen imod større genanvendelse. I Danmark har man sorteret slaggerne i mange år, men de fleste steder i USA deponeres slaggerne på store lossepladser.

Håndteringen af restprodukterne fra affaldsforbrænding i USA adskiller sig på især (i denne sammenhæng) én parameter, idet man i USA efter forbrændingsprocessen ofte samler slagge, gips og flyveaske fra røggasrensningen til et deponeringsprodukt, der deponeres, mens man i Danmark holder fraktionerne adskilt, da de viderebehandles/håndteres forskelligt.

2.1.2 Sammensætning og struktur af amerikansk slagge

Når amerikansk slagge forlader forbrændingsanlægget forbrændingskammer, adskiller sig kun i mindre grad fra danskproduceret slagge (amerikansk slagge har et højere indhold af uforbrændt organisk stof end dansk slagge). Det er først når slaggen blandes med f.eks. flyveaske og gips fra røggasrensningen umiddelbart efter forbrændingsprocessen, at slaggens form og struktur bliver markant anderledes en dansk slagge, som ikke blandes med andre restprodukter.

I USA blander man de nævnte restprodukter umiddelbart efter de er produceret af den årsag, at man traditionelt alligevel blot har deponeret dem samme sted.

Årsagen til at slaggen "klumper sig," skyldes især sammenblandingen af vand og flyveaske i slaggen, der hurtigt bliver en klistret masse pga. askens fine partikler, men også det tilsatte kalk medvirker til denne effekt. Det skyldes, at gips blandet med vand vil give en grødet masse, som efterhånden størkner. Vandet stammer fra vandbad, som slaggen føres igennem på vej ud af ovnen for at binde støv og nedkøle slaggen. Kalk tilsættes flyveasken som stabilisator, inden flyveaske/kalken tilsættes slaggen, se figur 2.

Heldigvis har slaggen, i denne sammenhæng, en positiv egenskab, nemlig at den består af meget forskellige størrelse og former, en stor del er slagge over 50 mm, og det medvirker til at forhindre at slaggemassen klumper sig sammen til ubrydelige klumper.

Amerikansk slagge består derfor typisk af (Meldgaard Recycling har ikke data på fordelingen):

- Aske, primært på mineralsk form (sand/jord lignende)
- Porcelænsrester
- Glas- og flaskerester
- Jern- og metalemner
- Større uforbrændte organiske rester – som f.eks. rester af større træstubbe/træemner
- Flyveaske fra røggasrensning
- 8-12 % gips fra røggasrensning (kalkindholdet i slaggen varierer meget fra anlæg til anlæg, oplyst af vores partner "Wheelabrator").

I USA er der typisk et højere indhold af uforbrændte organiske rester, da der ikke er krav om lavt TOC-indhold (som i Danmark), og dermed ikke stor fokus på denne del ved driften af forbrændingsanlæggene. I den organiske rest er der bl.a. papir- og tekstil-rester, og dette kan ofte medvirke til at gøre slaggen mere klumpet og vanskelig at sortere.

Både i USA og Danmark vandes den nye varme slagge for at køle og slukke evt. ild i slaggen. Dermed opnår slaggen et ret højt vandindhold på op til 18 %, og vådt slagge er svært at sortere.

I Danmark henlægger man bl.a. derfor slagge i miler til modning, som dels sænker pH-niveauet fra ca. 12 til ca. 8, dels sikrer omsætning af (noget) TOC-indhold og dels nedsætter vandindholdet i slaggen til optimalt ca. 10 %.

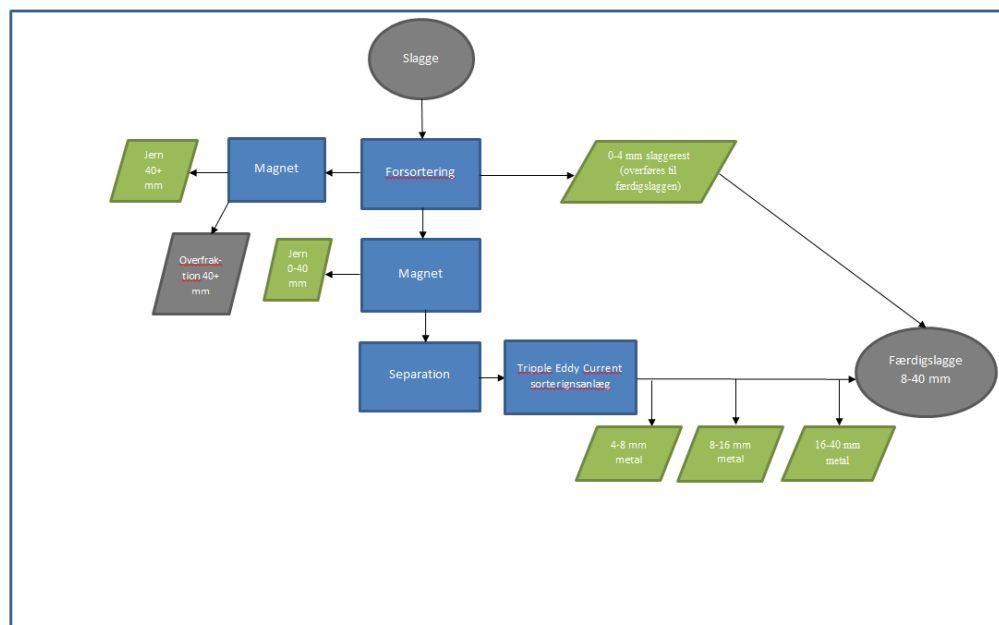
I Meldgaards aktiviteter i USA har det været en forudsætning af arbejde med frisk slagge – og dermed desværre med en slagge med et væsentligt højere vandindhold.



Figur 2: Typisk "våd" amerikansk slagge. Kilde: Meldgaard Recycling A/S.

2.1.3 Problemer ved forsoring af USA-slagge i traditionelle forsoringsanlæg

Amerikansk slagge har som nævnt en noget mere "klistret" struktur end dansk slagge (se opstilling i figur 3), på grund af et højt vandindhold og indholdet af flyveaske og gips, og den struktur har vist sig at være en udfordring for vores traditionelle muligheder for forsoring.



Figur 3: Procesdiagram over normal maskinopstilling ved sortering med Triple Eddy Current-anlæg.

Det optimale var selvfølgelig at få de amerikanske forbrændingsanlæg til IKKE at blande slaggen med flyveaske og gips, men i de aftaler, der kunne laves med vores samarbejdspartnere blev det et ufravigeligt krav, at sorteringen skal foregå på den sammenblandende slagge, ligesom det ikke har været muligt at arrangere at slagge henlægger til modning for at mindske vandindholdet.

Problemerne med at sortere amerikansk slagge blev illustreret med vores 3 forsøg med forskellige sorteringsanlæg/-teknikker, allerede inden dette projekt blev igangsat. Disse forsøg er beskrevet herunder.

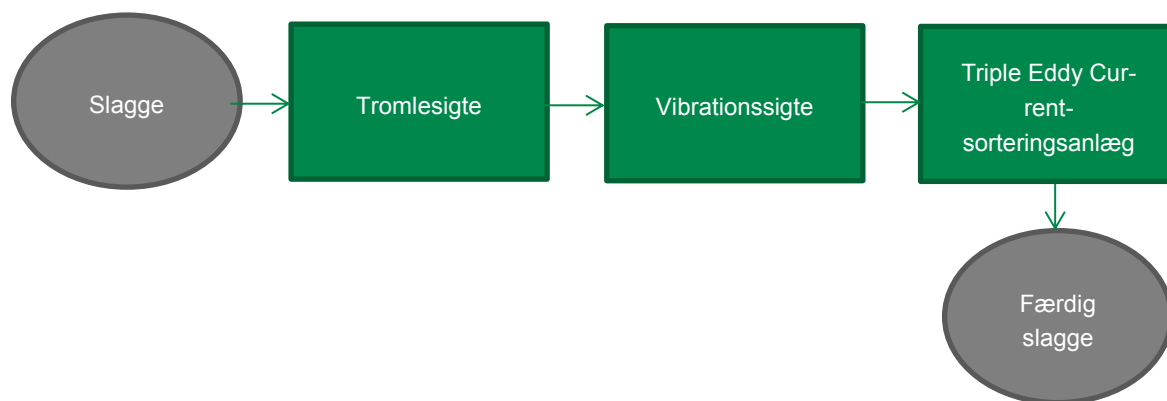
Afprøvning af forskellige sorterings-teknikker med amerikansk slagge:

Forsøg 1 med sortering af amerikansk slagge:

Forsorteringsteknik: Tromlesigte og vibrationssigte
Lokalitet: Putnam, Connecticut
Samarbejdspartner: Wheelabrator Putnam Inc.

"Wheelabrator Putnam" deponeringsanlæg er beregnet til at modtage al slagge fra alle Connecticut's affaldsforbrændingsanlæg. Anlægget har en kapacitet på 9 millioner m³, og kan modtage 400.000 tons om året fra 4 af 6 forbrændingsanlæg i Connecticut. Kilde: Wheelabrator Putnam Inc., i Putnam, Connecticut.

Til sortering blev der både anvendt en tromlesigte og en vibrationssigte, se opstilling i Putnam herunder, se figur 4 og 5.



Figur 4: Opstilling ved første sorteringsforsøg (forenklet version, se fuld udgave i figur 3).



Figur 5: Første opstilling på Wheelabrator Putnam Inc.'s slaggedeponeringsanlæg, Putnam, Connecticut. Kilde: Meldgaard US Inc.

Vibrationssigten er opbygget med dels et sigtesold med "pianovæv" og under det et "bold-dæk", der sættes i vibrationer og overfører vibrationerne til pianovævet. Bold-dækkets vibrationer er også med til at holde sigtesolden ren for slagge, se figur 6 og 7. Se også figur 8 og 9 herunder.



Figur 6: Klassisk pianodæk. Kilde: Meldgaard Handel A/S. Handel A/S



Figur 7: Klassisk bolddæk. Kilde: Meldgaard Handel A/S

Resultater af forsøg 1:

Den våde friske slagge klistrede hurtigt indfødningen af tromlen til, så slaggen ikke flød ind i tromlen i det nødvendige flow, og samtidig skete der en ophobning af slagge i indfødningen, som betød yderligere vanskeligheder med dosering af slagge og hyppige nedlukning for rengøring.

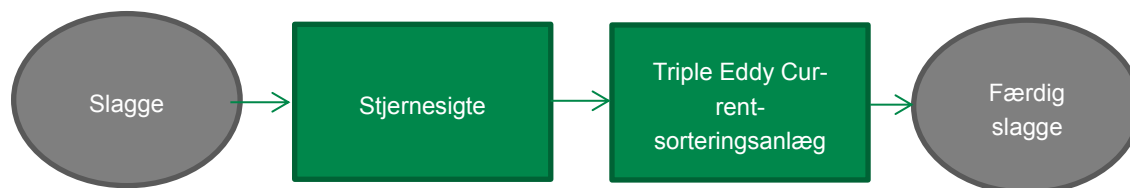
I vibrationssigten blev der afprøvet forskellige sigtesolde (hul-størrelser), se nedenstående figurer, men ingen fungerede. Uanset type betød slaggens fugtighed, at slagge klistrede sigtehullerne til og sigten dermed ikke fungerede. Tilstopningen skete så hurtigt, at det ikke ville være rentabelt med rengøringsstop, se figur 8.



Figur 8: Tilstoppet sigte i vibrationssigte (med nærbillede af tilstopning). Kilde: Meldgaard Recycling A/S.

Forsøg 2 med forsoring af amerikansk slagge:

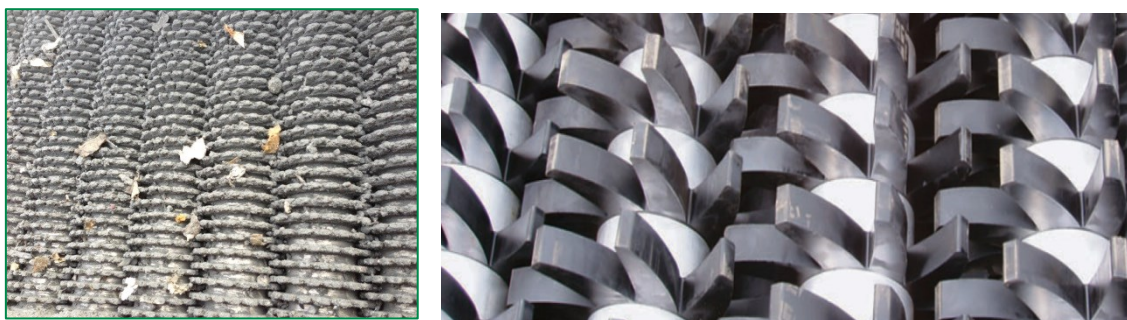
Forsoringsteknik: Stjernesigte
Lokalitet: Putnam, Connecticut.
Samarbejdspartner: Wheelabrator Putnam Inc.



Figur 9: Opstilling ved andet sortingsforsøg (forenklet version, se fuld udgave i figur 3)

Andet forsøg foregik på samme plads, men med udelukkende en stjernesigte i stedet for tromle- og vibrationssigten, se figur 9.

Stjernesigten er opbygget med rækker af stjerneformede hjul, hvor materialet adskilles idet det kører henover stjernerne (se figur 10a og 10b herunder):



Figur 10a+b: Stjernesigte, nærbillede af stjerner. Kilde: Meldgaard Recycling A/S.

Resultater af forsøg 2:

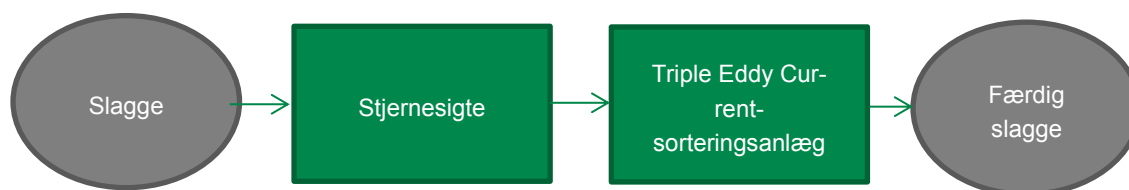
Afprøvning af stjernesigten viste, at denne også klistrede til, idet der satte sig klumper af slagge ind mellem stjernerne, hvilket forhindrede stjernerne i at rotere ordenligt, ligesom der ikke kunne passere materiale ned imellem stjernerne, som det er meningen. Dermed havde stjernerne ikke den ønskede effekt, se figur 11a og 11b.



Figur 11a & b: Tilstoppede/nedslidte stjernesigter med tydelige plamager af vådt og klistret slagge. Kilde: Meldgaard Recycling A/S

Forsøg 3 med forsortering af amerikansk slagge:

Forsorteringsteknik: Stjernesigte
Lokalitet: Pompano Beach, Florida
Samarbejdspartner: Wheelabrator North Broward Inc.



Figur 12: Opstilling ved tredje sorteringsforsøg (som forsøg 2) (forenklet version, se fuld udgave i figur 3):

Efter de forgæves forsøg i Putnam, hvor blandt andet meget nedbør havde gjort slaggen ekstraordinær fugtig, blev det aftalt med vores amerikanske partner Wheelabrator at forsøge med sortering af slagge på et deponeringsanlæg placeret i et område med et tørrere klima - Florida. Dette for at kunne anvende slagge, der ikke havde et forhøjet vandindhold pga. nedbør. Samtidigt er slaggen i Florida også anderledes, da det (ifølge Wheelabrator) ikke indeholder så meget kalk som slagge i Connecticut, se figur 12.

De første sorteringsforsøg i tørt vejr lykkedes fint, men så snart det regnede, blev slaggen for fugtig og problemerne med tilstopning af anlægget fortsatte desværre som tidligere.

Det er særligt forsigtningen i stjernesigten, der giver problemer. Efter 2 ugers produktion var stjernerne i vores forsigte opslidte, hvilket er en uholdbar og økonomisk dyr løsning, som gør sigtningen umulig.

Opsamling på forsøg:

Vi brugte 6-8 måneder på at prøve de forskellige maskiner til opgaven uden den store succes. Vi måtte efter disse forsøg konkludere, at slaggen var for klistret til at man kunne sortere metallet og den fine jern-fraktion ordenligt fra (forbrændingsanlægget frasorterer selv den grove jernfraktion). Vi erkendte derfor, at amerikansk slagge ikke kunne sorteres direkte, men i stedet var nødt til at blive splittet op, så det ikke klumpede og var mere fraktioneret, og til dette måtte der en ny sigtemetode i brug.

Det var på dette stadie, at vi igangsatte nærværende projekt.

2.2 Meldgaards samarbejdspartnere i Danmark, Tyskland og USA

Herunder er en kort beskrivelse af de primære samarbejdspartnere og i hvilken sammenhæng de har været involveret i projektet.

Primære amerikanske samarbejdspartnere:

Meldgaard US Inc.:

Ved opstarten af dette projekt var det en forudsætning at der blev lavet et formaliseret samarbejde imellem Meldgaard Recycling A/S og Meldgaard Inc. US, uagtet at begge selskabers medarbejdere har tætte relationer til hinanden. I det samarbejde skulle Meldgaard US Inc. levere:

- Arbejdskraft, viden og rådgivning.
- Koordinering og input til tegning og konstruktion af maskinen.
- Afholdelse af projektmøder.

Wheelabrator Enviromental System Inc.:

Idet Meldgaard Recycling A/S har været på markedet for slaggesortering over 12 år med direktør Anders Hedegaard som central figur, har vi optrådt i flere forskellige sammenhænge som messer og lignende. Det betød, at personer hos firmaet Wheelabrator Enviromental system Inc. i USA kontaktede Anders Hedegaard i starten af 2012 for at diskutere et eventuelt samarbejde om slaggesortering.

I løbet af 2012 blev muligheder, rammer og betingelser drøftet, og i sommeren 2012 blev den første kontrakt mellem Meldgaard US Inc. og Wheelabrator Enviromental system Inc. underskrevet.

Datterselskaber til Wheelabrator Enviromental system Inc., som vi har samarbejdet med:

- Wheelabrator Putnam, Putnam, Connecticut.
- Wheelabrator North Broward Inc., Pompano Beach, Florida.
- Wheelabrator Baltimore L.P., Baltimore, Maryland.

Øvrige primære samarbejdspartnere:

Meldgaard Handel A/S:

Meldgaard Handel A/S er typisk den leverandør af standard sorteringsanlæg, som Meldgaard Recycling A/S anvender, hvis der ikke skal anvendes egne anlæg. Meldgaard Handel A/S har bl.a. leveret nogle af de sorteringsanlæg, som de første mislykkede sorteringsforsøg blev foretaget med.

SB Engineering ApS:

SB Engineering har i mange år været fast leverandør af de mere specifikke designelementer såsom konstruktionsberegninger, konstruktionstegninger, brugermanualer, CE-mærkning.

HFR Trailer ApS:

HFR Trailer har i mange år stået for den praktiske opbygning af sigteanlæg, fra modtagelse af delkomponenter, modtagekontrol, el-arbejde og slutmontage og færdigbygning af anlæggene.

Binder+Co AG og Spaleck GmbH&Co.KG:

Binder og Spaleck blev vores leverandører af trampolinsigte, har begge tidligere leveret til Recycling og til Meldgaard Handel, så de er velkendte samarbejdspartnere. Leverede trampolinsigte til både testanlæg og det færdige anlæg.

2.3 Fastlæggelse af kravspecifikationer til ny forbehandling af USA-slagge

2.3.1 Generelle kravspecifikationer

Kravene til det kommende nye forbehandlingsanlæg var for så vidt rimeligt enkle, idet det skulle adskille/opsplutte amerikansk slagge i fraktioner, der gjorde det muligt at sortere slaggen i et traditionelt sorteringsanlæg. De væsentligste generelle krav er dog præciseret herunder:

- Sigteteknikken skulle være andet end tromle-, vibrations- eller stjernesigteteknik
- Anlægget skulle være mobilt.
- Anlægget skulle bygges op som Meldgaard Recyclings traditionelle sorteringsanlæg.
- Anlægget skulle leve op til amerikanske lovkrav ift. sikkerhed, energi og strømforbrug.
- Anlægget skulle kunne håndtere 80 tons slagge/time for at være rentabelt.
- Anlægget skulle kunne håndtere frisk råslagge med forhøjet indhold af organisk materiale.

2.4 Design og udarbejdelse af testanlæg

2.4.1 Valg af Trampolinsigte som bedst egnede sigtetyper

Efter forsøgene med både tromle-, vibrations- og stjernesigte, som efterhånden betegnes som forsøg efter udelukkelsesmetoden, stod vi tilbage med en klar fornemmelse af, at hvis et anlæg skulle fungere så måtte vi lave et testanlæg baseret på "Trampolinsigte"-teknikken. Reelt var det nemlig den eneste kendte sigtemetode til materialeseparering, der var tilbage at anvende.

Fordele og funktionalitet ved Trampolinsigte-teknikken:

Trampolinsigter er den mest "aggressive" sigtetype/-metode, der udsætter materialet for endog meget store kræfter, hvilket er en fordel, når man har fine fraktioner, der ydermere er fugtige og dermed vil have tendens til at klumpe sammen, se figur 13 og 14.

En yderligere massiv fordel ved trampolinsigten er, at den så at sige er selvrensende, da de kraftige bevægelser hele tiden vil forhindre at sigtehullerne i sigtesolden lukkes til af materiale.

Det er dog under forudsætning af, at materialet er tilstrækkeligt tørt.

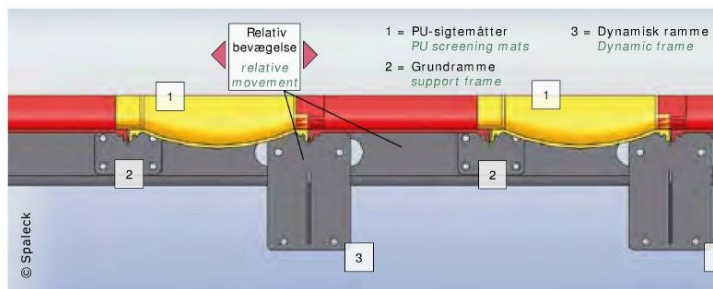
Funktionsprincip

Den relative bevægelse af de to rammer i forhold til hinanden medfører en såkaldt „trampolineffekt“ i sigtemåtterne. Denne effekt medfører følgende fordele:

...how it works

The relative movement of both screening frames creates a "trampoline effect" in the screening mats. The advantages of this effect are:

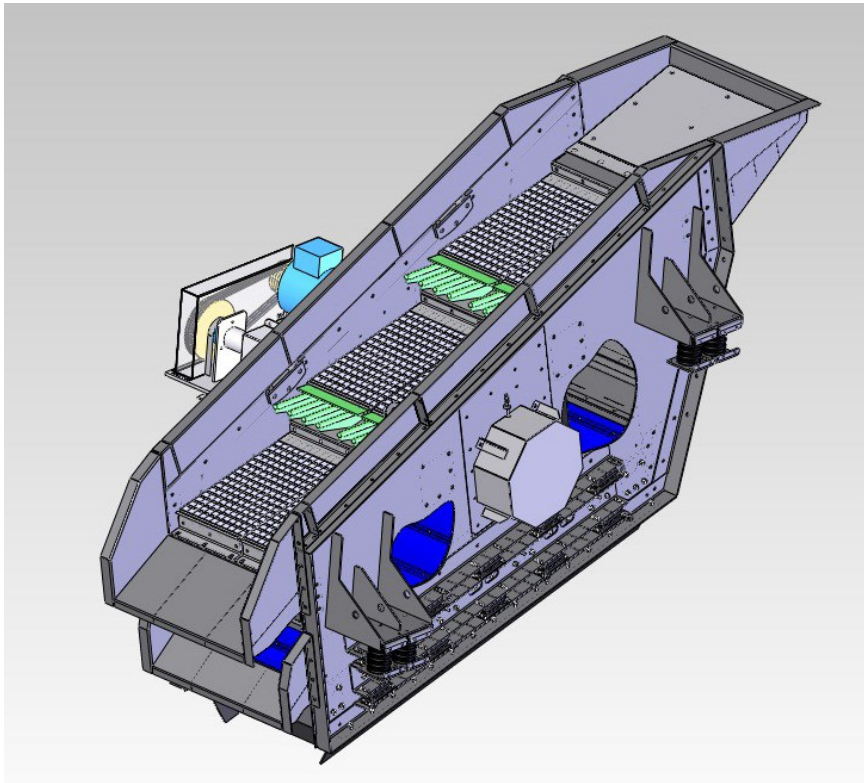
- Høj acceleration på op til 50 g i sigtemåtterne
- Produktet gøres løst
 - High acceleration up to 50g in the screening mats
 - loosening up of the product



Figur 13 Skitse af trampolinsigte. Kilde: Meldgaard Handel A/S & Spaleck GmbH & Co.

En trampolinsigte er opbygget af såkaldte "sold" (de gule måtter i figur 13), som er perforerede PUR-gummimåtter, og størrelse af perforeringerne og antallet af sold afgør sigtens effektivitet/ydeevne. Sigten skulle have en høj effekt, når den skulle kunne håndtere op til 80 tons/time. Effekten var derfor en afgørende faktor.

Antallet af sold og perforeringer beregnes af leverandøren ud fra de ønskede dimensionsmål og kapacitetskrav. Desuden var det af hensyn til anlæggets kompakte form afgørende, at sigten fik så lav højde som muligt.



Figur 14: Klassisk trampolinsigte . Kilde: Meldgaard Handel A/S.

2.4.2 Øvrige designovervejelser

For at leve op til de øvrige kravspecifikationer har der selvfølgelig været andre designovervejelser, men ikke noget der er relevant i denne sammenhæng. De er alle blev løst uden særlige udfordringer i samarbejde med vores samarbejdspartnere SB Engineering ApS og HFR Trailer ApS.

2.5 Afprøvning af testanlæg med trampolinsigte

2.5.1 Afprøvning af testanlæg i USA

Testanlægget blev opstillet hos Wheelabrators deponeringsanlæg i Pampona Beach, Florida sammen med vores Triple Eddy Current-sorteringsanlæg. Anlægget blev afprøvet hen over en 2 måneders periode, hvor der blev testet med både tørt og vådt slagge.

Testene lykkedes fint idet der kunne konstateres følgende resultater:

- Trampolinsigten splittede den klumpede slagge i en grov og en fin slaggefraktion, der begge er sorterbare.
- Trampolinsigten blev ikke tilstoppet i hverken sigtesolde eller indføringen.
- Sorteringsanlægget kunne sortere slaggefraktionen i de ønskede fraktioner uden tilstopning.
- Trampolinsigten evnede at håndtere en tilpas mængde materiale pr. time.

Testene viste dog, at holdbarheden af soldene ikke er optimal, idet soldene revner i dels åbninger og i vedhæftninger, så det er en dyr sigteteknologi. Men det virker, og er ikke dyrere end at det fortsat ser ud til at være rentabelt.

2.5.2 Konklusion og evt. desigtilpasninger

Testforsøgene blev efterfølgende drøftet med vores samarbejdspartnere SB Engineering ApS og HFR Trailer ApS for at vurdere om der var tilstrækkeligt grundlag til at bygge et fuldskala anlæg, eller om der var behov for flere forsøg og eventuelle designændringer/tilretninger.

Testanlægget blev gennemgået for vurdering af slitage og eventuelle behov for forstærkninger, og på basis af det blev det konkluderet, at der reelt ikke var behov for ændringer i den planlagte konstruktion. Dog var der indlagt en forventning om hyppigere udskiftning af sigtesolde end ved andre anlæg.

3. Produktion af fuldskala forbehandlingsanlæg

3.1 Opbygning af fuldskalaanlæg

Indkøb af anlægskomponenter til et anlæg som dette skete i tæt samarbejde med SB Engineering og HFT Trailer. Selv om anlægget skulle opbygges ud fra vores normale anlæg, så var det en udfordring af indbygge trampolinsigten ind i en fornuftig rammeopbygning. Derfor var det afgørende, at der ikke blev købt anlægskomponenter hjem for tidligt. Komponenterne skulle derimod købes i et flow, der gjorde, at man kunne tilpasse dele til hinanden og ikke mindst tilpasse anlæggets chassis og rammer til enkeltenhederne.

Vurdering og tilpasning af de enkelte elementer foregik i et flow som dette:

- Valgt leverandør designer element efter vores krav til kapacitet, max-størrelse osv.
- Leverandør fremsender CAD-maskintegninger til os.
- Når vi har kontrolleret tegning videresendes tegning til SB Engineering.
- Ved hjælp af CAD-tegneprogram vurderer SB Engineering, hvordan elementet passer ind i original CAD-tegning af anlægget (original tegning Meldgaard og SB Engineering har lavet), og hvor og hvor meget elementets dimensioner skal tilpasses, for at kunne passe i anlægget.
- SB Engineering tilpasser leverandørens CAD-tegning, og fremsender denne til leverandøren.
- Leverandør producerer element ud fra nye CAD-tegninger og leverer element til HFR Trailer, der står for opbygning af anlægget.
- HFR Trailer opbygger anlæg efterhånden som elementer leveres.

Indkøb af dele er primært foretaget af Meldgaard, men en række af de mere ukomplicerede komponenter er indkøbt af vores underleverandører HFR Trailer, som også stod for selve konstruktionsfasen. Opbygningsfasen foregik uden nogen nævneværdige udfordringer, se færdigt anlæg på figur 15 og 16.



Figur 15: Færdigt anlæg opstillet i Danmark.
Kilde: Meldgaard Recycling A/S



Figur 16: Testkørsel af forsigte og Triple Eddy Current, uden slagge. Kilde: Meldgaard Recycling A/S

Forsorteringsanlæg
med trampolinsigte

4. Testkørsel af fuldskalaanlæg

4.1 Testkørsel i Danmark uden USA-slagge, resultater og eventuelle tilpasninger

Anlægget blev testkørt i Danmark uden slagge, dels var der af naturlige årsager ingen USA-slagge tilstede og dels var det ikke formålstjenligt at "forurene" et helt nyt anlæg med slagge, der alligevel ikke kunne vise anlæggets evne til at separere amerikansk slagge.

Idet test var uden materiale handlede testene mere om, hvorvidt anlægget var opbygget godt nok, om det var stabilt og om enkelte elementerne kunne spille godt nok sammen (tilpasning af båndhastigheder, vinkling af bånd osv.)

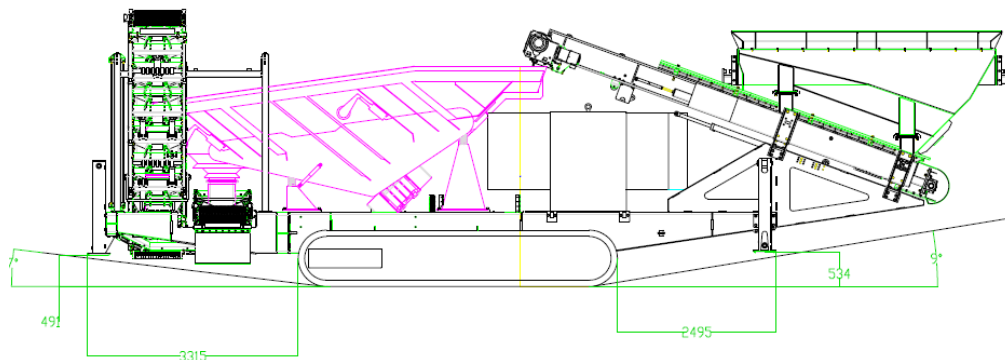
Med testkørslen uden materialer i Danmark kunne vi dog konkludere, at maskinen fungerede og kørte som forventet. Dog blev der efter testkørslen tilføjet ekstra forstærkning til konstruktionen, da vi havde fået erfaringer med dette som et muligt problem via et andet, sideløbende projekt. Efter testkørslen blev anlægget skilt ad igen, så det kunne blive fragtet til USA.

Først efter opstilling skulle det vise sig, om det kørte som forventet, men en milepæl var nået ved afskibning af et funktionsdygtigt anlæg til Baltimore. Anlægget er så stort, at der skulle læsses 6 læs på trailere/containerne, som blev sejlet fra Bremerhafen, Tyskland.

4.2 Transport og opstilling af anlæg i USA

Transport/shipping af anlæg

Vi havde ved forsendelse af anlæggene udfordringer med læsning af maskinerne. Dette skyldes at frihøjden under anlægget er meget lav (se figur 17 herunder), og dette giver udfordringer, når anlægget skal op af læsseramper og op på "Ro-Ro"-færger (færger hvor rullende last kan køres til og fra kajen og direkte om bord på skibet; "roll on - roll off"). Rampen som anlæggene skal køres op ad er ikke dimensioneret til "køretøjer" af denne type. Vi var nødt til at sende ekstra mandskab til Bremerhaven for at hjælpe med læsningen ved hjælp af "skøjter" og andet specialudstyr. Dette illustrerer, hvor kompliceret og hvor mange udfordringer man kan komme i ved at flytte en kendt aktivitet til USA.



Figur 17: Tegning af færdigt anlæg. Kilde: Meldgaard Recycling A/S og SB Engineering ApS.

Opstilling af anlæg

Anlægget skulle monteres direkte i forlængelse af forbrændingsanlægget, så slaggen er helt frisk når det kører igennem anlægget. Anlægget blev opstillet hos Wheelabrator Baltimore L.P., Baltimore, Maryland.

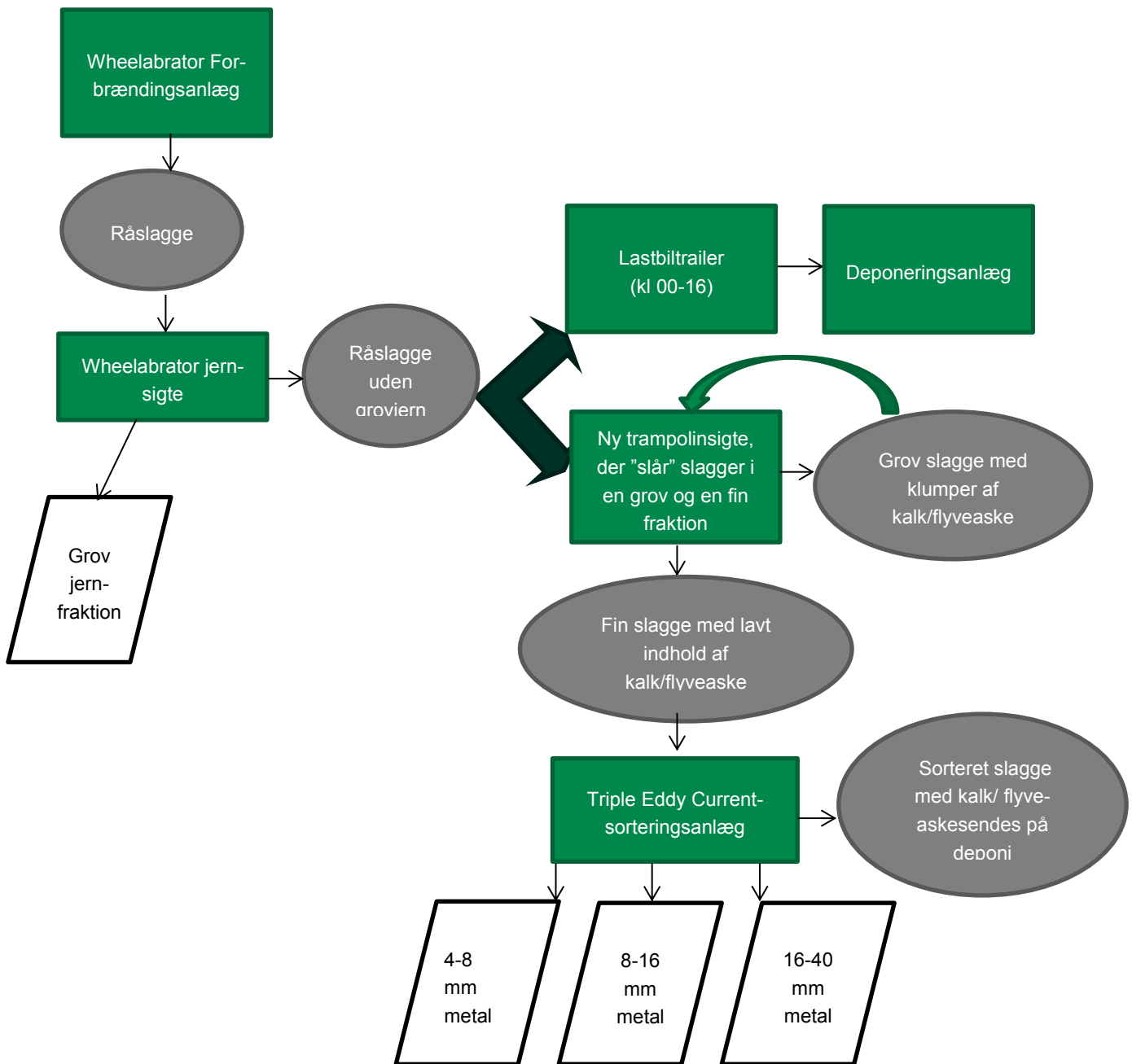
Der var mulighed for at opstille både forsorteringsanlæg og selve Triple Eddy Current-sorteringsanlægget i en tom kranhal umiddelbart i forlængelse af der, hvor slaggen fra forbrændingsanlægget blev kørt ud. Vores anlæg skulle ifølge kontrakten med Wheelabrator kun sortere slagge i tidsperioden kl. 16-24, og derfor skulle anlægget opstilles med mulighed for, at forbrændingsanlægget enten sendte slaggen til deponi, eller sendte det over i vores anlæg, se figur 18.

Derfor blev der i samarbejde med Wheelabrator lavet denne opstilling af anlægget:

Note 1:

Der frasorteres normalt altid en grov jernfraktion fra slaggen. Denne jernfraktion er forholdsvis nem at adskille fra resten ved at lade råslaggen køre forbi en magnetseparator (kræver ikke Meldgaards "know how").

Note 2: "Grov slagge med klumper af kalk/flyveaske returneres igennem trampolinsigte flere gange, indtil det er slået i mindre stykker, der kan komme igennem "Triple Eddy Current"-anlægget og sorteres.



Figur 18: Opstilling af færdigt anlæg hos Wheelabrator.

Udfordringer i opstillingsprocessen

På trods af at både forsorteringsanlæg og selve sorteringsanlægget er mobile og kompakte anlæg, var det alligevel en udfordring af få dem placeret i en allerede eksisterende indendørs hal, se figur 19.



Figur 19: Håndtering af forsorteringsanlæg med mobilkran.
Kilde: Meldgaard US Inc.

For at få anlæggene ind i hallen var det nødvendigt at køre dem ind på særlige transportskin-
ner, der blev udlagt i et spor ude fra og ind til den endelige placering.

Da anlægget var opstillet blev de elektriske installationer udført af amerikanske elektrikere.
Udfordringen her var at sammenkoble slagge-transportbånd fra forbrændingsanlægget med
vores sorteringsanlæg således at opstart, nedlukning, fremføringshastigheder, omskiftning
mellem depot og sorteringsanlæg var tilpasset hinanden.

Opbygning inde i hallen foregik i et tæt samarbejde mellem personale fra Wheelabrator, eks-
terne montører (elektrikere/smede), montører fra HFR Trailer og Meldgaards personale.

Opbygningsprocessen foregik uden de store komplikationer, men alligevel tog det i alt 3 uger
før anlægget var klar til første testkørsel med amerikansk slagge.

4.3 Testkørsel i USA med USA-slagge

4.3.1 Testkørsel, testresultater og evt. designtilpasninger

Da anlæggene, trampolinsigten og Triple Eddy Current-anlægget var opstillet, blev testsorteringerne igangsat. Der blev kørt 2 tests:

Første test: Hvor anlægget modtog slagge fra lastbiltrailere, så forbrændingsanlægget var uafhængigt af testens forløb (se figur 20).

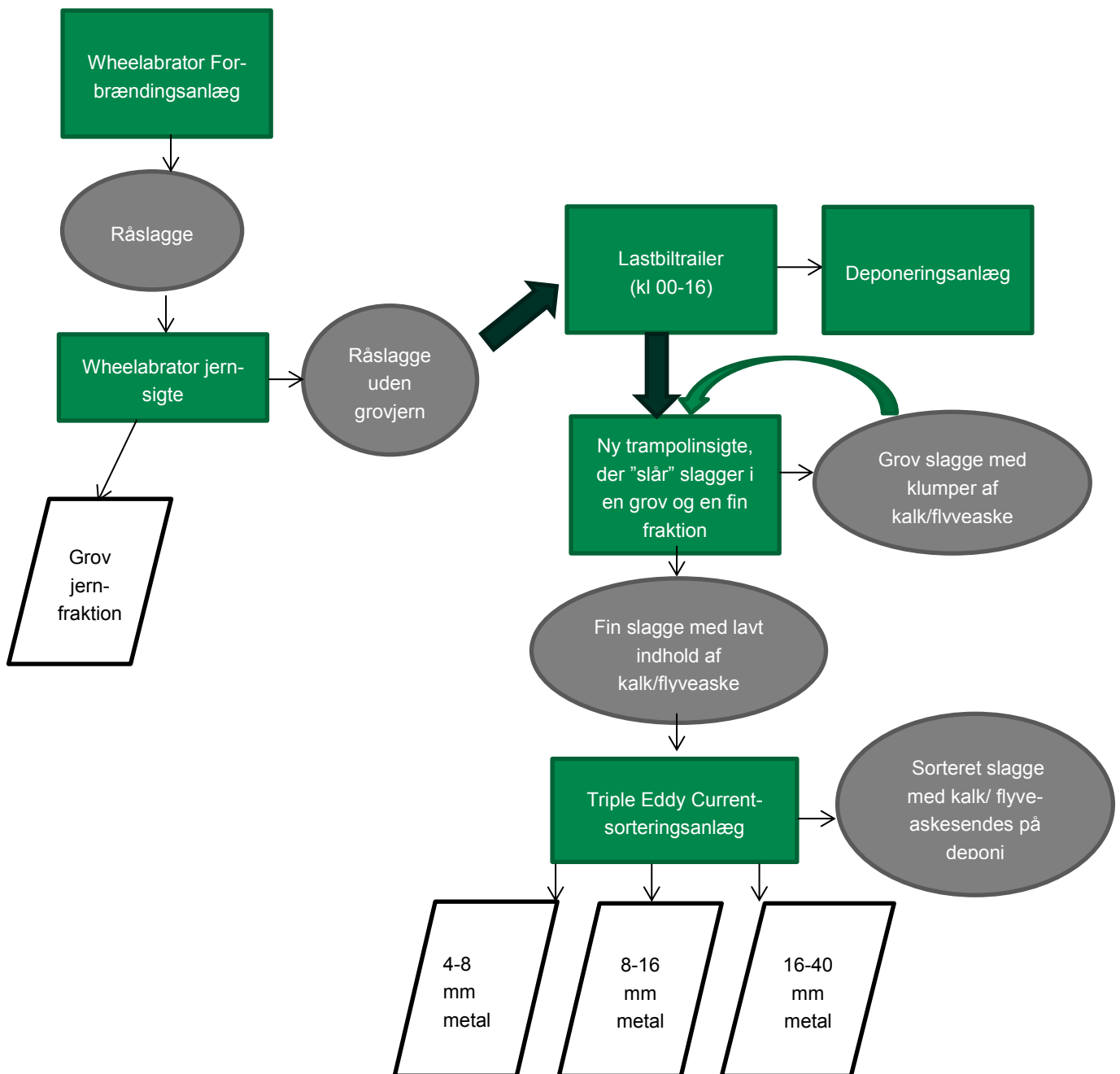
Anden test: Hvor anlægget modtog slaggen direkte fra forbrændingsanlægget (se figur 21).

Testene skulle anvendes til at vurdere (succeskriterie i parentes):

- Sorteringshastighed (Min kapacitet på 70-100 tons i timen).
- Metaludbytte (jern blev frasorteret af Wheelabrator) fra Triple Eddy Current-anlægget (> 1,2 % metal fra slaggen).
- Sorteringsanlæggenes samspil med Wheelabrator anlæg (ingen flaskehalse/andet).

Første test:

De første tests foregik over 2 aftener, hvor anlæggene kørte i cirka 10 timer, se figur 20.



Figur 20: Første testkørsel af færdigt anlæg hos Wheelabrator.

I indledningen af kørslen med anlæggene skulle alle transportbånd i anlæggene centreres, men dette er en normal proces efter opstilling af mobile anlæg, og lykkedes uden problemer.

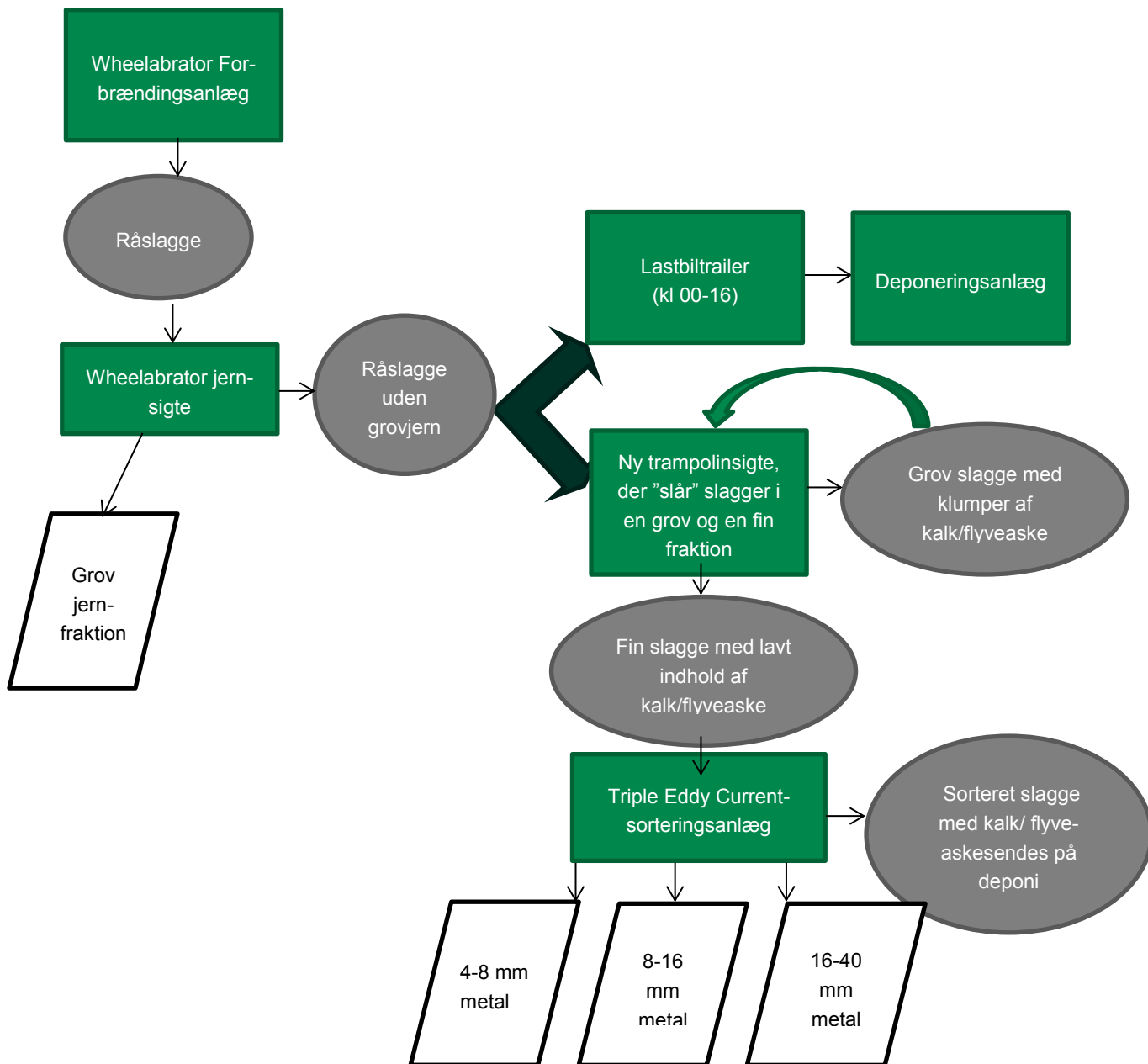
Resultat af første test:

Det viste sig hurtigt at anlægget fungerede forbløffende effektivt og problemfrit. Det blev hurtigt opnået en metalprocent på cirka 2 % i forhold til den sorterede slaggemængde - i denne verden langt over succeskriteriet på 1,2 %, og derfor meget tilfredsstillende. I løbet af de første timers kørsel viste der sig et mindre designproblem, idet noget af den slagge, der "altid" ryger ved siden af anlægget, havde tendens til at falde af et sted, hvor det efterfølgende ramte en

nødstopwire. Det medførte flere uhensigtsmæssige driftsstop, men problemet blev dog hurtigt løst ved en afskærmning.

Anden test:

Denne test skulle vise, at anlægget uden problemer kunne fungere med tilførsel af slagge direkte fra forbrændingsanlægget, se figur 21. Denne test foregik i løbet af 4 arbejdsdage.



Figur 21: Anden testkørsel af færdigt anlæg hos Wheelabrator.

Resultat af anden test:

Ingen problemer med flaskehalse eller andre problemer ved samarbejdet mellem Wheelabratørs anlæg og sorteringsanlægget. Stadig højt metaludbytte. Disse test foregik uden behov for designtilpasninger. Resultaterne af den anden test fremgår af tabel 1.

Tabel 1: Produktionstal fra forsøgsproduktion under 2. test

	Sorteret mængde slagge (ton)	Udsorteret metal (ikke-magnetisk) (ton)	Udsorteret metal i forhold til sorteret slagge (%)	Produktionstid (timer)	Nedetid (timer) (anlæg ikke i drift)
Dag 1	603,00	11,09	1,84	3	6
Dag 2	45,06	0,96	2,13	7	1
Dag 3	464,69	7,42	1,60	3	6
Dag 4	371,64	7,21	1,94	4,5	4,5
Gennemsnit	371,10	6,67	1,88		

4.4 Godkendelse af anlæg på basis af testforsøg

I samarbejde med Wheelabrator blev erfaringerne fra testresultaterne gennemgået, og da alle succeskriterier var vurderet som opfyldt, enedes man om at konkludere testene for succesfulde. Derfra påbegyndte fuldskalasortering med anlæggene.

NB: Cirka 4 måneder efter godkendelse af anlægget opstod dog et mindre problem med trampolinssigtens topdæk af typen "3D", som måtte skiftes ud med en anden model på grund af tilstopninger. Det oprindelig dæk var af jern, og var for stift, mens det nye er af gummi, som er meget mere fleksibelt og dermed bedre kan vibreres. De få problemer der viste sig ved testkørslerne må i høj grad tilskrives vores og vores samarbejdspartnere store erfaring i opbygning af sorteringsanlæg.

5. Projektets resultater

Projektet har været yderst succesfuldt. Vi har fundet den rigtige teknologi, der sætter os i stand til at sortere slagge i USA, hvilket giver os et massivt forretningsmæssigt potentiale inden for de nuværende lovgivningsmæssige rammer i USA, hvor det er tilladt at tilsætte flyveaske og gips til slaggen.

Vi har tilmed opnået viden om sortering af friske slagge direkte fra forbrændingsanlægget. I Danmark skal slaggerne typisk modnes i 3 mdr. før sortering, så at sortere frisk materiale er nyt for os. Den direkte forbindelse til sorteringsanlægget betyder, at vi ikke må have "nedetid". Hvis anlægget ikke kører, transporteres slaggerne direkte til deponi, og dagens omsætning mistes.

Målsætningerne for projektet var:

- at kunne forsørge slagge før behandling i regulære sorteringsanlæg, således at disse ikke stopper til.
- at udbrede kendskabet til danske virksomheders evne til at løse miljømæssige udfordringer.

Mål nr. 1 er helt klart nået, idet vi i dag sorter slagge i Baltimore uden tilstopning. Her sorteres der 600 tons slagge 5 dage om ugen, dvs. 3000 tons slagge om ugen. Af disse slagge udsorteres vi ca. 27-55 tons metal om ugen, som afsættes til virksomheder, der kan oprense metallerne og videresælge dem til metalleverandører. Den sorterede slagge deponeres efterfølgende. Dermed vurderer vi, at succeskriteriet om ingen tilstopning af Triple Eddy Current anlægget og frasortering af metaller er opnået.

I det hele taget er der tale om en meget vellykket konstruktion og opbygning, og vi har tilmed bygget et søsteranlæg i Fort Lauderdale med samme sigte-teknologi, efter den har vist sig, at kunne løse alle vores tidligere udfordringer.

Mål nr. 2 var at udbrede kendskabet til danske virksomheders evne til at løse miljømæssige udfordringer. Succeskriteriet for mål nr. 2 var omtale i minimum 3 fagblade i ind og udland. Ved afslutning af projektet er der sendt en pressemeddelelse/artikel ud til en række af de største internationale recycling-magasiner som en del af en markedsføringskampagne, herunder:

- Recycling International
- Recycling today
- Industry Leaders
- Scrap
- Resource recycling
- Waste360
- www.urbanmining.org

Hvorvidt omtale i et eller flere af disse magasiner kan opfylde mål nr. 2 er svært at sige på nuværende tidspunkt (april 2016), men med et succesfuldt produkt er der gode muligheder for det. En del af kendskabet skabes via generel omtale i branchen, og vi er allerede i projektperioden blevet kontaktet af store amerikanske affaldsselskaber, så vi må forvente, at kendskabet spredes yderligere med de omtalte markedsføringstiltag.

6. Konklusion

Vi vurderer projektet som succesfuldt, da vi har opnået at få konstrueret et forsorteringsanlæg til sigtning af amerikanske slagge, der kan anvendes til det ønskede formål. Vi har fundet den rigtige teknologi, der sætter os i stand til at sortere slagge i USA, hvilket giver os et massivt forretningsmæssigt potentiale. Vejen hertil har også været lang og haft en række udfordringer undervejs. Valget af sigteteknologi har været afgørende for at projektet lykkedes, og hvis vores testanlæg med brug af trampolinsigte ikke havde fungeret, så ville det have været vanskeligt at nå et succesfuldt slutprodukt. Vi har i processen nydt godt af vores tætte relationer til vores samarbejdspartnere og et gnidningsfrit og tæt samarbejde med vores amerikanske partnere. Det har naturligvis også været betinget af, at de økonomiske risici i projektet har påhvilet Meldgaard og ikke Wheelabrator, og også derfor har succes været afgørende for os. Med vores nye viden om sortering af frisk slagge, bl.a. direkte fra forbrændingsanlæg har vi nu viden om flere spændende potentielle muligheder, der kan bruges andre steder end blot USA. Målsætningerne for projektet vurderes at være klart opfyldt, da forsorteringen lykkedes, og kendskabet til en dansk virksomheds evner inden for slaggesortering er blevet spredt.

7. Referencer

Rapport fra Studietur til San Francisco, Affald Plus juni 2015:

http://www.affaldplus.dk/sites/default/files/mediearkiv/Dokumenter/Hele_AffaldPlus/Bestyrelse/Bestyrelsesmoeder/2015/rapport_studietur_kmw_final_new.pdf

Wheelabrator Putnam Inc., i Putnam, Connecticut:

<http://www.wtienergy.com/plants/ash-landfills/wheelabrator-putnam-inc/>

Meldgaard Recycling A/S

Meldgaard Handel A/S

Meldgaard US Inc.

Sigtning af slagge inden sortering

Formålet med projektet har været at udvikle et forsorteringsanlæg, som kan sortere den specielle, våde sammenblanding af flyveaske, gips og slagge fra forbrænding af affald, som findes i USA, således det bliver muligt at frasortere metal og jern fra amerikansk slagge med Meldgaards danske sorteringsanlæg (Triple Eddy Current).

Da de amerikanske slagge er våde, klumper de sammen og stopper normale sorteringsanlæg til. Normalt deponeres slaggerne direkte uden udsortering af jern og metal.

En række sorteringsteknologier er blevet testet i projektet. Det er lykkedes at konstruere et anlæg, der ved hjælp af trampolinsigte-teknologi kan forsortere den amerikanske slagge, så der efterfølgende kan udsorteres jern og metal.

Anlægget er i dag i drift i fuld skala, og bygget op i direkte forbindelse med et eksisterende forbrændingsanlæg i Baltimore. Anlægget sorterer 3000 tons slagge om ugen, hvorfra der udsorteres 27-55 tons metal, som afsættes til virksomheder, der kan oprense metallerne og videresælge dem til metalleverandører.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk